2026

한국농공학회 학술발표회

농공학, 융합 플랫폼이 되다:
데이터 기반의 의사결정과
현장 중심의 실행

10. 28.(수) ~ **30.**(금) 라한호텔 전주

주최 · 한국농공학회

주관 · 전북대학교 지역건설공학과

후원 · 한국과학기술단체총연합회, 한국물학술단체연합회, 한국농어촌공사, K-water, 전북도청, 전북대학교, 계룡건설, 금호건설, 남광토건, 다산컨설턴트, 대보건설, 대우건설, 도화엔지니어링, 동부건설, DL이앤씨, 삼림엔지니어링, 삼안, 삼인공간정보, 서림정밀안전진단, 서림종합건설, 쌍용건설, 일엠연구소, 케이씨씨건설, 손재권(개인)

사단법인 **한국농공학회**

www.ksae.re.kr

▶ 본 사업은 기획예산처의 복권기금 및 과학기술정보통신부의 과학기술진흥기금으로 추진되어 공익 및 사회적 가치 실현과 국가 과학기술 발전에 기여합니다.
▶ 본 사업은 한국농어촌공사 후원금으로 제작되었습니다.
▶ 본 사업은 K-water 지원금으로 제작되었습니다.

2026 한국농공학회 학술발표회 초록집은
한국농공학회 학술대회 홈페이지(https://conference.ksae.re.kr/)에서
다운로드 하실 수 있습니다.

개 회 사

김 상 민
한국농공학회 회장

존경하는 한국농공학회 회원 여러분, 그리고 내외 귀빈 여러분!

풍요로운 결실의 계절을 맞아, 전통과 문화의 도시 전주에서 「2026 한국농공학회 학술발표회」를 개최하게 된 것을 매우 기쁘게 생각합니다. 바쁘신 일정에도 학술발표회에 참석해 주신 모든 분께 진심으로 환영과 감사의 말씀을 드립니다.

오늘날 농업과 농촌은 기후변화로 인한 가뭄과 홍수의 빈발, 농촌 인구의 감소와 고령화, 식량안보와 에너지 전환 등 복합적인 도전에 직면해 있습니다. 이러한 문제들은 어느 한 분야의 지식과 기술만으로 해결하기 어려우며, 학문과 산업, 정책과 현장이 서로의 경계를 넘어 긴밀히 협력할 것을 요구하고 있습니다.

이에 우리 학회는 이번 학술발표회의 주제를 “농공학, 융합 플랫폼이 되다: 데이터 기반의 의사결정과 현장 중심의 실행”으로 정하였습니다.

인공지능과 빅데이터, 디지털트윈, 위성 · 드론 등 첨단기술의 발전은 농업생산과 농촌공간, 농업용수와 환경을 더욱 정밀하게 진단하고 예측할 수 있는 새로운 가능성을 열어주고 있습니다. 그러나 기술과 데이터의 가치는 실제 현장의 문제를 해결하고 농업인과 농촌사회에 실질적인 변화를 만들어낼 때 비로소 완성될 수 있습니다.

이제 농공학은 다양한 분야의 지식과 기술을 연결하고, 축적된 데이터를 합리적인 의사결정으로 전환하며, 그 성과가 현장에서 실행되도록 하는 융합의 플랫폼이 되어야 합니다. 대학과 연구기관, 산업계와 공공기관, 그리고 현장의 전문가들이 서로의 경험과 지혜를 공유할 때 우리 농업 · 농촌의 지속가능한 미래를 위한 실효성 있는 해답을 마련할 수 있을 것입니다.

이번 학술발표회에서는 농업생산기반, 농업용수, 농촌계획, 환경과 에너지, 첨단기술 등 농공학의 다양한 분야를 아우르는 연구 성과가 발표됩니다. 아울러 특별세션과 학생경진대회 등 다채로운 프로그램을 통해 새로운 지식과 아이디어가 공유되고, 세대와 전공을 넘어 활발한 교류가 이루어질 것으로 기대합니다.

특히 미래 농공학을 이끌어갈 학생과 신진 연구자 여러분께서 이번 학술발표회를 통해 연구의 시야를 넓히고, 선배 연구자 및 현장 전문가들과 소통하며 한 단계 더 성장하는 소중한

기회를 얻기를 바랍니다. 회원 여러분께서도 따뜻한 관심과 아낌없는 격려를 보내주시기 바랍니다.

이번 학술발표회가 연구 성과를 나누는 자리를 넘어, 데이터에 기반한 과학적인 판단과 현장 중심의 실천을 연결하는 뜻깊은 협력의 장이 되기를 희망합니다. 이곳에서 시작된 논의와 만남이 농업 · 농촌의 새로운 변화를 이끄는 구체적인 연구와 정책, 기술로 이어지기를 기대합니다.

끝으로 학술발표회의 성공적인 개최를 위해 정성과 노력을 기울여 주신 전북대학교 지역건설공학과 관계자 여러분과 학술발표회 준비위원회, 각 위원회 여러분께 깊이 감사드립니다. 또한 소중한 연구 성과를 발표해 주시는 회원 여러분과 참석해 주신 모든 분께 다시 한 번 감사의 말씀을 드립니다.

전주에서 함께하는 이번 학술발표회가 새로운 지식과 영감을 나누고, 반가운 분들과 깊은 정을 나누는 풍성한 시간이 되기를 바랍니다. 참석하신 모든 분의 건강과 행복을 기원합니다.

감사합니다.

2026년 10월 29일

사단법인 한국농공학회 회장 **김 상 민**

환 영 사

양 오 봉
전북대학교 총장

한국농공학회 회원 여러분, 산 · 학 · 연 · 관 관계자 여러분, 반갑습니다. 전북대학교 총장 양오봉입니다. 저는 국가교육위원회 위원을 함께 맡고 있습니다. 학술발표회 개최를 축하드리며, 전주를 찾아주신 모든 분을 진심으로 환영합니다. 행사를 준비해 주신 한국농공학회 임원진과 전북대학교 지역건설공학과 관계자 여러분께도 깊이 감사드립니다.

한국농공학회는 1957년 창립 이래 약 70년 동안 농업생산기반과 농촌지역의 발전을 이끌며 우리나라 농공학의 학문적 · 기술적 토대를 다져 왔습니다. 이러한 성과는 회원 여러분의 꾸준한 연구와 현장 실천이 쌓여 이루어진 것입니다.

기후위기와 인구 감소, 디지털 전환은 농업 · 농촌에 새로운 과제를 던지고 있습니다. 그런 점에서 "농공학, 융합 플랫폼이 되다: 데이터 기반의 의사결정과 현장 중심의 실행"이라는 이번 주제는 매우 시의적절합니다. 이제 농공학은 개별 기술의 발전을 넘어, 첨단 기술과 현장 경험을 연결하고 연구 · 산업 · 정책을 아우르는 융합의 구심점이 되어야 합니다.

'지행합일(知行合一)'이라는 말이 있습니다. 앎과 실천이 하나가 되어야 한다는 뜻입니다. 연구로 축적한 지식과 기술이 논문에 머무르지 않고 농업인의 삶과 농촌의 문제를 개선할 때, 학문의 사회적 책임도 실현됩니다. 데이터가 가뭄과 홍수에 대비하는 판단으로, 기술이 농업시설의 안전과 농촌의 생활환경을 개선하는 실행으로 이어져야 합니다.

이번 발표와 토론이 현장에 필요한 해법을 찾는 기회가 되기를 기대합니다. 학생 세션과 경진대회도 젊은 인재들의 도전이 농공학의 미래로 이어지는 무대가 되기를 바랍니다.

우리 전북대학교도 지역거점국립대학으로서 농생명과학과 공학의 융합을 촉진하고, 현장의 문제를 해결하는 연구와 인재 양성에 더욱 힘쓰겠습니다. 한국농공학회와 긴밀히 협력하며 지속가능한 농업 · 농촌의 미래를 만드는 데 책임을 다하겠습니다.

이번 학술발표회가 세대와 분야를 넘어 지혜를 모으고, 연구 성과를 현장의 변화로 이어가는 뜻깊은 자리가 되기를 바랍니다. 학회의 무궁한 발전과 참석하신 모든 분의 건강과 행복을 기원합니다. 감사합니다.

2026년 10월 29일

전북대학교 총장 **양 오 봉**

축 사

한 정 애
더불어민주당 사무총장,
국회물포럼 회장

2026 한국농공학회 학술발표회 개최를 진심으로 축하드립니다.

뜻깊은 자리를 마련해 주신 한국농공학회 김상민 회장님과 관계자 여러분께 감사드립니다. 농공학의 발전을 위해 연구와 실천을 이어오고 계신 학계와 산업계, 현장의 모든 분께도 반가운 인사를 전합니다.

올해 학술발표회의 주제인 '농공학, 융합 플랫폼이 되다'는 데이터에 기반한 의사결정과 현장 중심의 실천이라는, 우리가 나아가야 할 방향을 잘 보여줍니다.

기후위기와 급변하는 농업 · 농촌 환경 속에서 데이터와 첨단기술을 활용해 문제를 정확히 진단하고, 그 해법이 현장에서 실질적인 성과로 이어지도록 하는 일이 중요합니다. 그 과정에서 농공학이 연구와 정책, 기술과 현장을 연결하는 든든한 플랫폼이 되어 주기를 기대합니다.

이번 학술발표회가 새로운 연구 성과와 현장의 경험을 나누고, 농업과 농촌, 물관리의 미래를 위한 실질적인 해법을 함께 모색하는 뜻깊은 자리가 되기를 바랍니다.

다시 한번 학술발표회 개최를 축하드리며, 참석하신 모든 분의 건강과 행복을 기원합니다. 감사합니다.

2026년 10월 29일

국회의원 · 국회 물포럼 회장 **한 정 애**

축 사

송 미 령
농림축산식품부 장관

여러분 반갑습니다. 농림축산식품부 장관 송미령입니다.

2026년 한국농공학회 학술발표회 개최를 진심으로 축하드립니다. 뜻깊은 자리를 마련해 주신 김상민 한국농공학회 회장님과 양오봉 전북대학교 총장님, 그리고 농공학 발전을 위해 뜻을 모아 주신 회원 여러분께 깊이 감사드립니다.

1957년 창립된 한국농공학회는 지난 69년간 안정적인 영농기반 조성과 농촌지역 개발 등을 위한 연구와 기술 개발을 이끌며, 우리 농업 · 농촌 발전의 든든한 버팀목이 되어 왔습니다.

지금 우리 농업 · 농촌은 기후위기와 디지털 전환, 농촌 소멸 등 구조적인 변화의 한가운데에 있습니다. 농업용수 또한 영농을 위한 물을 넘어, 지역과 산업의 성장을 함께 뒷받침하는 다목적 자원으로 그 역할을 넓혀 가야 할 중요한 전환점에 서 있습니다.

올해 정부는 3대 메가프로젝트 계획을 발표하면서 호남권 반도체 클러스터 산업용수 공급을 위해 나주호 용수를 일부 활용하는 계획을 마련하였습니다. 농업과 첨단산업의 연계를 통해 농업용수 기반은 더 나아지고, 지역사회는 더욱 발전하는 새로운 상생의 모델이 될 것입니다.

농업 · 농촌 변화에 맞서 농촌을 국가 균형발전과 에너지 전환의 거점으로 삼아 누구나 살고 싶은 공간으로 만들어 나가고,

농업을 식량 안보를 책임지는 미래 전략산업으로 육성하여 국민 먹거리에 대한 국가의 역할을 강화하겠습니다.

또한, 기후적응형 농업으로의 전환과 재해에 대한 국가책임 강화를 통해 기후위기에 대한 대응 역량도 높여 나가겠습니다.

이번 학술발표회의 주제인 "농공학, 융합 플랫폼이 되다: 데이터 기반의 의사결정과 현장 중심의 실행"은 매우 시의적절한 주제라고 생각됩니다.

농공학이 첨단 데이터 기술과 농업 현장을 잇는 중심 역할을 해 주시기를 바라며, 정부도 연구개발(R&D) 지원을 확대하고 연구 성과가 현장에 신속히 적용되도록 뒷받침하겠습니다.

끝으로, 경진대회와 발표에 참여한 젊은 연구자 여러분께 응원을 보냅니다. 여러분의 도전과 창의적인 아이디어가 농업 · 농촌의 미래를 여는 힘이 될 것입니다. 한국농공학회의 무궁한 발전과 회원 여러분의 건승을 기원합니다. 감사합니다.

2026년 10월 29일

농림축산식품부 장관 **송 미 령**

축 사

김 인 중
한국농어촌공사 사장

안녕하십니까. 한국농어촌공사 사장 김인중입니다.

“2026 한국농공학회 학술발표회” 개최를 진심으로 축하드립니다.

오늘 농공학의 새로운 역할과 미래를 모색하는 뜻깊은 자리를 마련해주신 김상민 한국농공학회 회장님과 임원진, 회원 여러분께 감사드립니다. 아울러 행사를 주관해 주신 전북대학교 관계자 여러분과 참석해 주신 모든 분께 깊은 감사의 말씀을 전합니다.

특히 「농공 학생 창의 아이디어 및 종합설계경진대회」에 참여해 다양한 아이디어를 제시하며 훌륭한 역량을 보여준 학생 여러분께도 축하와 격려의 말씀을 드립니다.

지금 농업 · 농촌을 둘러싼 환경은 어느 때보다 빠르게 변화하고 있습니다. 기후변화는 농업생산기반시설과 수자원 관리에 더 높은 수준의 안전을 요구하고 있으며, 인구 감소와 지역 소멸은 농촌의 지속가능성을 위협하고 있습니다. 동시에 AI, 빅데이터 등 새로운 기술은 농업과 농촌의 문제를 이해하고 해결하는 방식에도 변화를 불러오고 있습니다.

기술이 발전할수록 우리가 활용할 수 있는 데이터의 양은 더욱 빠르게 증가합니다. 그러나 데이터가 많아지는 것만으로는 우리가 마주하고 있는 문제를 해결할 수 없습니다. 필요한 정보를 선별하고 정확히 분석해 더 나은 판단을 내리고, 이를 현장의 실행으로 연결하는 것이 중요합니다. 이번 학술발표회의 주제인 ‘데이터 기반의 의사결정과 현장 중심의 실행’이 더욱 의미 있는 이유이기도 합니다.

이를 위해서는 연구와 현장이 더 가까워져야 합니다. 공사는 그간 현장에서 수자원과 시설물 관련 데이터, 공간정보와 다양한 경험을 축적해 왔습니다. 여기에 학계의 전문적인 연구와 분석이 더해진다면 현장의 문제를 보다 정확히 이해하고 실효성 있는 해법을 찾을 수 있다고 생각합니다.

한국농어촌공사도 디지털 기술과 데이터를 현장에 적극 활용하고 있습니다. AI와 빅데이터를 활용해 농업용수와 농업생산기반시설을 과학적으로 관리하고, 가뭄과 홍수에 선제적으로 대응할 수 있는 체계를 갖춰가고 있습니다. 앞으로 학계의 전문성이 현장의 문제 해결에 활용되도록 협력을 강화하겠습니다.

오늘 논의되는 연구와 사례들이 우리 농업과 농촌이 직면한 문제를 해결할 새로운 해법을 제시하고, 농업용수 관리 및 시설 안전 강화와 우리 농촌의 지속가능한 발전을 이끌기를 기대합니다.

다시 한번 “2026 한국농공학회 학술발표회” 개최를 축하드리며, 김상민 회장님을 비롯한 한국농공학회 회원 여러분의 건승과 학회의 발전을 기원합니다.

감사합니다.

2026년 10월 29일

한국농어촌공사 사장 **김 인 중**

행사장 안내

행사장 안내 | VENUE INFORMATION

세 행사장은 전주한옥마을 인근에 위치합니다.

1 라한호텔 전주 동록처

전주시 완산구 기린대로 85

2 스타트업 라운지 키움공간

전주시 완산구 어진길 32

3 전주한옥마을 황실 관광호텔

전주시 완산구 은행로 22

라한호텔 전주 → 황실 관광호텔

도보 약 4분 (약 292m)

전주의 오늘, 학문의 내일.

행사 일정

- 일시: 10월 28일(수)
- 장소: 스타트업 라운지 키움공간

13:00~15:40	학생경쟁세션 (Student Competition)
15:40~16:00	휴식
16:00~18:00	포닥세션 (Post-Doc Competition)
17:30~18:00	제2차 편찬출판위원회 회의 (인근 식당)
18:00~19:30	제2차 이사회 (인근 식당)

행사 일정

■ 일시: 10월 29일(목)

	라한호텔				호텔 외부
	온고을 (1F)	**기와 (B1)**	**마루 (B1)**	**와당적새 (1F)**	**키움 (대회의실)**
08:00~10:00	장내정리	**구두발표** 농어촌물이용 I (기후변화 대응 물이용)	**특별세션1** 농업분야 물부족대응 분야 워크숍	**구두발표** AI/RS/BigData I (원격탐사)	장내정리
10:00~10:20	휴 식				
10:20~11:30	**개회식 및 시상식 (온고을)** – 개 회 사: 김상민 한국농공학회 회장 – 환 영 사: 양오봉 전북대학교 총장 – 축 사: 한정애 더불어민주당 사무총장 (국회물포럼 회장) 송미령 농림축산식품부 장관 김인중 한국농어촌공사 사장 – 특별강연: 성제훈 국립농업과학원 원장 「AI를 안 쓸 수가 있나」 – 시상식				
11:30~11:50	**임시총회 (온고을)**				
11:50~13:00	**점 심 (개별식사)**				
13:00~13:30	**[포스터세션1: 로비]** 농업농촌환경 I (수질 및 유역관리) (1) (2) 농촌계획 및 법/정책/거버넌스 (1) (2)				
13:30~13:40	휴 식				
13:40~15:40	장내정리	**13:40~15:10** **특별세션2** 농지 피복변화 탐지를 위한 위성영상 활용 워크숍	**13:30~15:40** **특별세션3** 「기후변화대응 지능형농업 기반관리기술 개발(R&D)」 지식공유 워크샵	**13:30~16:10** **특별세션4** 미세먼지 저감을 위한 농업분야 대응강화 기술개발	**구두발표** AI/RS/BigData II (AI/머신러닝)
15:40~15:50	휴 식				

행사 일정

■ 일시: 10월 29일(목)

<table>
<tr><th></th><th colspan="4">라한호텔</th><th>호텔 외부</th></tr>
<tr><th></th><th>온고을
(1F)</th><th>기와
(B1)</th><th>마루
(B1)</th><th>와당적새
(1F)</th><th>키움
(대회의실)</th></tr>
<tr><td>15:50~16:20</td><td rowspan="3">16:00~17:50
특별세션5
기후위기 시대의 농업용수 및 수리시설, 이대로 안전한가? – 극한 호우, 가뭄 대비 인프라 전면 개편 방안 –</td><td colspan="4">[포스터세션2: 로비]
AI/RS/BigData (1) (2)
농어촌물이용 I (기후변화 대응 물이용)
물안전 I (홍수 및 침수 해석)</td></tr>
<tr><td>16:20~16:30</td><td colspan="4">휴 식</td></tr>
<tr><td>16:30~18:00</td><td>구두발표
농어촌물이용 II
(관개배수공학)
1/2</td><td>특별세션6
농업용수 전주기 조사 · 관리를 통한 최적 활용 방안</td><td>특별세션7
새만금 방조제 지진시 긴급 안전성 평가 기술</td><td>구두발표
농어촌물이용 II
(관개배수공학)
2/2</td></tr>
<tr><td>18:00~18:10</td><td colspan="5">휴 식</td></tr>
<tr><td>18:10~20:00</td><td colspan="5">만찬 (온고을)</td></tr>
</table>

행사 일정

■ 일시: 10월 30일(금)

	라한호텔				호텔 외부	
	온고을 (1F)	기와 (B1)	마루 (B1)	와당적새 (1F)	키움 (대회의실)	황실
09:00~09:40	[포스터세션3: 로비] 구조 재료 및 시공 농업농촌환경 Ⅱ (토양 및 비료/양분) 물안전 Ⅱ (저수지 및 수리수문) 스마트시설농업					
09:40~10:00	휴 식					
10:00~12:00	**특별세션8** 기후 및 작부체계 변화에 따른 농경지 양분유출, 농업용수 수질영향 · 취약성 평가 및 적응기술 개발	**특별세션9** 기후위기 대응 안정적인 농업용수 확보를 위한 지하수자원 확보시설의 역할	**특별세션10** 다목적 농업자원 (물·에너지)을 활용한 국가 첨단산업 발전 방안	**특별세션11** (Global mode "ON") K-농공기술 글로벌협력 성과와 전망	**특별세션12** 노지 재배작물 스마트영농 테스트베드 구축 및 통합관리 시스템 개발	**특별세션13** 2026년 농업생산기반시설 건설기준 고도화 연구
12:00~13:10	점심 (개별식사)					
13:10~13:50	[포스터세션4: 로비] AI/RS/BigData (3) 농어촌물이용 Ⅱ (관개배수공학) (1) (2) 지반 및 기초공학					
13:50~14:00	휴 식					
14:00~16:30	**구두발표** 물안전 (홍수 및 침수 해석)	**구두발표** 농업농촌 환경 Ⅰ (수질 및 유역관리)	**구두발표** 농업농촌 환경 Ⅱ (토양 및 비료/양분)	**구두발표** 지반 및 기초공학	**구두발표** 구조, 재료 및 시공	**구두발표** 스마트 시설농업
16:30~17:00	폐 회 식 (온고을)					

특별세션 1

세션명	농업분야 물부족대응 분야 워크숍
일시	2026년 10월 29일(목) 08:00~10:00
장소	마루

■ 발표자 및 발표제목

시간	발표제목	발표자(소속)	좌장(소속)
08:00~08:30	토양유효수분율 기반 밭가뭄 모형 고도화 및 예경보 시스템 구축	조희래 (국립농업과학원)	박찬원 과장 (국립농업과학원)
08:30~09:00	노지 밭작물 비료 사용 및 물 사용 처방 프로그램 고도화	손정우 (국립농업과학원))	
09:00~09:30	통합정보 기반 밭작물 최적 생육을 위한 스마트 관개제어시스템	이상훈 (국립식량과학원)	
09:30~10:00	물부족 대응 주요 채소 생체정보 모니터링 기법을 활용 정밀 양수분 관리시스템 개발	임미영 (국립원예특작과학원)	

특별세션 2

세션명	농지 피복변화 탐지를 위한 위성영상 활용 워크숍
일시	2026년 10월 29일(목) 13:40~15:10
장소	기와

■ 발표자 및 발표제목

시간	발표제목	발표자(소속)	좌장(소속)
13:40~13:50	차세대중형위성4호(농림위성) 현황 및 활용 계획	나상일 (국립농업과학원)	곽근호 (국립농업과학원)
13:50~14:10	위성영상 기반 농경지 경작 및 휴경 판별 기술 개발	류재현 (국립농업과학원)	
14:10~14:25	위성영상 · AI 기반 농업시설 탐지 및 분류 모델 개발	신승수 (메이사)	
14:25~14:40	레이더 영상 기반 농경지 피복변화 탐지 기술 개발	정한철 (연세대학교)	
14:40~14:55	시공간 자료 확장을 위한 위성 영상 융합 기술 개발	최철웅 (부경대학교)	
14:55~15:10	농업위성정보 시스템 시작품 구축 및 기본산출물 서비스	엄우학 (올포랜드)	

특별세션 3

세션명	「기후변화대응지능형농업기반관리기술개발(R&D)」 지식공유 워크샵
일시	2026년 10월 29일(목) 13:30~15:30
장소	마루

■ 발표자 및 발표제목

시간	발표제목	발표자(소속)
13:30~13:35	개회 · 참석자 소개 / 인사말	농식품부
13:35~13:50	**[세미나]** 선진국 최신 연구동향 및 미래기술	도종원 (한국농어촌공사)
13:50~14:30	**[과제 발표(4)]** 농업기반시설재해안전관리첨단화 내역사업	
	① 미래 기후변화 및 복합영농 시나리오를 고려한 맞춤형 배수개선 기술 개발	이광야 (충남대학교)
	② 저수지 홍수범람 예측 및 D.N.A. 기반 최적 스마트 운영관리 플랫폼 개발	강문성 (서울대학교)
	③ 통합형 농업용저수지 모듈식 재해 모니터링 센서 및 디지털트윈 기반의 저수지 재해 관리 플랫폼 개발	이백 (한국농어촌공사)
	④ 농업기반시설의 멀티모달 (multi-modal) 기반 안전관리 및 CSG (Cemented Sand and Gravel)에 의한 저수지 축조 기술 개발	허준 (한국농어촌공사)
14:30~14:50	**[과제 발표(2)]** 농업수자원통합적이용 · 관리효율화 내역사업	
	⑤ 빅데이터 기반 극한 가뭄 대비 효율적 농업용수 관리 기술 개발	남원호 (한경국립대학교)
	⑥ 지능형 AI 기반의 범용농지 통합물관리 기술	김성준 (건국대학교)
14:50~15:20	**[토론]** 연구 실용화를 위한 활용방안(좌장: 이승헌 연구원장) ① 농식품부 김성률 서기관, ② 충북대 맹승진 교수, ③ K-Water 이을래 수석연구원, ④ 농어촌연구원 전수칠 부장 *연구과제 질의응답 포함	토론자 및 참석자 전원
15:20~15:30	기념 촬영 및 마무리	농기평

특별세션 4

세션명	미세먼지 저감을 위한 농업분야 대응강화 기술개발
일시	2026년 10월 29일(목) 13:30~16:10
장소	와당적새

■ 발표자 및 발표제목

시간	발표제목	발표자(소속)	좌장(소속)
13:30~13:55	농업지역 대기 암모니아 및 대기질 모니터링 연구	서일환 (전북대학교)	김이현 (국립농업과학원)
13:55~14:20	농업지역에서 초미세먼지 생성기작 구명 및 영향평가 연구	배민석 (목포대학교)	
14:20~14:45	영농부산물 소각에 의한 미세먼지 배출특성 구명 및 배출계수 개발	김민욱 (국립농업과학원)	
14:45~15:10	밭작물 재배시 국가고유 암모니아 배출계수 고도화 및 저감기술 개발	박성직 (한경대학교)	
15:10~15:40	벼 재배시 국가고유 암모니아 배출계수 고도화 및 저감기술 개발	김상윤 (순천대학교)	
15:40~16:10	미세먼지가 농업에 미치는 사회 · 경제적 영향평가 연구	윤상후 (전남대학교)	

특별세션 5

세션명	기후위기 시대의 농업용수 및 수리시설, 이대로 안전한가? – 극한 호우, 가뭄 대비 인프라 전면 개편 방안 –
일시	2026년 10월 29일(목) 16:00~17:50
장소	온고을

■ 발표자 및 발표제목

시 간	주 요 내 용	비 고
16:00~16:05	‣ 개회 및 행사안내	사회: 오석주 단장 (기후변화정책추진단)
16:05~16:10	‣ 인사 말씀	
16:10~16:30	‣ 발표1 주제: 농업 · 농촌이 직면한 기후위기 영향 (서울대학교 남재철)	
16:30~16:50	‣ 발표2 주제: 기후변화 내제화를 위한 농업 SOC 계획 및 관리 방안 (전남대학교 유승환)	
16:50~17:40	‣ 종합토론 토론자: 김상민 회장 (한국농공학회, 경상국립대학교) 이희삼 단장 (농촌진흥청) 성재훈 단장 (한국농촌경제연구원) 정선희 책임연구원 (한국환경연구원) 임병희 사무총장 (한국쌀전업농 중앙연합회) 강정현 사무총장 (한국농촌지도자 중앙연합회)	좌장: 김인중 사장 (한국농어촌공사)

특별세션 6

세션명	농업용수 전주기 조사 · 관리를 통한 최적 활용 방안
일시	2026년 10월 29일(목) 16:30~18:00
장소	마루

■ 발표자 및 발표제목

시간	발표제목	발표자(소속)
16:30~16:35	개회 및 참석자 소개	사 회: 박진오 과장 (한국농어촌공사)
16:35~16:50	농촌용수 관리계획 추진 방향	하태현 부장 (한국농어촌공사)
16:50~17:05	농업용수 흐름을 계측하고 관리하다	남원호 교수 (한경국립대학교)
17:05~17:20	항공센서를 활용한 농업용저수지 내용적 산출 및 관리방안	허현수 상무 (㈜지오스토리)
17:20~17:35	미국 농업용수 관리계획 운영 현황 및 시사점	도종원 차장 (한국농어촌공사)
17:35~17:55	질의응답 및 종합 토론	참석자 전원
17:55~18:00	폐회	참석자 전원

특별세션 7

세션명	새만금 방조제 지진시 긴급 안전성 평가 기술
일시	2026년 10월 29일(목) 16:30~18:10
장소	와당적새

■ 발표자 및 발표제목

시간	발표제목	발표자(소속)	좌장(소속)
16:30~16:40	새만금 방조제 지진 안전성 평가 기술 연구 배경	백원엽 차장 (한국농어촌공사)	전상옥 (한국농어촌공사)
16:40~17:00	가속도 이중적분 기반 최대변위응답 추정 알고리즘 개발 및 검증	권민호 교수 (경상국립대학교)	
17:00~17:20	원심모형 기반 물리모델과의 비교를 통한 제방 비선형 동적수치모델 검증	박두희 교수 (한양대학교)	
17:20~17:40	원심모형실험을 활용한 제방 구조물의 지진지반운동 증폭 평가	권태혁 교수 (KAIST)	
17:40~18:00	액상화 간편평가방법을 활용한 방조제 액상화 위험구간 평가	강윤 박사 (TSC㈜)	
18:00~18:10	해안 방조제 및 배수갑문 시설의 지진시 긴급 점검 매뉴얼 개발	신동훈 박사 (TSC㈜)	

특별세션 8

세션명	기후 및 작부체계 변화에 따른 농경지 양분유출, 농업용수수질 영향 · 취약성 평가 및 적응기술 개발
일시	2026년 10월 30일(금) 10:00~12:00
장소	온고을

■ 발표자 및 발표제목

시간	발표제목	발표자(소속)	좌장(소속)
10:00~10:20	전국 시군단위 농경지 양분유출, 농촌유역 수질 기후변화 영향 · 취약성 및 적응 통합 평가체계 구축	엽소진 (국립농업과학원)	이병모 연구관 (국립농업과학원)
10:20~10:40	필지단위 모델 활용, 농경지 양분유출 영향 · 취약성 평가 및 농경지 최적관리기술 평가	홍은미 (강원대학교)	
10:40~11:00	농촌유역 수질 기후변화 영향 · 취약성 평가 및 적응기술 동적 시각화 시스템 개발	남원호 (국립한경대학교)	
11:00~11:20	기후변화를 고려한 빅데이터 AI 기반 메타모델링 기술 개발	김태곤 (전북대학교)	
11:20~12:00	종합토론		

특별세션 9

세션명	기후위기 대응 안정적인 농업용수 확보를 위한 지하수자원 확보시설의 역할
일시	2026년 10월 30일(금) 10:00~12:00
장소	기와

■ 발표자 및 발표제목

시간	발표제목	발표자(소속)	좌장(소속)
10:00~10:10	시설농업단지의 동절기 용수부족 대응을 위한 지하수 함양사업	김민지, 이병선, 백미경, 이규상(한국농어촌공사 지하수지질처)	백미경 (한국농어촌공사)
10:10~10:50	단목 시설재배단지 지하수 인공함양 사업의 타당성 평가	장민원[1], 명우호[2], 김상민[1], ([1]경상국립대학교 지역시스템공학과 · 농업생명과학연구원, [2]한국농어촌공사 경기지역본부)	
10:50~11:00	경남 하동 시설재배단지에서 분지형 지하수 함양 시험 연구	이병선[1], 서상진[2], 김민지[1], 용환호[3], 백미경[1], 이규상[1] ([1]한국농어촌공사 지하수지질처, [2]한국농어촌공사 경남지역본부, [3]한국농어촌공사 농어촌연구원)	
11:00~11:10	가뭄 극복을 위한 물부족 지역의 지하수댐 설치 및 운영 효과 분석	용환호 (한국농어촌공사 농어촌연구원)	이병선 (한국농어촌공사)
11:10~11:20	지하수댐 설치를 통한 수자원 확보사례 : 속초시 쌍천 제2지하수댐	김진호[1], 김명주[1], 차용호[1], 이규상[2] ([1]한국농어촌공사 강원지역본부, [2]한국농어촌공사 지하수지질처)	
11:20~12:00	지하수댐 저류구역 내 방사형집수정의 설치 및 유지관리 방안	손용일, 안중혁, 정재민 (다주건설(주))	

특별세션 10

세션명	다목적 농업자원(물 · 에너지)을 활용한 국가 첨단산업 발전 방안
일시	2026년 10월 30일(금)10:00~12:00
장소	마루

■ 발표자 및 발표제목

시간	내 용	비고
10:00~10:10	‣ 인사 말씀	수자원관리이사 한국농공학회장
10:10~10:55	‣ 주제발표(가제)	
	(발제1) 한국농어촌공사 에너지 대전환 추진방향	조경진 부장 (에너지기획부장)
	(발제2) 재생에너지 전환 사례별 경제성 분석	김윤형 교수 (전남대학교)
	(발제3) 농촌지역의 지속 가능한 통합자원 관리	이상현 교수 (충북대학교)
10:55~11:00	‣ 단상정리	
11:00~11:50	‣ 종합패널토론 좌장: 최현수 (한국농어촌공사 수자원관리이사) 토론자: 김상민 (한국농공학회장), 이승헌 (농어촌연구원장), 윤성은 (한국농어촌공사 농어촌에너지처장), 채광석 (한국농촌경제연구원 기후환경연구실장)	발제자 포함 8인
11:50~12:00	‣ 종합강평	수자원관리이사
12:00~13:00	‣ 참석자 오찬	참석자

특별세션 11

세션명	(Global mode "ON") K-농공기술 글로벌협력 성과와 전망
일시	2026년 10월 30일(금) 10:00~12:00
장소	와당적새

■ 발표자 및 발표제목

시간	발표제목	좌장(소속)
10:00~10:10	‣ 개회 및 참석자 소개	
10:10~10:20	‣ 한국농어촌공사 글로벌협력(해외사업)의 이해	박명수 (한국농어촌공사)
10:20~10:30	‣ 농업 ODA사업의 변화와 전망 : KRC사업을 중심으로	손정호 (도화엔지니어링)
10:30~10:40	‣ 기후변화 리스크 기반 중앙아시아 농업용저수지의 기능 강화 방안: 키르기스스탄 칠리사이 저수지 사례 중심으로	위승욱 (한국종합기술)
10:40~10:50	‣ 해외사업 현황 및 진출방향	문용주 ((주)삼안)
10:50~11:05	‣ Q&A	
11:05~11:15	‣ FAO(국제연합 식량농업기구) 파견 경험을 통해 본 K-농공기술의 글로벌협력 가능성	박정선 (한국농어촌공사)
11:15~11:25	‣ GGGI(글로벌녹색성장기구) 파견을 통한 농업분야 글로벌 협력과 公社의 역할	최희진 (한국농어촌공사)
11:25~11:35	‣ WorldBank에서 한국 농공전문가의 역할: 세계은행 선임관개배수 전문가	김춘진 (한국농어촌공사)
11:35~11:50	‣ Q&A	
11:50~12:00	‣ 기념촬영 및 폐회	

특별세션 12

세션명	노지 재배작물 스마트영농 테스트베드 구축 및 통합관리시스템 개발
일시	2026년 10월 30일(금) 10:00~13:00
장소	키움(대회의실)

■ 발표자 및 발표제목

시간	발표제목	발표자(소속)	좌장(소속)
10:00~10:30	밭 재배작물(콩, 배추, 고추, 무) 테스트베드 구축 및 스마트기술 적용	김종전 (공간정보)	조정건 (농촌진흥청)
10:30~11:00	작물 생육 계측을 위한 휴대용 영상 계측 시스템 개발 및 적용	김석원 (아이티컨버전스)	
11:00~11:30	벼 시계열 노지 표현체 데이터 활용 생산량 예측 및 스트레스 진단 방법 개발	장성율 (식량원 재배생리과)	
11:30~12:00	데이터 기반 스마트농업 구현을 위한 자율농기계 및 정밀작업기술 개발	정용준 (대동)	
12:00~12:30	디지털 과원 기반 지능형 과수 전정로봇	이경환 (전남대학교)	
12:30~13:00	배 스마트영농 통합관리시스템 개발	양웅 (국립원예특작과학원)	

특별세션 13

세션명	2026년 농업생산기반시설 건설기준 고도화 연구
일시	2026년 10월 30일(금) 10:00~12:00
장소	황실관광호텔 회의실

■ 발표자 및 발표제목

시간	발표제목	발표자(소속)	좌장(소속)
10:00~10:20	2026 농업생산기반시설 건설기준 고도화 연구	이백 (한국농어촌공사)	전상옥 (한국농어촌공사)
10:20~10:40	농업생산기반시설 건설기준 4편 개정 내용 – 취입보, 해면간척 등	박찬기 (공주대학교)	
10:40~11:00	스마트농업 대응 농도 세부설계 고도화 연구	박영준 (한국농어촌공사)	
11:00~11:20	기후변화 시나리오 기반 농지 배수 세부설계 고도화 연구	이재남 (한국농어촌공사)	
11:20~11:40	농업생산기반시설의 치수기능 강화를 위한 홍수 위험도 평가체계 구축 방안 연구	심규현 (한국농어촌공사)	
11:40~12:00	농업생산기반시설 설계기준의 실무 활용성 증대를 위한 연구	이봉국 (한국농어촌공사)	

학생경쟁세션(Student Competition)

10월 28일(수) 13:00~15:40	스타트업 라운지 키움공간	**좌장: 장민원 교수, 김동근 교수**

■ **발표자 및 발표제목**

13:00~13:12 환경생태유량 지수를 이용한 낙동강유역 수생태계 건강성 취약지점 환경생태가뭄 평가
나규동(강원대학교)

13:12~13:24 CE-QUAL-W2를 활용한 온대 저수지의 용존산소 최소층 형성에 미치는 영향 연구
염호정(강원대학교)

13:24~13:36 위성영상을 활용한 북한 미계측 저수지의 시계열 저수량 추정
이시훈(한경국립대학교)

13:36~13:48 CALPUFF를 이용한 축사 밀집지역의 암모니아 대기 확산 평가 및 배출계수 검토
임준홍(전남대학교)

13:48~14:00 양돈시설 악취배출량 보정계수 도입을 위한 국내외 산정방법 비교 분석
이민영(전북대학교)

14:00~14:12 양돈시설 악취 확산 평가를 위한 풍하측 현장측정 및 기상조건 분석
안우혁(전북대학교)

14:12~14:24 MODIS 기반 토양수분 및 가뭄지수를 활용한 국내 농업가뭄 모니터링: 2022-2025년 주요 가뭄사상의 시공간 분석
이현진(건국대학교)

14:24~14:36 RCD 공법을 적용한 CSG댐 표면보호 콘크리트의 혼화재 혼입에 따른 최적 배합비 제안
이소희(충남대학교)

14:36~14:48 Sentinel-1/2 위성영상을 활용한 전국 논벼 이앙·수확 시기의 공간분포 및 연차변동 분석
최혁재(한경국립대학교)

14:48~15:00 3차원 연결요소 분석을 활용한 북한 가뭄 클러스터의 생애주기 특성 분석
신현욱(한경국립대학교)

15:00~15:12 Changes in Deformation Characteristics of Earthfill Dam Before and After Foundation Grouting Using PS-InSAR
은완코 조나단 치부에즈(경북대학교)

15:12~15:24 결측보간에 따른 새만금유역 일수위시계열의 군집구조 변화분석
이정(전북대학교)

15:24~15:36 어류 서식처 특성과 유역특성을 활용한 XAI 기반 표준유역별 환경생태유량 산정
전원준(건국대학교)

포닥세션(Post-Doc Competition)

10월 28일(수) 16:00~18:00	스타트업 라운지 키움공간	**좌장: 장안진 교수, 김동현 교수**

■ **발표자 및 발표제목**

16:00~16:20 양돈 에너지수지 해석을 위한 통합 모니터링 시스템 구축 및 기초데이터 확보
서효재(전북대학교)

16:20~16:40 머신러닝 기반 저수율 예측과 용수공급능력 평가를 통한 농업용 저수지 운영기준 개발
양미혜(한경국립대학교)

16:40~17:00 항공 방제 농약 비산 예측을 위한 머신러닝 기반 모델 개발
이세연(전남대학교)

17:00~17:20 농촌 침수재난의 시설물 안전과 인명 대피를 위한 물리기반 의사결정 프레임워크
이종혁(경북대학교)

17:20~17:40 Global Rice Production under Extreme Climate Events: Insights from an Ensemble Deep Learning Approach
무하마드 와카스(경상국립대학교)

17:40~18:00 지하매설물 특성을 고려한 AI 기반 도심지 지반함몰 위험도 분석 및 공동탐사 우선순위선정 방안
이성열(한국건설기술연구원)

경진대회 수상작 전시

■ 제2회 AI학생경진대회 수상작

수상	소속	팀명	주제
농림축산식품부 장관상	경북대학교	GreenPINN	PINN 기반 온실 내 미계측 공간의 생육환경 예측 및 최적제어 플랫폼
한국농어촌공사 사장상	전북대학교	SDA	멀티모달 AI 기반 지능형 농업 의사결정 지원 서비스
한국농어촌공사 사장상	충북대학교	CIL2026	CFD 및 심층강화학습 기반 현장 적용형 자율 관개 시스템 개발
한국농공학회장상	서울대학교	TacTree	유한요소 접촉해석과 기계학습 기반 농업용 그리퍼 미끄러짐 감지 촉각센서 최소 사양 도출
한국농공학회장상	경상국립대학교	LAWA	로컬 AI를 이용한 수자원 어시스턴트 개발

■ 제5회 농공학생 창의아이디어 및 종합설계 경진대회 수상작

수상	소속	팀명	주제
농림축산식품부 장관상	전남대학교	AFEL	딥러닝 기반 산란계 이상분변 인식 및 발생 위치 역추적 알고리즘
한국농어촌공사 사장상	충북대학교	문턱 너머	농촌 마을의 고령 친화적 이용환경 개선을 위한 유니버셜 디자인 재설계
한국농어촌공사 사장상	충북대학교	Common Flow	관광지 비상주인구 변동을 반영한 농업용 저수지 용수공급 위험 조기예측 모델
한국농공학회장상	전북대학교	SDA	디지털 트윈 기반 스마트 온실 제어 시스템
한국농공학회장상	경북대학교	IFS DRONE	드론 기반 유휴 농업용 저수지 수상태양광 최적 설계 솔루션

구두 발표

■ AI/RS/BigData I (원격탐사)

A-O-1

10월 29일(목) 08:00~10:00	와당적새	좌장: 김수진 박사(서울대)

8:00~8:15 관개 수준에 따른 UAS 기반 작물 수관 온도의 시간대별 변화
장안진(미시건주립대)

8:15~8:30 무인기 다중분광 영상을 이용한 가을배추 개체 분할 계열별 다시기 추적 및 개체 지수 분석
고승환(충북대학교), 박종화

8:30~8:45 Sentinel-1 및 Sentinel-2 시계열 영상을 활용한 머신러닝 기반 논콩 재배지 분류 모델 개발
정재영(전북대학교), 이경도, 김태곤

8:45~9:00 자기지도 사전학습 기반 농업용 저수지 UAV LiDAR 점군의 의미론적 분할
김민재(서울대학교), 이종혁, 서병훈, 김동수, 서예진, 조예림, 심지민, 최원

9:00~9:15 Sentinel-1 SAR 기반 작물 생육 및 농업용 저수지 수문 거동을 활용한 국내 벼 수확량 예측
정지훈(건국대학교), 김용원, 이용관, 전원준, 김성준

9:15~9:30 시계열 Sentinel-1, Sentinel-2 영상과 머신러닝을 이용한 작물 분류 모델 개발
장성주(서울대학교), 이혁진, 송인홍

9:30~9:45 초분광 영상을 이용한 콩의 생육단계별 과습 및 한발 스트레스 진단
이혁진(서울대학교), 장성주, 윤신후, 송인홍

9:45~10:00 Sentinel-2 시계열 식생지수와 Random Forest를 이용한 계절형 온실 분류
이은소(경상국립대학교), 김시현, 김호연, 정민규, 정우영, 김수진, 장민원

■ AI/RS/BigData II (AI/머신러닝)

A-O-2

10월 29일(목) 13:40~15:40	키움(대회의실)	좌장: 이상익 교수(경북대)

13:40~13:55 TFT와 LSTM을 이용한 미호강 중권역 하천유량 예측성능 비교
박성재(서울대학교), 김시내, 곽지혜, 박수환, 강문성

13:55~14:10 생육시기별 관측 횟수에 따른 겨울밀 수량 및 단백질 함량 예측 성능 평가
박현수(전북대학교), 김동현, 청리광, 장태일

14:10~14:25 유한요소 접촉해석 기반 연약 농산물 파지 안정도 추정을 위한 촉각 센서 요구 사양 도출
박정민(서울대학교), 서예진, 최원

14:25~14:40 협업형 AI 에이전트 기반 농업용수 분석·의사결정지원 플랫폼의 설계와 적용
김태유(경북대학교), 박은규, 박장원

14:40~14:55 생육단계별 생육 및 토양수분 정보를 활용한 소표본 머신러닝 기반 겨울밀 단백질 예측 및 관리방안 평가
청리광(전북대학교), 김동현, 장태일

14:55~15:10 머신러닝 모델을 활용한 데이터 부족 농업용 저수지의 저수량 장기전망 신뢰성 평가
게지무 겔루 오토로(경북대학교), 아데이 쿠두스, 최경숙

15:10~15:25 AI 기반 개체별 맞춤형 팜 로봇의 최적 관수 지점 선정 기법
김미소(서울대학교), 메이스 하와리, 김유안, 서교

15:25~15:40 IPA 기법을 활용한 농업용수관리자동화 사업의 현장 수용성 진단 및 기술 고도화 요구도 분석
진영규(농어촌연구원), 신형진, 이재남, 신안국, 김관호

■ 농어촌물이용 I (기후변화 대응 물이용)

C-O-1

10월 29일(목) 08:00~10:00	기와	좌장: 김지혜 박사(서울대)

8:00~8:15 관개수로 수문 개도율에 따른 수로 유량 및 필지별 용수공급 변화
신석호(충남대학교)

8:15~8:30 물 공급 취약지역의 가뭄영향 평가 및 예측 기술 개발
이희진(한경국립대학교), 남원호, 신현욱, 김태웅

8:30~8:45 DSSAT 모형을 활용한 미래 기후변화에 따른 양배추 수확량 및 증발산량에 미치는 영향 평가
오광스티븐(전북대학교), 박현수, 김지성, 장태일

8:45~9:00 극한 가뭄 대응을 위한 딥러닝 기반 논 벼 최적관개시점 판단 모델 개발
김설민(충북대학교), 송석호, 안치용, 송철민

9:00~9:15 미래기후에서 암거배수 설계에 따른 과잉수분 및 가뭄 스트레스 평가
이주성(서울과학기술대학교), 티말신아해리반샤, 황순호, 바타라이라빈, 정한석

9:15~9:30 한국의 복합 가뭄-폭염 전망을 위한 전이성 기반 CMIP6 앙상블 선정
아데이 쿠두스(경북대학교), 최경숙

9:30~9:45 전국 시군 단위 농업가뭄 영향과 다중시간척도 가뭄지수의 선행·지체 관계 분석
서준영(한경국립대학교), 남원호, 문영식, 전민기, 김상단

9:45~10:00 기후변화 시나리오 기반 농업생산기반시설미래 가뭄·홍수 기후안전도 평가방법론 마련
주동혁(전남대학교), 나라, 김하영, 김소연, 박달주, 신용덕, 유승환

■ 농어촌물이용 II (관개배수공학)

C-O-2

10월 29일(목) 16:30~18:00	기와	좌장: 장민원 교수(경상대)

16:30~16:43 경험적 누적분포함수와 K-평균 군집분석을 활용한 강화군의 EVI2기반 논 물마름 평가기준 구축 및 적용성 평가
박수환(서울대학교), 김시내, 오서주, 박선재, 강문성

16:43~16:56 농업용수 공급량 원단위 산정체계 개선에 따른 수요량 변화 분석
윤동현(한경국립대학교), 남원호, 김한중, 하태현, 김상우

16:56~17:09 수리모형 실험 및 관망해석을 통한 농업용 관수관로의 유량 분배와 수리특성 분석
임재휘(충남대학교), 안현욱, 구현승

17:09~17:22 저수지 수위 기반 유입량 추정방법과 GR4H를 활용한 농업용 저수지 시간 단위 연속 유입량 산정
강석훈(충남대학교), 송정헌

17:22~17:35 Pareto 최적해 기반 관개수로 수문의 반응특성 분석 및 운영 의사결정정보 도출
신지현(한경국립대학교), 남원호, 윤동현

17:35~17:48 미계측 농업용 저수지의 장기 유입량 복원을 위한 물수지 및 강우-유출 모델링 통합 접근
라흐몬 아비오던 살라우(경북대학교), 최경숙

17:48~18:00 물수지 방정식 기반 미계측 손실항 도입을 통한 저수지 유입량 추정 기법
곽지혜(서울대학교), 김지혜, 김시내, 박성재, 안재영, 박선재, 박수환, 강문성

■ 농어촌물이용 II (관개배수공학)

C-O-3

10월 29일(목) 16:30~18:00	키움(대회의실)	좌장: 김동현 교수(전북대)

16:30~16:43 농업용 저수지 역할 다원화에 따른 Dynamic MOES 기반 실시간 운영 의사결정 지원 기법
김지혜(서울대학교), 강문성

16:43~16:56 요르단의 물 생산성 공간 분포 평가
Mais Hawari(서울대학교), 김유안, 김미소, 서교

16:56~17:09 SWMM을 이용한 국내 밭 필지 단위에서의 기후변화에 따른 작물 증발산량 및 관개용수 공급 시나리오 영향 분석
박용진(건국대학교), 이용관, 정지훈, 이현진, 김성준

17:09~17:22 국내 농공학계 논의와 일본 사례를 통해 본 농업생산인프라의 과제
허건(한국농어촌공사), 박영진, 서상기, 박영준

17:22~17:35 물관리에서 존재론적 환경론: 균형 기반 통합 패러다임
노재경(충남대학교)

17:35~17:48 APEX 모형을 활용한 간척농지의 포장경사별 수문 및 작물 스트레스 반응 분석
이예준(한경국립대학교), 남원호, 박성규, 정재학, 곽진협, 이광승

17:48~18:00 농업·수문 분석을 위한 CHIRTS-ERA5 격자 기온자료의 국내 적용성 평가
문영식(한경국립대학교), 남원호, 양미혜, 김태웅

■ 구조, 재료 및 시공

B-O-1

10월 30일(금) 14:00~16:15	키움(대회의실)	좌장: 최진석 교수(강원대)

14:00~14:15 고로슬래그와 폐디스플레이유리분말을 활용한 알칼리 활성 무시멘트 결합재의 역학 및 반응 특성
유일환(전북대학교), 박나영, 이재규, 신장원, 이호영, 이동규

14:15~14:30 산업부산물을 활용한 CSG 콘크리트의 강도 특성 평가
구재혁(국립공주대학교), 신종호, 이준수, 조상민, 박상혁, 박채영, 최유진, 박찬기

14:30~14:45 건설기준 검토를 위한 온톨로지 기반 질의응답 시스템
조예림(서울대학교), 서병훈, 김동수, 서예진, 심지민, 김민재, 최원

14:45~15:00 드론LiDAR횡단프로파일의미분해석을이용한제방사면종단균열판별기법
한일우(경북대학교), 이상익, 이종혁, 나욱호, Anis Rabiu, 곽찬우, 김서윤, 류현, 전다현, 반채원

15:00~15:15 풍압 적용방식에 따른 개방형 비가림시설 골조의 구조거동 특성
김동수(서울대학교), 서병훈, 서예진, 조예림, 최원

15:15~15:30 가중치 설정을 적용한 Taguchi Method 기반 콘크리트 배합 최적화
최진수(충남대학교), 이재환, 구자현, 이소희, 이지환, 신현오

15:30~15:45 김정은 시기 북한의 시멘트 생산현황과 전망
김관호(농어촌연구원)

15:45~16:00 중동 기후 조건에서 온실 구조 유형에 따른 냉·난방 부하 특성의 BES 기반 비교 분석
강성하(경상국립대학교), 라쉬드 아드난, 유재민, 로딜리아스 넬슨 주니어, 김가은, 박성조, 여욱현

16:00~16:15 굴 패각 소성점토 시멘트 모르타르의 온도에 따른 강도 발현 특성 분석
이원영(서울대학교), 손영환, 조상범, 최종민

■ 농업농촌환경 I (수질 및 유역관리)

D-O-1

10월 30일(금) 14:00~16:30	기와	좌장: 박윤식 교수(공주대)

14:00~14:15 RUSLE와 지자체별 적응 능력을 고려한 대한민국 소유역별 토양침식 취약성 평가 및 기여도 분석
오서주(서울대학교), 김시내, 강문성

14:15~14:30 질소 시비에 따른 농경지 암거배수 시스템의 공간 규모별 수문학적 반응 및 질산성질소 유출 평가
김민아(서울과학기술대학교), 정한석

14:30~14:45 APEX 모델을 이용한 국내 밭 주요 작물 유형별 최적관리기법(BMPs) 효과 분석
안진혁(강원대학교), 정세윤, 안용빈, 최순군, 홍은미

14:45~15:00 농지범용화 시나리오에 따른 담수호 유역 유출·수질 변화 분석을 위한 GraphWaveNet 기반 대리모델 개발
김시내(서울대학교), 김지혜, 곽지혜, 강문성

15:00~15:15 APEX-Paddy 모형을 이용한 미래 기후변화 시나리오 기반 최적관리기법 적용에 따른 논 총질소 유출부하량 변동성 평가
안용빈(강원대학교), 홍은미, 최순군, 박형진, 안진혁

15:15~15:30 SWAT+ 모형을 활용한 미래 기후 시나리오에 따른 농촌 소유역 수문·수질 반응의 공간변동성 분석
김민진(한경국립대학교), 남원호, 정재학, 홍은미, 김태곤, 김성준, 엽소진, 전상민, 최순군, 허승오

15:30~15:45 장기간 토지이용 변화에 따른 영산강상류 유역의 유황 변화 평가
김용원(건국대학교 아시아시설물연구센터), 정지훈, 이용관, 박용진, 김성준

15:45~16:00 SWAT과 강화학습을 연계한 농업유역 최적관리기법의 다목적 최적화 연구
김진욱(고려대학교), 김진휘, 장원진, 조경화, 김성준

16:00~16:15 주민 참여형 거버넌스를 활용한 대청호 등동천 유역 농업 최적관리기법 적용 및 비점오염 관리
김윤하(K-water), 김지혜, 전원, 배영아, 김용국, 조주영

■ 농업농촌환경 II (토양 및 비료/양분)

D-O-2

10월 30일(금) 14:00~16:30	마루	좌장: 윤푸른 교수(공주대)

14:00~14:15 기후변화에 따른 농경지 양분 유출 평가를 위한 지식 기반 AI 메타모델 개발
석승원(전북대학교), 김동현, 김태곤

14:15~14:30 SWAT 모델을 활용한 양분저감관리 및 기후변화 시나리오에 따른 Fecal coliform 수질 취약성 평가
정세윤(강원대학교), 안진혁, 박형진, 이선아, 박성규, 홍은미

14:30~14:45 비종 및 시비량에 따른 양배추 생육과 수확량 반응 평가
오광스티븐(전북대학교), 이승범, 송은수, 손정우, 곽진협

14:45~15:00 비료원 및 시비량이 단호박의 토양 특성 및 수량에 미치는 영향
바코지키 다티브(전북대학교), 이승범, 송은수, 곽진협

15:00~15:15 건조 및 재습윤 과정에서 FDR 토양수분센서 측정값과 실제 함수비 간 동적 편차 분석
김민주(부산대학교), 박재성, 박서경

15:15~15:30 펜톤슬러지 및 버섯 폐배지 기반 바이오차 적용에 따른 카드뮴 오염토양의 안정화
이상준(한경국립대학교), 이재인, 박성직

15:30~15:45 노지 재배 시 비종 및 시비 방법이 토양 화학성과 생물학적 특성에 미치는 영향
송은수(전북대학교), 이승범, 바코지키다티브, 서병환, 손정우, 곽진협

15:45~16:00 간척지 경사 조성 시 고랑 방향에 따른 토양 수분 및 화학성 변화와 콩 수량 반응
이승범(전북대학교), 송은수, 이광승, 곽진협

16:00~16:15 Key Drivers of Ammonia Volatilization from Organic and Inorganic Nitrogen Fertilizers in Upland Crop Fields
오욘(한경국립대학교), 박성직

16:15~16:30 Strategies of Feedstock-Specific Biochar Production from Livestock Manure: Pretreatment, Pyrolysis, and Resource Recovery

파크마니쉬 파르바네(전북대학교), 이승범, 송은수, 한경화, 곽진협

■ 물안전 (홍수 및 침수 해석)

F-O-1

10월 30일(금) 14:00~16:30	온고을	좌장: 이상현 교수(전북대)

14:00~14:15 FLOW-3D 기반 물리정보 신경망을 이용한 저수지 붕괴 시 유체 거동 예측 대리모델 개발
박선재(서울대학교), 곽지혜, 김시내, 박성재, 강문성

14:15~14:30 농업용 저수지 상류 유역의 강우-유출 사상별 산림 CN 분석
박성재(서울대학교), 곽지혜, 김지혜, 박선재, 강문성

14:30~14:45 유출특성에따른농업용저수지붕괴시하류지역공간적침수민감도분석
김시호(경상국립대학교), 정민규, 김호연, 정우영, 허나은, 황세운

14:45~15:00 자료 부족 지역을 대상으로 한 개수로 기반 배수 체계 반영 도시 침수 해석
이효진(충남대학교), 강한솔, 안현욱

15:00~15:15 수리·수문 연계모형을 이용한 만경강·동진강 유역의 유출 및 하천수위 특성 분석
박종현(충남대학교), 안현욱, 강한솔

15:15~15:30 기후변화에 따른 논·밭·시설재배 혼합 농업지역의 불확실성 기반 침수위험 평가
아디사 하메드 아킨소지(경북대학교), 최경숙

15:30~15:45 대유역 홍수범람 해석을 위한 AMR-FLOOD 모형의 하도 및 배수 알고리즘 개선
구현승(충남대학교), 안현욱, 신위진

15:45~16:00 존재론적 홍수관리의 패러다임
노재경(충남대학교)

16:00~16:15 극한홍수 시 댐과 저수지의 하강수위 관찰이 주는 시사점
노재경(충남대학교)

16:15~16:30 극한강우 심화에 따른 우리나라 농경지 침수 발생의 시공간적 특성 및 영향요인 분석
디팍 카우라가인(경북대학교), 아데이 쿠두스 최경숙

■ 스마트시설농업

G-O-1

10월 30일(금) 14:00~16:30	황실(호텔외부)	좌장: 홍세운 교수(전남대)

14:00~14:13 **육계사 통합 환경 제어 알고리즘 개발을 위한 스마트 육계사 설계 및 구축**
아비다하니파(전북대학교), 서일환, 키뷔카 안토니 킨투, 서효재, 이성원

14:13~14:26 **미세중력 환경에서의 작물 생육 및 환경제어 요구량 예측을 위한 Process-Based Model 개발**
정효혁(서울대학교), 이진석, 이인복

14:26~14:39 **전산유체역학을 통한 미세중력 하 작물 생육 챔버 내부 환경 분석**
이진석(서울대학교), 이인복, 정효혁, 송정후, 김경민

14:39~14:52 **겨울철 육계사의 Jet-drop-distance 기반 자율 입기구 제어시스템 개발 및 실험적 평가**
키뷔카 안토니 킨투(전북대학교)

14:52~15:05 **강제환기식 돈사 내 온·습도 지수 예측 회귀모델 개발**
이한규(충남대학교), 하태환

15:05~15:18 **전산유체역학 모델을 활용한 다단 케이지 산란계사의 미세환경 모의 및 평가**
박지연(전남대학교), 이채린, 이세연, 임준홍, 박진선,
Rajagukguk Rial Arifin, 김슬기, 홍세운

15:18~15:31 **강제환기식 비육돈사에서 안개분무 적용에 따른 냉각효과 및 위치·높이별 환경응답 특성 평가**
박진선(전남대학교), Rajagukguk Rial Arifin, 이세연, 이채린, 박지연,
서정흠, 김명선, 홍세운

15:31~15:44 **전산유체역학을 활용한 다겹보온커튼 설치조건에 따른 온실 내 열환경 분포 분석**
유재민(경상국립대학교), 강성하, 로딜리아스 넬슨 주니어, 윤성욱, 여욱현

15:44~15:57 **영농형태 및 작목에 따른 농업지역 대기오염물질 농도 특성 비교**
박진아(전북대학교), 서일환, 김진호

15:57~16:10 Analysis of Airflow Dispersion Characteristics of an Orchard Wind Machine Using Computational Fluid Dynamics (CFD)
로딜리아스 넬슨 주니어 (경상국립대학교), 유재민, 강성하, 김가은, 박성조, 여욱현

16:10~16:30 **육계사 열환경 개선을 위한 환기 제어 전략 개발 및 평가**
이채린(전남대학교), 이세연, 박지연, 임준홍, 박진선, Rajagukguk Rial Arifin, 김슬기, 홍세운

■ 지반 및 기초공학

H-O-1

10월 30일(금) 14:00~16:15	와당적새	좌장: 김동주 박사(고려대)

14:00~14:15 휴대용 동적콘관입시험기를 이용한 지반의 투수성 예측
석지승(충북대학교), 김동근

14:15~14:30 Sentinel-2 위성영상의 다중 분광지수 변화 특성을 이용한 Google Earth Engine 기반 산사태 흔적 추출
이준(충남대학교), 안현욱

14:30~14:45 토양 탐침 장착 위치와 지면 지지조건에 따른 사족보행로봇의 허용 관입반력 분석
황현준(부산대학교), 박재성, 박서경, 김민주

14:45~15:00 사질토 지반 내 확장형 파일의 날개 경사각 및 치수에 따른 인발 저항력 특성 분석
박서경(부산대학교), 박재성, 장준봉, 박다니엘, 권세인, 김민주, 최가은

15:00~15:15 노후된 농업용 저수지의 축조 및 사고·붕괴 이력을 고려한 위험관리 방향
이영학(국립재난안전연구원), 심재웅, 박재성, 이승재, 김솔리, 김철한, 김재정, 이달원

15:15~15:30 대형 실증실험에서 급경사지의 급속 붕괴 재현을 위한 경계조건 검증
이영학(국립재난안전연구원), 이승재, 송효성, 나건하, 김솔리, 박덕근, 김재정

15:30~15:45 동적콘관입시험의 불규칙한 데이터 간격을 고려한 저심도 지반의 공간변동성 모델링
조상범(서울대학교), 손영환, 이원영, 최종민

15:45~16:00 강우 임계조건 기반 1차 위험지역 선별과 1차원 불포화 흐름 연계를 통한 실시간 산사태 예측
고희민(충남대학교), 안현욱, 신석호, 이승준, 김민석

16:00~16:15 농업용저수지 제방 지반정수의 통계적 분포 특성
허준(농어촌연구원),심규현, 박종환, 문직신, 전상옥

포스터 발표

■ AI/RS/BigData　　3분 내외 발표

10월 29일(목) 15:50~16:20	로비	좌장: 김태곤 교수(전북대)

A-P-1-1 초분광 영상을 이용한 잎의 생리적 특성 추정에서 입력 밴드 수와 모델 유형에 따른 성능 비교
윤신후(서울대학교), 송인홍

A-P-1-2 팜맵 기반 농경지 유형별 Sentinel-1 간섭성의 계절 변동 및 시계열 InSAR 적용성 평가
조정호((주)지오스토리), 남원호, 김민진, 윤동현, 김찬욱

A-P-1-3 RGB 영상 기반 사과 외적형질 분석과 재배환경 정보 연계 필지 단위 시각화 플랫폼 개발
전혜진(전북대학교), 송승욱, 김태곤

A-P-1-4 Sentinel-1 SAR 시계열 자료와 팜맵을 이용한 논 담수 시기 분석
최혁재(한경국립대학교), 남원호, 이예준, 신지현, 조정호

A-P-1-5 Sentinel-1·SMAP 위성자료 융합과 AI를 활용한 고해상도 토양수분 산정
김지호(충남대학교), 최아린, 이정수, 박정하, 강석훈, 송정헌

A-P-1-6 복사전달모델(MODTRAN 6) 기반 모의영상을 이용한 후속 농림업위성의 밭작물 모니터링 공간해상도 요구도 분석
이동호(한국항공우주연구원)

A-P-1-7 농작업 드론의 입제 비료 살포 균일성 평가
최락영(국립농업과학원), 류재현, 곽근호, 이수진, 나상일, 이경도, 김호진, 한승훈

A-P-1-8 SMAP 9km 및 SMAP-Sentinel-1 3km·1km 토양수분 자료의 장기 시공간 변동 특성 비교
박정하(충남대학교), 최아린, 이정수, 김지호, 강석훈, 송정헌

A-P-1-9 Sentinel-2 NDVI와 AquaCrop 군락피복도 시계열 비교를 통한 작물 생육 특성 분석
최아린(충남대학교), 이정수, 박정하, 강석훈, 송정헌

A-P-1-10 GEE 기반 Sentinel-1·Sentinel-2 저수지 수체탐지 특성 비교
송준선(충남대학교), 구희동, 김대식

10월 29일(목) 15:50~16:20	로비	좌장: 남원호 교수(한경대)

A-P-2-1 농업 고령화와 농지 임대차가 농지 이용 지속성에 미치는 영향 - 필지단위 농지정보와 Sentinel 시계열 자료를 활용하여 -
김진성(충북대학교), 이상현, 리재웅, 취뤼, 이보현, 임경규

A-P-2-2 위성영상 시계열 패턴 학습을 통한 농지 변화 예측
김재훈(충남대학교), 구희동, 김대식

A-P-2-3 고해상도 위성영상과 딥러닝을 활용한 야적퇴비 자동 탐지 및 시계열 모니터링
김시원(강원대학교), 이찬희, 신승훈, 이동준, 김종건

A-P-2-4 Sentinel-2 기반 복합지수를 활용한 경안천 유역 농경지 액비 살포 탐지
신승훈(강원대학교), 김시원, 김종건, 이찬희

A-P-2-5 변수 선언 메타데이터를 활용한 선언형 작물모형 대리모형의 자동 생성
우나영(전북대학교), 윤경담

A-P-2-6 이미지 기반 머신러닝을 활용한 맞춤형 토양수분 관리
김유안(서울대학교), 메이스 하와리, 김미소, 서교

A-P-2-7 딥러닝 기반 하천수위 예측 고도화를 통한 배수갑문 선제적 연계 운영 방안 연구
임희성(농어촌연구원), 표승렬, 전수칠

A-P-2-8 드론 탑재 RGB 카메라를 활용한 저고도 안개 시정 분류 알고리즘 개발
김민석(강원대학교), 김시원, 이관재, 임경재, 김종건

A-P-2-9 흙토람 물 필요량과 농업환경정보를 연계한 LLM 기반 필지 맞춤형 관수 의사결정 지원 시스템 개발
양희원(전북대학교), 정재영, 석승원, 전혜진, 김솔희, 김태곤

A-P-2-10 계측수위자료기반AI용수공급의사결정지원모델의웹·모바일서비스구현

주동혁(전남대학교), 나라, 김하영, 김소연, 최규훈, 이재남, 유승환

■ 농어촌물이용 3분 내외 발표

10월 29일(목) 15:50~16:20	로비	좌장: 윤푸른 교수(공주대)

C-P-1-1 GSD와 생육단계에 따른 논벼 UAV 식생지수 영향 분석
신이성(경상국립대학교), 이은소, 안현수, 김시현, 허나은, 김수진, 장민원

C-P-1-2 지상형 레이저 스캐너(TLS)를 이용한 논벼 생육시기별 3차원 초장 모니터링
김시현(경상국립대학교), 이은소, 안현수, 신이성, 김수진, 장민원

C-P-1-3 밭가뭄 대응기술의 편익 평가 프레임워크 연구
리재웅(충북대학교・충남대학교 농업과학연구소), 이상현, 임경규, 취뤼, 조원주, 허준, 조희래

C-P-1-4 APSIM을 이용한 파종시기에 따른 메밀의 생육 및 수확량 영향 평가
오광스티븐(전북대학교), 박현수, 김지성, 장태일

C-P-1-5 다중위성 자료와 머신러닝을 이용한 남한 지역 1km 일 단위 토양수분 예측 및 가뭄 활용성 평가
김진욱(고려대학교), 전원준, 박용진, 이현진, 김성준

C-P-1-6 작물·토양 특성을 고려한 밭가뭄 영향평가 및 취약성평가
나라(전남대학교), 주동혁, 김하영, 유승환, 이상현, 옥정훈, 조희래, 허승오

C-P-1-7 적합확률분포를 적용한 일 단위 SPI와 농경지 가뭄피해의 대응 관계 분석
김마가(서울대학교), 최진용, 윤푸른

C-P-1-8 토양 총유효수분량의 공간 집계 수준이 SAMC 기반 밭 가뭄 판정에 미치는 영향
소지안(세명소프트), 김승권, 박윤진, 신병일

C-P-1-9 공간정보 기반 유역 단위 돌발가뭄의 발생 및 수문학적 가뭄으로의 전이 특성 분석
이희진(한경국립대학교), 남원호

C-P-1-10 기상학적 가뭄과 저수지 가뭄의 전파 및 회복 시간 특성에 따른 국내 농업용 저수지의 가뭄 반응 유형화
이정(전북대학교), 백의찬, 이상현

■ 농업농촌환경 3분 내외 발표

10월 29일(목) 13:00~13:30	로비	좌장: 우원희 박사(고려엔지니어링)

D-P-1-1 다종 센서 기반 탁수 모니터링 기술 적용을 통한 소양호 탁수 거동 특성 연구
김대홍((주)지오시스템리서치), 곽현영, 김경만, 구정본, 방기영

D-P-1-2 SWAT+ 모형을 활용한 간월호 유역의 수문 민감 지역 기반 식생여과대 입지 전략 평가
김용걸(서울대학교), 김시내, 김지혜, 곽지혜, 안재영, 강문성

D-P-1-3 복합기후재난 정의에 따른 수질 영향 정도 및 기간 분석
권예슬(서울과학기술대학교), 정한석

D-P-1-4 수분관리 조건에 따른 겨울 밀 수량 및 단백질 함량 관련 과정기반 모형의 매개변수 전역 민감도 분석
청리광(전북대학교), 김동현, 장태일

D-P-1-5 영산강 표준유역의 수문성분별 공간적 이질성 평가
장원진(한국건설기술연구원), 김현준, 김덕환, 전민기, 이선미, 장철희

D-P-1-6 수관 물 이용의 미제약이 초래하는 물수지 오차와 하천유량 평가의 한계
후세인 샤라팟(강원대학교), 정연지, 한정호, 이동준, 임경재

D-P-1-7 DDS 알고리즘 기반 SWAT-GWFLOW-PADDY 모형의 산림 생장 정상화를 통한 유구천 유역 물수지 배분 신뢰성 평가
이동준(강원대학교), 박운지, 신형진, 임경재

D-P-1-8 SWAT+ 모형의 HRU 간 중간유출 연계와 GWFLOW 결합을 통한 준분포형 모형의 한계 개선
이동준(강원대학교), 김종건, 이서로, 임경재

D-P-1-9 인도 Biligundulu 유역의 통합수자원관리를 위한 실용지향형 사회수문학 프레임워크의 적용
소날리 캄벨(서울과학기술대학교), 이주성, 정한석

10월 29일(목) 13:00~13:30	로비	좌장: 송인홍 교수(서울대)

D-P-2-1 SWAT+-GWFLOW 결합모형을 이용한 논 관개용수의 신속·기저회귀 평가
이동준(강원대학교), 신형진, 한정호, 임경재

D-P-2-2 범용농지 배수설계를 위한 DRAINMOD 수문수질 평가 시스템 개발 및 국내 설계기준 연계
박운지(강원대학교), 이관재, 이동준, 신형진, 임경재

D-P-2-3 한국형 수치예보모델(KIM) 격자 강수자료와 SWAT+ 분포형 기상 연계를 통한 유역 수량·수질의 시공간적 특성 분석
이동준(강원대학교), 최용훈, 이관재, 임경재

D-P-2-4 수질 등급 예측 확률분포를 결합한 신경망 기반 농업용 저수지 총유기탄소 농도 예측
김용준(강원대학교), 조성건, 이진유, 다엘 메이 조이, 이서로

D-P-2-5 농업용 저수지의 Transformer 기반 다중 시점 클로로필-a 예측에 대한 입력 시퀀스 길이의 영향 평가
이진유(강원대학교), 김영서, 김종건, 이서로

D-P-2-6 농업용저수지 수질 예측을 위한 연쇄 계층형 잔차 학습 기반 시계열 딥러닝 프레임워크의 적용 및 평가
조성건(강원대학교), 김용준, 이진유, 다엘 매이 조이, 이서로

D-P-2-7 토지피복별 토양유기탄소 모니터링 지점 선정을 위한 환경특성 기반 공간 군집화
김대영(전북대학교), 이정, 이상현

D-P-2-8 GIS 기반 질소무기화량 비교 및 비료 처방 전략
이찬욱(국립농업과학원)

D-P-2-9 국가 온실가스 감축목표 이행 지원을 위한 토양기반 탄소흡수기술 통합영향평가 모델 개발
이동준(강원대학교), 정연지, 박운지, 이서로, 우동국, 김소정, 이관재, 임경재

D-P-2-10 간척지 배수개선을 위한 경사 조성이 토양 이화학적 특성 및 콩 수량 변화에 미치는 영향
이승범(전북대학교), 송은수, 김진영, 정하진, 이광승, 곽진협

■ 농촌계획 및 법/정책/거버넌스 3분 내외 발표

10월 29일(목) 13:00~13:30	로비	좌장: 이상현 교수(충북대)

E-P-1-1 농촌경관 평가를 위한 선행연구 검토 및 평가요소 체계화
오윤경(전남대학교), 손정우

E-P-1-2 FGI 및 문헌조사를 통한 공익직불제 이행점검 문제점 및 애로사항 분석
김수진(서울대학교), 배승종, 최진용, 손정우

E-P-1-3 농촌지역 도로 물리적 특성을 고려한 농촌형 교통모델 적성 운영 방식 분석
김난영(충북대학교), 윤성수

E-P-1-4 르코르뷔지에 이론을 기반으로 한 농촌마을의 농촌공간계획 적용 고찰 및 사례
김난영(충북대학교), 김병국, 윤성수

E-P-1-5 기능지수와 인구·고용 기반 중심성 지수 비교를 통한 농촌 중심지 계층분류 타당성 검토
강동현(경상국립대학교), 최영완, 김영주

E-P-1-6 농업·농촌 기후변화 실태조사 분야 확대 및 RISK 기반 조사·평가체계 재편
김수진(서울대학교), 배승종, 오석주, 박달주, 이명원

E-P-1-7 시스템 정보량 기반 적정 수용범위 및 복원성 평가모형 개발
이병학(국립공주대학), 박경근, 신상현, 정남수

E-P-1-8 GIS를 활용한 태양광 에너지 시설 적지 평가
- 충청남도 예산군을 대상으로 -
이병학(국립공주대학), 박경근, 신상현, 정남수

E-P-1-9 농촌 교통취약지역의 생활서비스 통합모형 개발과 전이 가능성 분석
이병학(국립공주대학), 박경근, 신상현, 정남수

E-P-1-10 청주시 읍·면 지역 주민참여예산 제안사업의 공간분포 특성 분석
김병국(충북대학교), 김난영, 윤성수

10월 29일(목) 13:00~13:30	로비	좌장: 배승종 교수(서울대)

E-P-2-1 홍성군 축산농가의 입지 특성과 주변 환경요인 간 공간적 관계 분석
신상현(국립공주대학교), 정남수, 이병학

E-P-2-2 공간·기상 데이터를 활용한 축산 악취 발생 가능성 예측 연구
박경근(국립공주대학교)

E-P-2-3 Dyna-CLUE 모형을 활용한 토지이용 변화의 결정론적 모의
- 아산시를 대상으로 -
구희동(충남대학교), 리재웅, 이병준, 김재훈, 송준선, 김대식

E-P-2-4 인구고령화를 고려한 농촌 직주기능 유형화 분석
취뤼(충북대학교), 이상현, 리재웅, 임경규, 배승종, 김수진

E-P-2-5 농어촌기본소득 시범사업 시행에 따른 농촌지역 인구변화 분석
김난영(충북대학교), 윤성수

E-P-2-6 상습 침수구역 관리개선을 위한 농가 자구책 마련 연구
김다예(충북대학교), 이강훈, 박수희

E-P-2-7 노지 스마트농업 성과평가를 위한 데이터 체계구축 방안
안미란(농어촌연구원)

E-P-2-8 범용토양유실공식에 의한 토양유실량 평가 방법에 관한 연구
윤서린(국립공주대학교), 박찬기, 박윤식

E-P-2-9 정주인구와 관광인구의 환경영향 비교를 위한 방법론 연구
김미소(서울대학교), 메이스 하와리, 김유안, 서교

E-P-2-10 삶터·일터·쉼터 기능에 기반한 시·군 단위 농촌공간 취약성 평가체계 구축
최영완(경상국립대학교), 강동현, 김영주

■ 물안전 3분 내외 발표

10월 29일(목) 15:50~16:14	로비	좌장: 이승준 박사(한국지질자원연구원)

F-P-1-1 국내 AI 기반 홍수 예·경보 시스템의 기관별 기술 적용 현황 비교 및 발전 방향 연구
임희성(농어촌연구원), 표승렬, 김대우, 전수칠

F-P-1-2 바이오가스 연계형 스마트축산단지의 개념 설계 및 경제성 평가 프레임워크 구축
최지연(전북대학교)

F-P-1-3 유공관의 막힘 구간 탐지를 위한 시계열 단위 열화상 관측과 BIM 기반 모니터링 시스템
이준서(강원대학교), 조준휘, 스타인 데릭 가브리엘, 연재흠

F-P-1-4 HEC-RAS를 이용한 관산저수지 댐 붕괴에 따른 침수피해 및 대피경로 분석
김민준(충남대학교), 신서하, 정준명, 강석훈, 송정헌

F-P-1-5 기후변화 시나리오를 활용한 농지배수 설계기준 해설편 적용성 분석
김소연(전남대학교), 주동혁, 나라, 김하영, 이재남, 유승환

F-P-1-6 예측 유입량을 고려한 홍수기 댐 방류 의사결정 모형(K-Oper)의 개발 및 적용성 평가
추성민(충남대학교), 김연수, 안현욱, 허영택, 유완식, 변지선

F-P-1-7 상류 미시시피강 범람원의 육역화 진단을 위한 복합 육역화지수 개발
신재훈(충북대학교)

F-P-1-8 동역학적 해석법을 이용한 농업용 저수지 월류위험 예측
유찬(경상국립대학교), 권영미, 전서원, 정수호

■ AI/RS/BigData 3분 내외 발표

10월 30일(금) 13:10~13:40	로비	좌장: 유승환 교수(전남대)

A-P-3-1 키르기스스탄 낙농 메탄 배출량의 현장 측정 및 AI 기반 추정·관리체계 구축
박진선(전남대학교), Rajagukguk Rial Arifin, 이세연, 이채린, 박지연, 서정흠, 김명선, 홍세운

A-P-3-2 유공관의 배수성 저하 원인을 탐지하기 위한 AI 기반 자동 결함 탐지 시스템
이준서(강원대학교), 조준휘, 스타인 데릭 가브리엘, 연재흠

A-P-3-3 기하 정보 기반 자동 라벨링을 활용한 간척지 콩 출현 탐지 모델 비교 분석
안치용(국립식량과학원), 강태안, 이수환, 이홍석, 정회정, 이상호, 송철민, 박진기

A-P-3-4 TFT-GNN 모델을 활용한 농업용수 수질예측 사전학습 모델 개발
정인균((주)물과환경), 이종현, 김민희, 정광욱

A-P-3-5 ISO/TC347 표준화 체계 분석을 통한 데이터 기반 스마트농업 표준화 전략
기혁(한국농업기술진흥원), 김지형, 이상혁, 양우희, 이현석

A-P-3-6 자연어 기반 농업용 온실의 3차원 구조모델 생성 및 구조해석 모듈 개발
김서윤(경북대학교), 곽찬우, 류현, 전다현, 반채원, 한일우, 이종혁, 나욱호, 아니스, 이상익

A-P-3-7 인공지능 및 실시간 멀티모달 데이터를 활용한 지능형작물 생육 진단 및 맞춤형 양분 관리 SaaS 플랫폼 개발 및 실증
안이영(메타오가닉테크놀러지 주식회사)

A-P-3-8 Sentinel-2와 설명가능 인공지능을 이용한 하구담수호 총유기탄소의 시공간 모니터링
김진욱(고려대학교), 정지훈, 이용관, 김세훈, 김용원, 김성준

A-P-3-9 양수식 수력발전 저수지의 다중 예측기간 저수량 예측을 위한 물리정보 기반 머신러닝 프레임워크 개발
신재훈(충북대학교)

A-P-3-10 표면 변위와 머신러닝을 활용한 필댐 내부침식 위험영역 탐지
김홍주(경북대학교), 변용훈, 김동주, 손주익, 허윤검

■ 구조, 재료 및 시공 — 3분 내외 발표

10월 30일(금) 09:00~09:30	로비	좌장: 유일환 교수(전북대)

B-P-1-1 **농업생산기반설계기준 취입보(KDS 67 15 00) 개정 연구**
이백(농어촌연구원), 전상옥, 김현성, 한다민, 구재혁, 박찬기

B-P-1-2 **LLM 기반 정밀안전진단보고서 정형화와 주성분분석을 활용한 농업용 저수지 보수·보강 발생위험 관련요인 분석**
서예진(서울대학교), 최원, 서병훈, 김동수, 조예림, 심지민, 김민재

B-P-1-3 **바이오차 혼입 비소성 인공경량골재의 CO2 양생에 따른 기계적 특성 및 환경성 평가**
최종민(서울대학교), 손영환, 조상범, 이원영

B-P-1-4 **기후변화 시나리오 기반 미래 적설심 및 할증률 산정을 통한 온실모델 구조 설계기준 고도화**
류현, 전다현(경북대학교), 김서윤, 곽찬우, 반채원, 한일우, 이종혁, 나욱호, Anis, 이상익

B-P-1-5 **기후변화 대응 천창 환기형 현대화 온실모델의 구조안전성 평가 및 설계기준 고도화 방안 분석**
곽찬우(경북대학교), 김서윤, 류현, 전다현, 반채원, 한일우, 이종혁, 나욱호, 아니스 라비우, 이상익

B-P-1-6 **배합조건 및 골재입도에 따른 기존 제체 표면보강용 Rich-mix CSG의 다짐성 및 압축강도 특성**
오리온((주)콘텍이엔지), 박성기, 성상경, 고용기, 박상현

B-P-1-7 **골재입도 및 혼화재 치환에 따른 기존 제체 표면보강용 Rich-mix CSG의 전단강도 특성**
오리온((주)콘텍이엔지), 박성기, 성상경, 고용기, 박상현

B-P-1-8 **수위 관계 분석 기반 농업용 관수로 통수 저하 구간 탐지 기법**
이준서(강원대학교), 조준휘, 스타인 데릭 가브리엘, 연재흠

B-P-1-9 **토목섬유 필터 매트 설치방법에 따른 배수특성 평가**
구재혁(국립공주대학교), 신종호, 최유진, 박상혁, 이준수, 조상민, 박채영, 김웅, 연재흠, 박찬기

B-P-1-10 내재해형 단동 비닐온실의 브레이싱 설계변수에 따른 구조 보강 효과 분석

심지민(서울대학교), 서병훈, 김동수, 서예진, 조예림, 김민재, 최원

■ 농어촌물이용 3분 내외 발표

10월 30일(금) 13:10~13:34	로비	좌장: 남원호 교수(한경대)

C-P-2-1 범용 농지 적용을 위한 승강식 자동 물꼬의 개념설계
최용훈(일엠연구소), 남내현, 이라온, 한승헌, 이관재

C-P-2-2 다기능저류조를 이용한 농업용 관수로 탁도 감지 및 용수공급 제어 시스템 평가
최유진(국립공주대학교), 신종호, 박상혁, 이준수, 조상민, 구재혁, 오리온, 박찬기

C-P-2-3 극한 가뭄 대비 작물별 최소 용수공급 기준 수립을 위한 밭 Test-bed 용수공급 저감 모니터링 시스템 구축
안용빈(강원대학교), 홍은미, 남원호, 나규동, 이선아

C-P-2-4 SMAP 기반 WCM 및 WCM-RF 모형의 100 m 격자 표층 토양수분 산정 성능 비교: 부여군 사례
이정수(충남대학교), 최아린, 박정하, 김지호, 강석훈, 송정헌

C-P-2-5 농업환경보전 활동의 효과성 평가를 위한 실측 담수심 기반 논물관리의 환경영향 분석
윤푸른(공주대학교), 권승빈, 박하진, 추병서, 최진용, 김마가

C-P-2-6 Effect of Measured Stomatal Response Dynamics on Transpiration Estimation
서범석(서울대학교), 김귀훈, 한상훈, 최진용

C-P-2-7 국가 농업환경 모니터링을 통한 농촌 소유역 농업용수 수질의 시공간적 변동 및 장기 추세 평가
김동현(전북대학교), 장태일, 김학관, 전상민

C-P-2-8 단계적 시계열 품질관리를 적용한 전자파표면유속계 기반 농업용수 사용량 산정
조상욱(인천대학교), 오동헌, 김민국, 장동우

10월 30일(금) 13:10~13:34	로비	좌장: 정한석 교수(서울과기대)

C-P-3-1 벼 지능형 물관리 솔루션을 활용한 관개용수 절감효과 분석
김영범(전남광주통합특별시 농업기술원 스마트농업센터), 김덕현

C-P-3-2 Evaluation of Hot Pepper Yield and Water Productivity Under Different Water Stress Levels using AquaCrop
김귀훈(서울대학교), 서범석, 조하영, 김마가, 최진용

C-P-3-3 Projecting Future TOC in Data-Scarce Agricultural Reservoirs: A WGAN-Enhanced Framework Revealing the Importance of Dynamic Variability
시오세 크리스티안 조셉(강원대학교), 정연지, 한정호, 이동준, 임경재

C-P-3-4 PINN-Based Reconstruction and Prediction of Smart Greenhouse Temperature and Velocity Field from Sparse Sensors
라비우 아니스 아데웨일(경북대학교), 나욱호, 이종혁, 한일우, 류현, 김서윤, 곽찬우, 전다현, 이상익

C-P-3-5 Development of an Intelligent Multimodal Monitoring Framework for Assessing Environmental Stress in Livestock Transportation
리알 아리핀 라자국국(전남대학교), 임준홍, 김영준, 이휴경, 조성환, 서정흠, 김명선, 이세연, 박지연, 이채린, 진선, 홍세운

C-P-3-6 논 중심 간척지 유역에서 작물 다양화가 지하수 함양과 용수 생산성에 미치는 영향
김동현(전북대학교), 장태일, 김학관, 전상민

C-P-3-7 비접촉식 계측 기반 하천수 사용량 수집 및 품질관리: 시험유역 적용 사례
오동헌(인천대학교), 조상욱, 백종석, 김민국, 안진주, 장동우

C-P-3-8 새만금 농생명용지 지하수와 생태환경용지의 수위 간 변화 특성 분석
손재권(전북대학교), 송재도, 함종화, 윤상원, 임병찬

■ 농업농촌환경 3분 내외 발표

10월 30일(금) 09:00~09:27	로비	좌장: 곽진협 교수(전북대)

D-P-3-1 토양탄소 통합영향평가를 위한 Pre-MRV Bridge 개발
남내현((주)일엠연구소), 한승헌, 이라온, 최용훈, 이관재

D-P-3-2 유공관 부직포 필터 적용 유무에 따른 층위별 용적토양수분함량 변화
신종호(국립공주대학교), 최유진, 박상혁, 이준수, 조상민, 박채영, 구재혁, 김웅, 연재흠, 박찬기

D-P-3-3 경사지 라이시미터에서 천연물 유래 토양저감물질의 토성에 따른 저감효과 비교
조송래(국립농업과학원), 옥정훈, 손정우, 박형진, 김동현, 이단비, 최세영

D-P-3-4 논에서 복합 저탄소 기술 적용에 따른 벼 생육 반응
정영재(국립농업과학원 기후변화대응과), 신윤식, 박혜란, 이민지, 이형석, 김민욱, 홍성창, 김진호

D-P-3-5 관행 대비 권장 시비에 따른 옥수수·들깨 밭토양의 N2O 배출 특성 비교
이선아(강원대학교), 나규동, 안진혁, 정세윤, 박혜진, 홍은미

D-P-3-6 지역별 토양수분특성에 따른 사과 생리장해 및 품질특성 비교
박형진(국립농업과학원 토양물환경과), 조송래, 서병환, 이단비, 옥정훈

D-P-3-7 비료 처리 위치에 따른 마늘 재배시 깊이별 토양 무기태 질소 변화 평가
이찬욱(국립농업과학원 토양물환경과)

D-P-3-8 간척지 토양의 유기물 투입에 따른 화학성 및 생물학성 초기 변화
이세인(국립식량과학원 간척지농업연구센터), 조현숙, 이광승, 김성철

D-P-3-9 HAWQS+를 활용한 웹 기반 유역 수문 ·수질 모델링 시스템 및 모델 공유 플랫폼 개발
남원호(한경국립대학교), 김민진, Jaclyn Tech, 정재학, 홍은미, 김태곤, 엽소진, 전상민, 최순군

■ 물안전 3분 내외 발표

10월 30일(금) 09:00~09:24	로비	좌장: 김학관 교수(서울대)

F-P-2-1 전국 규모 자연유량 복원 및 AI-물리 융합 수문매개변수 추정 프레임워크 개발
신재훈(충북대학교)

F-P-2-2 다중센서 SWO와 DEM 경사연장 기반 북한 미계측 저수지의 시계열 저수량 복원
조정호, 남원호(한경국립대학교), 이희진

F-P-2-3 관산저수지 유입하천에서의 표면유속-평균유속 환산계수 산정
신서하(충남대학교), 정준명, 김민준, 강석훈, 송정헌

F-P-2-4 설계홍수 및 농업용 저수지 붕괴 조건에서 수변완충지대 폭에 따른 계곡부 홍수 수리반응 분석
박현수(전북대학교), 김동현, 장태일

F-P-2-5 영산강·섬진강 수계 농업용 저수지 붕괴 시나리오에 따른 하류부 침수 및 대피 안전성 평가
나라(전남대학교), 주동혁, 김하영, 전승준, 김수인, 김해길, 류슬아, 유승환

F-P-2-6 극한강우 시 유출특성과 저수지 붕괴 양상에 따른 침수민감도 평가
김시호(경상국립대학교), 정민규, 김호연, 정우영, 허나은, 황세운

F-P-2-7 저수지 내 휴면포자 함유 표층퇴적물 제거에 따른 녹조 저감효과 평가
최예진(한국수자원공사), 조연정, 박소영, 송대성

F-P-2-8 격자 강우자료, TPOT 기반 농업용 저수지 관리를 위한 강우예측 정확도 향상 연구
정연지(강원대학교), 최준영, 김찬겸, 이동준, 한정호, 임경재

■ 스마트시설농업 3분 내외 발표

10월 30일(금) 09:00~09:36	로비	좌장: 여욱현 교수 (경상대)

G-P-1-1 GHTwin3D: 단동 온실 디지털 트윈을 위한 IFC 기반 실내 점군-BIM 데이터셋
서병훈(서울대학교), 김동수, 서예진, 조예림, 심지민, 김민재, 최원

G-P-1-2 배 과원에서의 방상팬 가동에 따른 미기상 변화 분석
박성조(경상국립대학교), 로딜리아스 넬슨 주니어, 강성하, 유재민, 윤성욱, 여욱현

G-P-1-3 태안 간척지 영농형 태양광시설의 일사량 변화 특성 분석
전명진(국립공주대학교), 구재혁, 박찬기, 장명준, 김웅

G-P-1-4 태안 간척지 영농형 태양광시설의 온·습도 변화 특성 분석
전명진(국립공주대학교), 구재혁, 박찬기, 장명준, 김웅

G-P-1-5 고온건조 지역 적용을 위한 에어돔 온실 에너지 모델의 개발
라쉬드 아드난(경상국립대학교), 강성하, 유재민, 로딜리아스 넬슨 주니어, 김가은, 박성조, 여욱현

G-P-1-6 일사 조건과 에너지 효율을 고려한 보온스크린 개방률의 최적화
아드난 라쉬드(경상국립대학교), 강성하, 유재민, 로딜리아스 넬슨 주니어, 김가은, 박성조, 여욱현

G-P-1-7 다겹보온커튼 개폐 비율에 따른 온실 내부 수직 온도 및 풍속 분포 분석
박성조(경상국립대학교), 강성하, 유재민, 로딜리아스 넬슨 주니어, 김가은, 아드난 라쉬드, 여욱현

G-P-1-8 Nexus 관점의 시설농업 통합자원관리: 연구 동향과 적용 방안
윤동기(한국전자통신연구원), 라상중, 이상현, 이상연

G-P-1-9 동남아시아 이중 지붕 육계사 내부의 열환경 예측을 위한 열전달-전산유체역학 (HTM+CFD) 연계 모델 개발
이세연(전남대학교), 박지연, 이채린, 박진선, Rajagukguk Rial Arifin, 임준홍, 김슬기, 홍세운

G-P-1-10 지역별 온실 단지 토양분류 특성 분석

김명환(지엠티지), 박오현, 신현호

G-P-1-11 농업지역 초미세먼지 성분분석을 통한 암모니아의 초미세먼지 형성 기여도 평가

김민욱(국립농업과학원), 김진호, 김혜원, 배민석

G-P-1-12 물리정보 신경망(PINN)과 전산유체역학(CFD)을 결합한 온실 환기 유동 예측 프레임워크

반채원(경북대학교), 류현 , 전다현, 곽찬우, 김서윤, 한일우, 이종혁, 나욱호, Anis Rabiu, 이상익

■ 지반 및 기초공학 3분 내외 발표

10월 30일(금) 13:10~13:50	로비	좌장: 김동근 교수(충북대)

H-P-2-1 수평 지보재 대체 앵커의 설치조건에 따른 도심지 굴착 적용성 및 경제성 평가
김창준(강원대학교), 최승일, 권다빈, 김종승, 김용성

H-P-2-2 GNSS 측량을 활용한 지하배수 유공관 암거 위치 좌표 분석
구재혁(국립공주대학교), 신종호, 최유진, 박상혁, 이준수, 조상민, 박채영, 김웅, 연재흠, 박찬기

H-P-2-3 연약지반 초기 계측자료를 활용한 장기 압밀침하 분석
문명재(전남대학교), 백원진, 윤현준, 정원철, 고현종, 강승헌

H-P-2-4 토석류의 주거공간 침입 실증실험과 거주자 보호행동 인식조사
이영학(국립재난안전연구원), 송효성, 이승재, 나건하, 김솔리, 박재성, 이달원, 김재정

H-P-2-5 산사태 미발생지 선정 기법 고도화를 통한 머신러닝 기반 산사태 취약성 평가 -경기도를 중심으로
이시은(충북대학교), 봉태호, 전지훈, 정은수, 송정민, 홍승찬

H-P-2-6 굴착규모를 고려한 도심지 지반함몰 영향범위 분석
윤현준(전남대학교), 백원진, 문명재

H-P-2-7 스테레오 카메라 기반 임도 노면 변형 측정을 통한 도로 상태 지수 적용성 평가
송정민(충북대학교), 봉태호, 전지훈, 정은수, 이시은, 홍승찬

H-P-2-8 압전센서를 활용한 전단 파괴 탄성파 방출 신호 특성 분석
정은수(충북대학교), 봉태호, 전지훈, 이시은, 송정민, 홍승찬

H-P-2-9 원심모형실험을 이용한 실제 저수지 기초지반 PBD 공법의 압밀촉진 효과 평가
김종승(강원대학교), 정우철, 김창준, 권다빈, 김용성

H-P-2-10 지능형 다짐관리 기반 다짐품질 평가와 도로포장 하부 지반침하 예방을 위한 시사점
김진영(한국건설기술연구원 연구전략기획본부), 강재모, 이성열

CONTENTS

특별세션

토양유효수분 기반 밭 가뭄 통합정보 플랫폼 구축 79
노지 밭작물 비료 사용 및 물 사용 처방 프로그램 고도화 80
통합정보 기반 밭작물 최적 생육을 위한 스마트 관개제어시스템 81
위성영상 기반 농경지 경작 및 휴경 판별 기술 개발 82
위성영상 · AI 기반 농업시설 탐지 및 분류 모델 개발 83
레이더 영상 기반 농경지 피복변화 탐지 기술 개발 84
시공간 자료 확장을 위한 위성 영상 융합 기술 개발 85
농업위성정보 시스템 시작품 구축 및 기본산출물 서비스 86
시설농업단지의 동절기 용수부족 대응을 위한 지하수 함양사업 87
단목 시설재배단지 지하수 인공함양 사업의 타당성 평가 88
경남 하동 시설재배단지에서 분지형 지하수 함양 시험 연구 89
가뭄 극복을 위한 물 부족 지역의 지하수댐 설치 및 운영 효과 분석 90
지하수댐 설치를 통한 수자원 확보사례: 속초시 쌍천 제2지하수댐 91
지하수댐 저류구역 내 방사형집수정의 설치 및 유지관리 방안 92
밭 재배작물(콩, 배추, 고추, 무) 드론 시비 및 방제 모듈개발 93
작물 생육 계측을 위한 휴대용 영상 계측 시스템 개발 및 적용 94
벼 시계열 노지 표현체 데이터 활용 생산량 예측 및 스트레스 진단 방법 개발 95
드론 다중분광 영상 기반 벼 웃거름 변량시비 처방 및 생육 균일도 개선 효과 96
디지털 과원 기반 지능형 과수 전정 로봇 97
Data-driven estimation of effective precipitation and infiltration characteristics using soil moisture data 98
2026 농업생산기반시설 건설기준 고도화 연구 99
농업생산기반시설의 치수기능 강화를 위한 홍수 위험도 평가체계 구축 방안 연구 100
농업생산기반시설 설계기준의 실무 활용성 증대를 위한 연구 101
환경생태유량 지수를 이용한 낙동강 유역 수생태계 건강성 취약지점 환경생태가뭄 평가 105
CE-QUAL-W2를 활용한 온대 저수지의 용존산소 최소층 형성에 미치는 영향 연구 106
위성영상을 활용한 북한 미계측 저수지의 시계열 저수량 추정 107
CALPUFF를 이용한 축사 밀집지역의 암모니아 대기 확산 평가 및 배출계수 검토 108
양돈시설 악취배출량 보정계수 도입을 위한 국내외 산정방법 비교 분석 109
양돈시설 악취 확산 평가를 위한 풍하측 현장측정 및 기상조건 분석 110
MODIS 기반 토양수분 및 가뭄지수를 활용한 국내 농업가뭄 모니터링:
2022-2025년 주요 가뭄사상의 시공간 분석 111
RCD 공법을 적용한 CSG댐 표면보호 콘크리트의 혼화재 혼입에 따른 최적 배합비 제안 112
Sentinel-1/2 위성영상을 활용한 전국 논벼 이앙 · 수확 시기의 공간분포 및 연차변동 분석 113
3차원 연결요소 분석을 활용한 북한 가뭄 클러스터의 생애주기 특성 분석 114

PS-InSAR를 활용한 그라우팅 전후 필댐의 변형 거동 평가 115
결측 보간에 따른 새만금 유역 일수위 시계열의 군집 구조 변화 분석 116
어류 서식처 특성과 유역특성을 활용한 XAI 기반 표준유역별 환경생태유량 산정 117

포닥세션(Post-Doc Competition)

양돈 에너지수지 해석을 위한 통합 모니터링 시스템 구축 및 기초데이터 확보 121
머신러닝 기반 저수율 예측과 용수공급능력 평가를 통한 농업용 저수지 운영기준 개발 122
항공 방제 농약 비산 예측을 위한 머신러닝 기반 모델 개발 123
농촌 침수재난의 시설물 안전과 인명 대피를 위한 물리기반 의사결정 프레임워크 124
극한 기후사상 하에서의 전 세계 벼 생산: 앙상블 딥러닝 접근법을 통한 통찰 125
지하매설물 특성을 고려한 AI 기반 도심지 지반함몰 위험도 분석 및 공동탐사 우선순위선정 방안 126

구두 발표

AI/RS/BigData A-O-1

관개 수준에 따른 UAS 기반 작물 수관 온도의 시간대별 변화 131
무인기 다중분광 영상을 이용한 가을배추 개체 분할 계열별 다시기 추적 및 개체 지수 분석 132
Sentinel-1 및 Sentinel-2 시계열 영상을 활용한 머신러닝 기반 논콩 재배지 분류 모델 개발 133
자기지도 사전학습 기반 농업용 저수지 UAV LiDAR 점군의 의미론적 분할 134
Sentinel-1 SAR 기반 작물 생육 및 농업용 저수지 수문 거동을 활용한 국내 벼 수확량 예측 135
시계열 Sentinel-1, Sentinel-2 영상과 머신러닝을 이용한 작물 분류 모델 개발 136
초분광 영상을 이용한 콩의 생육단계별 과습 및 한발 스트레스 진단 137
Sentinel-2 시계열 식생지수와 Random Forest를 이용한 계절형 온실 분류 138

AI/RS/BigData A-O-2

TFT와 LSTM을 이용한 미호강 중권역 하천유량 예측성능 비교 141
생육시기별 관측 횟수에 따른 겨울밀 수량 및 단백질 함량 예측 성능 평가 142
유한요소 접촉해석 기반 연약 농산물 파지 안정도 추정을 위한 촉각 센서 요구 사양 도출 143
협업형 AI 에이전트 기반 농업용수 분석 · 의사결정지원 플랫폼의 설계와 적용 144
생육단계별 생육 및 토양수분 정보를 활용한 소표본 머신러닝 기반 겨울 밀 단백질 예측 및 관리방안 평가 145
머신러닝 모델을 활용한 데이터 부족 농업용 저수지의 저수량 장기전망 신뢰성 평가 146
AI 기반 개체별 맞춤형 팜 로봇의 최적 관수 지점 선정 기법 147
IPA 기법을 활용한 농업용수관리자동화 사업의 현장 수용성 진단 및 기술 고도화 요구도 분석 148

CONTENTS

농어촌물이용 I (기후변화 대응 물이용) C-O-1

관개수로 수문 개도율에 따른 수로 유량 및 필지별 용수공급 변화 151
물 공급 취약지역의 가뭄영향 평가 및 예측 기술 개발 152
DSSAT 모형을 활용한 미래 기후변화에 따른 양배추 수확량 및 증발산량에 미치는 영향 평가 153
극한 가뭄 대응을 위한 딥러닝 기반 논 벼 최적관개시점 판단 모델 개발 154
미래기후에서 암거배수 설계에 따른 과잉수분 및 가뭄 스트레스 평가 155
한국의 복합 가뭄-폭염 전망을 위한 전이성 기반 CMIP6 앙상블 선정 156
전국 시군 단위 농업가뭄 영향과 다중시간척도 가뭄지수의 선행 · 지체 관계 분석 157
기후변화 시나리오 기반 농업생산기반시설 미래 가뭄 · 홍수 기후안전도 평가 방법론 마련 158

농어촌물이용 II (관개배수공학) C-O-2

경험적 누적분포함수와 K-평균 군집분석을 활용한 강화군의 EVI2 기반 논 물마름 평가기준 구축 및 적용성 평가 161
농업용수 공급량 원단위 산정체계 개선에 따른 수요량 변화 분석 162
수리모형 실험 및 관망해석을 통한 농업용 관수관로의 유량 분배와 수리특성 분석 163
저수지 수위 기반 유입량 추정방법과 GR4H를 활용한 농업용 저수지 시간 단위 연속 유입량 산정 164
Pareto 최적해 기반 관개수로 수문의 반응특성 분석 및 운영 의사결정정보 도출 165
미계측 농업용 저수지의 장기 유입량 복원을 위한 물수지 및 강우-유출 모델링 통합 접근 166
물수지 방정식 기반 미계측 손실항 도입을 통한 저수지 유입량 추정 기법 167

농어촌물이용 II (관개배수공학) C-O-3

농업용 저수지 역할 다원화에 따른 Dynamic MOES 기반 실시간 운영 의사결정 지원 기법 171
요르단의 물 생산성 공간 분포 평가 172
SWMM을 이용한 국내 밭 필지 단위에서의 기후변화에 따른 작물 증발산량 및 관개용수 공급 시나리오 영향 분석 173
국내 농공학계 논의와 일본 사례를 통해 본 농업생산인프라의 과제 174
물관리에서 존재론적 환경론: 균형 기반 통합 패러다임 175
APEX 모형을 활용한 간척농지의 포장경사별 수문 및 작물 스트레스 반응 분석 176
농업 · 수문 분석을 위한 CHIRTS-ERA5 격자 기온자료의 국내 적용성 평가 177

구조, 재료 및 시공 B-O-1

고로슬래그와 페디스플레이유리분말을 활용한 알칼리 활성 무시멘트 결합재의 역학 및 반응 특성 181
산업부산물을 활용한 CSG 콘크리트의 강도 특성 평가 182

건설기준 검토를 위한 온톨로지 기반 질의응답 시스템 183
드론 LiDAR 횡단 프로파일의 미분 해석을 이용한 제방 사면 종단 균열 판별 기법 184
풍압 적용방식에 따른 개방형 비가림시설 골조의 구조거동 특성 185
가중치 설정을 적용한 Taguchi Method 기반 콘크리트 배합 최적화 186
김정은 시기 북한의 시멘트 생산현황과 전망 187
중동 기후 조건에서 온실 구조 유형에 따른 냉·난방 부하 특성의 BES 기반 비교 분석 188
굴 패각 소성점토 시멘트 모르타르의 온도에 따른 강도 발현 특성 분석 189

농업농촌환경 I (수질 및 유역관리) D-O-1

RUSLE와 지자체별 적응 능력을 고려한 대한민국 소유역별 토양침식 취약성 평가 및 기여도 분석 193
질소 시비에 따른 농경지 암거배수 시스템의 공간 규모별 수문학적 반응 및 질산성질소 유출 평가 194
APEX 모델을 이용한 국내 밭 주요 작물 유형별 최적관리기법(BMPs) 효과 분석 195
농지범용화 시나리오에 따른 담수호 유역 유출·수질 변화 분석을 위한 GraphWaveNet 기반 대리모델 개발 196
APEX-Paddy 모형을 이용한 미래 기후변화 시나리오 기반 최적관리기법 적용에 따른 논 총질소 유출부하량 변동성 평가 197
SWAT+ 모형을 활용한 미래 기후 시나리오에 따른 농촌 소유역 수문·수질 반응의 공간변동성 분석 198
장기간 토지이용 변화에 따른 영산강상류 유역의 유황 변화 평가 199
SWAT과 강화학습을 연계한 농업유역 최적관리기법의 다목적 최적화 연구 200
주민 참여형 거버넌스를 활용한 대청호 등동천 유역 농업 최적관리기법 적용 및 비점오염원 관리 201

농업농촌환경II(토양 및 비료/양분) D-O-2

기후변화에 따른 농경지 양분 유출 평가를 위한 지식 기반 AI 메타모델 개발 205
SWAT 모델을 활용한 양분저감관리 및 기후변화 시나리오에 따른 Fecal coliform 수질 취약성 평가 206
비종 및 시비량에 따른 양배추 생육과 수확량 반응 평가 207
비료원 및 시비량이 단호박의 토양 특성 및 수량에 미치는 영향 208
건조-재습윤 조건에서 FDR 토양수분센서의 측정 편차 209
펜톤슬러지 및 버섯 폐배지 기반 바이오차 적용에 따른 카드뮴 오염토양의 안정화 210
노지 재배 시 비종 및 시비 방법이 토양 화학성과 생물학적 특성에 미치는 영향 211
간척지 경사 조성 시 고랑 방향에 따른 토양 수분 및 화학성 변화와 콩 수량 반응 212
밭작물 재배지에서 유기질 및 무기질 질소 비료에 따른 암모니아 휘발의 주요 영향 요인 213
가축분 원료 특성별 바이오차 생산 방안:전처리,열분해 및 자원회수 214

물안전(홍수 및 침수 해석) F-O-1

FLOW-3D 기반 물리정보 신경망을 이용한 저수지 붕괴 시 유체 거동 예측 대리모델 개발 217

CONTENTS

농업용 저수지 상류 유역의 강우-유출 사상별 산림 CN 분석 218
유출특성에 따른 농업용 저수지 붕괴 시 하류지역 공간적 침수민감도 분석 219
자료 부족 지역을 대상으로 한 개수로 기반 배수 체계 반영 도시 침수 해석 220
수리·수문 연계모형을 이용한 만경강·동진강 유역의 유출 및 하천수위 특성 분석 221
기후변화에 따른 논·밭·시설재배 혼합 농업지역의 불확실성 기반 침수위험 평가 222
대유역 홍수범람 해석을 위한 AMR-FLOOD 모형의 하도 및 배수 알고리즘 개선 223
존재론적 홍수관리의 패러다임 224
극한홍수 시 댐과 저수지의 하강수위 관찰이 주는 시사점 225
극한강우 심화에 따른 우리나라 농경지 침수 발생의 시공간적 특성 및 영향요인 분석 226

스마트시설농업 G-O-1

육계사 통합 환경 제어 알고리즘 개발을 위한 스마트 육계사 설계 및 구축 229
미세중력 환경에서의 작물 생육 및 환경제어 요구량 예측을 위한 Process-Based Model 개발 230
전산유체역학을 통한 미세중력 하 작물 생육 챔버 내부 환경 분석 231
겨울철 육계사의 Jet-drop-distance 기반 자율 입기구 제어시스템 개발 및 실험적 평가 232
강제환기식 돈사 내 온·습도지수 예측 회귀모델 개발 233
전산유체역학 모델을 활용한 다단 케이지 산란계사의 미세환경 모의 및 평가 234
강제환기식 비육돈사에서 안개분무 적용에 따른 냉각효과 및 위치·높이별 환경응답 특성 평가 235
전산유체역학을 활용한 다겹보온커튼 설치조건에 따른 온실 내 열환경 분포 분석 236
영농형태 및 작목에 따른 농업지역 대기오염물질 농도 특성 비교 237
전산유체역학을 이용한 과원용 방상팬의 확산 특성 분석 238
육계사 열환경 개선을 위한 환기 제어 전략 개발 및 평가 239

지반 및 기초공학 H-O-1

휴대용 동적콘관입시험기를 이용한 지반의 투수성 예측 243
Sentinel-2 위성영상의 다중 분광지수 변화 특성을 이용한 Google Earth Engine 기반 산사태 흔적 추출 244
토양 탐침 장착 위치와 지면 지지조건에 따른 사족보행로봇의 허용 관입반력 분석 245
사질토 지반 내 확장형 파일의 날개 경사각 및 치수에 따른 인발 저항력 특성 분석 246
노후된 농업용 저수지의 축조 및 사고·붕괴 이력을 고려한 위험관리 방향 247
대형 실증실험에서 급경사지의 급속 붕괴 재현을 위한 경계조건 검증 248
동적콘관입시험의 불규칙한 데이터 간격을 고려한 저심도 지반의 공간변동성 모델링 249
강우 임계조건 기반 1차 위험지역 선별과 1차원 불포화 흐름 연계를 통한 실시간 산사태 예측 250
농업용저수지 제방 지반정수의 통계적 분포 특성 251

포스터 발표

AI/RS/BigData A-P-1

초분광 영상을 이용한 잎의 생리적 특성 추정에서 입력 밴드 수와 모델 유형에 따른 성능 비교 257
팜맵 기반 농경지 유형별 Sentinel-1 간섭성의 계절 변동 및 시계열 InSAR 적용성 평가 258
RGB 영상 기반 사과 외적형질 분석과 재배환경 정보 연계 필지 단위 시각화 플랫폼 개발 259
Sentinel-1 SAR 시계열 자료와 팜맵을 이용한 논 담수 시기 분석 260
Sentinel-1 · SMAP 위성자료 융합과 AI를 활용한 고해상도 토양수분 산정 261
복사전달모델(MODTRAN 6) 기반 모의영상을 이용한 후속 농림업위성의 밭작물 모니터링
공간해상도 요구도 분석 262
농작업 드론의 입제 비료 살포 균일성 평가 263
SMAP 9km 및 SMAP-Sentinel-1 3km · 1km 토양수분 자료의 장기 시공간 변동 특성 비교 264
Sentinel-2 NDVI와 AquaCrop 군락피복도 시계열 비교를 통한 작물 생육 특성 분석 265
GEE 기반 Sentinel-1 · Sentinel-2 저수지 수체탐지 특성 비교 266

AI/RS/BigData A-P-2

농업 고령화와 농지 임대차가 농지 이용 지속성에 미치는 영향
- 필지단위 농지정보와 Sentinel 시계열 자료를 활용하여 - 269
위성영상 시계열 패턴 학습을 통한 농지 변화 예측 270
고해상도 위성영상과 딥러닝을 활용한 야적퇴비 자동 탐지 및 시계열 모니터링 271
Sentinel-2 기반 복합지수를 활용한 경안천 유역 농경지 액비 살포 탐지 272
변수 선언 메타데이터를 활용한 선언형 작물모형 대리모형의 자동 생성 273
Image-driven Soil Moisture Monitoring for Customized Management 274
딥러닝 기반 하천수위 예측 고도화를 통한 배수갑문 선제적 연계 운영 방안 연구 275
드론 탑재 RGB 카메라를 활용한 저고도 안개 시정 분류 알고리즘 개발 276
흙토람 물 필요량과 농업환경정보를 연계한 LLM 기반 필지 맞춤형 관수 의사결정 지원 시스템 개발 277
계측 수위자료 기반 AI 용수공급 의사결정 지원 모델의 웹 · 모바일 서비스 구현 278

농어촌물이용 C-P-1

GSD와 생육단계에 따른 논벼 UAV 식생지수 영향 분석 281
지상형 레이저 스캐너(TLS)를 이용한 논벼 생육시기별 3차원 초장 모니터링 282
밭가뭄 대응기술의 편익 평가 프레임워크 연구 283
APSIM을 이용한 파종시기에 따른 메밀의 생육 및 수확량 영향 평가 284
다중위성 자료와 머신러닝을 이용한 남한 지역 1km 일 단위 토양수분 예측 및 가뭄 활용성 평가 285

CONTENTS

작물 · 토양 특성을 고려한 밭가뭄 영향평가 및 취약성평가 286
적합확률분포를 적용한 일 단위 SPI와 농경지 가뭄피해의 대응 관계 분석 287
토양 총유효수분량의 공간 집계 수준이 SAMC 기반 밭 가뭄 판정에 미치는 영향 288
공간정보 기반 유역 단위 돌발가뭄의 발생 및 수문학적 가뭄으로의 전이 특성 분석 289
기상학적 가뭄과 저수지 가뭄의 전파 및 회복 시간 특성에 따른 국내 농업용 저수지의 가뭄 반응 유형화 290

농업농촌환경 D-P-1

다종 센서 기반 탁수 모니터링 기술 적용을 통한 소양호 탁수 거동 특성 연구 293
SWAT+ 모형을 활용한 간월호 유역의 수문 민감지역 기반 식생여과대 입지 전략 평가 294
복합기후재난 정의에 따른 수질 영향 정도 및 기간 분석 295
수분관리 조건에 따른 겨울 밀 수량 및 단백질 함량 관련 과정기반 모형의 매개변수 전역 민감도 분석 296
영산강 표준유역의 수문성분별 공간적 이질성 평가 297
Unconstrained canopy water use leaves large water balance error undetected by conventional streamflow evaluation 298
DDS 알고리즘 기반 SWAT-GWFLOW-PADDY 모형의 산림 생장 정상화를 통한 유구천 유역 물수지 배분 신뢰성 평가 299
SWAT+ 모형의 HRU 간 중간유출 연계와 GWFLOW 결합을 통한 준분포형 모형의 한계 개선 300
인도 Biligundulu 유역의 통합수자원관리를 위한 실용지향형 사회수문학 프레임워크의 적용 301

농업농촌환경 D-P-2

SWAT+-GWFLOW 결합모형을 이용한 논 관개용수의 신속 · 기저회귀 평가 305
범용농지 배수설계를 위한 DRAINMOD 수문수질 평가 시스템 개발 및 국내 설계기준 연계 306
한국형 수치예보모델(KIM) 격자 강수자료와SWAT+ 분포형 기상 연계를 통한 유역 수량 · 수질의 시공간적 특성 분석 307
수질 등급 예측 확률분포를 결합한 신경망 기반 농업용 저수지 총유기탄소 농도 예측 308
농업용 저수지의 Transformer 기반 다중 시점 클로로필-a 예측에 대한 입력 시퀀스 길이의 영향 평가 309
농업용저수지 수질 예측을 위한 연쇄 계층형 잔차 학습 기반 시계열 딥러닝 프레임워크의 적용 및 평가 310
토지피복별 토양유기탄소 모니터링 지점 선정을 위한 환경특성 기반 공간 군집화 311
GIS 기반 질소무기화량 비교 및 비료 처방 전략 312
국가 온실가스 감축목표 이행 지원을 위한 토양기반 탄소흡수기술 통합영향평가 모델 개발 313
간척지 배수개선을 위한 경사 조성이 토양 이화학적 특성 및 콩 수량 변화에 미치는 영향 314

농촌계획 및 법/정책/거버넌스 E-P-1

농촌경관 평가를 위한 선행연구 검토 및 평가요소 체계화 317

FGI 및 문헌조사를 통한 공익직불제 이행점검 문제점 및 애로사항 분석 318
농촌지역 도로 물리적 특성을 고려한 농촌형 교통모델 적성 운영 방식 분석 319
르코르뷔지에 이론을 기반으로 한 농촌마을의 농촌공간계획 적용 고찰 및 사례 320
기능지수와 인구 · 고용 기반 중심성 지수 비교를 통한 농촌 중심지 계층분류 타당성 검토 321
농업 · 농촌 기후변화 실태조사 분야 확대 및 RISK 기반 조사 · 평가체계 재편 322
시스템 정보량 기반 적정 수용범위 및 복원성 평가모형 개발 323
GIS를 활용한 태양광 에너지 시설 적지평가 – 충청남도 예산군을 대상으로 – 324
농촌 교통취약지역의 생활서비스 통합모형 개발과 전이 가능성 분석 325
청주시 읍 · 면 지역 주민참여예산 제안사업의 공간분포 특성 분석 326

농촌계획 및 법/정책/거버넌스 E-P-2

홍성군 축산농가의 입지 특성과 주변 환경요인 간 공간적 관계 분석 329
공간 · 기상 데이터를 활용한 축산 악취 발생 가능성 예측 연구 330
Dyna-CLUE 모형을 활용한 토지이용 변화의 결정론적 모의 – 아산시를 대상으로 – 331
인구고령화를 고려한 농촌 직주기능 유형화 분석 332
농어촌기본소득 시범사업 시행에 따른 농촌지역 인구변화 분석 333
상습 침수구역 관리개선을 위한 농가 자구책 마련 연구 334
노지 스마트농업 성과평가를 위한 데이터 체계구축 방안 335
범용토양유실공식에 의한 토양유실량 평가 방법에 관한 연구 336
정주인구와 관광인구의 환경영향 비교를 위한 방법론 연구 337
삶터 · 일터 · 쉼터 기능에 기반한 시 · 군 단위 농촌공간 취약성 평가체계 구축 338

물안전 F-P-1

국내 AI 기반 홍수 예 · 경보 시스템의 기관별 기술 적용 현황 비교 및 발전 방향 연구 341
바이오가스 연계형 스마트축산단지의 개념 설계 및 경제성 평가 프레임워크 구축 342
유공관의 막힘 구간 탐지를 위한 시계열 단위 열화상 관측과 BIM 기반 모니터링 시스템 343
HEC-RAS를 이용한 관산저수지 댐 붕괴에 따른 침수피해 및 대피경로 분석 344
기후변화 시나리오를 활용한 농지배수 설계기준 해설편 적용성 분석 345
예측 유입량을 고려한 홍수기 댐 방류 의사결정 모형(K-Oper)의 개발 및 적용성 평가 346
상류 미시시피강 범람원의 육역화 진단을 위한 복합 육역화지수 개발 347
동역학적 해석법을 이용한 농업용 저수지 월류위험 예측 348

AI/RS/BigData A-P-3

키르기스스탄 낙농 메탄 배출량의 현장 측정 및 AI 기반 추정 · 관리체계 구축 351

CONTENTS

유공관의 배수성 저하 원인을 탐지하기 위한 AI 기반 자동 결함 탐지 시스템 352
기하 정보 기반 자동 라벨링을 활용한 간척지 콩 출현 탐지 모델 비교 분석 353
TFT-GNN 모델을 활용한 농업용수 수질예측 사전학습 모델 개발 354
ISO/TC347 표준화 체계 분석을 통한 데이터 기반 스마트농업 표준화 전략 355
자연어 기반 농업용 온실의 3차원 구조모델 생성 및 구조해석 모듈 개발 356
인공지능 및 실시간 멀티모달 데이터를 활용한 지능형 작물 생육 진단 및 맞춤형 양분 관리 SaaS 플랫폼 개발 및 실증 357
Sentinel-2와 설명가능 인공지능을 이용한 하구담수호 총유기탄소의 시공간 모니터링 358
양수식 수력발전 저수지의 다중 예측기간 저수량 예측을 위한 물리정보 기반 머신러닝 프레임워크 개발 359
표면 변위와 머신러닝을 활용한 필댐 내부침식 위험영역 탐지 360

구조, 재료 및 시공 B-P-1

농업생산기반설계기준 취입보(KDS 67 15 00) 개정 연구 363
LLM 기반 정밀안전진단보고서 정형화와 주성분분석을 활용한 농업용 저수지 보수·보강 발생위험 관련요인 분석 364
바이오차 혼입 비소성 인공경량골재의 CO_2 양생에 따른 기계적 특성 및 환경성 평가 365
기후변화 시나리오 기반 미래 적설심 및 할증률 산정을 통한 온실모델 구조 설계기준 고도화 366
기후변화 대응 천창 환기형 현대화 온실모델의 구조안전성 평가 및 설계기준 고도화 방안 분석 367
배합조건 및 골재입도에 따른 기존 제체 표면보강용 Rich-mix CSG의 다짐성 및 압축강도 특성 368
골재입도 및 혼화재 치환에 따른 기존 제체 표면보강용 Rich-mix CSG의 전단강도 특성 369
수위 관계 분석 기반 농업용 관수로 통수 저하 구간 탐지 기법 370
토목섬유 필터 매트 설치방법에 따른 배수특성 평가 371
내재해형 단동 비닐온실의 브레이싱 설계변수에 따른 구조 보강 효과 분석 372

농어촌물이용 C-P-2

범용 농지 적용을 위한 승강식 자동 물꼬의 개념설계 375
다기능저류조를 이용한 농업용 관수로 탁도 감지 및 용수공급 제어 시스템 평가 376
극한 가뭄 대비 작물별 최소 용수공급 기준 수립을 위한 밭 Test-bed 용수공급 저감 모니터링 시스템 구축 377
SMAP 기반 WCM 및 WCM-RF 모형의 100 m 격자 표층 토양수분 산정 성능 비교: 부여군 사례 378
농업환경보전 활동의 효과성 평가를 위한 실측 담수심 기반 논물관리의 환경영향 분석 379
실측 기공 반응 동역학이 증산 추정에 미치는 영향 380
국가 농업환경 모니터링을 통한 농촌 소유역 농업용수 수질의 시공간적 변동 및 장기 추세 평가 381
단계적 시계열 품질관리를 적용한 전자파표면유속계 기반 농업용수 사용량 산정 382

농어촌물이용 C-P-3

벼 지능형 물관리 솔루션을 활용한 관개용수 절감효과 분석 385
AquaCrop을 이용한 수분 스트레스 수준별 고추 수량 및 물생산성 평가 386
Projecting Future TOC in Data-Scarce Agricultural Reservoirs: A WGAN-Enhanced Framework Revealing the Importance of Dynamic Variability 387
PINN 기반 센서 데이터를 활용한 스마트 온실 미기후 매개변수의 재구성 및 예측 388
가축 운송 중 환경 스트레스 평가를 위한 지능형 멀티모달 모니터링 프레임워크 개발 389
논 중심 간척지 유역에서 작물 다양화가 지하수 함양과 용수 생산성에 미치는 영향 390
비접촉식 계측 기반 하천수 사용량 수집 및 품질관리: 시험유역 적용 사례 391
새만금 농생명용지 지하수와 생태환경용지의 수위 간 변화 특성 분석 392

농업농촌환경 D-P-3

토양탄소 통합영향평가를 위한 Pre-MRV Bridge 개발 395
유공관 부직포 필터 적용 유무에 따른 층위별 용적토양수분함량 변화 396
경사지 라이시미터에서 천연물 유래 토양저감물질의 토성에 따른 저감효과 비교 397
논에서 복합 저탄소 기술 적용에 따른 벼 생육 반응 398
관행 대비 권장 시비에 따른 옥수수 · 들깨 밭토양의 N_2O 배출 특성 비교 399
지역별 토양수분특성에 따른 사과 생리장해 및 품질특성 비교 400
비료 처리 위치에 따른 마늘 재배시 깊이별 토양 무기태 질소 변화 평가 401
간척지 토양의 유기물 투입에 따른 화학성 및 생물학성 초기 변화 402
HAWQS+를 활용한 웹 기반 유역 수문 · 수질 모델링 시스템 및 모델 공유 플랫폼 개발 403

물안전 F-P-2

전국 규모 자연유량 복원 및 AI-물리 융합 수문매개변수 추정 프레임워크 개발 407
다중센서 SWO와 DEM 경사연장 기반 북한 미계측 저수지의 시계열 저수량 복원 408
관산저수지 유입하천에서의 표면유속-평균유속 환산계수 산정 409
설계홍수 및 농업용 저수지 붕괴 조건에서 수변완충지대 폭에 따른 계곡부 홍수 수리반응 분석 410
영산강 · 섬진강 수계 농업용 저수지 붕괴 시나리오에 따른 하류부 침수 및 대피 안전성 평가 411
극한강우 시 유출특성과 저수지 붕괴 양상에 따른 침수민감도 평가 412
저수지 내 휴면포자 함유 표층퇴적물 제거에 따른 녹조 저감효과 평가 413
격자 강우자료, TPOT 기반 농업용 저수지 관리를 위한 강우예측 정확도 향상 연구 414

스마트시설농업 G-P-1

GHTwin3D: 단동 온실 디지털 트윈을 위한 IFC 기반 실내 점군-BIM 데이터셋 417

CONTENTS

배 과원에서의 방상팬 가동에 따른 미기상 변화 분석 418
태안 간척지 영농형 태양광시설의 일사량 변화 특성 분석 419
태안 간척지 영농형 태양광시설의 온·습도 변화 특성 분석 420
고온건조 지역 적용을 위한 에어돔 온실 에너지 모델의 개발 421
일사 조건과 에너지 효율을 고려한 보온스크린 개방률의 최적화 422
다겹보온커튼 개폐 비율에 따른 온실 내부 수직 온도 및 풍속 분포 분석 423
Nexus 관점의 시설농업 통합자원관리: 연구 동향과 적용 방안 424
동남아시아 이중 지붕 육계사 내부의 열환경 예측을 위한 열전달–전산유체역학 (HTM+CFD) 연계 모델 개발 425
지역별 온실 단지 토양분류 특성 분석 426
농업지역 초미세먼지 성분분석을 통한 암모니아의 초미세먼지 형성 기여도 평가 427
물리정보 신경망(PINN)과 전산유체역학(CFD)을 결합한 온실 환기 유동 예측 프레임워크 428

지반 및 기초공학 H–P–1

수평 지보재 대체 앵커의 설치조건에 따른 도심지 굴착 적용성 및 경제성 평가 431
GNSS 측량을 활용한 지하배수 유공관 암거 위치 좌표 분석 432
연약지반 초기 계측자료를 활용한 장기 압밀침하 분석 433
토석류의 주거공간 침입 실증실험과 거주자 보호행동 인식조사 434
산사태 미발생지 선정 기법 고도화를 통한 머신러닝 기반 산사태 취약성 평가 – 경기도를 중심으로 435
굴착규모를 고려한 도심지 지반함몰 영향범위 분석 436
스테레오 카메라 기반 임도 노면 변형 측정을 통한 도로 상태 지수 적용성 평가 437
압전센서를 활용한 전단 파괴 탄성파 방출 신호 특성 분석 438
원심모형실험을 이용한 실제 저수지 기초지반 PBD 공법의 압밀촉진 효과 평가 439
지능형 다짐관리 기반 다짐품질 평가와 도로포장 하부 지반침하 예방을 위한 시사점 440

2026 한국농공학회 학술발표회

특별세션

THE KOREAN SOCIETY OF AGRICULTURAL ENGINEER

토양유효수분 기반 밭 가뭄 통합정보 플랫폼 구축

Establishment of an Integrated Upland Drought Information Platform Based on Available Soil Water

조희래*, 최진용**, 이상현***, 조원주****, 유승환*****, 최규훈******
Hee-Rae Cho, Jin-Yong Choi, Sang-Hyun Lee, Won-Joo Cho,
Seung-Hwan Yoo, Gyu-Hoon Choi

요 지

농업·농촌 부문 가뭄 종합대책에 따라 밭토양 유효수분율은 농업가뭄의 주요 지표로 선정되어('16, 행안부) 시군 단위의 밭 가뭄 예·경보 정보로 제공되고 있다. 밭 가뭄을 진단하는 모형은 토양, 작물 및 기상요인의 상호작용을 고려하여 토양유효수분율을 예측하고, 지역별 가뭄단계를 평가하므로 모형의 정확도 향상이 중요하다. 또한 가뭄 피해를 최소화하고 사전에 대응하기 위해서는 밭 가뭄의 취약성·영향성 및 경제성을 종합적으로 평가하고, 이를 기반으로 대응전략을 수립할 수 있는 정보체계 구축이 필요하다. 본 연구에서는 밭 가뭄 모형의 적용 작물 확대, 밭 가뭄 영향성·취약성 평가 및 대응방안의 경제성 평가를 연계한 밭 가뭄 통합정보 시스템 구축을 수행하였다. 먼저 밭 가뭄 정보제공 대상 작물을 기존 콩에서 배추와 고추로 확대하고, 생육반응 실험을 통해 작물별 가뭄단계에 따른 토양유효수분율을 기준을 제시하였다. 또한 작물 및 토양 특성과 농업자원의 연계를 고려하여 밭 가뭄의 영향성과 취약성을 평가하였다. 물-에너지-식량 넥서스 기반으로 밭 가뭄 대응방안을 유형화하고, 취약성 평가 결과와 연계하여 경제성을 평가할 수 있는 분석체계를 구축하였다. 마지막으로 각 연구의 분석 결과를 종합하여 영농 및 정책 현장에서의 의사결정을 지원할 수 있는 밭 가뭄 통합정보 플랫폼을 구축하였다. 본 연구결과는 기존의 밭 가뭄 예·경보 제공을 넘어 지역 및 작물별 가뭄정보를 확대·개선하고 가뭄 취약성을 종합적으로 관리하여 지역별 대응전략을 수립하는데 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

핵심용어: 밭 가뭄, 토양유효수분율, 취약성, 가뭄대응, 플랫폼

본 연구는 농촌진흥청 신농업기후변화대응체계구축 사업 내 토양 유효수분 변동 모형 활용 밭가뭄 평가 및 예경보 시스템 구축(RS-2025-02273020) 과제의 지원을 받아 수행된 연구임.

* 비회원・국립농업과학원 토양물환경과 농업연구관・E-mail : chohr519@korea.kr
** 정회원・서울대학교 지역시스템공학부 교수・E-mail : iamchoi@snu.ac.kr
*** 정회원・충북대학교 지역건설공학과 교수・E-mail : sanghyun@cbnu.ac.kr
**** 정회원・충북대학교 농업경제학과 교수・E-mail : wjcho@cbnu.ac.kr
***** 정회원・전남대학교 지역·바이오시스템공학과 교수・E-mail : yoosh15@jnu.ac.kr
****** 정회원・(주)위디비 대표・E-mail : ghchoi@wedb.co.kr

노지 밭작물 비료 사용 및 물 사용 처방 프로그램 고도화

Advancement of fertilizer and water recommendation program for upland crops

손정우*, 서병환**, 곽진협***, 장태일****, 김태곤*****
Byounghwan Seo, Byounghwan Seo, Jinhyeob Kwak, Taeil Jang, Taegon Kim

요 지

최근 이상기상과 기후변화로 강수의 시·공간적 불균형과 가뭄 빈도가 증가하면서 노지 밭작물 재배환경의 불확실성이 커지고 있어, 현재의 재배조건뿐만 아니라 미래 영농여건 변화를 고려한 양·수분 관리 기술이 요구된다. 아울러 물관리기본법 제정에 따른 농업용수 관리체계 개편과 제5차 친환경농업 육성 5개년 계획에 따른 적정 시비체계 구축에도 대응할 필요가 있다. 농촌진흥청 흙토람은 2022년부터 물 사용 처방 서비스를 제공하고 있으나, 비료 사용 처방이 235종을 대상으로 하는 데 비해 물 사용 처방은 18종에 한정되어 채소류 주산지 지정품목인 대파, 생강, 양배추 등이 제외되어 있고, 처방 단위가 시군이어서 동일 시군 내 지형과 기상 차이에 따른 물 필요량의 공간적 변이를 반영하지 못하며, 미래 기후변화에 따른 물 필요량 변화 정보도 제공하지 못하는 한계가 있다. 또한 기존 표준시비량은 1990년대 초 수량 증대를 목표로 설정되어 양분이용효율이 고려되지 않았다. 이에 본 연구는 처방 대상 작물의 확대, 생육단계별 양분 공급기준 설정, 증발산량의 공간적 상세화를 통한 처방 정확도 향상, 기후변화 시나리오 기반 미래 물관리 정보 제공 및 사용자 중심의 프로그램 표출 개선을 목표로 수행하였다. 시험재배지(영광, 완주)에 소형 라이시미터와 자동기상관측장비를 설치하여 FAO Penman-Monteith 식과 물수지 분석으로 생육단계별 작물계수를 산정한 결과, 중기 작물계수는 생강 0.99, 단호박 1.00, 메밀 1.13, 양배추 1.16～1.23으로 FAO 제시값과 유사한 범위를 나타냈다. 양분 공급기준 설정을 위해 화학비료, 완효성비료, 유기질비료 및 가축분퇴비를 검정시비량의 50, 100, 200% 수준으로 처리한 결과, 양배추의 건물중은 화학비료, 완효성비료, 유기질비료, 가축분퇴비 순으로 높았고 모든 처리구에서 무처리보다 수량이 증가하였으나 처리 간 통계적 유의성은 확인되지 않았으며, 토양 EC, 유기물 및 유효인산 함량이 생육 중반 건물중과 양의 상관을 보였다. 공간적 상세화를 위해 해발고도와 냉기집적효과 등을 고려한 270 m 격자 상세기상 자료를 구축하고 관측값과 비교한 결과, 167개 시군 농경지의 평균기온과 누적 일사량은 관측값보다 각각 0.6 ℃, 429 MJ 낮고 강수량은 112 mm 많아 처방 단위 세분화의 필요성을 확인하였다. 프로그램 측면에서는 파일럿 사이트를 구축하여 주소 자동완성 기능으로 입력 절차를 간소화하고 흙토람 API 연계와 신규 작물 확장형 구조를 설계하였으며, SSP 기후변화 시나리오 자료를 데이터베이스화하여 작물과 재배지점 선택에 따라 생육단계별 미래 기온 및 강수량 변화를 자동 산정·시각화하는 기능을 구현하였다. 향후 반복시험을 통해 양분 공급기준의 통계적 유의성을 확보하고, 상세기상 기반 기준증발산량 자동 산정 시스템과 작물 생산성 모형을 연계하여 처방 단위를 읍·면·동으로 세분화하고 미래 물 필요량 예측 정보를 제공할 계획이다.

핵심용어: Smart Irrigation, Crop water stress, variable rate irrigation, smart sprinkler

* 회원・국립농업과학원 토양물환경과 농업연구사・E-mail : sbhsbhlove@korea.kr
** 비회원・국립농업과학원 토양물환경과 농업연구사・E-mail : sbhsbhlove@korea.kr
*** 회원・전북대학교 지역건설학과 교수・E-mail : jh_kwak@jbnu.ac.kr
**** 회원・전북대학교 지역건설학과 교수・E-mail : tjang@jbnu.ac.kr
***** 회원・전북대학교 스마트팜학과 교수・E-mail : taegon@jbnu.ac.kr

통합정보 기반 밭작물 최적 생육을 위한 스마트 관개제어시스템

Smart Irrigation Control System for Optimal Growth of Field Crops Based on Integrated Information

이상훈*, 김동석**, 김진현***, 김설하****, 홍석주*****, 김태욱******,
김종혁*******, 변기식********, 서재석*********, 서석현*********
Sanghun Lee, Dongsuk Kim, Jinhyun Kim, Sulha Kim, Sukjoo Hong, Taewook Kim,
Jonghyuk Kim, Kisik Byen, Jaesuk Seo, Seokhyun Seo

요 지

기후변화에 따른 강수의 시·공간적 불균형과 가뭄 빈도의 증가는 노지 밭작물의 안정생산을 저해하고 농업용수 부족을 심화시키는 주요 요인이다. 본 연구는 제한된 농업용수를 효율적으로 이용하면서 밭작물의 최적 생육환경을 유지하기 위하여 기상·토양·작물 정보를 통합한 관수 의사결정 모델과 위치기반 변량제어 스마트 관개시스템을 개발하고자 수행하였다. 통합정보 기반의 효율적인 관개 알고리즘 개발을 위해 작물가용수분(PAW)을 기준으로 관개하면서, 기온, 일사량, 상대습도, 풍속, 강수량 및 기준증발산량(ET_0)을 수집하고, 토양 깊이별 체적수분함량을 측정하고, 생육단계별 초장, 경태, SPAD, 기공전도도, 엽온 및 다중분광 영상을 조사하여 작물 수분스트레스 데이터베이스를 구축하였다. 시험기간 일일 증발산량(ET_0)은 평균 3.88 mm이였으며, ET_0는 일조시간과 높은 상관관계(R^2=0.871)를 보여 물부족 조건에서 기상정보를 활용한 관개 의사결정의 필요성을 확인하였다. 기공전도도와 일사량 및 증기압포차(VPD)를 반영한 동적 기준선을 이용하여 작물수분스트레스지수(CWSI)를 산정한 결과, 기상정보만을 이용한 CWSI 예측모델의 결정계수는 0.527이었으나, 토양수분 정보를 추가하면 0.653, 관수 이력을 추가하면 0.655로 향상되었다. 특히 관수 후 경과시간과 최근 72시간 누적관수량이 주요 예측변수로 나타났다. LightGBM 기반 토양수분 예측에서 초기 토양수분을 반영한 경우 깊이 5, 15 및 25 cm의 결정계수는 각각 0.739, 0.477 및 0.609였으며, 매트릭포텐셜 예측모델은 최대 0.59의 결정계수를 나타냈다. 관수 의사결정 결과를 필지에 정밀하게 적용하기 위하여 스프링클러의 회전각도를 실시간으로 인식하고 회전 위치별 공급압력과 유량을 조절하는 변량관개 장치를 개발하였다. 스프링클러 내부 유로를 19 mm에서 25 mm로 확대하여 압력손실을 줄였으며, 개선 장치는 공급압력 2, 3 및 4 bar에서 각각 20, 28 및 31 m의 살수거리를 확보하였다. 아울러 기상 센서스테이션, 무선 관수제어 노드 및 GIS 기반 통합관리시스템을 구축하여 장치 상태, 기상·토양정보, 관수 이력 및 구역별 관수 명령을 통합 관리할 수 있도록 하였다. 본 시스템은 작물 수분스트레스와 토양수분 상태를 예측하고 필지 내 공간변이에 따라 필요한 위치에 적정량의 용수를 공급함으로써, 획일적 관개에서 발생하는 과잉관수와 용수 손실을 줄일 수 있을 것으로 판단된다. 향후 생육단계별 관개 기준과 예측모델을 고도화하고 현장실증을 통해 용수절감, 관개균일도 및 생산성 향상 효과를 정량적으로 평가할 계획이다.

핵심용어: Smart Irrigation, Crop water stress, variable rate irrigation, smart sprinkler

* 비회원・국립식량과학원 스마트생산기술과 농업연구사・E-mail : sangusa@korea.kr
** 비회원・국립식량과학원 스마트생산기술과 산학연구생・E-mail : eclis2123@korea.kr
*** 비회원・경북대학교 미래과학기술융합학부 교수・E-mail : jinhyun@knu.ac.kr
**** 비회원・경북대학교 미래과학기술융합학부 교수・E-mail : shkim0731@knu.ac.kr
***** 비회원・경북대학교 스마트생물산업기계공학화 교수・E-mail : hsj5596@knu.ac.kr
****** 비회원・경북대학교 미래과학기술융합학부 교수・E-mail : kimtw@knu.ac.kr
******* 비회원・경북대학교 미래과학기술융합학부 대학원생・E-mail : dmduwhdgurenaver.com
******** 비회원・(주)유비엔 이사・E-mail : keramos053@ubncorp.kr
********* 비회원・(주)유비엔 이사・E-mail : jsseo@ubncorp.kr
********** 비회원・신성엔지니어링 부장・E-mail : sinsung-eng@hanmail.net

위성영상 기반 농경지 경작 및 휴경 판별 기술 개발

Development of a Satellite-Based Technique for Determining Cultivation Status and Classifying Fallow Types of Farmland

류재현*, 곽근호**, 이수진***, 최락영****, 이경도*****
Jae-Hyun Ryu, Geun-Ho Kwak, Soo-Jin Lee, Lak-Yeong Choi, Kyung-do Lee

요 지

농지 이용 실태 데이터베이스 구축을 위하여 2026년부터 2027년까지 전국 농지를 대상으로 사상 최초 농지 전수조사를 실시하고 있다. 현장조사 중심의 방식은 시간과 비용의 제약으로 전국 단위의 주기적 조사가 어려운 실정이다. 고해상도 항공영상의 경우 인공지능 기술을 이용하여 객체를 탐지하는데 활용될 수 있으나 연중 특정 시점에 관측되었기 때문에 농경지에서 경작여부를 확인하는 데 어려움이 있다. 본 연구에서는 위성영상 기반 시계열 식생지수 분석을 통해 필지 단위의 경작여부를 판별하고, 비경작 농지의 휴경 유형을 분류하는 기술을 개발하고자 한다. 이를 위해 Google Earth Engine 플랫폼에서 Sentinel-2 위성영상을 반월 단위(매월 1~15일, 16일~말일)로 식생지수(Normalized Difference Vegetation Index, NDVI)를 합성하였다. 이후 팜맵 필지 경계를 기준으로 구역통계하여 필지별 NDVI 시계열을 구축하였다. 결측 구간은 보간하여 연속적인 생육 곡선을 생성하였으며, 최종적으로 변곡점 탐지 모델을 적용하여 필지별 경작 여부를 판별하였다. NDVI 기반의 작물 생물계절 변화 특성은 필지별 경작 필지와 비경작 필지를 구분하였데 유용하였다. 비경작 필지 내에서도 경운·개발 등으로 인한 나지 상태와 잡초·관목이 우점하는 휴경지가 연중 식생지수 시계열 변화 특성의 차이로 분리됨을 확인하였다. 본 연구는 위성영상과 필지 공간정보를 연계하여 농경지 이용 현황을 주기적이고 정량적으로 모니터링할 수 있는 방법을 제시하였다. 이를 통해 농지 현장점검 조사원이 위성영상 판독 결과를 토대로 방문이 필요한 필지를 사전에 선별할 수 있어 농지 조사, 공익직불금 등 농업행정 업무의 과학화와 효율화에 기여할 것으로 기대된다.

핵심용어: 위성영상, 농경지, 경작, 휴경

본 논문은 농촌진흥청 연구사업(과제번호: RS-2026-25515531)의 지원에 의해 이루어진 것임

* 비회원・농촌진흥청 국립농업과학원 농업위성센터 연구사・E-mail : ryujaehyun@korea.kr
** 비회원・농촌진흥청 국립농업과학원 농업위성센터 연구사・E-mail : ghkwak06@korea.kr
*** 비회원・농촌진흥청 국립농업과학원 농업위성센터 연구사・E-mail : sjlee610b@korea.kr
**** 비회원・농촌진흥청 국립농업과학원 농업위성센터 연구사・E-mail : cl6847@korea.kr
***** 비회원・농촌진흥청 국립농업과학원 농업위성센터 연구관・E-mail : kdlee11@korea.kr

위성영상 · AI 기반 농업시설 탐지 및 분류 모델 개발

Development of a Satellite Imagery and AI-Based Model for Detecting and Classifying Agricultural Facilities

Seungsu Shin

요 지

농경지 피복변화 탐지와 경작여부 판별을 고도화하기 위해서는 비경작 필지 내 비닐하우스, 축사, 태양광 시설 등 인공구조물의 존재 여부와 유형을 정확히 파악하는 것이 필요하다. 본 연구는「농업위성 기반 농경지 피복변화 탐지 및 정보제공 체계 구축」과제의 일환으로, 위성영상과 인공지능을 결합하여 농업시설을 필지 단위로 농업시설을 분류하고 화소 단위로 분할하는 모델을 개발하는 것을 목표로 한다. 1차년도에는 김제시와 합천군의 비경작 필지를 대상으로 필지단위 인공구조물 판별 모델을 개발하고 전국을 농경지를 대상으로 평가해 보았다. 계절 변화에 강건한 모델을 구축하기 위해 동일 필지에 대해 1·4·7·10월의 Sentinel-2 영상을 수집하여 다시기(multi-temporal) 학습 데이터를 구축하고, 필지 폴리곤을 기준으로 위성영상을 잘라 필지 이미지 단위로 인공구조물 유무를 학습하는 파이프라인을 설계하였다. 다중밴드 및 RGB 기반 비전 파운데이션 모델(Clay, DINOv2, DINOv3)과 전통적 기계학습·CNN 모델(XGBoost, ResNet)을 in-domain 및 cross-date 조건에서 비교한 결과, 촬영 시기가 달라져도 안정적인 일반화 성능을 보인 DINOv2 기반 모델을 최종 선정하였으며, 필지별 예측 결과는 공간정보 데이터(GPKG) 형태로 산출하였다. 향후에는 학습된 모델을 확장하여 지역 간 전이 성능을 평가하고, 불확실성이 높은 필지에 대해서는 고해상도 영상과 화소 단위 분할(segmentation) 모델을 적용하여 시설·건물·태양광·나지 등 구조물의 존재 여부와 유형을 동시에 판별하는 정밀 분석 체계를 구축할 계획이다. 본 연구 결과는 농림위성 기본·활용 산출물과 연계되어 미경작 필지 및 농업시설 정보를 제공하는 농업위성 정보서비스의 핵심 입력자료로 활용될 것으로 기대된다.

핵심용어: 농림위성, 농업시설 탐지, 인공구조물 판별, 필지 단위 분류, 화소 단위 분할

본 성과물은 농촌진흥청 연구사업(과제번호: RS-2026-25515531)의 지원에 의해 이루어진 것임

* 비회원 · ㈜메이사 R&D 이사 · E-mail : ssshin@meissa.ai

레이더 영상 기반 농경지 피복변화 탐지 기술 개발

Development of a Method for Detecting Land Cover Changes in Croplands Based on Radar Imagery

정한철*, 송건희**, 이승준***, 박한아****, 정희정*****
Hahn Chul Jung, Geon Hee Song, Seung Jun Lee, Hanah Park, Hee-Jeong Jeong

요 지

농경지는 해마다 경작 여부와 이용 형태가 달라질 수 있으므로, 동일 필지에서 발생하는 피복변화를 지속적으로 파악할 필요가 있다. 이러한 변화는 농경지 이용 현황을 이해하고 관련 정책의 이행 여부를 점검하는 데 중요한 정보가 된다. 그러나 현장조사만으로 넓은 지역의 변화를 반복적으로 확인하기에는 많은 시간과 인력이 필요하다. 위성영상은 넓은 지역을 반복적으로 관측할 수 있어 이러한 현장조사의 한계를 보완할 수 있으며, 레이더 영상은 구름이나 기상조건에 제약 없이 필지의 상태 변화를 지속적으로 파악하는 데 활용할 수 있다. 이를 통해 연도별 피복변화를 파악하고 현장점검에 필요한 정보를 효율적으로 제공할 수 있다. 본 연구에서는 김제와 세종 지역의 2024년 및 2025년 Sentinel-1 위성영상과 현장조사 자료를 이용하여 농경지의 연도별 경작 상태를 판별하였다. 먼저 현장조사에서 경작지와 비경작지로 분류된 필지를 대상으로 레이더 지수의 연간 변화 패턴을 분석하고, 두 유형에서 서로 다르게 나타나는 특징을 바탕으로 경작 여부의 판단 기준을 설정하였다. 이후 분석 대상 필지의 연간 변화 양상을 이 기준과 비교하여 연도별 경작 여부를 분류했으며, 기준 설정에 포함되지 않은 현장조사 필지를 이용해 분류 정확도를 평가하였다. 연도별 분류 결과를 동일 필지를 기준으로 결합하여 경작 유지, 비경작 유지, 경작에서 비경작으로의 변화 및 비경작에서 경작으로의 변화를 구분하였다. 이를 바탕으로 두 연도 사이에 피복 상태가 달라진 필지의 위치와 면적을 파악하고, 농경지 피복 변화 지도를 작성하는 것을 목표로 한다. 본 연구의 결과는 연도별 농경지 이용 현황을 제공하고, 점검 대상 농지를 효율적으로 선정하는 데 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

핵심용어: Sentinel-1, Time-Series Analysis, Cropland, Land Cover Change Detection

본 성과물은 농촌진흥청 연구사업(과제번호: RS-2026-25515531)의 지원에 의해 이루어진 것임

* 비회원・연세대학교 지구시스템과학과 교수・E-mail : hahnchul.jung@yonsei.ac.kr
** 비회원・연세대학교 대학원 지구시스템과학과 석사과정생・E-mail : kh2192000@yonsei.ac.kr
*** 비회원・연세대학교 대학원 지구시스템과학과 석박통합과정생・E-mail : sjunlee@yonsei.ac.kr
**** 비회원・연세대학교 대학원 지구시스템과학과 석박통합과정생・E-mail : parkhanah72@yonsei.ac.kr
***** 비회원・연세대학교 대학원 지구시스템과학과 박사과정생・E-mail : hjjeong@yonsei.ac.kr

시공간 자료 확장을 위한 위성 영상 융합 기술 개발

Development of Satellite Image Fusion Techniques for Spatiotemporal Data Expansion

최철웅*, 임승찬**, 김동규***, 김효진****
Chuluong Choi, Seungchan Lim, Donggyu Kim, Hyojin Kim

요 지

농경지의 피복상태와 변화 양상을 지속적으로 모니터링하기 위해서는 연속적인 시계열 위성영상의 확보가 중요하다. 광학위성영상은 농경지의 상태와 변화를 관측하는 데 유용하지만, 구름과 기상조건에 따라 활용 가능한 영상의 확보가 제한될 수 있으며, 국내의 계절적 기상특성은 안정적인 시계열 자료 구축에 제약요인으로 작용한다. 본 연구에서는 이러한 한계를 보완하기 위해 광학영상과 레이더영상의 다중시계열 정보를 융합하여 구름의 영향을 저감한 cloud-free 광학영상을 생성하는 기술을 구축하고자 하였다. 이를 위해 Sentinel-1 SAR 영상과 Sentinel-2 광학영상을 입력으로 활용하여 cloud-free Sentinel-2 영상과 불확실도 정보를 함께 산출하는 전지구 사전학습 모델인 UnCRtainTS를 한국지역에 적용하였다. 연구대상지역은 김제시와 세종시를 포함하는 Sentinel-2 타일 52SBE, 52SCE 및 52SCF의 3개 ROI로 선정하였다. 기존 UnCRtainTS의 전지구 데이터셋 기반 패치 단위 평가 구조를 국내의 월별 영상 생산에 적용할 수 있도록 ROI·연월·패치 단위의 자료구조로 재구성하였으며, ROI별 월 단위 공통 target 날짜를 설정하였다. 또한 구름률과 target 시점과의 시간거리를 함께 고려하여 입력영상을 선정하고, 입력자료가 부족한 경우 후보범위를 확대할 수 있도록 처리체계를 보완하였다. 초기 자료 구축 과정에서 Sentinel-1과 Sentinel-2의 관측일 불일치와 일부 월의 유효 입력자료 부족이 확인됨에 따라 위성 간 매칭 범위를 ±6일까지 확대하여 입력자료를 재구성하였다. 이를 기반으로 2026년 1월부터 6월까지 월별 target 및 prediction 영상을 생성하였으며, 추론 결과의 GeoTIFF 변환과 패치 단위 결과의 모자이크를 통해 지역 단위 cloud-free 시범 산출체계를 구축하였다. 적용 과정에서는 사용 가능한 입력영상의 수뿐만 아니라 Sentinel-1과 Sentinel-2의 관측시점 차이 및 ROI에 대한 공간중첩 조건이 월별 입력자료 구성과 산출물의 안정성에 영향을 미치는 것으로 확인되었다. 특히 일부 시기에는 Sentinel-1 운용체계 전환 등의 영향으로 활용 가능한 입력자료가 제한되어, 국내 적용을 위해서는 입력자료 선정과 자료 부족에 대한 예외처리 체계의 고도화가 필요한 것으로 판단되었다. 향후에는 Sentinel-2와 함께 농림위성 광학영상을 추가적으로 활용하여 이용 가능한 관측자료의 수와 관측빈도를 증가시키고, 현재 일부 시기에서 발생하는 입력영상 부족 문제를 완화할 계획이다. 이를 통해 현재 약 1개월 단위로 생성되는 융합영상의 산출주기를 단축하여 보다 조밀한 시계열의 농경지 관측자료를 생산하고자 한다. 또한 UnCRtainTS에서 복원영상과 함께 산출되는 불확실도 정보를 활용하여 결과영상의 신뢰성을 함께 평가하고, 최종적으로 Sentinel-1 레이더 영상과 Sentinel-2 및 농림위성 광학영상을 활용한 cloud-free 영상과 불확실도 정보를 함께 제공하는 위성영상 융합 산출체계를 구축하고자 한다.

핵심용어: 광학위성영상, 위성영상 융합, Sentinel-1/2, UnCRtainTS, 불확실도

본 성과물은 농촌진흥청 연구사업(과제번호: RS-2026-25515531)의 지원에 의해 이루어진 것임

* 비회원・국립부경대학교 위성정보시스템공학과 교수・E-mail : cuchoi@pknu.ac.kr
** 비회원・국립부경대학교 대학원 공간정보시스템공학전공 박사1・E-mail : sc6888@pukyong.ac.kr
*** 비회원・국립부경대학교 대학원 공간정보시스템공학전공 석사1・E-mail : kevin8220@pukyong.ac.kr
**** 비회원・국립부경대학교 대학원 공간정보시스템공학전공 석사2・E-mail : hyojini101@pukyong.ac.kr

농업위성정보 시스템 시작품 구축 및 기본산출물 서비스

Development of an Agricultural Satellite Information System Prototype and Basic Product Service

엄우학*, 이민형**, 한아름***, 김세일****, 허부선*****, 이원준******
Woo-hak Eom, Minhyung Lee, Ah-reum Han, Seil Kim, Buseon Heo, Wonjun Lee

요 지

농림위성(CAS500-4) 발사를 계기로 농업위성 영상의 행정 활용 요구가 커지고 있으나, 현행 공익직불제 이행점검은 5~10% 수준의 표본조사에 의존하여 전체 농지의 90% 이상이 점검 사각지대에 있고, 갱신주기 1~2년의 항공영상 기반 팜맵으로는 당해 연도 실경작 여부 확인이 어렵다. 이에 농촌진흥청은 농업위성 기반 농경지 피복변화 탐지 및 정보제공 체계 구축을 위한 5개년(2026~2030) 연구개발 과제를 추진하고 있으며, 본 연구는 1차년도 과업으로 기본산출물(L2/L3) 기반 공간정보 서비스 시작품을 구축하였다. 경작여부 판별 등 활용산출물(L4) 알고리즘 개발에 앞서, 발사 직후부터 생산되는 L2/L3 산출물을 수요자가 즉시 검색·조회·배포받는 서비스를 우선 구축함으로써 대용량 영상 처리 인프라와 데이터 관리 체계를 조기에 검증하고, 향후 고도화될 활용산출물이 동일 체계 위에서 유기적으로 확장될 수 있도록 선제적 기반을 마련하는데 목적이 있다. 시작품은 국내·외 위성정보 서비스 현황조사와 수요자 요구사항 분석을 토대로 시스템 아키텍처·데이터베이스·웹기능을 설계한 후 구축하였다. 구축된 시작품은 L2/L3 산출물 관리 데이터베이스와 대용량 위성영상 처리 인프라를 기반으로 일자·기간·조건별 산출물 검색과 배포 서비스를 제공하며, 레이어 제어·가시화, 그리기 도구, 벡터(GeoJSON) 기반 공간 검색 등 웹GIS 기능을 포함한다. 또한 계정별 권한 체계를 적용하여 기본산출물(L2/L3)과 활용산출물(L4)의 조회 범위를 사용자 등급에 따라 구분한다. 2차년도 과업으로는 연속지적도, 행정구역 경계, 팜맵 등 공간정보와 산출물을 연결하는 속성 상호 연계 모듈을 개발하고, 이를 기반으로 활용산출물(L4) 기반 서비스와 정책 지원 기능으로 고도화 예정이다.

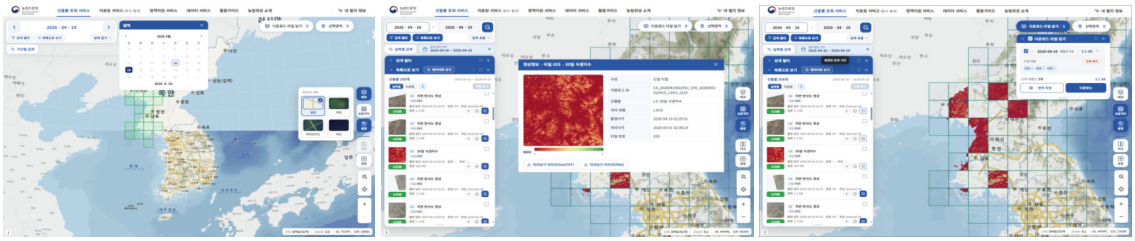

그림 1. 농업위성 활용 산출물 서비스 예시

핵심용어: 농림위성(CAS500-4), 기본산출물(L2/L3), 공간정보 서비스, 시스템 시작품

본 성과물은 농촌진흥청 연구사업(과제번호: RS-2026-25515531)의 지원에 의해 이루어진 것임

* 비회원・(주)올포랜드 DX1그룹 상무이사・E-mail : rueman21@all4land.com
** 비회원・(주)올포랜드 DX1그룹 부장・E-mail : knka1004@all4land.com
*** 비회원・(주)올포랜드 DX1그룹 차장・E-mail : noel611@all4land.com
**** 비회원・(주)올포랜드 IE팀 대리・E-mail : seil712@all4land.com
***** 비회원・(주)올포랜드 IE팀 대리・E-mail : buseon@all4land.com
****** 비회원・(주)올포랜드 IE팀 사원・E-mail : wjlee@all4land.com

시설농업단지의 동절기 용수부족 대응을 위한 지하수 함양사업

MAR (managed aquifer recharge) application to mitigate groundwater shortage in high-density greenhouse complexes during every winter season

김민지*, 이병선**, 백미경***, 이규상****
Minji Kim, Byungsun Lee, Mikyung Baek, Gyusang Lee

요 지

최근 집단화된 대규모 시설농업단지에서는 안정적인 농업용수 확보가 중요한 과제로 대두되고 있다. 특히 겨울철 시설하우스의 보온을 위해 활용되는 수막재배는 야간에 지하수 취수가 집중되는 특성이 있어 동절기 지하수 이용량을 크게 증가시키는 요인으로 작용한다. 이로 인해 일부 시설농업단지에서는 겨울철 지하수위 저하와 함께 농업용수 부족이 반복적으로 발생하고 있어, 계절적으로 집중되는 용수 수요에 대응하기 위한 수자원 확보 방안 마련이 필요한 실정이다.

이에 농림축산식품부와 한국농어촌공사는 50ha 이상의 대규모 시설농업단지를 대상으로 지하수 함양사업을 추진하고 있다. 본 사업은 대상 지역의 수문·지질 및 대수층 특성을 조사하여 지하수 함양을 위한 적정 수원과 함양방법을 검토하고, 대수층의 저장능력을 활용한 지하수 저장 및 회수·이용 체계를 구축하는 것을 주요 내용으로 한다. 사업대상지는 지자체 공모 및 평가를 통해 선정하며 기본조사, 세부설계 및 시설설치의 단계적 절차를 거쳐 사업을 추진하고 있다. 총 21개 지구를 대상으로 2025년부터 사업을 시작하여 2038년까지 사업 완료를 목표로 하고 있다.

2025년에는 경기도 이천시와 경남 진주시가 대상지로 선정되었다. 두 대상지에서는 지하수 함양시설 설치를 위한 기초자료 확보를 위해 시추조사를 통한 충적층 및 대수층 특성 분석, 탄성파 탐사 등 지구물리탐사, 대수성시험 등 현장조사를 수행하였다. 이를 기반으로 2026년에는 두 대상지에 대한 지하수 저장 및 회수 이용 실시설계를 완료하고, 2028년까지 지하수 함양시설을 설치할 예정이다.

2026년에는 충청남도 논산시와 전북특별자치도 남원시가 신규 대상지로 선정되었다. 대상지구에서는 1차년도에 충적층 분포현황 및 대수층 저류능력 등을 평가하기 위한 기본조사를 수행하고, 조사 결과를 바탕으로 세부설계를 거쳐 지하수 함양시설을 단계적으로 설치할 계획이다.

본 지하수 함양사업은 동절기 수막재배로 인해 집중되는 농업용수 수요에 대응하여 시설농업단지의 안정적인 농업용수 확보에 기여할 것으로 기대된다. 또한 국내 시설농업단지의 지속가능한 지하수 이용 및 농업용수 관리 기반을 마련할 수 있을 것으로 판단된다. 나아가 시설농업의 에너지 이용 효율 향상을 통해 화석연료 의존도를 저감하여 농업분야의 탄소중립 실현에도 기여할 것으로 기대된다.

핵심용어: 시설농업단지, 수막재배, 지하수 함양, 탄소중립

* 정회원・한국농어촌공사 지하수지질처 과장・E-mail : minji1@ekr.or.kr
** 정회원・한국농어촌공사 지하수지질처 차장・E-mail : byungsun94@ekr.or.kr
*** 정회원・한국농어촌공사 지하수지질처 부장・E-mail : aqualily@ekr.or.kr
**** 정회원・한국농어촌공사 지하수지질처 처장・E-mail : leegs@ekr.or.kr

단목 시설재배단지 지하수 인공함양 사업의 타당성 평가

Feasibility Evaluation of the Artificial Groundwater Recharge Project in the Danmok Greenhouse Complex

장민원*, 명우호**, 김상민***
Min-Won Jang, Wooho Myoung, Sangmin Kim

요 지

1990년대 이후 시설재배 면적이 확대되면서 지하수 의존도가 높아지고, 동절기 수막용수 과다 사용에 따른 지하수위 저하와 농가 간 갈등이 심화되고 있다. 이에 진주시 대곡면 단목지구에 지하수 인공함양 시범사업이 시행되었으며, 본 연구는 해당 사업을 대상으로 경제적·정책적 타당성을 평가하였다. 평가를 위해 국내외 수자원 및 농업생산기반정비사업의 예비타당성조사·사후평가 사례를 참고하여 편익 항목을 구성하고, 총사업비 약 103억 5,100만 원을 기준으로 정량적 분석을 수행하였다. 분석 결과 시설재배 면적의 직접적인 증가는 외부요인의 영향이 커 편익으로 반영하기 어려웠으나, 지하수 함양량과 주입효율을 고려한 잠재적 수혜면적은 최대 약 58.9만~117.9만㎡로 산정되었고, 수막용수 사용에 따른 난방비는 경유 난방 대비 약 99.2%(214.3억 원→1.75억 원) 절감되는 것으로 나타났다. 온실가스는 2020년 대비 2022년 약 338.7tCO2 감축되어 2060년까지 누적 편익 약 57억 6,880만 원으로 환산되었으며, 신규 고용은 23명(연간 임금 약 4억 원) 창출되어 2060년까지 최대 456명 수준으로 확대될 것으로 추정되었다. 사업 이후 겨울철 지하수위는 1월 0.38m, 2월 0.14m 상승하였고, 지하수 부족을 경험한 농가 비율은 88%에서 25%로 감소하는 등 정책적 효과도 확인되었다. 본 연구 결과는 향후 시설재배단지 지하수 인공함양 사업의 타당성 평가에 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

핵심용어: 수막용수, 시설재배단지, 지하수 인공함양, 사업 타당성

* 정회원・경상국립대학교 지역시스템공학과·농업생명과학연구원 교수・E-mail : mwjang@gnu.ac.kr
** 정회원・한국농어촌공사 경기지역본부 차장・E-mail : kordet@ekr.or.kr
*** 정회원・경상국립대학교 지역시스템공학과·농업생명과학연구원 교수・E-mail : smkim@gnu.ac.kr

경남 하동 시설재배단지에서 분지형 지하수 함양 시험 연구

Feasibility tests on the basin-type MAR (Managed aquifer recharge) in one representative greenhouse complex, Hadong county, South Korea

이병선*, 서상진**, 김민지***, 용환호****, 백미경*****, 이규상******
Byungsun Lee, Sangjin Seo, Minji Kim, Hwan-Ho Yong, Mikyung Baek, Gyusang Lee

Abstract

To identify applicability of an infiltration basin-type artificial recharge system on an alluvial aquifer in a high-density greenhouse complex area, South Korea, a field-scale study was performed. In this area, enormous amounts of groundwater were extracted to form water-curtain on the space between interior- and exterior-plastic film of the double-layer plastic greenhouse during winter seasons. The water-curtain kept the indoor air temperature of greenhouse warm during winter night, therefore, this area has repeatedly experienced a shortage of groundwater winter seasons due to excessive pumping. This study experimentally tried to alleviate this groundwater shortage problem in winter by applying the infiltration basin-type artificial recharge method. Drainage water flowing drainage canal was used as artificially recharged water, which was transported into the small-scale test-cell (length x width x depth = 7 x 7 x 3 m^3) and introduced into relatively high-permeable alluvial aquifer with gravitational pressure. Two kinds of artificial recharge experiments with recharge rates of 80,000 and 100,000 L day^{-1} were conducted in the test-cell during eight and fifteen experimental days, respectively. Results of the experiments exhibited a significant increase of groundwater levels in the shallow aquifer. Average groundwater level increment was in proportion to the recharge rate. Daily periodic change of groundwater levels exhibited that the recharged water was used for forming water-curtain on greenhouses during night times. Meanwhile, cold temperature of the recharged water significantly dropped the alluvial groundwater temperature, which was not suitable to irrigate crops directly. Innovative methods for solving this cooled groundwater problem are required.

Key words: artificial recharge, basin-type, greenhouse, groundwater, water-curtain

* 정회원・한국농어촌공사 지하수지질처 차장・E-mail : byungsun94@ekr.or.kr
** 정회원・한국농어촌공사 경남지역본부 과장・E-mail : sangjin2218@ekr.or.kr
*** 정회원・한국농어촌공사 지하수지질처 과장・E-mail : minji1@ekr.or.kr
**** 정회원・한국농어촌공사 농어촌연구원 차장・E-mail : yonghwanho@ekr.or.kr
***** 정회원・한국농어촌공사 지하수지질처 부장・E-mail : aqualily@ekr.or.kr
****** 정회원・한국농어촌공사 지하수지질처 처장・E-mail : leegs@ekr.or.kr

가뭄 극복을 위한 물 부족 지역의 지하수댐 설치 및 운영 효과 분석

Analysis of the construction and operational effects of groundwater dams in water-scarce regions to overcome drought

용환호*
Hwan-Ho Yong

요 지

기후변화에 따른 극한 가뭄 빈도의 증가는 상습 가뭄 지역의 고통과 어려움을 더욱 배가시킨다. 저수지와 댐에서 공급되는 수혜 지역 중 공급되는 수량이 적을 경우 공급망의 말단부는 대표적인 물부족 지역에 해당된다. 물부족 지역의 경우 지하수에 의존하게 되는데, 가뭄이 빈번한 지역은 지하수의 부존량도 제한적인 경우가 대부분이다.

지하수댐은 지하에 차수벽을 설치하여 지하수위를 상승시키고, 하류로 유동되는 시간을 지연시켜 유출되는 지하수를 최소화하는 지하수 확보시설이다. 1984년 경북 상주의 이안 지하수댐을 시작으로 1980년대 농업용 지하수댐 5개소와 1998년 강원 속초의 쌍천 지하수댐이 설치되었다. 최근에는 도서 지역을 중심으로 소규모 지하수댐이 설치되는 등 가뭄 극복을 위한 지하수댐 건설이 활발하게 진행되고 있다. 다만, 지하수댐 설치 이후 시설의 설치 및 운영 효과에 대한 정량적인 자료가 부족하여 지하수댐의 실제적인 효과에 대해 논의하기에는 많은 어려움이 있다. 본 연구에서는 기존 자료를 수집하여 극한 가뭄 환경에서도 안정적인 물공급이 가능한 지하수댐의 설치와 운영 효과에 대해 분석하였다. 지하 차수벽 설치에 따른 지하수의 상승효과와 취수시설의 개선에 따른 방사형 집수정의 수평집수관을 통한 유량 변화를 평가하였다. 또한 대구경 수직정의 수위강하 및 수위상승 정도를 측정하여 비양수량의 개선효과를 분석하였다.

한편, 차수벽을 포함한 구간에서 심도별 투수시험과 전기전도도 검층, 토모그래피 결과 차수벽의 약화된 구간과 해수침투 구간을 파악하였다. 이 결과는 역설적으로 지하수댐의 차수벽 설치에 따른 지하수위 변동과 해안가에서 해수침투 방지효과를 확인하는 계기가 되었다.

결과적으로 가뭄 지역에서 지하수댐은 지하수위 상승효과에 따라 지하수확보가 가능할 뿐만 아니라 취수시설 개선에 따라 취수시설의 효과가 증가한 것으로 분석되었다. 이와 같이 지하수댐은 가뭄 대응과 물부족 문제를 해결하는데 필요한 현실적인 대안으로 친환경적인 시설에 대한 수용성과 활용성을 증대시킬 필요성이 있으며, 추가적인 용수 확보에 충분히 기여할 수 있을 것으로 기대된다.

핵심용어: 기후변화, 가뭄, 지하수위, 지하수댐, 비양수량, 해수침투, 방사형 집수정, 투수시험, 전기전도도 검층, 토모그래피

이 연구는 환경부의 재원으로 한국환경산업기술원의 물공급 취약지역 지하수저류댐관리 기술개발사업(RS-2025-01842972)의 지원을 받아 수행되었습니다.

* 정회원・한국농어촌공사 농어촌연구원 차장・E-mail : yonghwanho@ekr.or.kr

지하수댐 설치를 통한 수자원 확보사례: 속초시 쌍천 제2지하수댐

A Case Study on Securing Water Resources through Groundwater Dam Construction: The Ssangcheon Groundwater Dam (Ⅱ) in Sokcho-si

김진호*, 김명주**, 차용호***, 이규상****
Jinho Kim, Myungju Kim, Yongho Cha, Gyusang Lee

요 지

가뭄 발생과 계절별 강수량 편차는 안정적인 용수 공급을 위협하는 주요 원인이다. 이와 같은 기후변화 요인에 영동지역의 경우는 경사가 가파르고 유로 길이가 짧아 해안으로의 유출 속도가 매우 빠르다는 지형적 특징도 더해져 수자원 확보가 매우 어려운 상황이다. 쌍천지하수댐(1998)은 이러한 어려움을 극복하고 하루 약 30,000톤 이상을 취수하는 생활용으로는 국내 최초 지하수댐이며, 속초시의 주 취수원시설이다. 하지만 동절기 가뭄빈도가 증가하여 상습화 됨에 따라 해당 시기에 취수량이 감소하고 제한급수와 같은 심각한 물부족 문제가 발생되었다. 이로 인한 대책으로 추진된 것이 쌍천에 추가 지하수댐 설치였다. 타당성조사를 거쳐 총 길이 1,107m, 평균 높이 7.7m의 쌍천제2지하수댐(2021년)을 설치한 결과 취수시설인 방사상집수정과 암반관정 등을 통해 하루 약 24,000톤의 수자원을 추가 확보할 수 있었다.

본 연구(발표)에서는 사전 타당성조사와 주요시설물의 위치 선정과정, 지하차수벽 공법 등 설치과정, 취수 시설인 집수정 구조와 설치과정, 설치 후 용수 확보 효과 등 을 다룬다. 본 사례는 국내 만성적인 물부족 지역의 용수 확보 방안으로서 지하수댐 설치 확대를 위한 정책적·기술적 기초자료로 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

핵심용어: 지하수댐, 수자원 확보, 속초 쌍천, 가뭄 대응

* 정회원・한국농어촌공사 강원지역본부 차장・E-mail : kimjinho@ekr.or.kr
** 정회원・한국농어촌공사 강원지역본부 과장・E-mail : 2150295@ekr.or.kr
*** 정회원・한국농어촌공사 강원지역본부 부장・E-mail : changho@ekr.or.kr
**** 정회원・한국농어촌공사 지하수지질처 처장・E-mail : leegs@ekr.or.kr

지하수댐 저류구역 내 방사형집수정의 설치 및 유지관리 방안

Installation and Maintenance of Radial Collector Wells in Groundwater Dam Storage Areas

손용일*, 안중혁**, 정재민***
Youngil Son, Joonghyuk Ahn, Jeamin Jung

요 지

지하수댐은 저류구역 내 차수벽을 설치하여 지하수 유출을 차단하고 저류량을 확보하는 시설이다. 이렇게 저류된 지하수를 수자원으로 사용하려면 별도의 취수시설이 필요하다. 본 발표에서는 속초 지하수댐 현장에 시공된 방사형집수정 사례를 바탕으로, 저류구역이라는 제한된 부지·지반 조건에서 원지반의 훼손 없이 설치가능한 집수정의 위치 선정 및 시공방법, 유지관리 방법을 정리하였다. 위치선정 단계에서는 저류구역 내 최적의 지반(좋은 투수층과 저류층)과 취수관 길이 등을 고려하여 최적의 위치를 찾는 과정이 필요 하며, 시공 단계에서는 지반조건에 따른 집수정의 규격 및 설치 방법, 수평 집수관 설치 시공 순서를 정리하였다. 유지관리 단계에서는 장기 취수에 따른 대수층, 스크린 등 다양한 요인으로 인한 취수량 저하 양상과 과거 경험을 통한 세정 주기 및 취수량 회복량를 정리 하였다. 방사형집수정은 지하수댐 저류수를 다양한 수자원으로 전환하는 취수시설이며, 속초 현장의 시공 경험은 향후 유사 사업의 시공 계획 수립에 참고가 될 수 있다.

핵심용어: 지하수댐, 방사형집수정, 저류구역, 취수시설 유지관리

* 정회원・다주건설(주) 이사・E-mail : dajookorea@naver.com
** 정회원・다주건설(주) 부장・E-mail : jake_ahn@naver.com
*** 정회원・다주건설(주) 차장・E-mail : dajookorea@naver.com

밭 재배작물(콩, 배추, 고추, 무) 드론 시비 및 방제 모듈개발

Development of Drone-Based Fertilization and Pest Control Modules for Field Crops (Soybeans, Napa Cabbage, Chili Peppers, Radishes)

김종전*, 김석구**, 박진기***
Jongjeon Kim, Suk-Gu Kim, Jin-Ki Park

요 지; 기후, 생육 등의 다양한 정보를 연계한 밭 재배작물 드론 살포 모듈 개발

드론을 활용한 비료, 작물 보호제, 파종 등의 노동력을 절감할 수 있는 스마트 농업기술은 노지 스마트 농업의 핵심기술로 주목 받고 있으며, 농업 현장에서 활용되고 있다. 드론 살포 기술은 기존의 살포방식에 비해 고농도의 약제를 사용하기에 살포량 조절에 따라 약해피해가 나타나거나 살포효과를 얻지 못하는 사례가 발생한다. 살포방식에서도 작물의 상태나 필요조건을 고려하지 않고 동일한 양을 살포하거나 살포자의 주관적인 판단으로 살포량을 조절하고 있어 객관적인 살포량을 조절하고 쉽게 활용할 수 있는 살포기술이 필수적이다. 본 연구는 밭 재배작물(콩, 배추, 고추, 무)의 살포(방제 또는 시비)작업에서 객관적으로 살포량을 조절할 수 있고 탈부착이 가능하여 쉽게 드론과 연계할 수 있는 살포 조절형 모듈방식을 제안한다. 살포 조절형 모듈은 일반적으로 사용하는 살포형 드론에 탈부착이 가능한 어태치먼트로 장착 시 자동으로 살포량을 조절할 수 있는 기능을 적용할 수 있다. 드론에서 살포되는 양을 1단계에서 5단계로 구분하여 제어할 수 있으며, 분당 1.4L ~ 4.5L 까지 자유롭게 제어 가능하다. 모듈을 제어하는 어플리케이션에서는 해당 필지의 생육정보를 기반으로 제작된 분사단계 조절정보를 활용하여 비행과정에서 자동으로 살포량을 조절한다.살포량 조절 모듈은 자체적인 GPS모듈을 통해 위치를 인식하고 사용자가 입력한 생육정보를 매칭하여 드론에 장착된 살포장치를 조절하는 방식으로 드론 비행에 관여하지 않고도 위치에 따라 살포량을 조절/제어할 수 있다. 살포 조절형 모듈을 활용하여 실험한 결과 기존의 액제 및 입제 살포 방식에 비해 사용되는 약제는 16.7% 절감할 수 있고, 동일스펙 기준으로 최대 120%면적을 1회 비행으로 살포할 수 있어 농작업 효율도 향상된 결과를 얻을 수 있었다. 가장 큰 장점으로는 현재 보급되어 있는 농업용 살포 드론의 70%가 변량살포 기능이 없고, 저가형 살포 드론에 포함되지 않은 기능인데, 살포량 제어모듈을 장착하여 고가의 드론에만 적용된 기능을 활용할 수 있는 측면에서 높은 경제적 효과도 얻을 수 있다. 본 연구를 통해 개발된 살포 조절형 모듈을 통해 저가형 살포 드론에서도 정밀농업에 필요한 데이터 기반의 살포가 가능함을 입증하였고, 이는 농가 현장에서 정밀농업에 필요한 장비 구축에서 비용절감 효과로 이어질 수 있다. 추후 이어지는 연구를 통해 환경관측정보, 생육예찰정보, 병해충 예찰정보를 통합하는‘스마트영농 통합관리시스템’과 연계하여 통합 영농관리에 필요한 모듈로서의 활용이 기대된다.

핵심용어: 살포량 제어 모듈(Application Rate Control Module), 살포용 드론(Spraying Drone), 스마트영농 통합관리시스템(Integrated Smart Farming Management System), 정밀농업(Precision Agriculture)

본 연구는 농촌진흥청 연구사업(과제번호: RS-2025-02214915)의 지원을 받아 수행되었음.

* 비회원・주식회사 공간정보 부장・E-mail : jongjeon1986@naver.com
** 비회원・주식회사 공간정보 대표이사・E-mail : gpskorea@daum.net
*** 정회원・국립식량과학원 밭작물개발부 농업연구사・E-mail : krfamily@korea.kr

작물 생육 계측을 위한 휴대용 영상 계측 시스템 개발 및 적용

Development and Application of a Portable Imaging Measurement System for Crop Growth Measurement

김석원*, 이지수**
Seokwon Kim, Jisu Lee

요 지

본 연구는 기존 디지털 방식 생육조사의 문제점을 개선하기 위하여 장비 소형화, 모델 경량화 그리고 촬영 방식 간소화로 생육조사 효율성을 향상시키기 위해 수행되었다. 기존 방식은 RGB-D 카메라를 활용하여 프레임 고정형 또는 태블릿 형태 이동형 장치를 통해 작물을 촬영하고 객체 분할 모델로 엽, 열매, 마디 등 작물의 생육조사에 필요한 객체를 인식한 후 계측 알고리즘에 따라 생육지표를 산출한다. 고정형 장치의 경우 팬틸트 모터를 통해 화각을 조정하더라도 촬영범위가 제한되는 단점이 있으며, 이동형 장치의 경우 장비 크기 및 무거운 무게 등의 문제로 토마토, 파프리카, 오이와 같은 수직 유인 과채류는 리프트카에서 혼자서 촬영하기 힘든 단점이 있다. 또한, 파프리카, 토마토 등 생장점 부근 잎의 면적이 큰 작물은 가려진 부분이 많아 객체 분할 모델에서 인식 가능한 수준의 이미지를 촬영하기 어렵다. 이를 해결하기 위해 안드로이드 기반 휴대용 영상 계측 시스템을 개발하였다. 본 연구에서 제안하는 휴대용 영상 계측 시스템은 RGB-D카메라와 안드로이드 휴대폰 그리고 촬영 애플리케이션으로 구성된다. 안드로이드 휴대폰에 RGB-D카메라를 직접적으로 연결하고 삼각대에 부착하여 휴대성이 용이하고 블루투스 리모컨을 통해 작물을 촬영한다. 이후 획득한 RGB, Depth 이미지, 3D Depth 값을 서버로 전송하여 작물 객체를 인식하고 생육계측 알고리즘을 통해 생육데이터를 계측한다. 기존 시스템 대비 장치 무게는 약 1.5kg에서 약 800g 수준으로 경량화되었으며, 리모컨을 쥔 손으로 표면 잎을 치우고 내부에 가려진 객체를 촬영할 수 있어 더 많은 생육지표를 획득할 수 있는 등 디지털 방식 생육조사의 일부 문제점을 해소하였다. 제안한 시스템의 현장 적용 가능성을 평가하기 위해 토마토, 파프리카, 딸기 온실과 콩 노지에서 작물 촬영 후 객체 인식률 및 생육데이터를 산출하여 실측값과 비교하였다. 평가 결과 가려진 잎에 의해 인식 및 계측하기 어려운 생장점 형태, 화방높이, 줄기굵기, 관부직경이 추가로 인식되었으며, 무게 경량화로 안정적인 촬영이 가능하여 계측 정확도가 향상되었다. 본 연구 결과를 통해 가려진 객체를 인식함으로써 더 많은 종류의 작물과 생육지표 계측이 가능할 것으로 예상되며, 향후 온디바이스 AI모델, 태양광 보정, 노지 작물 인식 모델 개발 등 생육 계측 조건을 개선하여 온실뿐만 아니라 노지에서도 활용하며, 별도 통신없이 로컬환경에서 계측이 가능할 것으로 기대된다.

핵심용어: 생육조사, 휴대용 영상 촬영, 생육 계측, RGB-D 카메라

본 결과물은 농촌진흥청의 노지 스마트 농업 활용 모델 개발 사업의 지원을 받아 연구되었음 (RS-2025-02214915).

* 비회원・아이티컨버전스 주식회사 상무이사・E-mail : sw.kim@itconv.co.kr
** 비회원・아이티컨버전스 주식회사 선임연구원・E-mail : ljs9605@itconv.co.kr

벼 시계열 노지 표현체 데이터 활용 생산량 예측 및 스트레스 진단 방법 개발

장성율*, 정윤정**, 권동원***, 임우진****, 상완규*****
Sungyul Chang, Yunjoeng Jeong, Dongwon Known, Woojin Im, Wangyu Sang

Abstract

벼 수량을 정확하게 조기에 예측하면 유전자형 선발과 재배관리에 활용할 수 있지만, 예측 성능은 성숙도 그룹과 수량 지표에 따라 달라질 수 있다. 본 연구에서는 2024년 Japonica 벼를 대상으로 일별 PlantEye 표현형 데이터를 이용하여 성숙도별 수량등급 예측을 수행하였다. 총 106개 유전자원을 분석하였으며, 조생 22개, 중생 19개, 중만생 65개 유전자원으로 구성되었다. 이식 후 20일부터 119일까지의 일별 관측값을 이용하여 누적 평균, 최종값, 최대값 및 시간적 변화율을 산출하였다. 기존 Random Forest 중요도 분석을 바탕으로 GLI, 포화도, NDVI, 표면각도 및 명도 등 5개 PlantEye 특징을 선정하였다. 정조와 현미는 Japonica 집단별 tertile 기준을 사용하여 low, medium 및 high 수량등급으로 각각 분류하였다. Random Forest, 의사결정나무, XGBoost 및 결측일을 고려한 Temporal Attention Network를 적용하였으며, 연속적인 예측 시점에서 교차검증 기반 out-of-fold 예측을 수행하였다.

Temporal Attention Network는 정조의 중생 그룹에서 DAT 70에 Macro-F1 0.530, ROC-AUC 0.676을 나타냈으며, 중만생 그룹에서는 DAT 100에 Macro-F1 0.599, ROC-AUC 0.724로 가장 우수한 성능을 보였다. 현미의 경우 Temporal Attention Network가 중생 그룹의 DAT 50에서 가장 우수한 성능을 나타냈으며, Macro-F1 0.565와 ROC-AUC 0.722를 기록하였다. 현미의 중만생 그룹에서는 Random Forest가 DAT 119에서 가장 높은 성능을 보였다. 본 결과는 일별 PlantEye 데이터와 성숙도별 모델링 및 시간적 attention을 결합하면 수확 전 수량등급 예측이 가능함을 보여준다.

Key words: Field Phenotyping, Machine Learning, Rice, Abiotic Stress

요 지

2024년 Japonica 벼 106개 유전자원의 일별 PlantEye 데이터를 이용해 정조와 현미 수량등급을 예측하였다. GLI, 포화도, NDVI, 표면각도 및 명도 5개 특징을 활용하고, 조생·중생·중만생별로 RF, 의사결정나무, XGBoost 및 Temporal Attention Network를 비교하였다. Temporal Attention Network는 정조 중생·중만생과 현미 중생에서 우수했으며, 현미 중만생에서는 Random Forest가 가장 높았다.

핵심용어 : 노지표현체, 이미지, 생산량, 환경 스트레스

본 결과물은 농촌진흥청 국립식량과학원 연구사업 (과제번호: PJ01739903)의 지원을 받아 연구되었습니다.

* 비회원・국립식량과하원 재배생리과 농업연구사・E-mail : schang8@rda.go.kr
** 비회원・국립식량과하원 재배생리과 전문연구원・E-mail : yunwjd99@rda.go.kr
*** 비회원・국립식량과하원 재배생리과 농업연구사・E-mail : echo825@rda.go.kr
**** 비회원・국립식량과하원 재배생리과 농업연구관・E-mail : imwoojin99@rda.go.kr
***** 비회원・국립식량과하원 재배생리과 농업연구관・E-mail : sang11@rda.go.kr

드론 다중분광 영상 기반 벼 웃거름 변량시비 처방 및 생육 균일도 개선 효과

Prescription of Variable-Rate Topdressing for Rice Using UAV Multispectral Imagery and Its Effect on Growth Uniformity

이상호*, 정용준*, 김두한*, 이승아*

요 지

서론: 벼 재배에서 웃거름(추비)은 수량과 품질을 좌우하는 핵심 농작업이나, 관행적으로 필지 전면에 균일하게 살포되어 필지 내 생육 편차를 해소하지 못한다. 농가 인구 감소와 고령화, 비료 가격 상승에 대응하기 위해서는 필지 내 생육 변이를 진단하고 필요한 위치에 필요한 양만큼 시비하는 정밀 시비 체계가 필요하다. 본 연구는「논 재배 작물(벼, 밀, 마늘, 양파, 감자) 스마트영농 통합관리시스템 개발」과제의 2차년도 연구로서, 드론 다중분광 영상을 이용해 벼 생육 변이를 진단하고 웃거름 변량시비 처방맵을 생성·적용한 뒤, 시비 전후 생육 균일도 변화를 통해 그 효과를 검증하기 위하여 수행하였다.

재료 및 방법: 실증은 2026년 경기도 화성시 벼 재배 필지 11개와 전북특별자치도 김제시 부량면 벼 재배 필지 10개를 대상으로 하였다. 두 지역 모두 밑거름 70%·웃거름 30%의 분시 체계를 기준으로 웃거름 30%를 변량 처방 대상으로 설정하였으며, 김제 필지(품종 신동진, 필지당 약 4,000 m^2)는 분시 비율에 따라 70:30 적용구, 56:30 감비구, 농가 관행구로 구분하여 배치하였다. 토양 화학성에 따른 영농 전 주기 질소 처방량을 산출하고, 웃거름 시 드론 다중분광 영상의 GNDVI를 활용하여 변량시비 처방맵을 작성하였다. 화성 필지는 시비 전(7월 15일)과 시비 후(7월 28일) 13일 간격으로, 김제 필지는 웃거름 시기(7월 말~8월 초)를 기준으로 동일한 절차에 따라 지상해상도 2 cm의 다중분광 및 RGB 영상을 촬영하였다. 필지별 평균 GNDVI, 변동계수(CV), 하위 10분위값(P10), 저활력 화소(GNDVI < 0.5) 비율을 산출하여 처리 간 변화량을 비교하였으며, 아울러 RGB 영상의 과잉녹색지수(ExG)를 함께 분석하여 GNDVI 변화가 촬영 조건에 따른 색상 왜곡이 아님을 교차검증하였다.

결과 및 고찰: 화성 실증에서 변량시비 필지의 생육 균일도(CV)는 평균 0.84%p 감소(개선)한 반면 관행 필지는 1.31%p 증가(악화)하였으며, 변량 7필지 중 5필지에서 균일도가 개선되었다. 저활력부의 회복을 나타내는 P10은 변량 +0.036, 관행 +0.012로 변량 처리에서 약 3배 높았고, 저활력 화소 비율은 변량 필지에서 평균 2.1%p 감소한 반면 관행 필지에서는 0.9%p 증가하였다. 개선 폭이 가장 컸던 필지(HSR11)에서는 CV가 16.6%에서 13.2%로 낮아지고 저활력 화소가 11.2%에서 3.6%로 감소하였다. 전 필지에서 ExG가 안정적으로 유지되어 GNDVI 변화는 색상 왜곡이 아닌 실제 생육 활력 변화로 판단되었다. 한편 일부 변량 필지(HSR6·7)는 시비 시점에 생육이 이미 진전되어 추가 시비가 균일화로 이어지지 않았고, 시비 전부터 균일도가 높았던 필지(HSR14, CV 11.8%)는 개선 여지가 작았다. 이는 변량시비 방식 자체의 한계라기보다 생육 단계와 배수·병해충 등 국소 현장 여건의 영향으로 판단되며, 처방 시점 설정 기준과 현장 점검 절차의 보완이 필요함을 시사한다.

김제 실증필지에 대해서도 동일한 지표로 균일도 검증을 추가 수행하고 있으며, 토양·재배 조건이 상이한 두 지역에서 처방 효과의 재현성을 확인할 계획이다. 아울러 하반기에는 밑거름:웃거름 70:30 분시를 적용한 필지와 적용하지 않은 필지를 대상으로 수확량과 단백질 함량을 비교 분석하여, 분시 체계와 변량 처방이 수량 및 미질에 미치는 영향을 정량화하고자 한다. 이러한 결과와 처방맵 격자 크기(1 m·5 m)별 효과 비교를 통해 드론 웃거름 변량시비 처방 알고리즘을 고도화할 예정이다.

핵심용어: 정밀농업, 변량시비, 드론 다중분광 영상, GNDVI, 생육 균일도

본 연구는 농촌진흥청 연구사업(연구개발과제명 : 논 재배 작물(벼, 밀, 마늘, 양파, 감자) 스마트영농 통합관리시스템 개발, 과제번호 : RS-2025-02215069)의 지원에 의해 수행되었음

디지털 과원 기반 지능형 과수 전정 로봇

Digital Orchard-based Intelligent Fruit-tree Pruning Robot

김우영*, 이경환**
Woo-Young Kim, Kyeong-Hwan Lee

요 지

과수 전정은 수형 유지와 생산성 향상에 필수적이지만, 복잡하고 비정형적인 가지 구조로 인해 숙련 노동에 대한 의존도가 높다. 본 연구에서는 과원의 정밀 3차원 정보와 자율주행 및 로봇 조작 기술을 연계한 디지털 과원 기반 지능형 과수 전정 로봇 시스템을 개발하고 그 성능을 검증하였다. 무엽기 사과 과원을 대상으로 UAV와 UGV를 활용하여 고해상도 RGB 영상을 수집하고, SfM/MVS 기반 사진측량 기술을 적용하여 개별 수목의 가지 구조와 과원 내 공간 배치를 반영한 3차원 포인트클라우드 모델을 구축하였다. 이동 플랫폼에는 RTK-GPS, LiDAR, IMU 및 RGB-D 센서를 탑재하였으며, 센서 융합 기반 위치추정과 SLAM, A* 및 Reeds-Shepp 경로계획, LMPC 경로추종 제어를 적용하여 과수 열간과 선회 구간에서의 자율주행을 구현하였다. 또한 ROS 2 네임스페이스 분리와 ros2_control을 기반으로 듀얼암의 독립·동기 제어 체계를 구축하고, 전정 대상 인식, 충돌회피 경로 생성, 접근·절단·안전 이탈로 이어지는 페루프 전정 작업을 구현하였다. 성능시험 결과, 전정로봇 시스템은 높은 작업 성공률과 평균 동기화 오차 5.33 ms를 나타냈으며, 실내 모사 과수 환경에서 자율 전정 사이클을 안정적으로 반복 수행하였다. 본 연구는 디지털 과원 모델과 자율주행 및 정밀 조작 기술을 통합함으로써 과수 전정 자동화와 작업 정밀도 및 안정성 향상을 위한 기술적 기반을 제시한다.

* 비회원・전남대학교 인공지능에그리텍연구센터 교수・E-mail : woo0288@jnu.ac.kr
** 비회원・전남대학교 융합바이오시스템기계공학과 교수・E-mail : khlee@jnu.ac.kr

Data-driven estimation of effective precipitation and infiltration characteristics using soil moisture data

Ung Yang*, Yun-Ju Baek**, Eu Ddeum Choi***, Seok-Kyu Yun****,
Young Sik Cho*****, Ji Hae Jun******

Abstract

Effective irrigation management requires quantitative estimation of the minimal precipitation level that triggers an actual change in soil moisture (effective precipitation), together with the infiltration and drainage properties specific to each region that this assessment reveals. This study assessed effective precipitation using a data-driven approach based on soil moisture responses from three sensor regions (A, B, and C) within a single field, and examined variations in infiltration properties among these regions. Hourly soil moisture and precipitation data (a total of 4,344 hours) were collected for regions A, B, and C from January to June 2026. After preprocessing—missing-value interpolation, detrending, smoothing, and removal of irrigation periods (143 non-rainy days and 27 rainy days)—a baseline was defined as the mean plus one standard deviation (SD) of the soil moisture response during non-rainy periods. A logistic regression was then fitted using a binary variable indicating whether the response exceeded this baseline, with effective precipitation estimated as the precipitation amount corresponding to a 50% response probability. The daily baseline was 3.17, 2.81, and 3.86 %p/day for regions A, B, and C, respectively, while the hourly baseline was 0.22, 0.20, and 0.31 %p/h. Based on these baselines, the estimated effective precipitation was 2.23, 5.46, and 18.10 mm/day on a daily basis, and 1.22, 1.89, and 3.21 mm/h on an hourly basis for regions A, B, and C, respectively. On an hourly basis, soil moisture responses generally began at approximately 1.2-3.2 mm/h of precipitation. Clear differences in effective precipitation were observed among regions within the same field, suggesting differences in infiltration characteristics associated with regional soil and drainage conditions. In particular, Region C exhibited a higher effective precipitation than the other regions, indicating a relatively greater capacity for infiltration and water retention. These region-specific effective precipitation estimates, and the resulting differences in infiltration characteristics, can serve as a quantitative reference for irrigation decision-making. However, as the observation period was limited to six months (27 rainy days, 166 hours), these results should be regarded as preliminary, and further validation using additional rainy-season data is warranted.

This work was carried out with the support of "Research Program for Agriculture Science and Technology Development (Project. No. RS-2025-04092968)" Rural Development Administration, Republic of Korea.

This study was supported by 2026 the RDA Fellow ship Program of Pear Research Center, National Institute of Horticultural & Herbal Science, Rural Development Administration, Republic of Korea.

* Pear Research Center, National Institute of Horticultural & Herbal Science, Rural Development Administration
** Pear Research Center, National Institute of Horticultural & Herbal Science, Rural Development Administration · E-mail : yunju1312@korea.kr
*** Pear Research Center, National Institute of Horticultural & Herbal Science, Rural Development Administration
**** Pear Research Center, National Institute of Horticultural & Herbal Science, Rural Development Administration
***** Pear Research Center, National Institute of Horticultural & Herbal Science, Rural Development Administration
****** Pear Research Center, National Institute of Horticultural & Herbal Science, Rural Development Administration

2026 농업생산기반시설 건설기준 고도화 연구

2026 Research on Advancing Agricultural Infrastructure Construction Standards

이백*, 이봉국**, 김현성***, 한다민****, 박찬기*****
Baeg Lee, Boong-Guk Lee, Hyunsung Kim, Damin Han, Changi Park

요 지

농업생산기반 설계기준은 제·개정 후 평균 20년 이상(최장 49년) 경과되어 최근 기후변화 영향 및 최신 규정 등을 반영하지 못하고 있어 재정립 필요. 기후변화 및 최신 규정, 신기술 등 대내외 환경변화를 반영한 농업생산기반 설계기준 고도화로 효율적인 건설기준 마련 필요. 따라서 설계기준, 표준시방서, 전문시방서 제·개정, 기후변화, 용수관리 및 유지관리 고도화, 재해 대응능력 향상을 위한 기술개발 추진.

1) KDS 67 15 00 취입보

- 세부코드 통합 및 체계 정비 : 기후에너지환경부「하천 설계기준(KDS 51 40 05 하천보)」등 유사 기준과 중복·상충 검토 및 세부코드 통합 등 체계 정비
- 기후변화 대응을 위한 스마트 유지관리 시스템 검토 : 수위 센서와 연동하여 가동보 수문(Gate) 등을 원격·자동으로 제어하는 스마트 유지관리 시스템 설치 기준 검토

2) KDS 67 65 00 해면간척

- 방조제 시설설계 중심 개편 : 현재의 광범위한 해면간척 계획설계기준에서 방조제 시설설계를 중심으로 개편 및 유사 기준과 중복·상충 검토
- 기후변화 시나리오를 적용하여 설계 해수위 및 방조제 둑마루 안전성 검토
- 실시간 조위와 담수호 수위를 감지하여 최적으로 개폐하는 스마트 유지관리 시스템 설치 기준 검토

3) KCS 67 25 00 농업용 관수로 공사

- 스마트 관수로에 대한 시방기준 반영 : 관로 내 수압·유량·수질의 실시간 모니터링을 위한 센서 및 계측기 반영, 통신 및 전력시설 연계 반영
- 자동물꼬(급수 밸브) 시방기준 반영 : 논 물관리를 자동으로 조절하는 스마트 자동물꼬 반영

4) KCS 67 30 00 양배수장 공사

- 기후변화 대응을 위한 배수장 비상예·경보시설 시방기준 반영 : 신뢰성 및 가시성 확보를 위한 다중매체 알림, 전원 이중화, 사각지대 해소 등을 위해 반영
- 자동운전 시설(스마트 양배수장) 시방기준 반영
- 게이트 펌프 시방기준 반영 : 수밀성 확보, 진동·소음 대책, 유지관리 편리성 등을 고려한 기준 반영

핵심용어: 설계기준, 표준시방서, 노후화, 기후변화, 고도화

본 연구는 농림축산식품부 건설기준 고도화사업(농업생산기반시설 건설기준 고도화 연구)의 지원으로 수행되었습니다. 연구지원에 감사드립니다.

* 정회원・한국농어촌공사 농어촌연구원 책임연구원・E-mail : blee@ekr.or.kr
** 정회원・한국농어촌공사 농어촌연구원 선임연구원・E-mail : lbk0206@ekr.or.kr
*** 정회원・한국농어촌공사 기반계획처 과장・E-mail : zoshs6510@ekr.or.kr
**** 정회원・한국농어촌공사 기반계획처 대리・E-mail : hdm132@ekr.or.kr
***** 정회원・공주대학교 지역건설공학과 교수・E-mail : cgpark@kongju.ac.kr

농업생산기반시설의 치수기능 강화를 위한 홍수 위험도 평가체계 구축 방안 연구

A Study on Establishing a Flood Risk Assessment System for Strengthening the Flood Control Function of Agricultural Production Infrastructure

심규현*
Kyuhyun Shim

요 지

기후변화로 인한 극한강우의 빈도 및 강도 증가는 이수 목적으로 설치된 농업생산기반시설에도 치수기능의 확보를 필요로 하고 있다. 저수지의 치수기능을 실질적으로 강화하기 위해서는 구조적(비상여수로 신설, 제체 보강 등)·비구조적(사전방류, 홍수예경보체계 구축 등)·제도적(설계기준 개정, 유지관리체계 개선 등) 대책이 함께 요구되지만, 이러한 대책들의 우선순위를 설정하고 투자 타당성을 판단하기 위해서는 재해위험을 객관적으로 판단할 수 있는 정량적 홍수 위험도 평가가 먼저 정교화되어야 한다. 현재 국내에서 표준적으로 활용되고 있는 홍수 위험도 평가 프로그램인 K-FRM(Korea Flood Risk Model)이 있으나, 이는 하천 및 댐 중심으로 치수경제성분석을 지원하기 위해 개발되었다. 본 연구에서는 국내 홍수 위험도 평가 방법론이 농업생산기반시설에 적용 가능한지 검토하고, 농업생산기반시설의 구조적, 수문학적 특성을 반영하여 적합한 방안을 찾아보고자 한다. 본 연구를 통해 농업생산기반시설의 특성을 반영한 홍수 위험도 평가 체계를 구축함으로써 농업생산기반시설 하류부 주민 및 농경지 홍수피해를 저감하고, 농업기반시설의 안전관리 체계를 고도화하는데 기여할 수 있을 것으로 기대된다.

핵심용어: 농업생산기반시설, 농업용 저수지, 홍수 위험도 평가, 치수, 하류피해

본 연구는 농림축산식품부의 재원으로 2026년 농업생산기반 건설기준고도화 사업의 지원을 받아 연구되었습니다.

* 정회원・한국농어촌공사 농어촌연구원 선임연구원・E-mail : shimkh@ekr.or.kr

농업생산기반시설 설계기준의 실무 활용성 증대를 위한 연구

A Study on Enhancing the Practical Applicability of Design Standards for Agricultural Production Infrastructure

이봉국*, 이백**
Bongkuk Lee, Baeg Lee

요 지

본 연구는 기후변화 가속화, 관련 법제도의 개정 및 디지털 전환 등 최신 건설·농업 기술 동향에 맞춰, 현행 농업생산기반시설 설계기준의 현장 실무 적용성을 획기적으로 제고하고 체계적인 관리 기반을 구축하기 위해 추진된다. 농업생산기반 정비사업의 핵심 시설인 농지배수 및 농업용 댐 등은 최근 국지성 집중호우 빈도 증가 및 이상기후에 따른 치수 안전성 강화와 고도화된 설계 기법 도입의 요구가 점차 커지고 있다. 그러나 기존의 설계기준 관리는 아날로그 중심의 PDF 및 인쇄 문서 형태에 머물러 있어 정보 검색과 활용에 비효율이 발생하였고, 세부 해설서의 미비, 타 건설 분야와의 전문 용어 상충, 그리고 현장 실무자의 개정 사항 숙지 부족 등으로 인해 설계 및 시공 현장에서의 적용 효율성이 저하되는 한계가 존재해 왔다. 이와 같은 문제점을 해결하기 위해 본 연구는 다음과 같이 정량적·정성적 정비 목표를 수립하여 통합적으로 수행하고자 한다.

첫째, 최신 기술 동향 및 법제도를 면밀히 검토하고 전문가 의견을 종합적으로 수렴·반영하여 농지배수편과 농업용 댐편의 설계기준 해설안을 보완한다. 이후 기술심의 절차를 거쳐 현장에서 즉시 활용할 수 있는 완성도 높은 해설서를 발간하고 보급을 지원한다. 둘째, 기존의 아날로그 형태 설계기준을 검색·추출 및 데이터 재활용이 용이한 디지털 데이터 구조로 전면 전환한다. 이와 함께 농업생산기반시설 설계기준의 제·개정 이력을 정밀하게 추적하고 변천사를 조사·정립함으로써 기준의 역사적 맥락과 체계적 관리 기틀을 마련한다. 셋째, 최근 개정된 농업생산기반시설 설계기준의 핵심 변경 사항을 다각도로 분석하여 설계사, 시공사, 공무원 등 현장 실무자별 맞춤형 교육 커리큘럼을 개발한다. 교육 프로그램을 시범 운영하여 교육 만족도 및 이해도 상승 등 효과성을 검증하고, 향후 지속 가능한 교육 운영 로드맵을 수립함으로써 현장 수용성을 높인다. 넷째, 국가건설기준(KDS/KCS) 내 농업 분야 관련 용어를 일제 조사하여 타 건설 분야와의 중복 및 상충 문제를 명확히 해소한다. 농업 전문 용어를 최신화함과 동시에 용어집의 고도화 및 지속 가능한 유지관리 방안을 제안하여 건설기준 용어 체계의 통일성을 확보한다.

본 연구의 성과는 농지배수 및 농업용 댐 설계의 기술적 정확도와 품질을 크게 향상시킬 뿐만 아니라, 농업생산기반시설 설계기준의 디지털화, 용어 정립 및 실무자 교육을 통해 현장 작업 오류와 재작업률을 최소화하는 데 기여할 것으로 기대된다.

핵심용어: 농업생산기반시설, 설계기준(KDS), 농지배수, 농업용 댐

본 연구는 농림축산식품부의 재원으로 2026년 농업생산기반 건설기준고도화 사업의 지원을 받아 연구되었습니다.

* 비회원・한국농어촌공사 농어촌연구원 안전품질연구부 선임연구원・E-mail : lbk0206@ekr.or.kr
** 비회원・한국농어촌공사 농어촌연구원 안전품질연구부 책임연구원・E-mail : blee@ekr.or.kr

2026 한국농공학회 학술발표회

학생경쟁세션
(Student Competition)

THE KOREAN SOCIETY OF AGRICULTURAL ENGINEER

환경생태유량 지수를 이용한 낙동강 유역 수생태계 건강성 취약지점 환경생태가뭄 평가

Assessment of Ecological Drought at Aquatic Ecosystem Health Vulnerable Sites in the Nakdong River Basin Using the Environmental Ecological Flow Index

나규동*, 홍은미**, 김성준***
Kyudong Na, Eunmi Hong, Seongjoon Kim

요 지

낙동강 유역은 다목적댐과 다기능 보 등 대규모 하천 구조물 운영, 대규모 취수, 기후변화에 따른 유황 변동성 증가로 인해 환경생태가뭄에 대한 취약성이 높아지고 있다. 특히 국내 주요 하천 유역 중 수생태계 건강성 취약지점이 다수 분포하고 있어, 단순한 수량 부족 중심의 가뭄 평가를 넘어 하천 생태계가 요구하는 유량의 충족 여부를 정량적으로 평가할 필요가 있다. 본 연구는 낙동강 유역 내 수생태계 건강성 취약지점 16개소를 대상으로 환경생태유량지수(Environmental Ecological Flow Index, EI)를 산정하고, 환경생태가뭄의 시·공간적 취약성을 평가하는 것을 목적으로 하였다. 연구 대상 지점은 상류권, 중류권, 하류권 및 동해권의 4개 권역으로 구분하였다. 분석에는 2015년부터 2024년까지의 일유량 및 누적강수량 자료를 활용하였다. 지점별 수리특성은 HEC-RAS를 이용하여 하천 단면별 수위-유량 관계를 구축하고, 유량 조건에 따른 수심 및 유속을 산정하였다. 이후 HEC-RAS에서 산정된 수심·유속 자료와 대표 어종의 서식처 적합도 지수를 PHABSIM에 적용하여 가중가용면적(Weighted Usable Area, WUA)을 산정하고, 이를 기반으로 지점별 환경생태유량을 도출하였다. EI는 관측유량을 환경생태유량으로 나눈 비율로 정의하였으며, EI가 1 미만인 경우 실제 하천유량이 환경생태유량을 충족하지 못하는 환경생태가뭄 상태로 판단하였다. 또한 $0.75 \leq EI < 1$은 약한 건조, $0.50 \leq EI < 0.75$는 건조, $0.25 \leq EI < 0.50$은 강한 건조, $EI < 0.25$는 매우 강한 건조 상태로 구분하였다. Runs 이론을 적용하여 환경생태가뭄 사상의 발생 여부, 지속기간 및 심도를 정량화하였다. 본 연구는 4개 권역 간 환경생태가뭄 발생 특성을 비교함으로써, 낙동강 유역 내 생태유량 미달이 반복되거나 장기간 지속되는 취약 지점과 시기를 파악하고자 한다. 도출된 결과는 향후 댐·보 방류량 조절, 갈수기 유량 관리 및 수생태계 건강성 회복을 위한 정책적 의사결정의 기초자료로 활용될 수 있을 것으로 판단된다.

핵심용어: 낙동강 유역, 환경생태가뭄, 환경생태유량, 환경생태유량지수, PHABSIM

본 연구는 환경부의 재원으로 한국환경산업기술원의 수생태계 건강성 확보 기술개발사업의 지원을 받아 연구되었습니다(2020003050001).

* 준회원・강원대학교 일반대학원 지오에코시스템융합학과 석사과정・E-mail : aswasw8987@kangwon.ac.kr
** 정회원・강원대학교 농업생명과학대학 생명환경융합학부 부교수・E-mail : eunmi.hong@kangwon.ac.kr
*** 정회원・건국대학교 공학대학 사회환경공학과 교수・E-mail : kimsj@konkuk.ac.kr

CE-QUAL-W2를 활용한 온대 저수지의 용존산소 최소층 형성에 미치는 영향 연구

A study of factors influencing the formation of a metalimnetic oxygen minimum layer in a temperate reservoir using CE-QUAL-W2

염호정*, 김동환**, 김윤희***, 김범철****, 홍은미*****
Hojeong Yeom, Donghwan Kim, Yoonhee Kim, Bomchul Kim, Eunmi Hong

요 지

기후변화는 성층 저수지의 열적·생지화학적 동태를 변화시켜 수질관리를 더욱 복잡하게 하고 있다. 본 연구에서는 국내 대형 성층 저수지인 소양호를 대상으로 기상 변동과 유역 환경 변화가 중층 산소 최소층(Metalimnetic Oxygen Minimum, MOM)에 미치는 영향을 평가하였다. 횡방향 평균 2차원 수리·수질 모형인 CE-QUAL-W2를 구축하고, 2023~2024년의 2개년 모의 결과를 관측자료와 비교하여 검증하였다. 모형은 수위(R2=0.99), 수온(R2=0.97), 용존산소(R2=0.65)에 대해 양호한 재현성을 보였다. 잠재적인 극한 환경조건을 반영하기 위해 수온 상승, 풍속 변화 및 유입 용존유기탄소(Dissolved Organic Carbon, DOC) 부하 변동을 조합한 복합 시나리오를 모의하고, 각 요인이 용존산소의 수직분포에 미치는 영향을 정량적으로 분석하였다. 분석 결과, 소양호의 MOM은 일반적으로 6월 중순에 형성되기 시작하여 8~10월에 수심 20~35m에서 가장 뚜렷하게 발달하였다. 수온 상승과 풍속 감소는 심층과의 밀도 차이를 증가시키고 물리적 혼합을 억제하여 성층 안정성을 강화하였으며, 유입 DOC 부하 증가는 중층에서의 생지화학적 산소 소비를 증가시켜 MOM을 심화시키는 것으로 나타났다. 이러한 결과는 향후 소양호 수질관리를 위해 물리적 성층 강도의 변화를 고려한 댐 운영 전략과 유역 내 DOC 부하 저감 대책을 연계한 통합적 접근이 필요함을 보여준다. 본 연구 결과는 기후변화 조건에서 수리동역학적 요인과 수질 요인의 복합적인 상호작용을 반영한 댐 및 유역 관리 방안을 수립하는 데 기초자료로 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

핵심용어: 소양호, 저산소층, CE-QUAL-W2, 수온성층

본 연구는 국립생태원의 국가장기생태연구(NIE-고유연구-2026-02) 및 한국연구재단의 기초연구사업(No. 2022R1C1C1010804)의 지원을 받아 수행되었습니다.

* 준회원・강원대학교 일반대학원 지오에코시스템융합학과 박사과정・E-mail : pretty2001ho@kangwon.ac.kr
** 비회원・강원대학교 환경연구소 선임연구원・E-mail : donkim@kangwon.ac.kr
*** 비회원・강원대학교 환경연구소 연구교수・E-mail : yoonhee@kangwon.ac.kr
**** 정회원・강원대학교 농업생명과학대학 환경융합학부 명예교수・E-mail : bkim@kangwon.ac.kr
***** 정회원・강원대학교 농업생명과학대학 환경융합학부 부교수・E-mail : eunmi.hong@kangwon.ac.kr

위성영상을 활용한 북한 미계측 저수지의 시계열 저수량 추정

Satellite-based estimation of temporal storage variations in ungauged reservoirs in North Korea

이시훈*, 남원호**, 이희진***, 최혁재****, 서찬양*****, 조정호******
Si-Hoon Lee, Won-Ho Nam, Hee-Jin Lee, Hyeok-Jae Choi, Chanyang Sur, Jung-Ho Cho

요 지

북한은 농업용수와 생활·공업용수 공급에서 저수지의 의존도가 높지만, 현장 접근의 제약과 수문·시설자료의 부족으로 저수지의 규모, 수위 및 저수량과 같은 기초정보를 체계적으로 파악하기 어렵다. 특히 기후변화에 따른 가뭄과 홍수의 발생 위험이 증가함에 따라 북한 저수지의 수체 변화와 가용수량을 정량적으로 조사하고, 지역별 물공급 능력과 가뭄 대응역량을 평가할 수 있는 원격탐사 기반 기술이 요구된다. 본 연구에서는 Sentinel-1 및 Sentinel-2 위성영상과 수치표고모델(Digital Elevation Model, DEM)을 활용하여 북한 미계측 저수지의 수체 영역을 추출하고, 시계열 수표면적과 지형정보를 연계하여 저수량을 추정하는 방법을 제시하였다. Sentinel-1 합성개구레이더(Synthetic Aperture Radar, SAR) 영상에는 Kittler-Illingworth(KI) 및 Chan-Vese(CV) 기법을 적용하였으며, Sentinel-2 영상으로부터 Normalized Difference Water Index(NDWI)를 산정하여 시기별 수체 영역과 수표면적을 구축하였다. 추출된 수체 영역과 DEM을 활용하여 제방과 저수지 연안 경계의 표고정보를 추출하고, 시기별 수표면적과 추정 수위를 연계하여 면적-수위 관계를 구축하였다. 이후 Triangulated Irregular Network(TIN) 보간을 통해 저수지의 유사 수심지형을 생성하고, 구축된 면적-수위 관계를 기반으로 수위별 저수량을 산정하여 북한 미계측 저수지의 시계열 저수량 변화를 추정하였다. 본 연구에서 제시한 위성영상 기반 저수량 추정 방법은 관측자료가 부족한 북한 저수지의 수체 변화와 가용수량에 관한 기초자료를 구축하고, 지역별 수자원 부존 특성과 물공급 취약성을 평가하는 데 활용될 수 있다. 또한 북한의 가뭄 대응역량 평가와 농업용수 공급계획 수립 및 향후 남북 수자원 협력을 위한 과학적 기반을 제공할 수 있을 것으로 기대된다.

핵심용어: 북한 수자원, 미계측 저수지, 위성영상, 수표면적, 저수량, 원격탐사

본 결과물은 농림축산식품부의 재원으로 농림식품기술기획평가원의 기후변화대응지능형농업기반관리기술개발사업의 지원을 받아 연구되었음(RS-2025-02219764)

* 정회원・한경국립대학교 사회안전시스템공학부 학사・E-mail : sihoon.lee@hknu.ac.kr
** 정회원・한경국립대학교 사회안전시스템공학부 교수・E-mail : wonho.nam@hknu.ac.kr
*** 정회원・한경국립대학교 국가농업용수센터 선임연구원 ・E-mail : heejin.lee@hknu.ac.kr
**** 정회원・한경국립대학교 사회안전시스템공학부 석사과정・E-mail : hyeokjae.choi@hknu.ac.kr
***** 비회원・한경국립대학교 국가농업용수센터 책임연구원 ・E-mail : cysurr@gmail.com
****** 정회원・(주)지오스토리 부사장・E-mail : remotesensing@geostory.co.kr

CALPUFF를 이용한 축사 밀집지역의 암모니아 대기 확산 평가 및 배출계수 검토

Evaluation of Ammonia Atmospheric Dispersion and Review of Emissions Factors in Intenstive Livestock Areas Using CALPUFF

임준홍*, 이채린**, 박지연,*** 이세연****, 박진선*****, Rajagukguk Rial Arifin******, 홍세운*******.†, 송미정********, 김종호*********, 서범근**********, 김연후**********, 유철**********, 이향경**********, 김진식**********, 송형도**********
Junhong Im, Chae-rin Lee, Ji-yeon Park, Se-yeon Lee, Jinseon Park, Rial Arifin Rajagukguk, Se-woon Hong, Mijung Song, Jong-Ho Kim, Beomkeun Seo, Yeonhoo Kim, Chul Yoo, Hyang-kyeong Lee, Jinsik Kim, Hyung Do Song

요 지

암모니아(NH_3)는 대기정책지원시스템(Clean Air Policy Support System, CAPSS)이 매년 국가 배출량을 산정하는 9개 대기오염물질 가운데 하나이다. 2023년 국내 총 암모니아 배출량중 84%가 농업부문에서 발생한다. 국내에서 암모니아는 주로 과잉상태임이 보고되었으며, 대기중 이차미세먼지를 생성하는 주요 전구물질이다. 본 연구에서는 하향식(top-down) 방법을 적용하여 대기 중 암모니아 농도를 측정하고 축사에서의 배출량을 역추적하여 배출계수를 산정하였다. 본 연구의 목적은 CALPUFF를 이용한 대기 확산 모델링을 통해 재래식 양돈사, 현대식 양돈사 및 자연환기식 우사의 암모니아 배출계수를 재산정하고, 본 모델의 적용 타당성을 검증하는 데 있다. 또한 도출된 결과를 기존 CAPSS의 배출계수와 비교·분석하여 기존 배출계수의 적정성을 검토하고자 한다. 그 결과, 재래식 양돈사에서는 5.64 kg/aniaml·yr 로 산정되었고, 대상지역의 현행 CAPSS 배출계수(6.54kg/animal·yr)의 약 85% 수준이었다. 현대식 양돈사에서는 1.96 kg/animal·yr로 산정되었고, 대상지역의 현행 CAPSS 배출계수(7.2 kg/animal·yr)의 약 27% 수준이었다. 자연환기식 우사에서는 27.0±1.5 kg/animal·yr 로 산정되었고, 현행 CAPSS 일반소 기준배출계수(14 kg/aniaml·yr) 보다 약 93% 증가한 수준이었다. 본 연구와 현행 CAPSS의 측정 결과 간 차이는 상향식과 하향식 방법론 간의 구조적·접근적 차이에 기인한 것으로 볼 수 있다. 따라서 본 연구에서 제시한 하향식 역산 모델링 방법론은 기존 CAPSS 체계를 대체하기보다, 현장 밀착형 기상 조건과 시설별 운영 특성에 따른 배출양상을 입체적으로 검증하고 보완하는데 효과적인 대안적 도구로 활용될 수 있을 것으로 예상한다.

핵심용어: CALPUFF 모델, 암모니아, 재래식 양돈사, 현대식 양돈사, 자연환기식 우사, 암모니아 배출계수

이 논문/특허는 2024년 기후에너지환경부(국가미세먼지정보센터)의 연구사업(대기 배출원별 암모니아 배출량 평가 및 개선 연구)과 교육부의 4단계 BK21의 지원을 받아 수행된 연구임.

* 정회원・전남대학교 대학원 지역·바이오시스템공학과 & BK21 기후지능형 간척지 농업 교육연구팀 석사・E-mail : jnujunhong@jnu.ac.
** 정회원・전남대학교 대학원 지역·바이오시스템공학과 & BK21 기후지능형 간척지 농업 교육연구팀 박사1・E-mail: chaerinl@jnu.ac.kr
*** 정회원・전남대학교 대학원 지역·바이오시스템공학과 & BK21 기후지능형 간척지 농업 교육연구팀 박사2・E-mail: qkrwldus7749@jnu.ac.kr
**** 정회원・전남대학교 대학원 지역·바이오시스템공학과 박사후 연구원・E-mail : seyeonn@jnu.ac.kr
***** 정회원・전남대학교 농업생명과학대학 기후변화대응농생명연구소 연구교수・E-mail : icarus381@jnu.ac.kr
****** 정회원・전남대학교 농업생명과학대학 지역·바이오시스템공학과 연구교수・E-mail : rialarifin@jnu.ac.kr
******* 정회원・전남대학교 농업생명과학대학 지역·바이오시스템공학과 & BK21 기후지능형 간척지 농업 교육연구팀 부교수・E-mail : hsewoon@jnu.ac.kr
******** 정회원・전북대학교 자연과학대학 지구환경과학과 정교수・E-mail : mijungsong@jbnu.ac.kr
********* 정회원・한서대학교 환경·토목·건축학과 정교수・E-mail : kimjh@hanseo.ac.kr
********** 정회원・한서대학교 환경연구소/글로컬사업부 지역협업본부 연구조교수・E-mail : beomkeun@hanmail.net
********** 정회원・전북대학교 자연과학대학 지구환경과학과 박사1・E-mail : yeonhoo1324@jbnu.ac.kr
********** 정회원・기후에너지환경부 국가미세먼지정보센터 배출량조사팀 팀장・E-mail : s7424yoo@korea.kr
********** 정회원・기후에너지환경부 국가미세먼지정보센터 배출량조사팀 연구사1・E-mail : leehk0803@korea.kr
********** 정회원・기후에너지환경부 국가미세먼지정보센터 배출량조사팀 연구사2・E-mail : jskim10@korea.kr
********** 정회원・기후에너지환경부 국가미세먼지정보센터 배출량조사팀 연구관・E-mail : hdsong@korea.kr

양돈시설 악취배출량 보정계수 도입을 위한 국내외 산정방법 비교 분석

A Comparative Analysis of Domestic and International Estimation Methods for Introducing Correction Factors for Odor Emission Rates from Swine Facilities

이민영*, 최지연**, 서일환***
Min-Young Lee, Ji-Yon Choi, Il-Hwan Seo

요 지

양돈시설의 악취배출량은 사육규모와 사육단계뿐만 아니라 환기방식, 계절, 분뇨처리·저장방식, 악취저감시설 등 다양한 현장조건의 영향을 받으므로 단일 배출계수를 일률적으로 적용하는 데 한계가 있다. 본 연구에서는 국내외 산정방법을 비교·분석하고 예비 현장측정 결과를 검토하여, 국내 양돈시설 보정계수 체계에 반영할 주요 후보 인자와 적용 시 고려사항을 정리하고자 하였다. 국내외 문헌의 측정·산정방법, 배출계수 단위·적용방식 및 영향인자 반영사례를 검토하였다. 또한 2026년 8월 여주(9,000두·일관사육·기계환기)와 군산(육성돈 1,200두·기계·자연환기 병용) 양돈시설에서 예비 현장조사를 수행하여 발생원·부지경계·외부지점의 NH_3 농도와 기상조건을 측정하였다. NH_3는 MultiRAE Lite(전기화학식)와 ABB GLA132-SOFX1(레이저분광식)로 측정하였으며, 이하 농도는 ABB 측정값이다. 본 조사는 농도 분포 파악 단계로, 배출량 산정을 위한 환기량 계측은 향후 수행할 예정이다. 문헌조사 결과 EU BAT는 사육단계·돈사구조·분뇨관리·저감시설에 따라 NH_3 배출수준을 차등화하였으며, 국내 액비순환 비육돈사에서는 일반 슬러리피트 대비 NH_3 배출량이 가을철 53% 감소하였으나 여름철에는 오히려 31% 증가하여 계절에 따라 상반된 결과를 보였다. 이를 바탕으로 사육단계·시설유형·환기조건·계절·분뇨관리·저감시설을 주요 보정인자 후보로 정리하였다. 예비조사 결과 여주는 육성돈사 배출원 0.74 ppm, 분뇨처리장 0.29 ppm, 부지경계·외부지점 0.03~0.05 ppm이었으며, 군산은 퇴비사·배출구 2.41~1.75 ppm, 부지경계 0.64 ppm, 풍하측 40~165 m에서 0.15~0.23 ppm이었다. 두 시설은 발생원 유형과 사육·환기조건이 상이하여 시설 간 농도를 직접 비교하기는 어려우나, 각각의 시설에서 발생원 인근보다 부지경계·외부지점에서 낮은 농도 분포가 나타났다. 다만 동일한 ABB 장비로 지점을 순차 측정하여 측정시간에 따른 기상변화가 농도차에 혼재될 수 있으므로, 배출량 산정·검증 시 측정조건 표준화가 필요하다. 문헌분석을 통해 이들 인자를 보정계수 체계의 주요 후보로 정리하고, 예비조사를 통해 배출량 산정 시 측정조건 표준화의 필요성을 확인하였다. 향후 반복 측정과 환기량 계측을 통해 인자별 보정값을 정량화하고자 한다.

핵심용어: 양돈시설, 악취배출량, 보정계수(K-factor), 암모니아, 환기방식

* 학생회원・전북대학교 농축산식품융합학과 석사과정・E-mail : dlalsdud2001@naver.com
** 학생회원・전북대학교 농축산식품융합학과 박사수료・E-mail : chocochip65@naver.com
*** 정회원・전북대학교 지역건설공학과 부교수・E-mail : ihseo@jbnu.ac.kr

양돈시설 악취 확산 평가를 위한 풍하측 현장측정 및 기상조건 분석

Field Measurement and Meteorological Analysis for Evaluating Downwind Odor Dispersion from Pig Farms

안우혁*, 서일환**, 강인선, 서효재
Woo-Hyuk An, Il-Hwan Seo, In-Sun Kang, Hyo-Jae Seo

요 지

양돈시설에서 발생하는 악취물질의 확산은 축사 구조, 환기방식 및 분뇨관리 등의 시설·운영 특성과 풍향, 풍속 및 대기안정도 등의 기상조건에 영향을 받는다. 그러나 기존 악취 조사는 주로 배출원 또는 부지경계의 농도 측정에 집중되어 있어, 농장 외부에서 거리와 기상조건에 따른 악취물질 농도 변화를 평가한 현장자료는 제한적이다. 이에 본 연구에서는 양돈시설의 풍하측 악취물질 농도와 기상조건을 측정하여 악취 확산을 평가하고, 향후 확산모델의 입력 및 검증을 위한 기초자료를 구축하고자 하였다.

현장조사는 서로 다른 입지 및 시설조건을 갖는 양돈농가 5개소에서 농가별 1-2회 수행하였다. 주요 악취 발생원과 부지경계, 배출원으로부터 20~200 m 떨어진 농장 외부에 측정지점을 설정하고, 주요 악취 지표물질인 암모니아(NH_3)와 황화수소(H_2S)를 휴대형 및 연속식 가스측정장비로 측정하였다. 또한 현장에 설치한 간이 기상관측장비(AWS)와 인근 기상관측소 자료를 이용하여 풍향과 풍속을 분석하고, 풍속 및 일사량 등의 기상자료를 바탕으로 Pasquill 대기안정도 등급을 산정하였다.

현장측정 결과, 풍향이 일정하게 유지되고 측정지점이 배출원의 풍하측에 위치한 조건에서는 165m 지점의 NH_3 농도가 배출원 대비 4% 수준으로 나타나는 등 지점 간 농도 차이가 확인되었다. 반면, 풍향 변동이 크거나 인근 기상관측소와 현장의 국지적 풍향·풍속 특성이 상이한 조건에서는 풍하측 위치가 시간에 따라 변화하여 거리별 농도 경향을 해석하는 데 한계가 있었다. 이를 통해 거리별 농도 변화를 평가하기 위해서는 현장 기상자료를 기반으로 유효한 풍하측 시간과 지점을 선별할 필요가 있음을 확인하였다. 향후 반복 측정을 통해 유효 측정조건을 구체화하고 거리별 농도 변화를 정량화하여 양돈시설 악취 확산 모델의 입력 및 검증자료로 활용하고자 한다.

핵심용어: 양돈시설, 악취, 암모니아, 풍하측, 대기확산

* 학생회원・전북대학교 농축산식품융합학과 석사과정・E-mail : kaian0415@gmail.com
** 정회원・전북대학교 지역건설공학과 부교수・E-mail : ihseo@jbnu.ac.kr

MODIS 기반 토양수분 및 가뭄지수를 활용한 국내 농업가뭄 모니터링: 2022–2025년 주요 가뭄사상의 시공간 분석

Monitoring Agricultural Drought in South Korea Using MODIS-Derived Soil Moisture and Drought Indices: Spatiotemporal Analysis of Major Events (2022-2025)

이현진*, 김용원**, 정지훈***, 전원준****, 김성준*****
Hyeonjin Lee, Yongwon Kim, Jeehun Chung, Wonjun Jeon, Seongjoon Kim

요 지

본 연구에서는 MODIS 위성자료를 활용하여 국내 일 단위 토양수분을 산정하고 농업가뭄을 모니터링하기 위한 방법을 구축하였으며, 2022-2023년 전라남도에서 발생한 장기 가뭄과 2025년 강릉에서 발생한 국지적 가뭄을 대상으로 적용성을 평가하였다. 토양수분 산정을 위한 입력자료로 편의보정된 지표면온도(Land Surface Temperature, LST), 정규식생지수(Normalized Difference Vegetation Index, NDVI), 선행 5일 강수량, 연속 무강우일수, 토양의 모래·미사·점토 함량 및 고도자료로 구성된 8개 변수를 활용하였으며, 농촌진흥청(RDA) 76개 관측지점의 실측 토양수분 자료와 연계하여 학습자료를 구축하였다. 토양수분 산정에 적합한 기계학습 모델을 선정하기 위해 PLS, SVR, RFR, XGB, ANN 및 TNR의 6개 알고리즘을 대상으로 반복적인 학습·검증 자료 분할과 하이퍼파라미터 최적화를 수행하였다. 모델별 성능을 비교한 결과, XGBoost가 평균 성능에서 R^2 = 0.864, RMSE = 2.620, ρ = 0.929로 가장 우수하였으며, 최적 조건에서는 R^2 = 0.885, RMSE = 2.374, ρ = 0.941의 성능을 나타냈다. 이에 XGBoost를 최종 모델로 선정하여 1 km 공간해상도의 일 단위 토양수분 지도를 구축하고, 이를 표준화 토양수분지수(Standardized Soil Moisture Index, SSMI)로 변환하여 농업가뭄의 시공간적 특성을 분석하였다. 분석 결과, 전라남도에서는 토양수분 부족이 장기간 지속되는 가뭄 특성이 나타난 반면, 강릉에서는 단기간의 강수 변동에 따라 가뭄이 빠르게 발생하고 회복되는 양상이 확인되었다. 이러한 결과는 MODIS 기반 SSMI가 서로 다른 형태의 농업가뭄 특성을 구분하고, 농업가뭄의 공간적 분포와 시간적 변화를 연속적으로 모니터링하는 데 활용될 수 있음을 보여준다.

핵심용어: MODIS, 토양수분, 농업가뭄, 위성, 표준화 토양수분지수(SSMI)

본 결과물은 기후에너지환경부의 재원으로 한국환경산업기술원의 수생태계 건강성 확보 기술개발사업의 지원과(RS-2025-02304832), 행정안전부 재난안전 공동연구 기술개발사업의 지원을 받아 수행된 연구임(2022-MOIS63-001).

* 정회원・건국대학교 일반대학원 사회환경공학부 석사과정・E-mail : s7511ss@konkuk.ac.kr
** 정회원・건국대학교 일반대학원 사회환경플랜트공학과 박사수료・E-mail : longliveyw@konkuk.ac.kr
*** 정회원・건국대학교 일반대학원 사회환경플랜트공학과 박사수료・E-mail : gop1519@konkuk.ac.kr
**** 정회원・건국대학교 일반대학원 사회환경공학부 석사과정・E-mail : hs0710717@konkuk.ac.kr
***** 정회원・건국대학교 공과대학 사회환경공학부 정교수・E-mail : kimsj@konkuk.ac.kr

RCD 공법을 적용한 CSG댐 표면보호 콘크리트의 혼화재 혼입에 따른 최적 배합비 제안

Determination of an Optimal Mix Proportion for RCD-Based Surface-Protective Concrete of CSG Dams Incorporating Mineral Admixtures

이소희*, 이재환**, 최진수***, 구자현****, 박찬기*****, 신현오******
SoHee Lee, JaeHwan Lee, JinSoo Choi, JaHyeon Koo, Chan-Gi Park, Hyun-Oh Shin

요 지

국내 농업용 저수지는 대부분 필댐으로 구성되어 있으며, 필댐은 구조적 특성 및 시공·유지관리 여건에 따라 대규모 홍수 유입 시 충분한 방류 능력을 확보하는데 한계가 있을 수 있다. 특히 국내 농업용 저수지 17,227개소 중 15,382개소가 50년 이상 경과한 것으로 보고되고 있으며, 이는 전체 저수지의 89.3%에 해당한다. 이러한 노후 저수지는 차수 및 배수 시설의 성능 저하와 유지관리 미흡 등으로 인해 구조적 안정성이 저하될 가능성이 있으며, 기후변화에 따른 극한홍수 발생 시 월류로 인한 붕괴 위험성이 증가할 수 있다. 이러한 문제를 개선하기 위한 방안으로 설계 및 시공 측면에서 합리적인 CSG(Cemented Sand and Gravel)댐의 적용 가능성이 검토되고 있다. CSG 공법은 현장 또는 인근에서 확보 가능한 골재에 소량의 시멘트를 혼합하여 소요 강도 및 차수 성능을 확보하는 축조 공법으로, 하상 골재 등 현장 재료를 활용함으로써 재료 및 시공비용을 절감할 수 있다. 또한 롤러 다짐 공법을 적용함으로써 시공 속도를 향상시킬 수 있어 공사 기간을 단축할 수 있다는 장점이 있다.

한편, CSG댐의 표면에는 제체의 침식, 수분 침투, 동결 융해 등에 의한 열화를 방지하고 장기적인 내구성과 수밀성을 확보하기 위해 표면보호 콘크리트가 적용된다. 일반적인 CSG댐의 표면보호 콘크리트는 경사면에 프리캐스트 콘크리트 패널을 설치하는 방식이 주로 적용되고 있으나, 이는 공정이 복잡하고 공기가 증가할 수 있다는 한계가 있다. 선행 연구에서는 CSG 공법의 장점인 신속한 시공 속도를 유지하면서 표면보호 콘크리트의 일체성을 확보하기 위해 RCD(Roller Compacted Dam) 공법을 적용한 표면보호 콘크리트 기본 배합을 개발하였다. 그러나, 해당 기본 배합은 혼화재를 사용하지 않은 배합으로, 제체 콘크리트의 대량 타설 시 높은 수화열 발생과 이로 인한 온도균열 및 품질 저하가 예상된다.

본 연구에서는 이러한 선행연구의 한계를 개선하기 위해 혼화재를 적용한 CSG댐 표면보호 콘크리트의 최적 배합비를 개발하였다. 선행연구에서 개발된 기본 배합비를 기반으로, 수화열 및 탄소배출 저감 효과를 고려하여 선정한 3가지 혼화재(고로슬래그 미분말, 실리카흄, 석회석 미분말)의 혼입 조건에 따른 배합을 구성하였다. 설정된 혼화재 변수에 대해 밀도, 비비 시간 등 현장 시공성을 평가하고, 수화열 및 압축 강도 등 열적·역학적 특성을 평가하였다. 이를 바탕으로 RCD 공법을 적용한 CSG댐 표면보호 콘크리트의 수화열 및 탄소배출 저감이 가능하면서, 소요의 강도 및 시공성을 만족할수 있는 최적 배합비를 제안하였다.

핵심용어: CSG댐, 표면보호 콘크리트, RCD 공법, 수화열, 혼화재

본 결과물은 농림축산식품부의 재원으로 농림식품기술기획평가원의 기후변화대응지능형농업기반관리사업의 지원을 받아 연구되었음 (RS-2025-02219948)

* 준회원・충남대학교 대학원 지역환경토목학과 석사과정・E-mail : lhee1204@o.cnu.ac.kr
** 정회원・충남대학교 대학원 지역환경토목학과 박사과정・E-mail : dlwoghks033@o.cnu.ac.kr
*** 정회원・충남대학교 대학원 지역환경토목학과 박사과정・E-mail : ch.jinsu@o.cnu.ac.kr
**** 준회원・충남대학교 대학원 지역환경토목학과 석사과정・E-mail : koojh1213@o.cnu.ac.kr
***** 종신회원・공주대학교 지역건설공학과 교수・E-mail : cgpark@kongju.ac.kr
****** 종신회원・교신저자・충남대학교 지역환경토목학과 교수・E-mail : hyunoh.shin@cnu.ac.kr

Sentinel-1/2 위성영상을 활용한 전국 논벼 이앙 · 수확 시기의 공간분포 및 연차변동 분석

Spatial patterns and interannual variability in paddy rice transplanting and harvesting dates across South Korea using Sentinel-1/2 satellite imagery

최혁재*, 남원호**, 이희진***
Hyeok-Jae Choi, Won-Ho Nam, Hee-Jin Lee

요 지

논벼의 이앙 및 수확 시기는 지역별 기후와 영농환경에 따라 공간적으로 다르게 나타나며, 연도별 기상 조건에 따라서도 변동할 수 있다. 이러한 작부 시기의 공간분포와 연차변동은 농업용수 수요, 관개 일정, 작황 모니터링 및 농업생산 관리와 밀접하게 관련되므로, 전국을 대상으로 일관된 기준에 따라 작부 시기를 파악할 필요가 있다. 본 연구에서는 Sentinel-1 및 Sentinel-2 시계열 자료를 활용하여 2019-2024년 대한민국 전역의 논 지역을 대상으로 이앙 및 수확 시기를 산정하고, 지역별 공간분포와 연차변동 특성을 분석하고자 하였다. 분석 대상 논 지역은 팜맵(Farm Map)을 기준으로 설정하였으며, Sentinel-1의 VV 및 VH 편파 후방산란계수와 Sentinel-2의 정규식생지수(Normalized Difference Vegetation Index, NDVI) 및 지표수분지수(Land Surface Water Index, LSWI)를 활용하였다. 위성자료는 벼의 생육주기를 고려하여 10일 간격의 시계열로 구성하였으며, 시군별 논 지역의 대표 시계열을 추출하였다. 이앙 시기는 생육 초기 담수에 따른 수분 신호와 낮은 식생 상태 이후 나타나는 식생 증가 특성을 결합하여 추정하였다. 수확 시기는 생육 후기의 식생 감소 특성을 중심으로 산정하되, 수분 상태의 변화를 보조적으로 고려하였다. 이를 바탕으로 연도별 이앙 및 수확 시기의 공간분포를 구축하고, 시도 및 시군 단위의 지역적 차이와 연차변동 특성을 비교하였다. 본 연구는 Sentinel-1/2 위성영상을 이용하여 전국 규모의 논벼 작부 시기를 일관된 기준으로 파악하고 지역별 공간분포와 연차변동을 분석함으로써, 농업용수 관리와 작황 모니터링을 위한 작부 시기 공간정보 구축에 활용될 수 있을 것으로 판단된다.

핵심용어: 논벼, 작부 시기, Sentinel-1/2 위성영상, 공간분포, 연차변동

본 결과물은 농림축산식품부의 재원으로 농림식품기술기획평가원의 기후변화대응지능형농업기반관리기술개발사업의 지원을 받아 연구되었음(RS-2025-02219764)

* 정회원 · 한경국립대학교 사회안전시스템공학부 석사과정 · E-mail : hyeokjae.choi@hknu.ac.kr
** 정회원 · 한경국립대학교 사회안전시스템공학부 교수 · E-mail : wonho.nam@hknu.ac.kr
*** 정회원 · 한경국립대학교 국가농업용수연구센터 선임연구원 · E-mail : heejin.lee@hknu.ac.kr

3차원 연결요소 분석을 활용한 북한 가뭄 클러스터의 생애주기 특성 분석

Life-Cycle characteristics of drought clusters in North Korea using three-dimensional connected component analysis

신현욱*, 남원호**, 문영식***
Hyeon-Wook Shin, Won-Ho Nam, Young-Sik Mun

요 지

가뭄은 강수 부족이 장기간 지속되면서 수자원과 농업을 포함한 다양한 분야에 영향을 미치는 자연재해로, 발생 이후 시간의 경과에 따라 공간적 범위와 강도가 지속적으로 변화하는 특성을 가진다. 특히 북한은 기상 및 수문 관측자료의 확보가 제한적이고 장기간의 연속적인 자료 구축이 어려워 가뭄의 발생과 진행 과정을 정량적으로 파악하는 데 한계가 있다. 따라서 북한 지역의 가뭄을 효과적으로 평가하기 위해서는 개별 시점의 가뭄 분포뿐만 아니라 시간에 따른 공간적 확장과 축소를 포함한 가뭄의 시공간적 발달 과정을 함께 고려할 필요가 있다. 본 연구에서는 북한 지역에서 발생하는 가뭄의 생애주기 및 시공간적 발달 특성을 분석하기 위해 3차원 연결요소 분석(Three-Dimensional Connected Component Analysis, 3DCCA)을 적용하였다. 가뭄 분석을 위해 Climate Hazards Group InfraRed Precipitation with Station Data Version 3.0(CHIRPS v3.0)의 월 강수량 자료와 Climate Hazards Center InfraRed Temperature with Stations-ERA5(CHIRTS-ERA5)의 기온 자료를 활용하여 기후학적 물수지를 산정하고, 표준강수증발산지수(Standardized Precipitation Evapotranspiration Index, SPEI)를 계산하였다. SPEI를 기반으로 가뭄 영역을 구분하고, 공간적으로 인접하면서 시간적으로 연속성을 갖는 가뭄 격자를 3DCCA를 통해 하나의 가뭄 클러스터로 연결하였다. 탐지된 가뭄 클러스터를 대상으로 지속기간, 공간적 범위, 심도 및 강도 등의 특성을 산정하고, 시간에 따른 클러스터의 면적과 강도 변화를 바탕으로 가뭄의 발생, 발달, 최대 및 소멸 단계에서 나타나는 생애주기 특성을 분석하였다. 이를 통해 개별 가뭄 클러스터의 형성 이후 공간적 확장과 발달, 최대 규모 도달 및 축소·소멸에 이르는 시공간적 변화와 단계별 가뭄 특성을 정량적으로 평가하였다. 본 연구는 북한 지역의 가뭄을 개별 격자가 아닌 시공간적으로 연속된 가뭄 사상 단위로 분석함으로써 가뭄의 시공간적 발달 및 지속 특성을 종합적으로 평가하고, 가뭄 클러스터의 생애주기별 특성을 이해하기 위한 기초자료를 제시하고자 한다.

핵심용어: 북한, 가뭄 클러스터, 가뭄 생애주기, 가뭄지수, 3차원 연결요소 분석

본 결과물은 농림축산식품부의 재원으로 농림식품기술기획평가원의 기후변화대응지능형농업기반관리기술개발사업의 지원을 받아 연구되었음(RS-2025-02219764)

* 정회원・한경국립대학교 사회안전시스템공학부 석사과정・E-mail : hyeonwook.shin@hknu.ac.kr
** 정회원・한경국립대학교 사회안전시스템공학부 교수・E-mail : wonho.nam@hknu.ac.kr
*** 정회원・한경국립대학교 국가농업용수연구센터 선임연구원・E-mail : youngsik.mun@hknu.ac.kr

PS-InSAR를 활용한 그라우팅 전후 필댐의 변형 거동 평가

Changes in Deformation Characteristics of Earthfill Dam Before and After Foundation Grouting Using PS-InSAR

은완코 조나단 치부에즈*, 허윤검**, 변용훈***
Jonathan Chibueze Nwankwo, Yoon Geom Heo, Yong-Hoon Byun

Abstract

Earthfill dams are critical infrastructure, yet their progressive deformation may be difficult to characterize using conventional point-based geotechnical instrumentation alone. To provide spatially continuous information on long-term dam behavior, this study uses Persistent Scatterer Interferometric Synthetic Aperture Radar (PS-InSAR) to investigate changes in the deformation characteristics of an earthfill dam. Dual-orbit Sentinel-1 imagery is processed using the Stanford Method for Persistent Scatterers (StaMPS), and Line-of-Sight (LOS) measurements are resolved into vertical and east-west displacement components through orthogonal decomposition. The temporal deformation characteristics are then compared between the pre- and post- grouting periods to identify changes in both the magnitude and directional components of dam movement. The results shows that the vertical settlement rate decrease from -2.71 mm/year before grouting to -1.63 mm/year after grouting, whereas the east-west displacement rate change from -0.19 mm/year to 0.07 mm/year. These findings demonstrate the applicability of orthogonal PS-InSAR analysis for characterizing long-term deformation changes in earthfill dams following foundation grouting.

Key words: PS-InSAR, earthfill dam, deformation monitoring, foundation grouting, orthogonal decomposition

본 결과물은 과학기술정보통신부의 재원으로 한국연구재단(NRF)의 지원을 받아 수행되었음(No. RS-2021-NR060085)을 밝히며, 이에 깊이 감사드립니다.

* 준회원・경북대학교 농업토목공학과 석・박사통합과정 E-mail : nwankwo.jonathan.c@knu.ac.kr
** 종신회원・경북대학교 농업토목공학과 박사과정・ E-mail : gjruddnr1229@knu.ac.kr
*** 종신회원・경북대학교 농업토목공학과 교수・E-mail : yhbyun@knu.ac.kr

결측 보간에 따른 새만금 유역 일수위 시계열의 군집 구조 변화 분석

Analysis of Changes in the Cluster Structure of Daily Water-Level Time Series Following Missing Data Imputation in the Saemangeum Watershed

이정*, 이상현**
Jeong Lee, Sanghyun Lee

요 지

하천 수위자료의 효과적인 결측 보간은 수문 분석, 수자원 관리 및 데이터 기반 모형 구축을 위해 필수적이다. 기존 연구에서는 주로 수치적 복원 정확도를 기준으로 보간 기법의 성능을 평가해 왔으나, 시계열 자료의 구조적 특성을 보존하는 능력에 대해서는 상대적으로 충분한 검토가 이루어지지 않았다. 본 연구에서는 새만금 유역 25개 수위관측소의 2020~2024년 일수위자료를 이용하여 6가지 결측 보간 기법의 수치적 성능과 관측소 간 군집 분석 후의 구조 보존성을 함께 평가하였다. 원자료에 5%, 10%, 15% 및 20%의 인위적 결측을 생성한 후 단일 선형회귀(SLR), 다중 선형회귀(MLR), 스플라인 보간법(Spline), K-최근접 이웃법(K-NN), 자기회귀 누적이동평균(ARIMA) 및 역거리가중법(IDW)을 적용하여 결측값을 복원하였다. 수치적 성능은 RMSE, R^2 및 Willmott의 수정 일치지수(D_{mod})를 이용하여 평가하였으며, 구조적 보존성은 PCA 기반 K-medoids 군집분석 결과를 원자료와 비교하고 조정 랜드 지수(ARI)를 산정하여 평가하였다. 분석 결과, K-NN이 가장 높은 수치적 복원 정확도를 보인 반면, MLR과 SLR은 원자료의 군집 구조를 상대적으로 우수하게 보존하였다. 이는 수치적 복원 정확도가 높더라도 원자료에 내재된 시계열 구조가 반드시 동일하게 유지되는 것은 아님을 보여준다. 따라서 결측 보간 기법을 선정할 때에는 수치적 정확도뿐만 아니라, 군집분석을 비롯한 패턴 기반 후속 분석에서의 구조 보존성도 함께 고려할 필요가 있다.

핵심용어: 일수위자료, 결측 보간, 주성분분석, K-medoids, 군집분석

본 결과물은 농림축산식품부의 재원으로 농림식품기술기획평가원의 기후변화대응지능형농업기반관리기술개발사업의 지원을 받아 연구되었음(RS-2025-02215604).

* 준회원・전북대학교 농공학과 석사과정・E-mail : leejeong20@jbnu.ac.kr
** 정회원・전북대학교 지역건설공학과 조교수・E-mail : sanghyun.lee@jbnu.ac.kr

어류 서식처 특성과 유역특성을 활용한 XAI 기반 표준유역별 환경생태유량 산정

XAI-Based ecological flow estimation for standard watersheds using fish habitat and watershed characteristics

전원준*, 이용관**, 김용원***, 박용진****, 김성준*****
Wonjun Jeon, Yonggwan Lee, Yongwon Kim, Yongjin Park, Seongjoon Kim

요 지

환경생태유량(Ecological flow, E-Flow)은 하천 생태계의 구조와 기능을 유지하기 위한 하천관리의 기초자료로 활용되고 있다. 그러나 기존 E-Flow 산정은 PHABSIM과 같은 물리서식처모형을 중심으로 이루어져 하도 및 생물 서식특성에 대한 지점별 현장조사와 자료 구축이 요구된다. 이러한 현장조사 기반의 산정 방법은 투입되는 시간과 인력 등의 제약으로 E-Flow 산정 대상 지점을 확대하는 데 일부 한계가 있으며, 다수의 유역을 대상으로 동일한 방법을 적용하는 데에도 제약이 존재한다. 따라서 지점별로 산정된 E-Flow와 유역특성 간의 관계를 활용하여 E-Flow 추정 범위를 확대할 수 있는 유역 규모의 방법이 필요하다. 이에 본 연구에서는 비조절 하천 38개 지점에서 산정된 E-Flow와 유역의 수문·지형·토양·하천망 특성을 연계하여 설명 가능한 AI(XAI) 기반의 E-Flow 추정 및 설명변수 분석을 수행하였다. 후보 유역특성인자 136개를 대상으로 최소중복-최대적합(mRMR)과 분산팽창지수(Variance inflation factor, VIF ≤ 10)를 순차적으로 적용하여 11개 변수를 선정하고, 6종의 Boosting 계열 AI 모델을 Nested Leave-One-Out 교차검증으로 비교하였다. Gradient Boosting이 가장 우수한 성능(R^2 = 0.64, RMSE = 1.98 m^3/s)을 나타냈으며, 추정 결과는 E-Flow 값이 증가할수록 과소추정 경향을 보였으나, 비교적 작은 E-Flow 값에서는 관측값과 상대적으로 양호한 일치성을 나타냈다. 예측 불확실성은 Jackknife+ 등각예측을 이용하여 90% 예측구간으로 산정하였으며, 분석 대상 관측 E-Flow는 모두 해당 예측구간 내에 포함되었다. Shapley additive explanations (SHAP), 반응표면분석, Partial dependence plot, Individual conditional expectation 및 Explainable boosting machine 분석 결과, Hydrologic soil group B, 유역면적, 평균유량 및 총하천연장이 주요 설명변수로 나타났으며, 상위 4개 변수의 누적 중요도는 약 76%였다. 유역면적과 평균유량 증가에 따라 E-Flow 추정값은 증가 후 변화가 완화되었으며, HSG-B의 영향은 유역 규모와 유량 조건에 따라 달라졌다. 따라서 유역 규모, 유량 특성 및 수문학적 토양 특성이 E-Flow 추정의 주요 요인으로 확인되었다. 본 연구는 지점별 현장조사에 기반한 기존 E-Flow 산정의 공간적 제약을 보완하고, 유역특성을 활용한 전국 표준유역 단위 E-Flow 추정 및 어류 서식처 유형 간 연결성을 고려한 산정으로의 확장 가능성을 제시하였다.

핵심용어: 환경생태유량, 설명 가능한 AI, Boosting, 어류 서식처, 유역특성, 표준유역

본 결과물은 기후에너지환경부의 재원으로 한국환경산업기술원의 수생태계 건강성 확보 기술개발사업의 지원을 받아 연구되었습니다(RS-2025-02304832). 본 결과물은 농림축산식품부의 재원으로 농림식품기술기획평가원의 기후변화대응지능형농업기반관리기술개발사업의 지원을 받아 연구되었음(RS-2025-02263147)

* 정회원・건국대학교 일반대학원 사회환경공학부 석사과정・E-mail : hs0710717@konkuk.ac.kr
** 정회원・건국대학교 아시아시설물연구센터 조교수・E-mail : leeyg@konkuk.ac.kr
*** 정회원・건국대학교 아시아시설물연구센터 박사후연구원・E-mail : longliveyw@konkuk.ac.kr
**** 정회원・건국대학교 일반대학원 사회환경공학부 석사과정・E-mail : pyj991123@konkuk.ac.kr
***** 정회원・건국대학교 공과대학 사회환경공학부 정교수・E-mail : kimsj@konkuk.ac.kr

2026 한국농공학회 학술발표회

포닥세션
(Post-Doc Competition)

THE KOREAN SOCIETY OF AGRICULTURAL ENGINEER

양돈 에너지수지 해석을 위한 통합 모니터링 시스템 구축 및 기초데이터 확보

Integrated Monitoring System for Energy Balance Analysis in Pig Houses: System Development and Baseline Data Acquisition

서효재*, 서일환**
Hyo-Jae Seo, Il-Hwan Seo

요 지

국내 축사 운영비의 약 56%가 사료비와 전기비이며, 축산 부문 에너지 소비의 77%가 동절기 난방에 집중된다. 사료로 공급된 에너지는 증체, 체온 유지, 분뇨 배출로 분배되나 농가 수익으로 전환되는 것은 증체분에 한정되므로 환경·사양·생체 요인을 통합적으로 해석해야 하나, 이들을 동일 시간축에서 동시에 수집한 실측 기반 연구는 부족한 실정이다. 본 연구에서는 환경제어 챔버를 기반으로 환경, 생체, 사양을 동시 수집하는 통합 모니터링 시스템을 구축하고, 봄베열량계로 돈분열량을 측정하여 하절기부터 동절기까지 데이터를 확보하였다. 사료 에너지의 배출 측면에서 돈분열량은 이유자돈 약 384 kcal/kg DM에서 비육 전기 약 2,000 kcal/kg DM으로 약 5.2배 증가하며 체중과 유의한 상관($r=0.741$, $p<0.01$)을 보였다. 축적 측면에서는 초기 체중이 상이한 두 집단이 각각 평균 일당증체량 0.64, 0.70 kg/d를 나타냈고, 일일 급이량은 체중 80~90 kg에서 정점 후 감소하는 2차 다항 형태($R^2=0.905$)로 비육 후기의 증체 둔화와 일치하였다. 환경 요인과의 관계에서는 체표온도와 직장온도가 THI와 각각 $r=0.85$, $r=0.68$, 두당 급수량이 내부온도와 $r=0.60$의 유의한 상관을 보인 반면, 일당증체량은 단일 환경변수와 유의한 상관을 보이지 않았다. 이는 돈분열량과 증체량이 사료 에너지 분배의 배출·축적 두 축을 구성하며, 증체 반응이 단일 환경변수가 아닌 에너지 분배 전반에 의해 결정됨을 시사한다. 확보된 데이터에 환기량 및 현열·잠열 항을 결합하면 돈사 단위의 에너지수지 해석이 가능할 것으로 판단되며, 향후 사료 에너지의 증체 전환 효율을 정량화하여 에너지 기반 사양·환경 관리 지표를 제시하고자 한다.

핵심용어: 스마트축사, 양돈, 에너지수지, 통합 모니터링, 돈분열량

이 연구는 2026년도 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(RS-2026-25495883)

* 준회원 · 전북대학교 지역건설공학과 박사후연구원 · E-mail : tjgydls@gmail.com
** 정회원 · 전북대학교 지역건설공학과 부교수 E-mail : ihseo@jbnu.ac.kr

머신러닝 기반 저수율 예측과 용수공급능력 평가를 통한 농업용 저수지 운영기준 개발

Development of agricultural reservoir operating rules using machine learning-based storage forecasting and water supply reliability assessment

양미혜*, 남원호**, 신지현***, 이광야****, 윤광식***** 유석균******, 김상우*******
Mi-Hye Yang, Won-Ho Nam, Ji-Hyeon Shin, Kwang-Ya Lee,
Kwang-Sik Yoon, Seokkyun Yu, Sang-Woo Kim

요 지

기후변화로 인해 강우의 시기와 규모에 대한 불확실성이 증가하면서 관개기간 중 농업용 저수지의 저수상태와 용수공급능력을 안정적으로 관리하는 것이 중요해지고 있다. 특히 가뭄 상황에서는 현재 저수율만으로 향후 용수공급의 지속 가능성을 판단하기 어려우므로, 미래 저수상태에 대한 예측과 실제 용수공급 특성을 함께 고려한 정량적 운영기준이 필요하다. 본 연구에서는 장성호를 대상으로 과거 저수율과 기상자료를 활용하여 머신러닝 기반 저수율 예측모형을 구축하고, 관개기간 중 순별 저수율 변화를 예측하였다. 예측모형은 관측자료를 이용하여 학습 및 검증하였으며, 실제 저수율의 감소와 회복 경향 및 저수상태 변화 시점에 대한 재현성을 평가하였다. 또한 실제 통수자료를 이용하여 일별 용수공급량의 변화 특성을 분석하고, 공급량 수준과 연속 무공급 기간을 기준으로 정상공급, 공급량 감소 및 무공급 구간을 구분하였다. 각 공급구간에 대해서는 공급중단과 재개 시점, 중단 지속기간, 중단 전후의 공급량 변화, 저수율 및 강우조건을 종합적으로 검토하였다. 특히 무공급 기록이 반드시 저수량 부족에 따른 공급중단을 의미하지 않는다는 점을 고려하여, 강우에 따른 관개수요 감소와 저수량 부족에 따른 공급조정 가능성을 구분하였다. 최근 측량성과를 반영한 수위-저수량 관계를 적용하여 예측 저수율을 순별 예상 저수량으로 환산하고, 실제 용수공급량과 연계하여 향후 가용저수량과 공급가능기간을 평가하였다.저수율 예측 결과, 실제 용수공급 패턴, 예상 가용저수량 및 공급가능기간을 종합하여 관개기간 중 저수상태에 따른 단계별 농업용 저수지 운영기준을 제시하였다. 본 연구 결과는 가뭄 진행에 따른 용수공급 지속 가능성을 사전에 평가하고 공급량 조정이 필요한 시점을 정량적으로 판단함으로써, 농업용 저수지의 선제적인 가뭄 대응과 현장 물관리 의사결정을 지원하는 데 활용될 수 있다.

핵심용어: 농업용 저수지, 저수율 예측, 머신러닝, 용수공급능력, 운영기준

본 결과물은 농림축산식품부의 재원으로 농림식품기술기획평가원의 기후변화대응지능형농업기반관리기술개발사업의 지원을 받아 연구되었음(RS-2025-02219764). 본 연구는 농림축산식품부의 재원으로 한국농어촌공사의 용역연구사업의 지원을 받아 연구되었습니다.

* 정회원・한경국립대학교 국가농업용수연구센터 선임연구원・E-mail : mihye.yang@hknu.ac.kr
** 정회원・한경국립대학교 사회안전시스템공학부 교수・E-mail : wonho.nam@hknu.ac.kr
*** 정회원・한경국립대학교 융합시스템공학과 박사수료・E-mail : jihyeon.shin@hknu.ac.kr
**** 정회원・충남대학교 농업과학연구소 연구교수・E-mail : leehec7005@cnu.ac.kr
***** 정회원・전남대학교 지역・바이오시스템공학과 교수・E-mail : ksyoon@jnu.ac.kr
****** 정회원・한국농어촌공사 수자원정책지원단 수자원정책지원부 차장・E-mail : kyun80@ekr.or.kr
******* 정회원・한국농어촌공사 수자원정책지원단 단장・E-mail : mrkim97@ekr.or.kr

항공 방제 농약 비산 예측을 위한 머신러닝 기반 모델 개발

Development of a Machine Learning-Based Model for Pesticide Drift Prediction in Aerial Spraying

이세연*, 박진선**, 이채린***, 박지연****, Rajagukguk Rial Arifin*****, 임준홍******, 홍세운*******,†
Se-yeon Lee, Ji-yeon Park, Chae-rin Lee, Jinseon Park,
Rial Arifin Rajagukguk, Junhong Im, Se-woon Hong

요 지

농업 생산성 유지를 위해 농약 살포는 필수적이지만, 살포 과정에서 발생하는 농약 비산은 환경 오염과 인체 건강에 영향을 미칠 수 있다. 최근 무인항공 살포 시스템(Uncrewed Aerial Spray System, UASS)을 이용한 방제가 확대되면서 로터에 의한 하향풍과 작물 및 지표면과의 상호작용으로 기존 지상 방제와 다른 공기유동 및 액적 거동이 발생하여 비산 예측에 어려움이 있다. 특히 농약 비산량은 살포원으로부터의 거리에 따라 비선형적으로 변화하므로, 다양한 영향인자와 비산량 간의 복합적인 관계를 고려한 예측 방법이 필요하다. 본 연구에서는 벼, 콩, 감자 및 옥수수 재배지와 나지 조건에서 헥사콥터와 옥토콥터를 이용한 농약 살포 실험을 수행하고, 다양한 기상 및 운용 조건에서 거리별 공기 중 비산량과 지면 퇴적량을 측정하였다. 이를 통해 총 65개의 유효 데이터셋을 구축하고, 주요 영향인자와 비산량 간의 관계를 분석하였다. 이후 현장에서 측정 가능한 변수를 기반으로 Random Forest(RF), XGBoost(XGB) 및 Feed-forward 구조의 인공신경망(Artificial Neural Network, ANN)을 적용하여 농약 비산량 예측모델을 구축하고, 모델별 예측 성능을 비교하였다. 각 모델은 다양한 기상, 작물 및 UASS 운용 조건에서 나타나는 비선형적인 영향인자와 비산량 간의 관계를 학습하도록 구성하였으며, MAE, RMSE 및 R^2 등의 성능지표를 이용하여 모델의 예측 정확도를 평가하였다. 이를 통해 농약 비산량 예측에 적합한 머신러닝 모델을 선정하고, 다양한 작물, 지표면 및 UASS 운용 조건에서의 비산 위험을 정량적으로 평가하고자 하였다. 본 연구에서 구축된 예측모델은 현장 실험에 소요되는 시간과 비용을 절감하고, 무인항공 방제 과정에서의 비산 위험 평가 및 비산 저감 방안 수립을 지원하는 실용적인 도구로 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

핵심용어: 기상요인, 살포요인, 작물요인, ANN, Random Forest

본 연구는 농촌진흥청 연구사업(세부과제번호: PJ017065)의 지원에 의해 이루어진 것임.

* 정회원・전남대학교 대학원 지역·바이오시스템공학과 박사후 연구원・E-mail : seyeonn@jnu.ac.kr
** 정회원・전남대학교 농업생명과학대학 기후변화대응농생명연구소 연구교수・E-mail : icarus381@jnu.ac.kr
*** 정회원・전남대학교 대학원 지역·바이오시스템공학과 & BK21 기후지능형 간척지 농업 교육연구팀 박사1・E-mail: chaerinl@jnu.ac.kr
**** 정회원・전남대학교 대학원 지역·바이오시스템공학과 & BK21 기후지능형 간척지 농업 교육연구팀 박사2・E-mail: qkrwldus7749@jnu.ac.kr
***** 정회원・전남대학교 농업생명과학대학 지역·바이오시스템공학과 연구교수・E-mail : rialarifin@jnu.ac.kr
****** 정회원・전남대학교 대학원 지역·바이오시스템공학과 & BK21 기후지능형 간척지 농업 교육연구팀 석사・E-mail : 214199@jnu.ac.kr
******* 정회원・전남대학교 농업생명과학대학 지역·바이오시스템공학과 & BK21 기후지능형 간척지 농업 교육연구팀 부교수・E-mail : hsewoon@jnu.ac.kr

농촌 침수재난의 시설물 안전과 인명 대피를 위한 물리기반 의사결정 프레임워크

A Physics-Based Decision Framework for Structural Safety and Human Evacuation in Rural Flood Disasters

이종혁*, 최원**, 이상익***,†
Jonghyuk Lee, Won Choi, Sangik Lee

요 지

기후변화로 인한 집중호우와 저수지 붕괴 위험이 증가하면서, 농촌지역의 침수분석은 침수범위와 수심을 제시하는 수준을 넘어 시설물 피해와 주민의 대피 가능성을 직접 판단할 수 있어야 한다. 본 연구에서는 수리해석을 통해 산정된 시간별 침수심과 유속을 실제 재난 대응에 활용하기 위해 시설물 구조안전과 인명 대피를 평가하는 두 가지 의사결정 모듈을 구축하였다. 시설물 평가 모듈에서는 정사영상에서 개별 온실을 탐지하고 고유 식별자를 부여한 후, 각 온실에 국부 침수심과 유속을 할당하여 응력·변위·인발저항 등의 허용기준 초과 여부를 판정하는 자산 단위 구조안전 스크리닝 체계를 개발하였다. 부분적으로 침수된 구조부재는 수면을 기준으로 침수 구간을 자동 분할하고, 해당 구간에 작용하는 정수압과 항력을 경량 유한요소 구조해석 모듈에 적용하였다. 수면 기준 자동 분할을 적용한 결과, 힌지 및 고정단 조건의 응력오차는 각각 47.74%에서 2.06%, 90.33%에서 6.75%로 감소하였다. 총 72개 조건에 대해 상용 유한요소 해석 결과와 교차검증한 결과, 힌지 조건 전체, 유속이 0.5 m/s 이상인 흐름 조건 및 고정단 실용조건의 평균 von Mises 등가응력 오차는 각각 0.31%, 4.09% 및 7.96%로 평가되었다. 또한 산양저수지 하류의 실제 피해 온실을 대상으로 구조안전 판정 결과를 현장 피해 자료와 비교하여 현장 일관성을 확인하였다. 인명 부문에서는 DEM, 토지피복 및 사전 계산된 시간별 침수해석 결과를 결합하여 대피시간과 홍수 도달시간을 비교하는 시간의존형 대피평가 체계를 구축하였다. 대피자의 연령, 지형경사, 토지피복별 보행가능성 및 이동속도를 고려하여 대피경로와 소요시간을 산정하고, 위험수심 도달 이전의 대피 완료 가능성을 평가하였다. 15-49세와 75세 이상 집단의 평균 생존가능성은 각각 0.698과 0.630으로 나타났으며, 평균 대피시간은 4.14분과 6.60분으로 평가되었다. 저수지별 450개 임의 출발점 시험에서는 미산저수지와 송강저수지에서 각각 81.8%와 80.9%의 대피 성공률을 보였으며, 수역 통과 및 하향 이동 위반은 발생하지 않았다. 연구 결과는 동일한 침수조건에서도 시설물의 형상·부재·지지조건과 대피자의 위치·이동능력에 따라 최종 위험판정이 달라질 수 있음을 보여준다. 제안된 체계는 기존 침수해석 결과를 개별 시설물의 구조안전과 주민의 대피 가능성에 대한 의사결정 정보로 전환할 수 있다. 향후에는 다양한 저수지 붕괴 및 침수 시나리오를 대상으로 현장 적용성을 검증하고, 자산단위 구조안전 스크리닝과 시간의존형 대피평가를 연계한 통합 의사결정 지원체계로 고도화하고자 한다.

핵심용어: 농촌 침수재난, 자산단위 구조안전평가, 시간의존형 대피평가, 홍수 의사결정 지원, 저수지 붕괴

본 성과물은 행정안전부 재난안전중점기술로드맵연계형기술개발사업의 지원을 받아 수행된 연구임(과제번호: RS-2026-25617684)

* 정회원・경북대학교 농업과학기술연구소 연구초빙교수・E-mail : jonghyuk.lee@knu.ac.kr
** 정회원・서울대학교 지역시스템공학과/농업생명과학연구원/융합전공 글로벌 스마트팜 교수・E-mail : fembem@snu.ac.kr
*** 정회원・경북대학교 농업토목공학과 조교수・E-mail : sangik@knu.ac.kr

극한 기후사상 하에서의 전 세계 벼 생산: 앙상블 딥러닝 접근법을 통한 통찰

Global Rice Production under Extreme Climate Events: Insights from an Ensemble Deep Learning Approach

무하마드 와콰스*
Muhammad Waqas

Abstract

Extreme climate events (ECEs) are posing an increasing threat to the world's rice production, but their effects are difficult to measure due to strong nonlinearity, phenology dependence, and management heterogeneity. The study evaluates the impact of large ECEs on global anomalies in rice production using a phenology- and irrigation-sensitive ensemble deep learning (DL) model. The model showed good predictive power, explaining 82% of the global variance in rice yield anomalies (R^2), with a MAE of 0.41 ton ha^{-1} and an RMSE of 0.58 ton ha^{-1}, demonstrating good generalization across different agro-climatic regions. The vital role of hydro-thermal extremes was identified in the feature attribution analysis, which found that temperature (22%), precipitation (18%), and soil moisture (15%) were the most critical drivers. The counterfactual simulations demonstrated strong irrigation-specific sensitivity, and the cumulative yield sensitivity in rainfed systems was about 2.5 times greater than in groundwater (GW)-irrigated systems. Drought became the most critical extreme across all systems, whereas irrigation with GW reduced drought-related losses by up to 66% compared to rainfed production, but increased exposure to floods and storms in lowlands. The Indo-Gangetic Plain, Mekong Delta, and Yangtze River Basin were identified as global hotspots of climate risk through spatial vulnerability mapping. These results demonstrate the utility of GW for large-scale, interpretable evaluation of climate-induced yield losses and provide practical guidance for irrigation-based adaptation to rising climate extremes.

Key words: Climate risk assessment, Ensemble deep learning, Extreme climate events, Irrigation vulnerability, Rice yield anomalies

* 정회원・경상국립대학교 지역시스템공학과 박사후연구원・E-mail : muhammad.waqas@gnu.ac.kr

지하매설물 특성을 고려한 AI 기반 도심지 지반함몰 위험도 분석 및 공동탐사 우선순위선정 방안

AI-Based Urban Ground Collapse Risk Assessment and Cavity Survey Prioritization Considering Underground Utility Characteristics

이성열*, 강재모**,†, 공명식***
Sungyeol Lee, Jaemo Kang, Myeongsik Kong

요 지

도심지에서 발생하는 지반함몰은 지하매설물의 노후화와 밀집도 등 다양한 요인이 복합적으로 작용하므로 광역적인 위험도 평가와 효율적인 조사대상 선정이 필요하다. 본 연구에서는 지반함몰 발생이력과 지하매설물 속성정보를 활용하여 AI 기반 도심지 지반함몰 위험도 분석 방법을 제안하였다. 대상지역을 500 m × 500 m 격자로 구분하고 지하매설물의 밀도, 노후도 및 관경 정보를 이용하여 분석용 데이터를 구축하였다.

지반함몰 위험도는 발생이력에 따라 저위험, 중위험 및 고위험의 3단계로 구분하고 OVR(One-vs-Rest) 기반 XGBoost 모델을 적용하여 예측하였다. 제안 모델은 macro-F1 0.62, macro ROC-AUC 0.81을 나타냈으며, 관리 측면에서 중요한 고위험군의 recall은 0.74로 분석되었다. 또한 SHAP 분석을 적용하여 위험도 분류에 영향을 미치는 주요 요인을 분석한 결과, 지하매설물 밀도가 전반적으로 가장 높은 영향도를 나타냈다. 지하매설물 노후도는 밀도 등 다른 요인과의 비선형적 상호작용에 따라 고위험도 분류에 영향을 미치는 것으로 나타났다. 예측확률을 기준으로 고위험지역을 순위화하고 Top-k 분석을 수행하여 제한된 조사범위에서 공동조사의 효율성을 평가하였다.

분석 결과 상위 20% 격자를 조사대상으로 선정할 경우 전체 고위험 격자의 약 53.3%가 포함되었으며, 상위 5% 격자에서는 조사대상 중 고위험 격자의 비율이 0.71로 나타났다. 본 연구결과는 제한된 인력과 예산 조건에서 지반함몰 고위험지역을 우선적으로 선별하고 공동조사 및 지하시설물 유지관리의 우선순위를 설정하기 위한 기초자료로 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

핵심용어: 지반함몰, 공동조사, 지하매설물, 위험관리

본 연구는 국토교통부/국토교통과학기술진흥원의 지원으로 수행되었음(스마트 지하안전 조사·분석·평가 기술개발, 과제번호: RS-2026-25528114).

* 정회원・한국건설기술연구원 지반연구본부 박사후연구원・E-mail : leesy@kict.re.kr
** 비회원・한국건설기술연구원 지반연구본부 연구위원・E-mail : jmkang@kict.re.kr
*** 비회원・한국건설기술연구원 지반연구본부 전임연구원・E-mail : mskong@kict.re.kr

2026 한국농공학회 학술발표회

구두 발표

THE KOREAN SOCIETY OF AGRICULTURAL ENGINEER

AI/RS/BigData

A-0-1

THE KOREAN SOCIETY OF AGRICULTURAL ENGINEER

관개 수준에 따른 UAS 기반 작물 수관 온도의 시간대별 변화

Time-of-Day Variation in UAS-Derived Canopy Temperature Across Irrigation Levels

장안진*
Anjin Chang

Abstract

Timely assessment of crop water status is essential for improving irrigation management and water-use efficiency. UAS-based thermal imaging provides spatially continuous temperature measurements, but its sensitivity to irrigation treatments may vary with observation time and crop type. This study evaluated time-of-day variation in UAS-derived canopy temperature across irrigation levels in soybean and examined its relationship with leaf water potential (LWP).

The study was conducted in soybean and corn fields equipped with a smart sprinkler irrigation system. Treatments included non-irrigated, 50%, 100%, and 150% irrigation levels. Thermal imagery was collected on multiple dates approximately 24–48 hours after irrigation. Four or five UAS missions were conducted between 8:00 AM and 4:00 PM, with concurrent ground-based LWP measurements at three different times. Radiometric thermal images were converted to temperature and processed into georeferenced orthomosaics. Plot boundaries were delineated, and the mean and standard deviation of canopy temperature were extracted for each plot. Treatment differences were evaluated by observation time, and thermal metrics were compared with corresponding LWP measurements.

The analysis investigated when irrigation-level differences were most distinguishable, when canopy temperature was most strongly associated with LWP, and whether within-plot temperature variability provided additional information about crop water status. This study highlights the importance of observation timing in UAS thermal monitoring and provides a basis for selecting crop-specific data acquisition windows for irrigation assessment in soybean.

Key words: UAS, thermal imaging, canopy temperature, precision irrigation

* 정회원・미시건주립대 바이오시스템공학과 교수・E-mail : changanj@msu.edu

무인기 다중분광 영상을 이용한 가을배추 개체 분할 계열별 다시기 추적 및 개체 지수 분석

Analysis of Multi-Temporal Tracking and Object Index by Segmentation Paradigm for Autumn Kimchi Cabbage Using UAV Multispectral Images

고승환*, 박종화**
Seunghwan Go, Jonghwa Park

요 지

배추는 김치의 주원료 작물 중 하나이며, 최근 자율주행 농기계와 로봇 방제 같은 기술이 확산되면서 개체 하나하나의 생육 정보를 공급하는 관측 체계가 요구되고 있다. 그러나 지금까지의 성과는 대부분 처리 평균 사이의 비교에 머물러 필지 안 개체 사이의 변이를 다룬 사례가 많지 않다. 본 연구의 목적은 무인기 다중분광 영상에서 개체를 분리하는 분할 계열의 선택이 수관 중첩기의 검출, 다시기 추적, 개체 지수에 미치는 영향을 분석하고 개체 단위 생육 모니터링에 적합한 계열을 선정하고자 하였다. 연구는 무인기 영상 취득, 정사영상 제작 및 3.0 cm 통일, 분할 모델 제작, 시험 타일 정확도 평가, 시기별 전면 적용, 다시기 추적, 개체별 지수 추출, 계열 간 비교 순으로 진행하였다. 대상지는 충청북도 괴산군의 상업 노지 배추밭과 전라북도 전주시의 시험포장이며, 무인기 다중분광 영상은 RedEdge-M 및 RedEdge-MX Dual (MicaSense, USA)로 2018년과 2024년 작기에 대하여 취득하였다. 분할 모델은 상자 기반의 Mask R-CNN 및 YOLO-seg와 흐름장 기반의 Cellpose-SAM 을 같은 준지도학습 연쇄와 같은 조정 예산으로 제작하였으며, 동작점은 학습 타일에서만 선정하였다. 모델의 정확도는 F1, Panoptic Quality (PQ), 면적 Mean Absolute Percentage Error (MAPE)를 활용하여 평가하였다. 학습에 사용하지 않은 시험 타일 세 장 996개체에 대한 연구 결과는 흐름장이 F1 0.945, 면적 MAPE 13.0 % 로 2단계 상자(0.917, 16.3 %)와 1단계 상자(0.885, 19.2 %)보다 정확한 값을 보였다. 생육 단계별로는 정식 초기 F1 0.288 에서 결구기 0.983 으로 높아지고 면적비도 1.571에서 1.048 로 수렴하여, 수관이 맞닿는 시기에 오히려 정확하였다. 여섯 시기 공통 범위 309 × 386 m 에 두 계열을 적용하고 같은 추적기를 거친 결과, 전 시기에 걸쳐 추적된 개체는 흐름장 20.5 %, 2단계 상자 11.6 % 로 분석되었으며, 결구기 개체 사이 NDVI 표준편차는 0.091 과 0.024 로 상자 기반에서 개체 사이의 차이가 지워졌다. 얻어진 연구 결과는 개체 단위 생육 모니터링을 위한 분할 계열 선정에 유용한 정보를 제공하며, 개체 단위 스트레스 분석과 배추 수급 추정의 기반 자료로 활용될 것으로 기대된다

핵심용어: 개체 분할, Cellpose-SAM, 다시기 추적, 원격탐사, 배추

* 정회원・충북대학교 대학원 지역건설공학과 박사・E-mail : shgo916@cbnu.ac.kr
** 정회원・충북대학교 지역건설공학과 교수・E-mail : jhpak7@cbnu.ac.kr

Sentinel-1 및 Sentinel-2 시계열 영상을 활용한 머신러닝 기반 논콩 재배지 분류 모델 개발

Development of a Machine Learning-Based Classification Model for Paddy-Field Soybean Cultivation Using Sentinel-1 and Sentinel-2 Time-Series Data

정재영*, 이경도**, 김태곤***
Jaeyoung Jung, Kyung-Do Lee, Taegon Kim

요 지

논콩은 논 타작물 재배 확대와 식량자급률 제고를 위한 주요 작물로, 정책 이행 및 생산 현황을 점검하기 위해 재배면적과 공간 분포를 정확히 파악할 필요가 있다. 농업 통계는 지역 단위 재배면적 파악에는 유용하지만, 실제 재배 필지의 세부적인 공간 분포와 작황을 파악하는 데에는 한계가 있다. 본 연구에서는 10m 공간해상도의 Sentinel 위성영상을 활용하여 논콩과 논벼의 시계열 특성을 분석하고, 머신러닝 기반 논콩 재배지 분류 및 조기 탐지 가능성을 평가하고자 하였다. 연구지역은 논콩 주산지인 전북특별자치도 김제시 죽산면으로 선정하였으며, 2022년과 2025년 필지 조사 결과를 팜맵과 결합하여 참조 공간정보를 구축하였다. 입력자료로는 지표 구조와 수분 특성에 민감한 Sentinel-1과 분광 및 식생 특성 관측에 적합한 Sentinel-2 영상을 활용하였으며, 논콩 재배기간인 4월부터 11월까지의 자료를 수집하였다. 구축된 시계열 자료를 이용해 XGBoost, LightGBM, SVM 및 Random Forest 모델을 학습하고, Overall Accuracy(OA), F1-score 및 Kappa를 기준으로 성능을 평가하였다. 또한 4월부터 월별 영상을 순차적으로 누적하여 시기에 따른 분류 성능 변화를 분석하였다. 시계열 분석 결과, 논벼는 이앙기 담수의 영향으로 5~6월에 SWIR 반사도와 VV 후방산란계수가 현저히 감소한 반면, 논콩에서는 동일한 패턴이 나타나지 않아 생육초기부터 두 작물 간 차이가 뚜렷하게 나타났다. 시계열 자료가 누적될수록 모든 모델에서 분류 성능이 전반적으로 향상되었으며, 모델 간 성능 차이는 크지 않았다. 2025년 자료로 학습한 모델을 2022년에 적용한 연도 간 검증에서도 안정적인 분류 성능을 보였으며, 4월부터 7월까지의 영상을 누적한 경우 최대 OA 0.92, F1-score 0.87, Kappa 0.75를 나타내어 논콩 재배지의 조기 탐지 가능성을 확인하였다. 향후 다년도 및 다지역의 참조자료 축적과 5m 공간해상도의 농림위성영상 활용을 통해 모델의 시공간적 전이성과 탐지 정밀도를 높이고, 전국 단위로 적용 범위를 확대할 필요가 있다. 이를 통해 구축한 분류 모델 및 공간정보는 재배 현황 파악과 농업 정책의 이행 점검에 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

핵심용어: 농림위성, 논콩, 분광특성, 위성영상, 작물분류모델

본 연구는 농촌진흥청 국립농업과학원 신농업기후변화대응체계구축(R&D)의 지원에 의해 이루어진 것임(과제번호 RS-2024-00397146).

* 준회원・전북대학교 농공학과 석사과정・E-mail : jyihaan4@jbnu.ac.kr
** 정회원・농촌진흥청 국립농업과학원 농업위성센터 연구관・E-mail : kdlee11@korea.kr
*** 정회원・전북대학교 스마트팜학과 부교수・E-mail : taegon@jbnu.ac.kr

자기지도 사전학습 기반 농업용 저수지 UAV LiDAR 점군의 의미론적 분할

Self-Supervised Pretraining for Semantic Segmentation of UAV LiDAR Point Clouds of Agricultural Reservoirs

김민재*, 이종혁**, 서병훈***, 김동수****, 서예진*****,
조예림*******, 심지민********, 최원*********
Minjae Kim, Jonghyuk Lee, Byunghun Seo, Dongsu Kim,
Ye-jin Kim, Yerim Jo, Jimin Shim, Won Choi

요 지

국내 농업용 저수지는 대부분 축조 후 50년 이상 경과한 노후 시설로, 극한강우 증가에 따른 안전관리 수요가 커지고 있으나 수천 개소에 이르는 시설을 주기적으로 점검하기 위한 3차원 지형 및 시설물 정보의 자동 추출 수단은 부족한 실정이다. UAV LiDAR 점군은 제방 형상, 수면, 주변 시설물을 3차원으로 취득할 수 있어 이러한 수요에 부합하지만, 점군 의미론적 분할 모델 학습에 필요한 라벨 데이터 구축 비용이 매우 크다는 한계가 있다. 본 연구에서는 전국 10개 농업용 저수지 유역을 대상으로 UAV LiDAR 점군을 취득하고, 이 중 5개소에 대해 도로, 온실, 건물, 수로, 교량, 저수지, 식생, 산림의 8개 클래스를 3인의 독립 라벨링과 투표 기반 합의 절차로 구축하였다. 라벨링 비용 문제를 완화하기 위해 비라벨 점군을 포함한 전체 취득 자료로 Sonata 기반 자기지도 사전학습을 수행하고, 이를 초기 가중치로 하는 Point Transformer V3 분할 모델을 라벨 데이터로 미세조정하였다. 사전학습 없이 학습한 모델과의 비교를 통해 사전학습 효과를 평가하였으며, 라벨 비율을 단계적으로 줄인 조건과 학습에 사용되지 않은 유역에 대한 적용 조건에서의 성능 변화를 함께 분석하였다. 그 결과 자기지도 사전학습은 전체 분할 정확도를 개선하는 경향을 보였으며, 특히 교량과 같이 점 비율이 매우 낮은 소수 클래스와 라벨이 적은 조건에서 개선 효과가 두드러졌다. 본 연구의 결과는 라벨 구축 부담을 줄이면서 농업용 저수지의 지형 및 시설물 정보를 자동 추출하는 데 자기지도학습이 실용적 대안이 될 수 있음을 시사하며, 향후 저수지 안전점검 및 관리 업무의 디지털화에 기여할 수 있을 것으로 기대된다.

핵심용어: 자기지도학습, 점군 의미론적 분할, UAV LiDAR, 농업용 저수지

이 성과는 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임 (RS-2024-00341095).

* 준회원・서울대학교 생태조경·지역시스템공학부 석사과정・E-mail : msarah12@snu.ac.kr
** 정회원・경북대학교 농업과학기술연구소 연구초빙교수・E-mail : jonghyuk.lee@knu.ac.kr
*** 정회원・서울대학교 농업생명과학연구원 선임연구원・E-mail : tjqudgns123@snu.ac.kr
**** 정회원・서울대학교 생태조경·지역시스템공학부 박사과정 E-mail : xenonkds@snu.ac.kr
***** 정회원・서울대학교 생태조경·지역시스템공학부 박사과정 E-mail : hwiey@snu.ac.kr
****** 정회원・서울대학교 생태조경·지역시스템공학부 박사과정・E-mail : yl6289@snu.ac.kr
******* 정회원・서울대학교 생태조경·지역시스템공학부 박사과정・E-mail : zirnini@snu.ac.kr
******** 정회원・서울대학교 생태조경·지역시스템공학부/농업생명과학연구원/융합전공 글로벌 스마트팜 교수・E-mail : fembem@snu.ac.kr

Sentinel-1 SAR 기반 작물 생육 및 농업용 저수지 수문 거동을 활용한 국내 벼 수확량 예측

Rice Yield Prediction in South Korea Using Sentinel-1 SAR-Derived Crop Growth Indicators and Agricultural Reservoir Dynamics

정지훈*, 김용원**, 이용관***, 전원준****, 김성준*****
Jeehun Chung, Yongwon Kim, Yonggwan Lee, Wonjun Jeon, Seongjoon Kim

요 지

수확량의 적시 예측은 생산 계획 수립과 농업용수 관리에 필수적이다. 본 연구의 목표는 Sentinel-1 C-band 합성개구레이더(Synthetic Aperture Radar, SAR) 영상으로부터 산출한 작물 생육 지표와 저수지 수문 지표를 통합하여 국내 벼 수확량을 예측하는 기계학습 기반 접근법을 개발하는 것이다. 2017년부터 2025년까지 취득된 Sentinel-1 영상은 Sentinel Application Platform을 이용하여 처리하였으며, 10 m 해상도의 VV(Vertical Transmit-Vertical Receive) 및 VH(Vertical Transmit-Horizontal Receive) 편파 후방산란계수 시계열을 생성하였다. SAR 기반 작물 생육 지표는 팜맵 공간정보의 논 경계 내에서 추출하여 생육 단계별 및 계절별 최댓값, 누적값, 변화율 등의 생물계절학적 지표를 산출하였다. 농업용 저수지에 대해서는 다양한 SAR 기반 수표면 추출 기법을 광학 수분지수 및 토지피복 자료와 비교·검증하여 최적 기법을 선정하고, 이를 적용하여 수표면적 시계열을 생성하였다. 저수지 저수량은 저수지별 수표면적-저수량 관계식을 이용하여 산정하고, 생육기 동안의 용수 공급 상태를 나타내는 지표로서 해당 관개구역과 연계하였다. 작물 생육 및 저수지 변수는 지역별 벼 수확량 통계와 결합하여 지역-연도 데이터셋을 구축하는 데 활용하였다. 모델 선별과 하이퍼파라미터 최적화를 위해 특징 선택과 자동화된 머신러닝 기법을 적용하였으며, 모델 성능을 연도별 블록 교차검증과 생육단계 기반 시점 절단 방식을 통해 평가하여 시간적 전이 가능성과 조기 예측 성능을 검토하였다. 저수지 정보의 기여도는 작물 생육 정보만을 사용한 기준 모델과의 비교를 통해 정량화하였다. 본 접근법은 작물 상태와 저수지 저류 거동을 함께 반영함으로써 벼 수확량 예측 정확도를 향상시키고, 이를 통해 관개용수 관리와 벼 생산 계획 수립을 지원할 것으로 기대된다.

핵심용어: 기계학습, 농업용 저수지, 수확량 예측, 합성개구레이더, Sentinel-1

본 결과물은 농림축산식품부의 재원으로 농림식품기술기획평가원의 기후변화대응지능형농업기반관리기술개발사업의 지원을 받아 연구되었음(RS-2025-02263147). 본 결과물은 기후에너지환경부의 재원으로 한국환경산업기술원의 수생태계 건강성 확보 기술개발사업의 지원을 받아 연구되었습니다(RS-2025-02304832).

* 정회원・건국대학교 아시아시설물연구센터 박사후연구원 ・E-mail : gop1519@konkuk.ac.kr
** 정회원・건국대학교 아시아시설물연구센터 박사후연구원 ・E-mail : longliveyw@konkuk.ac.kr
*** 정회원・건국대학교 아시아시설물연구센터 연구전임교수・E-mail : leeyg@konkuk.ac.kr
**** 정회원・건국대학교 일반대학원 사회환경플랜트공학과 석사과정・E-mail : hs0710717@konkuk.ac.kr
***** 정회원・건국대학교 공과대학 사회환경공학부 교수 ・E-mail : kimsj@konkuk.ac.kr

시계열 Sentinel-1, Sentinel-2 영상과 머신러닝을 이용한 작물 분류 모델 개발

Development of Crop Classification Model Using Sentinel-1 and Sentinel-2 Time Series Image and Machine Learning

장성주*, 이혁진**, 송인홍***
Seongju Jang, Hyeokjin Lee, Inhong Song

요 지

농작물의 작황 정보는 양곡의 가격안정을 위한 선제적인 수급대책 마련을 위한 생산량 예측, 공급량 조절 등에 필요한 판단자료 중 하나이다. 위성영상을 활용한 작황 추정은 전세계적으로 관심받고 있으며 최근 머신러닝 기술의 발전으로 원격탐사 영상에 딥러닝 기술을 접목하는 연구가 진행되고 있다. 본 연구에서는 시계열 Sentinel-1, Sentinel-2 위성자료와 딥러닝 모델을 사용하여 작물 분류 모델을 개발하였다. 이를 위해 의성군, 영천시, 나주시, 남해군 등 4개 시군에서 2021, 2022년에 조사된 팜맵 기반 작물 재배현황 정보를 수집하였다. 또한 작물 재배현황 조사 기간에 촬영된 Senitnel-1, Sentinel-2 위성영상 자료를 수집하여 1) Sentinel-1를 사용하는 경우, 2) Sentinel-2를 사용하는 경우, 3) Sentinel-1, Sentinel-2를 모두 사용하는 경우의 세 가지 데이터셋을 구축하였다. 작물 분류 모델로는 최근 영상처리 분야에서 주목받는 Mamba 모델을 사용하였다. 구축된 세 가지 데이터셋에 각각 작물 분류 모델을 학습하여 정확도 및 mIoU 등의 모델 성능을 비교하였다. 본 연구의 결과는 위성영상 기반 작황 모니터링에 활용될 수 있으며 농작물 생산량 예측을 통한 수급 조절 등에 도움이 될 것으로 기대된다.

핵심용어: Sentinel-1, Sentinel-2, 작물분류, 위성영상, 머신러닝, mamba 모델

본 결과물은 농림축산식품부의 재원으로 농림식품기술기획평가원의 기후변화대응지능형농업기반관리기술개발사업의 지원을 받아 연구되었습니다(RS-2025-02263147).

* 학생회원・서울대학교 지역시스템공학과 박사과정・E-mail : wkdtjdwn@snu.ac.kr
** 학생회원・서울대학교 지역시스템공학과 박사과정・E-mail : lki1127@snu.ac.kr
*** 정회원・서울대학교 지역시스템공학과 교수・E-mail : inhongs@snu.ac.kr

초분광 영상을 이용한 콩의 생육단계별 과습 및 한발 스트레스 진단

Growth stage specific diagnosis of waterlogging and drought stress in soybean using hyperspectral imagery

이혁진*, 장성주**, 윤신후***, 송인홍*****
Hyeokjin Lee, Seongju Jang, Shinhoo Yoon, Inhong Song

요 지

과습과 한발은 콩의 캐노피 구조와 분광 특성에 상당한 변화를 유발하지만, 그 반응은 생육단계와 스트레스 유형에 따라 달라진다. 본 연구는 가시-근적외선 (VNIR; 400-1000 nm) 초분광 영상을 이용하여 콩의 수분 스트레스 반응을 평가하였으며, 화분 단위 식생영역은 프롬프트 기반 Segment Anything Model 2 (SAM2) 파이프라인으로 분할하였다(F1 = 0.831, IoU = 0.711). 스트레스 기간의 분광 자료와 동일 달력기간의 대조구 분광 자료에 주성분 분석을 적용한 결과, 두 개의 주성분이 전체 분산의 89.8 %를 설명하였으며, 이로부터 Blue, Green, Red, Red Edge 및 NIR 영역의 대표 파장으로 각각 500, 519, 623, 738 및 923 nm를 선정하였다. 선정된 파장을 이용하여 NDVI, GNDVI, NDRE 및 BNDVI를 재정의하고 4가지 modified TCARI (mTCARI) 후보 지수를 구성하였다. 처리-대조구 차이는 과습에서는 대응표본 검정으로, 한발에서는 Welch 독립표본 검정으로 평가하였으며, 5개 생육단계에 대한 다중비교에는 Holm 보정을 적용하였다. 과습 조건에서는 mTCARI 후보 지수가 정규화 차이 지수보다 일관되게 큰 처리-대조구 차이를 보이지 않았다. 반면 한발 조건에서는 mTCARI (RE|R,NIR)과 mTCARI (RE|B,NIR)이 각각 |g| = 3.94와 3.75로 가장 큰 평균 표준화 효과크기를 나타냈으며, Holm 보정 후에도 R1, R3 및 R5 생식생장기에서 유의한 처리-대조구 차이를 유지하였다. 따라서 Red Edge, 색소 흡수 영역 및 NIR을 결합한 3-밴드 조합은 콩의 한발 반응을 특성화하는 데 유용한 후보가 될 수 있는 것으로 판단된다. 다만 파장 선정과 후보 지수 평가에 동일한 단일 시즌 자료를 사용하였으므로, 제안된 지수는 독립 자료를 통한 검증이 필요한 탐색적 후보로 보아야 한다.

핵심용어: Soybean, Waterlogging, Drought, Hyperspectral imaging, SAM2, mTCARI

본 성과는 농림축산식품부의 재원으로 농림식품기술기획평가원의 기후변화대응지능형농업기반관리기술개발사업의 지원을 받아 연구되었음(RS-2025-02263147).

* 학생회원・서울대학교 지역시스템공학과 박사과정・E-mail : lki1127@snu.ac.kr
** 학생회원・서울대학교 지역시스템공학과 박사과정・E-mail : wkdtjdwn@snu.ac.kr
*** 학생회원・서울대학교 지역시스템공학과 박사과정・E-mail : theysh0312@snu.ac.kr
**** 정회원・서울대학교 지역시스템공학과 부교수・E-mail : inhongs@snu.ac.kr

Sentinel-2 시계열 식생지수와 Random Forest를 이용한 계절형 온실 분류

Mapping Seasonal Greenhouses with Multi-temporal Sentinel-2 Vegetation Indices and Random Forest

이은소*, 김시현**, 김호연***, 정민규****, 정우영*****, 김수진******, 장민원*******
Eunso Lee, Sihyeon Kim, Hoyeon Kim, Mingyu Jung,
Wooyoung Jeong, Soo-Jin Kim, Min-won Jang

요 지

본 연구는 Sentinel-2A 시계열 영상과 머신러닝 기법을 활용하여 경남지역에 분포하는 계절형 온실을 분류하고자 하였다. 연구지역은 경상남도 밀양시 상남면으로, 계절형 온실과 연중 온실이 혼재한 대단위 시설재배 밀집지역이다. Google Earth Engine(GEE) 플랫폼을 통해 2024년 6월(여름), 2025년 1월(겨울), 2025년 8월(여름) 세 시기의 Sentinel-2A 영상을 수집하였으며, 각 시기별 영상으로부터 정규식생지수(NDVI), 정규수분지수(NDMI), 토양조정식생지수(SAVI)를 산출하였다. 학습 라벨로 활용하기 위한 참조자료(ground truth)는 과거 항공사진과 고해상도 위성영상을 판독하여 팜맵 필지 단위로 계절형 온실 속성정보를 구축함으로써 마련하였다. 필지 경계에서 발생하는 혼합화소(mixed pixel) 효과를 최소화하기 위해 필지 경계로부터 10m 내측으로 버퍼링을 적용한 뒤, 필지별로 각 식생지수의 통계값(평균, 최대, 최소)을 추출하여 Random Forest(RF) 모델의 학습 변수(feature)로 구성하였다. 분석 단위는 필지 폴리곤 4,263개이며, 이 중 계절형 온실 766개(17.97%)를 양성(positive), 나머지를 음성(negative)으로 하는 이진분류 문제로 정의하였다. 학습 특징변수는 우선 3개 시기 × 3개 지수 × 3개 통계로 구성된 27개 분광 변수(RF-27)를 사용하였으며, 기여도가 높은 상위 5개 변수(2025년 여름 평균·최고 NDVI, 2024년 여름 평균 NDVI, 2025년 겨울 평균·최고 NDVI)만을 사용한 축소 모델(RF-5)을 함께 비교하였다. 두 개 모델 모두 테스트셋에서 전체 정확도(Overall Accuracy)가 90%를 넘는 성능을 보였다. 본 결과는 다중시기 식생지수와 RF 기반 이진분류 모델링을 통해 계절형 온실을 높은 정확도로 식별할 수 있음을 보여줬다.

핵심용어: 계절형 온실, 식생지수, Random Forest, Sentinel-2

본 결과물은 농림축산식품부의 재원으로 농림식품기술기획평가원(기후변화대응지능형농업기반관리기술개발사업)의 지원을 받아 연구되었음(No. RS-2026-25522713)

* 준회원・경상국립대학교 대학원 농공학과 석사과정・Email: 2026210094@gnu.ac.kr
** 준회원・경상국립대학교 지역시스템공학과 학사과정・Email: qazqaz2383@gmil.com
*** 준회원・경상국립대학교 지역시스템공학과 학사과정・Email: ghdus4965@naver.com
**** 준회원・경상국립대학교 지역시스템공학과 학사과정・Email: jmgstar@gnu.ac.kr
***** 준회원・경상국립대학교 지역시스템공학과 학사과정・Email: wjdtjdud55@naver.com
****** 정회원・서울대학교 그린바이오과학기술연구원 연구조교수・E-mail : ksjin@snu.ac.kr
******* 정회원・경상국립대학교 지역시스템공학과·농업생명과학대학연구원 교수・E-mail: mwjang@gnu.ac.kr

AI/RS/BigData

A-0-2

THE KOREAN SOCIETY OF AGRICULTURAL ENGINEER

TFT와 LSTM을 이용한 미호강 중권역 하천유량 예측성능 비교

Comparison of TFT and LSTM for Streamflow Prediction in the Miho River Mid-watershed

박성재*, 김시내**, 곽지혜***, 박수환****, 강문성*****
Seongjae Park, Sinae Kim, Jihye Kwak, Suhwan Park, Moon Seong Kang

요 지

기후변화로 하천 유량의 변동성이 확대되면서 홍수 대응과 오염물질의 희석·이동을 고려한 수질관리를 위해 신뢰성 있는 다중선행 유량예측의 필요성이 커지고 있다. 기존의 물리·개념적 수문모형은 유역별 매개변수 보정과 수문과정의 단순화에 따른 불확실성이 있으며, Long Short-Term Memory (LSTM)과 같은 시계열 딥러닝 모형은 예측 선행시간이 증가할수록 첨두유량과 유량 변동의 재현성이 저하될 수 있다. Temporal Fusion Transformer (TFT)는 순환신경망과 attention을 결합하고 정적변수, 과거 관측변수 및 미래 기지변수를 구분하여 처리하며, 변수선택망을 통해 입력변수의 중요도를 제시할 수 있어 최근 수문예측 분야에서 활용이 확대되고 있다. 본 연구에서는 미호강 중권역의 12개 유량관측소를 통합한 TFT 모형을 구축하고, 직접 다중출력 LSTM 모형과 미래 1-5일의 일 유량 예측성능을 비교하였다. 입력변수로는 과거 15일의 유량과 유역평균 강우량, 연중 주기성 변수, 관측소 ID 및 유역특성인자를 선정하였으며, 하이퍼파라미터는 5-fold 블록 교차검증으로 선정하였다. 2009년 1월부터 수문기상자료를 수집하였으며, 2024년 1월부터 2026년 7월까지의 독립기간을 대상으로 모형의 성능을 평가하였다. 전체적인 예측성능은 Nash-Sutcliffe Efficiency (NSE), log-transformed Nash-Sutcliffe Efficiency (NSElog), Kling-Gupta Efficiency (KGE), Flow Duration Curve High-segment Volume bias (FHV), Mid-segment Slope bias (FMS) 및 Low-segment Volume bias (FLV)를 이용하여 평가하였다. 12개 지점의 평균 NSE를 비교한 결과, LSTM은 t+1에서 0.696으로 TFT의 0.662보다 소폭 높았으나, 선행시간이 증가하면서 예측성능이 빠르게 저하되어 t+5에서는 0.470으로 TFT의 0.594보다 낮았다. 저·중유량의 오차에 상대적으로 민감한 NSElog는 TFT가 t+1의 0.830에서 t+5의 0.741로 안정적으로 유지된 반면, LSTM은 t+1에서 0.089였으며 t+2 이후에는 음의 값을 보여 저유량 구간의 재현성이 크게 저하되었다. 유황곡선 분석에서도 두 모형 모두 고유량 과소예측과 저유량 체적 편의가 나타났으나, 저·중유량의 연속성과 시간적 변화를 상대적으로 안정적으로 재현하였다. 본 연구의 결과는 다지점 통합 TFT 모형이 홍수 대응과 평·갈수기 수질관리를 위한 선행 유량정보 생산에 활용될 것으로 기대된다.

핵심용어: Temporal Fusion Transformer, Long Short-Term Memory, 하천유량 예측, 미호강 중권역

이 논문은 정부(농림축산식품부)의 재원으로 농림식품기술기획평가원의 지원을 받아 수행되었음 (No. RS-2026-25517258).

* 정회원・서울대학교 농업생명과학대학 생태 조경·지역시스템공학부 석사과정・E-mail : sjae323@snu.ac.kr
** 정회원・서울대학교 농업생명과학대학 생태 조경·지역시스템공학부 박사과정・E-mail : ksinae0519@snu.ac.kr
*** 정회원・서울대학교 농업생명과학대학 생태 조경·지역시스템공학부 박사과정・E-mail : dbk02300@snu.ac.kr
**** 학생회원・서울대학교 농업생명과학대학 생태 조경·지역시스템공학부 석사과정・E-mail : blackswan2018@snu.ac.kr
***** 정회원・서울대학교 농업생명과학대학 조경·지역시스템공학부 교수・E-mail : mskang@snu.ac.kr

생육시기별 관측 횟수에 따른 겨울밀 수량 및 단백질 함량 예측 성능 평가

Evaluating winter wheat yield and grain protein prediction performance according to observation frequency and growth stage selection

박현수*, 김동현**, 청리광***, 장태일****
Hyunsu Park, Dong-Hyeon Kim, Liguang Cheng, Taeil Jang

요 지

국산 밀 자급률 제고 정책에 따라 재배면적이 확대되면서, 수확 전 수량과 품질을 효율적으로 파악하기 위한 작황 모니터링의 필요성이 커지고 있다. 다양한 생육시기의 UAV 다중분광 영상과 생육특성을 함께 활용하면 예측에 필요한 정보를 폭넓게 확보할 수 있으나, 반복 관측에는 상당한 인력과 비용이 소요된다. 본 연구에서는 겨울밀의 수량과 종실 단백질 함량을 대상으로 관측 시기와 활용 자료에 따른 예측 성능을 비교하고, 반복 관측 횟수를 줄였을 때 확보할 수 있는 예측 성능 수준을 정량적으로 평가하였다. 2개 시험포장에서 6개 생육시기에 걸쳐 UAV 다중분광 영상을 취득하고 생육조사를 수행하였으며, 영상에서 산정한 식생지수 15종과 생육조사로 얻은 생육특성 4종 (초장, SPAD, 엽면적지수, 지상부 건물중)을 예측에 활용하였다. 수량과 단백질 함량 각각에 대해 식생지수, 생육특성 및 두 자료를 함께 활용한 경우를 구분하고, 6개 예측 알고리즘과 63개 생육시기 조합을 적용하여 총 2,268개 예측 조건을 평가하였다. 모형 성능은 각 포장구획을 하나씩 검증자료로 두는 leave-one-plot-out 교차검증으로 평가하였다. 수량은 생육특성 기반 부분최소제곱회귀 (PLSR) 모형에서 5개 시기 (개화기 제외)를 활용했을 때, 단백질 함량은 가시광 식생지수 (CI, GLI, NGRDI)를 이용한 개화 후 14일·등숙기 조합에서 각각 가장 높은 성능을 보였다 (R^2=0.848, 0.822). 개화 후 14일 자료만으로도 수량과 단백질 함량은 각각 최고 예측 성능의 81.5%와 76.9%를 확보하였으며, 수량은 등숙기 자료 추가 시 93.8%까지 높아졌다. 이러한 결과는 수량과 단백질 함량에 동일한 관측체계를 적용하기보다, 각 항목에 적합한 관측 시기와 자료를 선택하는 것이 효율적임을 보여준다. 본 연구결과는 다양한 품종과 재배환경, 재배연도에서의 추가 검증을 통해 국내 밀 작황 모니터링의 관측계획 수립과 영농 의사결정 지원에 활용될 수 있을 것으로 판단된다.

핵심용어: 겨울밀, UAV 다중분광 영상, 식생지수, 종실 단백질 함량, 관측시기 선정

* 정회원・전북대학교 농공학과 박사과정・E-mail : dest1496@jbnu.ac.kr
** 정회원・전북대학교 지역건설공학과 / 스마트팜학과 조교수・E-mail : kdh4354@jbnu.ac.kr
*** 정회원・전북대학교 지역건설공학과 연구조교수・E-mail : chengliguang@jbnu.ac.kr
**** 정회원・전북대학교 지역건설공학과 교수・E-mail : tjang@jbnu.ac.kr

유한요소 접촉해석 기반 연약 농산물 파지 안정도 추정을 위한 촉각 센서 요구 사양 도출

Deriving Tactile Sensor Requirements for Grasp Stability Estimation in Delicate Produce Handling: A Finite-Element Contact Study

박정민*, 서예진**, 최원***,†
Jungmin Park, Ye-jin Seo, Won Choi

요 지

로봇 그리퍼가 연약한 농산물을 손상 없이 파지하려면 미끄러짐 여부를 판별하는 데 그치지 않고 마찰 한계까지의 여유도를 연속적으로 추정해야 한다. 이러한 연속 안정도 지표와 파지력 제어는 이미 실증되었으나, 촉각 센서마다 측정 힘 성분과 소자 수가 달라 결과를 직접 비교하기 어렵고 기존 연구도 센서 구성을 고정한 채 평가해 왔다. 본 연구에서는 유한요소 기반 가상 촉각 센서로 추정 목표에 따라 요구되는 측정 채널과 공간 해상도, 시간 이력이 어떻게 달라지는지를 정량화하였다.

2차원 준정적 Coulomb 접촉 해석으로 물성과 비단조 접선 하중이 다른 300개 경로에서 22,500개 상태를 생성하였다. 접촉 응력장은 8 mm 구간을 N개의 유한 면적 택셀(taxel)로 나누어 적분값으로 변환하였다. 입력 표현과 디코더를 고정하고 N=2~150 및 기준 해상도(N=300)에서 경로 단위 교차검증을 반복하였다. 추정 대상은 연속 안전여유(f_k)와 이를 구성하는 수직력 합(S_N), 접선력 크기 합(S_T), 마찰계수(μ)다.

해석 결과, 시험 범위에서 추정 오차는 특정 해상도에서 포화되지 않고 N^{α}로 감소하였으며 α는 목표량마다 달랐다. 사분위범위(IQR)로 정규화한 α는 $S_N \approx 0.00$, $S_T \approx -0.52$, $f_k \approx -0.48$, $\mu \approx -0.67$이었다. S_N은 수직응력이 압축 방향으로만 작용해 택셀 집계 후에도 보존되는 반면, S_T는 택셀 내부에서 반대 부호가 상쇄되어 관측 단계에서 손실된다. 해상도 증가의 효과도 채널에 의존하였다. 수직응력만 입력하면 f_k 오차가 N=2에서 0.167, N=300에서 0.180으로 감소하지 않았고, 접선응력을 함께 입력할 때만 지속적으로 감소하였다. 시간 이력의 이득은 마찰계수 추정에 한정되었다. 직전 7개 프레임을 추가로 입력하면 N=20에서 μ 오차가 0.60배로 감소하였으나, μ를 사전 정보로 주면 f_k 추정에서 그 이득이 사라졌다.

결론적으로 촉각 센서의 요구 사양은 추정 목표와 허용 오차를 먼저 정한 뒤 결정되어야 한다. 본 연구는 주어진 입력 표현과 디코더 조건에서 목표량별 오차 곡선을 산출하고, 허용 오차로부터 필요한 측정 채널과 소자 간격을 역산하는 절차를 제시하였다. 이는 대상 조건에 맞는 센서 사양을 비교·선정하는 정량적 기준이 된다.

핵심용어: Tactile sensor, Grasp stability, Agricultural gripper

본 성과물(논문, 산업재산권, 품종보호권 등)은 농촌진흥청 연구사업(세부과제번호: RS-2024-00399434)의 지원에 의해 이루어진 것임

* 준회원・서울대학교 지역시스템공학과 학사과정・E-mail : 1348jungmin@snu.ac.kr
** 정회원・서울대학교 지역시스템공학과 박사과정・E-mail : hwiey@snu.ac.kr
*** 정회원・서울대학교 지역시스템공학과/농업생명과학연구원/융합전공 글로벌 스마트팜 교수・E-mail : fembem@snu.ac.kr

협업형 AI 에이전트 기반 농업용수 분석 · 의사결정지원 플랫폼의 설계와 적용

Design and Application of a Collaborative AI Agent Platform for Agricultural Water Analysis and Decision Support

김태유*, 박장원**, 박은규***
Taeyu Kim, Jangwon Park, Eungyu Park

요 지

농업용수 관리에는 대상지의 위치와 농경지 이용, 토양 특성, 기상, 작물 생육조건, 관개시설 및 용수공급 여건 등 다양한 정보의 종합적 검토가 요구된다. 그러나 관련 공간자료와 관측자료, 작물모델 및 기술기준이 지속적으로 축적되고 있음에도 특정 업무에 필요한 자료를 탐색하고 분석 조건을 설정하며, 서로 다른 전문 도구의 결과를 통합하여 해석하는 과정은 개별 시스템과 분석 절차에 분산되어 있다. 따라서 농업용수 관리의 효율성과 일관성을 높이기 위해서는 개별 모델의 성능뿐만 아니라 이질적인 자료와 분석도구를 하나의 분석 흐름으로 연결하고, 그 근거와 불확실성을 전문가가 검토할 수 있는 형태로 구조화하는 체계가 필요하다. 본 연구에서는 자연어로 제시된 농업용수 질문을 분석계획 수립, 자료 확인과 입력 준비, 전문 도구 실행, 결과 통합 및 전문가 검토 단계로 연결하는 협업형 AI 에이전트 플랫폼을 제안하였다. 제안 플랫폼은 자료 계층, 농업모델 계층, 지능 계층 및 의사결정지원 계층으로 구성된다. 자료 계층에서는 농경지·토양 공간정보, 기상·원격탐사 자료 및 기술문서를 분석 가능한 형태로 관리하고, 농업모델 계층에서는 작물·토양·기상·관개 조건과 모의 결과를 연결한다. 지능 계층의 에이전트는 사용자의 분석 목적과 제약조건을 구체화하고 필요한 전문 도구를 선택하여 작업의 순서와 입출력 관계를 조정한다. 의사결정지원 계층에서는 결과를 주요 근거, 관개 대안, 수량과 용수 절감의 절충관계, 불확실성 및 현장 확인사항으로 구조화하여 제공한다. 제안 플랫폼은 언어모델의 직접적인 응답에 의존하기보다 실제 자료와 작물모델, 분석도구 및 기술기준을 단계적으로 연결하는 도구 기반 구조를 지향한다. 분석에 사용된 자료, 조건, 단위, 모델 가정과 한계를 함께 관리하고 전문가 검토를 절차에 포함함으로써 분석의 추적성과 재현성을 높일 수 있다. 이러한 구조는 농경지 적합성 검토, 가뭄 대응, 관개 시나리오 비교, 물 절감 가능량 평가 및 공공부문 보고 업무를 통합적으로 지원하는 확장형 농업용수 의사결정지원 체계로 활용될 수 있다.

핵심용어: 협업형 AI 에이전트, 농업용수 의사결정지원, 작물모델, 공간정보

* 경북대학교 지질학과 석사과정 · E-mail : kimtaeyu1213@knu.ac.kr
** 경북대학교 지질학과 석사과정 · E-mail : pjw0326@knu.ac.kr
*** 경북대학교 지질학과 교수·주식회사 지오에이아이얼라인먼트 · E-mail : egpark@knu.ac.kr

생육단계별 생육 및 토양수분 정보를 활용한 소표본 머신러닝 기반 겨울 밀 단백질 예측 및 관리방안 평가

Assessing small-sample machine learning for winter wheat protein prediction and management strategies using growth-stage-specific crop traits and soil moisture information

청리광*, 김동현**, 장태일***
Liguang Cheng, Dong-Hyeon Kim, Taeil Jang

요 지

겨울 밀 단백질 함량은 제분 및 가공 특성과 품질을 좌우하는 주요 지표이며, 생육기간 중 근권 토양수분과 질소 동태 및 재분배에 크게 영향을 받는다. 수확 전 저단백 발생 위험을 파악하여 관개 및 질소 공급 시기를 조정할 수 있다면 품질 관리에 유용하지만, 실제 포장에서는 반복적인 생육조사와 화학분석에 따른 시간 및 비용 부담으로 충분한 자료를 확보하기 어렵다. 본 연구에서는 2021-2024년 포장 실측 자료를 이용하여 생육단계별 단백질 함량 예측 가능성을 평가하고, 제한된 표본에서 머신러닝 예측 결과 기반 물과 질소 관리 활용성을 평가하였다. 관행, 적정관개, 과습 조건의 연도×처리×포장위치 조합으로 27개 표본을 구성하고, 초기 2개년(n=18) 자료를 모형 개발에 사용한 후 이후 연도(n=9) 자료를 독립 검증에 사용하였다. 입력변수는 생육단계별 LAI, 줄기·잎·이삭의 단백질함량과 건물중 및 0-40 cm 근권 토양수분함량으로 구성하였다. 개화기(anthesis, AN; DA0), 개화 후 14일(14 days after anthesis, DA14), 등숙기(grain filling, FI)에서 Ridge, ElasticNet 및 PLSR을 비교한 결과, 검증기간의 실제값과 예측값 사이의 RMSE는 AN(DA0)과 AN(DA14)에서 각각 1.842%와 1.884%로 나타났다. 반면 FI 시점 PLSR은 RMSE 0.858%, MAE 0.740%로 가장 낮은 예측오차를 보였다. 또한 본 연구에서 설정한 저단백 위험(10%) 기준에서 FI 시점 PLSR은 실제 10% 미만 시료 9개 중 8개를 식별하였다(88.9%). 생육단계별로 AN(DA0)에서는 개화기 군락과 초기 생리상태, AN(DA14)에서는 개화 후 근권 토양수분과 질소이용 상태, FI에서는 LAI, 줄기 건물중, 이삭 건물질 분배율, 등숙기 단백질 함량 및 근권 토양수분이 주요 예측정보로 나타났다. 이는 생육이 진행될수록 단백질 함량 예측과 관련된 생리 특성이 뚜렷해지고, 개화 이후 근권 토양수분과 건물질 분배, 질소 축적 및 종실로의 재분배가 중요해짐을 시사한다. 따라서 AN(DA0)은 초기 수분·생육상태 진단, AN(DA14)은 관개 및 질소 공급 시기 조정, FI는 수확 전 단백질 품질 위험 평가에 활용될 수 있다. 본 연구는 제한된 포장 실측 자료에서도 생리적특성과 시간순 검증을 결합하여 생육단계별 예측 결과를 물·질소 관리 의사결정과 연계할 수 있는 가능성을 제시하였다.

핵심용어: 겨울 밀, 단백질, 소표본 자료, 물 · 질소 관리

본 연구는 농촌진흥청의 연구사업(과제번호: RS-2022-RD010066)의 지원을 받아 수행된 연구임.

* 정회원・전북대학교 지역건설공학과 연구조교수・E-mail : chengliguang@jbnu.ac.kr
** 정회원・전북대학교 스마트팜학과 조교수・E-mail : kdh4354@jbnu.ac.kr
*** 정회원・전북대학교 지역건설공학과 교수・E-mail : tjang@jbnu.ac.kr

머신러닝 모델을 활용한 데이터 부족 농업용 저수지의 저수량 장기전망 신뢰성 평가

Evaluating the Long-Term Projection Reliability of Machine Learning Models for Agricultural Reservoir Storage through Recursive Back-Testing

게지무 겔루 오토로*, 아데이 쿠두스**, 최경숙***
Gezimu Gelu Otoro, Qudus Adeyi, Kung Sook Choi

Abstract

Machine learning models of reservoir storage are normally validated on a held-out test period and then run forward recursively to produce climate-horizon projections.These are two different tasks, and the second one requires an admissibility test of its own. Random Forest, XGBoost, and LightGBM models were trained topredict the seven-day change in storage rate at three small agricultural reservoirs in South Korea (Nohong, Soseong, and Pangog), whose observational records vary across the reservoirs. Predictors combined daily weather variables with quantities computed by a coupled paddy-field water balance andreservoir process model, together with storage memory terms. Conventional evaluation on an independent test period was strong at every site. R^2 ranged from 0.942 to 0.971, KGE from 0.960 to 0.982, PBIAS stayed within ±0.12%, and RMSE fell to between 33.9 and 45.9% of a matched seven-day persistence benchmark. The same selected models were then subjected to a two-part test.Each model was first run recursively over a historical window so that its ownpredictions supplied the lagged inputs at every following step. A drift-stressrun then measured how often projection-length simulations settled against theempty or full storage bound. All three models failed. Recursive back-test R^2 fell to −1.041, −3.009, and −4.341, and near-bound saturation reached 21.1 to 48.3% against a 2% tolerance. SHAP attribution explains the difference. Between 72.1 and 94.3% of predictive importance rested on lagged storage-change features, and the seven-day mean past change alone contributed 49.0 to 68.7%.The models were correcting a persistence anchor that recursive operation removes. Short-horizon validation therefore does not establish multi-decadal extrapolation ability, and a recursive back-test should be run before any climate-impact interpretation of a data-driven reservoir model.

Key words: Agricultural reservoirs; Recursive projection; Model validation; Explainable AI (SHAP); Data Scarce–region

This work was supported by the National Research Foundation of Korea (NRF) grant funded by the Korea government Ministry of Science and Information and Communication Technology (MSIT) (RS-2025-00562379).

* Postdoctral Researcher, Dept. of Agri. Civil Eng., Kyungpook National University · Email: gezimugelu64@knu.ac.kr
** Graduate student, Dept. of Agri. Civil Eng., Kyungpook National University · Email: adeyi.qudus@knu.ac.kr
*** Professor, Dept. of Agri. Civil Eng., Kyungpook National University · E-mail: ks.choi@knu.ac.kr

AI 기반 개체별 맞춤형 팜 로봇의 최적 관수 지점 선정 기법

AI-Based Selection of Irrigation Target Points for Individual Plants Using a Farm Robot

김미소*, 메이스 하와리**, 김유안***, 서교****
Miso Kim, Mais Hawari, Yooan Kim, Kyo Suh

요 지

개체별 정밀관수에서는 작물의 생육 상태에 따라 관수량과 시기를 결정하고, 물을 목표 위치에 정확하게 공급해야 한다. 그러나 팜 로봇이 사전에 등록된 식재 좌표를 기준으로 관수하면, 생육에 따라 달라지는 잎의 크기와 방향을 반영하기 어렵다. 특히, 산양삼과 같이 잎이 넓게 펼쳐지는 작물은 식재 지점 주변의 토양을 가릴 수 있다. 이 경우 상부에서 공급한 물이 잎에 충돌하여 목표 위치와 다른 곳으로 흐를 수 있다. 따라서 정밀관수를 위해서는 잎의 분포와 토양 노출 상태를 고려하여 관수 위치를 선정해야 한다.

따라서 본 연구는 AI 기반 영상 정보 분석을 이용하여 팜 로봇의 개체별 관수 위치를 선정하는 기법을 제안하고, 이를 고정 위치 관수 방식과 비교하여 적용 가능성을 평가하고자 하였다. 실험 대상 작물은 산양삼으로 설정하였다. 제안 기법은 팜 로봇에 장착된 카메라로 작물 영상을 취득하고, 학습된 영상 분할 모델을 이용하여 잎과 노출된 토양 영역을 구분한다. 이후 분할 결과를 바탕으로 식재 좌표 주변의 노출 토양 영역에서 관수가 가능한 후보 위치를 추출한다. 각 후보 위치에 대해 식재 지점과의 거리, 주변의 토양 노출 면적 및 잎 경계와의 거리를 반영하여 관수 적합도를 산정하고, 적합도가 가장 높은 지점을 최종 관수 위치로 결정한다. 선정된 위치는 영상 좌표에서 팜 로봇의 작업 좌표로 변환한다. 성능 평가는 식재 좌표에 직접 관수하는 방법, 식재 좌표에서 일정 거리 떨어진 고정 위치에 관수하는 방법 및 제안 기법을 대상으로 한다. 각 방법은 동일한 관수량과 노즐 높이에서 목표 토양 영역의 물 도달률, 관수 위치 선정 정확도 및 작업 시간을 비교한다.

제안 기법은 잎의 가림으로 발생하는 관수 위치의 오차를 줄이고, 뿌리 주변 토양에 도달하는 물의 비율을 높일 것으로 예상된다. 이를 통해 산양삼의 생육 형태를 반영한 개체별 관수 위치 선정 기준을 제시할 수 있다. 다만 영상 분할과 관수 위치 선정의 정확도는 조명, 카메라 위치 및 작물의 생육 단계에 따라 달라질 수 있다. 향후 연구에서는 다양한 생육 단계와 재배 환경에서 제안 기법의 성능을 검증하고, 산양삼뿐만 아니라 잎이 관수 경로를 가리는 다른 작물로 적용 범위를 확대할 필요가 있다.

핵심용어: 팜봇, AI, 스마트농업, 정밀관수, 영상 분할, 관수 위치 선정, 산양삼

This research was supported by the Commercialization Promotion Agency for R&D Outcomes (COMPA) funded by the Ministry of Science and ICT (MSIT). (RS-2025- 25422608, 2025 Technology Commercialization Enhancement Project (TLO Innovation) Seoul National University.)

* 준회원・서울대학교 국제농업기술대학원 석사 과정・E-mail : miso.kim@snu.ac.kr
** 준회원・서울대학교 국제농업기술대학원 박사 과정・E-mail : Maishhawari26@snu.ac.kr
*** 정회원・글로벌 스마트팜 혁신인재양성 교육연구단・E-mail : tinguyo@snu.ac.kr
**** 정회원・서울대학교 국제농업기술대학원 전임 교수・E-mail : kyosuh@snu.ac.kr

IPA 기법을 활용한 농업용수관리자동화 사업의 현장 수용성 진단 및 기술 고도화 요구도 분석

Field Acceptability Assessment and Advancement Needs Analysis for Agricultural Water Management Automation Projects Using IPA

진영규*, 신형진**, 이재남***, 신안국****, 김관호*****
Youngkyu Jin, Hyungjin Shin, Jaenam Lee, Ankook Shin, Kwanho Kim

요 지

광범위한 농업수리시설물의 효율적 운영과 과학적 물관리를 실현하기 위해 농업용수관리자동화사업이 지속적으로 확대·구축해 오고 있다. 원격으로 수위 정보를 계측하고 시설물을 제어하는 물관리 시스템은 농업용수의 안정적 공급과 현장 실무자의 업무 효율성을 개선하며 스마트 물관리 전환에 기여하고 있다. 본 연구는 농업용수관리자동화 사업의 현장 운영 만족도를 다각도로 점검하고, 고도화를 위한 물관리 현장의 기술 수요도를 도출하고자 수행되었다. 이를 위해 물관리 담당자들을 대상으로 설문조사를 실시하였으며, 기존 사업에 대해 6개 영역(현황 파악, 계측 정확도, 업무 안정성 등)으로 구분하여 IPA 분석 기법을 통해 중요도-성과 분석을 수행하였다. 더불어, 물관리 고도화를 위한 기술 요구도에 대해 다중응답 조사를 실시하여, 물관리 고도화를 위한 현장의 기술 수용성과 요구 사항을 도출하였다. 기존 사업에 대한 조사 결과, 모든 영역에서 현업 중요도가 평균 4.49~4.72점으로 매우 높게 나타나 자동화시스템이 업무 수행의 필수 불가결한 기반으로 확고히 인식되고 있음을 입증하였다. 사용자 만족도의 평균은 3.93~4.21점으로 산출되어, 인프라의 질적 성숙에 대한 필요성이 확인되었다. 향후 농업용수관리자동화 사업의 지속적이고 안정적인 운영을 위한 최우선 과제로 계측 정확성과 유지관리 영역이 도출되었다. 실질적 대응 방안으로 유지보수 전문 체계 확보, 노후 계측 센서의 교체, 야간 등 비상 상황 대비 감시환경 보강에 대한 요구가 가장 높게 나타났다. 물관리 고도화를 위한 현장 요구도 조사에서는 모바일 기반 현장 관제·제어, 국지성 집중호우 대비 사전 위험 예측 경보, 통신망 이중화 및 정전 백업에 대한 도입 지지도가 두드러졌다. 이는 현장 실무 지원과 재해 대응 중심의 지능화 전환에 대한 긍정적 공감대가 형성되어 있음을 의미한다. 본 연구의 결과는 차세대 물관리 고도화 사업의 다음 단계 도약을 위해서는 AI 의사결정 지원 기술 및 모바일 제어와 더불어 기본 관측 데이터의 신뢰성 확보, 통신망 안정화 등 기초 뼈대를 더욱 견고히 해야함을 시사한다.

핵심용어: 농업용수관리자동화, 물관리, IPA 분석, 의사결정 지원

본 결과물은 농림축산식품부의 재원으로 농림식품기술기획평가원의 기후변화대응지능형농업기반관리기술개발사업의 지원을 받아 연구되었음(RS-2025-02303335).

* 정회원・한국농어촌공사 농어촌연구원 선임연구원・E-mail : accvn75@ekr.or.kr
** 정회원・한국농어촌공사 농어촌연구원 책임연구원・E-mail : shjin@ekr.or.kr
*** 정회원・한국농어촌공사 농어촌연구원 책임연구원・E-mail : jnlee@ekr.or.kr
**** 정회원・한국농어촌공사 농어촌연구원 수석연구원・E-mail : 2070161@ekr.or.kr
***** 정회원・한국농어촌공사 농어촌연구원 수리시험연구센터장・E-mail : man2@ekr.or.kr

농어촌물이용 I
(기후변화 대응 물이용)

C-0-1

THE KOREAN SOCIETY OF AGRICULTURAL ENGINEER

관개수로 수문 개도율에 따른 수로 유량 및 필지별 용수공급 변화

Effects of Irrigation Gate Openings on Canal Flow and Field-Level Water Supply

신석호*, 안현욱**
Seokho Shin, Hyunuk An

요 지

농업용수는 저수지와 양수장 등의 수원공에서 공급된 후 관개수로와 수문을 거쳐 개별 필지에 전달된다. 이 과정에서 수문 개도율은 수로 내 유량과 수심뿐만 아니라 상·하류 필지의 용수공급 상태에도 영향을 줄 수 있다. 특히 수원공의 공급량이 충분하더라도 수로망의 구조와 수문 운영조건에 따라 일부 필지에서 용수 부족이 발생할 수 있으므로, 수문 개도율 변화에 따른 수리·수문학적 반응을 종합적으로 분석할 필요가 있다. 본 연구에서는 실제 저수지 및 양수장 운영조건이 반영된 대상 유역을 선정하고, 농업용수 관리 모의시스템인 'AIRISS'를 활용하여 수문 개도율 변화에 따른 수로 유량, 분기점 수심 및 필지 수량 공급의 변화를 분석하고자 한다. 수문별로 다양한 개도율 조건을 적용한 후 시간별 수로 유량과 수심, 필지별 유입량, 담수심, 배수량 및 용수 부족량을 비교하여 수문과 필지 사이의 영향관계를 파악한다. 이를 바탕으로 필지 용수공급에 실질적인 영향을 주는 핵심 수문을 선별하고, 부족필지의 위치와 영향범위를 고려한 수문 조절방안을 검토한다. 또한 실제 운영조건, 수문 완전 개방 조건 및 핵심 수문 조절 조건의 결과를 비교하여 총 용수 부족량, 취약 필지 분포 및 상·하류 간 용수공급의 공간적 형평성을 평가하고자 한다. 본 연구는 수문 개도율 변화가 수로의 수리 특성을 거쳐 필지에 전달되는 과정을 분석하고, 관개수로망의 효율적인 수문 운영과 용수배분 개선을 위한 기초자료를 제공하는 것을 목적으로 한다.

핵심용어: 농업용수, 관개수로, AIRISS, 수문 개도율, 필지 용수공급

* 준회원・충남대학교 대학원 지역환경토목학과 석사・E-mail : tjrgh020319@naver.com
** 정회원・충남대학교 대학원 지역환경토목학과 교수・E-mail : hyunuk@cnu.ac.kr

물 공급 취약지역의 가뭄영향 평가 및 예측 기술 개발

Drought impact assessment and prediction for water-supply-vulnerable areas

이희진*, 남원호**, 신현욱***, 김태웅****
Hee-Jin Lee, Won-Ho Nam, Hyeon-Wook Shin, Tae-Woong Kim

요 지

기후변화로 가뭄의 발생빈도와 강도가 증가함에 따라 용수공급 취약지역에서는 하천유량 감소, 저수지 저수량 저하 및 갈수 발생 등 수자원 시스템의 불안정성이 심화되고 있다. 기존 가뭄 연구는 주로 강수 부족과 가뭄지수를 이용하여 가뭄의 발생 여부와 심도를 감지·평가하는 데 초점을 두어 왔다. 그러나 실제 용수공급과 수자원 운영을 위해서는 가뭄 자체를 감지하는 것뿐만 아니라, 가뭄 신호가 하천유량과 저수량 감소 등 수자원 시스템의 영향으로 전이되는 시점과 규모를 사전에 파악하는 것이 중요하다. 본 연구에서는 가뭄영향을 가뭄의 발생·심화·회복 과정에서 하천과 저수지 등 수자원 시스템에 나타나는 정량적 반응으로 정의하고, 이를 평가·예측하기 위한 기술을 개발하고자 한다. 낙동강 권역을 대상으로 기상, 토양수분, 증발산, 하천유량 및 저수량 등 가뭄·수자원 관련 다중 자료를 통합하여 가뭄영향 인자 데이터베이스를 구축하였다. 구축된 자료를 기반으로 기상·농업가뭄 신호와 하천·저수지 반응 사이의 선행·지체 관계를 규명하고, 가뭄의 지속기간과 심도에 따른 비선형적 수자원 반응 및 회복 특성을 분석하고자 한다. 또한 인공지능 기반 시공간 학습기법을 활용하여 가뭄이 하천유량 감소, 저수량 저하 및 갈수 등 수자원 부족 영향으로 전이되는 과정을 학습하고, 하천과 저수지에서 발생할 수 있는 영향의 발생확률, 시점 및 규모를 사전에 산정하는 가뭄영향 예측모델을 개발하고자 한다. 본 연구의 결과는 용수공급 취약지역에서 예상되는 하천유량 및 저수량 부족 위험을 선제적으로 파악하고, 수자원 시설의 합리적 운영과 용수공급 계획 수립 및 가뭄 대응 의사결정을 지원하는 과학적 기반으로 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

핵심용어: 물 공급 취약지역, 가뭄영향, 수자원 반응, 가뭄 전이, 가뭄-수자원 상호작용, 인공지능

본 연구는 기후에너지환경부의 재원으로 한국환경산업기술원의 기후변화 적응 수재해 관리 기술개발사업(R&D)의 지원을 받아 연구되었습니다(RS-2026-25501478).

* 정회원・한경국립대학교 국가농업용수연구센터 선임연구원・E-mail : heejin.lee@hknu.ac.kr
** 정회원・한경국립대학교 사회안전시스템공학부 교수・E-mail : wonho.nam@hknu.ac.kr
*** 정회원・한경국립대학교 사회안전시스템공학부 석사과정・E-mail : hyeonwook.shin@hknu.ac.kr
**** 비회원・한양대학교(ERICA) 건설환경공학과 교수・E-mail : twkim72@hanyang.ac.kr

DSSAT 모형을 활용한 미래 기후변화에 따른 양배추 수확량 및 증발산량에 미치는 영향 평가

Assessing future climate change impacts on cabbage yield and evapotranspiration using DSSAT model

오광 스티븐*, 박현수**, 김지성***, 장태일****
Stephen Okwang, Hyunsu Park, Ji-Seong Kim, Taeil Jang

Abstract

Cabbage (*Brassica oleracea var. capitata L.*) production in South Korea is sensitive to seasonal variation in temperature and water availability. This study evaluated the Decision Support System for Agrotechnology Transfer (DSSAT) for simulating cabbage growth, yield, and evapotranspiration (ET_c) under future climate change. DSSAT was calibrated with autumn 2024 and spring 2025 data and validated with autumn 2025 and spring 2026 observations under sprinkler irrigation. ET_c was measured using weighing lysimeters. Growth-stage ET_c showed RMSE, MAE, R^2, and d-index of 18.8 mm, 12.8 mm, 0.84, and 0.90 in calibration and 18.9 mm, 16.9 mm, 0.96, and 0.86 in validation, respectively. Soil-moisture R^2 ranged from 0.75-0.84 during calibration and 0.70-0.73 during validation, with d values of 0.93-0.95 and 0.83-0.86. Observed and simulated dry head yields ranged from 6,578-9,511 and 5,587-9,960 kg DM ha^{-1}, while biomass ranged from 12,760-18,117 and 7,195-15,238 kg DM ha^{-1}, respectively. The validated model was driven by 18 CMIP6 GCMs and CO_2 concentrations under four SSPs for historical, near-term, mid-century, and end-century periods. Crop ET_c increased from near-term to end-century by 2.1-5.6%, 3.4-9.9%, and 9.9-17.1% in autumn and 0.3-3.8%, 0.5-5.1%, and 5.0-7.7% in spring. Autumn yield changed from +1.1-4.6% and +0.8-6.3% to −9.4-+3.9%, whereas spring yield increased by 15.5-20.4%, 20.8-26.3%, and 20.6-29.7%. The contrasting autumn and spring responses highlight the need for season-specific strategies to manage future changes in cabbage growth, yield, and water requirements.

Key words: cabbage, climate change, DSSAT, CMIP6 GCMs, crop ET_c, head yield

본 연구는 농촌진흥청 국립농업과학원의 연구사업(과제번호: RS-2023-00220014)의 지원을 받아 수행된 연구임.

* 준회원・전북대학교 농공학과 박사과정・E-mail : okwangstephen@gmail.com
** 준회원・전북대학교 농공학과 박사과정・E-mail : dest1496@jbnu.ac.kr
*** 준회원・전북대학교 지역건설공학과 학부생・E-mail : kgs30119@gmail.com
**** 정회원・전북대학교 지역건설공학과 교수・E-mail : tjang@jbnu.ac.kr

극한 가뭄 대응을 위한 딥러닝 기반 논 벼 최적관개시점 판단 모델 개발

Development of a Deep Learning-Based Model for Determining Optimal Irrigation Timing for Paddy Rice under Extreme Drought Conditions

김설민*, 송석호**, 안치용***, 송철민****
Seolmin Kim, Seokho Song, Chiyong An, Chulmin Song

요 지

우리나라는 쌀 생산량 증대를 위해 잡초 억제, 온도 완충 및 양분 가용성 증진 효과가 있는 담수재배를 관행적으로 이용하고 있으나, 이 방식은 많은 용수를 요구하여 농업용수 의존도가 매우 높다. 근래 빈번해진 이상기후로 극한 가뭄이 발생하면 용수 공급이 제한되어 담수상태 유지가 어려워지고 생육 저하와 수량 감소로 이어지나, 신규 수자원 개발이 물리적·환경적 한계에 직면한 상황에서 영농현장에는 벼의 생육상태와 토양수분 조건에 따라 적시에 용수를 공급할 수 있는 근거와 시스템이 아직 갖추어져 있지 않다. 이에 본 연구에서는 극한 가뭄 상황에서도 최소한의 생육과 수량을 확보할 수 있도록 생육단계별 최적 관개시점을 판단하는 방법을 개발하고자 하였다.

본 연구에서는 IoT 기반 토양수분 계측자료, 캐노피 열화상 영상 및 기상자료를 활용하여 토양수분을 추정하는 CNN 기반 딥러닝 모형을 구축하고, 생육단계별 최적 관개시점을 도출하였다. CNN 모델 학습자료는 실험실 규모에서 2025년 5월 28일 벼를 이앙하여 9월 26일까지 재배하며 수집하였으며, 분얼기, 유수형성기, 출수기 및 등숙기의 4개 생육단계별로 6개 포트를 조성하였다. 이 중 5개 포트는 체적수분함량(VWC) 0~50%를 10% 폭의 5개 구간으로 구분하여 관리하고, 1개 포트는 담수상태로 유지하였다. 토양수분은 정전용량식 센서(SEN0308)를 Raspberry Pi 기반 IoT 시스템에 연계하여 10분 간격으로 계측하였으며, FLIR A700을 이용해 매일 10시, 14시에 열화상 영상을 촬영하여 캐노피 온도와 기온의 차이(Tc-Ta) 이미지를 구축하였다. 또한 기상청 종관기상관측자료(ASOS)의 상대습도와 일사량을 훈련자료로 활용하였다. CNN 적용에 앞서 다중회귀분석(MLR), 랜덤포레스트(RF), XGBoost(XGB) 및 서포트벡터회귀(SVR)를 이용하여 토양수분 추정 가능성을 검토하였다. 분석 결과, 토양수분이 감소함에 따라 Tc-Ta 분포가 고온 방향으로 이동하였으며, 열화상 통계량 중 Tc-Ta 중앙값이 모든 생육단계와 촬영시간대에서 VWC와 가장 높은 상관성 (r=0.296~0.630)을 나타냈다. MLR 및 머신러닝 모형의 결정계수는 0.24~0.31에 머문 반면, CNN 모형은 0.663으로 향상되었다. 이는 Tc-Ta의 단순 통계량보다 열화상 영상에 포함된 공간정보가 토양수분 추정에 효과적으로 활용될 수 있음을 의미한다.

본 연구의 결과로 Tc-Ta가 상승하면서 잎말림과 갈변 증상이 순차적으로 나타나, Tc-Ta 상승 시작 시점의 토양수분을 최적관개기준점으로 설정하였다. 그 결과 최적 관개 기준점은 분얼기 24.5%, 유수형성기 24.8%, 출수기 23.5%, 등숙기 21.1%로 도출되었다. 이상의 결과를 종합하면, Tc-Ta 상승 시작 시점의 토양수분을 관개 기준으로 설정하고 CNN을 이용하여 토양수분을 추정하는 최적 관개시점 의사결정 체계를 구축할 수 있다. 이러한 방법은 극한 가뭄 상황에서 필요한 시점에 관개함으로써 농업용수의 효율적인 이용과 안정적인 벼 생산에 기여할 수 있을 것으로 판단된다. 또한 향후 드론 기반 광역 열화상 영상과 연계할 경우 들녘 단위의 토양수분 및 관개시점 판정 기술로 확대·활용할 수 있을 것으로 기대된다.

핵심용어: 극한가뭄, 농업용수, 물관리, 체적수분함량, IoT, AI 최적관개시점

* 준회원・충북대학교 지역건설공학과 석사과정・E-mail : seolmin0201@naver.com
** 정회원・충북대학교 지역건설공학과 박사과정・E-mail : seokho@cbnu.ac.kr
*** 정회원・충북대학교 지역건설공학과 석사과정・E-mail : cyong187@korea.kr
**** 정회원・충북대학교 지역건설공학과 부교수・E-mail : song_c_m@cbnu.ac.kr

미래기후에서 암거배수 설계에 따른 과잉수분 및 가뭄 스트레스 평가

Evaluating Subsurface Drain Spacing for Excess Water and Drought Stress Management under Future Climate Conditions

이주성*, 티말신아 해리반샤**, 황순호***, 바타라이라빈****, 정한석*****
Juseong Lee, Haribansha Timalsina, Soonho Hwang, Rabin Bhattarai, Hanseok Jeong

요 지

암거배수는 배수불량 농경지에서 과잉수분을 제거하여 작물 생육환경을 개선하는 주요 기반시설이며, 배수관 매설 간격은 배수 성능을 결정하는 핵심 설계변수이다. 그러나 기후변화로 인한 강수 패턴 변화와 극한기상 현상이 증가함에 따라, 기존 배수관 매설 간격이 미래기후에서도 안정적인 작물 수확량을 확보할 수 있는지는 불확실하다. 이에 본연구에서는 배수관 간격에 따른 과잉수분 및 가뭄 스트레스의 영향을 정량화하고, 수확량을 제한하는 지배적 스트레스 변화를 분석하여 미래기후에서의 배수 설계 범위를 평가하였다. 상대적 수확량 손실을 과잉수분 스트레스, 가뭄 스트레스, 파종 지연에 따른 수확량 손실로 구분하고, 신뢰도, 회복탄력성, 극단 취약성, 스트레스 비대칭성 및 스트레스 동시발생을 평가하는 이중 스트레스 평가체계를 구축하였다. 미국 일리노이주 샴페인 지역의 12.1 ㏊ 규모 암거배수 농지를 대상으로, 고정된 배수관 매설 깊이에서 5개 배수관 간격(12.2, 18.3, 24.4, 30.5, 36.6 m)에 대한 수문 반응을 DRAINMOD 모형으로 모의하였다. 또한 CMIP6 기반 5개 전지구기후모델(BCC-CSM2, CanESM5, GFDL-ESM4, IPSL-CM6A, MIROC6)과 4개 SSP 시나리오(SSP1-2.6, SSP2-4.5, SSP3-7.0, SSP5-8.5)를 이용해 구축한 2020-2099년 기후자료를 적용하여 배수관 간격에 따른 미래 수문·작물 수확량 반응을 분석하였다. 배수관 간격이 12.2 m에서 36.6 m로 증가함에 따라 과잉수분 스트레스에 따른 상대 수확량은 23.7%p 감소한 반면, 가뭄 스트레스에 따른 수확량 변화는 0.03%p에 불과하였다. 먼 미래(2080-2099년)에는 배수관 간격이 큰 경우 신뢰도가 감소하고 수확량 손실 취약성이 증가하였으며, 약 16-19 m 배수관 간격에서 지배적인 수확량 제한 요인이 가뭄 스트레스에서 과잉수분 스트레스로 전환되었다. 또한 대두는 옥수수보다 배수관 간격 변화에 더 민감하게 반응하였다. 대상 농경지에서는 12.2-18.3 m의 배수관간격이 미래기후에서 상대적으로 높은 회복탄력성을 보이는 적정 범위로 나타났으며, 약 24 m를 초과하는 간격에서는 일관되게 불리하였다. 이러한 결과는 배수 설계에서 과잉수분 제거를 우선적으로 고려해야 하며, 가뭄 대응은 별도의 수분관리 전략이 필요함을 시사한다.

핵심용어: 기후변화, 암거배수 시스템, DRAINMOD, 작물 수확량, 수자원 관리

본 연구는 정부(과학기술정보통신부, 교육부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업(NRF-2020R1A6A1A03042742, RS-2025-00557036)이며, 과학기술정보통신부 및 정보통신기획평가원의 디지털분야 글로벌연구지원 사업(RS-2024-00428227)의 연구결과로 수행되었습니다. 이에 감사드립니다.

* 정회원・서울과학기술대학교 환경공학과 박사과정・E-mail : juseonglee90@gmail.com
** 일리노이대학교 농업생명공학과 박사과정・E-mail : ht15@illinois.edu
*** 정회원・일리노이대학교 작물과학과 박사후연구원・E-mail : soonho@illinois.edu
**** 일리노이대학교 농업생명공학과 교수・E-mail : rbhatta2@illinois.edu
***** 정회원・서울과학기술대학교 환경공학과 교수・E-mail : hanjeong@seoultech.ac.kr

한국의 복합 가뭄–폭염 전망을 위한 전이성 기반 CMIP6 앙상블 선정

CMIP6 Ensemble Selection with Transferability Validation for Compound Drought-Heatwave Projections over South Korea

아데이 쿠두스*, 최경숙**
Qudus Adeyi, Kyung Sook Choi

Abstract

Reliable projection of compound drought-heatwave (CDHW) events requires ensembles that represent temperature and precipitation characteristics, their dependence, and resulting compound hazards. We developed a genealogy-aware, multi-objective framework for evaluating and selecting CMIP6 models for CDHW assessment over South Korea. Twenty models from 15 genealogy families were evaluated against daily observations from 60 Korea Meteorological Administration stations during 1981-2014. Subsets of 5, 7, and 10 models were assessed using marginal climate fidelity, drought-heat dependence fidelity, and realized CDHW fidelity. Exact enumeration evaluated 277,780 candidates, and Pareto optimization identified representative subsets without combining objectives into a single score. Future transferability was tested through genealogy-aware model-as-truth experiments using late-century changes in CDHW event frequency and annual CDHW-day burden under SSP2-4.5 and SSP5-8.5. Historically optimized subsets outperformed 73.7-83.1% of random same-size subsets across all historical objectives, but this advantage did not consistently transfer to future predictive distributions. Positive continuous ranked probability skill scores relative to the full genealogy-balanced ensemble occurred only for event-frequency change under SSP5-8.5, reaching 0.0308, 0.0149, and 0.0146 for subset sizes 5, 7, and 10. No subset satisfied all prespecified validation requirements; therefore, the full 20-model, 15-family ensemble was retained for production projections. It projected national increases of 1.621 events and 10.707 CDHW days yr?¹ under SSP2-4.5, rising to 1.716 events and 15.398 days yr?¹ under SSP5-8.5. All 60 stations showed positive changes. These results show that historical Pareto performance alone does not ensure future skill, supporting explicit out-of-sample validation and model-dependence control in regional climate-model selection and defensible ensemble-reduction decisions for projections.

Key words: Compound drought–heatwave, CMIP6, Ensemble selection, Multi–objective optimization, Model genealogy, Future transferability

This work was supported by the National Research Foundation of Korea (NRF) grant funded by the Korea government Ministry of Science and Information and Communication Technology (MSIT) (RS-2025-00562379).

* Graduate student, Dept. of Agri. Civil Eng., Kyungpook National University ・ Email: adeyi.qudus@knu.ac.kr
** Professor, Dept. of Agri. Civil Eng., Kyungpook National University ・ E-mail : ks.choi@knu.ac.kr

전국 시군 단위 농업가뭄 영향과 다중시간척도 가뭄지수의 선행 · 지체 관계 분석

Nationwide analysis of lead-lag relationships between multiscale drought indices and agricultural drought impacts

서준영*, 남원호**, 문영식***, 전민기****, 김상단*****
Jun-Yeong Seo, Won-Ho Nam, Young-Sik Mun, Min-Gi Jeon, Sang-Dan Kim

요 지

농업가뭄의 영향은 기상학적 가뭄과 반드시 동일한 시점에 나타나는 것이 아니라, 농업 시스템과 영향지표의 특성에 따라 서로 다른 시간적 반응을 보일 수 있다. 따라서 농업가뭄의 발생과 영향을 정량적으로 해석하기 위해서는 가뭄지수의 누적 시간척도와 농업가뭄 영향 간의 시간적 관계를 함께 고려할 필요가 있다. 본 연구에서는 서산시, 임실군 및 고흥군을 대상으로 다중 시간척도 가뭄지수와 농업가뭄 영향지표 간의 상관성 및 선행·지체 관계를 분석하였다. 표준강수지수(Standardized Precipitation Index, SPI)는 1, 2, 3, 6, 9, 12, 24 및 36개월의 누적 시간척도로 산정하였다. 농업가뭄 영향지표로는 논·밭 가뭄 예·경보, 논 물마름 발생면적, 밭 시듦 발생면적, 농업용수 공급량 및 토양수분부족지수(Soil Water Deficit Index, SWDI)를 활용하였다. 영향지표별로 관련성이 높은 SPI 누적 시간척도와 시간적 반응 특성을 파악하기 위해 상관분석과 ±6개월 범위의 선행·지체 분석을 수행하였다. 분석 결과, 농업가뭄 영향지표의 유형에 따라 높은 관련성을 보이는 SPI 누적 시간척도가 상이하게 나타났다. 논 관련 영향지표는 중·장기 누적 시간척도의 가뭄상태와 상대적으로 높은 관련성을 보인 반면, 밭작물 및 토양수분 관련 지표는 단기 누적 시간척도에서 비교적 뚜렷한 반응을 나타냈다. 또한 대부분의 영향지표에서 SPI의 가뭄 신호가 농업가뭄 영향보다 선행하는 경향을 보였으며, 선행기간은 영향지표의 유형과 대상지역에 따라 다르게 나타났다. 이러한 결과는 농업가뭄 영향을 해석할 때 단일 시간척도의 가뭄지수를 일률적으로 적용하기보다 영향지표의 특성과 지역별 반응 차이를 반영하여 적정 누적 시간척도와 선행·지체 관계를 동시에 평가해야 할 것으로 판단된다.

핵심용어: 농업가뭄, 표준강수지수, 다중 시간척도, 농업가뭄 영향지표, 선행 · 지체 관계

본 결과물은 기후에너지환경부의 재원으로 한국환경산업기술원의 기후변화 적응 수재해 관리 기술개발사업의 지원을 받아 연구되었습니다(RS-2023-00230286).

* 정회원・한경국립대학교 사회안전시스템공학부 석사과정・E-mail : junyeong.seo@hknu.ac.kr
** 정회원・한경국립대학교 사회안전시스템공학부 교수・E-mail : wonho.nam@hknu.ac.kr
*** 정회원・한경국립대학교 국가농업용수연구센터 선임연구원・E-mail : youngsik.mun@hknu.ac.kr
**** 정회원・한국건설기술연구원 수자원하천연구본부 박사후연구원・E-mail : mingi.jeon@kict.re.kr
***** 비회원・국립부경대학교 지구환경시스템과학부 교수・E-mail : skim@pknu.ac.kr

기후변화 시나리오 기반 농업생산기반시설 미래 가뭄·홍수 기후안전도 평가 방법론 마련

A Methodology for Assessing Future Drought·Flood Climate Safety of Agricultural Infrastructure under Climate Change Scenarios

주동혁*, 나라**, 김하영***, 김소연****, 박달주*****, 신용덕******, 유승환*******
Donghyuk Joo, Ra Na, Hayoung Kim, Park Dalju, Yongdeok Shin, Seung-Hwan Yoo

요 지

기후변화로 이상기후의 발생 빈도와 강도가 증가하면서 농업용저수지·양수장·배수장 등 농업생산기반시설(농업 SOC)의 안정적 운영이 위협받고 있다. 감사원 감사보고서(2023)는 농업용수·배수시설 관련 사업이 미래 기후변화를 충분히 반영하지 못하고 있음을 지적하였고, 현행 설계기준(이수편 2022·치수편 2023 개정) 또한 미래 기후변화의 정량적 반영에는 한계가 있다. 아울러 미래 가뭄·홍수 취약지역이 넓어질 것으로 전망되어, 기 설치된 농업 SOC의 미래 기후 대응력을 정량적으로 평가할 필요성이 커지고 있다. 이에 본 연구에서는 전국 76개 종관기상관측소(ASOS)를 대상으로 18개 전지구기후모델(GCM)의 SSP2-4.5·SSP5-8.5 시나리오 자료를 수집하고, 과거(1991-2020)와 미래(2031-2070)에 대해 다중모델앙상블(MME)을 적용하였다. 일단위 시나리오 강우는 시간상세화 기법으로 변환한 뒤 지속시간·재현기간별 확률강우량을 산정하였으며, 홍수량 산정지침에 따라 고정시간-임의지속시간 환산을 적용하고 장지속시간(24·48시간)은 일자료로 직접 산정하여 정합성을 확보하였다. 산정된 확률강우량을 입력으로 하여 농업용저수지 85개소와 배수장 380개 구역의 재현기간별 설계홍수량을 산정하고, 시설 유형별 산정인자를 조합하여 시설관리 기능평가 등급 산정 기준안을 마련하였다. 그 결과 미래 확률강우량은 과거 대비 임의지속시간 기준 SSP2-4.5에서 +9.9%, SSP5-8.5에서 +11.9% 증가하였고, 설계홍수량은 농업용저수지 +14.3%·+17.3%, 배수장 +14.1%·+17.4% 증가한 반면, 필요저수용량은 +3.4%·+5.1%, 양수장 조용수량은 시나리오 간 차이가 미미하여 홍수 관련 시설의 대응력 강화가 특히 시급함을 확인하였다. 본 연구의 결과는 기후안전도를 반영한 설계기준 및 시설관리 법령 개정(안), 기후안전도 검토·평가 실무 가이드라인, 공사 시설관리 프로그램(K-HAS CS) 연계에 활용될 수 있으며, 시설 보수·보강 우선순위 결정을 위한 기초자료로 기여할 것으로 기대된다.

핵심용어: 기후변화 시나리오, 기후안전도, 농업생산기반시설, 시설관리 기능평가 등급

이 연구는 한국농어촌공사 기후대응처 기후변화정책추진단의 지원을 받아 수행되었음(연구 과제명: 농업 SOC 미래 가뭄·홍수 기후안전도 검토 및 시설관리 평가 방법론 마련 용역)

* 정회원・전남대학교 농업과학기술연구소・E-mail : wnehdgur3gh@jnu.ac.kr
** 정회원・전남대학교 농업과학기술연구소・E-mail : nara4180@jnu.ac.kr
*** 정회원・전남대학교 대학원 지역·바이오시스템공학과 박사4 & BK21 기후지능형 간척지농업 교육연구팀・E-mail : hy153706@naver.com
**** 정회원・전남대학교 지역·바이오시스템공학과 석사1・ BK21 기후지능형 간척지농업 교육연구팀・E-mail : sothduse@naver.com
***** 정회원・한국농어촌공사 기후대응처 기후변화정책추진단 차장・E-mail : picklover@ekr.or.kr
****** 정회원・한국농어촌공사 기후대응처 기후변화정책추진단 대리・E-mail : shin@ekr.or.kr
******* 정회원・전남대학교 지역·바이오시스템공학과 정교수・BK21 기후지능형 간척지농업 교육연구팀・E-mail : yoosh15@jnu.ac.kr

농어촌물이용 II
(관개배수공학)

C-O-2

THE KOREAN SOCIETY OF AGRICULTURAL ENGINEER

경험적 누적분포함수와 K-평균 군집분석을 활용한 강화군의 EVI2 기반 논 물마름 평가기준 구축 및 적용성 평가

Development and applicability assessment of EVI2-Based paddy drought criteria in Ganghwa-gun using empirical cumulative distribution functions and K-Means clustering

박수환*, 김시내**, 오서주***, 박선재****, 강문성*****
Suhwan Park, Sinae Kim, Seoju Oh, Seonjae Park, Moon-Seong Kang

요 지

가뭄은 농업용수 공급과 작물 생산에 장기간 영향을 미치는 자연재해이며, 관개 논의 물 부족은 주요 식량작물인 벼의 생육 안정성과 직접 연결된다. 국내 논 물마름 통계는 시군구별 발생기간과 피해면적을 제공하지만, 실제 피해가 나타난 필지와 필지 내부의 피해 수준을 구체적으로 파악하기에는 한계가 있다. 이에 본 연구에서는 2018-2024년 강화군 논을 대상으로 Sentinel-2 기반 2밴드 증강식생지수 (Two-band Enhanced Vegetation Index, EVI2) 분포를 구축하고, 논 물마름 평가기준의 연도 간 적용 가능성을 분석하였다. 강화군은 2018년과 2019년에 논 물마름이 반복적으로 보고되었으며, 2020-2024년에는 공식 피해면적이 기록되지 않아 피해연도와 피해 미보고 연도를 함께 비교할 수 있는 지역이다. 분석공간은 2021-2024년 모두 논으로 확인된 공통 논 필지로 설정하였다. Sentinel-2 Level-2A 자료에서 구름 영향을 제거한 후 관측일별 EVI2를 산정하였으며, 초기 자료가 충분하지 않은 2018년은 재처리 산출물로 보완하였다. 먼저 2019년 공식 논 물마름 피해율에 대응하는 EVI2 기준값을 경험적 누적분포함수 (Empirical Cumulative Distribution Function, ECDF)에서 산정하였다. 이후 2018년 피해연도와 2020-2024년 피해 미보고 연도에 적용하여 낮은 EVI2 면적을 비교하였다. 또한 각 필지의 EVI2 값을 1-99백분위 분포로 나타내고, K-평균 군집분석 (K-means clustering)을 통해 식생반응이 유사한 필지를 구분하였다. 분석 결과, 2019년 공식 피해율에 대응하는 EVI2 기준값을 산정하였으며, 이를 2018년에 적용한 저 EVI2 면적은 공식 피해면적과의 근소한 상대오차를 보였다. 피해 미보고 연도의 낮은 EVI2 면적은 연평균 비교적 작은 면적을 보였다. K-평균 군집분석에서는 EVI2 분포가 서로 다른 반응군이 구분되었으며, 하위 군집의 합산면적이 공식 피해면적과 가장 유사하였다.

두 방법을 비교한 결과, 경험적 누적분포함수 방법이 피해연도의 면적을 더 잘 재현하였으며, 피해 미보고 연도에서도 만족스러운 판정결과를 보였다. 본 연구는 공식 피해면적과 위성 기반 식생반응을 연계하여 논 물마름의 정량적 평가기준을 구축하고, 동일한 기준을 다른 연도에 적용함으로써 그 재현성과 한계를 검토하였다는 데 의의가 있다. 연구 결과는 논 물마름 현장조사의 우선지역 선정과 위성 기반 농업가뭄 모니터링 및 피해예측 체계 구축을 위한 기초자료로 활용될 수 있을 것으로 판단된다.

핵심용어: 논 물마름, Sentinel-2, EVI2, 경험적 누적분포함수, K-평균 군집분석

본 결과물은 농림축산식품부의 재원으로 농림식품기술기획평가원의 기후변화대응지능형농업기반관리기술개발사업의 지원을 받아 연구되었음 (RS-2026-25522713, 기후변화 대응 AI·위성 기반 농업수자원 활용 기술 개발)

* 정회원・서울대학교 생태조경·지역시스템공학부 석사과정・E-mail : blackswan2018@snu.ac.kr
** 정회원・서울대학교 생태조경·지역시스템공학부 박사과정・E-mail : ksinae0519@snu.ac.kr
*** 준회원・서울대학교 생태조경·지역시스템공학부 석사과정・E-mail : sjicee@snu.ac.kr
**** 준회원・서울대학교 생태조경·지역시스템공학부 석사과정・E-mail : sunnee1015@snu.ac.kr
***** 정회원・서울대학교 조경·지역시스템공학부 교수・E-mail : mskang@snu.ac.kr

농업용수 공급량 원단위 산정체계 개선에 따른 수요량 변화 분석

Changes in agricultural water demand using improved unit water supply estimates

윤동현*, 남원호**, 김한중***, 하태현****, 김상우*****
Dong-Hyun Yoon, Won-Ho Nam, Han-Joong Kim, Tae-Hyun Ha, Sang-Woo Kim

요 지

국내 농업용수 수요량은 기존에 증발산량과 침투량 등을 고려한 모형기반의 필요수량을 중심으로 산정되어 왔다. 그러나 이론적으로 산정된 필요수량과 실제 공급량 간의 차이가 제기되면서, 최근에는 계측자료로부터 도출한 공급량 원단위를 활용하여 수요량을 산정하는 방식으로 전환되고 있다. 이러한 방식은 국가물관리기본계획과 농어촌용수이용합리화계획 등 주요 정책계획에도 적용되고 있다. 현행 공급량 원단위 산정 방식은 제한된 계측 저수지 자료로부터 산정한 보정계수를 전체 저수지에 일괄적으로 적용하므로, 저수지별 운영 특성과 공간적 차이를 충분히 반영하기 어렵다. 또한 기존 수혜면적 자료에는 시설 간 공급구역의 중복과 공간적 불일치가 포함되어 있어 공급량 원단위 산정의 정합성을 저하시킬 수 있다. 본 연구에서는 미계측 저수지의 공급량 추정체계를 개선하기 위하여 저수지의 운영 및 공간적 특성을 고려한 유형화를 수행하고 유형별 보정계수를 재산정하였다. 또한 현장조사 기반의 수혜면적 자료를 활용하여 시설별 공급량과 공급구역 간 공간적 관계를 기반으로 저수지와 양수장의 공급량 원단위를 재산정하였다. 개선된 공급량 원단위는 유역 단위로 환산하여 농업용수 물수지 분석모형에 적용하였으며, 기존 원단위를 적용한 결과와 비교하여 농업용수 수요량의 변화를 분석하였다. 이를 통해 공급량 추정 및 원단위 산정체계의 개선이 유역 단위 농업용수 수요량 산정에 미치는 영향을 평가하고, 현행 수요량 산정 방식의 적정성과 개선 가능성을 검토하고자 하였다. 본 연구의 결과는 미계측 농업용 수리시설의 공급량 추정 정확도를 향상하고, 유역별 농업용수 수요량 산정과 국가 및 지역 단위 농업용수 공급계획 수립을 위한 기초자료로 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

핵심용어: 농업용수, 공급량 원단위, 농업용수 수요량, 농업용 저수지, 물수지 분석, 수혜면적

본 결과물은 농림축산식품부의 재원으로 농림식품기술기획평가원의 기후변화대응지능형농업기반관리기술개발사업의 지원을 받아 연구되었음(RS-2025-02219764). 본 연구는 농림축산식품부의 재원으로 한국농어촌공사의 용역연구사업의 지원을 받아 연구되었습니다.

* 정회원・한경국립대학교 국가농업용수연구센터 선임연구원・E-mail : donghyun.yoon@hknu.ac.kr
** 정회원・한경국립대학교 사회안전시스템공학부 교수・E-mail : wonho.nam@hknu.ac.kr
*** 정회원・한경국립대학교 사회안전시스템공학부 교수・E-mail : hanjoong@hknu.ac.kr
**** 정회원・한국농어촌공사 수자원정책지원단 부장・E-mail : hyun80@ekr.or.kr
***** 정회원・한국농어촌공사 수자원정책지원단 단장・E-mail : mrkim97@ekr.or.kr

수리모형 실험 및 관망해석을 통한 농업용 관수관로의 유량 분배와 수리특성 분석

Experimental and Numerical Analysis of Flow Distribution and Hydraulic Characteristics in Agricultural Irrigation Pipelines

임재휘*, 안현욱**, 구현승***
Jaehwi Lim, Hyunuk An, Hyeonseung Ku

요 지

이상기후에 따른 강우의 시·공간적 불균등과 농업 생산의 집약화로 안정적이고 정밀한 농업용수 공급의 중요성이 증가하면서, 송수 손실과 수질오염을 줄이고 공급량을 효율적으로 제어하기 위한 관수로 기반 용수공급체계의 적용이 확대되고 있다.

농경지 필요수량은 일반적으로 작물의 생육단계에 따른 증발산량과 유효우량, 침투량과 논의 경우 담수심 변화 등을 고려하여 산정하며, 이를 포장면적과 공급시간에 따라 유량으로 환산하여 관로의 설계유량을 결정한다. 그러나 실제 관수관망에서는 수량 공급을 위한 수원지의 수위 및 압력 변화와 농업인의 불규칙적인 밸브 및 물꼬 조작으로 인해 설계 시 가정한 수리 조건이 지속적으로 유지되기 어려우며, 이에 따라 산정된 설계 유량이 각 지선과 지거에 목표한 수준으로 분배되지 않을 수 있다.

이에 본 연구에서는 실제 농업용 관수관망을 모사한 간선-지선-지거 수리실험시설을 구축하고, 관경·경사 및 밸브·물꼬 조작에 따른 유량 분배 특성을 분석하였다. 지선은 50 mm와 65 mm 관경 및 평·역·순경사 조건으로 구성하였으며, 지선 밸브 개도와 지거 물꼬의 개방 순서·정도·위치 변화에 따른 공급유량을 계측하였다. 또한 농업생산기반정비사업계획 설계기준에서 제시한 논 최소 담수심 20 mm/day에 대하여 공급 면적 0.3 ha를 기준으로 지거별 목표 공급량을 설정하여 관측유량과 비교하였다. 실험 결과, 지선 유량은 밸브 개도에 따라 비선형적으로 변화하였고, 동일 개도에서도 관경과 경사에 따라 차이가 나타났으며, 지거 물꼬의 조작 조건과 위치에 따라 지거별 유량 배분도 달라졌다. 이는 관수관망의 유량 분배가 관경, 경사, 밸브 개도 및 지거 운영조건의 복합적인 영향을 받음을 보여주며, 본 실험을 통해 확보한 관망 구성 및 공급 조건별 지점 유량과 압력 자료는 향후 실제 관수관망의 모니터링 결과와 비교하여 유량 분배의 불균형과 압력 저하 등 수리적 이상을 진단하고, 운영 조건의 적정성을 평가·개선하기 위한 기준자료로 활용될 수 있다. 또한 실측자료와 농업용 관망해석모형인 AIRISS의 모의 결과를 비교·분석함으로써 모형의 주요 매개변수를 보정하고, 유량 및 압력 예측의 정확성과 수리해석 결과의 신뢰성을 검증하기 위한 실증자료로 활용할 수 있다.

핵심용어: Agricultural irrigation pipeline, Flow distribution, Hydraulic model experiment, Valve operation, Model validation;

저수지 수위 기반 유입량 추정방법과 GR4H를 활용한 농업용 저수지 시간 단위 연속 유입량 산정

Estimation of hourly inflow to agricultural reservoirs using water-level-based inflow estimation methods and the GR4H model

강석훈*, 송정헌**
Seokhun Kang, Jung-Hun Song

요 지

우리나라의 중·소규모 농업용 저수지는 유입량과 방류량을 연속적으로 계측하지 않는 경우가 많지만, 저수지 수위자료는 비교적 지속적으로 확보되고 있다. 무방류기간에는 관측수위로부터 산정한 저수량 변화를 이용하여 저수지 유입량을 추정할 수 있으나, 수위기반 방법은 적용 가능한 기간이 제한적이므로 저수지의 연속적인 전체기간 유입량을 확보하는 데에는 한계가 있다. 또한 시간 단위 물수지법을 직접 적용할 경우 수위 관측오차가 시간 차분 과정에서 증폭되어 유입량의 과도한 변동이나 음의 값이 발생할 수 있다. 한편, 강우-유출모형은 연속적인 강우 및 기상자료를 이용하여 전체기간에 대한 유입량 모의가 가능하지만, 관측유량이 부족한 농업용 저수지에서는 모형 보정을 위한 기준자료 확보에 제약이 있다. 따라서 무방류기간에 관측수위로부터 추정한 시간 단위 유입량을 강우-유출모형의 보정자료로 활용할 경우, 제한된 기간의 수위기반 유입량 추정결과를 전체기간의 연속적인 유입량 모의로 확장할 수 있다. 본 연구에서는 무방류기간을 대상으로 관측수위 기반 방법에 의해 시간 단위 저수지 유입량을 추정하고 각 추정방법의 특성을 비교한 후, 산정된 유입량을 강우-유출모형의 보정자료로 활용하여 전체기간에 대한 시간 단위 유입량 모의 가능성을 검토하고자 한다. 관측수위 기반 방법으로는 단순 물수지법, 앙상블 칼만 필터(Ensemble Kalman Filter, EnKF), Analytical Method(AM)를 적용한다. EnKF는 시간 단위 수위 관측값을 순차적으로 동화하여 유입량과 저수량을 갱신하며, AM은 유입량의 시간적 변동과 관측수위 오차를 동시에 고려하여 유입량을 추정한다. 각 방법으로 산정한 유입량은 관측유량을 홍수추적하여 산정한 유량과 비교하고, 수문곡선의 재현성, 첨두유량, 첨두시간, 사상 총유입량 및 시간적 변동성을 중심으로 평가한다. 강우-유출모형으로는 modèle du Génie Rural à 4 paramètres Horaire(GR4H)를 선정하였다. 단순 물수지법, EnKF 및 AM으로 추정한 유입량을 비교·평가하고, 이 중 적합성이 높은 유입량 자료를 GR4H의 보정자료로 활용하여 전체기간에 대한 시간 단위 유입량 모의 가능성을 검토한다. 본 연구를 통해 각 유입량 추정방법의 특성과 한계를 규명하고, 유입량 관측자료가 제한된 농업용 저수지에서 수위 관측자료와 강우-유출모형을 활용한 시간 단위 유입량 추정의 적용 가능성을 제시하고자 한다.

핵심용어: 농업용 저수지, 시간단위 유입량, 수위, Ensemble Kalman Filter, Analytical Method 강우-유출모형, GR4H

본 결과물은 농림축산식품부의 재원으로 농림식품기술기획평가원의 기후변화대응지능형농업기반관리기술개발사업의 지원을 받아 연구되었음(RS-2025-02215604)본 결과물은 농림축산식품부의 재원으로 농림식품기술기획평가원의 기후변화대응지능형농업기반관리기술개발사업의 지원을 받아 연구되었음(RS-2025-02215604)

* 학생회원 · 충남대학교 지역환경토목학과 연구원 · E-mail : 13ewq@o.cnu.ac.kr

Pareto 최적해 기반 관개수로 수문의 반응특성 분석 및 운영 의사결정정보 도출

Pareto-optimal analysis of irrigation canal gate responses for operational decision support

신지현*, 남원호**, 윤동현***
Ji-Hyeon Shin, Won-Ho Nam, Dong-Hyun Yoon

요 지

농업용수는 저수지에서 간선 및 지선 수로를 거쳐 논 필지로 공급되며, 수로 내 용수배분을 조절하는 수문 운영은 시설별 물관리 매뉴얼과 관리자의 경험적 판단을 기반으로 이루어진다. 현재 물관리 매뉴얼은 영농시기와 가뭄·홍수 등 상황별 관개수로의 구조적·운영적 특성과 수문 간 상호작용을 고려한 세부 운영기준은 제한적이다. 선행연구에서는 수리모형과 최적화 기법을 활용하여 저수지 운영과 용수배분을 개선해 왔으나, 다목적 최적화로 도출된 Pareto 최적해를 현장 수문 운영에 직접 활용하기에는 한계가 있다. 따라서 Pareto 최적해로부터 개별 수문의 반응특성과 수로 네트워크 내 역할을 해석하고, 현장 운영자가 활용할 수 있는 구체적인 판단정보로 전환할 필요가 있다. 본 연구에서는 EPA Storm Water Management Model(EPA-SWMM)과 Non-dominated Sorting Genetic Algorithm III(NSGA-Ⅲ)를 연계하여 도출한 가뭄·평년·홍수 대표 수문조건별 Pareto 최적해를 활용하여 수문별 반응특성을 분석하였다. Pareto 해집합의 수문 개도율과 물관리 목적함수 간 상관관계를 분석하고, 대표해와 이에 근접한 우수해를 기준으로 개별 수문의 개도율을 변화시켜 수문별 민감도와 수문 간 연계반응을 평가하였다. 수문별 반응특성, 네트워크 구조 및 상태정보를 종합하여 각 수문의 운영 역할과 운영 판단정보를 도출하고, 피드백 기반 순차모의를 통해 적용성을 검토하였다. 본 연구에서 운영 역할은 수로 네트워크 내에서 개별 수문이 담당하는 물배분 기능으로 정의하였으며, 운영 의사결정 정보는 수문 조정 시 고려해야 할 상태정보와 개도율 조정방향으로 정의하였다. 본 연구에서는 최적 개도율 조합으로부터 Pareto 최적해를 해석하여 수문별 운영 역할과 조정방향을 도출하는 체계를 제시하였다. 이는 관개수로의 수문 운영 우선순위 설정, 상황별 개도율 조정 및 현장 물관리 의사결정을 지원하는 기초자료로 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

핵심용어: 관개수로 네트워크, 수문 운영, 다목적 최적화, Pareto 최적해, EPA-SWMM, 운영 의사결정 지원

본 결과물은 농림축산식품부의 재원으로 농림식품기술기획평가원의 기후변화대응지능형농업기반관리기술개발사업의 지원을 받아 연구되었음(RS-2025-02219764). 본 연구는 농림축산식품부의 재원으로 한국농어촌공사의 용역연구사업의 지원을 받아 연구되었습니다.

* 정회원・한경국립대학교 융합시스템공학과 박사수료・E-mail : jihyeon.shin@hknu.ac.kr
** 정회원・한경국립대학교 사회안전시스템공학부 교수・E-mail : wonho.nam@hknu.ac.kr
*** 정회원・한경국립대학교 국가농업용수연구센터 선임연구원・E-mail : donghyun.yoon@hknu.ac.kr

미계측 농업용 저수지의 장기 유입량 복원을 위한 물수지 및 강우–유출 모델링 통합 접근

An Integrated Water-Balance and Rainfall-Runoff Modeling Approach for Long-Term Inflow Reconstruction in Data-Scarce Agricultural Reservoirs

라흐몬 아비오던 살라우*, 최경숙**
Rahmon Abiodun Salau, Kyung Sook Choi

Abstract

This study developed an integrated framework for estimating long-term reservoir inflow in data-scarce agricultural reservoirs by combining water-balance reconstruction, data assimilation, conceptual rainfall-runoff modelling, trend analysis, and global sensitivity analysis. Three agricultural reservoirs, Pangog, Nohong, and Soseong, were investigated. Reservoir inflow was reconstructed from observed storage changes, precipitation, evaporation, and irrigation releases. An Ensemble Kalman Filter (EnKF) was applied to obtain smoothed inflow series while preserving the reconstructed annual water balance. A three-tank conceptual rainfall-runoff model was calibrated using the Shuffled Complex Evolution (SCE-UA) algorithm and evaluated through leave-one-year-out cross-validation. Qualified parameter sets were used to reconstruct daily inflow for 1973-2024. Long-term trends were assessed using the Hamed-Rao Mann-Kendall test and Sen's slope estimator, while Sobol global sensitivity analysis was used to identify parameters controlling model performance. Cross-validation yielded two, four, and one qualified parameter sets for Pangog, Nohong, and Soseong, respectively. Median annual reconstructed inflow averaged 298.9, 204.0, and 599.8 mm at Pangog, Nohong, and Soseong, respectively. Pangog showed a significant increasing inflow trend ($p = 0.0044$; Sen's slope = 3.046), whereas Nohong and Soseong showed no significant annual or seasonal trends. Sobol analysis consistently identified the Tank 0 lower storage-outlet coefficient, upper storage-outlet coefficient, and upper storage-height threshold as the dominant parameters affecting KGE across the three reservoirs. However, their cross-reservoir patterns were inconsistent with measured basin characteristics, indicating limited physical interpretability. The framework provides a practical approach for long-term inflow reconstruction in data-limited agricultural reservoirs while highlighting the importance of uncertainty assessment and parameter interpretability.

Key words: Agricultural reservoir; inflow reconstruction; water balance; Ensemble Kalman Filter; Tank model; SCE–UA; long–term inflow; trend analysis; Sobol sensitivity analysis.

This work was supported by the National Research Foundation of Korea (NRF) grant funded by the Korea government Ministry of Science and Information and Communication Technology (MSIT) (RS-2025-00562379).

* Graduate student, Dept. of Agri. Civil Eng., Kyungpook National University ・Email: 2023034521@knu.ac.kr
** Professor, Dept. of Agri. Civil Eng., Kyungpook National University ・E-mail : ks.choi@knu.ac.kr

물수지 방정식 기반 미계측 손실항 도입을 통한 저수지 유입량 추정 기법

Reservoir Inflow Estimation Using a Water Balance Equation with an Unobserved Loss Term

곽지혜*, 김지혜**, 김시내***, 박성재****, 안재영*****, 박선재******, 박수환*******, 강문성********
Jihye Kwak, Jihye Kim, Sinae Kim, Seongjae Park, Jaeyoung An,
Seonjae Park, Suhwan Park, Moon Seong Kang

요 지

용수공급 및 홍수조절 용량 확보를 위한 관리자들의 운영 결정 수립에 있어 상류 유역으로부터의 저수지 유입량 자료가 필수적이다. 그러나 댐 및 저수지의 경우 직접적인 유입량 관측 자료가 부족하기 때문에, 일반적으로 물수지 방정식을 활용하여 유입량을 간접적으로 추정한다. 그러나 기존 방법은 저수지 누수, 양수 및 기타 미계측 손실을 고려하지 못하여 유입량이 음의 값으로 산정되는 문제가 발생한다. 이를 보정하기 위해 일부 기관에서는 음의 유입량을 0으로 처리하고 있으나, 이는 실제 유역의 물수지를 왜곡시킬 수 있다. 본 연구에서는 이러한 한계를 극복하기 위해 물수지 방정식에 미계측 손실을 포괄적으로 반영할 수 있는 손실항을 도입하였다. 해당 손실항은 저수지 누수, 양수, 침투 및 기타 비관측 과정에 의해 발생하는 종합 손실을 대표하는 항으로 정의된다. 손실항 도입에 따라 발생하는 부정정 문제를 해결하기 위해, 본 연구에서는 경계조건을 설정하고 선형계획법을 적용하여 유입량과 손실항을 동시에 추정하였다. 또한 유입량을 기저유량, 유효강우에 의한 유출, 저수지 수면에 직접 유입되는 강우의 세 가지 성분으로 분해하여 물리적 해석이 가능하도록 구성하였다. 특히 방류가 없는 구간에서는 기저유량이 일정하다는 가정을 적용하여 추가적인 제약조건으로 활용하였다. 본 연구에서 제안한 방법은 기존 물수지 해석에서 고려되지 못했던 미계측 손실을 반영함으로써 유역의 물수지를 보다 현실적으로 재현할 수 있으며, 저수지 유입량 추정의 정확도 향상에 기여할 것으로 기대된다.

핵심용어: 물수지 방정식, 선형계획법, 미계측유역, 유역 유입량 산정 기법

본 결과물은 농림축산식품부의 재원으로 농림식품기술기획평가원의 기후변화대응지능형농업기반관리기술개발사업의 지원을 받아 연구되었음(RS-2025-02215604)

* 정회원・서울대학교 농업생명과학대학 생태조경·지역시스템공학부 박사과정・E-mail : dbk02300@snu.ac.kr
** 정회원・서울대학교 농업생명과학대학 농업생명과학연구원 연구원・E-mail : jewisdom@naver.com
*** 정회원・서울대학교 농업생명과학대학 생태조경·지역시스템공학부 박사과정・E-mail : ksinae0519@snu.ac.kr
**** 정회원・서울대학교 농업생명과학대학 생태조경·지역시스템공학부 석사과정・E-mail : sjae323@snu.ac.kr
***** 정회원・서울대학교 농업생명과학대학 생태조경·지역시스템공학부 석사과정・E-mail : jaeyoung0317@snu.ac.kr
****** 정회원・서울대학교 농업생명과학대학 생태조경·지역시스템공학부 석사과정・E-mail : sunnee1015@snu.ac.kr
******* 정회원・서울대학교 농업생명과학대학 생태조경·지역시스템공학부 석사과정・E-mail : blackswan2018@snu.ac.kr
******** 정회원・서울대학교 농업생명과학대학 조경·지역시스템공학부 교수・E-mail : mskang@snu.ac.kr

농어촌물이용 II
(관개배수공학)

C-O-3

THE KOREAN SOCIETY OF AGRICULTURAL ENGINEER

농업용 저수지 역할 다원화에 따른 Dynamic MOES 기반 실시간 운영 의사결정 지원 기법

Dynamic MOES-based Decision Support Method for Real-time Multi-purpose Operation of Agricultural Reservoirs

김지혜*, 강문성**
Jihye Kim, Moon Seong Kang

요 지

최근 기후변화로 인해 국지성 집중호우나 가뭄 등 기상이변이 빈번하게 발생하면서, 기존에 농업용수 공급을 주목적으로 하던 농업용 저수지에도 홍수 조절과 하천 생태계 보존 등 다원화된 역할이 점차 강조되고 있다. 서로 상충하는 여러 목적을 동시에 충족하기 위해서는, 시시각각 변하는 기상 조건에 즉각적으로 대응하면서 실무자의 합리적인 판단을 돕는 실시간 의사결정 지원 체계가 필수적이다. 본 연구에서는 농업용 저수지에 부여된 다양한 역할을 통합적으로 고려하여, 동적 다목적 진화 전략(Dynamic Multi-Objective Evolution Strategy, DMOES)을 활용한 실시간 다목적 최적 운영 및 의사결정 지원 기법을 개발하였다. DMOES는 자연계의 진화 원리를 모방하여 최적해를 탐색하는 기법으로, 시간에 따라 수문 조건이 변하는 동적 환경에서 다중 목적을 동시에 만족하는 파레토 최적해 집합(Pareto optimal solution set)을 실시간으로 추적하며, 매시간 갱신되는 단기 예보 강우 자료를 연계하여 최적의 수문 방류 및 농업용수 공급 전략을 도출할 수 있다. 그러나 실무 현장에서는 이렇게 산출된 수많은 최적해 중에서 단 하나의 최종안을 선택하는 과정이 필수적으로 요구된다. 이에 당시의 기상 및 저수지 수문 여건을 동적으로 반영하여 실무자가 가장 합리적인 단일 운영안을 결정하도록 지원하는 실시간 의사결정 지원 체계 구축에 초점을 맞추었다. 본 연구에서 제시된 기법은 향후 농업용 저수지의 다목적 운영 및 통합 의사결정 플랫폼 구축을 위한 핵심 기반 기술로 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

핵심용어: 농업용 저수지, DMOES, 의사결정지원, 이수, 치수

* 정회원・서울대학교 농업생명과학연구원 연구부교수・E-mail : jewisdom@naver.com
** 정회원・서울대학교 조경·지역시스템공학부 교수・E-mail : mskang@snu.ac.kr

요르단의 물 생산성 공간 분포 평가

Assessment of the spatial distribution of the water productivity across Jordan

메이스 하와리*, 김유안**, 김미소***, 서교****
Mais Hawari, Yooan Kim, Miso Kim, Kyo Suh

Abstract

Jordan is one of the most water-scarce countries in the world, with Mediterranean climate (arid- semi-arid). Jordan possess three main climatic and geographic zones: the highlands, Jordan Valley, and the eastern dessert. Despite the several constrains of the water accessibility; the population growth and climate change are imposing even a greater pressure on water resources and infrastructure. In this study, we investigate the spatial differences in agricultural water productivity across Jordan, aiming to evaluate and assess the water productivity methods. The assessment will be performed by collecting data and analyzing images from Geographic Information System (GIS), WaPOR database, AQUAMAPS database. This research expects to demonstrate substantial spatial variability in agricultural water productivity across Jordan, with an explicit assessment of the agricultural water efficient usage, in addition to allocating the water productivity gaps.

Key words: Water productivity, Spatial distribution, Agricultural water, water productivity gaps

* 준회원・서울대학교 국제농업기술대학원 박사 과정・E-mail : Maishhawari26@snu.ac.kr
** 정회원・글로벌 스마트팜 혁신인재양성 교육연구단・E-mail : tinguyo@snu.ac.kr
*** 준회원・서울대학교 국제농업기술대학원 석사 과정・E-mail : miso.kim@snu.ac.kr
**** 정회원・서울대학교 국제농업기술대학원 전임 교수・E-mail : kyosuh@snu.ac.kr

SWMM을 이용한 국내 밭 필지 단위에서의 기후변화에 따른 작물 증발산량 및 관개용수 공급 시나리오 영향 분석

Analysis of Climate Change Impacts on Crop Evapotranspiration and Irrigation Supply Scenarios at the Plot Scale in Upland Fields Using SWMM

박용진*, 이용관**, 정지훈***, 이현진****, 김성준*****
Yongjin Park, Yonggwan Lee, Jihoon Chung, Hyeonjin Lee, Seongjoon Kim

요 지

본 연구는 SWMM(Storm Water Management Model) 기반 물수지 해석 기법을 필지 규모(plot-scale)의 밭에 적용하여, 기후변화가 작물 용수 수요와 관개용수 공급 안정성에 미치는 영향을 평가하였다. 대상 작물은 대표적인 밭작물인 콩과 고추로 선정하였으며, 경기도 안성시에 위치한 Testbed를 대상으로 분석을 수행하였다. 과거 기상 관측자료(ASOS)와 미래 기후변화 시나리오(SSP, Shared Socioeconomic Pathways)를 입력자료로 활용하여, FAO Penman-Monteith 방정식과 생육단계별 작물계수(K_c)를 적용한 작물 증발산량(ET_c) 및 물 수요의 시계열 변화를 과거(2010s)와 미래(2080s) 기후 조건에 대해 각각 산정하였다. SWMM에는 LID(Low Impact Development) 기능을 응용하여 밭의 침투 및 토양수분 거동을 모의하고, 변조제어기법을 통해 자동물꼬 등 수문 조절 장치의 실시간 운영 로직을 통합 수문 네트워크에 구현하였다. 또한 기존 관측 체계를 보완하여 재구축한 약 1년간의 Testbed 실측자료(AWS 및 관개량, 배수량, 토양수분, 지하수위 센서)를 활용하여 모의 결과를 검증하였다. 검증된 모형을 이용해 (1) 지표수 단일 공급, (2) 지하수 단일 공급, (3) 지표수-지하수 연계 공급의 세 가지 관개 시나리오를 과거 및 미래 기후 조건에 각각 적용하여 비교함으로써, 미래 관개용수 공급 필요량을 예측하고 공급 안정성을 평가하였다. 분석 결과, 지표수-지하수 연계 공급 방식이 단일 수원 공급 방식에 비해 공급 안정성을 향상시키는 것으로 나타났다. 또한 미래 기후 시나리오에서는 관개용수 첨두(Peak) 수요가 증가하고, 그 발생 시기가 생육 초기로 앞당겨지는 것으로 전망되었다. 이러한 결과는 밭 농업 시스템의 기후변화 적응형 물관리 전략을 수립하기 위한 기초자료로 활용될 수 있다.

핵심용어: 작물 증발산, SWMM, 기후변화 시나리오, 물수지 분석, 농업용수 공급 시나리오

본 결과물은 환경부의 재원으로 한국환경산업기술원의 수생태계 건강성 확보 기술개발사업의 지원을 받아 연구되었습니다(RS-2025-02304832). 본 결과물은 농림축산식품부의 재원으로 농림식품기술기획평가원의 기후변화대응지능형농업기반관리기술개발사업의 지원을 받아 연구되었음(RS-2025-02263147).

* 정회원・건국대학교 일반대학원 사회환경공학부 석사과정・E-mail : pyj991123@konkuk.ac.kr
** 정회원・건국대학교 아시아시설물연구센터 조교수・E-mail : leeyg@konkuk.ac.kr
*** 정회원・건국대학교 아시아시설물연구센터 박사후연구원・E-mail : gop1519@konkuk.ac.kr
**** 정회원・건국대학교 일반대학원 사회환경공학부 석사과정・E-mail : s7511ss@konkuk.ac.kr
***** 정회원・건국대학교 공과대학 사회환경공학부 정교수・E-mail : kimsj@konkuk.ac.kr

국내 농공학계 논의와 일본 사례를 통해 본 농업생산인프라의 과제

Challenges for Agricultural Production Infrastructure: Insights from Discussions in Korea and Cases from Japan

허건*, 박영진**, 서상기***, 박영준****
Gun Heo, Yeongjin Park, Sangkee Seo, Youngjun Park

요 지

기후변화, 농촌 인구감소와 고령화, 농업생산기반시설의 노후화, 디지털 기술의 발전 등 농업·농촌을 둘러싼 여건이 빠르게 변화하고 있다. 이에 농업생산인프라도 재해안전과 안정적인 용수공급이라는 기본 역할과 함께, 변화하는 영농방식과 농업경영을 어떻게 뒷받침할 것인지 살펴볼 필요가 있다.

본 글에서는 전국 대학 농공학과와 농어촌연구원의 간담회(2023~2024)에서 제기된 의견과 일본 농업농촌공학회 참석(2023~2025)을 통해 접한 논의와 사례를 살펴보았다. 국내에서는 시설의 조성·관리에서 농촌자원의 활용과 운영으로, 경험 중심의 관리에서 데이터 기반 운영으로 역할을 확장할 필요성이 제기되었다. 일본에서도 농업인 감소, 기후변화, 시설 노후화에 대응하여 스마트농업을 위한 생산기반 정비, ICT·자동화를 활용한 물관리와 시설관리, 에너지 절감과 재생에너지 활용 등 생산기반의 효율적인 운영과 농업경영을 연계하려는 다양한 시도가 이루어지고 있다.

이러한 국내외 논의와 사례에서 공통적으로 나타나는 과제를 네 가지 질문으로 정리하였다. 첫째, 기후위기 속에서도 농업생산을 안정적으로 유지할 수 있는가, 둘째, 인력 감소에 대응하여 농지와 생산기반시설을 보다 적은 인력으로 운영할 수 있는가, 셋째, 노후시설을 보다 안전하고 효율적으로 관리할 수 있는가, 넷째, 생산인프라를 농업인의 영농 지속과 소득 향상, 나아가 농촌의 지속가능성을 뒷받침하는 기반으로 확장할 수 있는가이다.

이러한 질문에 대응하기 위한 기술과 연구기반은 농공학 분야에 이미 상당 부분 축적되어 있다. 따라서 앞으로는 새로운 기술의 개발과 함께, 축적된 기술과 데이터를 미래 농업과 농업인의 필요를 중심으로 어떻게 연결하여 실제 운영에 활용할 것인지가 중요하다. 기후·작물·용수정보를 연계한 생산안정, AI·위성·계측·자동화를 활용한 운영지원, 위험도 기반 시설관리, 물·농지·에너지 등 지역자원의 연계도 이러한 관점에서 검토할 필요가 있다.

특히 농업생산인프라의 발전 방향은 변화하는 농산업과 분리하여 생각하기보다, 앞으로의 농업이 필요로 하는 생산방식과 경영을 먼저 살펴보고 이를 뒷받침할 생산환경과 운영방식을 역으로 검토하는 관점에서 모색할 필요가 있다. 이를 통해 농업인의 노동과 비용을 줄이고 생산성과 소득 향상으로 이어지도록 하는 것이 중요하다.

핵심용어: 농산업 연계 생산기반, 데이터 기반 운영, 농촌자원, 농업경영

* 정회원・한국농어촌공사 제주지역본부 통합광역화사업추진단장 ・E-mail : gun@ekr.or.kr
** 정회원・한국농어촌공사 경남지역본부 거창함양지사장 ・E-mail : water87@ekr.or.kr
*** 정회원・(주)동해종합기술공사 사장 ・E-mail : skseo1965@gmail.com
**** 정회원・한국농어촌공사 농어촌연구원 책임연구원・E-mail : ramses11@ekr.or.kr

물관리에서 존재론적 환경론: 균형 기반 통합 패러다임

Ontological environmentalism in water management: A balance-based integrative perspective

노재경*
Jaekyoung Noh

요 지

현재의 환경 논의는 종종 인간의 개입을 본질적으로 부정하는 이분법적 경향을 보인다. 댐과 저수지와 같은 수자원 시설을 자연에 대한 '침해'로만 규정하는 시각은 환경 보전의 의도를 담고 있으나, 실제 물순환 체계에서 요구되는 기능적 균형을 충분히 반영하지 못한다. 이러한 접근은 결과적으로 가뭄 시 하천유량의 고갈과 홍수 시 극단적 유출 증가를 방치하여, 오히려 생태계의 불안정성을 심화시킬 가능성이 있다.

존재 관점에서의 환경론은 모든 요소가 포함된 전체 속에서의 균형을 핵심 기준으로 삼는다. 여기서 균형은 단순한 상태가 아니라, 자연·인간·시설·기술이 상호작용하며 형성하는 동적 조건이다. 이 관점에서 물관리는 특정 요소를 배제하거나 절대화하는 것이 아니라, 전체 시스템의 안정성과 지속성을 유지하는 방향으로 설계되어야 한다.

댐과 저수지는 이러한 균형을 유지하기 위한 하나의 물리적 수단으로 이해될 수 있다. 저류 기능은 하천 유량의 변동성을 완화하고, 최소 생태유량을 유지하며, 극한 홍수 시 에너지를 조절하는 역할을 수행한다. 이러한 기능이 부재할 경우 하천 시스템은 유량의 극단적 변동에 노출되며, 이는 생태적·사회적 취약성을 동시에 증가시킨다.

존재론적 환경론은 환경 관리의 기준을 '배제와 비판'에서 '책임과 통합'으로 전환할 것을 요구한다. 이는 인간의 개입이 갖는 한계를 인정하면서도, 자연의 회복력과 기술적 역량을 결합하여 최적의 균형 상태를 형성하려는 접근이다. 이때 중요한 것은 특정 수단의 찬반이 아니라, 전체 시스템에서의 기능과 결과에 대한 객관적 평가이다.

물관리에서 나타나는 갈등은 단순한 기술적 문제를 넘어, 어떤 기준으로 현실을 해석할 것인가에 대한 문제와도 연결된다. 존재 관점의 환경론은 데이터 기반의 사실 인식을 바탕으로, 자연과 인간이 분리된 대상이 아니라 상호 의존적 시스템임을 전제로 한다. 이러한 접근은 수사적 대립을 넘어 실질적 공존과 지속가능한 물관리를 위한 이론적 기반을 제공한다.

아울러 존재론적 환경론은 댐과 저수지의 존재론적 홍수관리에서 그 실질적 역량을 드러낸다. 홍수 시 확보된 저류능력은 단순한 수위 조절을 넘어, 이후 용수 이용 가능량의 안정성을 높이고 생태유량의 유지·증가로 이어진다. 이는 홍수 대응과 수자원 이용, 생태계 유지가 분리된 기능이 아니라 상호 연결된 과정임을 보여주며, 결과적으로 선순환적 동적 균형을 형성한다.

핵심용어: 존재론, 환경론, 균형, 수자원 관리, 댐 및 저수지, 생태유량, 시스템 통합

* 정회원・충남대학교 농업생명과학대학 지역환경토목학과 명예교수・E-mail : jknoh3109@hanmail.net

APEX 모형을 활용한 간척농지의 포장경사별 수문 및 작물 스트레스 반응 분석

Hydrologic and crop stress responses to field slope in reclaimed coastal farmlands using the APEX model

이예준*, 남원호**, 박성규***, 정재학****, 곽진협*****, 이광승******
Ye-Jun Lee, Won-Ho Nam, Seong-Gyu Park, Jae-Hak Jeong,
Jin-Hyeob Kwak, Kwang-Seung Lee

요 지

간척농지는 경지면적 확보와 농업 생산기반 확대를 위한 주요 토지자원이다. 그러나 평탄한 지형과 불량한 배수조건은 강우 후 토양 과습을 유발하고, 근권의 통기성을 저하시켜 작물 생육을 제한할 수 있다. 간척농지의 배수 개선을 위해 암거배수시설이 활용되고 있으나, 높은 설치비와 긴 시공기간으로 인해 대체 배수기술에 대한 검토가 필요하다. 포장경사 조성은 지표배수를 촉진할 수 있는 방법이지만, 배수 개선에 따른 토양수분 감소와 지표유출 및 토양유실 증가를 함께 고려해야 한다. 특히 강우가 부족한 조건에서는 토양수분 감소가 작물의 수분 스트레스를 심화시킬 수 있으므로, 배수성 확보와 작물 생육에 필요한 토양수분 유지를 동시에 고려한 적정 경사의 설정이 중요하다. 또한 포장경사에 대한 수문 및 작물 반응은 토양과 수문 특성에 따라 다르게 나타날 수 있어 지역별 평가가 요구된다. 본 연구에서는 국내 대표 간척농지를 대상으로 APEX(Agricultural Policy/Environmental eXtender) 모형을 구축하고, 포장경사 변화에 따른 수문 반응과 작물 수분 스트레스를 분석하였다. 포장경사 조건별 지표유출량, 토양유실량, 토양수분 및 작물 수분 스트레스를 모의하고, 지역별 토양 및 수문 특성에 따른 반응 차이를 비교하였다. 또한 토양수분과 토양유실량의 변화를 바탕으로 포장경사 조성에 따른 토양수분의 배출 및 저장 특성을 평가하고, 토양수분 변화와 작물 수분 스트레스 간의 관계를 분석하였다. 이를 통해 포장경사 증가에 따른 배수 개선 효과와 지표유출 및 토양유실 증가 사이의 상충관계를 평가하고, 지역별 특성을 반영한 포장경사 관리 방향을 제시하였다. 본 연구의 결과는 간척농지의 수문 특성과 작물 생육조건을 고려한 적정 포장경사 관리기준을 마련하고, 안정적인 작물 생산과 토양자원 보전을 위한 관리방안을 수립하는 데 기초자료로 활용될 수 있다.

핵심용어: 간척농지, 포장경사, 수문 반응, 작물 수분 스트레스, APEX 모형

본 연구는 농촌진흥청의 공동연구사업 (과제번호: RS-2023-00224283)의 지원을 받아 연구되었음.

* 정회원・한경국립대학교 융합시스템공학과 박사과정・E-mail : yejun.lee@hknu.ac.kr
** 정회원・한경국립대학교 사회안전시스템공학부 교수・E-mail : wonho.nam@hknu.ac.kr
*** 비회원・텍사스텍대학교 토목환경건설공학과 조교수・E-mail : seonggyu.park@ttu.edu
**** 비회원・텍사스 A&M 대학교 농업생명연구소 교수・E-mail : jaehak.jeong@ag.tamu.edu
***** 정회원・전북대학교 지역건설공학과 부교수・E-mail : jh_kwak@jbnu.ac.kr
****** 정회원・농촌진흥청 국립식량과학원 간척지농업연구팀 연구사・E-mail : kslee23@korea.kr

농업 · 수문 분석을 위한 CHIRTS-ERA5 격자 기온자료의 국내 적용성 평가

Assessment of CHIRTS-ERA5 gridded temperature data for agro-hydrological applications in South Korea

문영식*, 남원호**, 양미혜***, 김태웅****
Young-Sik Mun, Won-Ho Nam, Mi-Hye Yang, Tae-Woong Kim

요 지

최근 기후변화로 폭염을 비롯한 고온 현상이 빈번하게 발생하면서 농작물 생육, 농업용수 수요 및 가뭄 등 농업·수문 분야의 기후위험이 증가하고 있다. 이러한 기후 현상의 지역적 차이와 장기적 변화를 분석하기 위해서는 지상관측자료와 함께 공간적으로 연속된 고해상도 격자 기온자료를 활용할 필요가 있다. 국내 지상관측자료는 장기간에 걸쳐 신뢰도 높은 기온정보를 제공하지만, 관측소의 공간적 분포가 제한적이고 불균등하여 산지, 해안 및 농업지역의 기온 변화를 공간적으로 파악하는 데 한계가 있다. 이에 따라 전 지구 격자 기후자료의 활용이 증가하고 있으나, 농업·수문 분석에 적용하기 위해서는 국내 기후와 지형 특성을 고려한 관측자료 기반의 검증이 선행되어야 한다. 본 연구에서는 Climate Hazards Center Temperature with Station(CHIRTS)과 European Centre for Medium-Range Weather Forecasts Reanalysis v5(ERA5)를 결합하여 구축된 공간해상도 0.05°의 CHIRTS-ERA5 기온자료를 대상으로 국내 농업·수문 분석에 대한 적용성을 평가하고자 하였다. 검증자료로는 기상청 종관기상관측시스템(Automated Synoptic Observing System, ASOS) 60개 관측소의 월평균 최고기온(Tmax)과 최저기온(Tmin)을 활용하였다. 각 관측소를 CHIRTS-ERA5 육지 격자와 최근접 격자점 방식으로 매칭하고, 편의(Bias), 평균절대오차(Mean Absolute Error, MAE), 평균제곱근오차(Root Mean Square Error, RMSE), 비편향 평균제곱근오차(unbiased Root Mean Square Error, ubRMSE) 및 Pearson 상관계수를 산정하여 기온자료의 재현성을 정량적으로 평가하였다. 또한 전체 기간과 계절별·관측소별·고도별 오차 특성을 비교하여 CHIRTS-ERA5 최고·최저기온의 시공간적 재현성과 적용상의 불확실성을 분석하였다. 본 연구의 결과는 CHIRTS-ERA5 격자 기온자료의 국내 적용 가능성과 시공간적 오차 특성을 규명하고, 폭염과 농업가뭄 분석, 잠재증발산량 및 농업용수 수요량 산정, 기후변화 영향평가 등 격자 기반 농업·수문 분석에서 자료의 적정한 선정과 활용을 위한 기초자료로 이용될 수 있을 것으로 기대된다.

핵심용어: 기후변화, CHIRTS-ERA5, 격자 기온자료, 농업 · 수문 분석, 기온 재현성, 시공간 오차 분석

본 연구는 기후에너지환경부의 재원으로 한국환경산업기술원의 기후변화 적응 수재해 관리 기술개발사업(R&D)의 지원을 받아 연구되었습니다(RS-2026-25501478).

* 정회원・한경국립대학교 국가농업용수연구센터 선임연구원・E-mail : youngsik.mun@hknu.ac.kr
** 정회원・한경국립대학교 사회안전시스템공학부 교수・E-mail : wonho.nam@hknu.ac.kr
*** 정회원・한경국립대학교 국가농업용수연구센터 선임연구원・E-mail : mihye.yang@hknu.ac.kr
**** 비회원・한양대학교(ERICA) 건설환경공학과 교수・E-mail : twkim72@hanyang.ac.kr

구조, 재료 및 시공

B-0-1

THE KOREAN SOCIETY OF AGRICULTURAL ENGINEER

고로슬래그와 폐디스플레이유리분말을 활용한 알칼리 활성 무시멘트 결합재의 역학 및 반응 특성

Mechanical and Reaction Characteristics of Alkali-Activated Zero-Cement Materials Incorporating Waste LCD Glass Powder and Blast Furnace Slag

유일환*, 박나영**, 이재규***, 신장원****, 이호영*****, 이동규******
Ilhwan You, Nayoung Park, Jaekyu Lee, Jangwon Shin, Hoyoung Lee, Donggyu Lee

요 지

본 연구에서는 폐디스플레이 유리분말 (LCD)의 건설재료로서의 재활용 가능성을 평가하기 위해 LCD 유리분말과 고로슬래그를 혼합한 알칼리 활성 재료의 특성을 분석하였다. 고로슬래그를 LCD 유리분말로 0, 25, 50, 75 및 100% 질량 치환하여 시험체를 제작하고, 압축강도와 공극구조 및 수화반응 특성을 평가하였다. LCD 유리분말을 50%까지 치환한 경우 순수 고로슬래그 기반 알칼리 활성 재료와 비교하여 압축강도의 저하가 나타나지 않았으며, 특히 25% 치환 시 가장 높은 압축강도와 낮은 공극률이 확인되었다. LCD 유리분말에서 용출된 Al은 C-(N)-A-S-H계 반응생성물의 중합을 촉진하여 조직을 치밀화하는 데 기여한 것으로 분석되었다. 반면, LCD 유리분말 치환율이 50%를 초과하면 공극용액의 pH 및 전구체 반응성이 감소하면서 압축강도가 크게 저하되었다. 따라서 적정량의 폐 LCD 유리분말과 고로슬래그의 혼합은 산업폐기물 재활용과 시멘트 사용 저감을 위한 알칼리 활성 건설재료로 활용될 가능성이 있는 것으로 판단된다.

핵심용어: 알칼리 활성화 결합재, 무시멘트 결합재, 고로슬래그, LCD유리

* 종신회원・전북대학교 지역건설공학과 조교수・E-mail : ih-you@jbnu.ac.kr
** 학생회원・전북대학교 지역건설공학과 학부연구생
*** 학생회원・전북대학교 지역건설공학과 학부연구생
**** 학생회원・전북대학교 지역건설공학과 학부연구생
***** 학생회원・전북대학교 지역건설공학과 학부연구생
****** 학생회원・전북대학교 지역건설공학과 학부연구생

산업부산물을 활용한 CSG 콘크리트의 강도 특성 평가

Evaluation of Strength Properties of CSG Concrete Incorporating Industrial By-Products

구재혁*, 신종호**, 이준수***, 조상민****, 박상혁*****,
박채영******, 최유진*******, 박찬기********
Jaehyuk Koo, Jongho Shin, Junsu Lee, Sangmin Jo, Sanghyuk Park, Chaeyoung Park,
Yujin Choi, Changi Park

요 지

본 연구에서는 기존 CSG 공법에서 시멘트 사용량의 일부를 산업부산물로 치환하였을 때 압축강도의 특성을 평가하였다. CSG의 배합 특성을 고려하여 목표기준 압축강도는 4MPa로 설정하였다. 사용 골재는 농업용 저수지 주변 하상골재와 제체골재, 그리고 하상골재와 제체골재를 혼합한 중간골재를 활용하였다. 본 연구에서는 CSG 배합설계를 위해 시멘트량을 100kg/m^{3}으로 고정하였으며 단위수량을 90~120 kg/m^3 범위로 증가시켜 단위수량 변화에 따른 수정비비시험을 진행하였다. 실험결과, 모든 배합조건에서 목표 비비시간인 20±10초를 나타내어 작업성과 시공성을 확보한 것을 확인하였다. 또한, 단위수량에 따른 압축강도 시험결과, 모든 골재 조건에서 단위수량이 100kg/m^3 일때 가장 높은 압축강도를 나타내어 산업부산물 적용 배합으로 설정하였다. 산업부산물을 활용한 배합에서는 시멘트량을 100kg/m^{3}으로 고정한 상태에서 고로슬래그(GGBFS), 플라이애시(FA), 석회석미분말(LP)을 시멘트량의 20%로 각각 치환하여 압축강도 실험을 진행하였다. 하상골재는 Plain 7.52MPa, GGBFS 6.53MPa, FA 5.78MPa, 중간골재는 Plain 5.30MPa, GGBFS 5.19MPa, FA 4.22MPa, 제체골재는 Plain 4.12MPa, GGBFS 3.97MPa, FA 2.85MPa 순으로 압축 강도를 나타내었다. 하상골재와 중간골재를 사용한 경우 모든 배합에서 목표기준을 만족하였으며, 제체골재를 사용한 경우, Plain 배합에서만 목표기준을 만족하였다. 따라서, 제체골재 사용 시 강도 저하를 보완하기 위하여 하상골재와 혼합하여 중간골재로 사용하는 것이 적절한 것으로 판단된다.

핵심용어: 산업부산물, 압축강도, CSG, 수정비비시험

본 결과물은 농림축산식품부의 재원으로 농림식품기술기획평가원의 기후변화대응지능형농업기반관리사업의 지원을받아 연구되었음(RS-2025-02219948)

* 정회원・국립공주대학교 농공학과 박사과정・E-mail : D20250151@smail.kongju.ac.kr
** 학생회원・국립공주대학교 지역건설공학과 학부과정・E-mail : jongho43@smail.kongju.ac.kr
*** 학생회원・국립공주대학교 지역건설공학과 학부과정・E-mail : dlwnstn0123@gmail.com
**** 학생회원・국립공주대학교 지역건설공학과 학부과정・E-mail : jhsam0116@naver.com
***** 학생회원・국립공주대학교 지역건설공학과 학부과정・E-mail : sam040220@naver.com
****** 학생회원・국립공주대학교 지역건설공학과 학부과정・E-mail : yeong0063@naver.com
******* 학생회원・국립공주대학교 지역건설공학과 학부과정・E-mail : tinacyj0203@naver.com
******** 정회원・국립공주대학교 지역건설공학과 교수・E-mail : cgpark@kongju.ac.kr

건설기준 검토를 위한 온톨로지 기반 질의응답 시스템

Ontology-based Question Answering System for Building Code Review

조예림*, 서병훈**, 김동수***, 서예진****, 심지민*****, 김민재******, 최원*******.†
Yerim Jo, Byunghun Seo, Dongsu Kim, Ye-Jin Seo, Jimin Shim, Minjae Kim, Won Choi

요 지

최근 건설산업의 디지털 전환과 함께 건설 전 과정에서 데이터 기반 의사결정 지원의 중요성이 증대되고 있다. 건설기준은 구조물, 부재, 재료, 속성 등 다양한 대상에 대한 규정과 각 규정 간의 관계를 포함하고 있어, 건설기준을 수작업으로 검토하는 기존의 방식에는 많은 시간과 비용이 요구된다. 최근 LLM (Large Language Model)의 발전으로 사용자의 자연어 질문으로부터 건설기준 관련 정보를 제공하는 질의응답시스템 개발에 대한 연구들이 수행되어 왔다. 특히 온톨로지 및 지식그래프를 활용하여 복잡한 건설기준 문서를 디지털화하고 이를 LLM과 결합하여 질의응답시스템의 근거 기반 응답 생성 성능을 향상하려는 연구들이 수행되어 왔다. 온톨로지란 특정 분야의 개념들을 클래스로 분류하고 각 클래스간의 계층적·의미적 관계를 정의한 지식 표현 체계이며, 지식그래프는 온톨로지를 기반으로 각 객체 간의 관계를 그래프 형태로 표현하는 방법이다. 여러 연구들에서 지식그래프를 활용하여 LLM의 환각을 감소시키고, 복잡한 추론 성능을 향상시킬 수 있는 것으로 제시되어 왔다. 그러나 기존의 연구들은 안전관리·품질관리를 중심으로 하여, 설계·시공 단계에서의 연구들은 미비한 실정이다. 본 연구에서는 대표적인 구조부재인 철근콘크리트 보를 대상으로 하여, 건설기준 문서에 대한 온톨로지를 정의하고, 이를 기반으로 지식그래프를 구축하여, 지식그래프와 LLM을 결합한 질의응답시스템을 개발하였다. 이를 통해 사용자의 질문으로부터 지식그래프에서 관련 정보를 검색하고, LLM이 검색 결과를 활용하여 응답을 생성할 수 있도록 하였다. 기존 LLM 기반 질의응답시스템과 응답의 정확도 및 오답·환각의 원인을 분석하여 온톨로지 및 지식그래프 기반의 구조화된 지식 표현이 질의응답시스템 성능에 미치는 영향을 분석하였다.

핵심용어: 온톨로지, 지식그래프, 건설기준, 철근콘크리트, LLM

본 성과물은 (논문, 산업재산권, 품종보호권 등)은 농촌진흥청 연구사업(세부과제번호: RS-2024-00399434)의 지원에 의해 이루어진 것임

* 정회원・서울대학교 지역시스템공학과 박사과정・E-mail : yl6289@snu.ac.kr
** 정회원・서울대학교 농업생명과학연구원 선임연구원・E-mail : tjqudgns123@snu.ac.kr
*** 정회원・서울대학교 지역시스템공학과 박사과정・E-mail : xenonkds@snu.ac.kr
**** 정회원・서울대학교 지역시스템공학과 박사과정・E-mail : hwiey@snu.ac.kr
***** 정회원・서울대학교 지역시스템공학과 박사과정・E-mail : zirnini@snu.ac.kr
****** 정회원・서울대학교 지역시스템공학과 석사과정・E-mail : msarah12@snu.ac.kr
******* 정회원・서울대학교 지역시스템공학과/농업생명과학연구원/융합전공 글로벌 스마트팜 교수・E-mail : fembem@snu.ac.kr

드론 LiDAR 횡단 프로파일의 미분 해석을 이용한 제방 사면 종단 균열 판별 기법

Detection of Longitudinal Cracks on Levee Slopes Using Derivative Analysis of UAV LiDAR Cross-Sectional Profiles

한일우*, 이종혁**, 나욱호***, Anis Rabiu****, 이상익*****†, 곽찬우******,
김서윤*******, 류현********, 전다현*********, 반채원**********
Ilwoo Han, Jonghyuk Lee, Wookho Na, Anis Rabiu, Sangik Lee, Chanwoo Kwak,
Seoyun Kim, Hyeon Ryu, Dahyun Jeon, Chaewon Van

요 지

기후변화로 집중호우의 빈도와 강도가 증가하면서 소하천 제방의 피해 위험이 확대되고 있다. 그러나 현행 육안점검은 손상의 정량적 기록이 어렵고 점검자에 따라 판정이 달라질 수 있다. 최근 드론 관측이 도입되고 있으나 주로 정사영상과 3차원 모델 제작에 머물러 손상 판별로 연계되지 못하고 있다. 따라서 본 연구에서는 드론 LiDAR로 취득한 제내지측 사면 지형자료를 활용하여 손상을 판별하고, 그 결과를 안전진단 전문인력의 판정과 비교·검증하고자 한다. 탐지 대상은 사면 활동의 전조인 종단 균열로 설정하며, 제방 축에 수직인 프로파일을 추출한다. 탐지 목표인 개구폭 5 cm를 고려하여 약 2 cm의 공간 해상도를 확보하고, 지면점으로 분류한 점군을 일정 간격의 프로파일로 재구성한다. 각 프로파일은 1차 미분으로 경사를, 2차 미분으로 곡률을 산정하며, 경사 부호의 반전, 곡률 변화, 함몰 깊이 및 상·하부 형상을 종합하여 균열 후보구간을 설정한다. 또한 계측 오차와 국부 요철의 영향을 줄이기 위해 인접 프로파일에서 반복되는 특징을 손상으로 판별한다. 검증은 자료 전처리, 균열 후보 탐지, 인접 프로파일 확인 및 전문가 판정 비교의 순서로 진행하며, 위치 오차의 허용범위를 고려하여 일치 여부를 평가한다. 손상 위치의 일치도는 F1-score로, 구간별 손상 등급과 평가자 간 일치도는 가중 Cohen's kappa로 산정하고 오탐지 및 미탐지 사례를 함께 검토한다. 제안 기법은 정밀안전진단을 대체하기보다 진단 대상구간을 선별하고 손상 진행을 추적하는 데 활용될 것으로 기대된다. 향후에는 측방향 프로파일을 활용하여 횡단 균열로 판별 대상을 확대하고, 손상 형상을 OpenSees 모델로 전환하여 사면 안전율에 미치는 영향을 분석하고자 한다.

핵심용어: 드론 LiDAR, 횡단 프로파일, 종단 균열, 미분 해석, 전문가 판정 비교

본 성과물은 행정안전부 재난안전중점기술로드맵연계형기술개발사업의 지원을 받아 수행된 연구임(과제번호: RS-2026-25617684)

* 준회원・경북대학교 농업토목공학과 석사과정・E-mail : gksdn6222@naver.com
** 정회원・경북대학교 농업과학기술연구소 연구초빙교수・E-mail : jonghyuk.lee@knu.ac.kr
*** 정회원・경북대학교 농업과학기술연구소 연구원・E-mail : wooks121@knu.ac.kr
**** 정회원・경북대학교 농업과학기술연구소 연구원・E-mail : rabiuanis@knu.ac.kr
***** 정회원・경북대학교 농업토목공학과 조교수・E-mail : sangik@knu.ac.kr
****** 준회원・경북대학교 농업토목공학과 학사과정・E-mail : rcd1106@knu.ac.kr
******* 준회원・경북대학교 농업토목공학과 학사과정・E-mail : ksy0403@knu.ac.kr
******** 준회원・경북대학교 농업토목공학과 학사과정・E-mail : congsister1@knu.ac.kr
********* 준회원・경북대학교 농업토목공학과 학사과정・E-mail : ekgus050103@naver.com
********** 준회원・경북대학교 농업토목공학과 학사과정・E-mail : vchaewon0901@gmail.com

풍압 적용방식에 따른 개방형 비가림시설 골조의 구조거동 특성

Structural Behavior Characteristics of Open-Type Rain-Shelter Frames under Different Wind Pressure Application Methods

김동수*, 서병훈**, 서예진***, 조예림****, 최원*****,†
Dongsu Kim, Byung-Hun Seo, Yejin Seo, Yerim Jo, Won Choi

요 지

개방형 비가림시설의 풍하중 구조해석에서는 지붕면에 작용하는 풍압을 골조에 어떠한 형태로 전달하는지가 변형 및 부재력 분포에 영향을 줄 수 있다. 일반적인 구조설계에서는 적용성과 실용성을 고려하여 대표적인 풍압계수를 이용하지만, 풍동실험에서는 지붕의 위치와 풍향에 따라 서로 다른 풍압분포가 관측된다. 본 연구에서는 이러한 풍압의 공간적 표현 차이에 주목하여, 선행 풍동실험에서 제시된 풍압공별 순풍압계수와 영역별 대표 순풍압계수를 각각 적용한 단동형 및 연동형 비가림시설의 구조거동을 비교하였다. 풍압공별 자료는 지붕면의 풍압 영역과 서까래 담당구간의 중첩관계를 고려하여 등가 선하중으로 변환하였으며, 대표 순풍압계수에도 동일한 하중 매핑 절차를 적용하였다. 이후 3차원 기하비선형 beam 해석을 수행하여 풍향과 풍압 적용방식에 따른 총변위, 기초 인발반력, 휨모멘트, von Mises 응력의 크기와 발생위치, 길이방향 및 동별 분포를 비교하였다. 해석 결과, 위치별 풍압을 유지한 경우에는 풍압의 공간적 변화가 골조의 변형과 부재력 분포에 반영되어 길이방향 및 연동형의 동별 차이가 뚜렷하게 나타났으며, 대표 풍압을 적용한 경우에는 이러한 공간적 변화가 상대적으로 완화되었다. 또한 두 풍압 적용방식의 차이는 구조형식, 풍향 및 평가항목에 따라 서로 다르게 나타나 어느 한 방식이 모든 해석량을 일관되게 증가시키거나 감소시키지는 않았다. 연동형에서는 동별 풍압분포와 인접 골조 사이의 하중전달이 결합되면서 특정 위치의 변형과 부재력 분포가 달라졌으며, 동간 구조적 연결은 최대 단면력이나 응력보다 전체 변형과 동별 변위분포에 상대적으로 큰 영향을 미쳤다. 이상의 결과는 대표 풍압계수를 이용한 표준화된 풍하중 적용과 위치별 풍압정보를 유지한 상세 하중 적용이 서로 다른 구조거동 정보를 제공할 수 있음을 보여주며, 개방형 비가림시설의 상세 구조해석에서는 풍압의 공간적 표현방식과 골조의 하중전달 특성을 함께 고려할 필요가 있음을 시사한다.

핵심용어: 개방형 비가림시설, 풍압 적용방식, 순풍압계수, 구조거동, 유한요소해석

본 성과물 (논문, 산업재산권, 품종보호권 등)은 농촌진흥청 연구사업(세부과제번호: RS-2024-00399434)의 지원에 의해 이루어진 것임

* 정회원・서울대학교 지역시스템공학과 박사과정・E-mail : xenonkds@snu.ac.kr
** 정회원・서울대학교 농업생명과학연구원 선임연구원・E-mail : tjqudgns123@snu.ac.kr
*** 정회원・서울대학교 지역시스템공학과 박사과정・E-mail : hwiey@snu.ac.kr
**** 정회원・서울대학교 지역시스템공학과 박사과정・E-mail : yl6289@snu.ac.kr
***** 정회원・서울대학교 지역시스템공학과/융합전공 글로벌 스마트팜 교수・E-mail : fembem@snu.ac.kr

가중치 설정을 적용한 Taguchi Method 기반 콘크리트 배합 최적화

Concrete Mix Optimization Based on the Taguchi Method with Weight Assignment

최진수*, 이재환**, 구자현***, 이소희****, 이지환*****, 신현오******
Jinsoo Choi, Jae-Hwan Lee, Jahyeon Koo, Sohee Lee, Jihwan Lee, Hyun-Oh Shin

요 지

본 연구는 Taguchi Method와 사용자 정의 가중치 설정 기법을 결합하여 다중 성능 목표를 동시에 만족하는 콘크리트 최적 배합설계 방법론을 제안한다. 최근 콘크리트 구조물은 사용 환경과 요구 조건에 따라 역학적 특성 및 유동학적 특성 등 다양한 성능 지표를 복합적으로 요구받는다. 그러나 물-결합재비, 잔골재율, 단위수량 등 다양한 배합 인자의 조합을 모두 실험하는 전수평가 방식은 막대한 시간과 경제적 비용이 소요되어 실무적 배합 도출에 큰 한계가 존재한다.

이러한 비효율성을 극복하기 위해 본 연구에서는 굳지 않은 콘크리트(Fresh Concrete) 목표 특성 및 경화 콘크리트 (Hardened Concrete) 목표 특성을 동시에 고려하는 콘크리트 배합설계에 Taguchi Method를 적용하여, 직교배열표(Orthogonal Array)를 통해 실험 횟수를 획기적으로 감축하면서도 주요 배합 인자의 주효과를 엄밀히 평가할 수 있는 체계적인 실험 프로토콜을 수립하였다. 또한, 실험 오차나 외부 변수(Noise) 대비 목표 품질(Signal)의 수준을 정량화하는 S/N비(Signal-to-Noise Ratio)를 각 성능 목표별로 도출하고, 항목별 상대적 중요도에 따른 가중치를 부여하여 다목적 성능을 하나의 종합 지표로 통합 평가하였다.

실험 결과 분석을 통해 상충 여러 목표 성능을 균형 있게 충족하는 최적의 배합 인자 수준 조합을 성공적으로 도출하였다. 본 연구에서 제시한 가중치 기반 Taguchi 최적화 기법은 최소한의 실험만으로 목표 성능에 부합하는 기준 배합을 신속하고 경제적으로 설계할 수 있음을 입증하였으며, 향후 다양한 특수 목적 및 고기능성 콘크리트 개발의 기초 배합 설계 프레임워크로 유용하게 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

핵심용어: 다구찌 기법, 가중치, 굳지 않은 콘크리트, 경화 콘크리트, 직교배열표, S/N비

본 연구는 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단의 지원(RS-2024-00356543)을 받아 수행된 연구임.

* 정회원・충남대학교 대학원 지역환경토목학과 박사과정・E-mail : ch.jinsu@o.cnu.ac.kr
** 정회원・충남대학교 대학원 지역환경토목학과 박사과정・E-mail : dlwoghks033@o.cnu.ac.kr
*** 학생회원・충남대학교 대학원 지역환경토목학과 석사과정・E-mail : koojh1213@o.cnu.ac.kr
**** 학생회원・충남대학교 대학원 지역환경토목학과 석사과정・E-mail : lhee1204@o.cnu.ac.kr
***** 학생회원・충남대학교 지역환경토목학과 학사과정・E-mail : ji2330963@gmail.com
****** 종신회원・교신저자・충남대학교 지역환경토목학과 교수・E-mail : hyunoh.shin@cnu.ac.kr

김정은 시기 북한의 시멘트 생산현황과 전망

North Korea's Cement Production Status and Outlook During the Kim Jong-un Period

김관호*
Kwanho KIM

Abstract

This study aims to analyze the current status and outlook of North Korea's cement production under the Kim Jong-un regime. One of the core pillars of economic policy in the Kim Jong-un era is large-scale construction politics. During this era, North Korea's cement industry prioritizes both qualitative and quantitative production driven by state-led construction politics. Although North Korea possesses abundant limestone resources, it faces structural limitations such as unstable power and fuel supply due to sanctions, as well as aging facilities. It is projected that North Korea will struggle to maintain cement supply in the future unless energy infrastructure improves and modernization takes place through external technology and capital.

Key words: Construction, Cement, Limit

요 지

김정은 시기 북한 경제정책의 핵심 축 하나는 대규모 건설정치이다. 평양시 5만세대, 농촌살림집 건설, 도시와 농촌의 격차를 줄이기 위한'지방발전 20×10정책'(매년 20개 시·군에 현대적인 지방공업공장을 10년안에 건설), 간석지 건설 및 대규모 관개체계 건설 등이 추진됨에 따라 기초자재인 시멘트 수요가 폭증하고 있다. 이에 북한은 2022년'시·군건설 세멘트보장법'을 처음으로 제정했다. 법은 제1장 시군건설 세멘트보장법의 기본, 제2장 시군건설세멘트 보장계획, 제3장 시군건설세멘트의 생산과 조건보장, 제4장 시군건설세멘트의 공급과 수송, 리용, 제5장 시군건설세멘트보장사업에 대한 지도통제로 구성되어 있다.

북한의 시멘트 총 생산량은 년간 약 1.200만톤(93년) 수준으로 추정되나 실제 가동률 저하로 인해 연간 생산량은 약 500～600만톤 수준이다. 김정은 위원장은 제8차 당대회(2021년)에서 국가경제발전 5개년계획의 핵심과제로 연간 800만톤 시멘트 생산목표를 제시했다. 그로 인해 2023년과 2024년에는 700만톤을 상회했다. 그러나 북한의 시멘트 산업이 갖는 한계가 있다. 첫째, 전력 및 에너지 부족이다. 시멘트 제조시 소성과정에서 막대한 양의 고열에너지와 전력이 소요되지만 만성적인 전력난과 중유 수급은 공장 가동률을 저하시키는 결정적 원인이 된다. 둘째, 설비의 기술적 노후화이다. 대부분의 공장이 1970～1980년대 도입된 시스템으로 이는 에너지 소비를 극대화시키고 생산 효율성을 떨어뜨린다. 셋째, 시멘트제품의 포장문제이다. 북한은 포장용기로 사용되고 있는 크라프트지가 부족하여 PP포대를 사용하고 있는데 잘 찢어져 문제가 되고 있다. 북한의 시멘트 생산 전망은 수급의 불균형이 심화 될것으로 예측된다. 김정은 시기 지방공업공장 건설과 농촌살림집 건설 등 시멘트 수요는 지속적으로 급증될 것이나 단기간 내 설비나 에너지 수급이 어려워 800만톤 목표달성은 어려울 것으로 전망된다. 그리고 증산에 따른 조기 출하 및 재료 불량, 무연탄 품질저하 등은 시멘트의 강도를 낮추어 구조물의 안전성과 내구성에 위험요소로 작용할 수 있다. 북한은 풍부한 석회석자원을 가지고 있지만 대북제제로 전력, 연료,수급불안과 설비의 노후화라는 구조적 한계를 가지고 있다. 북한은 향후 에너지 인프라 개선 및 외부의 기술자본을 통한 현대화가 이루어지지 않는 한 시멘트의 원할한 공급은 어려울 것으로 판단된다.

핵심용어: 건설, 시멘트, 한계

* 정회원・한국농어촌공사 농어촌연구원 연구위원・E-mail : man2@ekr.or.kr

중동 기후 조건에서 온실 구조 유형에 따른 냉·난방 부하 특성의 BES 기반 비교 분석

Comparative Analysis of Heating and Cooling Load Characteristics by Greenhouse Structural Type under Middle Eastern Climatic Conditions Based on BES

강성하*, 라쉬드 아드난**, 유재민***, 로딜리아스 넬슨 주니어****,
김가은*****, 박성조******, 여욱현*******
Seong-Ha Kang, Rasheed Adnan, Jae-Min Yu, Nelson Junior Rodillas,
Ga-Eun Kim, Seong-Jo Park, Uk-Hyeon Yeo

요 지

최근 지구온난화의 영향으로 전 세계적으로 이상기후의 발생 빈도와 강도가 증가하면서 농업 생산성이 저하되고 농가의 경제 손실이 발생하고 있다. 이에 따라 온실 내부 환경을 정밀하게 제어할 수 있는 스마트팜 기술의 활용이 확대되고 있으며, 국내를 넘어 해외 적용 사례도 증가하고 있다. 특히 식량안보 확보에 대한 수요가 높은 중동 지역은 스마트팜 기술의 주요 적용 대상 지역으로 주목받고 있다. 그러나 국내의 온대 기후를 기반으로 설계된 온실을 중동의 고온·건조한 기후 조건에 그대로 적용할 경우, 외기 조건과 일사량의 차이로 인해 냉난방 에너지 요구량이 증가하여 온실 내부의 적정 재배환경을 유지하는데 어려움이 발생할 수 있다. 따라서 중동 지역에서 스마트팜을 적용하기 위해서는 현지 기후조건을 고려하여 온실 구조에 따른 냉난방 부하 특성을 파악할 필요가 있다. 이에 본 연구에서는 건물 에너지 시뮬레이션(Building Energy Simulation, BES)을 활용하여 구조적 형상이 서로 다른 두 온실을 대상으로 기후 조건에 따른 냉난방 에너지 부하 특성을 비교하였다. 연구 대상은 경남 진주에 설치된 2연동 PO 필름 온실과 전남 담양의 에어돔 온실로 선정하였으며, 두 온실의 구조적 특성에 따른 에너지 부하 차이를 비교하기 위해 2연동 PO필름 온실의 모델링 체적을 에어돔과 동일한 규모로 확대(Scaling)하였다. 시뮬레이션 모델의 신뢰성을 확보하기 위해 2연동 PO필름 온실의 실제 운전조건을 반영하여 검증하였다. 실측 온도와 시뮬레이션 결과를 비교한 결과, RMSE는 0.795℃ 및 R^2는 0.618로 나타나 실측값과 유사한 경향을 나타내었다. 검증된 모델을 활용하여 각 온실의 에너지 부하를 비교한 결과, 연간 냉방 에너지부하는 각각 PO 필름 온실 202.90 kWh/m^2와 에어돔 온실 180.93 kWh/m^2로 나타나 두 온실 간 10.8%의 차이가 확인되었으며, 특히 6~8월에는 냉방 에너지 집약도는 구조 유형에 따라 22.0%의 차이를 보였다. 이러한 결과는 고온·건조한 기후에 적합한 온실 설계 및 에너지 성능 평가를 위한 기초자료로 활용될 수 있다.

핵심용어: 건물에너지시뮬레이션, 온실 구조적 특성, 냉난방 부하, 중동기후

본 연구는 농림축산식품부의 재원으로 농림식품기술기획평가원 연구사업 (세부과제번호: RS-2025-02313370) 의 지원에 의해 이루어진 것임.

* 준회원・경상국립대학교 대학원 농공학과 석사1・E-mail : kasv123@gnu.ac.kr
** 정회원・경상국립대학교 스마트팜 선임연구원・E-mail : adnan.rasheed@gnu.ac.kr
*** 준회원・경상국립대학교 대학원 농공학과 석사2・E-mail : woals5965@gnu.ac.kr
**** 준회원・경상국립대학교 대학원 농공학과 석사3・E-mail : ntrodillas@gnu.ac.kr
***** 준회원・경상국립대학교 대학원 농공학과 석사4・E-mail : gekim@gnu.ac.kr
****** 준회원・경상국립대학교 지역시스템공학과 학부생・E-mail : qkrwnl220@gnu.ac.kr
******* 정회원・경상국립대학교 지역시스템공학과 조교수・E-mail : uhyeo@gnu.ac.kr

굴 패각 소성점토 시멘트 모르타르의 온도에 따른 강도 발현 특성 분석

Analysis of Temperature-Dependent Strength Development Characteristics of Oyster Shell Calcined Clay Cement Mortar

이원영*, 손영환**, 조상범***, 최종민****
Wonyoung Lee, Younghwan Son, Sangbeom Jo, Jongmin Choi

요 지

시멘트 산업의 탈탄소 압박에 따라 보조 시멘트계 재료에 대한 수요가 증가하고 기존 혼화재의 공급이 감소할 것으로 전망되면서, 석회석 소성점토 시멘트 (LC3, Limestone Calcined Clay Cement)가 차세대 건설 재료로 주목받고 있다. 한편, 국내에서는 지속적으로 발생하는 폐 굴 패각 처리 문제에 의해 어려움을 겪고 있는 실정인데, 굴 패각은 주성분이 탄산칼슘인 석회질 재료로 석회석 대체재로 이용될 수 있다. 이에 폐 굴 패각을 LC3에 적용하고자 하는 연구가 최근 수행되고 있다. 하지만, 현장 적용을 위한 공학적 성능을 검증하기 위해서는 실제 시공이 이루어질 수 있는 온도 조건에서의 강도 발현 특성과 원인에 대한 검토가 필요하다. 따라서, 본 연구에서는 굴 패각 소성점토 시멘트 (OC3, Oyster shell Calcined Clay Cement) 모르타르를 대상으로 양생 온도에 따른 압축강도 및 휨강도 발현 특성을 분석하였다. OC3 모르타르와, 비교군인 OPC 모르타르를 5, 20, 35°C에서 수중 양생하였으며, 10개의 재령에서 압축강도 및 휨강도 실험을 수행하여 비교하였다. 또한, 동일한 온도 조건에서 양생한 7, 28일 OC3 페이스트에 대해 화학적 분석 방법을 수행하여 강도 발현 특성이 상이한 이유에 대해 분석하였다. 그 결과, OC3 모르타르는 OPC 모르타르보다 양생 온도에 따른 강도 발현 차이가 큰 것으로 나타났다. 또한, 초기에는 OPC 모르타르보다 강도가 낮게 나타났지만, 충분한 재령이 확보된 후의 강도는 OPC를 상회하는 것으로 나타났다. 화학적 분석 결과, OC3의 온도 의존적 강도 발현은 클링커의 수화 반응, 소성점토의 포졸란 반응, 카보알루미네이트계 수화물의 생성과 관련 있는 것으로 분석된다. 본 연구의 결과를 종합하면, 폐 굴 패각은 OC3의 석회석 대체 재료로 활용될 가능성이 있다. 현장 적용 시에는 초기 강도 발현 지연을 고려한 양생 및 재령 관리가 필요한 것으로 분석되며, 폐 굴 패각의 건설 재료 활용 확대를 위한 기초 자료로 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

핵심용어: 폐 굴 패각; 석회석 소성점토 시멘트; 굴 패각 소성점토 시멘트; 온도 민감도

본 연구는 과학기술정보통신부의 재원으로 한국 연구재단의 지원 (RS-2024-00356669)을 받아 수행된 연구임

* 준회원・서울대학교 지역시스템공학과 석사과정・E-mail : ji4288@snu.ac.kr
** 종신회원・서울대학교 지역시스템공학과 교수・E-mail : syh86@snu.ac.kr
*** 종신회원・서울대학교 지역시스템공학과 박사과정・E-mail : cow9253@snu.ac.kr
**** 준회원・서울대학교 지역시스템공학과 학사과정・E-mail : jongmin0308@snu.ac.kr

농업농촌환경 I
(수질 및 유역관리)

D-0-1

THE KOREAN SOCIETY OF AGRICULTURAL ENGINEER

RUSLE와 지자체별 적응 능력을 고려한 대한민국 소유역별 토양침식 취약성 평가 및 기여도 분석

Soil erosion vulnerability assessment and contribution analysis of sub-watersheds in South Korea considering RUSLE and municipal adaptive capacity

오서주*, 김시내**, 강문성***
Seoju Oh, Sinae Kim, Moon-Seong Kang

요 지

토양침식은 농경지 생산성 저하, 수질 오염, 저수지 퇴적 등을 유발하는 주요 환경 문제로, 우리나라는 집중호우와 급경사 지형으로 인해 단위 면적당 토양침식 잠재력이 높아 취약지역을 식별하고 취약 원인을 규명할 필요가 있다. 기존 연구는 RUSLE를 이용한 토양유실량 산정과 취약지역 도출에 집중되어 왔으나, 지역 간 취약성 편차를 설명하는 결정요인에 대한 정량적 분석은 상대적으로 미흡하였다. 이에 본 연구는 RUSLE 및 IPCC의 적응 능력 결정 요인을 고려하여 대한민국 전역을 소유역 단위로 구분하여 토양침식 취약성을 평가하고, 자연적·사회적 요인이 취약성에 미치는 상대적 영향을 규명하고자 하였다.

토양유실량은 30m 기반 격자 단위로 산정 후 표준유역별 평균량으로 토양침식량을 제시하였고, OECD의 토양침식량 등급 분류 체계에 따라 토양침식 위험도를 결정하였다. 지자체의 사회적 대응능력은 IPCC의 적응 능력 결정요인 체계와 복합 지수 산정 절차를 결합하여 지자체의 대응 능력 지수를 산정하여 계산하였다. 또한 표준유역-지자체의 공간 불일치성을 해소하기 위하여 유역별 토양침식량에 따른 관리 지자체를 할당하였으며, 토양침식 위험-ACI 교차 매트릭스를 4개 사분면으로 분류하여 취약성 평가를 수행하였다. 취약 원인을 규명하기 위해, 공간자기상관 분석으로 취약 핫스팟을 도출하고, RUSLE 인자별·적응능력 지표별 기여도 분해와 원인 기반 유형화를 수행하였다.

사분면 기반 토양침식 취약지역 분류 결과 강원 중부 산간과 전라남도 서남부에 토양침식 취약 지역이 집중되었다. 본 연구는 소유역 단위 토양침식 취약성의 공간 분포와 결정요인을 정량적으로 제시함으로써, 지역 특성을 반영한 토양보전 정책 수립과 우선관리유역 선정을 위한 기초자료로 활용될 수 있을 것이다.

사분면 기반 토양침식 취약지역 분류 결과 강원 중부 산간과 전라남도 서남부에 토양침식 취약 지역이 집중되었다. 본 연구는 소유역 단위 토양침식 취약성의 공간 분포와 결정요인을 정량적으로 제시함으로써, 지역 특성을 반영한 토양보전 정책 수립과 우선관리유역 선정을 위한 기초자료로 활용될 수 있을 것이다.

핵심용어: 토양침식, 수정범용토양유실공식 (RUSLE), 취약성 평가, 적응 능력, 기여도 평가

이 연구는 정부(농림축산식품부)의 재원으로 농촌진흥청의 지원을 받아 수행되었습니다(No. RS-2024-00400192). 이에 감사드립니다.

* 학생회원・서울대학교 농업생명과학대학 생태조경・지역시스템공학부 석사과정・E-mail : sjicee@snu.ac.kr
** 정회원・서울대학교 농업생명과학대학 생태조경・지역시스템공학부 박사과정・E-mail : ksinae0519@snu.ac.kr
*** 정회원・서울대학교 농업생명과학대학 조경・지역시스템공학부 교수・E-mail : mskang@snu.ac.kr

질소 시비에 따른 농경지 암거배수 시스템의 공간 규모별 수문학적 반응 및 질산성질소 유출 평가

Assessment of Scale-Dependent Hydrological Responses and Nitrate-N Export in a Tile-Drained Watershed under Nitrogen Fertilization

김민아*, 정한석**
Minah Kim, Hanseok Jeong

요 지

농경지 암거배수 시스템에서의 질산염 손실은 환경 지속가능성을 저해하는 주요 문제이며, 기후변화에 따른 강수 및 증발산 패턴의 변화는 이러한 문제를 심화시킬 수 있다. 질소 시비 관리는 주로 포장 규모에서 수립되고 평가되는 반면, 수질 관리와 영양물질 저감 목표는 유역 등 보다 넓은 공간 규모에서 설정되므로 영농 관리와 정책적 의사결정 사이에 공간 규모의 차이가 존재한다. 하지만, 질소 시비 시기와 시비량에 따른 수문학적 반응 및 질산성질소 유출 특성이 공간 규모에 따라 어떻게 달라지는지는 충분히 규명되지 않았다. 따라서, 본 연구에서는 질소 시비 관리에 따른 포장 및 유역 규모의 수문학적 반응과 질산성질소 유출 특성을 비교 분석하고자 한다. 본 연구는 미국 일리노이주 Little Vermilion River(LVR) 유역을 대상으로 Soil and Water Assessment Tool(SWAT) 모형을 구축하고, 질소 시비 시기와 시비량 시나리오를 적용하여 포장 및 유역 규모의 암거배수와 질산성질소 유출 특성을 분석하였다. 또한, CMIP6 기반 기후변화 시나리오를 적용하여 미래 기후에 따른 규모별 반응의 변화를 평가하였다. 본 연구에서는 시비 관리에 대한 반응의 크기와 방향을 포장 및 유역 규모에서 비교하고, 이러한 반응이 미래 기후에서도 유지되는지 평가하고자 한다.

핵심용어: 질소 시비 관리, 공간 규모, SWAT, CMIP6

본 연구는 정부과학기술정보통신부의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업(RS-2025-00557036)이며, 과학기술정보통신부 및 정보통신기획평가원의 디지털분야 글로벌연구지원사업(RS-2024-00428227)의 연구결과로 수행되었습니다. 이에 감사드립니다.

* 정회원・서울과학기술대학교 일반대학원 환경공학과 박사과정・E-mail : kma6313@seoultech.ac.kr
** 정회원・서울과학기술대학교 일반대학원 환경공학과 부교수・E-mail : hanjeong@seoultech.ac.kr

APEX 모델을 이용한 국내 밭 주요 작물 유형별 최적관리기법(BMPs) 효과 분석

Analysis of BMPs effects by major crop type in Korean upland fields using the APEX model

안진혁*, 정세윤**, 안용빈***, 최순군****, 홍은미*****
Jin-Hyuk Ahn, Se Yoon Jung, Yongbin An, Soon-Kun Choi, Eunmi Hong

요 지

농경지에서 발생하는 양분 유출은 수생태계를 악화시키는 주요 비점오염원으로, 지속가능한 농업을 위해서는 최적관리기법(Best Management Practices, BMPs)을 통한 효과적인 양분 유출 저감이 필요하다. 그러나 최적관리기법의 양분 유출 저감 효과는 작물 유형에 따른 재배 방식과 식생 구조의 차이에 따라 상이하게 나타날 수 있다. 국내를 비롯한 동아시아 지역의 밭에서는 다양한 유형의 작물이 재배되고 있음에도 불구하고, 작물 유형별 최적관리기법 효과에 대한 정량적 평가는 충분히 이루어지지 않았다. 이에 본 연구에서는 국내 밭에서 재배되는 주요 작물 유형을 대상으로 APEX 모델을 구축·보정하고, 작물 유형별 양분 유출 특성과 최적관리기법 적용에 따른 양분 유출 저감 효과를 평가하였다. 대상 작물은 곡류, 두류, 서류, 채소류 및 특용작물의 각 작물군에서 재배면적이 가장 큰 작물을 선정하였으며, 옥수수(곡류), 콩(두류), 고구마(서류), 배추(채소류), 들깨(특용작물)를 대상으로 하였다. 작물별 APEX 모델 구축을 위한 입력자료와 보정자료는 각 작물 재배지를 대상으로 수행된 선행연구에서 수집하였다. 선행연구에서 보고된 제한적인 자료만을 활용하여 모델을 보정하였음에도 불구하고, 모든 작물 유형에서 유출량(mm)과 총인(Total phosphorus, TP) 부하량(kg/ha)에 대해 만족(Satisfactory) 수준 이상의 모의 성능을 나타냈다. 보정된 모델을 이용하여 작물 유형별 TP 유출 특성을 분석하고, 식생여과대(filter strips), 양분 투입량 저감(nutrient input reduction), 무경운(no-tillage) 등의 최적관리기법 시나리오를 적용하여 작물 유형별 양분 유출 저감 효과를 비교·평가하였다. 본 연구의 결과는 국내 농업 비점오염원 관리에서 효과적인 최적관리기법을 선정·적용하기 위한 기초자료로 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

핵심용어: APEX, 밭, 양분 유출, 작물 유형, 최적관리기법(BMPs)

본 연구는 농촌진흥청의 재원으로 국립농업과학원의 “기후 및 작부체계 변화에 따른 농경지 양분유출, 농업용수 수질 영향취약성평가 및 적응기술 개발(00396736)”의 지원을 받아 수행되었습니다.

* 준회원・강원대학교 환경연구소 춘천호수연구센터 석사후연구원・E-mail : ajh4728@kangwon.ac.kr
** 정회원・강원대학교 일반대학원 지오에코시스템융합학과 박사과정・E-mail : tpdbs2688@kangwon.ac.kr
*** 정회원・강원대학교 일반대학원 지오에코시스템융합학과 박사과정・E-mail : dydqls910@naver.com
**** 정회원・농촌진흥청 농업지능데이터팀 농업연구사・E-mail : soonkun@korea.kr
***** 정회원・강원대학교 농업생명과학대학 환경융합학부 부교수・E-mail : eunmi.hong@kangwon.ac.kr

농지범용화 시나리오에 따른 담수호 유역 유출·수질 변화 분석을 위한 GraphWaveNet 기반 대리모델 개발

Development of a GraphWaveNet-based surrogate model for runoff and water quality analysis under agricultural land diversification scenarios in an estuarine reservoir watershed

김시내*, 김지혜**, 곽지혜***, 강문성****
Sinae Kim, Jihye Kim, Jihye Kwak, Moon-Seong Kang

요 지

방조제로 조성된 하구 담수호는 유역 최하류에 위치하여 상류 오염부하가 최종 집적되고, 제한된 방류 조건으로 수체 순환이 제한되어 부영양화에 취약하다. 특히 농업지역 비중이 높은 담수호 유역에서는 쌀 소비 감소와 농업 정책 변화에 따른 농지범용화가 확산되고 있으며, 이는 배수체계와 토양 물리성, 영양물질 유출 경로를 동시에 변화시켜 하류 담수호의 수환경에 영향을 미친다. 본 연구에서는 간월호 유역을 대상으로 논 담수조건을 재현하는 SWAT+ paddy module 기반 수문·수질 모의 시스템을 구축하였다. 전환 대상 농지는 유효토심 조건을 충족하는 논을 대상으로 하천 차수, 배수등급 및 경사에 따른 적합도 순으로 선정하고, 다양한 농지범용화 전환율에 따른 유출 및 수질 변화를 분석하였다. 아울러 다수 시나리오의 신속한 평가를 위해 SWAT+ 모의 결과를 학습하여, 122개 하천 노드에서 유량 및 질소·인 성분, chl-a, 용존산소, 수온 등 10개 항목을 예측하는 GraphWaveNet 기반 유역 대리모델을 구축하였다. 대리모델은 하천망 상하류 연결을 유향 그래프로 구성하고 농지범용화 전환율을 정적 공변량으로 주입하여 학습에 사용하지 않은 임의의 전환율에 대해서도 예측할 수 있도록 설계하였다. 또한 상·하류 유량 간의 물리적 일관성을 고려한 제약조건을 손실함수에 결합하여 대리모델의 물리적 일관성을 향상시켰다. SWAT+ 모의 결과, 농지범용화 전환율이 증가할수록 관개수량 및 표면유출량은 감소하는 반면 질소·인 부하는 증가하는 경향이 나타났다. 구축된 대리모델은 학습에 사용되지 않은 전환율과 미계측 지점에 대한 시나리오·공간 일반화 검증에서도 유량 및 주요 수질 항목의 변동 패턴을 안정적으로 재현하였다. 개발된 대리모델은 복잡한 물리 모형을 직접 구동하지 않고도 필수적인 환경 및 인위적 입력자료를 활용하여 임의 지점의 유량 및 수질 시계열을 신속하게 산정할 수 있으며, 다양한 환경 변화와 관리대책 조합을 평가하는 실시간 의사결정지원시스템 구축에 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

핵심용어: 담수호, 농지범용화, SWAT+, 대리모델, GraphWaveNet, 수질

* 정회원・서울대학교 생태조경・지역시스템공학부 박사과정・E-mail : ksinae0519@snu.ac.kr
** 정회원・서울대학교 농업생명과학연구원 선임연구원・E-mail : jewisdom@naver.com
*** 정회원・서울대학교 생태조경・지역시스템공학부 박사과정・E-mail : dbk02300@snu.ac.kr
**** 정회원・서울대학교 조경・지역시스템공학부 교수・E-mail : mskang@snu.ac.kr

APEX-Paddy 모형을 이용한 미래 기후변화 시나리오 기반 최적관리기법 적용에 따른 논 총질소 유출부하량 변동성 평가

Assessment of Total Nitrogen Runoff Load Variability in Paddy Fields under Future Climate Scenarios and Best Management Practices Using the APEX-Paddy Model

안용빈*, 홍은미**, 최순군***, 박형진****, 안진혁*****
Yongbin An, Eun Mi Hong, Soon Kun Choi, Hyeong Jin Bak, Jin Hyuk Ahn

요 지

논은 담수, 관개 및 배수가 반복되는 특성으로 인해 강우나 배수 시 질소 등 양분의 유출이 발생할 수 있으며, 이는 수질 악화와 부영양화의 원인이 된다. 이를 저감하기 위해 물꼬관리와 시비관리 등의 최적관리기법(Best Management Practices, BMPs)이 적용되고 있다. 그러나 기후변화에 따른 극한 강우와 이상고온의 발생 빈도 증가는 논의 수문환경과 질소 유출 특성을 변화시켜 BMP의 저감 효율에도 영향을 줄 수 있다. 따라서 미래 기후조건에서 BMP별 질소 유출부하량과 저감효율을 평가할 필요가 있다. 본 연구에서는 논의 수문환경과 영농활동을 정밀하게 모의할 수 있는 APEX-Paddy 모형을 활용하여 기후변화에 따른 논의 총질소(Total Nitrogen, T-N)유출부하량과 BMPs의 저감 효율의 변화를 평가하고자 한다. APEX-Paddy 모델은 선행연구에서 수행된 모니터링 연구를 기반으로 구축하였으며, 실측된 월별 누적 유출량 및 총질소 유출부하량으로 보정하였다. 보정된 모델에 토양검정시비, 물꼬 높이 조절, 완효성 비료, 심층시비 등 논의 최적관리기법 시나리오를 적용하였다. 이후 각 최적관리기법 시나리오에 SSP(Shared Socioeconomic Pathways) 기후변화 시나리오를 적용하여, 미래 기후조건에서의 T-N 유출부하량과 BMPs의 저감 효율 변동성을 평가하였다. 본 연구를 통해 기후변화에 대응한 논의 물관리 및 양분관리 전략을 수립하고 논의 질소 유출을 효과적으로 저감하기 위한 기초자료로 활용 될 수 있을 것으로 기대된다.

핵심용어: APEX-Paddy 모델, 기후변화 시나리오, 논, 총질소 유출부하량, 최적관리기법

본 연구는 농촌진흥청의 재원으로 국립농업과학원의 “기후 및 작부체계 변화에 따른 농경지 양분유출, 농업용수 수질 영향취약성평가 및 적응기술 개발(00396736)”의 지원을 받아 수행되었습니다.

* 준회원・강원대학교 지오에코시스템융합학과 박사과정・E-mail : dydqls910@kangwon.ac.kr
** 정회원・강원대학교 농업생명과학대학 생명·환경융합학부 환경과학전공 부교수・E-mail : eunmi.hong@kangwon.ac.kr
*** 정회원・농촌진흥청 농업지능데이터팀 농업연구사・E-mail : soonkun@korea.kr
**** 정회원・국립농업과학원 토양물환경과 석사후연구원・E-mail : mjs5225@kangwon.ac.kr
***** 준회원・강원대학교 일반대학원 지오에코시스템융합학과 석사과정・E-mail : ajh4728@kangwon.ac.kr

SWAT+ 모형을 활용한 미래 기후 시나리오에 따른 농촌 소유역 수문 · 수질 반응의 공간변동성 분석

Assessing spatial variability in hydrologic and water quality responses of a small rural watershed under future climate scenarios using SWAT+

김민진*, 남원호**, 정재학***, 홍은미****, 김태곤*****, 김성준******,
엽소진*******, 전상민********, 최순군*********, 허승오**********
Min-Jin Kim, Won-Ho Nam, Jae-Hak Jeong, Eun-Mi Hong, Taegon Kim, Seongjoon Kim,
So-Jin Yeob, Sang-Min Jun, Soon-Kun Choi, Seung-Oh Hur

요 지

기후변화로 극한강우의 빈도와 강도가 증가하면서 농경지에서 발생하는 비점오염물질의 유출 위험도 커지고 있다. 특히 수문 반응이 빠른 농촌 소유역에서는 강우-유출 과정과 이에 수반되는 양분 이동이 짧은 기간에 집중될 수 있다. 이러한 수문·수질 반응은 토지이용, 지형 및 토양 특성에 따라 뚜렷한 공간적 변동성을 보이므로, 미래 기후조건에서 변화에 민감한 지역을 식별하기 위해서는 세분화된 공간 단위에 기반한 유역 모델링이 필요하다. 본 연구에서는 SWAT+(Soil and Water Assessment Tool Plus) 모형을 활용하여 국내 농촌 소유역을 대상으로 미래 기후 시나리오에 따른 수문·수질 반응의 공간적 변동성을 분석하였다. 대상 유역은 토지이용, 토양 및 경사 특성의 조합에 따라 수문반응단위(Hydrologic Response Unit, HRU)로 세분화하였으며, 각 HRU에서 발생하는 유출량과 총질소(Total Nitrogen, T-N) 및 총인(Total Phosphorus, T-P) 부하량을 정량화하였다. 미래 기후자료는 기후변화에 관한 정부간 협의체(Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC) 제6차 평가보고서에서 제시한 공유사회경제경로(Shared Socioeconomic Pathways, SSPs) 시나리오를 적용하여 구축하였다. 현재 및 미래 기후조건에서 모의된 유출량과 양분 부하량을 공간적으로 비교하고, 현재 대비 변화율이 상대적으로 크게 나타나는 농경지 HRU를 도출하여 기후변화에 민감한 지역을 식별하였다. 본 연구는 미래 기후조건에서 수문 및 양분 부하의 변화가 집중되는 공간을 세부적으로 파악함으로써, 지역별 특성을 고려한 최적관리기법의 우선 적용과 농촌 소유역의 기후변화 적응형 유역관리 전략 수립을 위한 기초자료를 제공할 수 있을 것으로 판단된다.

핵심용어: 기후변화, 농촌 소유역, 수문 · 수질 반응, 공간적 변동성, SWAT+

본 연구는 농촌진흥청의 공동연구사업 (과제번호: RS-2024-00396736)의 지원을 받아 연구되었음.

* 정회원・한경국립대학교 융합시스템공학과 박사과정・E-mail : minjin.kim@hknu.ac.kr
** 정회원・한경국립대학교 사회안전시스템공학부 교수・E-mail : wonho.nam@hknu.ac.kr
*** 비회원・텍사스 A&M 대학교 농업생명연구소 교수・E-mail : jaehak.jeong@ag.tamu.edu
**** 정회원・강원대학교 농업생명과학대학 환경융합학부 부교수・E-mail : eunmi.hong@kangwon.ac.kr
***** 정회원・전북대학교 스마트팜학과 부교수・E-mail : taegon@jbnu.ac.kr
****** 정회원・건국대학교 사회환경공학부 교수・E-mail : kimsj@konkuk.ac.kr
******* 정회원・농촌진흥청 국립농업과학원 기후변화대응과 농업연구사・E-mail : yeobsojin@korea.kr
******** 정회원・농촌진흥청 국립농업과학원 기후변화대응과 농업연구사・E-mail : luckyjsm@korea.kr
********* 정회원・농촌진흥청 농업지능데이터팀 농업연구사・E-mail : soonkun@korea.kr
********** 정회원・농촌진흥청 국립식량과학원 기초식량작물부 간척지농업연구센터 연구관・E-mail : soilssohur@korea.kr

장기간 토지이용 변화에 따른 영산강상류 유역의 유황 변화 평가

Long-term land use change impacts on flow regime in the Upper Yeongsan River basin

김용원*, 정지훈**, 이용관***, 박용진****, 김성준*****
Yongwon Kim, Jeehun Chung, Yonggwan Lee, Yongjin Park, Seongjoon Kim

요 지

본 연구는 영산강 상류유역(714.8 km^2)을 대상으로 1970년대부터 2010년대까지의 장기간 토지이용 변화에 따른 유황 변화를 SWAT(Soil and Water Assessment Tool)을 이용하여 평가하였다. 토지이용 변화에 따른 영향을 동일한 공간적 기준에서 정량적으로 분석하기 위해 1970년대와 2010년대 토지이용도를 공간적으로 중첩하여 단일 중첩 토지이용도를 구축하고, 토지이용 전이행렬(Transition matrix)을 이용하여 각 토지이용 항목 간 전환 규모를 정량화하였다. 토지이용 변화의 영향을 독립적으로 평가하기 위해 기상조건을 포함한 다른 환경조건은 동일하게 유지하고, 과거 및 현재 토지이용정보가 각각 적용된 두 개의 SWAT 데이터베이스를 구축하여 분석에 활용하였다. 토지이용 변화를 정량적으로 분석한 결과, 도시 및 주거지역은 1970년대 13.5 km^2(1.9%)에서 2010년대 111.7 km^2(15.6%)로 약 8배 증가한 반면, 농업지역의 비율은 37.5%에서 30.3%로 감소하였다. SWAT 모형은 유역 내 2개 유량관측지점인 용산교와 극락교를 대상으로 보정하였으며, R^2(Coefficient of Determination) 및 NSE(Nash-Sutcliffe Efficiency)를 활용하여 모형의 보정성능을 평가하였다. 하천유량 보정 결과, R^2와 NSE는 각각 0.65~0.70 및 0.63~0.65로 나타나 만족할 만한 보정성능을 보였다. 1970년대 및 2010년대 토지이용 조건에서 유황분석을 수행한 결과, 2010년대 토지이용 조건에서는 1970년대 대비 모든 유황구간에서 유량이 감소하였으며, 저유량 조건으로 갈수록 감소폭이 점차 증가하는 것으로 나타났다. 유량 감소율은 1970년대 대비 Q95에서 1.33%, Q185에서 2.34%, Q275에서 3.36%, Q355에서 4.23%로 나타났다.

핵심용어: 영산강 상류유역, SWAT, 토지이용 변화, 전이행렬, 유황분석

본 결과물은 농림축산식품부의 재원으로 농림식품기술기획평가원의 기후변화대응지능형농업기반관리기술개발사업의 지원을 받아 연구되었습니다(RS-2025-02263147). 본 결과물은 기후에너지환경부의 재원으로 한국환경산업기술원의 수생태계 건강성 확보 기술개발사업의 지원을 받아 연구되었습니다(RS-2025-02304832).

* 정회원・건국대학교 아시아시설물연구센터 박사후연구원・E-mail : longliveyw@konkuk.ac.kr
** 정회원・건국대학교 아시아시설물연구센터 박사후연구원・E-mail : gop1519@konkuk.ac.kr
*** 정회원・건국대학교 아시아시설물연구센터 조교수・E-mail : leeyg@konkuk.ac.kr
**** 정회원・건국대학교 일반대학원 사회환경공학부 석사과정・E-mail : pyj991123@konkuk.ac.kr
***** 정회원・건국대학교 공과대학 사회환경공학부 정교수・E-mail : kimsj@konkuk.ac.kr

SWAT과 강화학습을 연계한 농업유역 최적관리기법의 다목적 최적화 연구

SWAT-coupled Deep Reinforcement Learning for Multi-objective Optimization of Best Management Practices in an Agricultural Watershed

김진욱*, 김진휘**, 장원진***, 조경화****, 김성준*****
Jinuk Kim, Jin Hwi Kim, Wonjin Jang, Kyung Hwa Cho, Seongjoon Kim

요 지

농업유역의 비점오염 저감을 위한 최적관리기법(Best Management Practice, BMP)의 공간 배치는 오염 저감효과와 시행 비용을 동시에 고려해야 하는 다목적 의사결정 문제이며, 과정기반 수문모형의 반복 모의에 따른 높은 계산 비용으로 인해 최적화에 제약을 받아 왔다. 본 연구에서는 SWAT 모형과 심층 강화학습을 직접 연계한 단일단계 최적화 프레임워크를 구축하고, 이를 중점관리 저수지인 남양호 유역(209 km^2, 31개 소유역)에 적용하였다. 식생여과대(Vegetative filter strip, VFS), 초생수로(Grassed waterway, GWW), 테라스(Terrace, TER), 저류지(Detention pond, DTP)의 4개 구조적 BMP를 소유역 별 연속 적용 비율로 배치하였으며, 부유물질(SS)과 총인(TP)의 정규화 저감량에서 비용 페널티를 차감하는 보상함수를 구성하고 민감도 분석을 통해 저감-비용 균형점에 해당하는 비용 가중치(λ=15)를 선정하였다. 동일한 1,000회 SWAT 평가 예산에서 PPO(Proximal policy optimization)와 다목적 진화 알고리즘인 NSGA-Ⅱ를 비교한 결과, PPO 최적해는 최대로 달성 가능한 저감량의 92.4%(SS 10.2%, TP 82.2%)를 전체 시행 비용의 9.6%인 502만 달러로 달성하였으며, 동일 저감 수준 도달 기준 NSGA-Ⅱ 대비 약 2.9배의 비용 효율을 나타내었다. 학습된 정책은 명확히 차별화된 공간 구조를 보였는데, VFS는 24개 소유역에 유역 전반의 기본 대책으로 적용되고 GWW는 12개 소유역에서 VFS와 병행되었으며, TER과 DTP는 각각 2개 및 1개 소유역에 선택적으로 배치되었다. SHAP(SHapley Additive exPlanations) 기반 해석에서는 DTP(0.380)와 VFS(0.321)가 정책 결정의 주요 인자로 나타났으며, 정책 민감도는 오염 부하가 집중되는 유역과 공간적으로 일치함을 확인하였다. 본 프레임워크는 제한된 계산 예산에서 농업유역 BMP의 비용효율적 배치와 우선관리 소유역 선정을 지원하는 해석 가능한 의사결정 도구로 활용될 수 있을 것으로 판단된다.

핵심용어: Best management practices, Deep reinforcement learning, Soil and Water Assessment Tool, Non-dominated Sorting Genetic Algorithm II, Non-point source pollution

본 연구성과는 2026년도 정부(교육부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임(No. RS-2026-25568547)

* 정회원・고려대학교 미래건설환경융합연구소 박사후연구원・E-mail : saertt@korea.ac.kr
** 정회원・고려대학교 미래건설환경융합연구소 박사후연구원・E-mail : jinhwi25@korea.ac.kr
*** 정회원・한국건설기술연구원, 수자원하천연구본부, 박사후연구원・E-mail : jangwj0511@kict.re.kr
**** 정회원・고려대학교 공과대학 건축사회환경공학부 교수・E-mail : khcho80@korea.ac.kr
***** 정회원・건국대학교 공과대학 사회환경공학부 교수・E-mail : kimsj@konkuk.ac.kr

주민 참여형 거버넌스를 활용한 대청호 등동천 유역 농업 최적관리기법 적용 및 비점오염원 관리

Application of Agricultural Best Management Practices and Community-Based Governance for Nonpoint Source Pollution Management in the Deungdongcheon Watershed of Daecheong Lake

김윤하, 김지혜, 전원, 배영아, 김용국, 조주영
Yunha Kim, Jihye Kim, Won Jeon, Young A Bae, Yongguk Kim, Juyoung Cho

요 지

대청호는 충청권 약 370만 명의 용수를 공급하는 핵심 상수원이나, 최근 기후변화에 따른 기온 상승과 강우 패턴 변화 등의 영향으로 조류경보 발령 일수가 급증하는 등 수질관리 부담이 증가하고 있다. 특히, 금강수계 총인(T-P) 부하량의 81.7%가 비점오염원에서 기인함에 따라, 점오염원 중심의 기존 관리 체계를 넘어선 유역 단위 농업 최적관리기법(Best Management Practices, BMPs) 도입의 필요성이 더욱 커지고 있다. 본 연구는 2024년부터 2027년까지 대청호 문의수역 등동천 소유역을 대상으로 주민 참여형 거버넌스와 현장 실증 기반의 농업 BMPs를 결합한 맞춤형 비점오염 저감 모델을 구축하고, 다층적 모니터링을 통해 그 실효성을 검증하여 지속 가능한 유역관리 체계 구축을 위한 적용 기반을 마련하는 데 목적이 있다.

본 연구를 통하여 기술 중심의 농업 BMPs 적용과 주민 참여형 거버넌스를 연계한 비점오염 관리의 효과성과 확대 적용 가능성을 확인하였다. 현재까지 등동천 유역 전체 농경지 면적의 30% 이상 BMPs 보급을 완료하였으며, 향후 50% 이상까지 확대 적용할 계획이다. 또한, 정기적인 주민 참여형 총회 운영을 통해 소유역 단위 비점오염 관리에 있어 주민 참여 기반의 의사결정 체계를 구축하였으며 등동천 유역의 인구 구조적 특성을 고려하여 운영된 환경리더는 주민과 정책 간 연계를 지원하는 중간지원 플랫폼으로 기능하였다. 이러한 주민 참여형 BMPs 단계적 보급 사례는 향후 대청호 내 타 수역으로의 확산 가능성을 제시할 수 있을 것으로 기대된다.

아울러 수질 모니터링 결과, 강우 시 T-P 및 SS 부하가 급격히 증가하는 등동천 유역 특성을 고려할 때 토양밴딩(야자매트) 등 지표피복 형태의 물리적 차단 공법이 입자성 오염물질 저감에 상대적으로 높은 효과를 보이는 것으로 나타났으며, 효과 분석 결과를 바탕으로 향후 농경지별 오염 특성에 적합한 BMPs 유형 설정을 위한 기초 자료로 활용될 수 있음을 확인하였다. 또한, 농업 BMPs의 지속적인 확대를 위해서는 BMPs 적용 효과의 수질오염총량관리제 연계 및 비점오염 저감효과의 삭감부하량 인정 기준 마련에 대한 검토가 필요함을 시사하였다. 본 연구는 농업 BMPs 적용 기반 구축과 초기 효율 검증에 중점을 두었으며, 기후변화에 따른 강우 변동성에 대응하기 위해서는 다년간의 실측 데이터 축적이 필수적이다. 이를 바탕으로 향후 연구에서는 수질 모델링과 연계하여 농업 BMPs 적용에 따른 대청호 수질개선 기여도를 정량적으로 분석하고, 유역관리 정책의 효과성 검토 및 정책적 의사결정 지원자료로 활용할 계획이다.

핵심용어: 농업 최적관리기법, 비점오염원, 거버넌스, 대청호

본 논문은 금강수계관리위원회 환경기초조사사업의 지원을 받아 수행되었습니다.

한국수자원공사

농업농촌환경 II
(토양 및 비료/양분)

D-O-2

THE KOREAN SOCIETY OF AGRICULTURAL ENGINEER

기후변화에 따른 농경지 양분 유출 평가를 위한 지식 기반 AI 메타모델 개발

Development of a knowledge-guided AI meta-model for assessing agricultural nutrient discharge under a climate change

석승원*, 김동현**, 김태곤***
Seungwon Seok, Donghyeon Kim, Taegon Kim

요 지

기후변화에 따른 극한 강우의 빈도 증가는 농경지로부터의 질소 및 인 유출을 심화시킬 것으로 전망되며, 이에 대한 적응 대책 수립에는 정량적 영향 및 취약성 평가가 요구된다. 이러한 평가에는 과정기반모델인 APEX가 널리 활용될 수 있으나, 다수의 기후 시나리오를 대상으로 하는 전국 단위 평가에서는 반복 모의에 따른 연산 부담과 지역별 매개변수 보정의 제약이 따른다. 대안으로 제시된 기존 메타모델은 단일 보정 구성을 모사하는 데 그쳐 매개변수 불확실성과 지역 간 보정 차이를 반영하지 못하는 한계가 있다. 이에 본 연구에서는 APEX 모델의 모의 결과를 재현하되 매개변수 조합의 변화까지 함께 표현할 수 있는 지식 기반 기계학습 메타모델을 구축하고, 전국 규모의 기상 및 토양 조건에 대한 적용 가능성을 검토하였다. 메타모델은 APEX 모델의 입력 자료와 매개변수를 함께 입력 변수로 구성하여, 단일 보정 결과가 아닌 다수의 매개변수 조합에 대한 응답면을 하나의 모형으로 표현하도록 하였다. 또한 유출량 및 양분 농도 등 수문 순환과 양분 순환의 중간 상태를 학습 구조에 명시적으로 반영함으로써 예측의 물리적 정합성을 확보하고자 하였다. 학습 자료는 Saltelli 전역 민감도 분석으로 민감 매개변수를 선정하고, APEX의 가용 영역 내에서 Sobol 수열로 매개변수 집합을 추출한 뒤, 이를 전국 기상 자료, 토양 특성, 경사도, 시비 수준과 층화 표집을 통해 결합하여 구성하였다. 구축된 메타모델의 APEX 모의 결과 재현 성능을 학습에서 제외된 매개변수 조합 및 포장 조건에 대하여 평가한 결과, 총질소와 총인 모두 약 0.99의 결정계수를 나타내었다. 모니터링이 수행된 밭 포장에 적용한 결과, 관측 유출량과 양분 부하량이 예측 반응 범위 내에 포함되어 관측을 설명하는 매개변수 조합의 탐색 가능성을 확인하였다. 본 연구에서 개발한 메타모델은 계산 소요 시간을 수일에서 수 분 단위로 단축함으로써 기후 시나리오별 전국 규모 평가를 가능하게 하며, 향후 농경지 양분 유출의 영향분석, 취약성 평가, 저감 관리방안 검토를 위한 기초 모형으로 활용될 수 있을 것으로 판단된다.

핵심용어: Meta-Model, APEX Model, Knowledge-Guided Machine Learning, Nutrient Discharge, Climate Change

본 연구는 농촌진흥청 “신농업기후변화대응체계구축사업(과제번호: RS-2024-00396736)”의 지원에 의해 수행되었다.

* 준회원・전북대학교 대학원 농공학과 석사・E-mail : champ9162@jbnu.ac.kr
** 정회원・전북대학교 지역건설공학과 조교수・E-mail : kdh4354@jbnu.ac.kr
*** 정회원・전북대학교 스마트팜학과 부교수・E-mail : taegon@jbnu.ac.kr

SWAT 모델을 활용한 양분저감관리 및 기후변화 시나리오에 따른 Fecal coliform 수질 취약성 평가

Assessing Fecal Coliform Water Quality Vulnerability under Nutrient Management and Climate Change Scenarios

정세윤*, 안진혁**, 박형진***, 이선아****, 박성규*****, 홍은미******
Se Yoon Jung, Jin-Hyuk Ahn, Hyungjin Bak, Seonah Lee, Seonggyu Park, Eunmi Hong

요 지

분변 지표 세균(Fecal Indicator Bacteria, FIB)은 수인성 질병을 유발하는 병원성 미생물의 존재를 나타내는 간접 지표로, 공중 보건과 수질에 심각한 위협을 초래한다. 농업 유역에서는 퇴비 시비가 중요한 미생물 오염원으로 작용할 수 있다. 국내 양분관리 정책은 주로 화학비료 및 가축분 퇴비 조절을 통한 질소·인의 과잉 투입 저감을 목적으로 하지만, 퇴비 투입량의 변화는 퇴비 내 존재하는 FIB의 하천 유입량에도 영향을 줄 수 있다. 또한 강우 유출은 토양 내 FIB의 하천 유입을 유도하고, 기온은 생존·사멸에 영향을 미치기에 양분 관리 및 기후변화 시나리오에 따른 FIB 유출 평가가 중요하다. 본 연구에서는 SWAT(Soil and water assessment tool)을 이용해 FIB 중 하나인 fecal coliform(FC) 유출을 모의하고, 양분투입 저감 시나리오 및 기후변화 시나리오에 따른 FC 유출 영향을 평가하였다. 본 연구는 2022년 환경부 비점오염원 관리지역으로 지정된 횡성 주천강 상류 유역을 대상 지역으로 선정하였다. 모델 입력 자료는 2012-2024년 횡성 관측소에서 일별 기후 자료(기온, 강수량, 상대습도, 풍속, 일사량)와 물환경정보시스템 관측소(주천강1)의 유량 및 FC 농도를 사용하였다. 모의 기간은 초기 4년 warm-up, 2016-2021년까지 보정하였으며, 2022-2024년까지 검증하였다. 모델의 성능은 R^2, KGE, PBIAS로 평가하였다. 지역단위 양분관리 저감 대책의 질소 투입량 저감률을 퇴비 시비량으로 환산해 관리 시나리오를 구축하고, 미래 기후조건은 SSP2-4.5 및 SSP5-8.5를 적용하여 FC 농도를 평가하였다. 퇴비 시비량 저감은 FC 부하 감소에 기여하였으나, 미래의 고온·다습한 기후 조건에서는 강우 유출 증가와 생존 특성의 변화로 인해 저감 효과가 감소하는 것으로 나타났다. 본 연구는 양분관리 정책의 FC 저감 가능성과 미래 기후조건에서의 관리효과 변화를 평가함으로써 농업 유역 미생물 수질관리를 위한 근거를 제공하고자 한다.

핵심용어: Fecal coliform, SWAT model, 기후 변화 시나리오, 양분 관리 시나리오

본 연구는 한국연구재단의 기초연구사업(No. 2022R1C1C1010804)의 지원을 받아 수행되었습니다.

* 정회원・강원대학교 지오에코시스템융합학과 박사과정・E-mail : tpdbs2688@kangwon.ac.kr
** 정회원・강원대학교 환경학과 석사과정・E-mail : ajh4728@kangwon.ac.kr
*** 정회원・국립농업과학원 토양물환경과 석사후연구원・E-mail : mjs5225@kangwon.ac.kr
**** 정회원・강원대학교 지오에코시스템융합학과 박사과정・E-mail : blueblue@kangwon.ac.kr
***** Department of Civil, Environmental, and Construction Engineering, Taxas Tech University 조교수・E-mail : seonggyu.park@ttu.edu
****** 강원대학교 농업생명과학대학 환경융합학부 부교수・E-mail : eunmi.hong@kangwon.ac.kr

비종 및 시비량에 따른 양배추 생육과 수확량 반응 평가

Assessing cabbage growth and yield responses to fertilizer source and application rate

오광 스티븐*, 이승범**, 송은수***, 손정우****, 곽진협*****
Stephen Okwang, Seung-Beom Lee, Eunsu Song, Jeongwoo Son, Jin-Hyeob Kwak

Abstract

Effective fertilizer management is essential for sustaining cabbage (*Brassica oleracea* var. capitata L.) productivity in South Korea. This study assessed fertilizer source and rate effects on soil pH, electrical conductivity (EC), growth, and head yield across four growing cycles (autumn 2024, spring 2025, autumn 2025, and spring 2026) in Wanju. A three-replicate randomized complete block design compared chemical fertilizer (CF), slow-release fertilizer (SRF), organic fertilizer (OF), and manure compost (MC) at 50, 100, and 200% of recommended N, with an unfertilized control. Soil pH was higher under MC and OF, likely from buffering and base cations, but declined with increasing application rate, suggesting fertilizer-induced acidification. EC increased with application rate, especially under SRF, reflecting higher soluble salts, but declined across growth stages, possibly owing to plant uptake and leaching. Fertilizer source affected head yield ($P = 0.026$), with CF exceeding SRF ($P = 0.022$), whereas application rate was not significant ($P = 0.054$). CF-100% had the highest estimated yield in every cycle (142.2 t ha^{-1}), while the 200% rate provided no consistent yield benefit. Growth traits and dry biomass increased significantly from the initial to the late growth stage in all production cycles ($P < 0.001$). Cycle-specific redundancy analysis (RDA) detected significant fertilizer responses in autumn 2024 and 2025 ($P < 0.05$), but not in spring. Application rate was significant in autumn cycles, whereas fertilizer source was significant only in autumn 2025; soil pH and EC explained no additional variation. Overall, fertilizer source and rate effects on cabbage growth and yield were growing cycle dependent; therefore, multi-year and multi-location validation is required.

Key words: cabbage, fertilization management, fertilizer source, application rate, head yield

본 연구는 농촌진흥청 국립농업과학원의 연구사업(과제번호: RS-2023-00220014)의 지원을 받아 수행된 연구임.

* 준회원・전북대학교 농공학과 박사과정・E-mail : osonie.kay@gmail.com
** 정회원・전북대학교 농공학과 박사과정・E-mail : leesb1116@jbnu.ac.kr
*** 정회원・전북대학교 농공학과 석사과정・E-mail : eusnu405@naver.com
**** 정회원・농촌진흥청 국립농업과학원 연구사・E-mail : son094@korea.kr
***** 준회원・전북대학교 지역건설 공학과 부교수・E-mail : jh_kwak@jbnu.ac.kr

비료원 및 시비량이 단호박의 토양 특성 및 수량에 미치는 영향

Effects of Fertilizer Source and Application Rate on Soil Properties and Yield of Sweet Pumpkin

바코지키 다티브*, 이승범**, 송은수***, 곽진협****
Bakoziki Dative, Seung-Beom Lee, Eun-Su Song, Jin-Hyeob Kwak

Abstract

Efficient fertilizer management can sustain sweet pumpkin productivity while limiting soil chemical changes. This study evaluated fertilizer source and application rate effects on soil properties, physiological traits, and yield of sweet pumpkin (*Cucurbita maxima* Duchesne) in Wanju-gun, Jeonbuk, Korea. The experiment used a randomized complete block design with three replications and 13 treatments: an unfertilized control and chemical fertilizer (CF), slow-release fertilizer (SRF), cattle manure compost (MC), and organic fertilizer (OF) at 50, 100, and 200% of the soil-test recommended N rate (160 kg N ha^{-1} at 100%). The experiment ran from transplanting (24 April) to harvest(10 July 2026). Fertilizers were split into a basal application (20 April, before transplanting) and two top-dressings (15 May and 12 June) according to treatment rate. Soil pH and EC were measured on 15 May, 12 June, and 10 July, and LAI and SPAD on 25 June and 10 July 2026. Fertilizer type affected pH at all sampling time ($P < 0.01$), with CF consistently lowest, likely due to faster nitrification of readily available mineral N. Increases in fertilization rate decreased pH at the later growing stage, consistent with cumulative acidification. Increases in fertilization rate increased EC only on 12 June ($P < 0.001$), indicating a transient salt increase that later declined through crop uptake and leaching. LAI and SPAD were unaffected by fertilizer type or rate. Fertilizer source ($P < 0.001$) and application rate ($P < 0.001$) significantly affected yield. Mean yield followed CF (22.8) > SRF (22.2) > OF (20.1) > MC (17.5) > control (12.5 t ha^{-1}) and increased with application rate as 200% (24.6) > 100% (20.3) > 50% (17.0 t ha^{-1}). Overall, fertilizer source and application rate were key determinants of sweet pumpkin yield; CF 200% maximized productivity. Further investgation regarding soil chemical and biological properties and nutrient use efficicicy depending on fertilizer type and rate is need for the sustainable pumpkin cultivation.

Key words: *Cucurbita maxima*,chemical fertilizer, soil EC

* 준회원・전북대학교 농공학과 석사과정・E-mail : dbakoziki@gmail.com
** 준회원・전북대학교 농공학과 박사과정・E-mail : leesb1116@jbnu.ac.kr
*** 준회원・전북대학교 농공학과 석사과정・E-mail : eusnu405@naver.com
**** 정회원・전북대학교 지역건설공학과 부교수・E-mail : jh_kwak@jbnu.ac.kr

건조–재습윤 조건에서 FDR 토양수분센서의 측정 편차

Measurement Bias of an FDR Soil Moisture Sensor under Drying-Rewetting Conditions

김민주*, 박재성**,†, 박서경***
Minjoo Kim, Jaesung Park, Seokyung Park

요 지

토양 함수비는 작물 생육 관리와 관수 의사결정에 필수적인 정보이며, FDR(Frequency Domain Reflectometry) 방식의 토양수분센서는 설치가 간편하고 연속 측정이 가능하여 스마트팜과 정밀농업 현장에서 널리 활용되고 있다. 그러나 FDR 센서는 프롱(prong) 주변의 제한된 영역만을 측정하며, 유전율을 함수비로 변환하는 교정식은 측정 영역 내 수분이 균일하게 분포한다는 것을 전제로 한다. 따라서 증발이나 관수로 인해 토양 내부에 수직 수분 구배가 형성될 경우, 센서 측정값과 실제 함수비 사이에 편차가 발생할 수 있다. 그럼에도 불구하고 건조와 재습윤을 아우르는 전 과정에서 이러한 편차가 어떤 방향과 크기로 나타나는지는 아직 충분히 확인되지 않았다.

본 연구에서는 실제 함수비를 연속적으로 확보할 수 있는 실험 장치를 구성하여 센서 측정값과의 편차를 정량적으로 분석하고자 하였다. 사양토를 아크릴 용기에 충전하고 용기 전체를 로드셀 위에 거치하여 중량 변화로부터 실제 함수비를 산출하였으며, 5TE 센서를 9 cm 깊이에 수직 삽입하여 동일 시점의 센서 함수비를 취득하였다. 480시간의 자연 건조 이후 급수와 휴지를 반복하는 펄스 점적 방식으로 관수하였고, 재건조 과정을 포함하여 총 729시간 동안 10분 간격으로 자료를 수집하였다.

분석 결과, 센서 측정값은 실험 전 구간에서 실제 함수비와 일치하지 않았으며 편차의 방향이 수분 이동 방향에 따라 반전되었다. 건조 과정에서는 센서가 실제보다 높은 값을 나타내어 편차가 실험 중반에 3 %p까지 확대된 뒤 다시 축소되었다. 반면 관수 과정에서는 로드셀이 급수에 따른 함수비 증가를 즉시 반영한 것과 달리 센서는 거의 반응하지 않아 관수 직후 편차가 17 %p에 이르렀으며, 편차가 해소되기까지 약 40시간 소요되었다. 이러한 편차는 센서의 성능 결함이 아니라 감지 영역이 토양 전체 부피의 약 13 %에 한정된 국소 측정 방식과 토양 내 수분의 공간적 불균일성이 결합하여 발생하는 구조적 현상으로 판단된다. 편차의 크기와 방향이 토양 상태에 따라 변화하므로 상수 보정만으로는 대응이 어렵다. 본 연구는 현장에서 FDR 센서를 관수 판단에 활용할 때 관수 직후 일정 기간 측정값이 실제보다 낮게 나타날 수 있음을 제시하였으며, 향후 동적 보정 모델 개발의 자료로 활용될 수 있을 것으로 기대한다.

핵심용어: 토양수분센서, FDR, 공간 대표성, 측정 편차, 정밀농업

이 성과는 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(RS-2026-25475333).

본 과제(결과물)는 2026년도 교육부 및 부산광역시의 재원으로 부산앵커센터의 지원을 받아 수행된 지역성장 인재양성체계(앵커)의 결과입니다.(2026-RISE-02-004-2-4-6-1).

* 준회원・부산대학교 대학원 바이오산업기계공학과 석박사통합2・E-mail : lira010503@pusan.ac.kr
** 교신저자・정회원・부산대학교 바이오산업기계공학과 부교수・부산대학교 생명자원시스템공학전공 부교수・부산대학교 생명산업융합연구원・E-mail : jaesung.park@pusan.ac.kr
*** 준회원・부산대학교 대학원 바이오산업기계공학과 석사2・E-mail : seokyung.park@pusan.ac.kr

펜톤슬러지 및 버섯 폐배지 기반 바이오차 적용에 따른 카드뮴 오염토양의 안정화

Stabilization of cadmium-contaminated soil using Fenton sludge- and spent mushroom substrate-derived biochars

이상준*, 이재인**, 박성직***
Sang Jun Lee, Jae In Lee, Seong Jik Park

요 지

폐광산 및 제련시설이 분포한 유역에서는 폐수 유출로 인해 중금속이 하천·저수지 퇴적물에 축적되며, 이는 농업용수와 하류 농경지를 통해 작물로 전이될 수 있어 농촌 환경과 먹거리 안전을 위협한다. 중금속의 총농도만으로는 실질적 위해도를 판단하기 어려우므로, 이동성과 식물유효도 저감에 중점을 둔 안정화 공법이 현장 적용성 높은 대안으로 주목받고 있다.

본 연구는 농산업 부산물의 자원순환과 탄소저감을 동시에 고려하여, 농촌에서 대량 배출되는 참나무 원목 버섯 폐배지 유래 바이오차와 산업 부산물인 펜톤 슬러지 유래 바이오차를 안정화제로 선정하였다. 이를 카드뮴으로 오염된 안동댐 상류 퇴적물에 2%, 5% 비율로 혼합한 뒤 25 ℃ 항온 조건에서 배양하며 카드뮴의 거동 변화를 정량 평가하였다. 배양 기간 중 BCR 순차추출법으로 카드뮴의 화학적 분획 변화를 추적하였고, 배양 종료 후 TCLP 용출실험으로 용출 특성을, DTPA 추출법으로 식물유효도를 평가하였다.

BCR 순차추출 결과, 무처리 대조군에서는 잔류 분획이 검출되지 않은 반면 두 바이오차 처리구 모두에서 산화성 분획과 잔류 분획의 분율이 증가하여 카드뮴이 안정한 형태로 전환되었음을 확인하였다. 이러한 경향은 적용률이 높을수록 뚜렷하였으며 FS900이 OM500보다 우수하였다. TCLP 용출실험에서는 FS900 2% 처리구의 카드뮴 용출 농도가 대조군 0.245 mg/L에서 불검출 수준으로, 아연은 1.890 mg/L에서 0.010 mg/L로 저감되었다. DTPA 추출 결과 FS900 처리구에서 아연과 망간의 추출량이 감소하여 작물로 전이될 수 있는 가용성 중금속이 줄어든 것으로 나타났으며, 철 추출량이 크게 증가한 점으로 미루어 펜톤 슬러지에 포함된 철(8.62%)이 카드뮴 안정화를 주도한 것으로 판단된다.

본 연구 결과는 농산업 부산물 기반 바이오차가 농업용 수계 퇴적물 및 오염 농경지의 중금속 관리에 적용 가능한 안정화제임을 보여주며, 부산물 자원화와 토양 탄소 저장을 함께 달성하는 농촌 환경 관리 기술로서의 활용 가능성을 시사한다.

핵심용어: 카드뮴, 바이오차, 퇴적물, 토양 안정화

본 결과물은 농림식품기술기획평가원의 농업·농촌 탄소중립 융합형 전문인력 양성 및농축산 바이오매스 순환 탄소중립 융합기술 개발사업의 지원을 받아 연구되었음(RS-2024-00400922)

* 한경국립대학교 사회안전시스템공학부 석사・E-mail : lsj09100@naver.com
** 한경국립대학교 농촌환경과학연구소 Post Doc・E-mail : leejaein0512@gmail.com
*** 한경국립대학교 사회안전시스템공학부 교수・E-mail : parkseongjik@gmail.com

노지 재배 시 비종 및 시비 방법이 토양 화학성과 생물학적 특성에 미치는 영향

Effects of Fertilizer Type and Application Method on Soil Chemical and Biological Properties in Open-Field Cultivation

송은수*, 이승범**, 바코지키다티브***, 서병환****, 손정우*****, 곽진협******
Eun-Su Song, Seung-Beom Lee, Bakoziki Dative, Byung-Hwan Seo,
Jung-Woo Son, Jin-Hyeob Kwak

요 지

노지 밭작물 재배에서 비종 및 시비 방법은 토양 화학성을 변화시키며, 시비 효과 지표로 쓰이는 생물학적 특성에도 영향을 미치는 것으로 알려져 있으나 이에 대한 연구는 미흡하다. 본 연구는 비종 및 시비 방법에 따른 화학성과 생물학적 특성의 변화와 관계 패턴을 파악하고자 하였다. 전북특별자치도 완주군 노지 생강밭에서 2024년-2025년 5월-11월에 실험을 수행하였으며, 처리구는 무비구, 무기질비료 (관개 vs. 무관개), 완효성비료, 관비 (기비:추비, 20:80 vs. 0:100)로 6처리 3반복 배치하였다. 무비구를 제외한 시비량은 토양검정기준 (24-13.5-16.3 kg $10a^{-1}$, N-P-K)을 따랐다. 토양 시료는 연간 4회 0-20 cm 깊이에서 채취하여 $pH_{1:5}$, $EC_{1:5}$, 무기태질소 (NH_4^+, NO_3^-), 유기물, 유효인산, 미생물생체탄소량과 탄소, 질소, 인 순환 토양효소활성도 (β-1,4-glucosidase, BG; β-1,4-N-acetylglucosaminidase, NAG; acid phosphatase, AP)를 분석하였다. 채취 시점에 따른 변동을 제외 후, 처리구 간 화학성, 생물학적 특성 차이는 일원분산분석으로, 관계 패턴은 RDA (Redundancy analysis), 반응변수별 (MBC, AP, NAG, BG) 다중회귀분석으로 연도별로 분석하였다. 2024년에는 화학성과 생물학적 특성 모두 유의한 차이를 보였다. pH는 무비구 (6.57)에 비해 무기질비료 (관개) (5.94)에서 유의하게 낮았으며 ($p<0.01$), 이는 질산화에 따른 토양 산성화에 의한 것으로 판단된다. 유기물은 완효성비료에서 평균 7.7% 낮았으며 ($p<0.05$), 짧은 용출 기간 (3개월, 재배기간 6개월)에 따른 후반기 양분 공급 제한으로 식물체 유래 탄소 투입이 줄었기 때문으로 판단된다. NAG, BG는 무기질비료 (관개)에서 무비구 대비 각각 37.5%, 32.0% 낮았고, AP는 완효성비료에서 29.6% 낮았다. 집중 시비에 따른 질산화로 pH가 낮아져 미생물 활성이 저하되고, 유기물 감소로 유기 인 기질이 줄었기 때문으로 판단된다 (다중회귀분석: pH-NAG (+) $p<0.05$, pH-BG (+) $p<0.001$, 유기물-AP (+) $p<0.001$). 이 결과는 RDA에서도 유사하게 확인되었다 (29.02%, $p<0.05$). 2025년에는 일부 화학성 차이가 확인되었지만, 생물학적 특성과 화학성-생물학적 특성 간 상관관계는 유의하지 않았으며 (11.47%, $p=0.832$), 이는 강우 (873.5→1324.0 mm)로 기상 영향이 시비 효과보다 우세했기 때문으로 판단된다. 이처럼 비종 및 시비 방법에 따라 화학성과 생물학적 특성의 처리구별 차이가 나타났으며, 두 특성 간 영향은 연도에 따라 달랐다. 이러한 연도 차이는 시비 효과 평가에 생물학적 지표를 활용할 때 기상 조건을 함께 고려할 필요성을 시사한다.

핵심용어: 비종, 시비 방법, 토양 화학성, 토양효소활성도, 미생물생체탄소량

* 준회원・전북대학교 농공학과 석사과정・E-mail : eusnu405@jbnu.ac.kr
** 정회원・전북대학교 농공학과 박사과정・E-mail : leesb1116@jbnu.ac.kr
*** 준회원・전북대학교 농공학과 석사과정・E-mail : dbakoziki@gmail.com
**** 정회원・국립농업과학원 토양물환경과 연구사・E-mail : sbhsbhlove@korea.kr
***** 정회원・국립농업과학원 토양물환경과 연구사・E-mail : son094@korea.kr
****** 정회원・전북대학교 지역건설공학과 교수・E-mail : jh_kwak@jbnu.ac.kr

간척지 경사 조성 시 고랑 방향에 따른 토양 수분 및 화학성 변화와 콩 수량 반응

Effects of furrow direction on soil moisture, chemical properties, and soybean yield during slope construction in reclaimed tideland

이승범*, 송은수**, 이광승***, 곽진협****
Seung-Beom Lee, Eun-Su Song, Kwang-Seung Lee, Jin-Hyeob Kwak

요 지

국내 간척지는 저지대에 위치한 평탄지로 배수가 불량하여 밭작물 재배에 불리한 상황이다. 이러한 배수 문제는 인위적인 경사 조성을 통해 지표 배수를 촉진함으로써 개선할 수 있다. 하지만 경사지 내에서도 고랑 방향에 따라 배수 속도와 수분 보유 특성에 차이가 발생하는데, 등고선 방향 고랑은 유거수의 흐름을 지연시켜 급격한 수분 손실을 줄이는 반면, 경사 방향 고랑은 배수는 원활하나 과도한 수분 손실과 침식의 우려가 있다. 이에 본 연구는 간척지 내 경사 조성 시 고랑 방향(등고선 및 경사 방향)이 토양의 수분, 화학성과 콩(*Glycine max* L.)의 생육 및 수량에 미치는 영향을 평가하였다. 시험은 2025년(재배기간 누적 강수량 620 mm)에 새만금 간척지 5공구 시험포장에서 수행하였으며, 시험 토양은 Sandy loam(Sand 65.8%, Silt 28.4%, Clay 5.8%)이었다. 경사지 내 등고선 방향과 경사 방향 고랑을 조성한 후 콩 '청자 5호'를 파종하였다. 토양 수분함량 변화를 20, 40 cm 깊이에 Teros-12 센서를 이용하여 모니터링하였다. 토양 화학성($pH_{1:5}$, $EC_{1:5}$, NH_4^+, NO_3^-, 유기물, 유효인산)과 콩 생육(초장, 건물중) 및 수량을 주요 생육단계인 개화기, 등숙기, 수확기에 조사하였다. 등고선 방향의 20 cm 깊이 토양 수분은 강우 이후 상, 중, 하단이 유사하게 감소하였는데, 이는 고랑을 따라 측면으로 배수되었기 때문으로 판단된다. 반면 경사 방향은 상단의 수분이 하단으로 유출되어 하단 수분이 상대적으로 높게 유지되었다. 40 cm에서는 등고선 방향(0.322-0.349 $m^3\ m^{-3}$)이 유거수 흐름 지연에 의한 수분의 심층 침투로 인하여 경사 방향(0.296-0.33 $m^3\ m^{-3}$)보다 높았다. pH는 경사 하단으로 갈수록 유의하게 증가하였으며($p<0.001$), 유기물과 유효인산은 감소하였다($p<0.001$). 이는 경사 조성과정에서의 경사 하단부 심토 노출에 의한 것으로 판단되며, 고랑 방향에 따라서는 유의한 차이가 없었다. 콩 수량은 상단(등고선 211 kg $10a^{-1}$, 경사 방향 224 kg $10a^{-1}$)은 고랑 방향 간 차이가 없었으나, 중단(169 vs 110 kg $10a^{-1}$)과 하단(106 vs 75 kg $10a^{-1}$)에서는 등고선 방향이 유의하게 높았다. 이는 등고선 방향 고랑이 심토 수분을 상대적으로 안정적으로 유지하여 토양 화학성 변화에 의한 경사 중단 및 하단의 수량 저하를 완화한 것으로 판단된다. 따라서 간척지 밭작물 재배를 위한 경사 조성 시 배수와 함께 고랑 방향에 따른 수분 유지 특성을 고려할 필요가 있을 것으로 판단된다.

핵심용어: 간척지, 습해, 지표배수, 고랑

* 정회원・전북대학교 농공학과 박사과정・E-mail : leesb1116@jbnu.ac.kr
** 준회원・전북대학교 농공학과 석사과정・E-mail : eusnu405@naver.com
*** 정회원・국립식량과학원 간척지농업연구센터 농업연구사・E-mail : kslee23@korea.kr
**** 정회원・전북대학교 지역건설공학과 교수・E-mail : jh_kwak@jbnu.ac.kr

밭작물 재배지에서 유기질 및 무기질 질소 비료에 따른 암모니아 휘발의 주요 영향 요인

Key Drivers of Ammonia Volatilization from Organic and Inorganic Nitrogen Fertilizers in Upland Crop Fields

오윤*, 박성직**
Oyunerdene Boldsaikhan, Seong Jik Park

Abstract

Ammonia (NH_3) volatilization from nitrogen fertilizers lowers fertilizer efficiency and causes air pollution. This study examined the main factors affecting NH_3 volatilization from organic and inorganic nitrogen fertilizers in potato and Chinese cabbage fields. The inorganic fertilizers were urea (UR), ammonium sulfate (AS), composite fertilizer (CMP), and latex-coated urea (LCU). The organic fertilizers were solid manure compost (SMC) and liquid manure compost (LMC). Daily NH_3 emissions were measured using a static chamber method. A random forest model was used to identify the main factors affecting NH_3 emissions from inorganic fertilizers. The model used 1,320 daily observations and explained 66.8% of the variation in the test data, with a cross-validated R^2 of 0.705. Fertilizer type was the most important factor, followed by soil temperature, air temperature, soil moisture, and nitrogen application rate. Compared with UR, AS and CMP reduced cumulative NH_3 emissions by 35.8% and 49.5% in potato and by 80.3% and 52.5% in Chinese cabbage, respectively. For the organic fertilizers, LMC produced 1.05-1.11 times more NH_3 than SMC because LMC contained more readily available NH_4^+-N. The NH_3 emission factors of SMC and LMC were 0.80-1.36% in potato and 0.41-0.70% in Chinese cabbage. Rainfall generally reduced NH_3 emissions, while higher temperature and soil pH increased emissions. The results show that NH_3 volatilization was affected by fertilizer type, weather, soil conditions, and crop type. Therefore, nitrogen fertilizer should be selected and managed according to the crop and field conditions to reduce NH_3 volatilization.

Key words: Ammonia volatilization, Nitrogen fertilizer, Organic fertilizer, Inorganic fertilizer, Random forest

This study was supported by the Research Program for Agricultural Science and Technology Development (Project No. PJ016998), Rural Development Administration (RDA), Republic of Korea.

* Department of Integrated Systems Engineering, Hankyong National University, Ph.D student · E-mail : tsolmonguud@gmail.com
** Department of Bioresources and Rural Systems Engineering, Hankyong National University, Professor · E-mail : parkseongjik@hknu.ac.kr

가축분 원료 특성별 바이오차 생산 방안:전처리,열분해 및 자원회수

Strategies of Feedstock-Specific Biochar Production from Livestock Manure: Pretreatment, Pyrolysis, and Resource Recovery

파크마니쉬 파르바네*, 이승범**, 송은수***, 한경화****, 곽진협*****
Pakmanesh Parvaneh, Seung-Beom Lee, Eun-Su Song,
Kyung-Hwa Han, Jin-Hyeob Kwak

Abstract

Livestock manure has considerable potential as a feedstock for biochar production; however, substantial differences in moisture content, salinity, nutrient composition, and heavy metal concentrations prevent the application of a uniform conversion process. This study proposes an integrated crop-livestock biochar framework that assigns poultry, cattle, and swine manure to feedstock-specific pathways combining pretreatment, agricultural residue utilization, energy recovery, and pyrolysis. For poultry manure, blending with agricultural and forestry residues at a 60:40 manure-to-residue ratio is proposed to dilute Cu and Zn concentrations, followed by high-temperature pyrolysis at 650-700°C to promote phosphorus immobilization and carbon stabilization. For cattle manure, hot-water leaching and mechanical dewatering are applied to remove soluble salts and reduce moisture prior to residue blending and pyrolysis. For swine manure, a two-track strategy is proposed: conventional manure with high moisture and heavy-metal constraints is directed primarily to anaerobic digestion and energy recovery, whereas low-heavy-metal manure from organic livestock systems is blended with agricultural residues and converted to biochar. Integration of anaerobic digestion and pyrolysis further enables internal heat and biogas recovery, reducing dependence on external fossil fuels. Overall, the framework demonstrates that manure characteristics should determine the appropriate pretreatment, conversion, and resource-recovery pathway rather than applying a single biochar production process to all livestock manures.

Key words: Livestock manure biochar; Pyrolysis; Carbon sequestration; Sustainable agriculture.

* 전북대학교 농공학과 박사1・E-mail : parvanehpakmanesh@jbnu.ac.kr
** 전북대학교 농공학과 박사1・E-mail : leesb1116@jbnu.ac.kr
*** 전북대학교 농공학과 석사2・E-mail : eusnu405@naver.com
**** 쏘일 워터 바이오랩 대표・E-mail : hkhwa0715@naver.com
***** 전북대학교 지역건설공학과 부교수・E-mail : jh_kwak@jbnu.ac.kr

물안전
(홍수 및 침수 해석)

F-0-1

THE KOREAN SOCIETY OF AGRICULTURAL ENGINEER

FLOW-3D 기반 물리정보 신경망을 이용한 저수지 붕괴 시 유체 거동 예측 대리모델 개발

FLOW-3D based physics-informed neural network surrogate model for predicting fluid behavior during dam-break event

박선재*, 곽지혜**, 김시내***, 박성재****, 강문성*****
Seonjae Park, Jihye Kwak, Sinae Kim, Seongjae Park, Moon-Seong Kang

요 지

국내에는 17,000여개의 저수지가 있으며, 이 중 상당수가 준공 후 50년 이상 경과해 노후화가 심각한 실정이다. 최근에는 기후변화로 국지성 집중호우의 빈도와 강도가 증가하면서 소규모 저수지의 붕괴 위험이 실질적인 재해 문제로 대두되고 있다. 이에 따라 비상대처계획(Emergency Action Plan, EAP) 수립을 위해 저수지 붕괴 시 발생하는 흐름을 정확히 해석할 필요성이 커지고 있다. 저수지 붕괴에 따른 하류부 흐름을 예측하는 방법으로는 천수방정식 기반의 2차원 해석이 오랫동안 활용되어 왔다. 그러나 이 방법은 계산 효율이 높은 반면, 수직방향 유동이나 국부적 와류와 같은 3차원적 흐름 특성을 온전히 반영하기 어렵다는 한계를 지닌다. 이러한 한계를 극복하기 위해 3차원 전산유체역학(Computational Fluid Dynamics, CFD) 해석이 활용되고 있으나, 계산 비용과 해석 시간이 크게 늘어나 다양한 붕괴 시나리오를 반복적으로 검토하기에는 현실적인 제약이 따른다. 이에 CFD 해석을 대체·보완할 수 있는 딥러닝 기반 대리모델에 대한 연구가 활발히 진행되어 왔다. 다만 기존의 데이터 기반 대리모델은 지배방정식이나 보존법칙과 같은 물리적 제약조건을 학습 과정에 직접 반영하지 못한다는 근본적인 한계를 가지고 있다. 최근에는 이를 보완하기 위해 물리정보 신경망(Physics-Informed Neural Network, PINN)이 주목받고 있으나, 관련 연구는 주로 1·2차원 천수방정식을 대상으로 이루어져 왔으며, Navier-Stokes 방정식을 기반으로 저수지 붕괴의 3차원 자유수면 유동을 직접 해석한 PINN 연구는 아직 제한적인 실정이다. 이에 본 연구에서는 충청북도 충주시 송강저수지를 대상으로 FLOW-3D를 활용하여 강우 빈도(10년, 30년, 100년, 200년, 500년)와 지속시간(1시간, 2시간, 3시간)을 조합한 총 15개의 유입 시나리오에 대해 월류 및 파이핑 붕괴 형상을 고려한 3차원 수치모의를 수행한다. 이를 통해 대리모델 학습을 위한 기준자료(ground truth)를 구축하고자 한다. 이후 Navier-Stokes 방정식과 연속방정식을 손실함수에 반영한 PINN 모형을 설계하여, 유입량과 저수지 붕괴 형상을 입력변수로 하여 저수지 붕괴 시 발생하는 홍수파를 예측하는 대리모델을 개발하고자 한다. 개발된 PINN 대리모델의 예측 성능은 FLOW-3D 해석 결과와 비교하여 Mean Absolute Error (MAE), Root Mean Squared Error (RMSE), 결정계수(R^2) 등의 정량적 지표로 검증한다. 또한 계산시간을 비교하여 대리모델의 실용적 활용 가능성을 평가할 예정이다. 본 연구는 제한된 CFD 학습 자료만으로도 물리적으로 타당한 3차원 유체 거동을 신속하게 예측할 수 있는 대리모델을 제시함으로써, 저수지 붕괴 비상대처계획 수립 등 실무적 의사결정 지원에 기여할 것으로 기대된다.

핵심용어: Physics-informed neural network; 대리모델; FLOW-3D; 홍수파 예측

본 결과물은 농림축산식품부의 재원으로 농림식품기술기획평가원의 기후변화대응지능형농업기반관리기술개발사업의 지원을 받아 연구되었음(RS-2025-02215604)

* 학생회원・서울대학교 생태조경·지역시스템공학부 석사과정・E-mail : sunnee1015@snu.ac.kr
** 정회원・서울대학교 생태조경·지역시스템공학부 박사과정・E-mail : dbk02300@snu.ac.kr
*** 정회원・서울대학교 생태조경·지역시스템공학부 박사과정・E-mail : ksinae0519@snu.ac.kr
**** 정회원・서울대학교 생태조경·지역시스템공학부 박사과정・E-mail : sjae323@snu.ac.kr
***** 정회원・서울대학교 조경·지역시스템공학부 교수・E-mail : mskang@snu.ac.kr

농업용 저수지 상류 유역의 강우–유출 사상별 산림 CN 분석

Analysis of Forest Curve Numbers for Rainfall-Runoff Events in Upstream Watersheds of Agricultural Reservoirs

박성재*, 곽지혜**, 김지혜*** 박선재****,강문성*****
Seongjae Park, Jihye Kwak, Jihye Kim, Seonjae Park, Moon Seong Kang

요 지

NRCS-CN (Natural Resources Conservation Service Curve Number) 방법은 농업용 저수지 등 미계측 유역의 유출량과 설계홍수량을 산정하는 데 널리 이용되고 있다. 그러나 NRCS에서 제시한 산림 CN은 미국의 토지피복과 토양 및 수문조건을 기반으로 정립되었으므로, 식생구조, 토양특성, 지형 및 강우양상이 다른 국내 산림유역에 직접 적용할 경우 불확실성이 발생할 수 있다. 또한 실제 강우사상에 대한 유출반응은 강우량, 선행강우량 및 유역의 습윤상태에 따라 달라질 수 있으므로 국내 산림유역의 관측자료를 이용한 검토가 필요하다. 따라서 본 연구에서는 산림 비율이 높은 농업용 저수지 상류 소유역을 선정하고, 2025년 7월부터 2026년 9월까지 강우-유출 모니터링 자료를 수집하였다. 강우 및 수위 관측기기를 설치하여 10분 간격의 연속자료를 구축하고, 현장 유량측정 결과로부터 지점별 수위-유량 관계곡선을 도출하였다. 이를 이용하여 수위자료를 유량으로 환산한 후 기저유출을 분리하고, 강우사상별 직접유출고를 산정하였다. 강우-유출 사상별 총강우량과 직접유출고를 이용하여 유역대표 CN을 역산하였으며, 5일 선행강우량에 따른 선행토양수분조건 (Antecedent Moisture Condition, AMC)을 고려하여 AMC-II 조건의 CN(II)으로 환산하였다. 비산림 토지이용에는 토지이용 및 수문학적 토양군별 표준 CN을 적용하고, CN Aligner 관계식을 이용하여 산림지역의 수문학적 토양군 A에 대한 CN을 역산하였다. 산정된 산림 CN은 관측지점과 강우사상에 따라 비교하고, NRCS 및 환경부의 홍수량 산정 표준 지침에서 제시한 산림 CN과의 차이를 분석하여 국내 산림유역에 대한 적용성을 검토하고자 하였다. 본 연구는 농업용 저수지 상류 산림유역의 수문학적 특성을 반영한 CN 선정과 설계홍수량 산정을 위한 기초자료로 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

핵심용어: 유출곡선지수, 강우–유출사상, NRCS–CN, 산림유역

본 결과물은 농림축산식품부의 재원으로 농림식품기술기획평가원의 기후변화대응지능형농업기반관리기술개발사업의 지원을 받아 연구되었음(RS-2025-02215604)

* 정회원・서울대학교 농업생명과학대학 생태 조경・지역시스템공학부 석사과정・E-mail : sjae323@snu.ac.kr
** 정회원・서울대학교 농업생명과학대학 생태 조경・지역시스템공학부 박사과정・E-mail : dbk02300@snu.ac.kr
*** 정회원・서울대학교 농업생명과학대학 선임연구원・E-mail : jewisdom@naver.com
**** 학생회원・서울대학교 농업생명과학대학 생태 조경・지역시스템공학부 석사과정・E-mail : sunnee1015@snu.ac.kr
***** 정회원・서울대학교 농업생명과학대학 조경・지역시스템공학부 교수・E-mail : mskang@snu.ac.kr

유출특성에 따른 농업용 저수지 붕괴 시 하류지역 공간적 침수민감도 분석

Spatial Inundation Sensitivity of Downstream Areas to Agricultural Reservoir Dam-Break under Runoff Characteristics

김시호*, 정민규**, 김호연***, 정우영****, 허나은*****, 황세운******
Siho Kim, Mingyu Jeong, Hoyeon Kim, Wooyoung Jeong, Naeun Heo, Syewoon Hwang

요 지

농업용 저수지는 농업용수 공급을 주요 목적으로 운영되어 왔으나, 최근 기후변화로 인한 극한강우의 증가로 저수지의 홍수대응 및 하류지역의 안전성 확보에 대한 중요성이 커지고 있다. 특히 저수지 하류부에 주거지역이 분포하는 경우 붕괴에 따른 침수피해가 인명 및 시설물 피해로 이어질 수 있어 침수위험을 공간적으로 평가할 필요가 있다. 동일한 가능최대강수량(PMP)에서도 유역의 유출특성에 따라 저수지 유입수문곡선의 첨두유량과 도달시간이 달라지며, 이는 붕괴 시 하류부의 침수특성에 영향을 미칠 수 있다. 기존 연구에서는 유출특성 변화에 따라 초기 침수양상에는 차이가 나타났으나 최대 침수단계에서는 침수면적의 차이가 감소하여, 전체 침수면적만으로는 공간적 차이를 파악하는 데 한계가 있었다. 따라서 본 연구에서는 유출특성 변화에 따른 농업용 저수지 붕괴 시 하류부의 수심, 유속 및 도달시간의 공간적 변화를 분석하고 침수민감지역을 도출하고자 하였다.

경상남도 사천시 와룡저수지를 대상으로 동일한 PMP 조건에서 유출곡선지수(CN)와 도달시간(Tc)을 변화시켜 유출 시나리오를 구성하였다. 유출특성의 영향을 비교하기 위해 저수지 초기수위와 제체 붕괴 조건을 동일하게 적용하고, DAMBRK 모형으로 산정한 시나리오별 붕괴유출수문곡선을 HEC-RAS 모형의 경계조건으로 적용하여 최대수심, 최대유속 및 홍수 도달시간을 산정하였다. 시나리오별 결과를 격자 단위로 비교하여 수리특성의 변동성을 산정하고 유출특성 변화에 민감한 구간을 분석하였다. 또한 표고, 경사, 하천과의 거리 등 지형특성과 침수민감도의 관계를 분석하고, 침수민감지역과 주거지역 및 건축물 분포를 중첩하여 주거지역의 침수위험 특성을 분석하고자 하였다.

본 연구는 유출특성에 따른 하류부의 침수민감지역을 공간적으로 분석하고 주거지역 분포와 연계함으로써 농업용 저수지 하류부의 침수취약지역 선정 및 피해 대책 수립을 위한 기초자료로 활용될 수 있을 것으로 판단된다.

핵심용어: 농업용 저수지, 극한강우, 저수지 붕괴, 유출특성, 침수민감도

본 연구는 농림축산식품부의 재원으로 농림식품기술기획평가원의 기후변화대응지능형농업기반관리기술개발사업의 지원을 받아 연구되었음 (RS-2025-02215604)

* 정회원・경상국립대학교 대학원 농공학과 박사과정・E-mail : sihokim97@gmail.com
** 준회원・경상국립대학교 지역시스템공학과 학사과정・E-mail : jmgstar@naver.com
*** 준회원・경상국립대학교 지역시스템공학과 학사과정・E-mail : ghdus4965@naver.com
**** 준회원・경상국립대학교 지역시스템공학과 학사과정・E-mail : wjdtjdud55@naver.com
***** 준회원・경상국립대학교 지역시스템공학과 학사과정・E-mail : skdms050504@naver.com
****** 정회원・경상국립대학교 지역시스템공학과・농업생명과학연구원 교수・E-mail : swhwang@gnu.ac.kr

자료 부족 지역을 대상으로 한 개수로 기반 배수 체계 반영 도시 침수 해석

Urban flood modeling considering open-channel drainage systems in data-scarce regions

이효진*, 강한솔**, 안현욱***
Hyojin Lee, Hansol Kang, Hyunuk An

요 지

기후 변화에 따른 강우 패변 변화로 인한 도시 침수 발생 빈도가 증가하고 있으며, 이에 대한 정밀한 침수 해석의 필요성이 강조되고 있다. 최근 다양한 도시 침수 해석 연구가 이루어지고 있으며, 기존의 도시 침수 연구는 대부분 관수로 배수 체계를 연구 대상으로 수행되어 왔다. 그러나 개발도상국 등 일부 도시는 개수로 기반 배수 시스템으로 구축되어 있으며, 이러한 지역은 관수로 배수 시설에 비해 홍수 위험에 더 크게 노출되어 있음에도 불구하고 수리·수문학적 분석 및 위험도 평가가 미비한 실정이다. 특히, 해당 지역들은 재정적·기술적 제약으로 인해 계측 및 관측 자료가 부족하여 정밀한 도시 침수 모델링을 구축하는 데 근본적인 한계가 존재한다. 이에 본 연구는 자료 부족 지역을 대상으로 개수로 배수 체계의 특성을 반영한 효과적인 입력 자료 구축 방안을 제시하고, 이를 통해 대상 유역의 도시 침수 모델링을 구축하였다. SWMM을 활용한 1차원 강우 유출 모의를 진행하여 홍수 발생 지점을 파악하였으며, 도출된 월류량을 K-Flood에 적용하여 2차원 침수 해석을 통해 침수 발생 범위를 산정하였다. 본 연구에서 제시한 데이터 구축 방안의 적용성을 확인하였으며, 향후 유사한 지역에 추가로 적용함으로써 실무 활용을 위한 근거를 마련할 수 있을 것으로 생각된다.

핵심용어: 도시 침수, 개수로 배수체계, 자료 부족 지역

* 준회원・충남대학교 지역환경토목학과 박사과정・E-mail : h55ukj77@o.cnu.ac.kr
** 준회원・충남대학교 지역환경토목학과 박사과정・E-mail : 000@cnu.ac.kr
*** 정회원・충남대학교 지역환경토목학과 교수・E-mail : 000@cnu.ac.kr

수리 · 수문 연계모형을 이용한 만경강 · 동진강 유역의 유출 및 하천수위 특성 분석

Runoff and River Water-Level Characteristics in the Mangyeong and Dongjin River Basins Using a Coupled Hydrologic-Hydraulic Model

박종현*, 안현욱**, 강한솔***
Jonghyun Park, Hyunuk An, Hansol Kang

요 지

새만금 간척지에는 산업단지와 스마트 수변도시 등 다양한 개발계획이 추진되고 있어, 집중호우 시 개발지역의 침수피해를 저감하기 위한 수위조절 및 홍수예측의 중요성이 커지고 있다. 만경강·동진강은 해당 지역으로 유입되는 주요 하천으로, 유역에서 발생한 유출이 본류와 다수의 지류를 통해 하류로 전달되는 동시에 하류단 수위조건의 영향을 받는다. 따라서 만경강·동진강 하류부의 수위 변화를 분석하기 위해서는 유역의 강우-유출 과정과 하천 내 수리학적 전달과정, 그리고 하류 수위조건을 연계하여 고려할 필요가 있다. 본 연구에서는 만경강·동진강 유역을 대상으로 강우-유출모형(K-DRUM)과 1차원 하천수리모형(K-River)을 연계하고, 유역 유출과 하천수위의 시간적·공간적 변화 특성을 분석하였다.

새만금호의 지형특성을 반영하기 위하여 호내 표고 Point 자료를 이용해 불규칙삼각망(Triangulated Irregular Network, TIN)을 생성하고, 이를 50 m 공간해상도로 격자화하여 수치표고모형(Digital Elevation Model, DEM)을 구축하였다. 관측강우 및 기상자료를 이용하여 K-DRUM으로 유역 유출량을 산정하였으며, 산정된 유출량을 K-River의 상류 및 측방 유입조건으로 연계하였다. 만경강·동진강 본류와 주요 지류를 대상으로 총 1,121개의 계산단면을 구성하고, 10개의 상류 유량경계와 716개의 측방유입 조건을 적용하였으며, 하류에는 계측된 새만금호 내수위를 수위경계조건으로 적용하였다.

구축된 연계모형을 이용하여 2024년 7월 강우사상을 모의하고, 만경대교, 만경교, 동진대교 및 죽산교의 시간별 관측수위와 비교하였다. 분석결과 만경대교, 만경교 및 동진대교에서 관측수위와 모의수위 간 Pearson 상관계수는 각각 0.832, 0.879 및 0.834로 나타나 주요 수위변동의 시간적 경향을 일정 부분 재현하였다. 만경대교와 만경교의 RMSE는 각각 0.779 m와 1.367 m로 나타났으며, 첨두수위 발생시각은 관측값에 비해 각각 약 3시간과 4시간 빠르게 모의되었다. 동진대교에서는 수위변동의 시간적 경향은 유사하게 나타났으나 관측수위와 모의수위 사이에 지속적인 절대수위 차이가 확인되었으며, 죽산교에서는 다른 지점에 비해 수위변동의 재현성이 낮게 나타났다.

본 연구를 통해 강우-유출, 하천 흐름 및 하류 수위조건을 연속적으로 고려할 수 있는 만경강·동진강 수문·수리 연계분석체계를 구축하고, 실제 사상에 대한 지점별 수위 재현특성과 개선 필요사항을 확인하였다. 향후 2021년 및 2023년 주요 홍수사상에 대한 추가 모의를 통해 다양한 강우 및 하류 수위조건에서 모형의 재현성과 적용성을 검토할 예정이다.

핵심용어: 수리모형, Run-off model, 하굿둑운영, 홍수

기후변화에 따른 논 · 밭 · 시설재배 혼합 농업지역의 불확실성 기반 침수위험 평가

Climate Change-Driven Agricultural Inundation Risk and Uncertainty Assessment across Paddy, Upland, and Greenhouse Farming Systems

아디사 하메드 아킨소지*, 최경숙**
Adisa Hammed Akinsoji, Kyung Sook Choi

Abstract

Monsoon-driven agricultural flood losses in East Asia are projected to intensify under climate change, yet composite risk frameworks consistently treat cultivated land as a single vulnerability class — a simplification indefensible in mixed farming landscapes where paddy rice, upland field crops and greenhouse horticulture sustain damage through physiologically and structurally distinct mechanisms and carry non-equivalent asset densities. No published framework disaggregates vulnerability across all three systems while accounting for both climate scenario uncertainty and methodological uncertainty in indicator weighting. This study addresses that gap for Chungnam Province, South Korea, a mixed farming region contributing 22% of national paddy output and 18% of greenhouse vegetable production, where mean annual agricultural flood losses exceeded KRW 38.2 billion over 1971-2022. A spatially explicit Hazard-Exposure-Vulnerability inundation risk index was constructed at 30-m resolution, with vulnerability disaggregated into crop-system-specific sub-indices weighted by provincial area shares. Twenty-nine indicators were retained through four sequential screening gates, and six hazard configurations were tested spanning a physical terrain baseline through CMIP6 SSP5-8.5 far-term projections. Four objective weighting methods combined with arithmetic and geometric mean aggregation produced 48 classified risk maps, with robustness evaluated through an 800-realisation bootstrap ensemble. Agricultural area at high inundation risk expanded 2.8-fold from baseline to the SSP2-4.5 far-term scenario, scenario ordering was non-monotonic across radiative forcing levels, and weighting method dominated ensemble variance at 86-94%. Three counties maintained persistent high-risk designation across all configurations, providing an uncertainty-robust basis for no-regret adaptation investment in Korea's primary agricultural province.

Key words: Agricultural inundation risk; mixed farming vulnerability; climate scenarios; objective weighting; uncertainty attribution

This work was supported by the Korea Institute of Planning and Evaluation for Technology in Food, Agriculture and Forestry (IPET) through the Agricultural Foundation and Disaster Response Technology Development Program, funded by the Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs (MAFRA) (RS-2025-02303335).

* Graduate student, Dept. of Agri. Civil Eng., Kyungpook National University · Email: adisaakinsoji@gmail.com
** Professor, Dept. of Agri. Civil Eng., Kyungpook National University · E-mail : ks.choi@knu.ac.kr

대유역 홍수범람 해석을 위한 AMR-FLOOD 모형의 하도 및 배수 알고리즘 개선

Improvement of Channel and Drainage Algorithms in the AMR-FLOOD Model for Large-Basin Flood Inundation Analysis

구현승*, 신위진**, 안현욱***
Hyeonseung Ku, Hansol Kang, Hyunuk An

요 지

단시간에 집중되는 고강도 강우는 여러 지역에서 하천 범람과 내수침수를 동시에 발생시키며, 광범위한 인명 및 재산 피해로 이어질 수 있다. 이러한 홍수 위험을 사전에 분석하기 위해 다양한 수치해석 기반의 범람 모형이 활용되고 있으나, 기존 모형은 유역의 강우-유출 과정과 하천 및 범람원의 수리학적 흐름을 별도로 계산하거나 외부 모형에서 산정한 유출량 또는 월류량을 경계조건으로 입력하는 경우가 많다. 이와 같은 해석 방식은 국지적인 침수 특성을 상세하게 계산하는 데에는 유용하지만, 홍수 진행 과정에서 지속적으로 발생하는 제내지와 제외지 간 유수 교환을 일관되게 재현하는 데 한계가 있다. 또한 다수의 하천 구간에서 범람이 동시에 발생하는 대유역 홍수사상을 고해상도로 해석할 경우 계산 효율성과 공간적 재현성을 함께 확보하기 어렵다.

통합형 대유역 강우-유출-범람 모형 AMR-FLOOD는 강우-유출, 하도 추적 및 범람 해석을 하나의 계산 체계로 연계하여 수계에서 국토 규모에 이르는 광역 홍수를 분석할 수 있도록 개발되었다. 기존 연구에서는 2020년 섬진강 유역의 대규모 홍수사상에 적용하여 관측된 침수 범위와 홍수 전파 양상을 전반적으로 재현한 바 있다. 그러나 복잡한 하도 지형과 제방 구조, 지역별 배수 및 통수 조건이 계산 격자에 충분히 반영되지 않을 경우 일부 지역에서 침수 범위와 하천 유출 흐름의 재현 정확도가 저하되는 문제가 확인되었다.

본 연구에서는 이러한 한계를 개선하기 위하여 AMR-FLOOD의 하도 및 배수 해석 기능을 고도화하였다. 먼저 1차원 하천수리해석 모형인 K-River와의 연계를 기반으로 하도 단면 형상과 제방고를 계산 격자에 효과적으로 보간하는 알고리즘을 개발하였다. 이를 통해 격자 기반 지형자료에서 발생할 수 있는 하도 형상의 왜곡과 제방고 손실을 줄이고, 하천 내 흐름과 범람 발생 조건을 보다 현실적으로 표현하고자 하였다. 다음으로 하천을 경계로 발생하는 제내지와 제외지 간 유수 이동을 계산하기 위한 배수 알고리즘을 새롭게 구축하여, 제내지의 내수가 하천으로 배제되는 과정과 하천수가 제내지로 유입되는 과정을 모형 내에서 연속적으로 해석할 수 있도록 하였다.

개발된 알고리즘의 성능은 2023년 일반 홍수기와 2020년 대규모 홍수사상을 대상으로 평가하였다. 알고리즘 적용 전후의 침수 면적, 침수심 및 하도 유출량을 비교한 결과, 하도·제방 지형의 표현과 제내지 배수 과정이 개선되면서 침수 분포와 하천 흐름의 재현성이 전반적으로 향상되었다. 특히 하천과 인접 범람원 사이에서 발생할 수 있는 비현실적인 유수 교환과 제내지의 잔류 침수를 완화함으로써 모의 결과의 수리학적 일관성을 높일 수 있었다. 본 연구에서 제안한 하도·제방 보간 및 배수 알고리즘은 대유역 홍수사상에 대한 AMR-FLOOD의 실제 적용성과 해석 신뢰도를 향상시키는 데 기여할 것으로 판단된다.

핵심용어: 광역 범람 해석, 강우 유출–범람 모형, 배수 알고리즘

* 준회원・충남대학교 지역환경토목학과 박사과정・E-mail : deu05047@naver.com
** 준회원・충남대학교 지역환경토목학과 학사과정・E-mail : dnlwls0827@naver.com
*** 정회원・충남대학교 지역환경토목학과 교수・E-mail : hyunuk@cnu.ac.kr

존재론적 홍수관리의 패러다임

Paradigm for ontological flood management

노재경*
Jaekyoung Noh

요 지

기후위기가 심화되는 가운데, 홍수 피해는 매년 반복되며 그 규모 또한 증가하고 있다. 그러나 이러한 현상은 단순한 자연재해를 넘어 인간의 인식과 관리 방식의 한계에서 비롯된 '인간 위기'로 이해될 필요가 있다. 본 연구는 이러한 문제의식을 바탕으로 '존재론적 홍수관리(ontological flood management)'라는 새로운 패러다임을 제안한다.

존재는 균형의 자리이며, 물질과 비물질이 정합된 상태에서 역량이 발현되는 지점이다. 물관리 역시 인간, 시설, 자연, 기술 간의 균형 속에서 그 역량이 극대화된다. 본 연구에서는 이러한 관점을 바탕으로 물관리의 '존재 역량'을 인간, 시설, 자연, 기술의 통합적 작동으로 정의하였다. 특히 시설 역량은 댐 및 저수지의 저류능력과 하천의 통수능력으로 구분되며, 인간 역량은 이를 통합적으로 조율하는 능력으로 규정된다.

이러한 개념을 2025년 7월 17일 삽교천 유역 극한호우 사례에 적용하였다. 예당저수지(유역면적 373.6㎢, 총저수량 4,710만㎥)를 대상으로 10분 단위 유입·방류량 자료를 생산하고, 관측수위를 기반으로 신뢰도를 검증하였다. 또한 하류 예산대교 지점의 유량을 모의하여 분석을 수행하였다.

2025년 7월 16일부터 7월 18일까지 10분 단위로 예당 저수지 홍수운영자료를 생산하고 분석한 결과, 강우량은 10분 최대 11.6mm, 총 강우량 326.4mm(1억2,194.3만㎥), 유입량은 10분 최대 2,763.4㎥/s, 총 유입량 267.1mm(9,978.7만㎥)로, 유출률은 81.8%, 방류량은 10분 최대 2,209.1㎥/s, 총 방류량 9,251.3만㎥(유입량의 92.7%), 수로 용수공급량은 10분 최대 15.8㎥/s, 총 공급량 115.6만㎥이었고, 총 방류량의 1.2%에 상당했다. 10분 단위 저수위로 검증한 결과는, 관측저수위 EL.20.12 ~ 23.13m(평균 EL.20.91m), 모의저수위 EL.20.13 ~ 23.11m(평균 EL.20.91m)로 나타났으며, 신뢰도는 잔차 최대 0.184m, 최소 -0.714m, 평균 0.040m, RMSE 0.070, NSE 0.993, R^2 0.996로 매우 높았다.

분석 결과, 홍수운영 개선을 통해 3일간 방류량을 1,429만㎥ 감소시키고, 첨두 방류량을 2,421㎥/s에서 1,000㎥/s로 저감할 수 있는 것으로 나타났다. 이는 수혜면적 6,917.4ha에서 약 20.7cm의 침수심 감소 효과와 함께, 예산대교 수위를 7.07m에서 5.68m로 약 1.59m 저감시키는 결과로 이어졌다. 또한 예당저수지는 첨두유량을 약 1,079㎥/s 감소시키는 효과를 보였다.

본 연구는 홍수관리를 단순한 수리·구조적 문제를 넘어, 인간과 시스템 전체의 '존재 역량' 관점에서 재정의할 필요가 있음을 제시한다. 이는 예방의 극대화, 피해의 최소화, 그리고 물 이용과 생태의 균형을 동시에 달성하기 위한 새로운 관리 패러다임을 제공한다.

핵심용어: 존재론, 극한홍수, 존재역량, 인간, 시설, 자연, 기술, 저수지 운영

* 정회원・충남대학교 농업생명과학대학 지역환경토목학과 명예교수・E-mail : jknoh3109@hanmail.net

극한홍수 시 댐과 저수지의 하강수위 관찰이 주는 시사점

Implications of observed post-peak water-level drawdown in dams and reservoirs during extreme floods

노재경
Jaekyoung Noh

요 지

극한홍수 시 댐과 저수지의 수문조작은 상·하류의 생명, 시설, 환경에 직접적인 영향을 미친다. 본 연구는 금강유역의 최근 홍수사상(2020년 이후)을 대상으로, 첨두수위 이후의 하강수위 변화를 분석하여 운영상의 문제를 진단하고자 하였다. 분석 대상은 용담댐, 대청댐, 보령댐, 부안댐, 예당저수지, 탑정저수지이며, 10분 단위 자료를 활용하여 첨두수위 도달 후 1일, 2일, 3일 경과 시점의 저수율(만수위 기준) 변화를 비교하였다.

분석 결과, 수문이 없는 부안댐은 첨두 이후 완만한 수위 감소를 보이며 저류기능을 지속적으로 유지한 반면, 수문이 있는 댐과 저수지는 첨두 이후 단기간에 급격한 수위 하강이 나타났다. 특히 일부 저수지에서는 1일 이내에 저수율이 50% 수준까지 감소하는 사례가 확인되었다. 이러한 급격한 하강수위는 홍수조절을 위한 저류기능을 조기에 소진시키고, 결과적으로 하류 침수 부담을 증가시키는 요인으로 작용할 가능성이 크다.

이는 유입량 예측의 불확실성과 고수위 유지에 대한 관리자의 위험 회피 성향이 주요 원인으로 작용한 결과로 판단된다. 따라서 극한홍수 시 첨두 이후 하강수위의 크기와 속도를 핵심 운영지표로 설정하고, 저류기능을 최대한 유지하는 방향으로 수문조작 원칙을 재정립할 필요가 있다.

표 1. 극한 홍수의 연구대상 댐과 저수지의 하강수위 저수위 변화

수문 유무	시설	홍수사상	첨두 저수율(%)	+1일 (%)	+2일 (%)	+3일 (%)	특징
무	부안댐	2020.8.6.~8.12	118.4	114.8	107.9	105.0	완만한 감소
무	부안댐	2023.7.13.~7.20.	117.7	112.2	107.3	102.9	저류 지속
유	용담댐	2020.8.5.~8.13.	109.0	104.6	98.6	85.0	급격한 감소
유	대청댐	2020.8.6.~8.14.	105.8	103.8	95.5	94.7	지속 감소
유	보령댐	2023.7.12.~7.20.	103.2	82.1	74.8	75.6	급락 후 변동
유	예당저수지	2025.7.16.~7.19.	115.2	54.5	68.7	67.7	급격한 방류
유	탑정저수지	2024.7.9.~7.12.	104.0	80.6	72.3	65.5	지속 하강

핵심용어: 극한홍수, 댐과 저수지, 첨두 수위, 하강수위, 저수지 운영

* 정회원・충남대학교 농업생명과학대학 지역환경토목학과 명예교수・E-mail : jknoh3109@hanmail.net

극한강우 심화에 따른 우리나라 농경지 침수 발생의 시공간적 특성 및 영향요인 분석

Spatiotemporal Characteristics and Drivers of Agricultural Inundation under Intensifying Extreme Rainfall in South Korea

디팍 카우라가인*, 아데이 쿠두스**, 최경숙**
Deepak Chaulagain, Qudus Adeyi, Kyung Sook Choi

Abstract

Agricultural inundation increasingly threatens Agriculture in South Korea. This study investigated the spatiotemporal drivers of agricultural inundaiton across South Korea using extreme-precipitation indices for 1984-2024 and inundation records for 2002-2024. R95pTOT, R99pTOT, RX1day, RX5day, and SDII increased markedly after the early 2010s, indicating intensification of extreme rainfall, whereas trends in total precipitation and rainy-day frequency were weaker. Flooding was concentrated in low slope (0-5°), low-elevation (<100 m) alluvial plains, particularly along southern and southwestern rivers and coastal lowlands. Conversely, steep northeastern terrain promoted rapid runoff and transferred flood pressure downstream. Topographic wetness, ruggedness, curvature, stream proximity, stream density, stream power, and flow accumulation collectively explained spatial differences in water accumulation and hydrological connectivity. Drainage density, facility proximity, design discharge capacity, and design return period revealed substantial spatial variation in drainage resilience; however, extensive infrastructure did not necessarily indicate lower historical inundation because facilities may have been concentrated in previously vulnerable areas. Cumulative inundated areas of paddy fields, uplands, greenhouses, and orchards were approximately 360, 160, 90, and 20 km^2, respectively, with annual inundation peaking near 130 km^2 in 2012. Paddy fields generally contributed 40-90% of annual inundation, while greenhouses and orchards experienced smaller but economically important losses. Across 30,726 observations, inundation depth and area were weakly correlated (Spearman's $\rho = -0.07$, $p < 0.001$). These findings support multidimensional, crop-specific vulnerability assessment and targeted improvement of agricultural drainage systems under intensifying climate extremes and climate-change adaptation planning nationwide.

Key words: Agricultural inundation, Extreme rainfall, Climate change, Adaptation, Paddy field

This work was supported by the Korea Institute of Planning and Evaluation for Technology in Food, Agriculture and Forestry (IPET) through the Intelligent Agricultural Infra Management for Climate Change Development Program, funded by the Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs (MAFRA) (RS-2025-02303335).

* Postdoctoral Researcher, Institute of Agricultural Science & Technology · E-mail : chaulagaindeepu11@gmail.com
** Graduate student, Dept. of Agri. Civil Eng., Kyungpook National University · Email: adeyi.qudus@knu.ac.kr
*** Professor, Dept. of Agricultural Civil Engineering, Kyungpook National University · E-mail : ks.choi@knu.ac.kr

스마트시설농업

G-0-1

THE KOREAN SOCIETY OF AGRICULTURAL ENGINEER

육계사 통합 환경 제어 알고리즘 개발을 위한 스마트 육계사 설계 및 구축

Data Acquisition and Experimental Design for the Development of an Intelligent Integrated Environmental Control Algorithm for Broiler Houses

아비다 하니파*, 서일환**, 키뷔카 안토니 킨투***, 서효재****, 이성원*****
Hanifah Abidah, Il-hwan Seo, Kintu Kibwika Anthony Kintu, Hyo-jae Seo, Seong-won Lee

요 지

최근 육계 산업에서는 고밀도 사육 환경과 기후변화에 따른 열 스트레스가 생산성 저하 및 동물복지 악화의 주요 원인으로 부각되고 있다. 이에 따라 스마트 축산 환경에서 데이터 기반의 정밀환경관리를 구현하기 위한 기술적 요구가 증대되고 있다. 본 연구는 인공지능(AI) 기반 육계사 통합 환경 제어 알고리즘 개발을 위한 신뢰성 있는 데이터 수집·모니터링 체계를 구축하는 것을 목적으로 한다. 이를 위해 실제 사육 환경을 모사한 실증 실험 시설을 설계하고, 온도, 습도, CO_2 농도, 환기량 등의 환경·제어 데이터와 사료 섭취량, 증체량, 폐사율 등의 생산성 데이터를 동일한 시간 축에서 통합 수집할 수 있는 IoT 기반 시스템을 구축하였다. 또한, 센서 데이터의 신뢰성 확보를 위해 결측 구간 탐지, 물리적 타당성 검증, 이상치 탐지(IQR), 데이터 보정으로 구성된 4단계 전처리 파이프라인을 정립하였다. 본 연구를 통해 구축된 고품질 시계열 데이터셋은 환경 요인과 육계 생산성 간의 정량적 관계를 규명하고, 생산성 향상과 동물복지 증진을 동시에 실현하는 AI 기반 환경 제어 알고리즘 개발의 핵심 입력 자료로 활용됨으로써, 스마트 축산 분야의 데이터 표준화 및 실증 연구 모델로서 학술적·기술적 토대를 제공할 것으로 기대된다.

핵심용어: 육계, 스마트 축사, 데이터 수집, 환경 제어 알고리즘, 인공지능

본 결과물은 농림축산식품부 및 과학기술정보통신부, 농촌진흥청의 재원으로 농림식품기술기획평가원과 재단법인 스마트팜연구개발사업단의 스마트팜다부처패키지혁신기술개발사업의 지원을 받아 연구되었음 (RS-2025-02220403)

* 학생회원・전북대학교 지역건설공학과 석사과정・E-mail : hanifahabidah23@jbnu.ac.kr
** 정회원・전북대학교 지역건설공학과 부교수 E-mail : ihseo@jbnu.ac.kr
*** 정회원・전북대학교 지역건설공학과 박사과정 E-mail : kkanthony572@gmail.com
**** 정회원・전북대학교 지역건설공학과 박사후 연구원 E-mail: tjgydls@gmail.com
***** 정회원・전북대학교 지역건설공학과 박사후 연구원 E-mail: dr.lsw2026@gmail.com

미세중력 환경에서의 작물 생육 및 환경제어 요구량 예측을 위한 Process-Based Model 개발

Development of a Process-Based Model for Predicting Crop Growth and Environmental Control Requirements under Microgravity

정효혁*, 이진석**, 이인복***
Hyohyeog Jeong, Jinseok Lee, Inbok Lee

요 지

장기간 우주 임무에서 안정적인 식량 생산을 위해서는 제한된 자원과 폐쇄된 환경에서 작물을 재배할 수 있는 환경제어형 재배시스템이 필요하다. 특히 미세중력 환경에서는 부력에 의한 자연대류가 억제되어 작물 주변의 열 및 물질전달 특성이 지상 환경과 달라지므로, 이를 고려한 작물 생육 및 재배환경 예측이 요구된다. 본 연구에서는 미세중력 환경에서 작물 생육과 재배챔버의 환경변화 및 환경제어 요구량을 예측하기 위한 process-based 작물-챔버 연계 모델을 개발하였다. 밀폐형 재배챔버의 열, 수분 및 CO_2 수지를 기반으로 환경동역학 모델을 구성하고, 광합성, 호흡, 증산 및 바이오매스 축적을 모사하는 동적 작물 생육 모델과 연계하였다. 미세중력 조건을 반영하기 위해 중력 의존적 열·물질전달 관계를 수정하고, 자연대류가 억제된 조건에서 강제대류가 주요 전달기작으로 작용하도록 모델을 구성하였다. 지상조건에서 수행한 예비 검증 결과, 챔버 내부 기온 예측은 결정계수(R^2) 0.914, RMSE 0.732 ℃로 실측값과 양호한 일치를 보였다. 미세중력 조건에서는 자연대류의 감소로 대류 열전달계수와 잎 경계층 전도도가 감소하였으며, 팬을 통한 강제 대류의 속도가 증가함에 따라 열 및 물질전달이 향상되어 자연대류 감소의 영향을 부분적으로 보완할 수 있는 것으로 나타났다. 개발된 연계 모델을 이용하여 상추 9주를 재배하는 챔버를 모의한 결과, 최종 생체중은 약 130 g/plant로 예측되었으며, 최대 환경제어 요구량은 냉방 114-150 W, 제습 0.09-0.12 L/h 및 CO_2 공급 0.60-0.75 g/h로 산정되었다. 본 연구에서 개발한 모델은 미소중력 환경에서 작물 생육과 이에 따른 환경부하를 정량적으로 예측함으로써 향후 우주용 밀폐형 작물 재배챔버의 환경제어시스템 설계 및 적정 용량 산정을 위한 기초자료로 활용될 수 있을 것으로 판단된다.

핵심용어: 우주농업, Process-Based Model, 작물 재배챔버, 열 · 물질전달, 환경제어

* 정회원・서울대학교 지역시스템공학과 선임연구원・E-mail : wjdgygur@snu.ac.kr
** 정회원・서울대학교 지역시스템공학과 석사・E-mail : wlstjr39@snu.ac.kr
*** 정회원・서울대학교 지역시스템공학과 교수・E-mail : iblee@snu.ac.kr

전산유체역학을 통한 미세중력 하 작물 생육 챔버 내부 환경 분석

Analyzing Environment of a Plant Growth Chamber under Microgravity using Computational Fluid Dynamics

이진석*, 이인복**, 정효혁***, 송정후****, 김경민*****
Jin-seok Lee, In-bok Lee, Hyo-hyeog Jeong, Jung-hoo Song, Kyung-min Kim

요 지

우주 산업이 확장되고 장기 우주 탐사에 대한 수요가 지속적으로 증가함에 따라, 지구 외 환경에서의 안정적인 식량 공급은 우주 탐사 및 산업의 핵심 과제로 대두되었다. 우주 농업은 우주에서의 작물 재배를 가능하게 하고 유인 우주 임무 중 자급 능력을 향상시킬 수 있으며, 차세대 우주 임무를 위한 핵심 기술 중 하나이다. 작물 생육 챔버는 우주 환경에서 작물 재배를 수행하기 위한 필수 플랫폼으로서, 제한된 공간 내에서 온도, 습도, 조명 및 CO_2 등 환경 변수의 정밀한 제어가 요구된다. 우주의 미세중력 환경에서는 자연 대류의 부재로 인해 작물 잎 표면 근처에 공기층이 해소되지 않고 정체되기 때문에, 이를 팬을 이용한 강제대류가 필수적이다. 그러나 강제 대류를 통해 챔버 내부 환경을 조성할 경우, 작물군 주변 환경의 적정성과 균일성을 조성하는 것이 필요하다. 작물군에 도달하는 유속이 너무 높으면 풍스트레스가 발생하여 작물 성장에 악영향을 미치고, 너무 낮은 유속은 정체 공기층을 해소하지 못해 가스 교환이 감소하여 작물의 생육이 저해된다. 이에 따라 적정 유속을 유지하며 작물에 균일하고 적정한 환경을 조성해야 한다. 따라서 본 연구의 주요 목적은 미세중력 환경에서 작물 생육 챔버 내 작물군 주변에 적합하고 균일한 환경을 조성하는 것에 있다. 작물 생육 챔버 내부 환경 조건을 모사하기 위해 챔버를 전산유체역학(Computational Fluid Dynamics, CFD)을 활용하여 모델링하였다. 또한, CFD 시뮬레이션의 정확성을 향상시키기 위해 대상 작물인 상추를 3D 모델로 변환한 뒤, 이를 단순화하여 도메인에 통합하였다. 챔버 내부는 작물 재배 스테이션으로 구성되어 있으며, 적합한 생장 조건을 구축하기 위해 팬, LED, 온습도 제어 시스템을 갖추고 있다. 본 연구에서는 다양한 입·배기구 설계 조건 및 형상에 따른 작물군에서의 풍속 균일성을 평가하기 위해 CFD 시뮬레이션을 수행하였다. 결과적으로 아래에서 위로 올라오는 Bottom-up 방식의 환기가 최적화된 측벽 입·배기구 환기 방식에 비해 균일성 조성에 뛰어난 성능을 보였다. 그 중 Curved slot 형태의 입기구가 균일성 조성에 가장 뛰어났다. 도출된 결과는 향후 우주 발사체 내 작물 재배를 위한 설계 가이드라인을 제시함으로써 장기 우주 임무 중 식량 자급률 향상에 기여할 것으로 기대된다.

핵심용어: 우주농업, 미세중력, 작물 생육 챔버, 전산유체역학

* 준회원・서울대학교 지역시스템공학부 석사・E-mail : wlstjr39@snu.ac.kr
** 정회원・서울대학교 지역시스템공학부 교수・E-mail : iblee@snu.ac.kr
*** 정회원・서울대학교 지역시스템공학부 박사・E-mail : wjdgygur@snu.ac.kr
**** 준회원・서울대학교 지역시스템공학부 석사・E-mail : skj7206@snu.ac.kr
***** 준회원・서울대학교 지역시스템공학부 석사・E-mail : kkm000726@snu.ac.kr

겨울철 육계사의 Jet-drop-distance 기반 자율 입기구 제어시스템 개발 및 실험적 평가

Development and Evaluation of an Autonomous Jet-Drop- distance Based Inlet Control System for Winter Ventilation in Broiler Houses

키뷔카 안토니 킨투*, 서효재**, 서일환***
Kibwika Anthony Kintu, Hyo-Jae Seo, Il-Hwan Seo

요 지

Efficient ventilation is essential for maintaining environmental conditions and welfare during cold seasons in mechanically ventilated broiler houses. Inlet air can descend prematurely into the animal-occupied zone (AOZ), causing thermal non-uniformity and increased heating demand. This study developed an autonomous inlet-control framework that regulates Jd through inlet flap angle (θ). Experiments were conducted in a broiler-house test facility (12 × 5.6 × 2.7 m), using 75 AOZ temperature measurement points under 30 combinations of ventilation rate, differential pressure (Δ p), temperature difference (Δ T), and inlet angle, with three replicates per condition (90 runs). A nonlinear regression model based on θ, inlet Δ p, and Δ T achieved R^2 = 0.9716 and RMSE = 0.240 m. The model was integrated into a MATLAB/Simulink/Simscape inlet-actuator model, where PID and constrained MPC were evaluated. For a 4m Jd target, MPC reduced oscillation amplitude from ±1.0-1.2 to approximately ±0.1-0.2 m and settling time from 20-25 to 8-10 s, while reducing actuator travel from 48° to 9°. The controller was implemented on Arduino hardware with real-world sensors and a motorized inlet prototype for calibration. Future work will focus on winter field testing, recalibration and parameter estimation, followed by validation in commercial broiler houses.

Key words: Broiler-house, Jet-drop distance, Algorithm, Environmental control

본 결과물은 농림축산식품부 및 과학기술정보통신부, 농촌진흥청의 재원으로 농림식품기술기획평가원과 재단법인 스마트팜연구개발사업단의 스마트팜다부처패키지혁신기술개발사업의 지원을 받아 연구되었음 (RS-2025-02220403)

* 학생회원・전북대학교 지역건설공학과 박사과정・E-mail : anthony@jbnu.ac.kr
** 학생회원・전북대학교 지역건설공학과 박사과정
*** 정회원・전북대학교 지역건설공학과 부교수 E-mail : ihseo@jbnu.ac.kr

강제환기식 돈사 내 온·습도지수 예측 회귀모델 개발

Developement of Regression Models for Predicting Temperature-Humidity Index in Mechanically Ventilated Swine Houses

이한규*, 하태환**
Hankyu Lee, Taehwan Ha

요 지

최근 지구온난화로 인한 폭염 발생 빈도의 증가는 돼지의 고온 스트레스를 심화시켜 생산성 저하 및 폐사 위험을 증가시키고 있다. 이러한 폭염으로 인한 고온스트레스 피해를 방지하기 위해 기상예보 자료를 이용하여 고온스트레스지수를 예측하는 서비스가 제공되고 있다. 다만, 예보자료인 기온과 상대습도를 이용하기 때문에 강제환기식 축사 내부의 고온스트레스를 예측하지 못한다는 한계점이 존재한다. 본 연구는 다양한 환경적 및 운영적 조건에 따른 돈사 내부 열환경 변화를 분석하고, 외부 기상조건을 이용하여 강제환기식 돈사 내부의 온습도지수(Temperature-Humidity Index, THI)를 예측할 수 있는 회귀모델을 개발하는 것을 목적으로 하였다. 이를 위해 Building Energy Simulation(BES) 기법 중 하나인 TRNSYS 프로그램을 이용하여 표준 돈사 구조에 대한 에너지 해석 모델을 구축하였으며, 지역, 기후조건, 단열수준, 냉방시스템 운영 및 환기조건을 고려한 시뮬레이션을 수행하였다. 시뮬레이션을 통해 돈사 내부 온도와 상대습도를 도출하고 이를 기반으로 THI를 산정하였다. 또한 각 환경 및 운영조건이 돈사 내부 고온스트레스에 미치는 영향을 평가하기 위하여 분산분석(ANOVA)을 수행하였다. 분석 결과를 바탕으로 돈사 내부 환경에 영향을 주는 인자들을 독립변수로 설정하여 내부 THI를 추정할 수 있는 회귀모델을 구축하였다. 개발된 회귀모델은 향후 기상예보 자료와 연계하여 폭염 발생 시 돈사 내부의 고온 스트레스 위험을 사전에 예측하고, 돈사 환경관리 및 기후변화 대응 전략 수립을 위한 기초자료로 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

핵심용어: 건물에너지시뮬레이션, 고온스트레스지수, 돈사, 분산분석, 회귀모델

본 성과물은 농촌진흥청 연구사업(RS-2024-00398327)의 지원에 의해 이루어진 것임.

* 1저자・준회원・충남대학교 지역환경토목학과 석사과정・E-mail : gksrb1703@o.cnu.ac.kr
** 교신저자・정회원・충남대학교 지역환경토목학과 교수・E-mail : thha54@cnu.ac.kr

전산유체역학 모델을 활용한 다단 케이지 산란계사의 미세환경 모의 및 평가

CFD-Based Simulation and Evaluation of Microclimate in a Multi-Tier Cage Layer House

박지연*, 이채린**, 이세연***, 임준홍****, 박진선*****,
Rajagukguk Rial Arifin******, 김슬기*******, 홍세운********.†
Ji-yeon Park, Chae-rin Lee, Se-yeon Lee, Junhong Im, Jinseon Park,
Rial Arifin Rajaukgukguk, Seul-gi Kim, Se-woon Hong

요 지

최근 산란계 산업은 대규모 집약형 사육 형태로 전환되며, 계사 내 환경관리 및 동물복지 향상의 중요성이 증가하고 있다. 특히 산란계는 온도 변화에 민감한 항온 동물로, 케이지 미세환경은 생산성 및 복지 수준에 직접적인 영향을 미친다. 그러나 기존 연구는 주로 복도 공간 또는 제한된 케이지 단에서 측정한 자료를 활용하여 다단 케이지 내부 미기상의 공간적 재현성을 종합적으로 검증한 연구는 부족한 실정이다. 또한 복도 측정값만을 이용한 CFD 모델 검증은 계사 평균 환경의 재현성을 평가하는 데에는 유효하지만, 산란계가 실제로 노출되는 케이지 내부의 국소적인 열 축적과 위치별 환경 편차까지 정확하게 예측하는지를 판단하는 데에는 한계가 있다. 따라서 본 연구에서는 산란계사를 대상으로 케이지 내부와 인접 복도의 위치별 온습도를 측정하고, 계사 내부와 케이지 단위의 열환경을 보다 정밀하게 예측하기 위한 CFD 모델을 구축하였다. 모델에는 계사 및 케이지의 구조적 특성, 케이지와 산란계 개체에 의한 체열과 유동저항, 계절별 환기설비 운전조건을 반영하였다. 하절기, 간절기, 동절기의 대표조건에 대해 동일한 위치에서 측정된 케이지 내·외부 기온의 모의 결과를 비교하여 모델의 예측성능을 평가하였다. 검증 결과, 기온의 평균 상대오차는 케이지 내부와 외부 각각 2.58-6.03%와 1.67-4.45%, RMSE는 각각 0.77-1.68℃와 0.56-1.10℃로 나타나 모의값이 실측값과 전반적으로 양호한 일치를 보였다. 본 연구는 제한된 현장 측정만으로 파악하기 어려운 케이지별 열환경과 환기 취약구역을 평가하고, 향후 케이지 수준의 정밀 환경제어 전략을 수립하기 위한 기초자료로 활용될 수 있을 것으로 판단된다.

핵심용어: 축산시설, 산란계사, 환경평가, 미세환경, 전산유체역학

본 결과물은 농림축산식품부 및 과학기술정보통신부, 농촌진흥청의 재원으로 농림식품기술기획평가원과 재단법인 스마트팜연구개발사업단의 스마트팜다부처패키지혁신기술개발사업의 지원을 받아 연구되었음(RS-2025-02218431)

* 정회원・전남대학교 대학원 지역·바이오시스템공학과 & BK21 기후지능형 간척지 농업 교육연구팀 박사1・E-mail: qkrwldus7749@jnu.ac.kr
** 정회원・전남대학교 대학원 지역·바이오시스템공학과 & BK21 기후지능형 간척지 농업 교육연구팀 박사2・E-mail : chaerinl@jnu.ac.kr
*** 정회원・전남대학교 대학원 지역·바이오시스템공학과 박사후 연구원・E-mail: seyeonn@jnu.ac.kr
**** 정회원・전남대학교 대학원 지역·바이오시스템공학과 & BK21 기후지능형 간척지 농업 교육연구팀 석사・E-mail : jnujunhong@jnu.ac.kr
***** 정회원・전남대학교 농업생명과학대학 기후변화대응농생명연구소 연구교수・E-mail : icarus381@jnu.ac.kr
****** 정회원・전남대학교 농업생명과학대학 지역·바이오시스템공학과 연구교수・E-mail : rialarifin@jnu.ac.kr
******* 정회원・전남대학교 농업생명과학대학 지역·바이오시스템공학과 학부연구원・E-mail : 0228tmfrl@jnu.ac.kr
******** 정회원・전남대학교 농업생명과학대학 지역·바이오시스템공학과 & BK21 기후지능형 간척지 농업 교육연구팀 부교수・E-mail : hsewoon@jnu.ac.kr

강제환기식 비육돈사에서 안개분무 적용에 따른 냉각효과 및 위치 · 높이별 환경응답 특성 평가

Evaluation of Cooling Effects and Spatial and Vertical Environmental Responses to Fogging in a Mechanically Ventilated Finishing Pig House

박진선*, Rajagukguk Rial Arifin**, 이세연***, 이채린****, 박지연*****,
서정흠******, 김명선*******, 홍세운********.†
Jinseon Park, Rial Arifin Rajagukguk, Se-yeon Lee, Chae-rin Lee, Ji-yeon Park,
Jeong Heum Seo, Myeongseon Kim, Se-woon Hong

요 지

안개분무시스템은 증발잠열을 이용하여 축사 내부의 공기온도를 낮추는 기술로, 설치와 운전이 비교적 간단하여 양돈농가에 널리 보급되어 있다. 그러나 강제환기식 돈사에서는 환기기류와 측정 위치에 따라 냉각효과가 불균일할 수 있으며, 현장조건에서의 냉각효과와 운전효율에 대한 정량적 평가는 미흡한 실정이다. 본 연구에서는 강제환기식 비육돈사에서 안개분무에 따른 위치 및 높이별 온·습도 변화를 분석하고, 환기조건과 환경 회복특성을 고려한 운전기준 수립의 기초자료를 제시하고자 하였다. 대상 돈사는 길이 74.0 m, 폭 13.4 m, 처마높이 3.2 m 및 용마루높이 4.6 m의 박공지붕형 구조이며, 실험 당시 약 110일령 비육돈 1,002두가 사육되고 있었다. 안개분무시스템은 평균 액적크기 약 17 μm인 Y형 노즐 48개로 구성되었으며, 80-100 bar에서 30초간 분무 후 180초간 정지하는 방식으로 운전되었다. 온도와 상대습도는 돈사 입구, 중앙 및 환기팬 전방에서 상단, 중단 및 하단 높이별로 측정하였다. 각 분무주기의 분무 전 기준값, 분무 종료 시 변화량, 최대 온도감소량 및 최대 상대습도 증가량을 산정하였다. 분석 결과, 상단의 평균 최대 온도감소량은 입구, 중앙 및 환기팬 전방에서 각각 1.99, 1.18 및 2.31℃였으나, 하단에서는 각각 0.09, 0.43 및 0.43℃로 나타났다. 상단의 최대 상대습도 증가량은 각각 22.0, 9.0 및 12.3%p로 하단보다 크게 나타났다. 이는 미세액적과 냉각공기가 돈사 내부에 균일하게 전달되지 않고 냉각효과가 주로 상부 공간에 집중되었음을 보여준다. 입기조건으로 산정한 환기량은 약 73,584 m³/h, 명목 공기 체류시간은 약 189초로, 분무 정지시간 180초와 유사하였다. 따라서 안개분무시스템의 효율적인 운전을 위해서는 돈사 평균온도뿐만 아니라 가축이 위치하는 하부 공간의 냉각효과, 상대습도 상승, 환기량 및 분무 후 회복시간을 함께 고려해야 한다. 본 연구 결과는 돈사 구조와 환기조건에 적합한 분무시간 및 분무간격 설정을 위한 기초자료로 활용될 수 있을 것으로 판단된다.

핵심용어: 안개분문시스템, 강제환기식 돈사, 증발냉각, 냉각효과, 최적운전

본 결과물은 농림축산식품부의 재원으로 농촌진흥청에서 지원(RS-2025-00398327)을 받아 수행된 연구임

* 정회원 · 전남대학교 농업생명과학대학 기후변화대응농생명연구소 연구교수 · E-mail : icarus381@jnu.ac.kr
** 정회원 · 전남대학교 농업생명과학대학 기후변화대응농생명연구소 연구교수 · E-mail : rialarifin@jnu.ac.kr
*** 정회원 · 전남대학교 대학원 지역·바이오시스템공학과 박사 후 연구원 · E-mail : seyeonn@jnu.ac.kr
**** 정회원 · 전남대학교 대학원 지역·바이오시스템공학과 & BK21 기후지능형 간척지 농업 교육연구팀 박사1 · E-mail: chaerinl@jnu.ac.kr
***** 정회원 · 전남대학교 대학원 지역·바이오시스템공학과 & BK21 기후지능형 간척지 농업 교육연구팀 박사2 · E-mail: qkrwldus7749@jnu.ac.kr
****** 정회원 · 전남대학교 농업생명과학대학 지역·바이오시스템공학과 학부연구원1 · E-mail : tiger1819@jnu.ac.kr
******* 정회원 · 전남대학교 농업생명과학대학 지역·바이오시스템공학과 학부연구원2 · E-mail : kms2464@jnu.ac.kr
******** 정회원 · 전남대학교 농업생명과학대학 지역·바이오시스템공학과 & BK21 기후지능형 간척지 농업 교육연구팀 부교수 · E-mail : hsewoon@jnu.ac.kr

전산유체역학을 활용한 다겹보온커튼 설치조건에 따른 온실 내 열환경 분포 분석

Analysis of Greenhouse Internal Thermal Environment Distribution According to Installation Conditions of Multi-Layer Thermal Curtains Utilizing Computational Fluid Dynamics

유재민*, 강성하**, 넬슨 주니어 로딜리아스***, 윤성욱****, 여욱현*****
Jae-Min Yu, Seong-Ha Kang, Nelson Junior Rodillas, Sung-wook Yun, Uk-Hyeon Yeo

요 지

고품질의 신선한 채소에 대한 소비 수요가 증가함에 따라 연중 안정적인 생산이 가능한 시설재배의 중요성이 높아지고 있으며, 생산성과 효율성 향상을 위해 국내에는 플라스틱 온실이 널리 보급되어 왔다. 온실에서 작물의 안정적인 생육과 생산성을 확보하기 위해서는 적절한 환경 조절이 필수적이다. 그러나 플라스틱 온실은 얇은 피복재를 이용하기 때문에 계절별 환경 변화에 취약하다. 특히 동절기 작물 적정 온도를 유지하기 위한 난방에너지 부담이 크며, 피복재 손상 및 침기에 의한 열손실로 보온효과 저하 및 내부 열환경 불균형이 발생할 수 있다. 이에 온실의 에너지 이용 효율을 높이고 안정적인 재배환경을 조성하기 위해 보온커튼, 이중 피복, 열회수형 환기장치 등 다양한 환경조절 및 에너지 절감 기술이 개발·보급되고 있으며, 농가에서도 이러한 기술의 활용이 확대되고 있다. 특히 다겹보온커튼은 동절기 야간에 내부 열손실을 최소화하여 작물의 생육환경을 유지하는 환경제어 장치이다. 그러나 다겹보온커튼의 성능은 단순 개폐 여부뿐만 아니라 개폐 비율, 방향, 위치 등에 따라 복합적인 영향을 미치므로 열환경에 대한 정량적•정성적 분석이 필요하다. 따라서 본 연구에서는 전산유체역학를 활용하여 다겹보온커튼의 개폐 방향(동서 및 남북)과 개폐율(50, 25, 12.5%)에 따른 온실 내부 기온 분포 특성을 분석하였다. 대상 온실은 4연동 플라스틱 온실(면적 688.2m^2, 동고 5.6m)이며, 지면으로부터 4m 위치에 보온커튼이 설치되었다. 외기온 5℃ 조건에서 커튼 미설치 시 내부 평균온도는 5.73℃였으나, 동서 방향 50% 개방 시 8.85℃로 3.12℃ 개선되었다. 동서 방향 25% 개폐율에서는 9.48℃로 50% 대비 약 0.63℃ 개선되었으나, 12.5%에서는 9.37℃로 감소하였다. 남북 방향 25% 개폐율에서는 9.65℃를 나타냈으며, 특히 남북 방향 25% 단방향 개폐 시 9.71℃로 나타나 보온 측면에서 가장 우수한 조건임을 확인하였다. 그러나 남북 방향 설계 조건은 외부의 유입 질량유량이 동일하더라도 커튼의 배치에 따라 유입 공기가 작물 재배 공간으로 직접 전달되는 기류 경로가 형성되어, 상대적으로 보온 유지 효과를 기대하기 힘들 것으로 판단된다.

핵심용어: 다겹보온커튼, 열환경, 온실, 온도 조절, 전산유체역학

본 결과물은 농림축산식품부의 재원으로 농림식품기술기획평가원의 스마트팜다부처패키지혁신기술개발사업의 지원을 받아 연구되었음(RS-2025-02305220)

* 준회원・경상국립대학교 대학원 농공학과 석사과정・E-mail : woals5965@gnu.ac.kr
** 준회원・경상국립대학교 대학원 농공학과 석사과정・E-mail : kasv123@gnu.ac.kr
*** 준회원・경상국립대학교 대학원 농공학과 석사과정・E-mail : ntrodillas@gnu.ac.kr
**** 정회원・농촌진흥청 국립농업과학원 농업공학부 연구사・E-mail : wookswooks@korea.kr
***** 정회원・경상국립대학교 지역시스템공학과 조교수・E-mail : uhyeo@gnu.ac.kr

영농형태 및 작목에 따른 농업지역 대기오염물질 농도 특성 비교

Comparison of Air Pollutant Concentrations in Agricultural Areas by Farming Type and Crop

박진아*, 서일환**, 김진호***
Jin-A Park, Il-Hwan Seo, Jin-Ho Kim

요 지

농업지역의 대기오염물질 발생은 작목에 따라 시비·경운 및 영농작업 시기가 달라 작목과 영농형태별 저감 대책이 제안되어 왔으나, 실제 관측 농도에서 이러한 구분이 어느 정도 나타나는지 정량적으로 검토한 사례는 부족하다. 본 연구에서는 전국 4개 권역(경기·강원, 충청, 호남, 영남)의 논 4개 지점(벼)과 밭 4개 지점(옥수수, 마늘, 양파, 콩)에서 수집한 36개월(2023.6.~2026.5.) 시간자료를 이용하여 영농형태와 작목에 따른 대기오염물질 농도 특성을 비교하였다. NH_3는 밭 지역이 29.49 ppb로 논 지역(22.71 ppb)보다 29.9% 높았으며($p<0.001$), PM-10은 논 지역이 32.31 μg/m³로 밭 지역(26.48 μg/m³)보다 높았으나 인근 공사 영향 지점 1개를 제외하면 논 지역은 26.84 μg/m³로 밭 지역과 차이가 없었다. 지점 간 농도 변동을 영농형태 성분과 형태 내 지점 성분으로 구분한 결과, 영농형태의 비중은 PM-2.5 18.9%, PM-10 15.9%, NH_3 8.8%, NO_2 7.6%, SO_2 0.2%로 모두 20% 미만이었다. 동일 작목(벼)을 재배하는 논 4개 지점에서도 NH_3 평균 농도는 9.83~38.10 ppb로 최저 지점 대비 최고 지점이 3.9배 높았으며, 최고 농도가 나타난 시기 또한 지점에 따라 5월, 6월, 9월, 12월로 상이하였다. 이는 농업지역의 대기오염물질 농도가 작목이나 영농형태보다 지점별 시비 관리 방식과 인접 배출원 등 국지적 요인에 더 크게 좌우됨을 보여준다. 따라서 향후 저감 대책은 작목 단위의 일괄적 접근보다 개별 지점 및 영농관리 단위의 접근이 필요할 것으로 판단된다.

핵심용어: 미세먼지, 암모니아, 영농활동, 대기질 측정소

본 연구는 농촌진흥청 연구사업 (세부과제번호: RS-2022-RD010348)의 지원에 의해 이루어진 것임.

* 학생회원・전북대학교 지역건설공학과 박사과정・E-mail : rhdms1581@naver.com
** 정회원・전북대학교 지역건설공학과 부교수・E-mail : ihseo@jbnu.ac.kr
*** 정회원・국립농업과학원 기후변화대응과 연구관・E-mail : water86@korea.kr

전산유체역학을 이용한 과원용 방상팬의 확산 특성 분석

Analysis of Airflow Dispersion Characteristics of an Orchard Wind Machine Using Computational Fluid Dynamics (CFD)

로딜리아스 넬슨 주니어*, 유재민**, 강성하***, 김가은****, 박성조*****, 여욱현******
Nelson Junior Rodillas, Jae-Min Yu, Seong-Ha Kang,
Ga-Eun Kim, Seong-Jo Park, Uk-Hyeon Yeo

Abstract

Wind machines are used in orchards to enhance air circulation and reduce frost damage by redistributing relatively warmer air toward the crop canopies. The airflow generated by these machines is a critical factor affecting the effectiveness for frost protection which is influenced by fan design and operating conditions. Since field measurements provides limited spatial information and repeated testing of different fan configurations is expensive, computational fluid dynamics (CFD) provides an efficient approach to analyze the fan's three-dimensional (3D) airflow characteristics. Therefore this study developed and evaluated a 3D-CFD model of a three-bladed axial wind machine using ANSYS Fluent. Simulations were performed using a steady-state multiple reference frame approach at a rotational speed of 540 rpm. A combined grid independence and turbulence-model assessment was conducted using coarse, medium, and fine grids containing approximately 2.40, 4.26, and 11.98 million cells, respectively, and Standard, RNG, and Realizable k-ε models with standard wall functions. The nine CFD configurations were evaluated against the experimental air-velocity measurements obtained using a 3×3 sampling grid across the fan-induced jet at 1, 3, 5, 7, 9, and 11 m downstream. The medium-mesh Standard k-ε showed the best agreement with the experimental measurements yielding a mean absolute error of 0.56 m/s, root mean square error of 0.68 m/s, and mean absolute percentage error of 12.58%. Its predictions differed from the fine-mesh results by less than approximately 3% from 3 to 11 m, while using approximately 64% fewer cells. The selected configuration provided an appropriate balance between predictive accuracy, numerical resolution, and computational cost. It will be used as the baseline model for evaluating alternative wind machine fan designs, including blade pitch angle, blade geometry, number of blades, rotational speed, and fan inclination angle, based on downstream airflow distribution and effective airflow coverage.

Key words: airflow distribution, axial fan, computational fluid dynamics, frost protection, wind machine

This work was supported by the "New Agricultural Climate Change Response System Construction Project (Project No. RS-2025-02283290)" of the Rural Development Administration of the Republic of Korea.

* 준회원・경상국립대학교 대학원 농공학과 석사과정・E-mail : ntrodillas@gnu.ac.kr
** 준회원・경상국립대학교 대학원 농공학과 석사과정・E-mail : woals5965@gnu.ac.kr
*** 준회원・경상국립대학교 대학원 농공학과 석사과정・E-mail : kasv123@gnu.ac.kr
**** 준회원・경상국립대학교 대학원 농공학과 석사과정・E-mail : gekim@gnu.ac.kr
***** 준회원・경상국립대학교 지역시스템공학과 학-석사과정・E-mail : qknwnl220@gnu.ac.kr
****** 정회원・경상국립대학교 지역시스템공학과 조교수・E-mail : uhyeo@gnu.ac.kr

육계사 열환경 개선을 위한 환기 제어 전략 개발 및 평가

Development and Evaluation of a Ventilation Control Strategy for Improving the Thermal Environment in Broiler Houses

이채린*, 이세연**, 박지연***, 임준홍****, 박진선*****,
Rajagukguk Rial Arifin******, 김슬기*******, 홍세운********.†
Chae-rin Lee, Se-yeon Lee, Ji-yeon Park, Junhong Im, Jinseon Park,
Rial Arifin Rajaukgukguk, Seul-gi Kim, Se-woon Hong

요 지

육계사는 계절별 외기조건과 사육일령 증가에 따른 개체의 열·수분 발생량 변화로 인해 사육기간 동안 요구되는 환기 및 냉방 수준이 지속적으로 변화한다. 그러나 기존 환기 제어 방식은 주로 사육일령, 체중 및 설정온도에 따른 단계적 운전에 의존하고 있어 변화하는 열환경에 능동적으로 대응하는 데 한계가 있다. 이에 본 연구에서는 실내 환경 변화 예측과 열에너지 수지 분석을 기반으로 한 환기 제어 알고리즘을 개발하고, 실제 육계사 현장실증을 통해 성능을 평가하였다. 제안 알고리즘은 실내·외 환경조건과 육계의 열 발생량을 바탕으로 제거가 필요한 열에너지를 산정하고, 터널팬, 크로스팬 및 쿨링패드의 실제 성능을 반영하여 환기 및 냉·난방 수준을 동적으로 제어하도록 설계하였다. 전라북도 남원시 소재 육계사를 대상으로 2026년 4월, 5월 및 7월의 총 3개 사육주기를 대상으로 각각 환절기, 고온기 현장실증을 수행하였다. 알고리즘 실제 가동 구간을 기준으로 일령별 최적온도 유지율은 1차 실증에서 대조군 9.6% 대비 실증군 80.2%, 2차 실증에서는 15.7% 대비 55.8%로 향상되었다. 3차 고온기 실증에서는 극심한 외기 고온으로 설정온도 도달에 제한이 있었으나, 외기온이 높은 주간 상위 25% 구간에서 실증군의 실내온도가 대조군보다 평균 1.2℃ 낮게 유지되었고, 실내온도 변동폭도 최대 41% 감소하였다. 에너지 사용량은 환절기에는 대조군과 유사한 수준(+1.1%)이었으며, 고온기에는 터널팬 가동량이 4.5-5.3% 감소함에 따라 전체 에너지 사용량이 4.0-4.4% 절감되었다. 또한 고온기 폐사율은 대조군 6.87%에서 실증군 6.37%로 감소하였다. 이러한 결과는 제안 알고리즘이 계절 및 사육조건 변화에 따라 환기·냉방 수준을 능동적으로 조절함으로써 육계사의 열환경 안정성과 에너지 이용 효율을 향상시킬 수 있음을 보여준다.

핵심용어: 성장성능, 에너지 효율, 열에너지 수지, 환경예측, 환기 알고리즘

본 결과물은 농림축산식품부 및 과학기술정보통신부, 농촌진흥청의 재원으로 농림식품기술기획평가원과 재단법인 스마트팜연구개발사업단의 스마트팜다부처패키지혁신기술개발사업의 지원을 받아 연구되었음(RS-2025-02216818)

* 정회원・전남대학교 대학원 지역·바이오시스템공학과 & BK21 기후지능형 간척지 농업 교육연구팀 박사1 ・E-mail: chaerinl@jnu.ac.kr
** 정회원・전남대학교 대학원 지역·바이오시스템공학과 박사후 연구원・E-mail : seyeonn@jnu.ac.kr
*** 정회원・전남대학교 대학원 지역·바이오시스템공학과 & BK21 기후지능형 간척지 농업 교육연구팀 박사2 ・E-mail: qkrwldus7749@jnu.ac.kr
**** 정회원・전남대학교 대학원 지역·바이오시스템공학과 & BK21 기후지능형 간척지 농업 교육연구팀 석사 ・E-mail : jnujunhong@jnu.ac.kr
***** 정회원・전남대학교 농업생명과학대학 기후변화대응농생명연구소 연구교수・E-mail : icarus381@jnu.ac.kr
****** 정회원・전남대학교 농업생명과학대학 지역·바이오시스템공학과 연구교수・E-mail : rialarifin@jnu.ac.kr
******* 정회원・전남대학교 농업생명과학대학 지역·바이오시스템공학과 학부연구원・E-mail : 0228tmfrl@jnu.ac.kr
******** 정회원・전남대학교 농업생명과학대학 지역·바이오시스템공학과 & BK21 기후지능형 간척지 농업 교육연구팀 부교수・E-mail : hsewoon@jnu.ac.kr

지반 및 기초공학

H-O-1

THE KOREAN SOCIETY OF AGRICULTURAL ENGINEER

휴대용 동적콘관입시험기를 이용한 지반의 투수성 예측

Prediction of Soil Permeability Using a Portable Dynamic Cone Penetrometer

석지승*, 김동근**
JiSeung Suk, Donggeun Kim

요 지

토양의 투수특성은 강우의 침투 및 배수 등에 영향을 미치는 중요한 특성으로 농경지의 투수성 평가와 농업기반시설의 관개계획 수립 등에 활용되어 왔다. 토양의 투수특성을 평가하기 위한 대표적인 지표로 투수계수(Permeability Coefficient)가 이용되고 있으며, 이를 산정하기 위해 실내 및 현장 투수시험이 수행되고 있다. 그러나 실내 투수시험의 경우 현장 상태를 보존한 불교란 시료의 채취 및 운반에 어려움이 있고, 현장 투수시험의 경우 시험장비 설치와 시험 수행에 많은 시간과 노력이 요구된다.

휴대용 동적콘관입시험기(Portable Dynamic Cone Penetrometer, PDCP)는 일정한 에너지로 콘을 지반에 관입시켜 관입량을 측정함으로써 지반의 특성을 평가할 수 있는 장비이다. 시험방법이 간단하고 휴대성이 높아 현장에서 활용성이 높은 시험법으로 알려져있고, 산정되는 동적콘관입지수(Dynamic Cone Penetration Index, DCPI)는 도로의 CBR을 추정하거나 지반의 강도 및 밀도를 평가하기 위한 지표로 널리 활용되고 있다. 그러나 농업분야에서 동적콘관입시험을 활용한 연구는 상대적으로 부족하며, 특히 동적콘관입지수와 투수계수 간의 관계를 통해 지반의 투수성을 추정하는 연구는 미흡한 실정이다.

따라서 본 연구에서는 밭 및 산지 토양을 대상으로 휴대용 동적콘관입시험을 수행하고, 시험 결과를 이용하여 현장의 투수계수를 예측하고자 하였다. 먼저 각 시험 지점에서 휴대용 동적콘관입시험을 수행하여 깊이별 관입량을 측정하고 DCPI를 산정하였다. 이후 해당 관입 지점으로부터 약 30cm 떨어진 3개 지점에서 밀도 측정용 캔을 이용하여 불교란 시료를 채취하였으며, 채취한 시료의 투수계수는 변수위 투수시험기인 DIK-4056을 이용하여 산정하였다. 이때 시료 채취와 투수계수 산정은 지표면으로부터 10cm 간격으로 구분하여 깊이별로 수행하였으며, 동일 깊이 구간에서 채취한 3개 시료의 투수계수를 산술평균하여 해당 깊이의 대표 투수계수로 선정하였다. 이를 통해 동적콘관입시험 지점에서 산정된 DCPI와, 그 주변 3개 지점의 평균 투수계수를 동일 깊이 구간별로 대응시켜 관계를 분석하고 회귀식을 구축하였다. 구축한 모델의 성능을 평가함으로써 휴대용 동적콘관입시험을 활용한 밭 및 산지 토양의 투수계수 예측 가능성을 검토하고자 한다.

본 연구의 결과는 휴대용 동적콘관입시험을 이용한 지반의 투수계수 추정 가능성을 제시하고, 기존의 현장 및 실내 투수시험을 보완할 수 있는 간편한 평가방법 개발에 활용될 수 있을 것으로 기대된다. 또한 향후 농업기반시설 및 농경지의 투수특성을 신속하게 평가하기 위한 기초자료로 활용될 수 있을 것으로 판단된다.

핵심용어: 휴대용 동적콘관입시험, 동적콘관입지수, 투수계수, 변수위 투수시험

* 준회원・충북대학교 지역건설공학과 석사과정・E-mail : sgs2023@cbnu.ac.kr
** 종신회원・충북대학교 지역건설공학과 조교수・E-mail : dgkim@chungbuk.ac.kr

Sentinel-2 위성영상의 다중 분광지수 변화 특성을 이용한 Google Earth Engine 기반 산사태 흔적 추출

Landslide Scar Mapping in Google Earth Engine Using Multi-Index Change Features from Sentinel-2 Imagery

이준*, 안현욱**
Jun Lee, Hyunuk An

요 지

기후변화의 영향으로 집중호우가 빈번해지며 국내 산사태 피해 또한 지속적으로 증가하고 있다. 집중호우로 발생한 산사태 피해지를 신속하게 파악하고 체계적인 산사태 인벤토리를 구축하는 것은 피해 규모 및 위험도 평가, 산사태 발생과 지질·강우 등 요인 간의 관계 분석을 위해 중요하다. 산사태 인벤토리는 주로 현장조사와 항공·위성영상의 육안판독을 통해 구축되며, 최근에는 원격탐사 자료와 딥러닝을 활용한 자동 추출 기법도 적용되고 있다. 그러나 현장조사와 육안판독에는 많은 시간과 인력이 소요되며, 딥러닝 기반 기법은 신뢰성 있는 학습자료의 구축과 모델 학습을 위한 상당한 컴퓨팅 자원을 요구하는 경우가 많다. 이에 본 연구에서는 Sentinel-2 위성영상의 다중 분광지수 변화 특성과 Google Earth Engine(GEE)의 클라우드 컴퓨팅 환경을 활용하여, 별도의 학습자료 및 고성능 로컬 컴퓨팅 자원 없이 산사태 흔적 후보지를 신속하게 추출할 수 있는 워크플로를 구축하고자 하였다. 식생 감소(dNDVI), 나지 증가(dBSI) 및 지표 교란(dNBR)을 나타내는 변화 특성을 정규화한 후 가중 결합하여, 산사태 흔적과 유사한 분광 변화의 상대적 강도를 0-1 범위로 나타내는 산사태 흔적 지표를 산정하였다. 또한, 사용자가 분석 지역, 재해 전후 영상 기간 및 추출 임계값을 설정하고 전후 영상과 후보지 추출 결과를 비교할 수 있도록 시각화하였다. 개발된 워크플로를 2025년 7월 19일 12시경 집중호우로 인해 산사태가 발생한 경상남도 산청군 부리 일대에 시험 적용하고, 수작업으로 구축한 검증용 폴리곤을 이용하여 혼합 지표의 임계값별 추출 성능을 비교하였다. 그 결과, 임계값 0.37에서 F1-score가 0.824로 가장 높게 나타났다. 제안된 방법은 산사태 흔적 후보지를 신속하게 선별하여 현장조사 우선순위 설정과 피해지역 기초자료 구축을 지원하는 데 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

핵심용어: 산사태, 위성영상, 원격탐사, Google Earth Engine

* 정회원・충남대학교 대학원 지역환경토목학과 석사과정・E-mail : march0976@o.cnu.ac.kr
** 정회원・충남대학교 지역환경토목학과 교수・E-mail : hyunuk@cnu.ac.kr

토양 탐침 장착 위치와 지면 지지조건에 따른 사족보행로봇의 허용 관입반력 분석

Analysis of Allowable Penetration Reaction Force of a Quadruped Robot According to Soil Probe Mounting Position and Ground Support Condition

황현준*, 박재성**, 박서경***, 김민주****
Hyeonjun Hwang, Jaesung Park, Seokyung Park, Minjoo Kim

요 지

사족보행로봇은 농경지의 다양한 지형을 이동하며 토양 정보를 수집할 수 있는 이동형 센싱 플랫폼으로 활용될 수 있다. 그러나 로봇에 수직형 토양 탐침을 장착하는 경우, 탐침을 토양에 관입할 때 발생하는 반력이 로봇 몸체에 전달되므로 실제 관입 가능한 힘은 구동기의 최대 추력뿐만 아니라 로봇의 자중, 무게중심 및 탐침 장착 위치에 의해 제한될 수 있다. 본 연구에서는 사족보행로봇에 토양 탐침을 탑재하는 경우를 대상으로, 탐침 장착 위치에 따른 로봇의 수직 반력 안정성 한계를 분석하고, 지면 지지조건에 따라 실제 확보 가능한 관입반력이 어떻게 달라지는지를 평가하고자 하였다. 이를 위해 로봇을 측면에서 단순화하고, 로봇의 무게중심 위치, 전·후방 발의 접촉 위치 및 탐침의 장착 위치를 고려하여 힘과 모멘트의 평형 관계를 나타내는 정적 모델을 구성하였다. 이론 모델의 검증을 위해 로봇 상부에 장착한 수직 가력장치가 로드셀을 거쳐 지면을 누르도록 하여, 실제 토양 탐침 시와 동일한 방향의 수직 반력을 로봇에 발생시키는 반력 시험을 설계하였다. 시험은 토양 조건의 영향을 배제한 실내 강체 바닥과 실내 토조의 두 지면 조건에서 수행하도록 구성하였으며, 가력장치의 장착 위치를 순차적으로 변경하면서 각 위치에서 반복 시험할 수 있도록 하였다. 반력을 단계적으로 증가시키면서 로드셀 반력, 전·후방 발 접촉력 및 몸체 pitch를 측정하고, 안정적인 구간에서 측정되는 발 지지력과 반력의 관계로부터 발 지지력이 0에 도달하는 임계 반력을 추정하여 정적 모델의 예측값과 비교한다. 또한 발 재배치나 보호 자세와 같은 로봇 제어기의 반응이 발생하는 시점과 지면의 침하 여부를 함께 분석하여, 지면 조건에 따라 허용 관입력을 제한하는 요인이 플랫폼의 정적 안정성인지 지면의 지지력인지 평가한다. 본 연구는 향후 사족보행로봇을 이용한 이동형 토양 물리성 측정 시스템 개발을 위한 기초 자료로 활용 가능할 것으로 기대된다.

핵심용어: 사족보행로봇, 토양 탐침, 관입반력, 정적 안정성, 토양 관입저항, 정밀농업

이 성과는 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(RS-2026-25475333).

* 부산대학교 바이오산업기계공학과 학부연구생 · E-mail : staccato43@pusan.ac.kr
** 교신저자 · 정회원 · 부산대학교 바이오산업기계공학과 부교수 · 부산대학교 생명자원시스템공학전공 부교수 · 부산대학교 생명산업융합연구원 · E-mail : jaesung.park@pusan.ac.kr
*** 부산대학교 바이오산업기계공학과 석사2 · E-mail : seokyung.park@pusan.ac.kr
**** 부산대학교 바이오산업기계공학과 석박사통합2 · E-mail : lira010503@pusan.ac.kr

사질토 지반 내 확장형 파일의 날개 경사각 및 치수에 따른 인발 저항력 특성 분석

Analysis of Pullout Resistance of Expandable Piles with Varying Wing Inclination Angles and Dimensions in Sandy Soil

박서경*, 박재성**,†, 장준봉***, 박다니엘****, 권세인*****, 김민주******, 최가은*******
Seokyung Park, Jaesung Park, Junbong Jang, Daniel Park,
Sein Kwon, Minjoo Kim, Gaeun Choi

요 지

This study numerically investigated the uplift behavior of an expandable foundation pile (X-Pile), a closed-ended steel pipe pile with four flat wings attached near the pile tip, developed as a tension anchorage for air-supported dome structures on the calcareous sand of Abu Dhabi, UAE. Three-dimensional finite element analyses were performed with Abaqus/Standard on a wished-in-place pile in a Mohr-Coulomb sand de그posit, assuming fully deployed wings. With the embedment depth fixed at 750 mm, the wing length (L = 170, 370, and 625 mm at θ = 90°) and the shaft-wing inclination angle (θ = 90-70° at L = 370 mm) were varied. Attaching wings increased the uplift resistance at the reference displacement to 33-87 times that of the plain pile, and the wing resistance governed the total resistance (89.8-98.4%). However, the dimensionless uplift factor decreased from 11.48 to 2.26 and the resistance per projected wing area from 135.1 to 26.6 kPa with increasing wing length, indicating reduced area efficiency at shallow relative embedment (H/De = 0.60-2.21). As θ decreased from 90° to 70°, the uplift resistance decreased by 35.9%, as the normal bearing force on the wing faces decreased while the tangential contribution increased (T/N = 3.4% → 16.9%). These results provide baseline data for the geometric design of winged uplift piles in calcareous sand.

Key words: Expandable foundation pile; Winged pile; Uplift resistance; Finite element analysis; Calcareous sand; Air-supported dome

본 결과물은 농림축산식품부의 재원으로 농림식품기술기획평가원의 국제협력기반수출농업경쟁력 강화기술개발사업의 지원을 받아 연구되었음(RS-2025-02313370)

* 준회원・부산대학교 대학원 바이오산업기계공학과 석사2・E-mail : seokyung.park@pusan.ac.kr
** 교신저자・정회원・부산대학교 바이오산업기계공학과 부교수・부산대학교 생명자원시스템공학전공 부교수・부산대학교 생명산업융합연구원・E-mail : jaesung.park@pusan.ac.kr
*** 동아대학교 토목공학과 부교수 E-mail : jjang@dau.ac.kr
**** Midbar CTO・E-mail : daniel@midbar.com
***** Cinapi CEO・E-mail : seinkwon897@gmail.com
****** 준회원・부산대학교 대학원 바이오산업기계공학과 석박사통합2・E-mail : lira010503@pusan.ac.kr
******* 부산대학교 대학원 바이오산업기계공학과 학부생・E-mail : rkdms009@pusan.ac.kr

노후된 농업용 저수지의 축조 및 사고 · 붕괴 이력을 고려한 위험관리 방향

Risk Management of Aging Agricultural Reservoirs Based on Construction, Accident, and Failure Histories

이영학*, 심재웅**, 박재성***, 이승재****, 김솔리*****,
김철한*******, 김재정*******, 이달원********
Younghak Lee, Jaewoong Shim, Jaesung Park, Seungjae Lee, Soil Kim,
Cheolhan Kim, Jaejeong Kim, Dalwon Lee

요 지

우리나라 농업용 저수지는 급속한 사회환경 변화 속에서 지속적으로 축조되어 와 시기변화에 따른 축조환경과 관리체계에 차이가 있다. 또한, 장기간 운영되는 과정에서 사고 및 붕괴를 경험하면서 복구, 보강, 증고 및 구조변경이 이루어진 저수지도 존재하고 있다. 최근 저수지 노후화와 강우환경 변화로 안전관리의 중요성이 커지고 있는 시점에서 장기간 운영된 노후 저수지의 특성을 고려하기 위해서는 현재의 제체 상태뿐만 아니라 과거 축조환경과 사고 및 복구 이력의 검토가 중요하다. 따라서, 본 연구에서는 일제강점기부터 현재까지 농업용 저수지의 축조환경과 안전관리체계의 변화를 고찰하고, 사고 및 붕괴사례와 관련된 자료를 검토하여 축조 및 운영 이력을 노후 저수지의 위험관리에 활용하는 방안을 검토하였다. 위험관리 활용을 위한 시기는 축조환경과 안전관리체계 변화가 현저했던 1970년이 기점이 된다. 1970년 이전은 인력 중심의 시공이 일반적이었으며, 당시 언론자료 및 붕괴사례를 고찰하면 다짐관리 미흡, 부실시공 및 유지관리상의 문제 등이 만연했던 것으로 추정된다. 이러한 환경은 1970년 이전에 축조된 저수지의 경우 당시의 축조환경과 위험요인 등을 현행 안전관리체계에 고려할 필요가 있음을 보여준다. 특히, 부분붕괴 후 복구, 증고 및 구조변경, 전면붕괴 후 재축조된 사례가 확인되는 경우 과거 손상 및 구조변경 위치와 현재의 누수, 침하, 균열 등의 이상징후와 비교한 위험수준 평가도 필요하다. 이를 토대로 축조시기와 과거 사고 및 복구 이력을 현재 제체 상태평가와 연계하고, 향후 이력정보를 정량화하여 현행 안전등급에 반영하기 위한 노후 저수지의 위험관리체계(안)를 구상하였다.

핵심용어: 농업용 저수지, 노후화, 안전관리체계, 축조환경, 붕괴이력, 위험관리체계

본 연구는 행정안전부 재난안전관리업무지원기술개발 사업인 '실증실험 기반 지자체 노후 저수지 제체 안전관리 기술개발' 과제[NDMI-주요 2026-07-03]에 의해 수행되었습니다. 이에 감사드립니다.

* 정회원 · 국립재난안전연구원 · E-mail : fulian3208@korea.kr
** 정회원 · 한국농어촌공사 안전기술본부 · E-mail : jonathan@ekr.or.kr
*** 정회원 · 부산대학교 바이오산업기계공학과 교수 · E-mail : jaesung.park@pusan.ac.kr
**** 비회원 · 국립재난안전연구원 · E-mail : seungje1215@korea.kr
***** 비회원 · 국립재난안전연구원 · E-mail : solli128@naver.com
****** 정회원 · 충남대학교 지역환경토목학과 박사과정 · E-mail : kchan@cnu.ac.kr
******* 비회원 · 국립재난안전연구원 · E-mail : kjj0914@korea.kr
******** 정회원 · 충남대학교 지역환경토목학과 교수 · E-mail : dwlee@cnu.ac.kr

대형 실증실험에서 급경사지의 급속 붕괴 재현을 위한 경계조건 검증

Validation of Conditions for Reproducing Rapid Slope Failure Using a Large-Scale Slope Simulator

이영학*, 이승재**, 송효성***, 나건하****, 김솔리*****, 박덕근******, 김재정*******
Younghak Lee, Seungjae Lee, Hyosung Song, Gunha Na,
Solli Kim, Dugkeun Park, Jaejeong Kim

요 지

집중호우에 의해 급경사지가 붕괴할 경우, 붕괴토체가 빠른 속도로 하강하면서 하부의 주거시설과 기반시설에 큰 피해를 유발할 수 있다. 이러한 급속 붕괴에 따른 피해과정과 방재대책의 효과를 실증적으로 평가하기 위해서는 대형 사면실험에서 붕괴거동을 반복적으로 재현할 수 있는 실험조건이 필요하다. 본 연구에서는 급경사지의 급속 붕괴를 대형 사면 시뮬레이터에서 재현하기 위하여, 소형 사면실험에서 확인된 붕괴조건을 대형 사면에 적용하고, 실험과 침투해석을 통해 기하학적 조건과 수리학적 경계조건을 구성하였다.

소형 사면실험에서는 총 18회 중 16회에서 토체가 기저부를 따라 빠르게 슬라이딩하였으며, 이동속도는 약 1.7~2.2m/s로 나타났다. 그러나, 동일한 조건을 대형 사면에 적용한 결과는 표면침식과 균열을 동반한 얕은 붕괴에 그쳐 현저하게 느리거나 국부적인 슬라이딩의 형태로 나타났다. 따라서, 사면 상부 소단의 형상과 경사 모래층 적용 등 지오메트리를 구성하고, 비정상 침투해석을 통해 초기 수위에 따른 침윤선과 동수경사의 변화를 분석하였다. 이를 바탕으로 구성된 조건을 대형 사면에 적용한 결과, 기저부를 중심으로 한 급속붕괴가 재현되었으며 최대 이동속도는 4.60m/s로 나타났다. 동일 조건에서 3회를 반복한 실험에서도 4.30~4.50m/s의 이동속도가 나타나 실험결과의 일관성을 확보하였다. 본 연구에서 설정한 급속 붕괴의 재현 조건은 향후 급경사지 붕괴에 따른 건축물 피해와 방재대책 효과 평가를 위한 실증실험에 활용할 수 있을 것으로 판단된다.

핵심용어: 급경사지 붕괴, 대형 사면실험, 급속 토체이동, 슬라이딩, 경계조건

본 연구는 행정안전부 재난안전관리업무지원기술개발 사업인 '실증실험 기반 지자체 노후 저수지 제체 안전관리 기술개발' 과제[NDMI-주요 2026-07-03]에 의해 수행되었습니다. 이에 감사드립니다.

* 정회원・국립재난안전연구원・E-mail : fulian3208@korea.kr
** 비회원・국립재난안전연구원・E-mail : seungje1215@korea.kr
*** 비회원・국립재난안전연구원・E-mail : song32@korea.kr
**** 비회원・국립재난안전연구원・E-mail : ngh3714@korea.kr
***** 비회원・국립재난안전연구원・E-mail : solli128@naver.com
****** 비회원・국립재난안전연구원・E-mail : drpark@korea.kr
******* 비회원・국립재난안전연구원・E-mail : kjj0914@korea.kr

동적콘관입시험의 불규칙한 데이터 간격을 고려한 저심도 지반의 공간변동성 모델링

Modeling Spatial Variability in Shallow Soils by Consideration of Irregular Depth Intervals in Dynamic Cone Penetration Tests

조상범*, 손영환**, 이원영***, 최종민****
Sangbeom Jo, Younghwan Son, Wonyoung Lee, Jongmin Choi

요 지

도로 노상, 성토체, 얕은 기초 등 농업기반시설의 설계 및 시공 품질관리에서 저심도 지반의 역학적 특성을 파악하는 것이 중요하다. 이를 위해 동적콘관입시험 (Dynamic cone penetration test; DCPT)는 장비의 이동 및 경제성 측면에서 저심도 지반 조사에 널리 활용되고 있다. 다만, 해머의 타격으로 지반의 저항을 측정하기 때문에 동적 에너지 전달 과정에서 상당한 기계적 측정 노이즈가 수반되며, 타격 당 관입 깊이에 따라 불규칙한 깊이 간격이 발생한다. 이러한 특성은 DCPT 데이터를 확률론적 부지 특성화 체계에 통합하는 데 있어 주요한 제약 요인으로 작용해 왔다. 본 연구에서는 가우시안 프로세스 회귀 (Gaussian Process Regression; GPR) 기반의 프레임워크를 DCPT 데이터에 적용하여 저심도 지반의 공간변동성 모델링 기법을 제안하고자 한다. 이를 위해, 합성 데이터 실험을 통해 불규칙한 간격의 데이터를 생성하고, 추세 성분 추정을 위한 공분산함수를 정보 기준에 따라 선정하였다. 그리고, 노이즈 분리 여부에 따른 공간 변동성 매개변수의 복원 정확도를 비교하였다. 이와 같이 검증된 방법론을 시험 현장의 DCPT 시험공에 적용하여 3차원 확률론적 부지 특성화를 수행하였으며, 불규칙 성분의 공분한 함수 및 추세 랜덤필드 중첩 수를 정보기준에 따라 결정하고 LOOCV (Leave-One-Out Cross-Validation) 교차검증을 통해 모델의 성능을 평가하였다. 그 결과, 합성 데이터 실험에서는 가우시안 공분산 함수가 불규칙한 간격 조건에서 추세 성분 추정에 가장 적합한 것으로 선정되었으며, 노이즈를 동시 추정하지 않을 경우 변동 모수가 과소추정되는 현상을 확인하였다. 실제 DCPT 데이터에서 무작위 성분의 공분산 함수로 Whittle-Matérn 모델이 채택되었다. 3차원 특성화 결과는 균질층 경계를 사전에 지정하지 않고 관측된 토층 경계와 일관된 강도 전이를 재현하며, LOOCV 교차검증 결과 기존의 지구통계학적 방법 대비 추정 정확도가 감소하였다. 본 연구에서 제안한 확률론적 부지 특성화 기법은 현장 DCPT 결과를 활용하여 소규모 저심도 지반 프로젝트의 신뢰성 기반 설계 및 시공 품질관리에 기여할 수 있을 것으로 기대된다.

핵심용어: 확률론적 부지 특성화, 가우시안 프로세스 회귀, 동적콘관입시험, 공간변동성, 측정 노이즈 분리

본 연구는 과학기술정보통신부의 재원으로 한국 연구재단의 지원 (RS-2024-00356669)을 받아 수행된 연구임

* 준회원・서울대학교 지역시스템공학과 박사과정・E-mail : cow9253@snu.ac.kr
** 종신회원・서울대학교 지역시스템공학과 교수・E-mail : syh86@snu.ac.kr
*** 종신회원・서울대학교 지역시스템공학과 석사과정・E-mail : ji4288@snu.ac.kr
**** 준회원・서울대학교 지역시스템공학과 학사과정・E-mail : jongmin0308@snu.ac.kr

강우 임계조건 기반 1차 위험지역 선별과 1차원 불포화 흐름 연계를 통한 실시간 산사태 예측

Real-Time Landslide Prediction: Rainfall Threshold-Based Pre-Screening Coupled with a 1D Unsaturated Flow model

고희민*, 신석호**, 이승준***, 안현욱****, 김민석*****
Heemin Ko, Seokho Shin, Seungjun Lee, Hyunuk An, Minseok Kim

요 지

산사태는 전 세계적으로 흔하고 심각한 피해를 입히는 자연재해로, 강우, 지진, 화산활동 및 인위적 요인과 같은 다양한 요인에 의해 발생한다. 특히 기후 변화로 인한 집중호우의 빈도와 강도가 증가함에 따라 강우에 의한 산사태의 피해는 점차 확대되고 있으며, 최근 국내 뿐만 아니라 동아시아, 남유럽, 남미 등지에서 발생한 대규모 산사태 사례는 막대한 인명피해와 사회, 경제적 손실을 보여주고 있다. 이러한 배경에서 강우에 의한 산사태를 실시간으로 예측하고 조기경보를 제공하는 기술은 재해 대응과 피해 저감에 있어서 필수적이다. 기존 연구에서 TRIGRS, SINMAP, SHALSTAB, TiVaSS 등 다양한 물리 기반 산사태 모형이 개발 및 적용되어 왔다. 이들 모형은 사면 안정성 평가에 높은 정확성을 제공하나, 국가 단위와 같은 광역 규모에 실시간으로 적용하기에는 과도한 연산 자원이 요구되는 한계가 있다. 특히, 국가 단위의 불포화 유동 해석을 포함할 경우 수천만 ~ 수억개의 격자 셀 계산이 필요하여, 일반적인 연구 및 실무 환경에서 실시간 운영은 사실상 불가능하다. 본 연구에서는 이러한 한계를 극복하기 위해, 기존 TiVaSS 모델 구조를 확장 및 경량화한 TiVaSS_Wa(Wide Area) 모형을 제안하였다. 구체적으로 (1) 과거 강우-산사태 자료로부터 도출된 강우자료를 기반으로 강우 임계조건을 활용하여 취약지역을 선별하고 계산 영역을 유동적으로 설정하며, (2) 3차원 해석을 1차원 토양수분 해석으로 단순화하여 연산 효율성을 확보하고, (3) OpenMP 기반 병렬화를 적용하여 대규모 격자 해석의 계산 부담을 완화하였다. 본 연구의 결과는 국가 단위에서의 실시간 산사태 예측 가능성을 검토하고, 기존 소규모 유역 중심 연구의 한계를 넘어 광역적 조기경보 시스템 구축을 위한 중요한 기술적 기반을 제공할 것으로 기대된다.

핵심용어: 산사태, 조기경보, 대규모, 국가급, TiVaSS_Wa, 강우 임계조건, 1차원 토양수분해석

* 학생회원・충남대학교 지역환경토목학과 박사과정・E-mail : khm980912@cnu.ac.kr
** 학생회원・충남대학교 지역환경토목학과 학부과정・E-mail : tjrgh020319@naver.com
*** 정회원・한국지질자원연구원 국토안전연구본부 지질재해연구실 선임연구원・E-mail : sjlee@kigam.re.kr
**** 정회원・충남대학교 지역환경토목학과 교수・E-mail : hyunuk@cnu.ac.kr
***** 정회원・충남대학교 한국지질자원연구원 국토안전연구본부 지질재해연구실 책임연구원・E-mail : minseok_kim@kigam.re.kr

농업용저수지 제방 지반정수의 통계적 분포 특성

Statistical Distribution Characteristics of Geotechnical Properties of Agricultural Reservoirs Embankments

허준*, 심규현**, 박종환***, 문직신****, 전상옥*****
Joon Heo, Gyuhyeon Sim, Jonghwan Park, Jiksin Mun, Sangok Jeon

요 지

국내 농업용저수지 정밀안전진단에서 산정되는 지반정수는 저수지별로 개별 축적될 뿐 통계적 변동성 규명에는 충분히 활용되지 못하고 있다. 본 연구에서는 농업용저수지 100개소의 정밀안전진단 자료 400 시료를 대상으로 지반정수의 평균, 표준편차, 변동계수 및 확률분포 특성을 분석하였다. 통일분류법(USCS) 분류 결과 조립토는 SC 및 SM, 세립토는 CL이 대부분을 차지하였다. 분석 결과 입경별 통과율의 변동계수는 입경이 작을수록 증가하는 경향을 보였다. 투수계수는 조립, 세립토의 표준편차가 0.56으로 유사하였으며, 0.075mm 통과율과 유의한 상관관계를 나타냈다. 세립분 함유율이 1% 증가할 때 투수계수는 조립토 약 8%, 세립토 5% 감소하는 것으로 나타났다. 유효응력 내부마찰각의 변동계수는 조립토 10.7% 세립토 10.9%로 국외 문헌값(6~21%)에 부합하였으나, 점착력은 조립토 49.7%, 세립토 48.0%으로 문헌값(7~38%)을 상회하는 높은 변동성을 보였다. 제방 지반정수 확률분포의 적합도를 비교한 결과 지반정수별 최적 확률분포는 항목마다 상이하였다. 본 연구 결과는 국내 농업용저수지 제방의 확률론적 안정성 평가 및 신뢰성 기반 설계에 직접 활용 가능한 실측 기반 통계자료로 활용될 수 있다. 연구에서 제시한 지반정수별 변동계수 및 확률분포는 농업용저수지 제방 실험값의 적정성을 판단하고 이상치를 선별하는 참고 자료로도 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

핵심용어: 농업용저수지, 제방, 지반정수, 변동성

본 결과물은 농림축산식품부의 재원으로 농림식품기술기획평가원의 기후변화대응지능형농업기반관리사업의 지원을 받아 연구되었음(RS-2025-02219948)

* 정회원・한국농어촌공사 농어촌연구원 책임연구원・E-mail : jheo01@ekr.or.kr
** 정회원・한국농어촌공사 농어촌연구원 선임연구원・E-mail : shimkh@ekr.or.kr
*** 정회원・한국농어촌공사 농어촌연구원 연구원・E-mail : 2150730@ekr.or.kr
**** 정회원・한국농어촌공사 농어촌연구원 책임연구원・E-mail : dreamfactory@ekr.or.kr
***** 정회원・한국농어촌공사 농어촌연구원 부장・E-mail : jeonso@ekr.or.kr

2026 한국농공학회 학술발표회

포스터 발표

THE KOREAN SOCIETY OF AGRICULTURAL ENGINEER

AI/RS/BigData

A-P-1

THE KOREAN SOCIETY OF AGRICULTURAL ENGINEER

초분광 영상을 이용한 잎의 생리적 특성 추정에서 입력 밴드 수와 모델 유형에 따른 성능 비교

Performance comparison by the number of input bands and model type in estimating leaf physiological traits from hyperspectral images

윤신후*, 송인홍**
Shinhoo Yoon, Inhong Song

요 지

초분광 반사율은 수백 개의 연속 파장 정보를 제공하지만, 밴드 간 중복이 크고 센서 비용과 계산 및 해석의 부담이 커서 실제 활용에서는 소수 밴드를 선택하거나 식생지수로 축약하여 쓰는 경우가 많다. 그러나 이러한 입력 경량화에 따른 성능 변화와 전 밴드 정보를 대체하기 위해 필요한 밴드 수는 충분히 정량화되지 않았다. 본 연구에서는 광계 II에 흡수된 빛 중 광화학 반응에 이용되는 비율을 나타내는 유효 양자수율(ΦPSII)을 대상으로, 소수 밴드 모델과 전 밴드 모델의 추정 성능을 비교하고 입력 밴드 수에 따른 성능 변화를 분석하였다. 분석에는 HyperLeaf2024 공개 자료를 활용하였다. 자료는 36개 플롯에서 수집된 밀 지엽 1,080개를 촬영 조건을 달리하여 반복 촬영한 초분광 영상 2,410장으로 구성되며, 397~1004 nm 범위의 204개 밴드와 잎별 ΦPSII 측정값을 포함한다. 소수 밴드 접근으로는 기존 식생지수와 자료 기반 산출 지수, 선택된 복수 밴드의 선형회귀모델을 적용하였으며, 전 밴드 접근으로는 부분최소제곱회귀(PLSR)와 딥러닝 모델인 1D-CNN 및 스펙트럼 트랜스포머를 적용하였다. 또한 선택 밴드 수를 단계적으로 증가시키며 전 밴드 모델의 성능에 어느 수준까지 근접하는지를 평가하였다. 플롯 단위로 측정된 수량과 시비 수준에 대해서도 같은 절차를 적용하여 형질에 따라 필요한 밴드 수가 달라지는지를 비교하였다. 본 연구를 통해 잎의 생리적 특성 추정에서 입력 밴드 수 감소에 따른 성능 변화를 정량화하고, 정확도와 입력 복잡도 간의 상충관계를 분석하였다. 이를 통해 전 밴드 초분광 정보가 필요한 수준과 소수 밴드로 대체 가능한 범위를 제시하고, 잎의 생리적 특성 추정을 위한 효율적인 파장 선택과 저비용 다중분광 센서 구성에 기초자료를 제공할 수 있을 것으로 기대된다.

핵심용어: 초분광; 광계 Ⅱ 유효 양자수율; 식생지수; 딥러닝

* 준회원・서울대학교 지역시스템공학과 학생・E-mail : theysh0312@snu.ac.kr
** 정회원・서울대학교 지역시스템공학과 부교수・E-mail : inhongs@snu.ac.kr

팜맵 기반 농경지 유형별 Sentinel-1 간섭성의 계절 변동 및 시계열 InSAR 적용성 평가

Assessment of seasonal variations in Sentinel-1 coherence and time-series InSAR applicability across farmland types using the Korean Farm Map

조정호*, 남원호**, 김민진***, 윤동현****, 김찬욱*****
Jung-Ho Cho, Won-Ho Nam, Min-Jin Kim, Dong-Hyun Yoon, Chan-Wook Kim

요 지

농경지에서의 시계열 위성레이더간섭기법(Small Baseline Subset Interferometric Synthetic Aperture Radar, SBAS-InSAR)은 작물 생육, 담수 및 영농활동에 따른 간섭성 (coherence) 저하와 공간해상도의 영향을 크게 받는다. 본 연구에서는 2018년 6월부터 2023년 4월까지 구축된 Sentinel-1 VV 간섭쌍 260개(12일 간격 131개, 24일 간격 129개)를 연계하여 경상북도 구미시와 김천시의 190,787개 농경지 필지를 대상으로 토지이용 유형별 간섭성의 계절 변동과 시계열 InSAR 적용조건을 평가하였다. 분석 결과, 12일 간섭쌍의 겨울철(12-2월) 평균 간섭성은 논 0.80, 밭 0.77, 과수원 0.81 및 시설재배지 0.88로 높게 나타났다. 반면, 영농활동과 작물 생육이 활발해지는 5월부터 간섭성이 급격히 감소하여 여름철(6-9월)에는 논 0.41, 밭 0.44 및 과수원 0.48로 낮아졌다. 특히 논의 평균 간섭성은 4월 0.73에서 5월 0.48로 감소하였으며, 8월에는 최저값인 0.39를 기록하였다. 이러한 계절적 변화는 5개 작기 동안 반복적으로 나타났으며, 담수·이앙과 작물 생육에 따라 간섭성이 주기적으로 낮아지는 특성을 보였다. 24일 간섭쌍의 평균 간섭성은 12일 간섭쌍의 0.85-0.92배 수준으로 감소하여 농경지 시계열 InSAR 분석에서는 12일 관측간격이 상대적으로 유리한 것으로 나타났다. 필지 면적 중앙값이 논과 과수원에서 각각 0.17 ha, 밭에서 0.05 ha임을 고려할 때, 본 연구에서 사용한 산출물은 개별 필지보다 농경지 유형 및 격자 단위의 모니터링에 적합한 것으로 판단된다. 본 연구 결과는 농경지 시계열 InSAR 분석에서 12일 간섭쌍을 우선적으로 활용하고, 하계 간섭쌍의 낮은 간섭성을 고려하여 가중치를 차등 적용할 필요가 있다. 향후 전체 해상도 자료 처리, 고해상도 SAR 자료와의 융합, 가뭄·강우 등 기상요인의 연계 및 현장 검증이 이루어진다면 개별 필지 단위의 정밀 지반변위 감시로 확장할 수 있을 것으로 기대된다.

핵심용어: Sentinel-1, 간섭성, 팜맵, 농경지, 시계열 InSAR, 관측조건

본 결과물은 농림축산식품부의 재원으로 농림식품기술기획평가원의 기후변화대응지능형농업기반관리기술개발사업의 지원을 받아 연구되었음(RS-2025-02219764)

* 정회원・(주)지오스토리 부사장・E-mail : remotesensing@geostory.co.kr
** 정회원・한경국립대학교 사회안전시스템공학부 교수・E-mail : wonho.nam@hknu.ac.kr
*** 정회원・한경국립대학교 융합시스템공학과 박사과정・E-mail : minjin.kim@hknu.ac.kr
**** 정회원・한경국립대학교 국가농업용수연구센터 선임연구원・E-mail : donghyun.yoon@hknu.ac.kr
***** 학생회원・한경국립대학교 사회안전시스템공학부 학부생・E-mail : chanwook.kim@hknu.ac.kr

RGB 영상 기반 사과 외적형질 분석과 재배환경 정보 연계 필지 단위 시각화 플랫폼 개발

Development of a Field-Scale Visualization Platform Integrating RGB Image-Based Apple External Trait Analysis with Growing Environment Information

전혜진*, 송승욱**, 김태곤***
Hyejin Jeon, Seungwook Song, Taegon Kim

요 지

최근 영상 기반 과실 분석 기술의 발전에 따라 비파괴적 품질 평가가 가능해졌으며, 인공지능을 활용한 다양한 이미지 기반 분석 연구가 활발히 수행되고 있다. 드론, 항공 및 위성 영상을 활용한 분석은 촬영 자료가 위치정보와 자연스럽게 결합되어 공간 단위의 분석으로 이어지는 반면, 지상에서 촬영한 이미지 기반의 과수 모니터링 연구는 대체로 개별 과실이나 단일 과수 단위에 머무르는 경우가 많다. 이로 인해 과실 분석 결과를 과수원 단위의 공간 분포로 확장하고, 지형 및 기상 등 환경정보와 함께 살펴볼 수 있는 시스템은 아직 부족한 실정이다. 이에 본 연구는 RGB 이미지 기반 과실 외적형질 분석 결과를 위치정보와 함께 지형, 기상을 포함하는 재배환경 정보와 연계하여 필지 내 분포를 공간적으로 시각화하고, 재배자가 현장에서 바로 활용할 수 있는 플랫폼 개발을 목적으로 한다. 이를 위해 다양한 환경에서 촬영된 사과 RGB 이미지로 모델을 학습하고 현장 촬영 이미지에 적용하여 성능을 평가하였다. 촬영 환경에 따른 색 왜곡과 밝기 편차를 보정하기 위해 White Balance와 CLAHE(Contrast Limited Adaptive Histogram Equalization)를 전처리로 적용한 뒤, YOLO 기반 객체 분할로 복잡한 배경에서 과실과 엽 등 병징 발현 부위를 추출하였다. 추출된 영역을 입력으로 병해 진단 모델(탄저병, 갈색무늬병, 과수화상병)과 숙도 분류 모델을 각각 학습하였다. 공간정보는 이미지 EXIF 메타데이터의 GPS 좌표를 분석 결과와 연계하고, 브이월드(V-World)의 5 m 격자 수치표고모델(DEM)에서 필지 단위 표고와 경사도를 산출하였으며, 기상청 공공데이터 API로 대상 필지 인근 관측지점의 기온, 강수량 등을 자동 수집하여 분석 결과와 동일 화면에서 조회하도록 구현하였다. 학습된 모델은 다양한 촬영 환경의 이미지에서도 안정적인 분류 성능을 보였다. 분석 결과는 과실의 품질 및 외적형질 정보와 함께 지형 및 기상 정보를 지도 형태로 중첩 시각화하는 플랫폼으로 구현하였으며, 모바일 환경에서도 활용 가능하도록 설계하여 필지 내 과실 상태와 재배 환경을 현장에서 직관적으로 확인할 수 있도록 하였다. 구축된 플랫폼은 촬영 이미지의 분석 결과와 재배환경 정보를 하나의 인터페이스에서 함께 제시하는 프로토타입으로 구현되어, 촬영부터 분석, 시각화에 이르는 과정을 단일 화면으로 통합하였다. 본 연구는 독립적인 분석 기술을 넘어, 이미지 기반 과실 분석 결과를 위치정보 및 재배환경 정보와 결합하여 현장에서 바로 활용할 수 있는 실용적 플랫폼으로 구현했다는 데 의의가 있으며, 향후 정밀농업 기반의 현장 의사결정 지원 시스템으로의 확장이 기대된다. 이 성과는 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국산업기술진흥협회가 지원하는 “계약정원제 활용 사업”의 수행 결과임.

핵심용어: Apple orchard; Deep learning; Decision support; Digital elevation model; Precision agriculture; Spatial visualization

* 준회원・전북대학교 대학원 스마트농업AI융합학과 석사・E-mail : wls5258@jbnu.ac.kr
** (주)포도 / 이미지랩(주)・E-mail : swsong@ipodo.co.kr
*** 정회원・전북대학교 스마트팜학과 부교수・E-mail : taegon@jbnu.ac.kr

Sentinel-1 SAR 시계열 자료와 팜맵을 이용한 논 담수 시기 분석

Analysis of paddy-field ponding dates using Sentinel-1 SAR time-series data and the Korean Farm Map

최혁재*, 남원호**, 이예준***, 신지현****, 조정호*****
Hyeok-Jae Choi, Won-Ho Nam, Ye-Jun Lee, Ji-Hyeon Shin, Jung-Ho Cho

요 지

논 담수 시기는 농업용수 공급과 가뭄 대응을 파악하는 핵심 지표이지만, 광범위한 지역을 대상으로 필지 단위에서 관측하기에는 한계가 있다. 본 연구에서는 2025년 팜맵의 논 필지 경계가 분석기간에도 유지되었다고 가정하고, 경상북도 구미시와 김천시를 대상으로 팜맵과 Sentinel-1 VV 후방산란 시계열 자료를 이용하여 담수 신호일을 추정하였다. ASF HyP3 산출물을 40 m 공간해상도로 변환하고, 12일 주기로 구축된 2018-2023년 총 136개 시점의 자료 중 2019-2022년의 4개 작기를 분석하였다. 논 면적 비율이 87.5% 이상인 순수 논 화소 12,955개(경지정리 논 10,057개, 미정리 논 2,898개)를 추출하였으며, 5-7월 중 VV 후방산란계수가 2-4월 중앙값보다 3 dB 이상 감소하고 동시에 −14 dB 이하가 된 최초 관측일을 담수 신호일로 정의하였다. 논의 후방산란계수 중앙값은 2-4월 약 −12 dB에서 5월 하순-6월 초 −16-−18 dB로 급격히 감소한 후 7월에 회복한 반면, 밭에서는 같은 기간 뚜렷한 변화가 나타나지 않았다. 연도별 담수 탐지 비율은 82-88%로 나타났다. 누적 탐지율이 50%에 도달한 시점(D50)은 2019-2021년 모두 5월 23일이었으며, 70% 도달 시점(D70)은 5월 29-31일이었다. 2022년의 D50과 D70은 각각 5월 20일과 5월 28일로 다른 연도보다 1-3일 빨랐다. 경지정리 논은 미정리 논보다 D50이 매년 3-5일, D70이 8-11일 빨랐으며, 담수 탐지 비율도 85-91%로 미정리 논의 72-80%보다 높았다. 본 연구의 결과는 임계값 기반 자동화 분석과 팜맵의 연계를 통해 별도의 학습자료 없이도 읍·면 단위의 담수 진행률과 미담수 필지의 공간분포를 산출할 수 있다. 향후 다중 궤도 자료의 결합, 강우 영향 보정 및 현장관측 기반의 임계값 최적화를 수행한다면 담수 시기 추정의 정확도와 활용성을 향상할 수 있을 것으로 기대된다.

핵심용어: Sentinel-1, 후방산란계수, 논 담수, 담수 시기, 팜맵, 경지정리

본 결과물은 농림축산식품부의 재원으로 농림식품기술기획평가원의 기후변화대응지능형농업기반관리기술개발사업의 지원을 받아 연구되었음(RS-2025-02219764)

* 정회원・한경국립대학교 사회안전시스템공학부 석사과정・E-mail : hyeokjae.choi@hknu.ac.kr
** 정회원・한경국립대학교 사회안전시스템공학부 교수・E-mail : wonho.nam@hknu.ac.kr
*** 정회원・한경국립대학교 융합시스템공학과 박사과정・E-mail : yejun.lee@hknu.ac.kr
**** 정회원・한경국립대학교 융합시스템공학과 박사수료・E-mail : jihyeon.shin@hknu.ac.kr
***** 정회원・(주)지오스토리 부사장・E-mail : remotesensing@geostory.co.kr

Sentinel-1 · SMAP 위성자료 융합과 AI를 활용한 고해상도 토양수분 산정

High-resolution soil moisture estimation using Sentinel-1·SMAP satellite data fusion and artificial intelligence

김지호*, 최아린**, 이정수***, 박정하****, 강석훈*****, 송정헌******
Jiho Kim, Arin Choi, Jeong Soo Lee, Jeongha Park, Seokhun Kang, Jung-Hun Song

요 지

토양수분은 농업용수 관리와 수문순환 분석에 중요한 인자로, 지역 단위의 효율적인 수자원 관리를 위해서는 토양수분의 시공간적 분포를 정밀하게 파악할 필요가 있다. Soil Moisture Active Passive (SMAP) 위성은 광범위한 지역에 대한 토양수분 정보를 지속적으로 제공하지만, 본 연구에서 활용한 SMAP 토양수분 자료는 약 9 km의 공간격자를 가지므로 소규모 농업지역의 세밀한 공간적 변동성을 나타내는 데 한계가 있다. 반면 Sentinel-1 synthetic aperture radar (SAR) 자료는 10 m 격자 단위의 후방산란 정보를 제공할 수 있어 토양수분 자료의 공간적 상세화에 활용될 수 있다. 기존 연구에서는 Sentinel-1 SAR 자료를 활용한 토양수분 산정을 위해 Water Cloud Model (WCM)과 같은 물리적·반경험적 모델이 활용되어 왔으나, 매개변수 설정과 지역별 식생 및 지표 특성에 따라 산정 결과가 달라질 수 있다. 본 연구에서는 다중 위성자료와 머신러닝 기반의 자료주도형 접근법을 이용하여 SMAP 토양수분 자료의 공간적 상세화 가능성을 평가하였다. 이를 위해 SMAP 토양수분 자료와 Sentinel-1 SAR 자료를 시공간적으로 매칭하고, Sentinel-1의 VV 및 VH 편파 후방산란계수와 Sentinel-2로부터 산정한 Normalized Difference Vegetation Index (NDVI)를 입력변수로 구성하였다. Random Forest (RF)와 Extreme Gradient Boosting (XGBoost) 모델을 적용하여 입력변수 조합에 따른 토양수분 예측성능을 비교·분석하였으며, 구축된 모델을 Sentinel-1의 10 m 공간격자에 적용하여 토양수분 산정 지도를 구축하였다. 분석 결과, 입력변수 구성과 머신러닝 모델에 따라 토양수분 예측성능에 차이가 나타났으며, 제한된 위성자료만을 이용하여 세밀한 공간규모의 토양수분 변동성을 산정하는 데에는 정확도 측면의 한계가 확인되었다. 본 연구를 통해 공간규모가 상이한 다중 위성자료와 머신러닝을 활용한 토양수분 다운스케일링의 적용 가능성과 제한요인을 분석하였으며, 향후 학습자료의 확대와 현장 토양수분 관측자료를 활용한 독립적인 검증이 필요할 것으로 판단된다.

핵심용어: Soil Moisture Active Passive (SMAP), Sentinel-1, 토양수분, 다운스케일링, 머신러닝

이 성과는 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(RS-2026-25468845).

* 학생회원 · 충남대학교 지역환경토목학과 학부연구원 · E-mail : kjh1029@o.cnu.ac.kr
** 학생회원 · 충남대학교 지역환경토목학과 학부연구원 · E-mail : kkkaaarrriiinnn@naver.com
*** 학생회원 · 충남대학교 지역환경토목학과 학부연구원 · E-mail : ssu9952@naver.com
**** 학생회원 · 충남대학교 지역환경토목학과 학부연구원 · E-mail : ha6358@naver.com
***** 학생회원 · 충남대학교 지역환경토목학과 연구원 · E-mail : 13ewq@o.cnu.ac.kr
****** 정회원 · 충남대학교 지역환경토목학과 교수 · E-mail : j.song@cnu.ac.kr

복사전달모델(MODTRAN 6) 기반 모의영상을 이용한 후속 농림업위성의 밭작물 모니터링 공간해상도 요구도 분석

Spatial Resolution Requirements of a Follow-on CAS500-4 Mission for Upland Crop Monitoring Using Simulated Imagery from MODTRAN 6

이동호*
Dongho Lee

요 지

2026년 7월 농업·산림 모니터링을 위해 발사된 농림위성은 5 m급 공간해상도와 가시광·적색경계·근적외 5개 채널로 구성되며, 농업 목적에서는 필지 면적이 넓고 텍스처가 균질한 논을 주요 모니터링 대상으로 한다. 그러나 국내 농경지에서 밭은 전체 필지 수의 절반 이상, 면적의 3분의 1 이상을 차지함에도 평균 면적 0.10 ha, 최단 변 길이 중앙값 16.4 m에 불과할 만큼 면적이 작고 형상이 불규칙하여, 5 m급 공간해상도로는 밭작물 모니터링에 한계가 있다. 한편 농림위성의 임무 수명은 약 5년으로, 그 이후를 담당할 후속 위성의 기획이 필요한 시점이다. 기획 단계에서는 탑재체 사양을 확정하기 전에 복사전달모델 등을 활용한 모의영상으로 사양별 관측 성능을 사전에 정량 평가하는 것이 중요하다. 이에 본 연구는 후속 농림업 위성이 밭작물 모니터링에 초점을 둔다고 가정하고, 공간해상도와 대기효과가 밭작물 분석에 미치는 영향을 모의영상으로 정량 분석하였다.

이를 위해 표본 필지 경계는 Farmmap 폴리곤을 사용하고, 배경 반사도는 Farmmap 이웃 피복 구성과 드론 초분광 영상(20 cm, 273밴드) 실측값으로 산출하였다. 면적과 형상복잡도로 층화추출한 6,000필지에 대해 지상표본거리(GSD) 0.3~10 m와 Nyquist 주파수에서의 변조전달함수(MTF) 0.1~1.0을 조합하고, 격자 원점 위치를 달리하며 전수 평가하였다. 또한 대기 인접효과는 복사전달모델(MODTRAN 6)로 에어로졸 광학두께와 대기 모델을 달리한 복수의 대기 조건에서 상향 산란·직달 투과율 비와 유효 혼합반경을 산출하고, 이를 모의영상에 적용하여 평가한다.

그 결과 밭 필지당 확보되는 순수 화소 수는 GSD가 커질수록 급격히 감소하여, 5 m에서는 순수 화소를 10개 이상 확보하는 필지가 3분의 1에 그쳤고 10 m에서는 대부분의 필지가 순수 화소를 하나도 확보하지 못하였다. 한편 동일한 GSD에서도 MTF 저하에 따라 확보 화소 수가 절반 가까이 줄어, 공간해상도만으로는 확보 화소 수를 규정할 수 없음을 확인하였다. 이를 반사율 오차로 환산하면 필지 평균 NDVI의 상대편의는 1 m에서 약 8%, 5 m에서 약 16%, 10 m에서 약 24%였다. 그러나 GSD를 0.3 m까지 낮추어도 편의가 더 이상 감소하지 않는 하한이 대기 조건 전 범위에서 일관되게 나타났으며, 이 하한은 대기 인접효과에 기인하는 것으로 MODTRAN 6 모의를 통해 대기 조건과 밴드별로 그 기여를 분해하여 제시한다. 나아가 광자예산을 함께 고려하면 화소 단위 산출물에서는 0.3 m의 총오차가 5 m보다 오히려 커져 1~2 m 부근에 최소점이 나타났다.

본 연구는 밭작물 모니터링 관점에서 공간해상도와 MTF, 대기효과가 관측 산출물에 미치는 영향을 모의영상으로 정량화하였다. 다만 실제 탑재체 설계에는 분광해상도, 신호대잡음비(SNR) 등 다양한 요소가 함께 고려되어야 하므로, 향후 이들 요소를 포함한 모의 실험을 보강하여 수행할 예정이다.

핵심용어: 농림위성, 밭작물, 복사 전달 모델, 공간해상도, 변조전달함수

* 정회원・한국항공우주연구원・E-mail : ehdgh3337@kari.re.kr

농작업 드론의 입제 비료 살포 균일성 평가

Evaluation of Granular Fertilizer Spreading Uniformity of an Agricultural Drone

최락영*, 류재현**, 곽근호***, 이수진****, 나상일*****, 이경도******, 김호진*******, 한승훈********

Lak-Yeong Choi, Jae-Hyun Ryu, Geun-Ho Kwak, Soo-Jin Lee, Sang-Il Na, Kyung-do Lee, Hojin Kim, Seunghoon Han

요 지

벼 재배에서 시비의 공간적 균일성은 수량과 품질을 좌우하는 핵심 요인이나, 입제 비료는 원심식 살포 기의 확산 특성, 로터 하향풍 등의 상호작용에 의해 분포가 결정되어 균일성 확보가 어렵다. 원심식 살포기의 살포 분포를 평가하는 방법 중 하나인 포집상자법은 노동집약적이며 상자의 배치 간격과 크기에 따라 공간해상도가 제약된다. 이에 본 연구는 살포폭 5 m급 농작업 드론을 대상으로 영상 기반 입자 계수법을 적용하여 살포 분포를 정량 평가하고자 하였다. 사용한 기체는 PWM 신호로 토출구의 개도를 조절하여 배출량을 결정하고 배출된 입자를 원심판으로 확산시키는 방식으로 비료를 살포한다. 목표 질소시비량 3 kg/10a 조건에서 PWM 1350, 비행속도 5.5 m/s로 4열 웨이포인트 자동비행 살포를 수행하였으며, 20×70 m 살포구역 내 20×20 m 영역에 1×1 m 격자를 조성하고 각 격자를 스마트폰으로 수직 촬영하였다. 획득 영상은 감마 보정을 통해 백색 입자를 부각시킨 후 RGB DN 200 이상을 임계값으로 이진화하였으며, 검출 객체를 벡터 레이어로 변환하였다. 이후, 구형 입자의 형상 특성인 Roundness 0.7 이상, Circularity 0.5 이상을 기준으로 이물질을 제거한 뒤 입자수를 계수하였다. 폭방향으로는 살포폭 양쪽 끝단의 살포량이 중앙부보다 낮았고, 주행방향으로 웨이포인트 인접 구간(0~5 m)에서 낮고 5~10 m 구간에서 가장 높게 나타났으며, 외측열(1, 4열)이 내측열(2, 3열)보다 낮은 경향을 보였다. 이는 원심식 살포의 고리형 분포가 기체 주행에 따라 연속적으로 중첩되는 과정에서 경계부의 중첩 기여가 결손되기 때문으로 판단되며, 로터 하향풍과 주행 중 자세각 변화가 이를 심화시킨 것으로 추정되었다. 본 계수법은 비료의 회수가 불필요하고 공간해상도의 제약이 작아 기존 포집상자법을 대체할 수 있는 평가 수단으로 활용가능할 것으로 판단되며, 향후 실제 논 포장에 적용하여 드론 영상 기반 생육 분포와 비교 분석할 예정이다.

핵심용어: 정밀농업, 농작업 드론, 비료, 살포

본 연구는 농촌진흥청 농업과학기술 연구개발사업(과제번호: RS-2025-02215069)의 지원에 의해 이루어진 것임.

* 비회원・농촌진흥청 국립농업과학원 농업위성센터 연구사・E-mail : cly6847@korea.kr
** 비회원・농촌진흥청 국립농업과학원 농업위성센터 연구사・E-mail : ryujaehyun@korea.kr
*** 비회원・농촌진흥청 국립농업과학원 농업위성센터 연구사・E-mail : ghkwak06@korea.kr
**** 비회원・농촌진흥청 국립농업과학원 농업위성센터 연구사・E-mail : sjlee610b@korea.kr
***** 비회원・농촌진흥청 국립농업과학원 농업위성센터 연구사・E-mail : sangil917@korea.kr
****** 비회원・농촌진흥청 국립농업과학원 농업위성센터 연구관・E-mail : kdlee11@korea.kr
******* 비회원・주식회사 락로보틱스 대표・E-mail : david@rockrobotics.co.kr
******** 비회원・주식회사 락로보틱스 수석・E-mail : seollove@rockrobotics.co.kr

SMAP 9km 및 SMAP-Sentinel-1 3km · 1km 토양수분 자료의 장기 시공간 변동 특성 비교

Comparison of long-term spatiotemporal variability in SMAP 9km and SMAP-Sentinel-1 3km and 1km soil moisture data

박정하*, 최아린**, 이정수***, 김지호****, 강석훈*****, 송정헌******
Jeongha Park, Arin Choi, Jeong Soo Lee, Jiho Kim, Seokhun Kang, Jung-Hun Song

요 지

토양수분은 작물의 생육과 농업용수 관리에 영향을 미치는 핵심 수문인자이다. 위성 기반 토양수분 자료는 넓은 지역을 지속적으로 관측할 수 있지만, 공간해상도와 관측 특성이 서로 달라 농업지역에 적용하기 위한 비교와 평가가 필요하다. SMAP(Soil Moisture Active Passive)은 체적토양수분을 제공하지만 공간해상도가 약 9 km로 비교적 거칠다. 반면 Sentinel-1은 약 10 m의 상세한 공간정보를 제공하지만 후방산란계수 형태로 관측되므로 농업 물관리에 직접 활용하는 데 한계가 있다. SMAP-Sentinel-1 연계 자료는 두 위성자료의 특성을 결합하여 3 km 및 1 km 공간해상도의 체적토양수분을 제공할 수 있다. 본 연구에서는 충청남도 부여군 농업지역을 대상으로 SMAP 9 km와 SMAP-Sentinel-1 3 km 및 1 km 토양수분 자료의 장기 시공간 특성을 비교하고, 3 km 및 1 km 자료의 농업지역 활용 가능성을 검토하고자 한다. 연구기간은 SMAP 자료가 제공되기 시작한 2015년 이후의 가용기간으로 설정한다. 세 자료의 공통 관측일을 기준으로 장기 시계열을 구축하여 연도별·계절별 평균과 변동성을 비교하고, 동일 날짜의 공간분포를 분석한다. 특히 9 km에서 표현하기 어려운 농경지의 공간적 차이가 3 km와 1 km 자료에서 어떻게 나타나는지 살펴보고, 3 km 자료를 기준으로 1 km 자료의 시계열 일관성, 공간적 이질성 및 변동 특성을 평가한다. 부여지역의 농촌진흥청 토양수분 관측자료가 확보될 경우 상관계수, 편향 및 평균제곱근오차 등의 통계지표를 이용하여 위성자료와 비교하고자 한다. 본 연구는 공간해상도에 따른 위성 토양수분 자료의 장기 변화와 공간적 표현 특성을 파악하고, 1 km 자료의 농업 물관리 및 농경지 토양수분 모니터링 활용 가능성을 평가하기 위한 기초자료를 제공할 것으로 기대된다.

핵심용어: SMAP, Sentinel-1, 토양수분, 공간해상도, 시공간 변동성, 장기 시계열 분석

본 결과물은 농림축산식품부의 재원으로 농림식품기술기획평가원의 기후변화대응지능형농업기반관리기술개발사업의 지원을 받아 연구되었음 (RS-2026-25522713, 기후변화 대응 AI·위성 기반 농업수자원 활용 기술 개발)

* 학생회원・충남대학교 지역환경토목학과 학부연구원・E-mail : ha6358@naver.com
** 학생회원・충남대학교 지역환경토목학과 학부연구원・E-mail : kkkaaarrriiinnn@naver.com
*** 학생회원・충남대학교 지역환경토목학과 학부연구원・E-mail : ssu9952@naver.com
**** 학생회원・충남대학교 지역환경토목학과 학부연구원・E-mail : kjh1029@o.cnu.ac.kr
***** 학생회원・충남대학교 지역환경토목학과 연구원・E-mail : 13ewq@o.cnu.ac.kr
****** 정회원・충남대학교 지역환경토목학과 교수・E-mail : j.song@cnu.ac.kr

Sentinel-2 NDVI와 AquaCrop 군락피복도 시계열 비교를 통한 작물 생육 특성 분석

Time-series comparison of sentinel-2 NDVI and AquaCrop-simulated canopy cover for crop growth analysis

최아린*, 이정수**, 박정하***, 강석훈****, 송정헌*****
Arin Choi, Jeong Soo Lee, Jeongha Park, Seokhun Kang, Jung-Hun Song

요 지

기후변화로 가뭄과 이상기후의 발생이 증가하면서 농경지의 작물 생육 상태를 정확하게 파악하고 이를 농업 물관리에 활용하기 위한 기술의 중요성이 커지고 있다. AquaCrop은 기후, 토양, 작물 및 재배관리 조건에 따라 군락피복도(Canopy Cover, CC), 바이오매스 및 수확량을 모의하는 작물 물생산성 모형으로, 작물 생육 및 농업용수 관리에 활용될 수 있다. 그러나 AquaCrop의 작물 생육 모의 특성을 평가하기 위해서는 지속적인 현장 생육 관측자료가 필요하며, 넓은 농경지를 대상으로 이러한 자료를 확보하는 데에는 시간적·공간적 한계가 있다. 위성 원격탐사는 농경지의 식생 상태를 주기적으로 관측할 수 있으며, Sentinel-2 위성영상에서 산정되는 정규식생지수(Normalized Difference Vegetation Index, NDVI)는 작물 생육과 군락 발달에 따른 시간적 변화를 파악하는 데 활용될 수 있다. 본 연구에서는 충청남도 부여군 내 밭 지역을 대상으로 Sentinel-2 NDVI와 AquaCrop에서 모의된 군락피복도의 시계열 변화를 비교하여 위성영상에서 관측된 작물 생육 변화와 작물모형에서 모의된 생육 변화 간의 시간적 일치성을 평가하고자 한다. Sentinel-2 Level-2A 영상을 이용하여 대상기간의 NDVI 시계열을 구축하고, 동일 기간에 대해 기상, 토양, 작물 및 재배관리 자료를 이용하여 AquaCrop을 구동한 후 일별 군락피복도 자료를 산정하고자 한다. Sentinel-2 관측일을 기준으로 NDVI와 AquaCrop 군락피복도를 대응시키고, 두 자료의 시계열 변화와 Pearson 상관계수를 이용하여 시간적 상관성을 분석하고자 한다. 또한 Sentinel-2 관측자료에서 최대 NDVI가 나타난 시점과 AquaCrop에서 모의된 최대 군락피복도 발생시점을 비교하여 두 생육정보 간의 시기적 차이를 분석하고자 한다. 이를 통해 현장 생육 관측자료가 제한적인 농경지에서 Sentinel-2 기반 식생정보가 AquaCrop의 작물 생육 모의 특성을 평가하기 위한 보조자료로 활용될 수 있는지를 검토하고, 향후 위성자료와 작물모형을 연계한 농업 물관리 연구를 위한 기초자료를 제공하고자 한다.

핵심용어: Sentinel-2, 정규식생지수, AquaCrop, 군락피복도, 작물 생육, 원격탐사

본 결과물은 농림축산식품부의 재원으로 농림식품기술기획평가원의 기후변화대응지능형농업기반관리기술개발사업의 지원을 받아 연구되었음 (RS-2026-25522713, 기후변화 대응 AI·위성 기반 농업수자원 활용 기술 개발)

* 학생회원・충남대학교 지역환경토목학과 학부연구원・E-mail : kkkaaarrriiinnn@naver.com
** 학생회원・충남대학교 지역환경토목학과 학부연구원・E-mail : ssu9952@naver.com
*** 학생회원・충남대학교 지역환경토목학과 학부연구원・E-mail : ha6358@naver.com
**** 학생회원・충남대학교 지역환경토목학과 연구원・E-mail : 13ewq@o.cnu.ac.kr

GEE 기반 Sentinel-1 · Sentinel-2 저수지 수체탐지 특성 비교

Comparing Sentinel-1 and Sentinel-2 Reservoir Water Detection on Google Earth Engine

송준선*, 구희동**, 김대식***
Joonsun Song, Heedong Koo, Daesik Kim

요 지

국내 농업용 저수지 중 상당수는 실측 수위·저수량 자료가 확보되지 않은 미계측 상태로 관리되고 있어, 기후변화로 인한 가뭄·홍수 등 수자원 위험 상황에서 신속한 대응 근거자료를 제공하기 어렵다는 한계를 지닌다. 이를 보완하기 위해서는 실측 자료 없이도 위성영상만으로 저수지의 수체 변화를 객관적으로 파악할 수 있는 위성 기반 모니터링 체계의 구축이 필요하며, 기존 연구에서 지역·시기와 무관하게 적용해 온 고정 임계값 방식은 대상지의 지형적·계절적 특성을 반영하지 못한다는 점에서 한계로 지적되어 왔다. 이에 본 연구는 미계측 저수지 모니터링 플랫폼 개발의 선행 단계로서, Google Earth Engine(GEE) 환경에서 Sentinel-1 SAR 영상과 Sentinel-2 광학 영상 각각을 활용한 저수지 수체탐지 절차를 구축하고, 두 위성영상 유형의 탐지 특성을 비교하는 연구를 수행하고자 한다. 연구대상지는 경상북도 경산시 내 저수지이며, 두 위성영상 모두 특정 시점의 단일 촬영영상을 기준으로 처리하였다. 수체 판별을 위한 임계값 설정에 있어서는 고정값 대신 데이터로부터 임계값을 자동으로 산출하는 Otsu 기법의 적용을 시도하였으며, 동일한 관측일에 촬영된 두 영상을 대상으로 방법론을 나란히 적용하여 비교하였다. 본 연구를 통해 확인되는 SAR와 광학 영상 각각의 탐지 특성 및 한계는 향후 미계측 저수지를 대상으로 한 보다 정교한 자동 수표면적 산출 방법론을 설계하는 데 실질적인 근거자료로 활용될 수 있을 것으로 기대된다. 나아가 두 위성영상의 상호보완적 융합 가능성을 탐색함으로써, 실측 자료 없이도 가뭄·홍수 대응 의사결정을 지원할 수 있는 위성 기반 저수지 모니터링 플랫폼 개발에 기여할 수 있을 것으로 전망된다.

핵심용어: 미계측 저수지, Sentinel-1, Sentinel-2, Google Earth Engine, Otsu 임계값, 수체탐지

본 결과물은 농림축산식품부의 재원으로 농림식품기술기획평가원의 기후변화대응지능형농업기반관리기술개발사업의 지원을 받아 연구되었음(RS-2026-25522713, 기후변화 대응 AI·위성 기반 농업수자원 활용 기술 개발)

* 학생회원・충남대학교 지역환경토목학과 학사과정・E-mail : thdwnstjs185@naver.com
** 정회원・충남대학교 농업과학연구소 연구교수・E-mail : siskoo@cnu.ac.kr
*** 정회원・충남대학교 지역환경토목학과 교수・E-mail : drkds19@cnu.ac.kr

AI/RS/BigData

A-P-2

THE KOREAN SOCIETY OF AGRICULTURAL ENGINEER

농업 고령화와 농지 임대차가 농지 이용 지속성에 미치는 영향 – 필지단위 농지정보와 Sentinel 시계열 자료를 활용하여 –

The Effects of Agricultural Aging and Farmland Leasing on the Sustainability of Farmland Use

- Using Parcel-Level Farmland Information and Sentinel Time-Series Data -

김진성*, 이상현**, 리재웅***, 취뤼****, 이보현*****, 임경규******
JinSung Kim, Sang–Hyun Lee, Zaewoong Rhee, Rui Qu, Lee Bo–Hyun, GyeongGyu Lim

요 지

농촌지역의 고령화가 심화되면서 고령 농업인의 직접 경작은 어려워지고, 이에 따라 농지 임대차의 중요성도 커지고 있다. 그러나 실제 농촌에서는 정식 임대차계약뿐 아니라 구두계약, 상속·공동명의, 소유자 불명확 등의 이유로 행정자료에 충분히 나타나지 않는 임대차가 존재한다. 이로 인해 실제 경작자와 행정상 경작정보가 일치하지 않거나, 실경작자가 직불제 등 제도적 지원에서 배제되는 문제가 발생할 수 있다. 반면 농지 임대차가 고령농이 경작하기 어려운 농지를 다른 농업인에게 이전하여 지속적으로 이용하게 하는 기능을 한다면, 농업 고령화에 따른 농지 이용 감소와 생산공간 쇠퇴를 완화하는 역할을 할 수 있다.

본 연구에서는 필지단위 농지 소유·이용정보와 경작자의 연령, 경영규모, 자경·임차면적, 임대차계약 및 직불금 관련 정보를 구축하고, Sentinel-1·2 시계열 자료를 활용하여 필지별 경작 여부, 생육기간, 작부빈도, 휴경기간 및 다년간의 경작 지속성을 분석하고자 한다. 이를 통해 자경농지와 임차농지의 경작 특성을 비교하고, 경작자 연령과 경영규모, 임대차 형태에 따라 농지 이용 지속성에 어떠한 차이가 나타나는지를 분석한다. 특히 농지 임대차가 고령화로 인한 경작 중단을 완화하고 농업생산공간의 지속적인 이용에 기여하는지 실증적으로 규명하며, 실경작자 중심의 농지 임대차 및 직불제 개선을 위한 정책적 기초자료를 제시하는 데 목적이 있다.

핵심용어: 농업 고령화, 농지 임대차, 농지 이용 지속성, 실경작자, Sentinel 시계열(Sentinel Time–Series)

* 준회원・충북대학교 지역건설공학과 박사과정・E-mail : 0125js@cbnu.ac.kr
** 정회원・충북대학교 지역건설공학과 교수・E-mail : sanghyun@cbnu.ac.kr
*** 정회원・충북대학교 지역건설공학과 강사・충남대학교 농업과학연구소 박사후 연구원・E-mail : agminister@cbnu.ac.kr
**** 정회원・충북대학교 지역건설공학과 박사후 연구원・E-mail : qurui@cbnu.ac.kr
***** 준회원・충북대학교 지역건설공학화 박사과정・E-mail : leebohyun@cbnu.ac.kr
****** 준회원・충북대학교 지역건설공학화 석사과정・E-mail : imgyeonggyu@cbnu.ac.kr

위성영상 시계열 패턴 학습을 통한 농지 변화 예측

Learning Satellite Time-Series Patterns for Farmland Change Prediction

김재훈*, 구희동**, 김대식***
Jaehun Kim, Heedong Koo, Daesik Kim

요 지

본 연구는 위성영상 시계열 자료와 딥러닝 기법을 활용하여 농지 면적의 미래 변화를 예측하는 방법론을 제안한다. 최근 국내 농지는 도시화 및 산업단지 조성 등 비농업적 토지 수요의 확산으로 지속적인 감소 추세를 보이고 있으며, 이러한 변화를 사전에 예측하는 것은 농지 보전 정책 수립을 위한 기초자료로서 중요한 의미를 가진다. 기존의 토지이용 변화 예측 연구는 CLUE-s, CA-Markov 등 인구, 지가, 산업입지와 같은 사회경제적 드라이버를 기반으로 한 시나리오 시뮬레이션 방법론이 주로 활용되어 왔으나, 이는 다양한 외부 통계자료의 구축을 필요로 하여 자료 접근성에 따라 적용 범위가 제한되는 한계가 있다. 이에 본 연구는 별도의 사회경제적 변수 없이 위성영상 자체의 시공간적 변화 패턴만으로 농지 변화를 예측하는 접근을 시도하였다. 연구대상지는 산업단지 조성 등으로 도시화 압력이 큰 천안·아산시로 선정하였다. Sentinel-2 위성영상을 활용하여 2015년부터 2024년까지 연 단위의 다중분광 시계열 영상을 구축하고, 기하보정 및 방사보정을 거쳐 식생지수를 포함한 다중분광 밴드로 구성한 뒤 농경지를 포함한 토지피복을 분류하였다. 분류된 연도별 토지피복 시계열을 입력자료로 하여 ConvLSTM 등 시공간 딥러닝 모델을 학습시키고, 과거 시점의 자료로 특정 연도의 농지 분포를 예측한 후 실제 분류 결과와 비교·검증하였다. 본 연구는 사회경제적 통계자료 구축 없이도 위성영상만으로 농지 변화 예측이 가능한지를 확인함으로써, 자료 접근이 제한적인 지역에서도 적용 가능한 확장성 높은 예측 방법론을 마련하는 데 의의가 있다.

핵심용어: 농지변화, 위성영상, 딥러닝, 토지피복예측, ConvLSTM

본 연구성과물은 2024년도 정부(교육부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임(RS-2024-00463527)

* 학생회원・충남대학교 대학원 지역환경토목학과 석사과정・E-mail : kjh46582434@gmail.com
** 정회원・충남대학교 농업과학연구소 연구교수・E-mail : siskoo@cnu.ac.kr
*** 정회원・충남대학교 지역환경토목학과 교수・E-mail : drkds19@cnu.ac.kr

고해상도 위성영상과 딥러닝을 활용한 야적퇴비 자동 탐지 및 시계열 모니터링

Open-Air Compost Detection and Time-Series Monitoring Using High-Resolution Satellite Imagery and Deep Learning

김시원*, 이찬희**, 신승훈***, 이동준****, 김종건*****
Siwon Kim, Chanhee Lee, Seunghun Shin, Dongjun Lee, Jonggun Kim

요 지

야적퇴비는 가축분뇨 퇴비를 노지에 피복 없이 쌓아 둔 것으로, 강우 시 질소·인 침출수가 하천으로 직접 유입되는 비점오염원이다. 적치-유지-소멸이 수일~수개월 단위로 변해 현장조사 중심의 현행 관리 체계로는 광역 유역을 짧은 주기로 반복 감시하기 어렵다. 이에 본 연구는 3m 공간해상도·일 단위 재방문이 가능한 PlanetScope 위성영상에 딥러닝 의미론적 분할 모델을 결합하여 광역 야적퇴비 자동 탐지 방법론을 정립하였다. 대상지는 지형과 토지피복이 서로 다른 소양호 상류의 자운지구·만대지구와 경안천 유역이다. PlanetScope의 RGB·근적외 4개 밴드를 입력으로 작고 희소한 객체 탐지에 유리한 Attention U-Net을 채택하고, 실측 야적퇴비 684개로부터 96×96 패치 4,751개를 구축하였다. 학습에는 다섯 가지 온라인 증강과 미탐·오탐을 함께 억제하는 손실 구성 및 운영 임계값을 적용하였다. 학습에 포함되지 않은 평가 시점에서 전역 모델의 F1은 자운지구 0.800, 만대지구 0.759, 경안천 유역 0.667이었으며, 세 지역 모두 재현율이 정밀도 이상으로 확보되었다. 전역 모델을 경안천 자료로 미세조정한 지역 모델은 F1 0.778로 0.111 향상되어 소규모·분산 적치 지역에서 지역 특화 학습이 유효함을 확인하였다. 또한 일 단위 영상으로 적치-유지-소멸 동태를 시계열 추적하고, 탐지 지점에서 하천까지의 유하거리로 유출 위험도를 등급화하는 활용 방안을 제시하였다. 본 결과는 비점오염원 관리에서 야적퇴비를 광역·반복 감시하고, 장기 적치 및 하천 인접 개체의 조기 조치로 연결하는 기초 기술로 활용될 수 있을 것이다.

핵심용어: 야적퇴비, PlanetScope, Attention U-Net, 시계열 모니터링, 비점오염

본 연구는 한강수계관리위원회 환경기초조사사업 “소양강댐 탁수 및 녹조관리를 위한 센서 기반 오염원(비점) 모니터링 체계 및 관리체계 마련”의 지원을 받아 수행되었습니다.

* 정회원・강원대학교 지오에코시스템융합학과 박사과정・E-mail : lobin2030@naver.com
** 학생회원・강원대학교 지역건설공학과 학부연구생・E-mail : toyou0601@naver.com
*** 정회원・강원대학교 농업생명과학대학 지오에코시스템융합학과 박사과정・E-mail : soc061740@gmail.com
**** 정회원・강원대학교 농업생명과학대학연구소 박사 후 연구원・E-mail : jdj90lee@gmail.com
***** 정회원・강원대학교 지역건설공학과 교수・E-mail : jgkim@kangwon.ac.kr

Sentinel-2 기반 복합지수를 활용한 경안천 유역 농경지 액비 살포 탐지

Detection of Liquid Manure Application on Agricultural Fields in the Gyeongan Stream Watershed Using a Sentinel-2-Based Composite Index

신승훈*, 김시원**, 이찬희***, 김종건****
Seunghun Shin, Siwon Kim, Chanhee Lee, Jonggun Kim

요 지

농경지에 살포되는 가축분뇨 액비는 작물 생육에 필요한 양분을 공급하지만, 강우 시 하천으로 유출될 경우 수질오염을 유발하는 비점오염원으로 작용할 수 있다. 액비 살포지는 공간적으로 분산되어 있으며, 농민 개인의 신고에 의존하기 때문에 액비 살포지에 대한 정보를 지속적으로 파악하는 데 한계가 있다. 이에 본 연구에서는 Sentinel-2 위성영상을 활용하여 농경지의 액비 살포 전후 분광 변화를 분석하고, 이를 결합한 액비 살포 탐지 복합지수(Liquid Manure Detection Index, LMDI)의 적용 가능성을 평가하고자 하였다. 연구 대상은 경안천 유역 내 경기도 용인시 백암면 옥산리에 위치한 나지 상태의 농경지 3개 필지로 선정하였으며, 가축분뇨전자인계시스템의 살포 기록과 2022년 5월 22일 및 27일의 Sentinel-2 L2A 영상을 활용하였다. 우선 유기물 변화에 반응하는 EOMI2와 수분 변화에 민감한 단파장적외선(SWIR) 반사율의 살포 전후 변화량을 산정하였다. 이후 각 변화량을 Z-score로 표준화하고, 가산형과 곱셈형 및 두 지수의 임계조건을 동시에 적용한 조건 결합형 LMDI를 구성하여 살포 필지와 주변 지역의 반응을 비교하였다. 분석 결과, 살포 기록이 있는 필지에서 EOMI2 증가와 SWIR 반사율 감소가 나타났다. 가산형 지수는 살포 필지 외 주변 지역에서도 높은 반응을 보였으며, 곱셈형 지수는 살포 필지의 신호가 상대적으로 약하게 나타났다. 반면 조건 결합형 지수는 주변 지역의 반응을 억제하면서 살포 필지에 신호가 집중되는 공간적 특성을 보였다. 이러한 결과는 유기물과 수분 관련 분광 변화를 결합한 LMDI가 나지 농경지의 액비 살포 여부를 파악하는 데 활용될 가능성을 시사한다. 향후 다양한 살포량과 토지피복 조건에서의 사례 분석 및 현장 검증을 통해 탐지 임계값과 적용 범위를 구체화한다면, 경안천 유역의 액비 살포 모니터링과 농업 비점오염원 관리를 위한 기초자료로 활용할 수 있을 것으로 판단된다.

핵심용어: Sentinel-2, 액비 살포, 원격탐사, LMDI, 비점오염원

본 연구는 기후에너지환경부의 재원으로 한국환경산업기술원의 토양탄소저장기술개발사업 지원을 받아 수행되었습니다(RS-2026-25504681)

* 준회원・강원대학교 지오에코시스템융합학과 박사과정・E-mail : soc06174@naver.com
** 준회원・강원대학교 지오에코시스템융합학과 박사과정・E-mail : lobin2030@naver.com
*** 준회원・강원대학교 지역건설공학과 학부생・E-mail : toyou0601@naver.com
**** 정회원・강원대학교 지역건설공학과 교수・E-mail : jgkim@kangwon.ac.kr

변수 선언 메타데이터를 활용한 선언형 작물모형 대리모형의 자동 생성

Automatic surrogate generation for declarative crop models using variable declaration metadata

우나영*, 윤경담**
Nayoung Woo, Kyungdahm Yun

요 지

입출력 자료에만 의존하는 대리모형(surrogate)은 원 모형의 계산 관계를 활용하지 못해 식으로 재현할 수 있는 변수까지 학습에 맡긴다. 작물모형에는 산술 관계, 조건 판정, 적산처럼 주어진 상태와 입력으로 직접 계산할 수 있는 명시적(explicit) 변수가 많다. 이 가운데 누적과 조건 분기를 포함한 계산 구조는 신경망이 자료로부터 그 규칙을 학습하여 안정적으로 재현하기 어려울 수 있다. 한편, 서로 얽힌 식의 해를 반복 계산으로 구하는 암묵적(implicit) 변수나 대리모형의 시간 간격보다 짧은 변화에 영향을 받는 변수는 선언된 식을 한 번 적용하는 것만으로는 재현하기 어렵다. 선언형 모델링 프레임워크 Cropbox에서는 도메인 특화 언어(DSL)로 모형을 변수 단위로 기술하므로, 각 변수의 종류, 계산식, 입력에 관한 메타데이터를 쉽게 추출할 수 있다. 본 연구는 이 정보를 활용하여 재현 가능한 계산 규칙은 유지하고 나머지만 신경망으로 학습하는 대리모형 자동 생성 방법을 제안한다.

절차는 세 단계이다. 첫째, 원 모형의 변수 선언에서 각 변수의 종류, 계산식, 입력 변수를 추출한다. 이어 원 모형에서 생성한 자료를 이용해 각 계산 규칙이 대리모형의 시간 간격에서도 변수 값을 재현하는지 검사한다. 허용 오차 안에서 재현되는 변수는 계산 변수, 나머지는 학습 변수로 분류한다. 둘째, 현재 상태와 외부 입력을 받아 학습 변수의 값 또는 변화량을 예측하는 신경망을 구성한다. 값과 변화량 중 어느 쪽을 예측할지는 앞 단계의 결과에 따라 정한다. 셋째, 예측 시 매 시간 단계에서 신경망의 출력과 변수 선언에서 복원한 계산 규칙을 결합하여 나머지 변수를 계산하고 누적 상태를 갱신한다. 즉, 원 모형에서 일부 계산식만 신경망으로 대체한 구조이다. 또한, 미세 시간 간격의 누적 효과를 재구성하고 시뮬레이션 중 생성되는 기관의 변수를 정렬·집계하는 처리를 추가하였다.

이 절차를 작물모형 SIMPLE과 Garlic, 구성 모듈인 적산온도(GDD), 잎 기체교환(LGE), 토양수분(SW)에 적용한 결과, 모형의 구조에 따라 학습 변수의 범위가 달라졌다. SIMPLE과 GDD에서는 신경망 학습 없이 계산 규칙만으로 원 모형의 평가 대상 출력을 수치 오차 수준에서 재현하였다. LGE와 SW에서는 규칙만으로 재현되지 않는 일부 변수를 학습하였다. Garlic에서는 학습 변수의 범위가 가장 넓었다. 시간 의존성을 반영하기 위해 LSTM 기반 순환신경망을 사용하였으며, 자기 예측을 되먹이는 과정도 학습에 반영하였다. 학습 설정 조정과 앙상블을 거친 대표 실험에서 주요 출력의 범위 정규화 RMSE(NRMSE)는 평균 5% 이내였다. Garlic의 실행 시간은 원 모형의 약 절반이었다.

이 결과는 변수 선언에서 추출한 메타데이터로 신경망의 학습 범위를 줄이고, 계산 구조와 복잡도가 서로 다른 모형에 공통의 대리모형 생성 절차를 적용할 수 있음을 보여준다. 다만 평가는 학습 조건 범위 안에서 학습에 사용하지 않은 자료로 수행하였다. 앞으로는 이 범위를 벗어난 조건과 다른 유형의 모형에 대한 검증이 필요하다.

핵심용어: 대리모형, 작물모형, 선언형, 도메인 특화 언어

* 비회원・전북대학교 스마트팜학과 학부생・E-mail : 202310083@jbnu.ac.kr
** 비회원・전북대학교 스마트팜학과 조교수・E-mail : kdyun@jbnu..ac.kr

Image-driven Soil Moisture Monitoring for Customized Management

김유안*, 하와리 마이스**, 김미소***, 서 교****
Yooan Kim, Mais Hawari, Miso Kim, Kyo Suh

Abstract

Crop growth can vary substantially even under the same cultivation conditions, which limits the effectiveness of smart farming systems that rely on uniform, average-based management. Such systems often overlook plant-to-plant differences driven by local environmental conditions and physiological variability, potentially reducing resource-use efficiency and crop productivity. Plant-specific management is therefore becoming increasingly important in smart farming, yet practical, non-invasive methods for monitoring soil conditions at the individual plant level remain limited. This study aimed to develop an AI-based framework that combines soil sensor measurements with image analysis for customized soil moisture management. Transplanted wild-simulated ginseng was used as the target crop. RGB images of the soil surface were collected together with in situ soil moisture measurements at multiple depths to capture vertical moisture variation. Several deep learning and machine learning models were tested for soil moisture estimation. DenseNet121 performed best for predicting surface soil moisture, while random forest regression showed the highest accuracy for subsurface moisture estimation. The results show that RGB images of the soil surface can be used as a non-invasive indicator of soil moisture when combined with data-driven models. This approach supports plant-level decision-making and provides a practical, scalable basis for customized moisture management in smart farming systems.

Key words: customized management; image-Based machine learning; soil moisture; non-invasive monitoring

This research was supported by the Commercialization Promotion Agency for R&D Outcomes (COMPA) funded by the Ministry of Science and ICT (MSIT). (RS-2025- 25422608, 2025 Technology Commercialization Enhancement Project (TLO Innovation) Seoul National University.)

* 정회원・서울대학교 글로벌 스마트팜 혁신인재양성 교육연구단 선임연구원・E-mail : tinguyo@snu.ac.kr
** 준회원・서울대학교 국제농업기술대학원 박사・E-mail : Maishhawari26@snu.ac.kr
*** 준회원・서울대학교 국제농업기술대학원 석사・E-mail : miso.kim@gmail.com
**** 정회원・서울대학교 국제농업기술대학원 국제농업기술학과 교수・E-mail : kyosuh@snu.ac.kr

딥러닝 기반 하천수위 예측 고도화를 통한 배수갑문 선제적 연계 운영 방안 연구

Deep Learning-Based River Water Level Prediction for Preemptive Drainage Gate Operation Strategies

임희성*, 표승렬**, 전수칠***
Heesung Lim, Seungryeol Pyo, Suchil Jeon

요 지

전 세계적인 기후변화의 영향으로 국지성 호우 및 극한 강우의 발생 빈도와 강도가 가파르게 증가함에 따라, 유역 내 홍수로 인한 인명 및 재산 피해가 매년 반복되고 있다. 특히 2023년 7월 장마철 당시 발생한 극한 강우로 인해 화원 제2방조제 인근 10개 마을에서 약 200ha 규모의 농경지가 침수되는 등 대규모 농업·유역 피해가 발생한 바 있으며, 이는 단순 사후 복구를 넘어선 신속하고 정확한 선제적 유역 방재 체계 구축의 필요성을 강력히 시사한다. 하천 말단부에 위치한 배수갑문은 집중호우 발생 시 유역 내 급격한 수위 상승 및 유출을 직접적으로 제어하는 핵심 방재 구조물이다. 따라서 갑문의 효율적 운영을 위해서는 상류 유출 특성을 반영한 정밀한 하천 수위 예측이 전제되어야 하며, 이를 기반으로 최적의 사전 방류 시기를 결정하고 수위 안정화에 소요되는 시간을 사전에 확보하는 것이 최우선 과제로 작용한다.

본 연구에서는 시간 의존성이 강한 수문 시계열 데이터 학습에 탁월한 성능을 보이는 LSTM(Long Short-Term Memory) 알고리즘을 적용하여 딥러닝 기반의 하천 수위 예측 모델을 구축하고, 이를 활용한 배수갑문의 선제적 연계 운영 방안을 제시하고자 하였다. 연구 대상지로는 서해안 유역 방재의 주요 거점인 신시 및 가력 배수갑문 유역을 선정하였으며, 2021년부터 2024년까지 구축된 고해상도 수문·기상 관측 자료를 활용하였다. 연구 기법으로는 입력 변수 구성에 따른 모델의 예측 응답성을 평가하기 위해 하천 수위 단독 입력 조건과 강우 자료를 통합한 복합 입력 조건을 구분하여 수율 변화를 분석하였다. 아울러 국지성 강우 상황에 대한 실시간 대응 역량을 도출하고자 1시간, 2시간, 3시간의 선행시간(Lead Time)별 예측 시나리오를 수립하고, 상류 수위 변동이 하천 말단부 및 배수갑문 전면 수위에 미치는 영향을 물리·통계적으로 정밀 검증하였다.

초기 모델 적용 결과, 상류 수위와 강우 변수를 동시에 반영할 경우 하류 수위 예측의 유의미한 경향성을 포착할 수 있었으나, 기존의 시·공간적 데이터 밀도 한계로 인해 선행시간이 3시간으로 늘어날수록 예측 오차가 누적되고 정밀도가 저하되는 한계점이 도출되었다. 이러한 물리적 한계를 극복하기 위해 본 연구에서는 기상 관측 데이터의 세분화, 입력 변수 레이어의 최적 조합, 알고리즘 매개변수 고도화를 추가로 수행하였다. 그 결과, 확장된 입력 조건 하에서는 3시간 선행시간 조건에서도 하천 말단부 수위의 피크(Peak) 시점과 수위 변동 폭을 안정적으로 추정하는 등 예측 정밀도와 모델의 일반화 성능을 유의미하게 향상시킬 수 있었다.

핵심용어: 배수갑문, 기계학습, LSTM,. 홍수, 선행시간

* 정회원・한국농어촌공사 농어촌연구원 연구관리실 선임연구원・hslim1@ekr.or.kr
** 정회원・한국농어촌공사 농어촌연구원 연구관리실 차장・psr1970@ekr.or.kr
*** 정회원・한국농어촌공사 농어촌연구원 연구관리실 부장・chli7@ekr.or.kr

드론 탑재 RGB 카메라를 활용한 저고도 안개 시정 분류 알고리즘 개발

Development of a Low-Altitude Fog Visibility Classification Algorithm Using Drone-Mounted RGB Camera

김민석*, 김시원**, 이관재***, 임경재****, 김종건*****
Minseok Kim, Siwon Kim, Gwanjae Lee, Kyoungjae Lim, Jonggun Kim

요 지

도심항공교통(UAM, Urban Air Mobility)의 상용화를 위한 K-UAM 국가사업 추진과 함께, 저·중고도 드론 운항 환경에서의 기상 안전성 확보가 중요한 과제로 부각되고 있다. 특히 안개에 의한 시정 저하는 드론 비행 안전에 직접적인 영향을 미치는 핵심 기상 요소임에도 불구하고, 저고도 회랑 환경에 특화된 실시간 시정 판단 기술은 아직 미흡한 실정이다.

본 연구에서는 울산광역시 울주군 상북면 및 강원도 춘천시 일대를 대상으로 2025년 3월부터 2026년 3월까지 DJI Matrice 300 RTK에 DJI Zenmuse P1 RGB 카메라를 탑재하여 드론 비행 영상 데이터를 취득하였다. 영상은 수직방향 및 수평방향으로 회랑을 비행하며 촬영하였으며, 동일 기종 드론 2대를 동시 운용하여 50 m, 100 m, 200 m의 기체 간 이격 거리 조건에서 동일 회랑을 비행하며 시정 상태를 '좋음', '보통', '나쁨'으로 분류하였다. 시정 분류 방법으로는 먼저 YOLOv11n-cls 및 AutoKeras 기반의 딥러닝 모델을 적용하여 자동 분류 성능을 평가하였다. 이후 육안 분류의 주관성과 한계를 보완하기 위해 영상의 Edge density, 표준편차(Std), 평균 밝기(mean), 채도-명도(SV), Dark_max 등 이미지 특성값을 활용한 규칙 기반 분류 파이프라인을 개발하였다. 판별된 시정 등급은 드론의 GPS/IMU 기반 공간좌표와 매칭되어 시계열 공간정보 데이터베이스(PostGIS)에 저장되며, React 및 Node.js 기반 웹 애플리케이션과 디지털트윈 엔진을 통해 비행경로 전구간의 시정 정보를 3D GIS 환경에서 준실시간으로 시각화하는 통합 모니터링 시스템과 연계하였다.

향후 본 시스템을 고도화하여 K-UAM 회랑의 기상 모니터링 및 안전 운항 지원 체계 구축에 기여할 것으로 기대된다.

핵심용어: 도심항공교통, 안개 시정, 드론 영상, 이미지 분류, 규칙 기반 알고리즘

본 연구는 기상청「한국형 도심항공교통(K-UAM) 안전운용체계 핵심기술 개발」(RS-2024-00404042)의 지원으로 수행되었습니다.

* 정회원・강원대학교 지오에코시스템융합학과 석사과정・E-mail : you25147@gmail.com
** 정회원・강원대학교 지오에코시스템융합학과 석사과정・E-mail : lobin2030@naver.com
*** 정회원・(주)일엠연구소 / 대표이사・E-mail : gwanjae2@ilem.co.kr
**** 정회원・강원대학교 지역건설공학과 교수・E-mail : kjlim@kangwon.ac.kr
***** 정회원・강원대학교 지역건설공학과 교수・E-mail : jgkim@kangwon.ac.kr

흙토람 물 필요량과 농업환경정보를 연계한 LLM 기반 필지 맞춤형 관수 의사결정 지원 시스템 개발

Development of an LLM-Based Field-Specific Irrigation Decision Support System Integrating Heuktoram (Korean Soil Information System) Water Requirements and Agricultural Environmental Information

양희원*, 전혜진**, 정재영***, 석승원**** ,김솔희*****, 김태곤******
Huiwon Yang, Hyejin Jeon, Jaeyoung Jung, Seongwon Seok, Solhee Kim, Taegon Kim

요 지

흙토람은 지역, 작물, 정식시기, 관수방법과 재배면적을 기반으로 생육단계별, 일별 물 필요량을 산정하여 제공하는 물 사용 처방 서비스이다. 그러나 실제 강수량이나 필지의 경사, 배수등급 등 현장 조건과 시점별 기상 변화를 반영하지 않아, 조건이 유사한 농가에는 사실상 동일한 처방이 제시되는 일반적 수준에 머물러 실제 관수 여부를 판단하는 데에는 한계가 있다. 이에 필지별 환경정보를 반영하여 물 처방의 시간 해상도를 높이고, 농가 맞춤형 관수 의사결정을 지원하는 서비스로의 개선이 요구된다. 본 연구에서는 흙토람의 물 필요량 정보에 기상, 토양 및 지형 등 농업환경정보를 연계하고, 대규모 언어모델(Large Language Model, LLM)을 활용하여 필지 단위의 관수 의사결정을 지원하는 시스템을 개발하고자 하였다. 흙토람에서 제공하는 생육단계별, 일별 물 필요량을 기본 자료로 활용하였으며, 농업기상 OpenAPI를 통해 실제 강수자료를 수집하였다. 또한 토양도 기반 토양특성 상세정보 V3 OpenAPI를 이용하여 대상 필지의 배수등급 정보를 연계하였으며, 경사도는 수치표고모델(Digital Elevation Model, DEM)로부터 산출하였다. 구축된 시스템은 물 필요량, 강수량 및 필지 조건을 종합적으로 해석하여 관수 필요성, 과잉관수 가능성 및 관리 시 유의사항을 제시하도록 구성하였다. 이를 통해 동일한 물 필요량이 제시되는 경우에도 실제 강수와 경사, ·배수조건에 따라 상이한 관수 판단과 관리방안을 제시할 수 있었으며, 기존의 정량적 물 필요량 정보에 현장 조건을 반영한 맥락적 해석을 추가할 수 있었다. 또한 사용자는 LLM과의 상호작용을 통해 특정 시기의 관수 필요성뿐만 아니라 판단 근거와 관련 관리정보를 연속적으로 확인할 수 있다. 본 시스템은 흙토람의 일반적 물 필요량 처방을 필지 조건과 실제 기상에 근거한 농가 맞춤형 관수 판단으로 확장하여, 기존 물 사용 처방정보의 해석성과 현장 활용성을 높였다. 향후 토양수분 및 실시간 기상자료를 추가하고 주요 환경요인의 영향을 정량화함으로써 필지 단위 정밀 관수 의사결정 지원 시스템으로 확장할 수 있을 것으로 기대된다.

핵심용어: 대규모 언어모델, 물사용처방, 배수등급, 경사도, 정밀농업, 흙토람

본 연구는 농촌진흥청 국립농업과학원 신농업기후변화대응체계구축(R&D)의 지원에 의해 이루어진 것임(과제번호 RS-2023-00220014).

* 정회원・전북대학교 스마트농업AI융합학과 석사과정・E-mail : gmldnjs295@jbnu.ac.kr
** 정회원・전북대학교 스마트농업AI융합학과 석사과정・E-mail : wls5258@jbnu.ac.kr
*** 정회원・전북대학교 농공학과 석사과정・E-mail : jyihaan4@jbnu.ac.kr
**** 정회원・전북대학교 농공학과 석사과정・E-mail : champ9162@jbnu.ac.kr
***** 정회원・전북대학교 스마트팜학과 연구부교수・E-mail : solhee1101@jbnu.ac.kr
****** 정회원・전북대학교 스마트팜학과 교수・E-mail : taegon@jbnu.ac.kr

계측 수위자료 기반 AI 용수공급 의사결정 지원 모델의 웹 · 모바일 서비스 구현

Web·Mobile Implementation of an AI-based Agricultural Water-Supply Decision-Support Model Using Water-Level Monitoring Data

주동혁*, 나라**, 김하영***, 김소연****, 최규훈*****, 이재남******, 유승환*******
Donghyuk Joo, Ra Na, Hayoung Kim, Soyeon Kim, Gyu-hoon Choi, Jaenam Lee, Seung-Hwan Yoo

요 지

농업용수 공급 의사결정은 급수 시작·중단 시점과 관리수위 판단이 담당자의 경험과 관행에 크게 의존하고 있으며, 수위 등 계측 자료는 지속적으로 축적되고 있으나 현장 활용은 개별 시설 단위에 머물러 있다. 특히 기후변화로 가뭄 발생이 잦아지면서 정량적이고 일관된 용수공급 판단 체계의 필요성이 커지고 있다. 이에 본 연구에서는 동진강 수계 김제간선의 18개 간·지선 계측지점을 대상으로 2013-2023년 수위 및 강수 자료를 수집·품질관리하고, 인공신경망(ANN)·랜덤포레스트(RF)·장단기메모리(LSTM) 등 인공지능 기법과 수문 시나리오(풍수·평·갈수년)를 적용하여 용수공급 의사결정 지원 모델을 구축하였다. 재계산 결과 갈수년 ANN 모델이 지점 평균 결정계수(R^2) 0.63으로 가장 높은 예측 정확도를 보였으며, 예측수위로부터 급수 시작·종료 시각, 1회 급수지속시간, 강우 중단 기준, 절수구간, 최소 유지수위 등 운영기준을 정량적으로 도출하였다. 나아가 구축한 모델과 분석 결과를 현장 담당자와 정책결정자가 직접 활용할 수 있도록, 별도 설치나 네트워크 연결 없이 웹 브라우저에서 동작하는 단일 오프라인 HTML 기반의 웹·모바일 대시보드로 구현하였다. 대시보드는 물관리 매뉴얼 지도, 지선별 시계열(실측·예측·강수·잔차) 탐색, 운영기준 탐색, 지점 간 비교, 현장 운영기록 및 지점 매뉴얼 인쇄 기능을 제공하며 데스크톱과 모바일 화면에 반응형으로 대응한다. 본 연구는 경험 기반의 용수공급 판단을 계측·인공지능 기반의 정량적 의사결정으로 전환하고, 웹·모바일 형태의 제공을 통해 현장 접근성과 활용성을 확보하였다는 점에서 의의가 있으며, 타 지구 및 수계로 확장하여 광역수계 통합 물관리 의사결정 지원으로 발전할 수 있을 것으로 기대된다.

핵심용어: 농업용수, 용수공급 의사결정, 인공지능, 수위 계측자료, 웹 · 모바일 대시보드

이 연구는 한국농어촌공사 농어촌연구원의 지원을 받아 수행되었음(연구 과제명: 광역수계 용수관리 AI 기반 예측 모델 개발)

* 정회원・전남대학교 농업과학기술연구소・E-mail : wnehdgur3gh@jnu.ac.kr
** 정회원・전남대학교 농업과학기술연구소・E-mail : nara4180@jnu.ac.kr
*** 정회원・전남대학교 대학원 지역·바이오시스템공학과 박사 & BK21 기후지능형 간척지농업 교육연구팀・E-mail : hy153706@naver.com
**** 정회원・전남대학교 지역·바이오시스템공학과 석사・ BK21 기후지능형 간척지농업 교육연구팀・E-mail : sothduse@naver.com
***** 정회원・WeDB(주) 대표이사・E-mail : ghchoi@wedb.co.kr
****** 정회원・한국농어촌공사 농어촌연구원 물안전환경연구실 책임연구원・E-mail : jnlee@ekr.or.kr
******* 정회원・전남대학교 지역·바이오시스템공학과 정교수・ BK21 기후지능형 간척지농업 교육연구팀・E-mail : yoosh15@jnu.ac.kr

농어촌물이용

C-P-1

THE KOREAN SOCIETY OF AGRICULTURAL ENGINEER

GSD와 생육단계에 따른 논벼 UAV 식생지수 영향 분석

Effects of Ground Sampling Distance and Growth Stage on UAV-Based Vegetation Indices of Paddy Rice

신이성*, 이은소**, 안현수***, 김시현****, 허나은*****, 김수진******, 장민원*******
Iseong Shin, Eunso Lee, Hyeonsu An, Sihyeon Kim, Naeun Heo, Soo-Jin Kim, Min-Won Jang

요 지

본 연구는 경상남도 사천시 곤명면 일대 논벼 재배 필지를 대상으로, 2025년 7월 4일부터 2026년 8월 20일까지 DJI 멀티스펙트럴 드론으로 촬영한 영상을 이용하였다. 분광보정패널로 방사보정 후 정사영상(orthomosaic)을 제작하였고, 공간해상도(50 mm, 100 mm)별 식생지수(NDVI·NDRE·NDWI)를 산출하여 논벼 지상 생육지표(초장·LAI·엽록소)와의 관계를 평가하였다. ANOVA로 해상도 간 지수 차이를 검정하고, 단순상관·선형회귀 및 Williams 검정으로 해상도별 생육 추정력을 비교하였다. 또한 생육단계(분얼·신장·출수·등숙)와 구역군으로 층화하여 시기별 최적 지수를 검토하였다. 해상도 간 식생지수 평균 차이는 NDRE에서 일관되게 유의하였으나 효과크기는 작았다. NDVI는 공간해상도에 따라 유의한 차이가 드러났지만, NDWI는 유의하지 않았다. 전체 기간 합동 분석에서 초장·LAI와 가장 강한 상관을 보인 것은 NDWI(100 mm)였다(초장 R^2=0.52, LAI R^2=0.44). LAI에서는 NDRE·NDWI 모두 100 mm가 50 mm보다 높은 설명력을 나타냈지만 차이는 미미하였다. 생육단계를 고려하여 등숙기 이전의(6~8월) 자료로 제한하면, NDRE(100 mm)가 초장(R^2=0.73)·LAI(R^2=0.54)에서 안정적으로 높은 상관을 보였다. 분얼기~신장기에는 NDVI의 양의 상관이 두드러졌고, 등숙기 이후에는 NDVI·NDRE와 초장의 상관이 낮아지거나 음의 부호로 전환되었다. 엽록소에 대한 설명력은 전 기간·대부분의 층화에서 낮았다($R^2 \approx 0.03$). 따라서 논벼 원격 생육 모니터링에서 단일 지수·해상도를 전 생육기에 일률 적용하기보다, 생육단계에 따라 식생지수를 구분 적용하는 것이 영상 기반 생육 모니터링의 효율성을 높일 수 있을 것으로 판단된다.

핵심용어: 논벼, 공간해상도(GSD), 식생지수, UAV

본 결과물은 농림축산식품부의 재원으로 농림식품기술기획평가원(기후변화대응지능형농업기반관리기술개사업)의 지원을 받아 연구되었음(No. RS-2025-02219764)

* 준회원・경상국립대・E-mail : tlsdltjd123@naver.com
** 준회원・경상국립대・E-mail : naji0901@naver.com
*** 준회원・경상국립대・E-mail : ahnhs619@naver.com
**** 준회원・경상국립대・E-mail : qazqaz2383@gmail.com
***** 준회원・경상국립대・E-mail : skdms050504@naver.com
****** 종신회원・서울대학교・E-mail : ksjin@snu.ac.kr
******* 종신회원・경상국립대・E-mail : mwjang@gnu.ac.kr

지상형 레이저 스캐너(TLS)를 이용한 논벼 생육시기별 3차원 초장 모니터링

Temporal Monitoring of Rice Canopy Height Using Terrestrial Laser Scanning (TLS) in Paddy Fields

김시현*, 이은소**, 안현수***, 신이성****, 김수진*****, 장민원******
Eunso Lee, Hyeonsu An, Sihyeon Kim, Iseong Shin, Soo-Jin Kim, Min-Won Jang

요 지

논벼의 초장은 생육상태와 생육속도를 파악할 수 있는 대표적인 구조적 지표이며, 재배관리와 수량 예측을 위한 기초자료로 활용된다. 기존의 초장 조사는 조사자가 자를 이용하여 일부 개체를 직접 측정하는 방식으로 수행되기 때문에 많은 시간과 노동력이 필요하며, 조사자의 숙련도와 표본 선정에 따라 결과가 달라질 수 있다. 또한 제한된 개체를 대상으로 하는 표본조사만으로는 논 포장 전체의 생육상태와 공간적 편차를 파악하기 어렵다. 지상형 레이저 스캐너(Terrestrial Laser Scanner, TLS)는 레이저를 대상물에 방사한 후 반사되어 돌아오는 신호를 이용하여 거리를 측정하고, 대상물의 3차원 위치와 형상을 고밀도 점군(point cloud)자료로 구축하는 장비이다. TLS는 작물체를 훼손하지 않고 반복적으로 관측할 수 있으며, 초장뿐만 아니라 군락의 높이, 부피 및 공간적 분포를 정량적으로 분석할 수 있는 장점이 있다. 그러나 논벼와 같이 생육단계에 따라 군락의 밀도, 높이, 엽면 구조가 급격히 변화하는 작물에 TLS를 적용하는 경우, 스캐닝 품질(quality), 해상도(resolution), 타깃 구체(target sphere) 배치 등 장비 설정과 운용 방법에 관한 표준화된 기준이 마련되어 있지 않아 스캔 간 정합 오차, 데이터 누락 등의 문제가 발생하기 쉽다. 본 연구에서는 FARO Focus Premium 지상형 레이저 스캐너를 이용하여 논벼 군락의 생육시기별 3차원 점군 자료를 취득하고, TLS로 산정한 군락 높이와 현장에서 직접 측정한 초장을 비교함으로써 논벼 생육 모니터링 기술로서 TLS의 적용 가능성을 시험하고 활용방안을 마련하고자 하였다. 연구는 경상남도 사천시 곤명면에 위치한 논(품종: 영동진벼)을 대상으로 하였고, 2026년 6월 25일부터 1주일 간격으로 TLS 스캐닝을 수행하였다. 취득된 점군 자료는 정합 후, 이상점과 논 주변의 불필요한 객체를 제거하였고, 지면점과 식생점을 분류하여 군락 높이를 산출하였다. 또한 반복 스캐닝 과정에서 축적된 현장 경험을 바탕으로, 생육단계별로 적합한 스캐닝 품질·해상도 설정, 타깃 구체의 배치 기준, 스캔 위치 선정 방법 등 논벼 TLS 운용을 위한 실용적 지침을 도출하였다. 직접 측정 결과, 대상 필지의 평균 초장은 6월 25일 32.7 cm에서 8월 27일 99.6 cm로 약 9주에 걸쳐 지속적인 신장이 확인되었다. TLS 기반 군락 높이 추정값과 직접 측정 초장 간의 비교·분석을 통해 양 측정 방법의 정합성 및 TLS의 모니터링 정확도를 검토하였다.

핵심용어: 논벼, 초장, Point cloud, Terrestrial Laser Scanner(TLS)

본 결과물은 농림축산식품부의 재원으로 농림식품기술기획평가원(기후변화대응지능형농업기반관리기술개발사업)의 지원을 받아 연구되었음(No. RS-2026-25522713)

* 준회원・경상국립대학교 지역시스템공학과 학부생・E-mail : qazqaz2383@gmial.com
** 준회원・경상국립대학교 대학원 농공학과 석사과정・E-mail : naji0901@gnu.ac.kr
*** 준회원・경상국립대학교 지역시스템공학과 학부생・E-mail : ahnhs619@naver.com
**** 준회원・경상국립대학교 지역시스템공학과 학부생・E-mail : tlsdltjd123@gnu.ar.kr
***** 정회원・서울대학교 그린바이오과학기술연구원 연구조교수・E-mail : ksjin@snu.ac.kr
****** 정회원・경상국립대학교 지역시스템공학과・농업생명과학연구원 교수・E-mail : mwjang@gnu.ac.kr

밭가뭄 대응기술의 편익 평가 프레임워크 연구

Development of a Benefit Assessment Framework for Upland Drought Response Technologies

리재웅*, 이상현**, 임경규***, 취뤼****, 조원주*****, 허준******, 조희래*******
Zaewoong Rhee, Sang-Hyun Lee, GyeongGyu Lim, Rui Qu,
Wonjoo Cho, Jun Heo, Heerae Cho

요 지

기후변화에 따른 가뭄 발생과 농업용수 부족에 대응하기 위해 관정 개발, 관정연계, 점적관수 등 다양한 밭가뭄 대응기술이 개발·적용되고 있다. 기존 연구에서는 대응기술별 용수 공급 및 절감, 관개효율 향상, 작물 생산성 개선 등 기술적 효과가 주로 제시되어 왔으나, 이러한 효과를 밭가뭄 대응을 통해 확보·보전되는 농업용수와 회피되는 작물 생산손실의 가치라는 공통된 편익체계로 전환하여 평가하는 접근은 제한적이다. 특히 농업생산은 시장수익뿐만 아니라 안정적인 식량공급과 생산기반 유지의 기능을 가지므로, 밭가뭄 대응의 효과를 비용 대비 투자수익성만으로 판단하기에 앞서 대응을 통해 보호되는 농업자원과 생산의 가치를 정량적으로 파악할 필요가 있다. 따라서, 이 연구는 밭가뭄 대응기술의 효과를 물과 식량 부문의 편익으로 전환하기 위한 평가 프레임워크를 제시하는 것을 목적으로 하였다. 밭가뭄 대응기술은 농업용수 공급여건과 대응 공간단위의 두 가지 측면을 고려하여 선정하였다. 무관개 지역은 신규 수원 확보를 위한 다필지 대응형 대형관정, 관개·무관개 혼합지역은 기존 수원의 공간적 불균형을 완화하기 위한 다필지 대응형 관정연계시스템, 관개지역은 지표면 점적관수와 지중점적관수 등 개별필지 단위의 고효율 관개기술을 적용하는 구조로 설정하였다. 대응기술의 편익은 물 부문과 식량 부문으로 구분하고 편익은 직접편익과 간접편익으로 구분한다. 물 부문의 직접편익은 대응기술을 통해 추가로 확보하거나 절감한 농업용수량에 농업용수의 경제적 가치를 적용하여 산정하고, 간접편익은 농업용수의 공익적 가치를 원단위로 환산하여 산정한다. 식량 부문 직접편익은 가뭄조건에서 대응기술 적용을 통해 회피할 수 있는 생산손실에 농산물 가격을 적용하여 산정하고, 간접편익은 농산물 공급 안정화에 따른 소비자 후생 편익으로 구성하여 접근하고자 한다. 이 연구에서는 밭가뭄 대응기술의 직접편익을 단순한 추가 수익이 아니라 가뭄 대응을 통해 확보·보전된 농업용수의 가치와 회피된 작물 생산손실의 가치로 정의한다. 이는 대응기술의 비용 대비 경제성을 판단하는 분석과 구별되며, 대응기술의 비용과 비교에 앞서 대응기술 적용으로 발생하는 물·식량 부문의 편익 자체를 정량적으로 평가하는 데 목적이 있다.

핵심용어: 밭가뭄, 가뭄 대응기술, 편익 평가, 농업용수, 회피된 작물생산손실(Avoided Crop Production Loss)

This work was carried out with the support of "Research Program for Agriculture Science and Technology Development (Project No. RS-2025-02273020)" Rural Development Administration, Republic of Korea

* 정회원・충북대학교 지역건설공학과 강사・충남대학교 농업과학연구소 박사후 연구원・E-mail : agminister@cbnu.ac.kr
** 정회원・충북대학교 지역건설공학과 교수・E-mail : sanghyun@cbnu.ac.kr
*** 정회원・충북대학교 지역건설공학과 석사과정・E-mail : imgyeonggyu@cbnu.ac.kr
**** 정회원・충북대학교 지역건설공학과 박사후 연구원・E-mail : qurui@cbnu.ac.kr
***** 비회원・충북대학교 농업경제학과 교수・E-mail : wjcho@cbnu.ac.kr
****** 비회원・충북대학교 농업경제학과 석사과정・E-mail : heoj@cbnu.ac.kr
******* 비회원・국립농업과학원 토양물환경과 농업연구관・E-mail : chohr519@korea.kr

APSIM을 이용한 파종시기에 따른 메밀의 생육 및 수확량 영향 평가

Assessing the effects of sowing date on buckwheat growth and grain yield using the APSIM model

오광 스티븐*, 박현수**, 전성권***, 장태일****
Stephen Okwang, Hyunsu Park, Seong-gwon Jeon, Taeil Jang

Abstract

Planting date influences buckwheat (*Fagopyrum esculentum Moench*) production by determining thermal, photoperiod, and soil water conditions during crop development. This study evaluated the Agricultural Production Systems sIMulator (APSIM) for buckwheat in Wanju-gun, South Korea, using field observations from 2024 and 2025. APSIM reproduced soil-water dynamics with R^2 = 0.81, Willmott's d = 0.95, and RMSE = 0.02 m^3 m^{-3} in 2024; 2025 values were 0.68, 0.90, and 0.01 m^3 m^{-3}. Simulated yields differed from observations by 8% and 11%, respectively. Following model evaluation, nine sowing dates (25 July; 5, 10, 15, 20, and 30 August; and 9, 19, and 29 September) were simulated using weather conditions from both years. Sowing on 9 September produced 2,321 and 1,531 kg ha^{-1} and reached harvest readiness by 29–30 October. The 19 September treatment produced 2,703 and 2,934 kg ha^{-1} and extended crop duration by 21–25 days and flowering-to-maturity by 11–13 days relative to 5 August. In 2025, it received 190 mm rainfall versus 464 mm for 5 August, showing that rainfall alone did not explain yield. However, reproductive development extended into periods with minimum temperatures below 0°C, while 29 September failed to reach harvest readiness by 31 December. Yield increased into September, but delayed sowing increased low-temperature exposure and maturity risk. Within the simulations, 9 September was more harvest-stable, whereas 19 September produced higher modeled yield but requires field validation before agronomic interpretation.

Key words: buckwheat, APSIM, planting date, grain yield, soil–water dynamics

본 연구는 농촌진흥청 국립농업과학원의 연구사업(과제번호: RS-2023-00220014)의 지원을 받아 수행된 연구임.

* 준회원・전북대학교 농공학과 박사과정・E-mail : okwangstephen@gmail.com
** 준회원・전북대학교 농공학과 박사과정・E-mail : dest1496@jbnu.ac.kr
*** 준회원・전북대학교 지역건설공학과 학부생・E-mail : jeounsk1114@jbnu.ac.kr
**** 정회원・전북대학교 지역건설공학과 교수・E-mail : tjang@jbnu.ac.kr

다중위성 자료와 머신러닝을 이용한 남한 지역 1km 일 단위 토양수분 예측 및 가뭄 활용성 평가

Daily 1-km Soil Moisture Prediction over South Korea from Multi-Sensor Satellite Data and Machine Learning for Drought Applications

김진욱*, 전원준**, 박용진***, 이현진****, 김성준*****
Jinuk Kim, Wonjun Jeon, Yongjin Park, Hyeonjin Lee, Seongjoon Kim

요 지

토양수분은 지표-대기 상호작용과 가뭄 전개, 농업용수 관리를 지배하는 핵심 변수이나, 지점 관측만으로는 공간적 대표성을 확보하기 어려워 위성 기반의 고해상도 추정이 요구된다. 본 연구에서는 VIIRS (Visible Infrared Imaging Radiometer Suite)의 지표온도와 식생지수, SMAP(Soil Moisture Active Passive) 토양수분, GPM(Global Precipitation Measurement) 강수자료로부터 산정한 선행강수지수(P_1~P_5, 무강우일수), 그리고 토성(모래·미사·점토)과 수치표고모형(Digital elevation model, DEM) 등 정적 환경인자를 통합하여 남한 지역의 1 km 일 단위 토양수분 예측 모형을 구축하였다. 2015년부터 2024년까지 10년의 자료를 대상으로 결측 지표온도의 보간과 강수 조건부 병합을 수행하여 입력자료를 구성하였으며, 다섯 가지 머신러닝 알고리즘을 비교하였다. 그 결과 CatBoost가 R^2 0.848, RMSE 2.89%로 가장 안정적인 성능을 보인 반면, 인공신경망(Artificial neural network, ANN)은 단일 사례 기준 R^2 0.876으로 최고 정확도를 나타내어 모형별 특성이 구분되었다. SHAP(SHapley Additive exPlanations) 분석 결과 무강우일수와 DEM, SMAP이 지배적 예측인자로 도출되어 전체 기여도의 약 48%를 차지하였다. 부분의존도(Partial dependence plot, PDP) 분석에서는 기온과 강수, 대기 건조도에 대한 토양수분의 비선형 반응이 확인되었다. 또한, 2차원 PDP 분석에서는 모래 함량과 선행강수 사이에서 H-통계량 0.238의 뚜렷한 상호작용이 나타나 강수의 토양수분 전환이 토성에 크게 좌우됨을 정량적으로 확인하였다. 10년간의 시공간 토양수분 분포도는 계절적 특성과 고도에 따른 수분 부족 양상을 재현하여 SHAP 및 PDP 해석 결과와 일관된 경향을 보였다. 이러한 결과는 향후 농업가뭄지수 산정의 신뢰성 있는 기반자료로 활용될 수 있으며, 위성자료 융합과 머신러닝, 설명가능 인공지능을 결합한 본 프레임워크는 물리적으로 해석가능한 지역 단위 토양수분 모니터링 및 농업가뭄 조기경보 체계 구축에 기여할 것으로 판단된다.

핵심용어: Total organic carbon, Remote sensing, Residual diagnostics, SHAP, Interpretable machine learning, Sentinel-2

본 연구성과는 2026년도 정부(교육부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임(No. RS-2026-25568547)

* 정회원・고려대학교 미래건설환경융합연구소 박사후연구원・E-mail : saertt@korea.ac.kr
** 정회원・건국대학교 일반대학원 사회환경공학부 석사과정・E-mail : hs0710717@konkuk.ac.kr
*** 정회원・건국대학교 일반대학원 사회환경공학부 석사과정・E-mail : pyj991123@konkuk.ac.kr
**** 정회원・건국대학교 일반대학원 사회환경공학부 석사과정・E-mail : s7511ss@konkuk.ac.kr
***** 정회원・건국대학교 공과대학 사회환경공학부 교수・E-mail : kimsj@konkuk.ac.kr

작물 · 토양 특성을 고려한 밭가뭄 영향평가 및 취약성평가

Impact and Vulnerability Assessment of Upland Drought Considering Crop and Soil Characteristics

나라*, 주동혁**, 김하영***, 유승환****, 이상현*****, 옥정훈******, 조희래*******, 허승오********
Ra Na, Donghyuk Joo, Hayoung Kim, Seung-Hwan Yoo, Sang-hyun Lee, Jung-hun Ok, Hee-rae Cho, Seung-oh Hur

요 지

기후변화로 인한 강우 패턴 변화와 재해 발생 빈도의 증가는 농업용수의 안정적 공급을 위협하고 있다. 특히 밭가뭄은 작물 생육과 생산성에 직접적인 피해를 초래함에도 불구하고, 논 중심의 연구와 정책에 비해 체계적인 평가와 대응이 미흡한 실정이다. 이에 본 연구는 작물과 토양 특성을 고려한 작물별 밭가뭄 영향평가와 시군 단위 취약성평가 방법을 제시하는 데 목적이 있다. 영향평가에서는 콩, 배추, 양파, 고구마, 고추 5개 작물을 대상으로 AquaCrop 모형의 토양수분 및 생산량 관련 출력 변수를 밭가뭄 영향평가 인자로 활용하고, 작물별 작부시기와 주요 재배지역을 고려하여 토양유효수분율에 따른 작물별 가뭄 반응을 모의하고자 한다. 취약성평가에서는 평가 단위를 시군으로 설정하여 전국 167개 시군을 대상으로 하며, 기후노출, 민감도, 적응능력 3개 부문, 15개 평가항목으로 지표 체계를 구성하여 Min-Max 정규화를 수행한 후, 전문가 AHP 가중치와 엔트로피 가중치를 결합한 AHP-엔트로피 가중치를 적용한 가중합산법으로 시군별 밭가뭄 취약성 지수를 산정하고자 한다. 향후 영향평가와 취약성평가 결과를 농업자원 지표와 연계하여 물·토양·작물 자원의 상호작용을 고려한 넥서스 기반 평가 체계로 확장하고자 한다. 본 연구는 작물·토양 특성과 지역별 여건을 함께 반영한 평가 방법을 제시함으로써 농업가뭄 대응 정책 수립과 의사결정을 지원하는 데 기여할 것으로 기대된다.

핵심용어: 밭가뭄, 영향평가, 취약성평가, 농업자원, 넥서스

본 연구는 농촌진흥청 “토양 유효수분 변동 모형 활용 밭가뭄 평가 및 예경보 시스템 구축(과제번호, RS-2025-02273020)”의 지원으로 수행되었습니다.

* 정회원・전남대학교 농업과학기술연구소 박사후연구원・E-mail : nara4180@jnu.ac.kr
** 정회원・전남대학교 농업과학기술연구소 박사후연구원・E-mail : wnehdgur3gh@jnu.ac.kr
*** 정회원・전남대학교 대학원 지역・바이오시스템공학과 & BK21기후지능형간척지농업교육연구팀 박사과정・E-mail : hy153706@naver.com
**** 정회원・전남대학교 대학원 지역・바이오시스템공학과 & BK21기후지능형간척지농업교육연구팀 교수・E-mail : yoosh15@jnu.ac.kr
***** 정회원・충북대학교 지역건설공학과 부교수・E-mail : sanghyun@chungbuk.ac.kr
****** 비회원・농촌진흥청 국립농업과학원 토양물환경과 농업연구사・E-mail : okjh@korea.kr
******* 비회원・농촌진흥청 국립농업과학원 토양물환경과 농업연구관・E-mail : chohr519@korea.kr
******** 정회원・농촌진흥청 국립식량과학원 간척지농업연구센터 센터장・E-mail : soilssohur@korea.kr

적합확률분포를 적용한 일 단위 SPI와 농경지 가뭄피해의 대응 관계 분석

Analysis of the Correspondence Between Daily SPI Based on Best-Fit Probability Distributions and Agricultural Drought Damage

김마가*, 최진용**, 윤푸른***
Maga Kim, Jin-Yong Choi, Pu Reun Yoon

요 지

표준강수지수(Standardized Precipitation Index, SPI)는 McKee et al. (1993)이 제안한 기상학적 가뭄지수로, 일정한 시간 규모에 누적된 강수량을 해당 지역의 장기 강수확률분포에 적합시킨 후 표준화하여 강수의 과잉 또는 부족 정도를 나타낸다. SPI는 강수량 자료만으로 산정할 수 있어 활용이 간편하고 다양한 시간 규모의 가뭄을 평가할 수 있다는 장점이 있으며, 세계기상기구(World Meteorological Organization, WMO)에 의해 기상학적 가뭄 감시를 위한 대표적인 지수로 권고되고 있다.

그러나 SPI가 나타내는 기상학적 가뭄과 농경지에서 실제로 발생하는 농업가뭄 사이에는 발생 시기와 심도 측면에서 차이가 나타날 수 있다. 특히 우리나라 논은 수리답이 85% 이상으로 농업용 저수지에 대한 의존도가 높아서 강수 부족이 발생하더라도 기존에 확보된 저수량을 이용하여 일정 기간 농업용수를 공급할 수 있다. 이에 따라 저수량을 비롯한 가용 수자원이 부족해지는 단계에 이르러서야 실제적인 용수 부족이 나타날 가능성이 크다. 또한 논의 담수와 밭의 토양수분, 작물의 수분스트레스에 대한 내성 등은 강수 부족의 영향을 일정 기간 완충하므로, 농경지에서 가뭄에 의한 피해는 기상학적 가뭄보다 지연되거나 완화된 형태로 나타날 수 있다. 실제로 우리나라에서 논 가뭄에 대해 저수율 평년비를, 밭 가뭄에 대해 토양유효수분율을 기준으로 평가하고 있어, SPI에 의해 평가된 기상학적 가뭄과 실제 농경지 피해 사이의 시간적·정량적 대응 관계를 검토할 필요가 있다.

이에 본 연구에서는 전국 도별 대표 기상관측소를 선정하고 적합확률분포를 도출하여 일단위 SPI (SPI30, SPI60, SPI90, SPI180)를 산정하고자 한다. 또한 Runs theory를 적용하여 일 단위 SPI 시계열로부터 가뭄사상의 발생 및 종료 시점, 지속기간과 누적심도를 추출하고, 이를 국가가뭄통계에 수록된 실제 농경지 피해의 발생 시기 및 피해 정도와 비교하고자 한다. SPI에 의한 가뭄 사상과 실제 농업가뭄 사이 발생 시차를 분석하고 SPI 가뭄심도와 농경지 피해 규모의 대응 관계를 검토하여 강수에 의한 농엄가뭄 감시를 위한 일단위 SPI의 활용 가능성과 한계를 제시하고, 국내 농업가뭄 특성을 반영한 가뭄 평가의 기초자료를 제공하고자 한다.

핵심용어: 표준강수지수, 적합확률분포, 농업가뭄, 농경지 가뭄 피해, 가뭄사상

본 결과물은 농림축산식품부의 재원으로 농림식품기술기획평가원의 기후변화대응지능형농업기반관리기술개발사업의 지원을 받아 연구되었음(RS-2025-02219764)

* 정회원・서울대학교 대학원 생태·조경지역시스템공학부 박사과정・E-mail : mnkm53@snu.ac.kr
** 정회원・서울대학교 지역시스템공학과 교수・E-mail : iamchoi@snu.ac.kr
*** 정회원・공주대학교 지역건설공학과 조교수・E-mail : vnfms3259@kongju.ac.kr

토양 총유효수분량의 공간 집계 수준이 SAMC 기반 밭 가뭄 판정에 미치는 영향

Effects of the Spatial Aggregation Level of Total Available Moisture Content on SAMC based Upland Drought Assessment

소지안*, 김승권**, 박윤진***, 신병일****
Jian So, Chengquan Jin, Yunjin Park, Byungil Shin

요 지

국내 밭 가뭄 평가는 토양, 기상, 작물정보를 이용하여 토양유효수분율(Soil Available Moisture Content, SAMC)을 산정하고 임곗값에 따라 가뭄 상태를 판정한다. 최근 지역별 토양특성을 반영하는 방향으로 평가체계가 고도화되고 있으나, 지역 평균 토양조건과 지역 내부의 공간적 토양 이질성이 가뭄 판정에 미치는 영향을 구분하여 검토할 필요가 있다. 따라서 본 연구에서는 토양 총유효수분량(SAMtotal)의 공간 적용 수준에 따른 SAMC 기반 밭 가뭄 평가결과를 비교하고, 특히 지역 평균조건과 격자별 토양조건의 비교를 통해 토양 공간 이질성의 영향을 정량적으로 분석하였다.

연구지역은 전라남도 고흥군 두원면 일대 약 4.41 km^2로, 100 m × 100 m 크기의 441개 분석격자로 구분하였다. 고흥 기상관측자료와 Hwang et al. (2022)의 콩 재배조건을 적용한 물수지모형을 이용하여 1992~2025년 34개 재배기간을 분석하였다. SAMtotal은 세 가지 조건(S0, S1, S2)으로 적용하였으며, S0은 전국 내륙 평균값 96 mm를 적용한 참조조건, S1은 연구지역 평균값 56.31 mm를 모든 격자에 동일하게 적용한 조건, S2는 S1과 동일한 평균수준을 유지하면서 격자별 토성에 따른 SAMtotal을 적용한 조건으로 설정하였다. SAMC 30% 미만인 경계 이상 단계를 이진 가뭄으로 정의하였다.

분석 결과, 참조조건인 S0에서 S1로 변경할 경우 평균 SAMC는 66.11%에서 59.18%로 감소하였으며, 가뭄 여부 판정 불일치율은 11.19%로 나타났다. 주 분석인 S1과 S2에서는 평균 SAMC 차이가 0.16%p이고 가뭄 여부 판정 불일치율도 2.46%로 낮게 나타난 반면, 5단계 가뭄등급 불일치율은 9.33%로 상대적으로 크게 나타났다. 특히 가뭄 여부 판정 차이의 92.6%는 SAMC 30% 임곗값의 ±5%p 범위에서 발생하였으며, 14,994개 연도·격자 조합 중 17.8%에서는 가뭄 시작일이 7일 이상 차이를 보였다.

본 연구의 결과는 지역 토양 특성의 평균값을 적용한 가뭄 평가와 격자별 토양 특성을 반영한 가뭄 평가가 평균적인 가뭄 수준에서는 유사한 결과를 나타내더라도, 개별 위치의 가뭄 등급과 발생 시점에서는 서로 다른 결과가 나타날 수 있음을 보여준다. 따라서 광역적인 가뭄 평가와 국지적 농경지 관리 등 평가 목적에 따라 토양 정보의 공간적 상세 수준을 설정할 필요가 있다.

핵심용어: 밭 가뭄, 토양유효수분율, 총유효수분량, 토양특성, 국지가뭄

본 연구는 전남광주통합특별시 농업기술원의 “위성드론 활용 농업재해 모니터링 플랫폼 개발 지원사업”의 지원을 받아 수행된 연구임.

* 정회원・㈜세명소프트 R&D사업실 프로・E-mail : soja@smsoft.kr
** 정회원・㈜세명소프트 R&D사업실 팀장・E-mail : ksg202514@smsoft.kr
*** 비회원・㈜세명소프트 R&D사업실 프로・E-mail : parkyj@smsoft.kr
**** 비회원・㈜세명소프트 R&D사업실 이사・E-mail : bishin@smsoft.kr

공간정보 기반 유역 단위 돌발가뭄의 발생 및 수문학적 가뭄으로의 전이 특성 분석

From flash drought to hydrological drought using a watershed-scale assessment with geospatial data

이희진*, 남원호**
Hee-Jin Lee, Won-Ho Nam

요 지

돌발가뭄은 짧은 기간 내 토양수분이 급격히 감소하고 증발 수요가 증가하는 특성을 지니며, 이러한 변화는 하천유량 및 저수량 감소로 이어져 유역의 가용 수자원에 직접적인 영향을 미칠 수 있다. 그러나 돌발가뭄은 공간적으로 불균일하게 발생하고 수문학적 가뭄으로 빠르게 전이될 수 있어, 지점 기반 관측 자료만으로는 발생과 전이 과정의 시·공간적 특성을 충분히 파악하는 데 한계가 있다. 본 연구에서는 다양한 공간정보와 원격탐사 자료를 통합하여 돌발가뭄의 발생부터 수문학적 가뭄으로의 전이 과정을 유역 단위에서 평가하는 분석체계를 구축하였다. 단기간의 토양수분 변화 특성을 반영하여 돌발가뭄을 감지하고 정량화하는 Flash Drought Intensity Index (FDII)를 적용하였으며, 합성개구레이더 기반 수체 탐지를 통해 유역 내 저수지 수표면적 변화를 분석하였다. 또한 기상·수문·환경 관련 다중 공간정보와 머신러닝 기법을 연계하여 격자 기반 Streamflow Drought Index (SDI)를 산정하고, 수문학적 가뭄의 공간적 발생 및 심화 특성을 평가하였다. 안성천 중권역을 대상으로 분석한 결과, 돌발가뭄의 강도와 지속기간이 증가할수록 이후 수문학적 가뭄이 심화되는 경향이 나타났으며, 저수지 수표면적 감소 역시 수문학적 가뭄의 심화와 연계되는 것으로 확인되었다. 또한 유역의 수문학적 구조와 저수지 분포에 따라 가뭄의 발생빈도와 강도에 공간적 차이가 나타났으며, 특히 하류부 및 저수지에 의한 수문학적 완충 효과가 제한적인 지역에서 돌발가뭄이 수문학적 가뭄으로 빠르게 전이되는 경향이 확인되었다. 본 연구는 돌발가뭄 감지, 저수지 수체 변화 및 수문학적 가뭄을 연계하여 분석함으로써 유역 내 가뭄의 발생과 전이 과정을 공간적으로 진단할 수 있는 분석체계를 제시하였다. 이러한 접근은 가뭄 취약지역의 선제적 진단과 조기경보, 유역 단위 물관리 전략 수립에 활용될 수 있으며, 돌발가뭄과 수문학적 가뭄 간 전이 연구의 확장에 기여할 것으로 기대된다.

핵심용어: 돌발가뭄, 가뭄 전이, 수문학적 가뭄, 저수지 수표면적, 원격탐사

본 연구는 기후에너지환경부의 재원으로 한국환경산업기술원의 기후변화 적응 수재해 관리 기술개발사업(R&D)의 지원을 받아 연구되었습니다.(RS-2026-25501478)

* 정회원・한경국립대학교 국가농업용수연구센터 선임연구원・E-mail : heejin.lee@hknu.ac.kr
** 정회원・한경국립대학교 사회안전시스템공학부 교수・E-mail : wonho.nam@hknu.ac.kr

기상학적 가뭄과 저수지 가뭄의 전파 및 회복 시간 특성에 따른 국내 농업용 저수지의 가뭄 반응 유형화

Classification of Drought Responses in Agricultural Reservoirs in South Korea Based on Meteorological-to-Reservoir Drought Propagation and Recovery Times

이정*, 백의찬**, 이상현***
Jeong Lee, UiChan Beak, SangHyun Lee

요 지

기후변화로 인한 가뭄의 빈도와 강도 증가는 농업용수의 안정적인 확보를 어렵게 하고 농업용 저수지 운영의 불확실성을 높이고 있다. 농업용 저수지의 저수율은 기상학적 수분 부족뿐만 아니라 유역의 수문 조건과 농업용수 공급에 따른 운영 특성의 영향을 함께 받는다. 따라서 유사한 기상가뭄이 발생하더라도 저수율 감소와 회복 양상은 저수지별로 다르게 나타날 수 있다. 이에 기상가뭄이 저수지 가뭄으로 전파된 후 회복되는 과정을 정량화하고, 저수지별 가뭄 반응의 차이를 체계적으로 유형화할 필요가 있다. 본 연구에서는 국내 농업용 저수지 66개소를 대상으로 18년간(2008-2025)의 일별 기상자료와 저수율 자료를 이용하여 기상가뭄과 저수지 가뭄의 연계 특성을 분석하고, K-medoids 기반 군집분석을 통해 저수지의 가뭄 반응 유형을 분류하고자 한다. 기상가뭄 사상은 유역별 평균 일강수량과 잠재증발산량으로 산정한 기후수분수지를 기반으로 표준강수증발산지수(Standardized Precipitation Evapotranspiration Index, SPEI)를 산정하여 평가할 예정이다. 저수지 가뭄은 일별 저수율 자료를 기반으로 산정한 표준저수지수(Standardized Storage Index, SSI)를 이용하여 평가할 예정이다. SPEI와 SSI로부터 각각의 가뭄 사상을 식별하고 상호 대응하는 가뭄 사상 간의 발생 시점을 비교하여, 기상가뭄이 저수지 가뭄으로 전이되는 데 걸리는 전파 시간과 가뭄 지속기간, 회복 시간 등을 산정하고자 한다. 산정된 가뭄 특성 변수는 K-medoids 군집분석의 입력변수로 활용하며, 유사한 가뭄 반응을 보이는 저수지를 유형화할 예정이다. 이를 통해 국내 농업용 저수지에서 나타나는 가뭄의 발생·전파·회복 특성과 저수지별 반응 차이를 규명하고자 한다. 본 연구의 결과는 저수지별 가뭄 취약성을 평가하고, 저수지의 반응 유형을 고려한 가뭄 관리 및 예측 체계를 구축하기 위한 기초 자료를 제공할 것으로 기대된다.

핵심용어: 저수지, 가뭄, 가뭄전파, 가뭄회복, 군집분석

이 성과는 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임 (RS-2026-25472864).

* 준회원・전북대학교 농공학과 석사과정・E-mail : leejeong20@jbnu.ac.kr
** 비회원・전북대학교 지역건설공학과 학부생・E-mail : zoz199@naver.com
*** 정회원・전북대학교 지역건설공학과 조교수・E-mail : sanghyun.lee@jbnu.ac.kr

농업농촌환경

D-P-1

THE KOREAN SOCIETY OF AGRICULTURAL ENGINEER

다종 센서 기반 탁수 모니터링 기술 적용을 통한 소양호 탁수 거동 특성 연구

Turbidity Dynamics in Lake Soyang Characterized by a Multi-Sensor Monitoring System

김대홍*, 곽현영**, 김경만***, 구정본****, 방기영*****
Day Hong Kim, Hyeon Yeong Kwak, Kyung Man Kim, Jeong-bon Gu, Ki Young Bang

요 지

저수지 내 탁수는 집중강우 시 유역으로부터의 토사 유입에 의해 빈번히 발생하며, 수질 악화, 취수 안정성 저해 및 수자원 운영 효율 저하를 초래하는 주요 관리 인자이다. 성층 구조와 유동 특성이 복합적으로 작용하는 저수지 환경에서 탁수의 발생 및 거동 특성을 정밀하게 규명하기 위해서는 현장 기반의 고해상도 관측이 필수적이다. 이에 본 연구에서는 다종 센서 기반 탁수 모니터링 시스템을 구축하고 이를 소양호에 적용함으로써, 저수지 탁수 거동에 대한 수리·수문학적 해석 가능성을 제시하고자 하였다.

기존의 고정식 또는 단일 센서 중심의 관측 방식은 성층 구조와 유동 특성이 복합적으로 작용하는 탁수층의 공간적 분포와 시간적 변동을 해석하는 데 한계가 있다. 이러한 한계를 보완하기 위해 본 연구에서는 CTD, 레이저 회절식 부유사 측정기(LISST), 다주파 음향 후방산란 부유사 측정기(Aquascat), 다층 유속계(ADCP)를 탑재한 유·무인선을 활용하여, 이동 중 주요 지점에서 수직 프로파일 관측을 수행하는 다종 센서 통합 관측 시스템을 구축하였다. 본 시스템은 광학·음향 기법을 상호 보완적으로 적용함으로써 넓은 농도 범위와 입경 대역에 걸친 부유사 정보를 확보할 수 있으며, 이를 통해 관측 구역의 성층 구조, 부유사 농도 및 입경 분포, 유속·유향 정보를 3차원적으로 취득할 수 있다.

본 시스템을 활용하여 2024–2025년 소양호에서 총 4회의 현장 관측을 수행한 결과, 강우 이후 수심 약 10–40 m 구간에서 뚜렷한 수온약층이 형성되었으며, 이를 경계로 탁수층이 집중적으로 발달하는 양상이 확인되었다. 또한 수온약층 및 탁수 경계층 인근에서는 상대적으로 조립한 입자가 우세한 반면, 탁수층 내부에서는 상대적으로 세립한 입자가 우세한 분포를 나타내었다. 탁수층 내부에서는 하류 방향의 유동이 지배적으로 나타나, 탁수의 체류 및 이동 과정이 성층 구조와 밀접하게 연관되어 있음을 확인하였다.

본 연구 결과는 개발된 다종 센서 기반 탁수 모니터링 시스템이 저수지 내 탁수 거동을 3차원적으로 해석하는 데 효과적인 수단임을 보여주며, 향후 저수지 수리·수문학적 분석 및 탁수 관리 기술 고도화를 위한 관측 체계로서의 활용 가능성을 제시한다.

핵심용어: 저수지 탁수, 소양호, 수온약층, 다종 센서 기반 모니터링 시스템, 성층 유동 특성

본 결과물은 기후에너지환경부의 재원으로 한국환경산업기술원의 미래변화 대응 수자원 안정성 확보 기술개발사업의 지원을 받아 연구되었습니다(RS-2024-00397970).

* 비회원・(주)지오시스템리서치 전임・E-mail : dhkim@geosr.com
** 비회원・(주)지오시스템리서치 선임・E-mail : hykwak@geosr.com
*** 비회원・(주)지오시스템리서치 상무・E-mail : kmkim@geosr.com
**** 비회원・(주)지오시스템리서치 이사・E-mail : jbku@geosr.com
***** 비회원・(주)지오시스템리서치 전무・E-mail : kybang@geosr.com

SWAT+ 모형을 활용한 간월호 유역의 수문 민감지역 기반 식생여과대 입지 전략 평가

Evaluation of Hydrologically Sensitive Area-Based Siting of Vegetative Filter Strips in the Ganwol Reservoir Watershed Using SWAT+

김용걸*, 김시내**, 김지혜***, 곽지혜****, 안재영*****, 강문성******
Yonggeol Kim, Sinae Kim, Jihye Kim, Jihye Kwak, Jaeyoung An, Moon-Seong Kang

요 지

방조제로 조성된 하구 담수호는 유역 최하류에 위치하여 유입된 오염부하가 장기간 축적되고 체류시간이 길어 부영양화에 취약하므로, 유역 내 비점오염원 관리가 수질 개선의 우선 과제로 요구된다. 식생여과대는 농경지와 하천 사이에서 강우 유출수를 1차적으로 차단하는 대표적인 최적관리기법이나, 설치 예산과 가용 부지가 제한되어 있어 얼마나 많이 설치하는가보다 어디에 설치하는가가 중요하다. 기존의 입지 선정은 주로 단위 지역에서 발생하는 오염 부하량의 크기에 근거하였으나, 오염물질을 실제로 이송하는 지표유출은 유역 전체에서 균일하게 발생하지 않고 일부 지역에서 반복적으로 집중되며, 이러한 지역을 수문 민감 지역 (HSA, Hydrologically Sensitive Area)이라 한다. 본 연구에서는 SWAT+ 모형이 모의한 경관 단위 (LSU)의 일별 지표유출량에 월별 확률 임계값 (P_cutoff) 접근법을 적용하여 시간적으로 안정적인 HSA를 산정하고, 이를 식생여과대 입지 기준으로 활용하는 전략을 제시하였다. 개발한 전략은 간월호 유역에 적용하여 동일한 식생여과대 총면적 (5.0 ha) 조건에서 부하량 기반 입지와 비교하였으며, 설치 위치의 분산 수준을 세 단계로 두어 총 6개 시나리오를 구성하였다. HSA 기반 전략이 선정한 지역은 논 비율이 높아 연평균 지표유출량이 부하량 기반 후보의 약 1.3배였으며, 총인 부하량과 입자상 인 비율이 더 낮았음에도 총인 저감량은 18 ~ 122% 크게 나타나 모든 분산 수준에서 일관된 우위를 보였다. 본 연구의 결과는 농업용 저수지 유역에서 한정된 예산으로 비점오염 저감 효과를 극대화하기 위한 최적관리기법 배치 계획 수립과 담수호 수질 개선 대책의 우선순위 결정에 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

핵심용어: 비점오염, 수문 민감 지역, 식생여과대, SWAT+, 최적관리기법, 총인

본 결과물은 농림축산식품부의 재원으로 농림식품기술기획평가원의 기후변화대응지능형농업기반관리기술개발사업의 지원을 받아 연구되었음 (RS-2026-25522713, 기후변화 대응 AI·위성 기반 농업수자원 활용 기술 개발)

* 정회원・서울대학교 조경・지역시스템공학부・E-mail : geol5852@snu.ac.kr
** 정회원・서울대학교 생태조경・지역시스템공학부 박사과정・E-mail : ksinae0519@snu.ac.kr
*** 정회원・서울대학교 농업생명과학연구원 선임연구원・E-mail : jewisdom@naver.com
**** 정회원・서울대학교 생태조경・지역시스템공학부 박사과정・E-mail : dbk02300@snu.ac.kr
***** 정회원・서울대학교 생태조경・지역시스템공학부 박사과정・E-mail : jaeyoung0317@snu.ac.kr
****** 정회원・서울대학교 조경・지역시스템공학부 교수・E-mail : mskang@snu.ac.kr

복합기후재난 정의에 따른 수질 영향 정도 및 기간 분석

Magnitude and Duration of Water Quality Impacts under Compound Climate Events

권예슬*, 정한석**
Yeseul Kwon, Hanseok Jeong

요 지

기후변화로 인한 가뭄, 홍수, 폭염, 집중호우 등 기후재난의 발생 빈도와 강도가 증가하며, 서로 다른 기후재난이 동시 또는 연속적으로 발생하는 복합기후재난 또한 증가하고 있다. 이러한 복합기후재난은 물 순환을 교란하여 수량과 수질에 상당한 영향을 미친다. 특히 선행 기후재난의 영향이 회복되기 전에 후속 재난이 발생할 경우 재난의 영향이 중첩되거나 증폭될 수 있어, 복합기후재난의 영향을 평가하기 위해서는 개별 기후재난에 따른 수질 영향의 정도와 지속기간을 정량적으로 평가할 필요가 있다. 그러나 수질 영향의 정도와 지속기간은 정상상태를 나타내는 기준값과 회복 여부를 판단하는 기준에 따라 달라질 수 있으며, 이를 산정하는 방법 또한 연구에 따라 상이하다. 따라서 본 연구에서는 복합기후재난을 평가하기 위한 기초 단계로서 기후재난에 따른 수질 영향의 정도와 영향기간을 정량적으로 평가하고 산정 방법에 따른 차이를 비교하였다. 정도는 정상상태 대비 재난 발생 후 수질항목의 최대 변화량과 변화율을 이용하여 산정하였으며, 영향기간은 재난 발생 이후 변화한 수질이 정상상태로 회복되는 데 소요되는 기간으로 정의하였다. 정상상태를 나타내는 기준값은 재난 발생 이전 일정 기간의 평균과 장기 평균 등 다양한 방법으로 설정하였으며, 회복 여부는 기준값을 중심으로 표준편차 등의 변동 범위를 고려하여 설정하였다. 각 방법에 따른 수질 변화 정도와 영향기간의 산정 결과를 비교함으로써 기후재난의 수질 영향을 정량적으로 평가하기 위한 적정 기준을 검토하였다. 그 결과, 선행재난이 존재하는 복합 상황에서는 단독 발생에 비해 영향기간이 길게 나타났으며, 복합기후재난 평가 시 기준값 설정 방법에 따라 영향이 과소평가될 수 있음을 확인하였다. 이러한 결과는 기후재난의 수질 영향을 평가하기 위한 기준 설정의 중요성을 보여주며, 추가 분석을 통해 수질 영향의 정도와 영향기간에 대한 평가 기준을 구체화하여 복합기후재난의 정의 및 수질 영향 평가를 위한 기초 틀을 마련하고자 한다.

핵심용어: 복합기후재난, 수질 변화, 회복 여부

본 연구는 정부(교육부, 과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단의 지원 (NRF-2020R1A6A1A03042742, RS-2025-00557036)을 받아 수행된 기초연구사업입니다. 이에 감사드립니다.

* 준회원・서울과학기술대학교 일반대학원 환경공학과 석사과정・E-mail : kys000809@naver.com
** 정회원・서울과학기술대학교 일반대학원 환경공학과 부교수・E-mail : hanjeong@seoultech.ac.kr

수분관리 조건에 따른 겨울 밀 수량 및 단백질 함량 관련 과정기반 모형의 매개변수 전역 민감도 분석

Global sensitivity analysis of process-based model parameters for winter wheat yield and protein content under different water management conditions

청리광*, 김동현**, 장태일***
Liguang Cheng, Dong-Hyeon Kim, Taeil Jang

요 지

과정기반 작물모형의 품종 매개변수는 작물 생육, 수량 및 품질 모의에 영향을 미치며, 그 민감도는 기상조건 과 수분 환경에 따라 달라질 수 있다. 겨울 밀의 수량과 단백질 함량은 생육기간, 동화산물 분배, 종자 형성 및 질소 축적의 상호작용에 의해 결정되므로, 주요 매개변수의 환경별 민감도 평가가 필요하다. 본 연구에서는 2021-2024년 실측자료로 검보정된 겨울 밀 과정기반 모형을 이용하여 관행, 적정관개, 과습 조건에서 수량과 단백질 함량의 전역 민감도 분석을 수행하였다. 분석 대상 매개변수는 춘화반응, 생육단계별 적산온도, 종자수·생장, 엽면적, 질소 흡수 및 종자 질소농도 관련 인자로 선정하였다. Morris 선별 후 Sobol 분산분해 결과, 수량은 grains_per_gram_stem(S_t=0.369), tt_end_of_juvenile(S_t=0.359), photop_sens(S_t=0.277)순으로 반응하여 생식전환과 개화 전 종자수 형성이 주요 과정으로 나타났다. 단백질은 grains_per_gram_stem(S_t=0.474), potential_grain_filling_rate(S_t=0.335), tt_floral_initiation(S_t=0.320)순으로 높은 민감도를 보였으며 종자수, 생식전환 및 개화 후 건물질·질소 축적의 균형이 주요 과정으로 나타났다. potential_grain_filling_rate는 수량에 대한 영향은 작았으나 단백질 함량에 대해서는 음의 민감성을 보여, 종자등숙속도의 증가가 단백질 함량 저하와 관련될 가능성을 시사하였다. 수분관리에서는 grains_per_gram_stem의 수량 S_t와 tt_end_of_juvenile의 단백질 S_t가 적정관개 처리구에서 가장 높아 적정 수분에서 종자수 형성과 발육시기의 영향이 크게 나타났다. 처리 간 매개변수 민감도 순위의 Spearman 순위상관계수(ρ)는 수량 0.991-1.000, 단백질 0.976-1.000으로 높아, 수분환경은 주요 제어인자의 종류보다 영향 강도에 더 큰 차이를 나타냈다. 연차별로는 건조조건에서 생식전환 관련 인자의 영향이 커졌고, 정상조건에서는 종자수 형성, 습윤조건에서는 종자등숙속도의 단백질 함량 민감도가 증가하였다. 따라서 생식전환 전후의 수분상태와 개화 전 종자수 형성, 개화 후 질소공급 및 재분배를 연계한 관리가 필요하며, 적정관개 처리구에서는 등숙 수요에 맞춘 질소공급, 과습 처리구에서는 과습 완화와 질소이용 유지가 중요하다. 본 결과는 생육단계별 수분공급과 질소이용을 연계한 효율적인 모형 보정과 물·질소 균형관리 전략 수립을 위한 기초 정보를 제공한다.

핵심용어: 겨울 밀, 전역 민감도, 작물모형, 수량, 단백질

본 연구는 농촌진흥청의 연구사업(과제번호: RS-2022-RD010066)의 지원을 받아 수행된 연구임.

* 정회원・전북대학교 지역건설공학과 연구조교수・E-mail : chengliguang@jbnu.ac.kr
** 정회원・전북대학교 스마트팜학과 조교수・E-mail : kdh4354@jbnu.ac.kr
*** 정회원・전북대학교 지역건설공학과 교수・E-mail : tjang@jbnu.ac.kr

영산강 표준유역의 수문성분별 공간적 이질성 평가

Assessment of Spatial Heterogeneity in Hydrological Components across the Yeongsan River Basin

장원진*, 김현준**, 김덕환***, 전민기****, 이선미*****, 장철희******
Wonjin Jang, Hyeonjun Kim, Deokhwan Kim, Min-Gi Jeon, Seon-Mi Lee, Cheolhee Jang

요 지

본 연구에서는 농경지·도시·산림이 혼재하고 농업용 저수지, 보 및 하굿둑 운영에 따른 인위적 물이용이 복합적으로 작용하는 영산강 유역을 대상으로, DWAT(Dynamic Water Resources Assessment Tool)을 활용한 표준유역 단위 수문평가체계를 구축하였다. DWAT은 지형, 토양, 토지피복 및 기상자료를 기반으로 유역의 물순환을 모의하는 물리 기반 준분포형 수문모형이다. 모형에서는 강수의 차단과 침투, 토양수분 변화, 증발산, 지표유출, 중간유출, 지하수 함양 및 기저유출을 연속적으로 계산하며, 각 공간단위에서 발생한 유출량을 하천망을 통해 유역 출구까지 모의한다. 또한 농경지의 관개 및 담수 과정과 저수지 운영 등 인위적인 물이용을 고려할 수 있어 농업용수 이용이 활발한 영산강 유역에 적용하기 적합하다. 고해상도 지형·토양·토지피복 자료와 장기 기상자료를 이용하여 영산강 유역의 물순환을 모의하였으며, 주요 22개 관측지점의 유량자료을 이용하여 모형을 보정 및 검증을 실시하였다. 보정기간에 대하여 R^2와 NSE는 각각 0.687-0.913과 0.620-0.899의 범위로 평균 0.77와 0.75을 나타냈으며, 검증기간에는 각각 평균 0.78과 0.75로 보정기간과 유사한 성능이 유지되었다. 표준유역별 분석 결과, 도시·농업지역에서는 강우에 대한 직접적인 지표유출 반응이 상대적으로 크게 나타난 반면, 산림과 투수성 토양의 비율이 높은 지역에서는 토양 및 지하수 저장을 통한 중간유출과 기저유출의 역할이 상대적으로 중요하였다. 이는 영산강 유역을 하나의 동질적인 수문 단위로 평가하기보다 표준유역별 지형, 토양, 토지피복, 기상 및 물이용 조건을 고려하여 세분화할 필요가 있음을 보여주며, 구축된 평가체계는 향후 수자원 배분, 갈수기 유량관리, 농업용수 운영, 비점오염원 관리 및 기후변화 적응대책 수립을 위한 기초자료로 활용될 수 있다.

핵심용어: DWAT; 물순환분석, 표준유역, 공간이질성평가

본 결과물은 기후에너지환경부의 재원으로 한국환경산업기술원의 가뭄대응 물관리 혁신 기술개발사업의 지원을 받아 연구되었습니다. (2022003610002)

* 정회원·한국건설기술연구원 박사후연구원, 공학박사·E-mail:jangwj0511@kict.re.kr
** 정회원·한국건설기술연구원 선임위원, 공학박사·E-mail:hjkim@kict.re.kr
*** 정회원·한국건설기술연구원 수석연구원, 공학박사·E-mail:kimdeokhwan@kict.re.kr
**** 정회원·한국건설기술연구원 박사후연구원, 공학박사·E-mail:mingi.jeon@kict.re.kr
***** 정회원·한국건설기술연구원 박사후연구원, 공학박사·E-mail:sunki7070@kict.re.kr
****** 정회원·한국건설기술연구원 수석연구원, 공학박사·E-mail:chjang@kict.re.kr

Unconstrained canopy water use leaves large water balance error undetected by conventional streamflow evaluation

Sharafat Hussain*, Yeonji Jeong**, Jeongho Han***, Dongjun Lee****, Kyoung Jae Lim*****

Abstract

Hydrologic models are used to estimate the water available from forested reservoir catchments, and these models are conventionally judged by how closely they reproduce observed discharge, while the vegetation parameters that govern canopy water use are typically left at default values. This study applied the Soil and Water Assessment Tool (SWAT) to the Soyang Dam watershed in South Korea, a steep, forest-dominated catchment that feeds the country's largest multipurpose reservoir, comparing a conventional streamflow-only calibration against an integrated strategy that first constrained vegetation using MODIS-derived leaf area index (LAI) and evapotranspiration (ET). The default vegetation parameterization poorly represented the terrestrial regime, yielding NSE values for LAI and ET between −0.10 and 0.44 and an ET bias of 29.8% to 48.2% low across every dominant forest type; the integrated strategy, by contrast, achieved NSE values of 0.68 to 0.79. Once canopy water use was constrained, ET rose from 41.0% to 45.7% of mean annual precipitation, surface runoff was more than halved, and total water yield fell from 57.9% to 53.1%, a reduction of roughly 170 million m^3/yr, or about 6% of Soyang Lake's storage capacity. At the outlet, however, this difference was almost undetectable: both models satisfied every criterion for a satisfactory daily streamflow simulation and differed by only 0.01 in NSE, with only percent bias (PBIAS) revealing any separation, at −9.01% versus −2.53% during validation, a gap conventional guidance would still call acceptable. Yield estimates for forested catchments may therefore carry an error of this magnitude whenever a model is accepted on discharge performance alone, underscoring the need to treat canopy observations as a routine constraint wherever such estimates inform water supply planning.

Key words: Canopy water use; Streamflow calibration; Evapotranspiration; Water yield; SWAT

This work was supported by Korea Environmental Industry & Technology Institute (KEITI) through Soil Carbon Sequestration Project, funded by Korea Ministry of Climate, Energy and Environment (MCEE) (RS-2026-25504681).

* Member · Dept. of Regional Infrastructure Eng., Kangwon National University, Masters Student; E-mail : sharafatshahab123@gmail.com

** Member · Interdisciplinary Program in Earth Env. System Sci. & Eng., Kangwon National University; Graduate Student; E-mail : jyj4977@gmail.com

*** Member · Agriculture and Life Sciences Research Institute, Kangwon National University; Senior Researcher; E-mail :hanjeongho24@kangown.ac.kr

**** Member · Agriculture and Life Sciences Research Institute., Kangwon National University;Senior Researcher; E-mail :dj90lee@gmail.com

***** Full member · Dept. of Regional Infrastructure Eng., Kangwon National University, Professor; E-mail : kyoungjaelim@gmail.com

DDS 알고리즘 기반 SWAT-GWFLOW-PADDY 모형의 산림 생장 정상화를 통한 유구천 유역 물수지 배분 신뢰성 평가

Improving the Reliability of Water Balance Partitioning in the Yugucheon Watershed through Forest Growth Normalization in a DDS Calibrated SWAT-GWFLOW-PADDY Model

이동준*, 박운지**, 신형진***, 임경재****
Dongjun Lee, Woon Ji Park, Hyungjin Shin, Kyoung Jae Lim

요 지

유역 물수지 모의에서 하천유량만을 목적함수로 삼으면 식생 반응이 붕괴한 상태에서도 보정이 성립한다. 유구천 유역(297 km^2)은 면적의 70.9%가 산림이어서 산림 증발산이 물수지의 바탕이 되는데, Dynamically Dimensioned Search (DDS)로 하천유량과 지하수위를 보정한 초기 SWAT-GWFLOW-PADDY 모형은 산림 축적이 국내 문헌 환산값의 29% 수준이고 해마다 감소하는데도 하천유량을 양호하게 재현하였다. 강우 중 질소 농도(대기 질소침착)가 반영되지 않아 시비가 없는 산림에서 유일한 외부 질소원이 사라졌고, 초기 성숙도 설정으로 임분생장 기작이 정지해 있었으며, 엽 질량을 임분 축적에 비례시키는 배분식 때문에 낙엽이 문헌의 5~7배로 모의되어 정확한 물수지 분석이 어려웠다. 이를 수정한 뒤 국립산림과학원 환산 축적(2014~2025년 평균152.0 t/ha)의±20%를 목적함수에 편입하여 DDS로 하천유량과 지하수위를 동시에 보정하고, 순일차생산량과 광이용효율을 문헌 범위와 대조하여 확인하였다. 그 결과 산림 축적은 116~158 t/ha 궤적으로 목표 대비RMSE 5.5 t/ha, 순일차생산량은 38.2에서 13.8 t/ha/년, 광이용효율은 2.24에서 0.81 g/MJ로 회복되었으며, 최종 보정 성능은 하천유량 NSE 0.724, 월 0.94, 총량 편의 +3.42%, 지하수 관측정 2개소의 KGE 0.515, 0.622로 나타났다. 이는 식생·작물 반응을 목적함수에 함께 두어야 증발산과 지하수 함양의 배분까지 신뢰할 수 있는 물수지 분석이 가능함을 보여준다.

핵심용어: SWAT-GWFLOW-PADDY, DDS, 대기 질소침착, 임분 축적, 물수지

* 정회원・강원대학교 농업생명과학연구원 선임연구원・E-mail : dj90lee@gmail.com
** 정회원・강원대학교 농업생명과학연구원 연구교수・E-mail : parkwoonji@hanmail.net
*** 정회원・한국농어촌공사 농어촌연구원 책임연구원・E-mail : shjin@ekr.or.kr
**** 정회원・강원대학교 지역건설공학과 교수・E-mail : kyoungjaelim@gmail.com

SWAT+ 모형의 HRU 간 중간유출 연계와 GWFLOW 결합을 통한 준분포형 모형의 한계 개선

Improvement of a Semi-Distributed Model Through HRU-Scale Lateral Flow Routing and GWFLOW Coupling in SWAT+

이동준*, 김종건**, 이서로***, 임경재****
Dongjun Lee, Jonggun Kim, Seoro Lee, Kyoung Jae Lim

요 지

Soil and Water Assessment Tool+(SWAT+)는 Hydrologic Response Unit(HRU) 유출을 하천으로 직접 배출하는 준분포형 구조를 기본으로 하며, hru.con으로 HRU 간 연계를 지정할 수는 있으나 지표유출 경로만 하류 HRU에서 실질적으로 소비되고, 중간유출 경로는 물과 질산성질소만 전달될 뿐 암모늄·농약·병원균·염분 등 성분 물질은 고려되지 않으며, 중간유출이 지하수 함양에도 관여하지 않는다. 이 때문에 HRU 단위 발생부하량과 하천 도달 배출부하량의 관계를 경로별로 표현할 수 없고 기저유출 수질이 증류수에 가까운 구조적 한계가 있었다. 본 연구에서는 SWAT+ 코드를(1) 중간유출의 HRU 간 연계를 완결하고(성분물질을 토층 깊이 가중으로 하류 HRU에 분배), (2) HRU별로 중간유출의 일부를GWFLOW 함양으로 배분하는 비율을 선택적으로 매개변수화하였으며, (3) 지하수-하천 교환에 동반되는 NO_3·용존인이 하천 저류에 묻혀 유출로 계상되지 않던 문제를 유입 하이드로그래프로 이동시켜 보완함으로써, 지표유출 재침투·중간유출 토층 유입·지하수 회귀로 구분하여 발생부하와 배출부하의 관계를 모의할 수 있게 하였다. 유구천 유역(약 297 km^2, HRU 1,598개-논 180개, 하천 101구간, GWFLOW 연계)에 2010~2025년 적용한 결과 토양을 떠나는 질소는 침투(지하수 경로) 약 71%, 유사 부착 유기질소 약 19%, 지표·중간유출 용존질소 각 5% 내외로 분배되었고, 출구 배출T-N(약1.8 kg/ha/yr)은 육상 발생 총량의 약 28%로 기저유출 경로의 저류·감쇠가 유달을 지배하였으며, 인은 발생량(약3.6 kg/ha/yr)의 약 49%가 출구에 도달하였다. 지하수 용질 경로 수정으로 건조일 용존인의 하천 전달 보존율이 0%에서 85%로, 평수기 PO_4-P 중앙값이 4×10^{-5}에서 0.031 mg/L(문헌0~0.039 mg/L)로 모의되어 기저유출 영향을 평가할 수 있게 되었다. 이로써 HRU 간 중간유출 연계와 GWFLOW 결합이 SWAT+의 준분포형 한계를 개선하여, 발생부하량이 지표·중간·기저 세 경로를 거쳐 배출부하량으로 전환되는 과정을 유량과 수질 모두에서 일관되게 모의할 수 있음을 확인하였다.

핵심용어: SWAT+, HRU 간 연계, 중간유출, GWFLOW, 발생부하량 · 배출부하량, 준분포형 모형

* 정회원・강원대학교 농업생명과학연구원 선임연구원・E-mail : dj90lee@gmail.com
** 정회원・강원대학교 지역건설공학과 부교수 ・E-mail : jgkim@kangwon.ac.kr
*** 정회원・강원대학교 지역건설공학과 조교수 ・E-mail : srlee@kangwon.ac.kr
**** 정회원・강원대학교 지역건설공학과 교수・E-mail : kyoungjaelim@gmail.com

인도 Biligundulu 유역의 통합수자원관리를 위한 실용지향형 사회수문학 프레임워크의 적용

Application of a Use-Inspired Sociohydrological Framework in the Biligundulu Watershed, India for Integrated Water Resources Management

Sonali Kamble*, Juseong Lee**, Hanseok Jeong***

Abstract

Human and water systems constantly shape each other, yet most models still treat social behavior as fixed, limiting their ability to capture this coevolutionary feedback. Sociohydrology tries to capture these feedbacks, but so far, no study has combined a short-term, decision-focused view with a long-term, coevolution-focused view within one working framework. Most existing studies apply only one of these views at a time, not both together, which limits how useful the results are for real water management decisions. To close this gap, this study proposes a use-inspired sociohydrological framework built from two sub-frameworks: engineered and common. Both sub-frameworks build upon four subsystems capable of representing human–water interactions through their state variables: hydrology, institution, technology, and socioeconomy, represented by water availability, societal response, infrastructure capacity, and population, respectively, which together are sufficient to capture the coevolution of the sociohydrological system. The common framework looks at this long-term coevolution and has been applied through a differential equation-based model on the Biligundulu watershed, a large (34,000 km^2), dam-regulated basin in India with 58 dams and 6,631 million m^3 of combined storage, successfully reproducing major droughts and showing how water stress strengthens institutional action, which then drives technological growth. The model reproduces population dynamics with high accuracy and shows strong agreement between institutional response and known drought event. Building on these trends, the engineered framework will construct short-term scenarios that vary drought intensity, institutional response speed, and water demand growth, to test how the coupled system responds under near-future stress. The novelty of this work lies in bringing both sub-frameworks together in one unified structure, something not clearly done before. Once combined, the framework will be used to evaluate how well integrated water resources management (IWRM) is being practiced in this watershed, offering practical guidance for improving drought resilience and long-term water governance.

Key words: coupled human–water systems; differential equation modeling; institutional feedback; drought resilience; reservoir operations; population–water coevolution

This study was supported by the Basic Research Program funded by the Government (Ministry of Science and ICT, Ministry of Education) through the National Research Foundation of Korea (RS-2025-00557036, NRF-2020R1A6A1A03042742). We gratefully acknowledge this support.

* Member · Graduate Student, Department of Environmental Engineering, Seoul National University of Science and Technology · E-mail : sonalikamble3512@seoultech.ac.kr

** Member · Graduate Student, Department of Environmental Engineering, Seoul National University of Science and Technology · E-mail : juseonglee90@gmail.com

*** Member · Associate Professor of Environmental Engineering Department, Seoul National University of Science and Technology · E-mail : hanjeong@seoultech.ac.kr

농업농촌환경

D-P-2

THE KOREAN SOCIETY OF AGRICULTURAL ENGINEER

SWAT+–GWFLOW 결합모형을 이용한 논 관개용수의 신속 · 기저회귀 평가

Evaluating Quick and Baseflow Return of Agricultural Irrigation Water Using a Coupled SWAT+-GWFLOW Model

이동준*, 신형진**, 한정호***, 임경재****
Dongjun Lee, Hyungjin Shin, Jeongho Han, Kyoung Jae Lim

요 지

논 관개는 흔히 용수를 “소모” 하는 것으로 인식되나, 실제로는 지표 방류와 지하 침투를 거쳐 상당량이 다시 하천으로 돌아가며, 특히 침투수가 대수층을 거쳐 지연 배출되는 기저회귀는 갈수기 유지유량을 뒷받침해 하천 건천화 방지와 수생태 건강성 회복에 기여할 수 있다. 그러나 SWAT+ 준분포형 구조에서는 이 회귀 경로가 지표(신속)와 지하(기저)로 구분되어 정량화되지 못했다. 본 연구는 GWFLOW를 결합한 SWAT+로 유구천 유역(약 297 km^2, 논HRU 180개, 2,891 ha)의 하천 취수 우선(부족 시 관정 보충) 관개 운영을2010~2025년 일단위로 모의하여, 논에 공급된 용수(강수+관개, 연평균 1,467.5 mm/yr) 중 배수로를 통한 신속회귀가 23.8%(349.8 mm/yr)로 나타났다. 나머지 침투량(433.8 mm/yr, 공급의29.6%)은 GWFLOW 대수층 함양으로 유입되며, 유역 전체 GWFLOW 물수지(함양 284.5 mm/yr, 하천 배출－99.9 mm/yr)에서 산출한 함양-배출 전달률(35.1%)을 적용하면 이 중 약 152.4 mm/yr(공급의10.4%)가 시차를 두고 기저유출로 하천에 도달하는 것으로 추정된다. 신속·기저 두 경로를 합하면 공급량의 약 34%가 하천으로 회귀하며, 이 가운데 기저회귀는 강우와 무관하게 지속적으로 공급되어 갈수기 유지유량 기여도가 상대적으로 크다. 본 결과는 논 관개용수의 상당 부분이 단순 소모가 아니라 신속·기저 두 시간축의 회귀로 하천 생태계에 되돌아감을 정량적으로 보여주며, GWFLOW 결합 SWAT+가 관개용수 이용이 하천 건천화나 갈수기 수량 제공 등 하천의 다양한 환경 영향을 경로별로 평가하는 도구로 활용될 수 있음을 알 수 있다.

핵심용어: SWAT+, GWFLOW, 신속회귀, 기저회귀, 하천 건천화

* 정회원・강원대학교 농업생명과학연구원 선임연구원・E-mail : dj90lee@gmail.com
** 정회원・한국농어촌공사 농어촌연구원 책임연구원・E-mail : shjin@ekr.or.kr
*** 정회원・조선대학교 토목공학과 조교수・E-mail : hanjeongho@chosun.ac.kr
**** 정회원・강원대학교 지역건설공학과 정교수・E-mail : kjlim@kangwon.ac.kr

범용농지 배수설계를 위한 DRAINMOD 수문수질 평가 시스템 개발 및 국내 설계기준 연계

Development of a DRAINMOD Hydrological and Water Quality Model Integrated with Korean Design Standards for Multipurpose Farmland Drainage Design

박운지*, 이관재**, 이동준***, 신형진****, 임경재*****
Woonji Park, Gwanjae Lee, Dongjun Lee, Hyungjin Shin, Kyoung Jae Lim

요 지

기후변화에 따른 집중호우 증가와 논의 범용화(밭작물 재배 전환) 확대에 따라, 국내 농경지 여건에 부합하는 정량적 배수설계 도구의 필요성이 커지고 있다. 본 연구에서는 포화·불포화 수문모형인 DRAINMOD(Skaggs, 1980)를 Web 기반으로 재구현하고,「농업생산기반 정비사업 계획설계기준-배수편(2012)」의 설계기준을 연계한 범용농지 배수설계 프로그램을 개발하였다. 개발 모형은 토양수분 수지, 암거·명거 배수, 증발산, 질소·탄소 순환, 온실가스(N_2O, CH_4), 염분 및 동결토양 모듈 등으로 되며, 쟁기바닥층을 고려한 논 토양단면, 산화환원전위(Eh) 기반 습해 평가, SSP 기후변화 시나리오 등 국내 특화 기능을 포함한다. 모형 검증 결과, Hooghoudt 및 Kirkham 배수량 산정식은 DRAINMOD 4.0 원문 수록값과 ±0.02% 이내로 일치하였고, 국내 포장 실측 문헌 범위와의 비교에서 10개 검증 항목이 모두 타당한 범위 내에 있음을 확인하였다. 또한 GLUE 기법 기반 불확실성 분석 및 자동보정 기능을 구현하였으며, 매개변수 간 상관성(r=－0.751)이 존재하는 경우 동시보정이 순차보정보다 우수하고, 고차원 매개변수 공간에서는 단계적 GLUE가 불확실성 구간 폭을 크게 저감(91%→4%)함을 확인하였다. 개발 프로그램은 Web 기반 용프로그램으로 제공되어 설계 실무자가 별도의 모형 지식 없이 배수조직 설계, 침수피해 평가 및 기후변화 영향 분석에 활용할 수 있으며, 향후 범용농지 조성사업의 계획·설계 실무를 지원하는 도구로 기대된다.

핵심용어: DRAINMOD, 범용농지, 배수설계, 수문모형, GLUE, 설계기준

본 결과물은 농림축산식품부의 재원으로 농림식품기술기획평가원의 기후변화대응지능형농업기반관리기술개발사업의 지원을 받아 연구되었음(RS-2025-02263147)

* 정회원・강원대학교 농업생명과학연구원 연구교수・E-mail : pwj98@kangwon.ac.kr
** 정회원・(주)일엠연구소 대표・E-mail : gwanjae2@ilem.co.kr
*** 정회원・강원대학교 농업생명과학연구원 박사후연구원・E-mail : dj90lee@gmail.com
**** 비회원・한국농어촌공사 농어촌연구원 책임연구원・E-mail : shjin@ekr.or.kr
***** 정회원・강원대학교 지역건설공학과 교수・E-mail : kyoungjaelim@gmail.com

한국형 수치예보모델(KIM) 격자 강수자료와SWAT+ 분포형 기상 연계를 통한 유역 수량 · 수질의 시공간적 특성 분석

Analysis of the Spatiotemporal Characteristics of Watershed Water Quantity and Quality Using KIM Gridded Precipitation Data Coupled with Distributed Weather Inputs in SWAT+

이동준*, 최용훈**, 이관재***, 임경재****
Dongjun Lee, Yonghun Choi, Gwanjae Lee, Kyoung Jae Lim

요 지

기존의 유역 수문·수질 모델링은 지점 관측 기상자료를 유역 전체 또는 광역에 일괄 적용하는 방식이 일반적인 방법이어서 강우의 공간적 이질성이 유출과 오염부하 발생에 미치는 영향을 충분히 반영하지 못하는 한계가 있었다. 본 연구에서는 SWAT+(Soil and Water Assessment Tool+) 모형이 수문반응단위(Hydrologic Response Unit, HRU) 단위로 서로 다른 기상관측소를 개별 지정할 수 있는 객체 기반 구조를 갖추고 있다는 점에 착안하여, 기상청 한국형 수치예보모델(Korean Integrated Model, KIM)의 격자 예보 강수자료를 유역 내 각HRU에 공간 매핑함으로써 분포형 기상 강제(distributed meteorological forcing) 기반의 유역 모델링 체계를 구축하였다. 이를 위해 SWAT+의 객체 연결정보(hru.con) 내 기상관측소 지정 필드를 활용하여 KIM 격자점을 가상 기상관측소로 정의하고, 각 HRU의 공간 위치에 대응하는 격자값이 개별적으로 입력되도록 연계 체계를 구성하였다. 이를 통해 동일 유역 내에서도 HRU별로 상이한 강우 강도와 시간분포가 반영되며, SWAT+의 시간 단위(sub-daily) 강수 입력 기능과 결합하여 강우사상 내 시간적 변동까지 모의할 수 있게 되었으며, 유출량, 유사, 영양염류(질소·인) 등 수량 및 수질 항목의 시간적·공간적 변동 특성을 분석하였다. 그 결과, 지점 기상자료 기반 모의와 비교하여 강우 공간분포에 따른 소유역별 유출 응답과 오염부하 발생의 차이가 뚜렷하게 나타났으며, 특히 국지성 집중호우 사상에서 유역 내 부하 발생의 공간적 편중이 확인되었다. 본 연구는 기상청 수치예보 격자자료와 물리기반 유역모형을 직접 연계한 사례로서, 향후 예보 기반의 실시간 수질 예측 및 홍수·오염사고 대응 체계 구축에 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

핵심용어: SWAT+, 한국형 수치예보모델(KIM), 수문반응단위(HRU), 강우 공간분포

* 정회원・강원대학교 농업생명과학연구원 선임연구원・E-mail : dj90lee@gmail.com
** 정회원・(주)일엠연구소 이사・E-mail : yhchoi@ilem.co.kr
*** 정회원・(주)일엠연구소 대표・E-mail : lkj8151@gmail.com
**** 정회원・강원대학교 지역건설공학과 교수・E-mail : kyoungjaelim@gmail.com

수질 등급 예측 확률분포를 결합한 신경망 기반 농업용 저수지 총유기탄소 농도 예측

Network-Based Total Organic Carbon Forecasting in an Agricultural Reservoir Coupled with Predicted Water Quality Grade Probability Distributions

김용준*, 조성건**, 이진유***, 다엘 매이 조이****, 이서로*****
Yongjun Kim, Sunggeon Jo, Jinyoo Lee, Mae Joy Dael, Seoro Lee

요 지

우리나라는 난분해성 유기물질을 충분히 반영하지 못하는 기존 지표의 한계를 보완하고자 호소의 유기물질 관리지표로 총유기탄소(Total Organic Carbon, TOC)를 활용하고 있다. 그러나 여름철 강우와 수온 상승에 따른 호내 유기물 유입 증가는 TOC 농도의 급격한 변동을 유발하므로 향후 농도 변화 추이를 사전에 정확히 예측하는 것이 선제적 수질 관리에 요구되고 있다. 본 연구는 앙상블 분류 모형이 산출한 수질 등급 예측 확률분포를 신경망 기반 시계열 예측 모형에 결합하여 농업용 저수지의 미래 72시간 시점별 TOC 농도 예측 성능을 개선할 수 있는지를 평가하였다. 먼저 과거 168시간 시계열의 변수별 요약 통계량을 입력으로 하는 랜덤포레스트를 학습시켜 향후 72시간 평균 TOC 농도가 속하는 호소수질환경기준 등급의 확률분포를 산출하였다. 이어 기상·수질 다변수 시계열을 추세와 계절 성분으로 분해하는 DLinear 구조에 변수 통합층을 더해 잠재표현을 산출하고, 앞서 얻은 등급 확률분포와 결합한 뒤 비선형 회귀층을 거쳐 시점별 TOC 농도를 예측하였다. 성능 평가는 시계열 단독 조건과 등급 확률분포를 결합한 조건을 동일한 신경망 구조와 동일한 검증 기준으로 비교하되, 등급 확률분포를 표본 간 무작위로 치환한 조건과 동일 차원의 난수로 대체한 조건을 함께 학습시켜 성능 변화가 등급 예측 정보에서 비롯되는지 입력 차원 증가에 따른 효과인지를 구분하였다. 본 연구를 통해 등급 확률분포 결합에 따른 TOC 농도 예측 성능의 변화를 선행시간별로 확인하였으며, 두 대조 조건과의 비교를 통해 등급 예측 정보 자체의 기여를 검토하였다. 본 연구의 결과는 농업용 저수지의 TOC 농도 예측 정확도 향상을 위한 기초자료로 활용될 수 있으며, 등급이나 임계값 체계를 갖는 다른 수질 항목의 시계열 예측에도 동일한 방식으로 적용이 가능할 것으로 판단된다.

핵심용어: 농업용 저수지, 총유기탄소, 수질 등급, 확률분포 결합, 시계열 예측

이 성과는 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임 (RS-2026-25605363)

* 준회원・강원대학교 지역건설공학과 학사과정・E-mail : rladydwns2112@gmail.com
** 준회원・강원대학교 지역건설공학과 학사과정・E-mail : jsk030918@gmail.com
*** 준회원・강원대학교 지역건설공학과 학사과정・E-mail : dlwlsdb0925@gmail.com
**** 준회원・강원대학교 지역건설공학과 석사과정・E-mail : maejoydael9@gmail.com
***** 종신회원・강원대학교 지역건설공학과 조교수・E-mail : srlee@kangwon.ac.kr

농업용 저수지의 Transformer 기반 다중 시점 클로로필-a 예측에 대한 입력 시퀀스 길이의 영향 평가

Assessment of the Impact of Input Sequence Length on Transformer-Based Multi-Step Forecasting of Chlorophyll-a in an Agricultural Reservoir

이진유*, 김영서**, 김종건***, 이서로****
Jinyoo Lee, Yeongseo Kim, Jonggun Kim, Seoro Lee

요 지

기후변화에 따른 농업용 저수지의 녹조 발생 빈도와 강도 증가는 용수 공급과 농업 생산성에 부정적인 영향을 미치고 있다. 이처럼 기상 및 수질 변동성이 높은 환경에서 선제적인 수질 관리를 수행하기 위해서는 고해상도 시단위 수질 예측 기술이 요구된다. 최근 시계열 딥러닝 모델이 수질 예측에 활발히 적용되고 있으나, 모델의 성능과 연산 복잡도를 동시에 좌우하는 핵심 요소인 입력 시퀀스 길이 설정에 대한 체계적 근거는 여전히 부족한 실정이다. 본 연구에서는 충남 궁평저수지의 시단위 수질·기상 관측자료를 활용하여 72시간 클로로필-a 예측을 위한 Sequence-to-Sequence (S2S) 기반 Transformer 모델을 구축하고 입력 시퀀스 길이(12~96시간)에 따른 예측 성능 변화를 비교·평가하였다. 분석 결과, 48시간의 입력 시퀀스를 적용했을 때 전체 예측 기간에 걸쳐 평균 Nash-Sutcliffe Efficiency(NSE) 0.811을 기록하고 최장 선행시간인 t+72시간에서도 NSE 0.762의 안정적인 정확도를 유지하여 가장 우수한 예측 성능을 나타냈다. 반면, 입력 시퀀스를 72시간 및 96시간으로 연장한 경우 t+72시간에서의 NSE는 각각 0.730과 0.705로 유의미하게 감소하였다. 크로스 어텐션 분석 결과, 모델은 가장 최근 시점인 t-1시간~t-7시간 구간에 가장 높은 가중치를 할당하는 것으로 나타나 과도하게 긴 입력 시퀀스는 학습 과정에서 불필요하거나 중복된 정보를 유입시켜 예측 성능을 저하시킬 수 있음을 확인하였다. 본 연구는 농업용 저수지 수질 예측 시 최적의 입력 시퀀스 길이 설정에 대한 정량적 근거를 제시하고, 그 구성이 모델 성능의 핵심 변수임을 규명하였다는 점에서 학술적 의의가 있다. 향후에는 다양한 규모와 수문·수질 특성을 가진 저수지를 대상으로 본 접근법을 적용하여 모델의 일반화 가능성을 검증할 필요가 있을 것으로 보인다.

핵심용어: 농업용 저수지, 클로로필-a 예측, 시계열 딥러닝, 입력 시퀀스 길이 최적화

* 준회원・강원대학교 지역건설공학과 학부과정・E-mail : dlwlsdb0925@gmail.com
** 준회원・강원대학교 지역건설공학과 학부과정・E-mail : chris9210@naver.com
*** 정회원・강원대학교 지역건설공학과 부교수・E-mail : jgkim@kangwon.ac.kr
**** 정회원・강원대학교 지역건설공학과 조교수・E-mail : srlee@kangwon.ac.kr

농업용저수지 수질 예측을 위한 연쇄 계층형 잔차 학습 기반 시계열 딥러닝 프레임워크의 적용 및 평가

Application and Evaluation of a Cascaded Hierarchical Residual Learning Framework for Time-Series Water Quality Forecasting in an Agricultural Reservoir

조성건*, 김용준**, 이진유***, 다엘 매이 조이****, 이서로*****
Sunggeon Jo, Yongjun Kim, Jinyoo Lee, Mae Joy Dael, Seoro Lee

요 지

농업용 저수지의 유해 조류 번성에 선제 대응하기 위해서는 충분한 리드타임을 확보하는 시계열 수질 예측 기술이 요구된다. 이에 기존 재귀적 방식의 연산 지연과 오차 누적을 극복하고자 전 구간을 일괄 추론하는 단일 단계 직접 예측(Single-stage direct forecasting) 기반 딥러닝 모델이 널리 활용되고 있다. 그러나 이 방식은 미래 환경 인자의 동적 변동을 반영하지 못하며, 과거 관측치로부터 농도 절대값을 직접 매핑하여 리드타임 증가 시 예측 안정성이 급격히 저하되는 한계가 있다. 본 연구에서는 충남 궁평저수지의 시간 단위 수질 자료를 활용하여 최대 72시간(T+72h)까지의 예측 기간 동안 오차 전파를 억제하고 클로로필-a 예측 정확도를 개선할 수 있는 연쇄 계층형 잔차 학습(Cascaded Hierarchical Residual Learning) 프레임워크를 제안하였다. 제안된 방법론은 2단계 파이프라인으로 구성된다. 1단계에서는 수온, 총유기탄소(TOC) 등 보조 수질 인자의 미래 궤적을 선행 예측하고, 2단계에서는 이를 기상 자료와 함께 디코더의 동적 외생 변수로 주입하는 동시에 직전 관측치 기준선의 증분 잔차(Residual)만을 학습하도록 설계하였다. 4종의 시계열 딥러닝 모델(Transformer, LSTM, Informer, Autoformer)에 적용한 결과, 제안된 연쇄 잔차 학습 구조는 72시간 전 구간에 걸쳐 기존 직접 예측 모델 대비 예측 성능이 현저히 개선되었으며, 장기 리드타임에서도 높은 적합도와 예측 안정성을 일관되게 유지하여 오차 누적 완화에 실질적인 효과가 있는 것으로 나타났다. 향후 본 연구에서 제안한 연쇄 계층형 잔차 학습 프레임워크는 농업용 저수지의 조류 조기 경보를 위한 딥러닝 모델 개발 기반이자 현장 수질 관리의 신뢰도 높은 예측 도구로 활용될 수 있을 것으로 판단된다.

핵심용어: 연쇄 계층형 잔차 학습, 클로로필–a, 시계열 딥러닝, 농업용 저수지

이 성과는 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임 (RS-2026-25605363)

* 준회원・강원대학교 지역건설공학과 학사과정・E-mail : jsk030918@gmail.com
** 준회원・강원대학교 지역건설공학과 학사과정・E-mail : rladydwns2112@gmail.com
*** 준회원・강원대학교 지역건설공학과 학사과정・E-mail : dlwlsdb0925@gmail.com
**** 준회원・강원대학교 지역건설공학과 석사과정・E-mail : maejoydael9@gmail.com
***** 종신회원・강원대학교 지역건설공학과 조교수・E-mail : srlee@kangwon.ac.kr

토지피복별 토양유기탄소 모니터링 지점 선정을 위한 환경특성 기반 공간 군집화

Environmental Characteristic-Based Spatial Clustering for Selecting Soil Organic Carbon Monitoring Sites Across Land-Cover Types

김대영*, 이정**, 이상현***
DaeYoung Kim, Jeong Lee, SangHyun Lee

요 지

토양유기탄소(Soil Organic Carbon, SOC)는 토양의 탄소저장 기능과 장기적인 탄소순환을 평가하는 핵심 지표이다. SOC를 효과적으로 모니터링하기 위해서는 토지피복뿐만 아니라 기후, 지형, 토양 및 식생 조건의 공간적 이질성을 함께 고려할 필요가 있다. 본 연구에서는 대한민국의 주요 토지피복(산림, 초지, 농경지, 정주지)을 대상으로 환경조건이 유사한 지역을 공간적으로 군집화하고, SOC 현장조사와 장기 모니터링을 위한 기반을 마련하고자 하였다. 이를 위해 전국을 1 km 격자로 구분하고, 각 격자에서 SOC에 영향을 미치는 16개의 기후·지형·토양·식생 인자를 구축한 후, 주성분분석(Principal Component Analysis, PCA)과 K-medoids 군집분석을 적용하였다. PCA에서는 누적설명분산율 95% 이상을 기준으로 주요 주성분을 선정하였으며, Silhouette coefficient, Davies–Bouldin index(DBI), Calinski–Harabasz index(CHI)를 종합적으로 고려하여 토지피복별 최적 군집 수를 결정하였다. 이후 K-medoids 알고리즘을 적용하여 각 토지피복별 서로 다른 환경특성을 지닌 공간 군집으로 구분하였다. 또한 외부 SOC 공간자료를 활용하여 군집별 SOC 분포의 차이를 비교·분석하고, 도출된 군집의 SOC 분포 구분력을 평가하였다. 분석 결과, 유의수준 0.05에서 모든 토지피복의 군집 간 SOC 값은 통계적으로 유의한 차이를 보였다. 도출된 공간 군집은 동일한 토지피복 내의 환경적 이질성을 반영하여 SOC 및 CO_2플럭스 현장조사를 위한 대표 모니터링 지점을 선정하는 데 활용될 예정이다. 본 연구는 기후·토양·식생·지형 자료를 통합한 공간 군집화를 통해 토지피복별 대표 모니터링 지점 선정의 근거를 제공하며, 향후 SOC 및 CO_2플럭스 모니터링과 토양탄소 모형 평가에 필요한 조사·분석 비용을 효율적으로 관리하기 위한 기반을 마련할 것으로 기대된다.

핵심용어: 토양유기탄소, 주성분분석, K–medoids, 토지피복, 환경인자

본 결과물은 기후에너지환경부의 재원으로 한국환경산업기술원의 국가NDC 달성 기여를 위한 토양기반 환경기술 개발사업의 지원을 받아 연구되었습니다(RS-2026-25504681).

* 비회원・전북대학교 지역건설공학과 학부생・E-mail : eodud6850@jbnu.ac.kr
** 준회원・전북대학교 농공학과 석사과정・E-mail : leejeong20@jbnu.ac.kr
*** 정회원・전북대학교 지역건설공학과 조교수・E-mail : sanghyun.lee@jbnu.ac.kr

GIS 기반 질소무기화량 비교 및 비료 처방 전략

Comparison of Soil Nitrogen Mineralization Using GIS and Strategies for Fertilizer Recommendation

이찬욱*
Chanwook Lee

요 지

한반도 연평균 기온은 지난 106년간 10년당 0.18 ℃로 전 지구 평균(0.14 ℃)보다 빠르게 상승하고 있으며, 기온 상승은 작물의 질소 반응과 비료 이용 효율을 변화시킨다. 특히 토양 유기물의 질소 무기화는 온도와 수분에 의존하는 과정이기 때문에 작기 중 토양에서 공급되는 질소량이 지역에 따라 달라진다. 그러나 현행 비료사용처방의 질소 처방은 정적 기준을 적용하여 이러한 변동을 반영하지 못한다. 이에 GIS로 기상 및 토양 자료를 결합하여 국내 농경지의 토양 특성 및 기온별 질소 무기화량을 비교하고 이를 질소 시비처방에 반영할 필요성을 검토하였다. 노지 밭토양의 토양 및 온도에 따른 질소 무기화량을 분석하기 위하여 자재가 처리되지 않은 토양 56점을 채취하였고, 채취한 토양을 15, 25 ℃ 조건에서 Long-term aerobic incubation(Stanford and Smith, 1972)에 준하여 항온하였다. 항온 1, 2, 4, 6, 8, 12 주차에 침출된 용액의 부피와 무기태 질소(NO_3-N, NH_4-N)농도를 분석하여 질소 무기화량으로 환산하였으며, 1주차 무기화량은 측정된 무기화량과 기존 토양의 무기태 질소 침출량의 차이를 사용하였다. 토양 유기물 함량 및 전기전도도에 따른 질소 무기화량을 산정하였고, 전국 밭 대표필지(2021-2024) 86,152점의 데이터를 활용하여, 시군구별 평균 화학성에 적용하였다. 기상조건은 기상청 기상자료개발포털 기온 분석자료를 활용하여 2024.9.6.~11.13.의 평균기온을 100 m 간격으로 IDW 보간을 하여 토양 데이터와 결합하였다. 해당 평균 기온의 12주간 질소 무기화량은 최대 15 kg/10a로 평가되었으며, 토양 특성에 따른 변동이 컸다. 토양 특성이 동일한 단위에서도 온도에 따라 질소 무기화량이 변량 표출되어 기후와 토양을 고려한 질소 비료사용 처방이 필요함을 확인하였다.

핵심용어: 비료 처방, GIS, 질소 무기화

본 연구는 농촌진흥청 농업환경보전정책지원기술개발사업(과제번호: RS-2026-25520049)의 지원을 받아 수행된 연구임.

* 비회원・국립농업과학원 토양물환경과 농업연구사・E-mail : cksdnr0123@korea.kr

국가 온실가스 감축목표 이행 지원을 위한 토양기반 탄소흡수기술 통합영향평가 모델 개발

Development of an Integrated Impact Assessment Model for Soil-based Carbon Sequestration Technologies supporting National GHG Reduction Targets

이동준*, 정연지**, 박운지***, 이서로****, 우동국*****, 김소정******, 이관재*******, 임경재********

Dongjun Lee, Yeonji Jeong, Woon Ji Park, Seoro Lee, Dong Kook Woo, So-Jeong Kim, Gwanjae Lee, Kyoung Jae Lim

요 지

토양은 육상 생태계 최대의 탄소저장고인 동시에 식생, 수계, 대기를 연결하는 핵심 물질순환 매개체이다. 이에 토지이용 및 영농관리를 통한 토양탄소 격리가 2050 탄소 중립과 국가 온실가스감축목표 이행의 주요 수단으로 제시되고 있다. 그러나 국내 Land Use, Lan-Use Change and Forestry(LULUCF) 부문의 토양탄소 흡수량 산정은 여전히 IPCC Tier 1, 2 수준의 배출계수 기반 방법론에 의존하고 있어, 바이오차나 Enhanced Rock Weathering(ERW) 등 토양기반 탄소제거 기술의 흡수 효과, 지속성, 그리고 이에 수반되는 수문 및 영양염류 변화를 정량적으로 반영하기 어렵다. 이에 본 연구진은 기후에너지환경부 환경기술개발사업의 일환으로 2026년부터 2030년까지 5년간의 연구개발과제를 통해 토양기반 탄소흡수기술의 효과를 IPCC Tier3 수준에서 정량적으로 평가할 수 있는 한국형 토양탄소 순환모델과 통합영향평가 플랫폼을 개발하고자 한다. 본 연구에서는 과제의 추진체계 및 방법과 주요 예상 성과를 중심으로 소개하고자 한다. 주요 연구 내용으로는 국내 토양의 대표성 확보, 프로세스 기반 한국형 토양탄소순환 모델 개발, 토양 탄소흡수기술 영향평가, 다중 스케일 확장, Measurement, Reporting, and Verification(MRV) 및 정책 연계로 구성되어 있다. 한국형 토양탄소순환 모델은 프로세스 기반 모델인 LandscapeDNDC(LDNDC)를 토양 유·무기탄소, 미생물 반응, 토양수분, 산화환원 조건 등을 통합 고려하도록 고도화하여 개발될 예정이다. 또한, 현장 모니터링 데이터를 연계하여 모델의 검·보정을 통해 모델 신뢰성을 확보하고, 이를 기반으로 필지에서 유역, 지역, 국가 단위로 이어지는 다중 스케일 평가를 수행할 예정이다. 최종적으로 시스템 다이나믹 관점에서 탄소 흡수량과 온실가스 배출, 수문 및 영양염 거동 변화를 함께 고려한 기술 간 Synergy 및 Trade-off를 평가하고, 비용과 환경효과를 반영한 토지이용별 최적 적용 시나리오를 도출할 예정이다. 이와같이 개발되는 모델과 평가결과들은 통합영향평가 플랫폼에 탑재하여 국가 온실가스 인벤토리 고도화, 격년투명성보고서 대응, 탄소감축 인증 및 MRV 체계 연계에 직접 활용될 수 있도록 구축할 예정이다. 본 연구개발과제의 성과는 유역·국가 단위 토양관리 기술의 보급 우선순위 설정과 탄소중립 정책 의사결정을 지원하는 과학적 근거로 기여할 것으로 기대된다.

핵심용어: 토양탄소; 탄소흡수기술; 한국형 토양탄소 순환모델; 통합영향평가 플랫폼

본 결과물은 기후에너지환경부의 재원으로 한국환경산업기술원의 국가 NDC 달성 기여를 위한 토양기반 환경기술 개발사업의 지원을 받아 연구되었습니다(RS-2026-25504681).

* 정회원・강원대학교 농업생명과학연구원 선임연구원・E-mail : dj90lee@gmail.com
** 정회원・강원대학교 지역건설공학과 박사・E-mail : jyj4977@gmail.com
*** 정회원・강원대학교 농업생명과학연구원 연구교수・E-mail : parkwoonji@hanmail.net
**** 정회원・강원대학교 지역건설공학과 조교수・E-mail : seorolee91@gmail.com
***** 비회원・세종대학교 건설환경공학과 부교수 ・E-mail : dongkook.woo@gmail.com
****** 비회원・한국지질자원연구원 책임연구원・E-mail : sojkim86@kigam.re.kr
******* 정회원・(주)일엠연구소 대표・E-mail : lkj8151@gmail.com
******** 정회원・강원대학교 지역건설공학과 교수・E-mail : kyoungjaelim@gmail.com

간척지 배수개선을 위한 경사 조성이 토양 이화학적 특성 및 콩 수량 변화에 미치는 영향

Effects of slope construction for drainage improvement on soil physicochemical properties and soybean yield in reclaimed tideland

이승범*, 송은수**, 김진영***, 정하진****, 이광승*****, 곽진협******
Seung-Beom Lee, Eun-Su Song, Jin-Young Kim, Ha-Jin Jung, Kwang-Seung Lee, Jin-Hyeob Kwak

요 지

국내 간척지는 전체 농경지의 약 7%를 차지하며, 식량자급률 제고를 위해 밭작물 재배지로서의 활용 확대가 요구되고 있다. 그러나 배수 불량과 염류 집적으로 밭작물 재배에 불리한 여건을 가지고 있어 효과적인 배수 개선 기술의 검토가 필요하다. 따라서 본 연구는 인위적인 경사 조성이 간척지 토양의 수분 및 화학적 특성과 콩(*Glycine max* L.)의 생육 및 수량에 미치는 영향을 평가하였다. 시험은 새만금 간척지 5공구 전북대학교 시험포장에서 2023년(재배기간 내 누적 강수량 1,344 mm)과 2024년(651 mm) 두 재배기간에 걸쳐 수행하였다. 토양은 Sand 65.8%, Silt 28.4%, Clay 5.8%의 사양토(Sandy loam)였으며, 경사 0°(대조구), 3°, 5° 처리구를 조성한 후 콩 '대찬'을 파종하였다. 토양 수분은 20, 40 cm 깊이에서 연속 모니터링하였고, 토양 화학성($pH_{1:5}$, $EC_{1:5}$, NH_4^+, NO_3^-)과 콩의 생육 및 수량은 주요 생육단계에 맞춰 조사하였다. 토양 특성과 콩의 생육 및 수량 간의 관계는 Redundancy Analysis(RDA)를 통해 분석하였다. 경사 처리구는 강우 이후 수분 감소 속도가 대조구보다 빨라 지표 배수 개선 효과가 뚜렷하게 나타났다. 하지만 경사 조성으로 심토가 노출된 하단부에서는 pH가 유의하게 상승하여($p<0.001$) 6.89-8.25 범위로 대부분 콩 재배 적정 범위(6.5-7.0)를 초과하였으며, EC 및 무기태 질소(NH_4^+, NO_3^-)는 경사 및 위치에 따른 일관된 경향을 나타내지 않았다. 콩 수량은 2023년에는 경사 상단에서 하단으로 갈수록 유의하게 감소하였으나($p<0.001$), 2024년에는 위치 간 차이가 뚜렷하지 않았다. RDA 분석 결과 2023년에는 pH와 토양 수분이 수량과 음의 상관관계를 보였으나(RDA 설명력 68%), 2024년에는 설명력이 35.8%로 낮아졌는데, 이는 개화기 이후의 가뭄 및 고온 스트레스가 토양 특성보다 수량에 더 크게 작용했기 때문으로 판단된다. 따라서 간척지에서의 경사 조성은 지표 배수 개선에 효과적이었으나, 심토 노출에 따른 하단부 pH 상승이 콩 생산성을 제한하는 요인으로 작용하였다. 따라서 간척지 밭작물의 안정적인 생산을 위해서는 배수 개선과 함께 토양 비옥도 관리를 포함한 통합적 토양관리 전략이 필요할 것으로 판단된다.

핵심용어: 간척지, 지표배수, 습해, 가뭄, 고온

* 정회원・전북대학교 농공학과 박사과정・E-mail : leesb1116@jbnu.ac.kr
** 준회원・전북대학교 농공학과 석사과정・E-mail : eusnu405@naver.com
*** 준회원・전북대학교 지역건설공학과 학부생
**** 준회원・전북대학교 지역건설공학과 학부생
***** 정회원・국립식량과학원 간척지농업연구센터 농업연구사・E-mail : kslee23@korea.kr
****** 정회원・전북대학교 지역건설공학과 교수・E-mail : jh_kwak@jbnu.ac.kr

농촌계획 및 법/정책/거버넌스

E-P-1

THE KOREAN SOCIETY OF AGRICULTURAL ENGINEER

농촌경관 평가를 위한 선행연구 검토 및 평가요소 체계화

A Review and Systematization of Evaluation Factors for Rural Landscape Assessment

오윤경*†, 손정우**
Yun-Gyeong Oh, Jeong-Woo Son

요 지

농촌경관은 농업생산 활동과 농촌지역의 자연·생태적 환경, 토지이용 및 공간구조가 복합적으로 작용하여 형성되며, 농촌의 환경적·생태적·문화적 가치를 나타내는 중요한 자원이다. 최근 농촌경관의 보전과 관리에 대한 정책적 관심이 확대되고 있으나, 경관의 특성과 변화 정도를 객관적으로 평가하기 위한 평가영역과 세부요소는 연구 목적과 대상에 따라 다양하게 제시되고 있어 이에 대한 체계적인 검토가 필요하다. 본 연구는 농촌경관 평가와 관련된 국내외 선행연구를 검토하여 기존 연구에서 활용된 주요 평가관점과 평가요소를 체계적으로 정리하고, 향후 농촌경관 평가체계 구축을 위한 기초적인 평가구조를 제시하는 것을 목적으로 한다. 이를 위해 농촌경관, 농업경관 및 경관생태와 관련된 선행연구와 기존 평가체계를 대상으로 연구목적, 평가대상, 공간적 범위 및 주요 평가요소를 비교·분석하였다. 또한 선행연구에서 제시된 평가요소의 개념적 유사성과 적용 목적을 고려하여 주요 평가영역을 재분류하고 각 영역별 세부 평가요소를 체계화하고자 하였다. 본 연구는 기존 경관평가 연구에서 활용된 평가관점과 요소를 종합적으로 정리함으로써 농촌경관 평가체계 구축을 위한 기초자료를 제공한다는 데 의의가 있다.

핵심용어: 농촌경관, 경관평가, 평가요소, 선행연구

본 연구는 2026년도 농촌진흥청『국가 농업환경 종합관리 기술개발 사업』의 지원을 받아 수행된 연구입니다.(RS-2026-25505631).

* 정회원・전남대학교 농업과학기술연구소・E-mail : yungyeong.oh@gmail.com
** 정회원・농촌진흥청 국립농업과학원・E-mail : rson094@korea.kr

FGI 및 문헌조사를 통한 공익직불제 이행점검 문제점 및 애로사항 분석

Analysis of Issues and Challenges in the Compliance Monitoring of the Public Interest Direct Payment Program through FGIs and Literature Review

김수진*, 배승종**, 최진용***, 손정우****
Soo-Jin Kim, Seung-Jong Bae, Jin-Yong Choi, Jeongwoo Son

요 지

본 연구는 공익직불제 이행점검 과정에서 나타나는 운영상의 문제점과 현장 애로사항을 체계적으로 분석하고, 제도 개선방향을 제시하는 것을 목적으로 하였다. 이를 위해 공익직불제 이행점검과 관련된 선행연구, 정책자료 및 제도 운영지침을 검토하고, 현장 점검을 수행하는 담당자와 제도 참여 농업인 등을 대상으로 표적집단면접(Focus Group Interview, FGI)을 실시하였다. 결과, 이행점검 과정에서는 점검 기준과 절차에 대한 이해 부족, 서류 중심의 확인 방식, 점검 시기 및 인력 운영의 제약, 농업인의 행정 부담, 점검 결과에 대한 안내와 소통의 부족 등이 주요 문제로 나타났다. 특히 농업인의 경영 여건과 지역별 영농 특성을 충분히 반영하지 못하는 획일적 점검 방식은 제도 수용성을 낮추는 요인으로 확인되었다. 또한 점검 담당자는 제한된 인력과 시간 안에 다수의 대상자를 관리해야 하는 어려움을 호소하였으며, 현장 확인이 필요한 사항에 대한 객관적 판단기준과 정보 연계체계의 보완 필요성이 제기되었다. 이에 본 연구는 점검 항목의 명확화와 현장 적용성 제고, 농업인 대상 사전 안내 및 교육 강화, 정보시스템을 활용한 행정 부담 경감, 지역 및 농업 유형을 고려한 탄력적 점검체계 마련을 제안하였다. 본 연구는 공익직불제 이행점검의 실효성과 공정성을 높이고, 농업인의 제도 수용성을 향상시키기 위한 기초자료를 제공한다.

핵심용어: 공익직불제, 이행점검, FGI

본 연구는 농촌진흥청 국립농업과학원 국가 농업환경 종합관리 기술개발 사업의 지원을 받아 연구되었음 (RS-2026-25505631, 과제명: 공익직불제·농업환경보전정책의 효과성 및 경제성 종합관리 기술 개발).

* 정회원・서울대학교 그린바이오과학기술연구원 연구조교수・E-mail : ksjin@snu.ac.kr
** 정회원・서울대학교 그린바이오과학기술연구원 연구교수・E-mail : bsj5120@snu.ac.kr
*** 정회원・서울대학교 조경・지역시스템공학부, 농업생명과학연구원 교수・E-mail : iamchoi@snu.ac.kr
**** 정회원・농촌진흥청 국립농업과학원 농업환경부 연구사・E-mail : son094@korea.kr

농촌지역 도로 물리적 특성을 고려한 농촌형 교통모델 적성 운영 방식 분석

Analysis of Optimal Operation Methods for Rural Traffic Models Considering the Physical Characteristics of Rural Roads

김난영*, 윤성수**
Nanyeong Kim, Seongsoo Yoon

요 지

농촌은 인구감소와 고령화에 따른 교통수단 감소와 함께 도로망의 공간적 분산, 협소한 도로 및 급경사 구간 등 농촌지역 특유의 물리적 환경으로 인해 지역별 교통 서비스 공급 여건에 차이가 나타나고 있다. 특히 농촌지역의 일부 마을은 대중교통 수요가 존재하더라도 도로 폭이 협소하거나 경사도가 높고 차량 교행이 어려워 대형 차량 중심의 기존 대중교통서비스를 제공하기 어려운 경우가 발생하고 있다. 이에 따라 농촌형 교통모델의 효율적인 운영을 위해서는 단순한 인구 및 교통수요뿐만 아니라 실제 차량 운행이 가능한 도로의 물리적 특성을 함께 고려할 필요가 있다. 본 연구는 농촌지역 도로의 물리적 특성에 따른 농촌형 교통모델의 적정 운영방식을 도출하는 것을 목적으로 한다. 이를 위해 농촌형 교통모델 운영지역을 대상으로 도로망 및 공간정보를 활용하여 차선 수, 도로 폭, 경사도 등 주요 도로의 물리적 특성을 분석하고, 농촌형 교통모델의 운영 유형 간 차이를 비교·분석 하고자 한다.

핵심용어: 농촌형 교통모델, 도로 물리적 특성, 차량 운행 가능성, 교통 소외지역

* 정회원・충북대학교 지역건설공학과 박사과정・E-mail : nyeong@chungbuk.ac.kr
** 정회원・충북대학교 지역건설공학과 교수・E-mail : yss@cbnu.ac.kr

르코르뷔지에 이론을 기반으로 한 농촌마을의 농촌공간계획 적용 고찰 및 사례

Application and Cases of Rural Spatial Planning in Rural Villages Based on Le Corbusier's Theory

김난영*, 김병국**, 윤성수***
Nanyeong Kim, Byoungkuk Kim, Seongsoo Yoon

요 지

농촌은 인구감소, 고령화, 저출산, 농업구조의 변화, 기후변화 등 복합적인 사회·경제적 문제에 직면하고 있다. 특히 농촌마을은 무분별한 개발과 생활환경의 변화로 인해 주거공간과 농업공간, 생산시설과 생활시설이 혼재되는 공간적 문제를 지속적으로 겪고 있으며, 이로 인해 생활환경의 쾌적성 저하, 보행안전성 감소, 경관 훼손 및 공동체 기능 약화 등의 문제가 발생하고 있다. 이를 해결하기 위한 정책으로 일반농산어촌사업에서 농촌중심지조성사업과 기초생활거점사업을 시행하고 있다.

근대 지역계획에서 르코르뷔지에(Le Corbusier)는 기능주의(Functionalisme)를 기반으로 주거, 업무, 교통 및 여가 기능을 체계적으로 분리하고, 녹지공간과 공공공간을 유기적으로 연결하는 도시계획 이론을 제시하였고, 기능별 공간 분리, 보행과 차량의 분리, 공동체 중심시설의 배치, 녹지축의 연속성 등을 핵심원리로 제시하였다. 국내 농촌공간계획 연구는 농촌중심지 활성화, 농촌공간 재구조화, 경관계획 및 주민참여형 계획 등에 관한 연구가 활발하게 이루어져 왔으나, 근대 계획 이론을 농촌공간계획에 직접 적용하고 그 적용 가능성을 체계적으로 분석한 연구는 매우 제한적이다.

이에 본 연구는 르코르뷔지에의 도시계획 이론을 농촌공간정비사업의 공간계획 관점에서 재해석하고, 이를 일반농산어촌사업의 농촌중심지조성사업의 기 계획서를 통해 적용된 사례에서의 계획의 특성과 적용성을 분석, 고찰한다.

핵심용어: 코르뷔지에, 농촌중심지조성사업, 농촌공간정비

* 정회원・충북대학교 지역건설공학과 박사과정・E-mail : nyeong@chungbuk.ac.kr
** 정회원・충북대학교 지역건설공학과 박사과정・E-mail : dkfka81@gmail.com
*** 정회원・충북대학교 지역건설공학과 교수・E-mail : yss@cbnu.ac.kr

기능지수와 인구 · 고용 기반 중심성 지수 비교를 통한 농촌 중심지 계층분류 타당성 검토

Validity Evaluation of Rural Central Place Hierarchical Classification Through a Comparison of the Functional Index and Population-Employment Based Centrality Indices

강동현*, 최영완**, 김영주***
Donghyeon Kang, Youngwan Choi, Yongjoo Kim

요 지

우리나라 농촌지역은 인구감소와 고령화로 인해 생활서비스 공급 기반이 지속적으로 약화되고 있다. 현재 읍·면 단위로 추진되고 있는 일반농산어촌개발사업의 사업유형(농촌중심지활성화·기초생활거점조성) 구분은 주로 Davies(1967)의 기능지수법을 활용한 중심지 계층구조 분석에 근거한다. 그러나 기능지수법은 시설의 종류와 개수 등을 중심으로 중심지의 기능 수준을 평가하기에, 해당 지역의 인구에 따른 중심기능의 차이를 직접적으로 반영하는 데 한계가 있다. 이에 본 연구는 인구 및 고용 규모를 고려한 중심성 측정 방법들과 기능지수법을 비교하여, 기존 기능지수법 기반 중심지 계층분류의 타당성을 검토하고자 한다. 분석을 위해 Christaller의 중심지 이론에 기초하여 중심지의 상주인구 대비 소매업·서비스업 종사자 규모를 활용하는 Godlund(1954)의 방법과, 도매업 및 소매업 종사자 규모의 상대적 관계를 통해 중심기능을 측정하는 Siddall(1961)의 방법을 검토하여 수정·적용하였다. 또한, 단순한 기능 규모 또는 종사자 규모에 의존할 경우 지역별 인구 규모에 따라 중심기능이 과대·과소하게 평가될 수 있는 점을 고려하여, 인구 규모와 서비스 밀도를 표준화하여 결합한 '인구-서비스 중심성 지수(Population-Service Centrality Index, P-SCI)'를 새롭게 고안하여 분석에 활용하였다. 분석 결과를 바탕으로 기존 기능지수법으로 계층을 분류한 농촌 중심지가 현재 인구 규모에 맞는 적절한 중심기능을 수행하고 있는지를 검토하고, 향후 농촌공간 재구조화계획 등 수립 시 취득이 어려운 시설 단위 자료에 대한 의존도를 낮추고 인구 및 산업 관련 통계를 활용한 중심지 계층분류의 보완 가능성을 제시하고자 한다.

핵심용어: 농촌지역개발, 계층구분, 기능지수, 중심성 분석

* 준회원・경상국립대학교 대학원 농공학과 석사・E-mail : rivereast99@gnu.ac.kr
** 정회원・경상국립대학교 농업생명과학연구원 선임연구원・E-mail : ruralplan@gnu.ac.kr
*** 정회원・경상국립대학교 지역시스템공학과(농업생명과학연구원) 교수・E-mail : yjkim7171@gnu.ac.kr

농업 · 농촌 기후변화 실태조사 분야 확대 및 RISK 기반 조사 · 평가체계 재편

Expanding the Scope of Climate Change Surveys and Reorganizing a Risk-Based Survey and Assessment Framework for Agriculture and Rural Areas

김수진*, 배승종**, 오석주***, 박달주****, 이명원*****
Soo-Jin Kim, Seung-Jong Bae, Seok-Ju Oh, DalJu Park, MyungWon Lee

요 지

현행 기후변화 조사·평가 체계는「농업·농촌 및 식품산업 기본법」제47조의2에 따라 농업·농촌, 임업·산림, 농어촌용수 및 농업생산기반시설 분야를 대상으로 기후변화 영향과 취약성을 5년마다 조사·평가·공표하고, 이를 위한 기초자료 확보와 통계 작성을 위해 실태조사를 실시하고 있다. 그러나 기후변화의 영향은 농업생산을 넘어 농촌사회, 생태계, 축산업, 식품 소비 및 유통 등 농업·농촌 전반으로 확대되고 있으며, 현행 조사체계만으로는 분야별 RISK를 종합적으로 진단하고 정책에 연계하는 데 한계가 있다. 이에 본 연구는 농업·농촌 기후변화 실태조사의 분야를 확대하고 RISK 기반 조사·평가체계의 재편 방향을 마련하는 것을 목적으로 하였다. 국내외 기후변화 대응정책과 실태조사 및 영향·취약성 평가 사례를 검토하고, 현행 조사 항목과 대응정책을 분석하여 농촌생활·문화, 생태계 변화, 농업, 축산업, 소비, 유통 및 감축 부문의 세부 RISK를 체계화하였다. 또한 RISK별 연계 정책과 보완 필요 과제를 검토하고, 기존 조사체계에서 상대적으로 고려가 부족했던 농촌사회, 소비 및 유통 분야를 포함하는 후보 지표를 도출하였다. 본 연구는 향후 농업·농촌 기후변화 실태조사의 조사 항목과 지표를 정비하고, RISK 기반 통합 조사·평가체계를 구축하기 위한 기초자료로 활용될 수 있다.

핵심용어: 기후변화, 농업 · 농촌, 실태조사, 영향 · 취약성 평가

본 연구는 한국농어촌공사(연구과제명: 농업·농촌 기후변화 실태조사 분야 확대 및 조사·평가 체계 구축 용역)의 지원을 받아 연구되었음.

* 정회원・서울대학교 그린바이오과학기술연구원 연구조교수・E-mail : ksjin@snu.ac.kr
** 정회원・서울대학교 그린바이오과학기술연구원 연구교수・E-mail : bsj5120@snu.ac.kr
*** 정회원・한국농어촌공사 기반사업본주 기후대응처 기후변화정책추진단 단장・E-mail : joooh@ekr.or.kr
**** 정회원・한국농어촌공사 기반사업본주 기후대응처 기후변화정책추진단 차장・E-mail : picklover@ekr.or.kr
***** 정회원・한국농어촌공사 기반사업본주 기후대응처 기후변화정책추진단 과장・E-mail : 2180251@ekr.or.kr

시스템 정보량 기반 적정 수용범위 및 복원성 평가모형 개발

Development of an Information-Based Framework for Optimal Range and System Resilience Assessment

이병학*, 정남수**
Byunghark Lee, Namsu Jeong

요 지

현재 생태계, 지역계획, 인구 등 다양한 시스템에 대한 영향 및 변화 평가는 분야별 특성에 따라 서로 다른 지표와 기준을 적용하고 있어, 상이한 시스템의 변화와 안정성을 공통된 기준으로 해석하는 데 한계가 있다. 이에 본 연구는 모든 시스템이 일정 수준의 정보량을 유지할 때 안정적인 상태를 형성하며, 각 시스템마다 고유한 적정 정보량 범위(Optimal Information Range, OIR)가 존재한다는 가설을 바탕으로 시스템의 변화와 복원성을 통합적으로 평가할 수 있는 모형을 개발하는 것을 목적으로 한다.

연구대상은 생태계, 지역계획 및 인구 시스템으로 구분한다. 생태계 분야에서는 연안·갯벌·하천의 종조성 및 개체수 변화를, 지역계획 분야에서는 토지이용, 산업, 생활SOC, 교통 등 기능구조의 변화를, 인구분야에서는 연령·직업·가구 및 외국인 구성의 시간적 변화를 주요 정보로 활용한다. 이를 통해 생태계 교란, 개발에 따른 지역구조 변화, 인구구조의 안정성 등 서로 다른 현상을 동일한 정보이론적 관점에서 해석하고자 한다.

연구방법은 먼저 기준시점의 시스템 정보를 구축하고 Shannon 정보량을 산정한 후, 시스템별 적정 정보량 범위를 설정한다. 이후 개발행위 또는 일정 기간의 변화에 따른 정보량 증감과 적정범위 이탈 정도를 분석하고, 시간 경과에 따라 시스템이 적정범위로 회복되는 정도와 속도를 평가한다. 시스템 정보량은 Shannon 정보량과 구조 변화율을 결합하여 산정하며, 복원성은 시스템 정보량이 적정 정보량 중심으로부터 얼마나 이탈하고 다시 회복하는지를 기준으로 평가한다.

본 연구는 기존의 '다양성이 높을수록 바람직하다' 또는 '변화량이 클수록 부정적이다'와 같은 단선적인 평가방식에서 벗어나, 시스템마다 유지되어야 할 적정 정보량 범위를 설정하고 그 범위에서의 이탈과 회복 과정을 평가하는 새로운 분석 틀을 제안한다. 이를 통해 생태계, 지역계획 및 인구 분야에 공통적으로 적용 가능한 범용 평가 프레임워크를 구축하고, 향후 환경영향평가, 도시 및 농촌공간계획, 도시재생, 인구정책 등 다양한 정책 분야의 변화 및 복원성 평가에 활용할 수 있는 이론적 기반을 마련하고자 한다.

핵심용어: 시스템 정보량, 적정 정보량 범위, 복원성, 정보이론, Shannon 정보량

* 정회원・국립공주대학교 지역건설공학과 박사・E-mail : LBH2435@kongju.ac.kr
** 정회원・국립공주대학교 지역건설공학과 교수・E-mail : ruralplan@kongju.ac.kr

GIS를 활용한 태양광 에너지 시설 적지평가 – 충청남도 예산군을 대상으로 –

GIS-Based Site Suitability Assessment for Solar Energy Facilities: A Case Study of Yesan County, Chungcheongnam-do

이병학*, 박경근**, 신상현***, 정남수****
Byunghark Lee, Kyunggeun Park, Sanghyeon Shin, Namsu Jeong

요 지

본 연구는 태양광 에너지 시설의 효율적인 입지 선정을 위해 GIS 기반 공간분석을 활용하여 충청남도 예산군의 태양광 발전시설 적정지역을 평가하는 것을 목적으로 한다. 이를 위해 태양광 발전에 영향을 미치는 요소로 경사도, 고도, 향, 일사량 등 지형요소 4개와 일조시간, 평균기온, 황사일수, 강우일수, 안개일수 등 기상요소 5개, 총 9개 요소를 선정하고 공간자료를 구축하였다. 지형요소는 GIS를 활용하여 래스터 자료로 구축하였으며, 일사량은 ArcGIS의 Area Solar Radiation 도구를 이용하여 추정하였다. 기상요소는 기상청 관측자료를 활용한 크리깅(Kriging) 보간을 통해 예산군 전역의 공간자료로 구축하였다. 각 평가요소는 태양광 발전에 미치는 영향을 고려하여 등급화하였으며, 기상요소는 지역 내 공간적 변별력이 상대적으로 낮아 입지 여건 검토를 위한 참고자료로 활용하고, 변별력이 큰 경사도, 고도, 향, 일사량을 중심으로 공간 중첩분석을 실시하여 적정지역을 도출하였다.

분석 결과, 산지지역은 일사량이 상대적으로 높으나 높은 고도와 급경사로 인해 시공성과 접근성 측면에서 불리할 것으로 판단되었다. 반면 고덕면, 삽교읍, 오가면 등 예당평야 지역과 예당저수지 및 무한천 등 하천 인근 지역은 상대적으로 낮은 고도와 완만한 경사, 양호한 일사조건을 갖추고 있어 태양광 발전시설 설치에 적합한 지역으로 평가되었다. 한편 모든 평가요소를 최상위 등급으로 적용할 경우 적정지역이 매우 제한적으로 도출되어 실무적 활용성이 낮다고 판단됨에 따라, 일사량 기준을 2등급까지 확대하여 재분석함으로써 보다 넓은 범위의 후보지역을 제시하였다.

본 연구는 GIS를 활용하여 태양광 발전시설의 입지에 영향을 미치는 지형 및 기상요소를 공간적으로 분석하고, 지역 특성을 반영한 적지평가 방법을 제시하였다는 점에서 의의가 있다. 연구 결과는 향후 태양광 발전시설의 입지계획과 지역 단위 재생에너지 도입 전략 수립을 위한 기초자료로 활용될 수 있을 것으로 판단된다.

핵심용어: 태양광 발전시설, 적지평가, GIS, 공간분석, 재생에너지

* 정회원・국립공주대학교 지역건설공학과 박사・E-mail : LBH2435@kongju.ac.kr
** 정회원・국립공주대학교 지역건설공학과 학사・E-mail : wings543@naver.com
*** 준회원・국립공주대학교 지역건설공학과 학부과정・E-mail : ssh.66527307@gmail.com
**** 정회원・국립공주대학교 지역건설공학과 교수・E-mail : ruralplan@kongju.ac.kr

농촌 교통취약지역의 생활서비스 통합모형 개발과 전이 가능성 분석

Development of an Integrated Living Service Model for Transport-Vulnerable Rural Areas and Assessment of Its Transferability across Regions

이병학*, 박경근**, 신상현***, 정남수****
Byunghark Lee, Kyunggeun Park, Sanghyeon Shin, Namsu Jeong

요 지

본 연구는 이동, 의료, 돌봄, 지역 물류 서비스를 연계한 농촌 생활서비스 통합모형을 개발하고, 지역 여건이 다른 농촌지역에 대한 전이 가능성을 검토하는 것을 목적으로 한다. 이를 위해 공주시를 모형 개발 대상지로, 진안군을 검증 대상지로 설정하여 이중 사례 연구체계를 적용하였다.

공주시에서는 생활서비스 접근성과 기존 서비스 전달체계에 대한 공간분석을 바탕으로 통합모형을 설계하였으며, 이후 통합운영효율성지수(Integrated Operational Efficiency Index, IOEI)를 활용한 시나리오 기반 정량분석을 통해 기존 서비스 제공방식과 통합모형의 비용 및 운영 효율성을 비교하였다. 또한 모형의 지역 간 적용 가능성을 검토하기 위해 교통 취약성이 높은 산악지역인 진안군에 동일한 분석체계를 적용하고, 지역 특성을 반영한 구체적인 운영 시나리오를 구축하였다.

분석 결과, 통합모형은 기존의 개별 서비스 제공방식과 유사한 수준의 운영비용을 유지하면서도 서비스 제공 효율성을 크게 향상시키는 것으로 나타났다. 특히 지역 여건에 따라 통합모형의 기능에도 차이가 확인되었다. 준도시형 농촌지역에서는 기존 서비스 전달체계의 효율성을 높이는 운영모형으로 기능한 반면, 서비스 접근성이 매우 취약한 농촌지역에서는 주민의 기본적인 생활서비스 접근을 보장하는 핵심 인프라로서의 역할이 더욱 크게 나타났다.

본 연구는 이동, 의료, 돌봄 및 지역 물류를 통합적으로 고려한 농촌 생활서비스 분석 및 운영체계를 제안하고, 상이한 지역 여건에 적용함으로써 그 전이 가능성을 실증적으로 검토하였다는 점에서 의의가 있다. 또한 농촌지역의 생활서비스 접근성을 개선하기 위해서는 개별 서비스를 단순히 확대하는 방식보다, 기존의 서비스 전달체계를 통합·재구조화하는 접근이 보다 효과적인 정책 대안이 될 수 있음을 시사한다.

핵심용어: 농촌 교통취약지역, 생활서비스, 통합서비스모형, 서비스 접근성, 지역 간 전이 가능성, 공간분석

* 정회원・공주대학교 지역건설공학과 박사・E-mail : LBH2435@kongju.ac.kr
** 정회원・국립공주대학교 지역건설공학과 학사・E-mail : wings543@naver.com
*** 준회원・공주대학교 지역건설공학과 학부과정・E-mail : ssh.66527307@gmail.com
**** 정회원・공주대학교 지역건설공학과 교수・E-mail : ruralplan@kongju.ac.kr

청주시 읍·면 지역 주민참여예산 제안사업의 공간분포 특성 분석

Analysis of the Spatial Distribution Characteristics of Citizen-Proposed Budget Participation Projects in the Eup and Myeon Areas of Cheongju-si

김병국*, 김난영**, 윤성수***
Byoungkuk Kim, Nanyeong Kim, Seongsoo Yoon

요 지

지방재정의 민주성 제고를 위해 도입된 주민참여예산제는 농촌지역에서 주민의 생활 및 영농활동과 밀접한 소규모 기반시설 정비사업에 활용되는 경향을 보인다. 그러나 기존 사업에 대한 평가는 예산규모와 사업건수 등 행정적 지표에 치중되어 있으며, 사업의 공간분포 특성에 대한 정량적 분석은 미흡한 실정이다. 이에 본 연구는 청주시 읍·면 지역 주민참여예산 제안사업의 공간분포 특성을 분석하고, 농촌지역 기반시설 정비 수요와의 공간적 관계를 파악하고자 하였다. 이를 위해 2021~2025년 청주시 13개 읍·면에서 제안된 주민참여예산 사업 962건을 대상으로 사업내용에 따라 4개 대분류, 8개 중분류, 18개 소분류의 공종 분류체계를 구축하였다. 또한 V-World Geocoding API를 활용하여 사업 위치정보를 공간좌표로 변환하고, 최근접이웃지수(Nearest Neighbor Index, NNI)를 적용하여 전체 및 사업유형별 공간분포 특성을 분석하였다.

분석 결과, 전체 사업의 약 65%가 기초생산 및 물관리 기반시설에 집중되었으며, 전체 사업의 NNI R값은 0.46으로 나타나 공간적 군집 경향을 보였다. 대분류별 R값 역시 0.51~0.59로 나타나 사업유형 전반에서 공간적 군집성이 확인되었다. 이는 주민참여예산 제안사업이 공간적으로 균등하게 분포하기보다 주민의 생활 및 영농활동과 밀접한 특정 지역 및 시설·구간을 중심으로 집중되는 공간적 특성을 보이는 것으로 판단된다. 따라서 농촌지역 기반시설 수요와 주민참여예산사업 간 공간적 관계를 고려하기 위해서는 사업건수 및 예산규모뿐만 아니라 사업의 입지 여건과 주변 환경 특성을 함께 고려할 필요가 있다. 본 연구는 주민참여예산 제안사업의 공간분포 특성을 정량적으로 분석함으로써 농촌지역 기반시설의 계획적 정비와 투자 우선순위 설정을 위한 기초자료를 제공할 수 있을 것으로 기대된다.

핵심용어: 주민참여예산, 공간분포분석, 최근접이웃지수, 농촌기반시설

* 정회원・충북대학교 지역건설공학과 박사과정・E-mail : dkfka81@gmail.com
** 정회원・충북대학교 지역건설공학과 박사과정・E-mail : nyeong@chungbuk.ac.kr
*** 정회원・충북대학교 지역건설공학과 교수・E-mail : yss@cbnu.ac.kr

농촌계획 및 법/정책/거버넌스

E-P-2

THE KOREAN SOCIETY OF AGRICULTURAL ENGINEER

홍성군 축산농가의 입지 특성과 주변 환경요인 간 공간적 관계 분석

Spatial Relationships Between Livestock Farm Locations and Environmental Factors in Hongseong-gun

신상현*, 정남수**, 이병학***
Sanghyeon Shin, Namsu Jeong, Byunghark Lee

요 지

본 연구의 목적은 GIS를 활용하여 충청남도 홍성군 축산농가의 공간적 분포와 입지 특성을 파악하고, 축산농가와 주변 환경요인 간 거리관계를 분석하여 축산환경 취약지역을 도출하는 데 있다. 홍성군은 한우, 돼지, 닭 등 다양한 축종의 사육이 활발한 지역으로, 축산업이 지역경제에서 중요한 역할을 담당하고 있다. 그러나 축산농가의 밀집과 사육규모 확대는 악취, 가축분뇨, 수질오염 및 주민 생활환경 저하 등의 문제를 발생시킬 수 있다. 특히 축산농가와 주거지역 및 하천 사이의 거리가 가까울수록 환경적 영향과 주민 갈등 가능성이 커질 수 있으므로 농가 특성과 주변 환경의 공간적 관계를 종합적으로 분석할 필요가 있다. 본 연구에서는 홍성군 축산농가의 소재지, 축종, 사육두수 및 시설현황에 관한 자료를 수집하여 농가 위치를 공간데이터로 구축하고, 주거지역, 주거용 건축물, 하천, 저수지, 도로, 동물병원, 가축분뇨 처리시설 및 가축사육 제한구역 등의 공간자료를 활용하였다. 분석방법으로는 kernel density 기능을 활용하여 축산농가와 사육두수의 공간적 밀집지역을 파악하고, 최근접 거리분석과 500m, 1000m 등의 다중거리 buffer 분석을 통해 축산농가와 주거지역, 하천 및 축산지원시설 사이의 거리를 산출하였다. 또한 공간중첩 분석을 통해 축산농가와 가축사육 제한구역의 공간적 관계를 검토하고, 축종과 사육규모에 따른 입지 특성의 차이를 비교하도록 분석체계를 구성하였다. 이를 통해 축산농가가 밀집되어 있으면서 사육두수가 많고 주거지역 또는 하천과 가까운 지역을 환경관리 우선지역으로 분류할 수 있다. 아울러 가축분뇨 처리시설과 방역·진료시설에 대한 접근성이 낮은 지역을 파악하여 관련 시설의 추가 배치와 관리체계 개선방향을 제시할 수 있다. 본 연구는 축산농가의 위치와 사육특성을 주변 환경과의 거리관계에 결합하여 농촌지역의 축산환경을 객관적으로 분석할 수 있는 방법을 제시한다는 데 의의가 있다. 또한 축산업이 발달한 홍성군을 모델로 적용하여 향후 다른 지역에 해당 연구 결과를 적용하기 용이하다. 연구 결과는 홍성군의 축산악취 및 가축분뇨 관리, 가축사육 제한구역 조정, 축산환경 개선사업과 우선관리지역 선정에 필요한 기초자료로 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

핵심용어: GIS, 공간분석, 거리분석, 입지 특성, kernel density

* 준회원・공주대학교 지역건설공학과 학부과정・E-mail : ssh.66527307@gmail.com
** 정회원・공주대학교 지역건설공학과 교수・E-mail : ruralplan@kongju.ac.kr
*** 정회원・공주대학교 지역건설공학과 박사・E-mail : LBH2435@kongju.ac.kr

공간 · 기상 데이터를 활용한 축산 악취 발생 가능성 예측 연구

A Study on the Prediction of Livestock Odor Occurrence Potential Using Spatial and Meteorological Data

박경근*, 정남수**, 이병학***
Gyeonggeun Park, Namsu Jeong, Byunghark Lee

요 지

본 연구는 공간적 특성, 기상조건 및 축산 관련 요인을 종합적으로 고려한 축산 악취 발생 가능성 예측 모형을 구축하는 것을 목적으로 한다. 축산시설이 밀집한 충청남도 홍성군을 대상으로 공간변수, 기상변수 및 축산변수를 구축하고, 과거 악취 민원자료와 Random Forest 알고리즘을 활용하여 지역별 악취 발생 가능성을 예측하였다. 예측 결과는 ArcGIS를 통해 공간적으로 시각화하여 악취 발생 가능성이 높은 지역과 낮은 지역을 구분하였다. 이를 통해 다양한 요인의 복합적인 영향을 고려한 악취 발생 가능성을 정량적으로 분석하고, 축산 악취 우려지역의 사전 관리 및 환경계획 수립을 위한 공간정보 기반 분석체계를 제시하였다.

핵심용어: 축산 악취, 악취 발생 가능성, 공간변수, 기상변수, Random Forest

요 지

축산시설에서 발생하는 악취의 공간적 확산 특성을 고려하여 홍성군 지역의 악취 발생 가능성을 예측하고 위험지역을 도출하는 것을 목적으로 한다. 이를 위해 축산 악취 발생에 영향을 미칠 수 있는 요인을 공간변수, 기상변수 및 축산변수로 구분하고, 축산시설과의 거리, 풍향 및 풍속, 기온·습도·강수량, 축종 및 사육두수 등의 변수를 구축하였다. 구축된 변수는 과거 악취 민원 사례와 선행연구를 기반으로 정량화 및 점수화하고, 이를 Random Forest 모형의 입력변수로 활용하여 악취 발생 여부와 변수 간의 관계를 학습하였다. 이후 학습된 모형을 홍성군 전역에 적용하여 지역별 악취 발생 가능성을 산출하고, ArcGIS를 활용하여 공간적으로 시각화하였다. 이를 통해 축산시설의 공간적 특성뿐만 아니라 기상조건과 축종 및 사육규모를 종합적으로 고려한 악취 발생 가능성 예측체계를 구축하고, 향후 축산 악취 관리 및 환경계획 수립을 위한 공간정보 기반 의사결정 지원자료를 제시하고자 한다.

핵심용어: 축산악취, 악취 발생 가능성, 공간변수, 축산변수, 기상변수, Random Forest, ArcGIS

* 준회원・국립공주대학교 지역건설공학과 학사・E-mail : wings543@naver.com
** 정회원・국립공주대학교 지역건설공학과 정교수・E-mail : ruralplan@kongju.ac.kr
*** 정회원・국립공주대학교 지역건설공학과 박사・E-mail : lbh2435@kongju.ac.kr

Dyna-CLUE 모형을 활용한 토지이용 변화의 결정론적 모의 – 아산시를 대상으로 –

Deterministic Simulation of Landuse Change Using the Dyna-CLUE - A Case Study of Asan City -

구희동*, 리재웅**, 이병준***, 김재훈****, 송준선*****, 김대식******
Heedong Koo, Zaewoong Rhee, Byungjoon Lee, Jaehun Kim, Joonsun Song, Daesik Kim

요 지

최근 도시화·산업화로 인해 농지는 지속적으로 잠식되고 있으며, 특히 도시확산 압력이 높은 지역은 토지이용 변화를 정량적으로 예측할 필요가 있다. 본 연구는 아산시를 대상으로 Dyna-CLUE 모형을 활용하여 2015~2035년 토지이용 변화를 모의하고, 시나리오별 변화 양상을 정량적으로 비교하는 것을 목적으로 한다. 2015년 토지이용도(농지·시가지·산지·초지 및 나지·수역)를 초기지도로 설정하고, 표고·경사·토양배수·토심·공시지가·인구와 주요시설 이격거리 등을 포함한 12개 구동요인에 대하여 로지스틱 회귀분석을 통해 유형별 입지적합성(ROC-AUC 0.84~0.94)을 산정하였다. 전환행렬 및 전환탄성계수(농지 0.4, 시가지 1.0 등)로 유형 간 전환 가능성을 설정하고, 최근 10개년(2015~2025) 토지이용 변화를 마르코프 전이확률에 기반한 현상유지(BAU) 시나리오와 도시확산·농지보전을 가정으로 한 시나리오를 설정하였다. 모의 결과, 농지면적은 현상유지 시나리오에서 2035년까지 약 2,762ha, 도시확산 시나리오에서는 약 5,057ha가 감소하였고, 농지보전 시나리오에서는 감소량이 약 1,470ha로 완화되는 것으로 나타났다. 정합성 평가에서 면적 예측의 결정계수(R2)는 0.78~0.94, 정규화 평균제곱근오차(nRMSE)는 3% 이내로 우수하였으며, 격자단위 공간 정합성에서 OA는 0.91, Kappa는 0.87로 확인되었다. 본 연구는 입지적합성-전환규칙-수요 구조에 기반한 Dyna-CLUE 모형을 농지 감소 문제에 다가가기 위한 기초적인 연구를 수행한 것에 의의가 있다.

핵심용어: Dyna-CLUE, Markov-chain, 시나리오, 토지이용변화

본 연구성과물은 2024년도 정부(교육부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임(RS-2024-00463527)

* 정회원・충남대학교 농업과학연구소 연구교수・E-mail : siskoo@cnu.ac.kr
** 정회원・충남대학교 농업과학연구소 박사후연구원・E-mail : agminister@cbnu.ac.kr
*** 정회원・충남대학교 농업과학연구소 박사후연구원・E-mail : lbjn2002@naver.com
**** 학생회원・충남대학교 대학원 농공학과 석사과정・E-mail : kjh46582434@gmail.com
***** 학생회원・충남대학교 지역환경토목학과 학사과정・E-mail : thdwnstjs185@naver.com
****** 정회원・충남대학교 지역환경토목학과 교수・E-mail : drkds19@cnu.ac.kr

인구고령화를 고려한 농촌 직주기능 유형화 분석

A Typological Analysis of Rural Jobs-Housing Functions in the Context of Population Aging

취뤼*, 이상현**, 리재웅***, 임경규****, 배승종*****, 김수진******
Rui Qu, Sang-Hyun Lee, Zaewoong Rhee, GyeongGyu Lim, Seung-jong Bae, Soo-Jin Kim

Abstract

Rural population decline and rapid population aging have increased the importance of understanding how employment opportunities and the working-age population are distributed across rural areas. Using employment and registered population data for 2015 and 2020, this study classified 102 eup and myeon areas in Chungcheongbuk-do into employment–residence functional types based on employment size and the jobs–housing ratio. It then examined their spatial distribution, changes in type, and differences in population aging. Three types were identified: residential-oriented, employment-absorbing, and employment-centered. Residential-oriented areas remained the dominant type during the study period, although their number declined, while employment-absorbing and employment-centered areas increased. The latter two types were concentrated mainly in the northwestern part of the province, where industrial and locational conditions are relatively favorable. Type transitions also showed distinct patterns. Areas that shifted from residential-oriented to employment-absorbing generally experienced employment growth together with a decline in the working-age population, indicating that a higher jobs–housing ratio does not necessarily reflect stronger residential attractiveness. By contrast, areas that became employment-centered showed increases in both employment and the working-age population, suggesting a simultaneous strengthening of employment and residential functions. Population aging also differed significantly across the three types. Employment-centered areas had consistently lower aging rates than the other types, whereas the difference between residential-oriented and employment-absorbing areas was not statistically significant in 2020. These findings indicate that employment growth alone is unlikely to alleviate rural population aging. Policies aimed at strengthening rural employment should therefore be accompanied by improvements in residential conditions, public services, and measures to attract and retain the working-age population.

Key words: Rural areas, Employment–residence functions, Jobs–housing ratio, Population aging, Regional types

본 논문은 농촌진흥청 연구사업(과제번호: RS-2022-RD010024)의 지원에 의해 이루어진 것임. (과제명: 증거(evidence) 기반 농촌공간계획 의사결정지원시스템 구축)

* 정회원・충북대학교 지역건설공학과 박사후 연구원・E-mail : qurui@cbnu.ac.kr
** 정회원・충북대학교 지역건설공학과 교수・E-mail : sanghyun@cbnu.ac.kr
*** 정회원・충북대학교 지역건설공학과 강사・충남대학교 농업과학연구소 박사후 연구원・E-mail : agminister@cbnu.ac.kr
**** 정회원・충북대학교 석사과정・E-mail : imgyeonggyu@chungbuk.ac.kr
***** 정회원・서울대학교 그린바이오과학기술연구원 연구교수・E-mail : bsj5120@hanmail.net
****** 정회원・서울대학교 그린바이오과학기술연구원 연구교수・E-mail : ksjin@snu.ac.kr

농어촌기본소득 시범사업 시행에 따른 농촌지역 인구변화 분석

Analysis of Population Changes in Rural Areas Following the Implementation of the Basic Income Pilot Program for Rural and Fishing Communities

김난영*, 윤성수**
Nanyeong Kim, Seongsoo Yoon

요 지

농촌은 지속적인 인구감소와 고령화로 인해 지역의 생활서비스 유지와 지역공동체 지속성 확보에 어려움을 겪고 있다. 특히 청년층 및 생산연령인구의 도시지역 유출이 지속되면서 농촌지역의 인구구조가 악화되고 있으며, 이는 지역소멸 가능성을 높이는 주요 요인으로 작용하고 있다. 이러한 농촌지역의 인구감소 및 지역소멸 문제에 대응하기 위해 정부는 농촌지역 주민의 소득을 보완하고 지역 내 소비와 경제활동을 촉진하기 위한 정책으로 농어촌기본소득 시범사업을 추진하고 있다. 농어촌기본소득은 일정 지역에 거주하는 주민에게 정기적으로 일정 금액을 지급함으로써 주민의 소득을 보완하고 지역 내 소비를 통해 지역경제 활성화와 정주여건 개선에 기여하는 것을 목적으로 한다. 이러한 정책은 단순한 소득지원 정책을 넘어 지역경제 활성화와 공동체 유지, 인구감소 대응 등의 효과를 동시에 기대할 수 있다는 점에서 농촌지역개발 정책과 연계하여 검토할 필요하가 있다. 그러나 사업 시행 이후 나타나는 인구변화가 정책에 의한 효과인지, 출생·사망 및 지역 간 인구이동 등 일반적인 인구변화에 따른 것인지 판단하기 위해서는 객관적인 비교분석이 필요하다. 따라서 본 연구는 농어촌기본소득 시범사업 시행지역과 비시행지역을 대상으로 사업 시행 전·후의 총인구, 전입·전출 및 순이동 등 주요 인구 지표와 연령별 인구구조의 변화를 비교·분석하여 농어촌기본소득 시범사업이 농촌지역 인구변화에 미치는 초기 효과를 검토하는 것을 목적으로 한다.

핵심용어: 농어촌기본소득, 인구변화, 인구이동, 지역소멸

* 정회원・충북대학교 지역건설공학과 박사과정・E-mail : nyeong@chungbuk.ac.kr
** 정회원・충북대학교 지역건설공학과 교수・E-mail : yss@cbnu.ac.kr

상습 침수구역 관리개선을 위한 농가 자구책 마련 연구

A Study on Self-Rescue Plan for Improvement of Management of Recurring Flooded Area

김다예*, 박수희**, 이강훈***
Da Ye Kim, Su Hee Park, Gang Hoon Lee

요 지

최근 집중호우의 증가와 농경지 이용형태의 변화로 인해 저지대 농경지에서 반복적인 침수피해가 발생하고 있으며, 특히 시설원예 및 논 타작물 재배 확대에 따라 침수로 인한 농업인의 경제적 피해가 증가하고 있다. 기존의 농경지 침수대책은 배수장 및 배수로 등 공공 배수시설의 확충과 개선을 중심으로 추진되어 왔으나, 반복되는 침수피해를 효과적으로 저감하기 위해서는 공공시설 개선과 함께 농업인이 현장에서 직접 적용할 수 있는 자구적 대응방안의 마련이 필요하다. 이에 본 연구에서는 상습 침수 농경지의 피해 특성과 농업인의 인식 및 대응 실태를 분석하고, 이를 바탕으로 농가 단위에서 적용 가능한 침수피해 저감 자구책과 제도적 지원방안을 제시하고자 하였다. 연구대상지는 최근 반복적인 침수피해가 발생한 충남 부여군 라복지구와 전북 김제시 홍산·내촌지구로 선정하였다. 대상지의 침수피해 현황과 배수여건을 조사하고, 농업인을 대상으로 침수 경험, 침수원인에 대한 인식, 기존 대응방안, 자구책의 필요성 및 비용부담 의향, 농업인 중심 거버넌스 등에 대한 인식조사와 설문조사를 실시하였다. 조사 결과, 농업인들은 배수시설의 용량 및 통수능력 부족뿐만 아니라 외수위 상승, 토지이용 및 재배형태 변화 등 다양한 요인이 복합적으로 침수피해에 영향을 미치는 것으로 인식하고 있었으며, 배수로 정비, 자체 배수시설 설치 및 농가 간 협의 등의 자발적인 대응도 이루어지고 있는 것으로 나타났다. 이를 토대로 농가 단위의 자구책을 장치 설치, 영농환경 관리 및 거버넌스 측면으로 구분하여 제시하였다. 장치 설치 방안으로 필지별 양수시설, 자립형 차수벽, 비닐 차수벽 및 시설하우스 주변 집수·배수시설 등을 제안하였으며, 영농환경 관리방안으로 투수성 구조물 활용, 토양 공극 확대 및 침수 저항성 품종 전환 등을 제시하였다. 또한 농업인과 시설관리기관이 참여하는 지역단위 거버넌스 구축과 함께 침수유도 농경지 보상, 시설작물의 생육시기를 고려한 관리, 시설원예단지의 적정 입지 유도 및 배수시설 지원제도 등의 제도적 지원방안을 제안하였다. 이러한 결과는 상습 침수 농경지의 피해 저감을 위해 공공 배수시설 확충에만 의존하기보다 농가의 자율적 대응, 공공부문의 지원 및 지역단위 협력체계를 연계한 통합적 침수관리체계가 필요함을 시사한다.

핵심용어: 상습 침수, 농경지 침수, 농가 자구책, 침수피해 저감, 거버넌스

* 정회원・충북대학교 지역건설공학과 박사후연구원・E-mail : kdy8462@naver.com
** 정회원・충북대학교 지역건설공학과 박사과정・E-mail : winnny0227@naver.com
*** 정회원・충북대학교 지역건설공학과 석사과정・E-mail : pubganghoon@naver.com

노지 스마트농업 성과평가를 위한 데이터 체계구축 방안

Strategies for Establishing a Data Framework to Evaluate the performance of Open-Field Smart Agriculture

안미란*
Miran An

요 지

노지 스마트농업은 농업의 생산성과 경영 효율성을 높이기 위한 주요 정책수단으로 확대되고 있으나, 현재의 성과평가는 주로 사업 참여 농가의 생산량·생산성 변화를 비교하는 방식에 의존하여, 스마트농업의 정책효과를 객관적으로 측정하는 데 한계가 있다. 특히, 노지농업은 시설농업과 달리 기상, 토양, 병해충 등 외부환경의 영향을 크게 받기 때문에 동일한 기술을 적용하더라도 연도와 필지에 따라 성과가 크게 달라질 수 있다. 따라서 사업 도입 이후 생산량이나 생산성이 증가했다는 사실만으로 스마트농업의 효과를 판단하기 어렵다. 이러한 한계를 극복하기 위해서는 단순한 사업 전후 비교에서 벗어나 외부환경의 영향을 통제하고 스마트농업 도입에 따른 순수한 정책효과를 식별할수 있는 인과추론 기반의 성과평가 체계가 필요하다. 이에 본 연구는 노지 스마트농업의 성과평가의 한계점을 검토하고, 인과적 성과분석에 필요한 데이터의 구성요건을 도출하여, 이를 체계적으로 구축、관리하기 위한 데이터구축 방안을 제시하고자 한다.

노지 스마트농업의 성과평가에서 가장 중요한 과제는 특정 분석기법을 적용하는것보다 인과분석이 가능하도록 사업 추진단계에서부터 평가자료를 사전에 설계하고 축적、관리하는 것이 필요하다. 대조군이 설정되지 않거나 사업도입 이전의 기초자료가 확보되지 않은 경우에는 스마트농업 도입에 따른 변화와 기상 등의 외부요인에 의한 변화를 구분하기 어렵다. 또한, 도입된 기술의 종류나 적용대상, 도입시점 및 활용방안 등을 표준화하여 기록하고 지속적인 모니터링이 가능토록 데이터 관리가 이루어지지 않으면 어떤 요소가 성과에 미친 영향인지를 식별하기 어렵다. 따라서 스마트농업 사업의 성과평가를 위해서는 사업 종료 이후 결과자료 뿐만 아니라, 사업의 기획 및 집행 단계부터 평가에 필요한 자료를 표준화하여 축적하는 체계로 전환할 필요가 있다. 즉, '사업시행에 따른 인과관계를 살펴볼수 있도록 사업 수행과 동시에 데이터를 설계·축적하는 방식'으로 전환해야 한다. 특히 필지와 참여농가를 기준으로 참여·비참여 농가의 도입 전후 자료를 연계하고, 사업내용, 투입기술, 생산、경영서과, 가상、토양、병해충、가격 등 외부자료를 지속으로 연결、관리한다면 지역별·농가별、기술별 스마트농업의 효괄르 보다 정밀하게 분석할수 있을것으로 판단된다. 이는 향후 스마트농업 정책의 실효성을 향상하고, 사업예산의 효율적 배분과 성과중심의 정책관리를 위한 객관적 근거를 제공하는데 기여할 수 있다.

핵심용어: 노지스마트농업, 성과평가, 인과관계, 데이터 체계

본 연구는 한국농어촌공사 농어촌연구원에서 시행한 "밭기반정비사업의 효율화를 위한 公社 역할 재정립 및 대응방안" 연구로 수행되었음.

* 준회원・한국농어촌공사 농어촌연구원 선임연구원・E-mail : meran2@ekr.or.kr

범용토양유실공식에 의한 토양유실량 평가 방법에 관한 연구

A Study to Evaluate Potential Soil Erosion Estimation Methods using the Universal Soil Loss Equation

윤서린*, 박찬기**, 박윤식***
Seorin Yoon, Chan-Gi Park, Youn Shik Park

요 지

국내에서는 토양유실 관리와 연계한 수질 관리에 대해 다양한 연구가 수행되어 왔다. 기후에너지환경부는 토양유실량 발생 가능성을 추정하기 위해 범용토양유실공식(USLE)을 채택하고 “표토의 침식 현황 조사에 관한 고시”를 제정하여 시행하고 있다. 그러나 이 고시에 제시된 강우침식능인자는 1973년부터 1996년까지의 과거 자료에 기반하고 있어, 기후변화로 인한 현재의 강우 조건을 반영하지 못하고 있다. 마찬가지로 고시의 토양 침식성 인자 역시 최신 토양 자료가 405개 토양통을 포함하도록 갱신되었음에도 불구하고 오래된 자료에 의존하고 있다. 이에 따라 고시에 따른 토양 유실 추정량을 최신 강우 및 토양 자료를 활용한 기존 USLE 방식의 추정량과 비교하였다. 이와 함께, 국내에서 토양유실량을 간편하고 신속하게 추정하는 방법인 한국형 토양유실공식(KORSLE)에 대한 평가도 함께 이루어졌다. 본 연구의 첫 번째 주요 결과는 고시상의 강우침식능인자와 최신 강우 자료를 적용한 기존 방식의 인자가 공간적 경향은 유사했으나, 개별 수치에는 상당한 차이가 있다는 것이다. 두 번째 결과는 토양 침식성 인자가 강우 침식력 인자보다 토양 유실 추정치에 더 큰 영향을 미친다는 것이다. 세 번째 결과는 KORSLE이 강우의 공간적 분포 특성과 관련해 불확실성을 가지고 있는 것으로 나타났다는 것이다. 따라서 토양 침식성 인자를 갱신하기 위해 해당 고시를 개정할 필요가 있으며, 공간적 분포 특성을 정확하게 반영할 수 있도록 KORSLE 역시 개선되어야 한다는 결론을 도출했다.

핵심용어: 범용토양유실공식; 토양유실량; 한국형토양유실공식

* 정회원・국립공주대학교 지역건설공학과 석사・E-mail : tjfls4684@gmail.com
** 정회원・국립공주대학교 지역건설공학과 교수・E-mail : cgpark@kongju.ac.kr
*** 정회원・국립공주대학교 지역건설공학과 교수・E-mail : park397@kongju.ac.kr

정주인구와 관광인구의 환경영향 비교를 위한 방법론 연구

A Methodological Study for Comparing the Environmental Impacts of Resident and Tourist Populations

김미소*, 메이스 하와리**, 김유안***, 서 교****
Miso Kim, Mais Hawari, Yooan Kim, Kyo Suh

요 지

관광은 제주도와 같은 관광지에서 지역경제의 중요한 부분을 차지하며, 관광인구는 지역의 자원수요에도 큰 비중을 차지한다. 그러나 지역의 자원소비는 대부분 총량으로 산정된다. 따라서 관광인구와 정주인구의 환경영향을 따로 평가하기 어렵다. 방문객 수와 관광수입을 이용하는 기존 방식도 관광객의 체류기간과 소비 특성을 충분히 반영하지 못한다. 이에 본 연구는 제주도를 대상으로 관광인구와 정주인구의 환경영향을 구분하는 방법을 제안하였다.

에머지 분석은 자원과 에너지 등 모든 투입물을 태양에너지 단위로 환산하는 방법이다. 본 연구에서는 에머지 분석을 바탕으로 차분법, 국가평균 잔여법, 관광수입 화폐환산법을 비교하였다. 국가평균 잔여법은 대한민국의 1인당 평균 에머지를 제주도 정주인구에 적용한 후 이를 지역 총에머지에서 차감하는 방법이다. 관광수입 화폐환산법은 관광수입에 에머지-화폐 비율을 적용하는 방법이다.

차분 모형에는 2015~2024년 제주도의 정주인구 수, 관광인구 수, 관광인구의 평균 체류일수와 총에머지 자료를 사용하였다. 관광인구 수는 체류일수를 반영하여 연간 상주인구 상당치로 환산하였다. 차분 모형은 총에머지의 연도별 변화량을 정주인구와 환산 관광인구의 변화량으로 설명한다. 분석 결과, 환산 관광인구의 변화와 총에머지의 변화 사이에는 양의 관계가 나타났다. 그러나 분석 구간에 따라 정주인구와 관광인구의 추정계수가 달라지므로, 분석기간 설정과 외부 충격이 추정 결과에 미치는 영향을 살펴볼 필요가 있다. 차분법은 국가평균이나 관광수입에 의존하지 않고 제주도에서 나타난 연도별 변화를 이용한다. 따라서 지역자료를 바탕으로 두 인구집단의 자원수요를 구분할 수 있다는 점에서 의미가 있다.

다만, 추정계수는 관광객과 주민의 실제 1인당 자원소비량이나 인과적 영향을 직접 나타내지 않는다는 한계가 있다. 또한 지역 정책의 변화나, 코로나19와 같은 외부 충격은 추정 결과에 영향을 줄 수 있다. 향후 연구에서는 연도별 에머지 원자료를 검증하고 외부 충격에 따른 구조변화를 추가로 분석할 필요가 있다. 다른 관광지역에 모형을 적용하여 결과의 재현성도 검토해야 한다. 이러한 검증을 거치면 차분 모형은 관광인구를 고려한 환경기초시설 계획과 관광부문의 환경관리 비용 분담 기준을 마련하는 데 활용할 수 있다.

핵심용어: 관광, 환경영향 평가, 차분모형, 에머지 분석, 환산 관광인구, 환경관리 정책, 환경부담 배분, 관광 거버넌스

* 준회원・서울대학교 국제농업기술대학원 석사 과정・E-mail : miso.kim@snu.ac.kr
** 준회원・서울대학교 국제농업기술대학원 박사 과정・E-mail : Maishhawari26@snu.ac.kr
*** 정회원・글로벌 스마트팜 혁신인재양성 교육연구단・E-mail : tinguyo@snu.ac.kr
**** 정회원・서울대학교 국제농업기술대학원 교수・E-mail : kyosuh@snu.ac.kr

삶터 · 일터 · 쉼터 기능에 기반한 시 · 군 단위 농촌공간 취약성 평가체계 구축

Establishment of a Municipal-level Rural Vulnerability Assessment Framework Based on Living, Working, and Resting Functions

최영완*, 강동현**, 김영주***
Youngwan Choi, Donghyeon Kang, Yongjoo Kim

요 지

최근 우리나라 농촌은 인구감소와 고령화, 농업소득 정체, 재난 및 기후변화 등 복합적인 문제에 직면하고 있어 시·군 단위에서 농촌의 취약성을 종합적으로 진단할 수 있는 객관적인 평가체계 마련이 요구된다. 본 연구는「농촌공간 재구조화 및 재생지원에 관한 법률」시행 등 정책 변화에 대응하여, 농촌공간을 삶터·일터·쉼터의 기능으로 재구성하고 공공데이터를 활용해 시·군 단위 농촌공간 취약성 진단 평가체계를 구축하는 것을 목적으로 한다. 이를 위해 농업과 농촌, 도시 분야의 선행연구와 정책지표를 검토하여 평가목표체계(안)를 도출하였다. 이후 전문가 패널 자문 및 연구진 재검토 과정을 통해 지표의 타당성과 데이터 구득성, 현장 적용성 등을 검증하여 체계를 최종 확정하였다. 그 결과, 삶터·일터·쉼터 기능에 부합하는 '살기 좋은 농촌', '활력 있는 농촌', '안전한 농촌'의 3개 대분류를 중심으로 8개 중분류(인구, 주거·정주, 보건·복지·문화, 농업, 경제, 일자리, 환경·안전, 기후변화)와 34개 세부 지표로 구성된 평가체계를 구축하였다. 본 연구에서 제시된 평가체계는 지역 간 농촌 취약성을 객관적으로 비교·진단하고, 향후 농촌공간 특성을 반영한 맞춤형 공간계획 및 재생 정책 수립을 위한 기초자료로 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

핵심용어: 농촌 취약성, 농촌공간계획, 평가목표체계, 농촌공간

* 정회원・경상국립대학교 농업생명과학연구원 선임연구원・E-mail : ruralplan@gnu.ac.kr
** 준회원・경상국립대학교 대학원 농공학과 석사2・E-mail : rivereast99@gnu.ac.kr
*** 정회원・경상국립대학교 지역시스템공학과(농업생명과학연구원) 교수・E-mail : yjkim7171@gnu.ac.kr

물안전

F-P-1

THE KOREAN SOCIETY OF AGRICULTURAL ENGINEER

국내 AI 기반 홍수 예·경보 시스템의 기관별 기술 적용 현황 비교 및 발전 방향 연구

A Comparative Study on AI-Based Flood Early Warning Systems in South Korea: Technical Implementation by Institution and Future Directions

임희성*, 표승렬**, 김대우***, 전수칠****
Heesung Lim, Seungryeol Pyo, Daewoo Kim, Suchil Jeon

요 지

최근 기후변화로 인한 국지성 집중호우 및 극한강우의 빈발로 인해, 전통적인 물리 수문모형 중심의 홍수 분석(평균 30분 이상 소요) 및 본류 중심의 관측 체계는 초단기 대응과 지류·지천, 도시 침수 예측에서 분명한 한계를 드러내고 있다. 이에 대응하여 국내 주요 국가 기관 및 연구기관들은 인공지능(AI)과 디지털트윈(DT) 기술을 결합하여 분석 소요 시간을 10분 이내로 대폭 단축하고, 예보 영역을 전국 소하천 및 도시 지역까지 확대하는 고도화 사업을 추진 중이다.

본 연구는 기후에너지환경부, 한국수자원공사(K-water), 과학기술정보통신부, 한국건설기술연구원, 국립재난안전연구원 등 5개 주도 기관의 AI 홍수 예·경보 시스템 추진 현황, 데이터 연계 체계 및 핵심 알고리즘 적용 특성을 정성·정량적으로 비교·분석하였다.

분석 결과, 국내 AI 홍수 예·경보 기술 생태계는 기관별 전공 및 역할에 따라 체계적으로 세분화되어 운영되고 있음이 확인되었다. 법정 특보 발령 주체인 기후에너지환경부는 전국 단위의 AI 수위 예측 알고리즘을 구축하여 홍수특보 지점을 223개소 이상으로 획기적으로 확대하고 초단기 예보 체계를 구현하고 있다. 댐 및 유역 관리 전문 기관인 K-water는 3D 고정밀 디지털트윈 공간 정보에 AI 기반 시뮬레이션을 융합하여 댐 방류에 따른 하류 영향평가 및 최적 방류 의사결정 지원 체계를 가동 중이다. 과기정통부는 민간 모빌리티(Tmap, 카카오내비 등) API와 실시간으로 연계하여 도로·지하차도 침수 정보를 운전자에게 즉시 알리는 한편, 초고층·지하 복합재난 대응 플랫폼 기술 개발을 지원하고 있다. 연구기관 측면에서 한국건설기술연구원은 LSTM, ConvLSTM, U-Net 기반의 실시간 강우·수위 예측 알고리즘과 물리 모형의 수문학적 매개변수를 AI와 결합한 'AI-물리 하이브리드 모형'을 원천 개발하여 현장에 실증·적용하고 있다. 국립재난안전연구원은 소하천 및 도심 재해위험지구를 대상으로 CCTV 영상 기반 AI 수위 감시 및 재해영향평가 지원 시스템 등 현장 밀착형 재난 대응 기술을 주도하고 있었다. 앞으로는 미계측 지역이 많은 소하천이나 복잡한 도심지 하수관로, 지류·지천의 수위·강우 데이터, 고해상도 레이더 및 위성 관측 자료, 그리고 하수도·지하차도 등 지자체별로 파편화된 재난 데이터를 실시간으로 수집·통합하는 데이터 인프라 구축의 필요함이 판단된다.

핵심용어: 디지털트윈, 시계열 딥러닝, Physics-informed AI

* 정회원・한국농어촌공사 농어촌연구원 연구관리실 선임연구원・hslim1@ekr.or.kr
** 정회원・한국농어촌공사 농어촌연구원 연구관리실 차장・psr1970@ekr.or.kr
*** 정회원・한국농어촌공사 농어촌연구원 연구관리실 차장・rigorously@ekr.or.kr
**** 정회원・한국농어촌공사 농어촌연구원 연구관리실 부장・chli7@ekr.or.kr

바이오가스 연계형 스마트축산단지의 개념 설계 및 경제성 평가 프레임워크 구축

Conceptual Design and Development of an Economic Evaluation Framework for a Biogas-Integrated Smart Livestock Complex

최지연*, 서일환**
Ji-Yon Choi, Il-Hwan Seo

요 지

국내 축산업은 축산분뇨·악취로 인한 환경부하, 노동력 부족과 고령화, 노후 축사, 탄소중립 대응 요구 등 복합적 과제에 직면해 있어, 단지 단위에서 축사·분뇨처리·에너지·데이터·운영체계를 통합 설계하는 스마트축산단지 개념 정립이 요구된다. 본 연구는 바이오가스화 시설과 연계한 스마트축산단지의 개념 설계 방향을 제시하고, 사업성 검토를 위한 경제성 평가 프레임워크를 구축하는 것을 목적으로 하였다. 핵심 구성요소는 국내외 문헌·현장사례를 대상지의 제도적·환경적·운영적 조건과 대조하여 도출하였으며, 환경·시설관리, 자원·에너지 순환, 데이터 플랫폼, 거버넌스의 4개 영역으로 구분하고 기획·기본설계·실시설계·운영의 사업 추진 4단계와 연계한 개념 설계 매트릭스로 체계화하였다. 경제성 평가 프레임워크는 원료·시설조건 입력, CAPEX(초기 투자비)·OPEX(운영비) 체계화, 수익원 정의, 재무지표 산정의 4개 모듈로 구성하였다. 평가 지표는 할인율을 반영한 NPV(순현재가치)·IRR(내부수익률)·할인회수기간·B/C비율(재무적 편익비용비율)로 설정하였다. 바이오가스 수율, 판매단가, 투자비, 할인율, 보조금 비율, 가동률에 대한 민감도 분석이 가능하도록 하였으며, 본 프레임워크는 재무적 타당성 평가에 한정하고 비재무적 편익의 정량화는 후속 과제로 남긴다. 구축된 프레임워크를 사육규모 28,000두, 분뇨발생량 약 132t/일 규모의 대상지에 시범 적용하여 입력부터 재무지표 산정에 이르는 전 과정의 실행 가능성을 확인하였으며, 설계 초기 단계에서 대안별 경제성을 비교·검토할 수 있음을 예비적으로 보였다. 본 연구는 스마트축산단지를 기술·환경·에너지·정책이 결합된 단지 단위 통합 시스템으로 접근하여 의사결정 지원 플랫폼의 기초를 제시하였다는 점에서 의의가 있다. 다만 실증 자료를 통한 검증은 향후 과제이며, 실증 데이터 기반 보정과 시나리오 고도화를 통해 지자체·사업자 활용성이 높은 플랫폼으로 확장될 것으로 기대된다.

핵심용어: 축산분뇨, 바이오가스화, 단지 통합설계, 통합 플랫폼, 경제성 평가

* 학생회원・전북대학교 농축산식품융합학과 박사과정・E-mail : chocochip65@naver.com
** 정회원・전북대학교 지역건설공학과 부교수・E-mail : ihseo@jbnu.ac.kr

유공관의 막힘 구간 탐지를 위한 시계열 단위 열화상 관측과 BIM 기반 모니터링 시스템

Detection of Blocked Sections in Perforated Pipes Using Time-Series Thermal Imaging and BIM-Based Monitoring

이준서*, 조준휘**, 스타인 데릭 가브리엘***, 연재흠****
Junseo Lee, Junhwi Cho, Derick Gabriel Stein, Jaeheum Yeon

요 지

매립 유공관은 지중에 설치되기 때문에 배수성 저하가 발생한 위치를 지표에서 직접 확인하기 어렵다. 본 연구는 관 내부에 주변 토양보다 온도가 높은 물을 주입하고, 표토층에서 나타나는 온도 변화를 열화상 영상으로 관측하여 유동 제한 구간의 열반응 특성을 파악하고자 하였다. 또한 정상 구간과 막힘 구간에서 나타나는 시계열 단위 온도 변화를 바탕으로 유공관 막힘 의심 구간 선별 가능성을 검토하였다. 열화상으로 획득한 시계열 온도 정보는 위치정보가 부여된 Building Information Modeling(BIM) 세그먼트에 자동으로 연동하였다. 이를 통하여 구간별 온도 변화와 막힘 구간의 판정 결과를 연속적으로 확인할 수 있는 배수성 모니터링 구조를 구축하였다. 실내 실험에서는 유공관의 정상 구간과 막힘 구간을 모사한 이후, 관 내부에 온수를 주입하면서 열화상 카메라를 이용해 표토층의 온도 변화를 연속적으로 획득하였다. 시점별 표면온도 정보는 BIM 세그먼트에 자동으로 매핑하였으며, 이를 통해 구간별 온도 변화의 패턴과 열반응의 연속성을 비교할 수 있도록 구성하였다. 또한 설정된 판정 임계값에 따라 막힘 의심 구간을 산정하고, 해당 결과를 직관적인 시각 정보로 표출하도록 하였다. 실내 시험 결과, 정상 구간에서는 온수의 이동에 따라 열반응이 연속적으로 나타났다. 반면 막힘 구간에서는 열반응이 약화되어 막힘 구간 전후 온도 변화 양상이 뚜렷하게 구분되었다. 이러한 시계열 열반응의 차이는 BIM 세그먼트별 상태 정보에 순차적으로 반영되었으며, 판정 임계값에 따라 배수성 저하 의심 구간이 갱신되는 모니터링 과정을 확인하였다. 본 연구에서 제안한 방법은 반복적으로 계측된 온도 변화를 유공관의 위치정보와 연계함으로써 유공관의 막힘 의심 구간을 선별하고, 점검 대상 구간을 지속적으로 관리하기 위한 BIM 기반 모니터링 체계로 활용될 수 있을 것으로 판단된다.

핵심용어: 농업용 유공관, 막힘 구간 선별, 열화상, BIM 모니터링

본 성과물(논문, 산업재산권, 품종보호권 등)은 농촌진흥청 연구사업(과제번호 : RS-2025 02215069)의 지원에 의해 이루어진 것임.

* 준회원・강원대학교 대학원 지오에코시스템융합학과 석사과정・E-mail : ejun0208@kangwon.ac.kr
** 정회원・강원대학교 대학원 지오에코시스템융합학과 박사과정・E-mail : xnxlwnsgnl@kangwon.ac.kr
*** 준회원・강원대학교 대학원 지오에코시스템융합학과 석사과정・E-mail : gabriel.stein@kangwon.ac.kr
**** 종신회원・강원대학교 지역건설공학과 교수・E-mail : jyeon@kangwon.ac.kr

HEC-RAS를 이용한 관산저수지 댐 붕괴에 따른 침수피해 및 대피경로 분석

Analysis of Flood Damage and Evacuation Routes Due to Dam Failure of Gwansan Reservoir Using HEC-RAS

김민준*, 신서하**, 정준명***, 강석훈****, 송정헌*****
Minjun Kim, Seoha Shin, Junmyeong Jung, Seokhun Kang, Jung-Hun Song

요 지

농업용 저수지는 집중호우 및 기후변화에 따른 극한강우 발생 시 월류 및 제체 붕괴 등의 위험이 증가할 수 있으며, 댐 붕괴가 발생할 경우 대량의 저수량이 하류로 유출되어 침수 및 인명피해를 유발할 수 있다. 따라서 기후변화에 따른 홍수위험의 변화를 고려하여 저수지 붕괴 시 하류지역의 침수특성을 예측하고, 이를 기반으로 피해 규모와 안전한 대피경로를 사전에 분석할 필요가 있다. 본 연구에서는 유역면적 2.52 km^2인 관산저수지를 대상으로 CMIP6(Coupled Model Intercomparison Project Phase 6) 기반 SSP5-8.5 (Shared Socioeconomic Pathways 5-8.5) 기후변화 시나리오를 적용하여 댐 붕괴에 따른 하류지역의 침수특성을 분석하고, 침수모의 결과를 활용하여 침수피해액 및 대피경로를 산정하고자 한다. 이를 위해 드론 촬영을 통해 50 cm 해상도의 DEM(Digital Elevation Model)을 구축하고 ArcMap과 유역 기초자료를 활용하여 대상지역의 지형 및 유역 특성을 분석한다. 기후변화에 따른 극한홍수 영향을 고려하기 위해 SSP5-8.5 기후변화 시나리오를 적용하고, K-HAS를 이용하여 200년 빈도강우 및 PMP(Probable Maximum Precipitation)에 따른 홍수량을 산정하여 비교·분석한다. 산정된 홍수량을 바탕으로 DAMBRK(Dam-Break Flood Forecasting Model)을 이용하여 제체 붕괴조건별 붕괴유출량을 산정한다. 또한 저수지 하류지역을 소유역으로 구분하여 각 소유역의 홍수량을 산정하고, 이를 측방유입량으로 고려하여 HEC-RAS(Hydrologic Engineering Center's River Analysis System)에 적용함으로써 하류지역의 침수범위 및 침수심을 모의한다. 침수모의 결과와 팜맵, 토지피복도 및 지상 자산정보를 ArcMap과 Excel을 이용하여 종합·분석함으로써 침수피해액을 산정하며, 침수모의 결과와 DEM 및 토지피복자료를 활용하여 침수상황을 고려한 대피경로를 산정한다. 본 연구를 통해 SSP5-8.5 기후변화 시나리오에서의 극한홍수와 댐 붕괴에 따른 하류지역의 침수 및 경제적 피해를 종합적으로 평가하고, 안전한 대피경로를 제시함으로써 농업용 저수지 하류지역의 재해 대응 및 대피계획 수립을 위한 기초자료를 제공하고자 한다.

핵심용어: 농업용 저수지, SSP5-8.5, 댐 붕괴, HEC-RAS, 침수피해, 대피경로

본 결과물은 농림축산식품부의 재원으로 농림식품기술기획평가원의 기후변화대응지능형농업기반관리기술개발사업의 지원을 받아 연구되었음(RS-2025-02215604)

* 학생회원・충남대학교 지역환경토목학과 학부연구원・E-mail : alswns0704@o.cnu.ac.kr
** 학생회원・충남대학교 지역환경토목학과 학부연구원・E-mail : ssh051228@naver.com
*** 학생회원・충남대학교 지역환경토목학과 학부연구원・E-mail : wjdwnsaud27@naver.com
**** 학생회원・충남대학교 지역환경토목학과 연구원・E-mail : 13ewq@o.cnu.ac.kr
***** 정회원・충남대학교 지역환경토목학과 교수・E-mail : j.song@cnu.ac.kr

기후변화 시나리오를 활용한 농지배수 설계기준 해설편 적용성 분석

A Study on the Applicability Analysis of the Interpretation Section of Farmland Drainage Design Standard Criteria Using Climate Change Scenarios

김소연*, 주동혁**, 나라***, 김하영****, 이재남*****, 유승환******
Soyeon Kim, Donghyuk Joo, Ra Na, Hayoung Kim, Jaenam Lee, Seunghwan Yoo

요 지

세계경제포럼의「Global Risks 2026」보고서에 따르면, 환경 영역 특히‘극단적인 기상’, ‘지구 시스템의 치명적 변화’, ‘생물 다양성 손실 및 생태계 붕괴’가 장단기적으로 가장 심각한 글로벌 위험으로 평가되었다. 기후 및 자연과 관련된 글로벌 위험은 지속적으로 이슈화되고 있음에도, 이에 대한 대응과 준비는 여전히 미흡하고 비효율적인 것으로 인식된다. 우리나라 또한 기후변화로 인한 강우강도와 시·공간적 변동성이 증가함에 따라 농업생산기반시설의 안전성과 기능을 확보하기 위해 설계기준 해설편의 재평가와 재해대응능력 강화가 시급한 실정이다. 이에 본 연구에서는 기후변화에 따른 강우자료의 변환기법을 검토하고 배수개선 대상지구에 적용하여 농업생산기반시설 설계기준 해설편의 개정방향을 제시하고자 한다. 먼저 일 단위로 제공된 기후변화 시나리오 자료에 환산계수 및 시간상세화기법을 적용하여 시간 단위 및 농지배수설계에 활용 가능한 설계강우자료를 구축하였다. 그리고 대상지구별 상세 사업계획, 설계강우량 및 지역적 분포 특성 등을 검토하고, 침수분석 네트워크 자료를 종합적으로 분석하여 대상지구를 선정하였다. 수리수문설계 프로그램을 활용하여 시나리오별, 빈도별 및 지속시간별 확률강우량에 따른 홍수량을 산정하고 침수분석하여 대상지구의 배수체계 및 침수특성을 분석하였다. 본 연구는 농업생산기반시설 설계기준 해설편의 농지배수편 개정을 위해 기후변화시나리오를 고려한 적용대상과 적용방안을 도출하였다. 본 연구의 결과는 농업생산기반시설 설계기준 해설편의 재평가 및 개선에 활용될 수 있으며, 농업생산기반시설의 안정성과 기능을 확보하고 기후재해에 대한 대응능력을 강화하는 데 기여할 수 있을 것으로 기대된다.

핵심용어: 기후변화, 농업생산기반시설, 농지배수, 설계기준 해설편

이 연구는 한국농어촌공사의 지원을 받아 수행되었음(연구 과제명: 기후변화 정보의 농지배수설계 활용방안 연구 용역)

* 준회원・전남대학교 대학원 지역·바이오시스템공학과 석사・E-mail : yeons5@jnu.ac.kr
** 정회원・전남대학교 농업과학기술연구소・E-mail : wnehdgur3gh@jnu.ac.kr
*** 정회원・전남대학교 농업과학기술연구소・E-mail : nara4180@jnu.ac.kr
**** 정회원・전남대학교 대학원 지역·바이오시스템공학과 박사 & BK21 기후지능형 간척지농업 교육연구팀・E-mail : hy153706@naver.com
***** 정회원・한국농어촌공사 농어촌연구원 물안전환경연구실 책임연구원・E-mail : jnlee@ekr.or.kr
****** 정회원・전남대학교 지역·바이오시스템공학과 정교수・BK21 기후지능형 간척지농업 교육연구팀・E-mail : yoosh15@jnu.ac.kr

예측 유입량을 고려한 홍수기 댐 방류 의사결정 모형(K-Oper)의 개발 및 적용성 평가

Development and Applicability Assessment of K-OPER: A Decision-Support Model for Flood-Season Dam Release Operations Using Forecast Inflows

추성민*, 김연수**, 안현욱***, 허영택****, 유완식*****, 변지선******
Seongmin Chu, Yeonsu Kim, Hyunuk An, Youngteck Hur, Wansik Yu, Jisun Byun

요 지

기후변화로 인해 집중호우의 발생과 예측 강우 및 댐 유입량의 불확실성이 증가하면서, 홍수기 댐 운영에서 저수지의 안전성을 확보하는 동시에 하류 홍수피해를 최소화하고 수자원을 효율적으로 관리하기 위한 방류 의사결정의 중요성이 커지고 있다. 특히 홍수기 댐 운영은 계획홍수위 초과 방지뿐만 아니라 홍수 사상 종료 후 목표수위 회복까지 동시에 고려해야 하는 복합적인 의사결정 문제이다. 이에 본 연구에서는 예측 유입량을 기반으로 제한수위, 계획홍수위 및 종료 시점의 목표수위를 단계적으로 고려하여 방류량을 결정하는 홍수기 댐 운영 모형(K-Oper)을 개발하였다. K-Oper는 Modified Puls 저수지 추적법을 기반으로 후보 방류계획에 따른 저수위 변화를 계산하고, 계획홍수위 초과를 방지하기 위한 최대 방류량을 산정하도록 구성하였다. 또한 실제 댐 운영여건을 반영하기 위해 사용자가 지정한 방류 유지시간과 방류량 증감률에 따른 단계적 방류가 가능하도록 하였으며, 홍수 종료 시 목표수위에 도달할 수 있는 방류 시나리오를 탐색하도록 구성하였다. 나아가 예측 유입량의 불확실성을 고려하여 유입량 오차 범위에 따른 방류량의 상·하한 범위를 산정할 수 있도록 하였다. 개발된 모형의 적용성을 평가하기 위해 남강댐의 2020년 및 2025년 홍수사상과 섬진강 수계의 2020년 홍수사상에 적용하였으며, Auto-ROM, Rigid-ROM 및 Technical ROM의 모의 결과와 비교·분석하였다. 그 결과 K-Oper는 홍수기 저수위를 제한수위와 계획홍수위 범위 내에서 안정적으로 제어하면서 홍수 종료 시 목표수위를 고려한 방류계획을 제시할 수 있는 것으로 나타났다. 향후 예측 유입량의 불확실성에 따른 분석을 확대하여 실제 댐 운영자의 방류계획 수립을 지원할 수 있는 의사결정 지원체계로 발전시키고자 한다.

핵심용어: K-Oper, 홍수기 댐 방류량 결정, Modified Puls 저수지 추적

* 준회원・충남대학교 지역환경토목학과 학부연구생・E-mail : cntjdalsabc@o.cnu.ac.kr
** 정회원・교신저자・K-water연구원 책임연구원, 공학박사・E-mail : yeonsu0517@kwater.or.kr
*** 충남대학교 지역환경토목학과 교수, 공학박사・E-mail : hyunuk@cnu.ac.kr
**** K-water연구원 수석연구원, 공학박사・E-mail : korcivil@kwater.or.kr
***** K-water연구원 책임연구원, 공학박사・E-mail : yuwansik@kwater.or.kr
****** K-water연구원 선임연구원, 공학박사・E-mail : jsbyun@kwater.or.kr

상류 미시시피강 범람원의 육역화 진단을 위한 복합 육역화지수 개발

Quantifying multi-decadal terrestrialization dynamics in the Upper Mississippi River System: A new multi-indicator composite index with ensemble forecasting

신재훈*
Jae hun Shin

요 지

하천 범람원의 육역화(Terrestrialization) 는 개방 수면 및 습지가 식생 정착과 퇴적물 축적 과정을 거쳐 점진적으로 육상 생태계로 전환되는 과정으로, 수생 서식지 감소와 생태계 구조 변화를 유발하는 중요한 생태·지형학적 현상이다. 최근 기후변화와 유량 조절, 토지이용 변화 등의 영향으로 범람원의 육역화가 가속화되고 있으나, 육역화의 정도를 정량적으로 평가할 수 있는 통합적인 진단 지표는 부족한 실정이다. 이에 본 연구에서는 수문 및 식생 특성을 통합적으로 반영한 복합 육역화지수(Terrestrialization Index, TI) 를 개발하고, 이를 활용하여 상류 미시시피강 범람원의 육역화 상태를 진단하였다.

연구 대상지는 미국 상류 미시시피강 시스템(Upper Mississippi River System, UMRS)의 Pool 4, 8, 13 및 26 구간으로 선정하였다. 1990년부터 2024년까지의 장기 모니터링 자료를 활용하여 침수일수와 육상식생 비율을 산정하였으며, 이를 정규화하여 복합 육역화지수를 구축하였다. 또한 지수의 활용성을 평가하기 위해 선형회귀모형과 ARIMA 모형을 결합한 앙상블 예측기법을 적용하여 미래 침수 특성의 변화를 분석하였다.

분석 결과, 모든 대상 구간에서 육상식생 비율이 지속적으로 증가하는 경향을 나타냈으며, 특히 Pool 26에서 가장 높은 증가율이 확인되었다. 반면 침수빈도는 감소하지 않고 전반적으로 유지되거나 소폭 증가하는 경향을 보였다. 복합 육역화지수 분석 결과, 모든 구간에서 중간 이상의 육역화 수준이 나타났으며, 일부 구간에서는 침수 증가에도 불구하고 육상식생 확대가 지속되는 것으로 확인되었다. 이는 식생 정착과 퇴적물 축적에 의한 생지형학적 피드백이 형성될 경우 수문 조건 변화만으로는 육역화 진행을 억제하기 어려움을 시사한다.

본 연구에서 제안한 복합 육역화지수는 범람원 생태계의 장기 변화를 정량적으로 진단할 수 있는 실용적인 평가 도구로 활용될 수 있으며, 향후 범람원 복원사업의 우선순위 설정과 적응형 관리 전략 수립을 지원하는 기초자료로 활용될 것으로 기대된다.

핵심용어: 육역화, 범람원, 상류 미시시피강, 복합 육역화지수, 식생천이, 장기 모니터링, 하천복원

* 준회원・충북대학교 지역건설공학과 박사후 연구원・E-mail : jhshin1@cbnu.ac.kr

동역학적 해석법을 이용한 농업용 저수지 월류위험 예측

Prediction of Agricultural Reservoirs Overtopping Risk using Dynamic Analysis Methods

유찬*, 권영미**, 전서원***, 정수호****
Yu, Chan, Youngmi Kwon, Seowon Jeon, Suho Jeong

Abstract

Recent climate change has increased rainfall variability, severely impacting the safety of fill-dams. In particular, the risk of disasters involving reservoir embankment over-topping is rising; however, given the domestic reality where over 17,000 agricultural reservoirs are scattered, establishing rapid countermeasures remains challenging. Rainfall intensity at the time of occurrence and the resulting sudden rise in water levels are critical factors influencing over-topping, yet there has been little interest in these aspects until now. Since the inflow, outflow, and water level of a reservoir change rapidly over a short period at the time of an over-topping, existing analytical methods are difficult to use for prediction. Therefore, this presentation summarizes the results of an analysis conducted by collecting and analyzing existing overflow data and utilizing dynamic analysis methods.

Key words: Fill–dam, CGS method, Overtopping risk, Dynamic analysis, chaos

요 지

최근 기후변화는 강우량의 변동성을 증가시켜 흙댐(Fill-dam)의 안전성에 심각한 영향을 주고 있다. 특히 저수지 제당을 월류하는 재해발생 위험성이 높아지고 있는데, 17,000여개의 농업용 저수지가 산재해 있는 국내 현실에서 빠른 대책수립도 용이하지는 않은 실정이다. 월류발생은 발생 당시의 강우강도와 그로 인한 갑작스러운 저수위 상승이 중요한 인자인데, 지금까지는 이러한 내용에 대한 관심이 높지 않았다. 월류발생 당시의 저수지의 유입량과 방류량 그리고 저수위의 변화는 짧은 시간에 급격한 변화를 보이기 때문에 기존의 해석법으로는 예측이 어려운 문제가 있다. 따라서 본 발표에서는 이와 관련되어 기존 월류발생 자료들을 수집/분석하여 동역학적 해석법들을 활용하여 분석하여 그 결과를 정리하였다.

핵심용어: 흙댐, CSG공법, 월류위험, 동적해석, 카오스

본 연구는 '2025년도 농림식품기술기획평가원, 기후변화대응지능형농업기반관리기술개발사업, (과제번호:RS-2025-02219948)농업기반시설의 멀티모달(multi-modal) 기반 안전관리 및 CSG(Cemented Sand and Gravel)에 의한 저수지 축조 기술 개발'과 '한국농어촌공사 재해대응을 위한 건설기준 개정 연구-용배수로, 농로 등'의 연구비 지원으로 수행되었습니다.

* 정회원・경상국립대학교 지역시스템공학과 교수・E-mail : chanyu@gnu.ac.kr
** 정회원・경상국립대학교 지역시스템공학과 학부・E-mail : ymkwon@gnu.ac.kr
*** 정회원・경상국립대학교 지역시스템공학과 학부・E-mail : jeonsw@gnu.ac.kr
**** 정회원・경상국립대학교 지역시스템공학과 학부・E-mail : a47663163@gmail.com

AI/RS/BigData

A-P-3

THE KOREAN SOCIETY OF AGRICULTURAL ENGINEER

키르기스스탄 낙농 메탄 배출량의 현장 측정 및 AI 기반 추정·관리체계 구축

Development of a Field Measurement and AI-Based Estimation Framework for Methane Emissions from Cattle in Kyrgyzstan

박진선*, Rajagukguk Rial Arifin**, 이세연***, 이채린****, 박지연*****, 서정흠******, 김명선*******, 홍세운********†

Jinseon Park, Rial Arifin Rajagukguk, Se-yeon Lee, Chae-rin Lee, Ji-yeon Park, Jeong Heum Seo, Myeongseon Kim, Se-woon Hong

요 지

기후변화 대응과 국가 온실가스 인벤토리의 신뢰도 향상을 위해서는 국가별 축산환경과 사양체계를 반영한 반추가축 장내발효 메탄 배출량 산정기술이 필요하다. 특히 키르기스스탄은 시설사육과 방목이 병행되고 있으나, 현지 사양환경에서 확보된 실측자료가 부족하여 국가 고유의 메탄 배출계수 산정과 저감전략 수립에 한계가 있다. 본 연구는 키르기스스탄 축우를 대상으로 시설 및 방목 환경에서의 메탄 배출량을 측정하고, 환경·생체·사양·행동정보를 연계한 인공지능 기반 메탄 배출량 추정모델과 관리체계를 구축하는 것을 목적으로 한다. 시설사육 환경에서는 급이행동 기반 자동 측정시스템을 활용하여 개체별 메탄 배출량을 수집하고, 사료섭취량, 사료성분, 체중, 산유량, 활동량 및 축사 내외부 환경정보를 통합할 계획이다. 방목환경에서는 에디공분산법(Eddy Covariance)을 이용하여 군집단위 메탄 플럭스를 측정하고, 기상자료, 가축 위치 및 행동자료와 플럭스 footprint 분석을 연계하여 메탄 배출원의 공간적 분포와 시간적 변동을 규명하고자 한다. 수집된 데이터는 품질관리와 표준화 과정을 거쳐 기계학습 및 시계열 기반 모델의 학습과 검증에 활용하며, 개체·군집 단위 메탄 배출량과 사료섭취량당 배출강도를 추정할 수 있는 모델을 개발할 예정이다. 또한 측정자료와 추정결과를 통합 관리하는 데이터 플랫폼을 구축하여 메탄 배출량의 측정·보고·검증이 가능한 MRV 기반을 마련하고자 한다. 본 연구는 키르기스스탄 축우의 국가 고유 배출계수 개발을 위한 실측자료를 제공하고, 고배출 조건의 진단과 사료·행동·방목관리 기반 저감전략 수립에 활용될 수 있을 것으로 기대된다. 나아가 중앙아시아의 유사한 축산환경에 적용 가능한 현장형 메탄 모니터링 및 정밀관리 기술로 확장될 수 있을 것으로 판단된다.

핵심용어: 장내발효 메탄, 인공지능, 에디공분산법, 플럭스 footprint, MRV

본 결과물은 과학기술정보통신부 한국연구재단의 재원으로 지원(RS-2026-25600531)을 받아 수행된 연구임

* 정회원・전남대학교 농업생명과학대학 기후변화대응농생명연구소 연구교수・E-mail : icarus381@jnu.ac.kr
** 정회원・전남대학교 농업생명과학대학 기후변화대응농생명연구소 연구교수・E-mail : rialarifin@jnu.ac.kr
*** 정회원・전남대학교 대학원 지역·바이오시스템공학과 박사 후 연구원・E-mail : seyeonn@jnu.ac.kr
**** 정회원・전남대학교 대학원 지역·바이오시스템공학과 & BK21 기후지능형 간척지 농업 교육연구팀 박사・E-mail: chaerinl@jnu.ac.kr
***** 정회원・전남대학교 대학원 지역·바이오시스템공학과 & BK21 기후지능형 간척지 농업 교육연구팀 박사・E-mail: qkrwldus7749@jnu.ac.kr
****** 정회원・전남대학교 농업생명과학대학 지역·바이오시스템공학과 학부연구원・E-mail :tiger1819@jnu.ac.kr
******* 정회원・전남대학교 농업생명과학대학 지역·바이오시스템공학과 학부연구원・E-mail :kms2464@jnu.ac.kr
******** 정회원・전남대학교 농업생명과학대학 지역·바이오시스템공학과 & BK21 기후지능형 간척지 농업 교육연구팀 부교수・E-mail : hsewoon@jnu.ac.kr

유공관의 배수성 저하 원인을 탐지하기 위한 AI 기반 자동 결함 탐지 시스템

AI-Based Automated Defect Detection System for Identifying the Causes of Reduced Drainage Performance in Perforated Pipes

이준서*, 조준휘**, 스타인 데릭 가브리엘***, 연재흠****
Junseo Lee, Junhwi Cho, Derick Gabriel Stein, Jaeheum Yeon

요 지

기후변화에 따른 강우 변동성 증가로 농경지의 안정적인 토양수분 관리와 배수시설 유지관리의 중요성이 커지고 있다. 농업용 유공관은 농경지의 과잉 수분을 배출하는 대표적인 지중 배수시설이지만, 장기간 매설되어 운영되는 과정에서 토사 퇴적, 뿌리 침입 및 관체 눌림 등의 발생으로 배수 성능이 저하될 수 있다. 유공관 내부 상태는 매립 구조물의 특성상 직접 관측이 어려워 내시경 카메라와 같은 장비를 이용한 점검이 필요하지만, 기존 방식은 작업자가 긴 영상을 직접 판독해야 하므로 많은 시간과 노동력이 소요되며 작업자 경험에 따라 점검 결과가 달라질 수 있다. 이에 따라 본 연구는 내시경 영상으로부터 유공관 내부의 배수성 저하 원인을 자동으로 식별하기 위한 YOLO26n-seg 기반의 결함 탐지 프로그램을 구축하였다. 이를 위하여 하수관로 내부의 영상 데이터를 수집하고, 유공관의 배수 성능 저하와 관련된 결함을 토사 퇴적, 뿌리 침입 및 눌림의 세 가지 유형으로 재분류하였다. 총 35,063장의 영상과 32,821개의 결함 객체를 이용하여 학습, 검증 및 시험 데이터셋을 구축하였으며, 객체의 위치를 나타내는 바운딩 박스와 결함 영역을 나타내는 분할 마스크를 동시에 추정하도록 모델을 학습하였다. 탐지 결과, 토사 퇴적 클래스는 정밀도 0.867, 재현율 0.848, F1-score 0.857 및 mAP50 0.841로 가장 높은 탐지 성능을 나타냈다. 눌림 클래스는 정밀도 0.734, 재현율 0.571 및 mAP50 0.489를 나타냈으나, 뿌리 침입 클래스는 학습 데이터 부족과 클래스 불균형에 따라 상대적으로 낮은 성능을 기록하였다. 본 연구를 통하여 내시경 영상과 딥러닝 기반 영상 분할 기술을 통한 유공관 내부의 결함 유형과 발생 영역을 자동으로 탐지할 가능성을 확인하였으며, 향후 실제 농업용 유공관 데이터를 활용한 학습 데이터 확장을 통해 현장 점검 및 유지관리 효율성을 높일 수 있을 것으로 기대된다.

핵심용어: 농업용 유공관, 내시경 관측, YOLO, 배수성 저하 원인 탐지 프로그램

본 성과물(논문, 산업재산권, 품종보호권 등)은 농촌진흥청 연구사업(과제번호 : RS-2025 02215069)의 지원에 의해 이루어진 것임.

* 준회원・강원대학교 대학원 지오에코시스템융합학과 석사과정・E-mail : ejun0208@kangwon.ac.kr
** 정회원・강원대학교 대학원 지오에코시스템융합학과 박사과정・E-mail : xnxlwnsgnl@kangwon.ac.kr
*** 준회원・강원대학교 대학원 지오에코시스템융합학과 석사과정・E-mail : gabriel.stein@kangwon.ac.kr
**** 종신회원・강원대학교 지역건설공학과 교수・E-mail : jyeon@kangwon.ac.kr

기하 정보 기반 자동 라벨링을 활용한 간척지 콩 출현 탐지 모델 비교 분석

Comparison of Soybean Emergence Detection Models Using Field Geometry-Based Automatic Labeling in Reclaimed Tidal Land

안치용*, 강태안**, 이수환***, 이홍석****, 정회정*****, 이상호******, 송철민*******, 박진기********

Chi-yong An, Tae-an Kang, Su-Hwan Lee, Hongseok Lee, Hoejeong Jeong, Sangho Lee, Chulmin Song, Jinki Park

요 지

간척지는 염류 집적과 배수 불량으로 출현이 불균일하게 나타나므로, 파종 직후 출현 개체를 신속히 파악하여 보파 여부를 판단하는 것이 수량 확보에 중요하다. 최근 드론 영상과 딥러닝을 활용한 작물 모니터링 연구가 증가하고 있으나, 객체 탐지 모델 학습에 필요한 라벨링은 많은 시간과 인력이 소요되며, 포장 수와 촬영 시기가 늘어날수록 라벨의 일관성을 확보하기 어렵다. 이에 본 연구에서는 파종 간격이라는 기하 정보를 활용하여 라벨을 자동 생성하고 그 품질을 검증함으로써 학습 데이터 구축 효율을 높이고자 하였다.연구 대상지는 국립식량과학원 간척지농업연구센터 내 포장이며, 자율주행 트랙터로 파종한 콩 포장을 대상으로 2026년 6월 4주차 30장, 5주차 20장의 UAV 고해상도 RGB 영상을 취득하였다. 제안 기법은 작물이 파종기 규격에 따라 등간격으로 배치된다는 점을 활용하였으며, 영상을 열 방향으로 투영하면 재식렬마다 식생 분포의 피크가 나타나고, 피크가 가장 뚜렷해지는 각도로 영상을 회전한 뒤 등간격 격자를 적합시켜 재식렬을 검출하였다. 이 과정에서 잡초로 인한 불규칙한 부분은 제외되고, 식생 신호가 약해 누락된 열은 격자 위치로 복원된다. 이어 ExG로 식생을 추출하고, 인접 개체가 하나의 덩어리로 붙는 문제를 해결하기 위해 watershed 기법으로 개체를 분리한 뒤, 열 중심으로부터의 거리와 개체 면적을 기준으로 작물과 잡초를 구분하였다. 구축된 데이터셋을 이용하여 YOLO11n, YOLO11s를 동일한 자료 분할 조건에서 학습하였다. 탐지 성능은 구축한 검증 자료를 기준으로 검출 개체와 일대일 매칭하여 Precision, Recall 및 F1-score로 평가하고자 하였다. 아울러 모델별 탐지 결과를 동일 구역에서 시각적으로 대조하여 실제 포장 환경에서의 적용 가능성을 검토하였다. 본 연구는 기하 정보를 라벨 생성과 품질 검증에 활용하여 데이터 구축 효율을 향상시키고, 간척지 콩 출현 탐지의 활용 가능성을 제시하고자 하였다. 향후 다양한 생육 단계 및 포장 조건의 데이터를 확보하여 모델의 일반화 성능을 향상시키고, 작물 생육 모니터링 기술로의 확장 가능성을 검토할 계획이다.

핵심용어: UAV, Reclaimed tidal land, Soybean, Emergence detection, Automatic labeling, Object detection

본 연구는 농촌진흥청 연구사업(연구개발과제명 : 들녘단위 노지 콩 생력관리 체계화 적용기술 개발, 과제번호 : RS-2026-25517224) 및 2026년도 농촌진흥청 학·연협동연구과정 지원사업에 의해 이루어진 것임.

* 정회원・국립식량과학원 스마트생산기술과・E-mail : cyong187@korea.kr
** 비회원・국립식량과학원 스마트생산기술과・E-mail : dks502@korea.kr
*** 비회원・국립식량과학원 스마트생산기술과 농업연구관・E-mail : suhnlee@korea.kr
**** 비회원・국립식량과학원 스마트생산기술과 농업연구사・E-mail : ehg117@korea.kr
***** 비회원・국립식량과학원 스마트생산기술과 농업연구사・E-mail : hoejoeng@korea.kr
****** 비회원・국립식량과학원 스마트생산기술과 농업연구사・E-mail : dtg9353@korea.kr
******* 정회원・충북대학교 지역건설공학과 조교수・E-mail : song_c_m@chungbuk.ac.kr
******** 정회원・국립식량과학원 스마트생산기술과 농업연구사・E-mail : krfamily@korea.kr

TFT-GNN 모델을 활용한 농업용수 수질예측 사전학습 모델 개발

Development of a Pre-trained Model for Agricultural Water Quality Prediction Using TFT-GNN Integration

정인균*, 이종현**, 김민희***, 정광욱****
Inkyun Jung, Jonghyeon Lee, Minhee Kim, Kwangwook Jung

요 지

농업용수 수질은 유입, 저류, 공급, 사용, 배수로로 이어지는 전주기적 관점에서 취약지역을 진단하고, 맞춤형 수질관리 기술을 적용하여 수질 문제를 사전에 예방하며 관리 의사결정을 고도화할 필요가 있다. 그러나 현재의 수질 모니터링은 호소 내에 국한되어 있고 분기당 1~2회 수준의 간헐적 측정에 그치고 있으며, 자동측정망의 부족으로 인해 전주기적 수질관리를 위한 예측 체계 구축에 한계가 있다. 특히, 저수지로 유입되는 유량 및 수질, 농경지로 공급된 유량 및 배출 수질 등에 대한 모니터링 자료의 부재로 전주기 수질예측을 위한 구축 체계에 한계가 있다. 즉, 시계열 데이터의 부족이 가장 큰 제약 요인이다. 본 연구에서는 이러한 데이터 부족의 한계를 극복하기 위해 저수지를 포함한 유역 수질 모델을 구축하고, 여기서 산출된 데이터를 활용한 딥러닝 기반 수질예측 모델을 제안한다. 주요 지점의 시간적 변화를 반영하기 위해 Temporal Fusion Transformer(TFT)를, 상하류 간의 공간적 관계를 모델링하기 위해 Graph Neural Networks(GNN)를 결합하여 시공간 딥러닝 기반의 전주기 수질예측 사전학습 모델을 구축하고자 하였다. 본 연구는 데이터 중심의 농업용수 수질관리 체계를 구축하고, 수질문제에 선제적으로 대응할 수 있는 분석 기반을 제공한다는 점에서 중요한 의의를 가진다.

핵심용어: 농업용수 수질예측, TFT, GNN, 딥러닝

본 연구는 농림축산식품부의 재원으로 농림식품기술기획평가원의 기후변화대응지능형농업기반관리기술개발사업의 지원을 받아 수행되었음(RS-2026-25517258).

* 정회원・(주)물과환경 부사장・E-mail : nemoik@nate.com
** 비회원・(주)물과환경 대리・E-mail : leejh1825@nate.com
*** 비회원・(주)물과환경 대리・E-mail : minjhee0830@nate.com
**** 정회원・(주)물과환경 대표이사・E-mail : cck30@nate.com

ISO/TC347 표준화 체계 분석을 통한 데이터 기반 스마트농업 표준화 전략

Standardization Strategy for Data-Driven Smart Agriculture through Analysis of the ISO/TC347 Standardization Framework

기혁*, 김지형**, 이상혁***, 양우희****, 이현석*****
Hyuk Ki, Sanghyuk Lee, Jihyeong Kim, Yangwoo Hee, Hyunseok Lee

Abstract

This study analyzed the standardization framework and activities of ISO/TC 347, Data-driven agrifood systems, to identify international standardization trends and derive strategic directions for data-driven smart agriculture in Korea. ISO/TC 347 operates working groups and ad hoc groups covering agrisemantics, crop data models, controlled environment agriculture, pest management, AI data annotation, livestock, field information, smart irrigation, and ontology. The analysis indicates that international standardization is expanding from individual data formats toward semantic interoperability, common data models, and data exchange among agricultural systems. Based on these trends, domestic standardization should focus on agricultural data semantics, standardized data models, and interoperability among sensors, controllers, and platforms, while actively reflecting Korean smart agriculture technologies in international standards.

Key words: ISO/TC 347, Smart agriculture, Data, Interoperability, International standards

요 지

농업의 디지털 전환과 인공지능·자동화 기술의 확산에 따라 센서, 농기계, 환경제어시스템 및 데이터 플랫폼에서 다양한 농업데이터가 생성·활용되고 있다. 그러나 시스템별 데이터 구조와 용어, 의미체계가 상이하여 데이터 연계와 활용에 한계가 있으며, 데이터 기반 스마트농업 확산을 위해서는 상호운용성 확보를 위한 표준화가 요구된다.

본 연구에서는 ISO/TC 347(Data-driven agrifood systems)의 적용범위와 작업반(WG) 및 임시작업반(AHG)의 주요 활동을 분석하여 국제표준화 동향을 파악하였다. ISO/TC 347은 Agrisemantics, 작물 데이터 모델, 온실·제어환경농업, 통합병해충관리, AI 데이터 주석, 축산, 농작업·필지정보, 스마트관개 및 온톨로지 등 다양한 분야의 표준화를 추진하고 있다. 특히 WG 1은 농식품 데이터의 의미적 상호운용성을 중심으로, WG 2는 온실·제어환경 시스템의 일반 개념, 프레임워크 및 관련 데이터를 중심으로 국제표준을 개발하고 있다.

분석 결과, 스마트농업 표준화는 개별 장비나 데이터 형식에서 의미적 일관성, 공통 데이터 모델 및 시스템 간 상호운용성 확보 중심으로 확대되고 있다. 또한 우리나라의 WG 2 컨비너 및 간사 역할 수행을 통해 국내 스마트팜 기술과 산업 수요를 국제표준에 반영하고, 국제표준 개발과 국내 기술개발·표준화를 연계할 수 있는 기반이 마련되었다. 향후 농업데이터의 의미체계와 데이터 모델 표준화, 센서·제어기·플랫폼 간 상호운용성 확보 및 국내 기술의 국제표준 반영을 위한 지속적인 참여가 필요하다.

핵심용어: ISO/TC347, 스마트농업, 데이터, 상호운용성, 국제표준

* 교신저자: 이현석(lhs0327@koat.or.kr)

자연어 기반 농업용 온실의 3차원 구조모델 생성 및 구조해석 모듈 개발

Development of a Natural Language-Based Three-Dimensional Structural Model Generation and Structural Analysis Module for Agricultural Greenhouses

김서윤*, 곽찬우**, 류현***, 전다현****, 반채원*****, 한일우******, 이종혁*******, 나욱호********, Anis*********, 이상익**********†

Seoyun Kim, Chanwoo Kwak, Hyeon Ryu, Dahyun Jeon, Chaewon Van, Ilwoo Han, Jonghyuk Lee, Wookho Na, Anis RABIU, Sangik Lee

요 지

최근 기후변화로 강풍과 폭설이 증가하면서 농업용 온실의 구조적 피해 위험이 커지고 있다. 기존 온실 설계는 지역별 기후조건과 구조 특성을 반영하기 어렵고, 설계하중 산정과 구조해석에 전문지식이 필요하다는 한계가 있다. 본 연구에서는 사용자의 자연어 입력을 분석하여 설계조건을 추천하고, 농업용 온실의 모델 생성부터 하중 산정과 구조해석까지 수행하는 웹 기반 설계지원 모듈을 개발하였다. 자연어 처리 및 추천 에이전트는 입력 문장에서 지역, 온실 형식, 폭, 높이 등의 주요 설계변수를 추출하고, 설계기준 및 도메인 지식 기반 추천 알고리즘을 통해 입력값과 관련 설계조건을 연결하도록 구성하였다. 입력된 조건에 따라 절점, 부재, 지점조건 및 재료 물성이 반영된 3차원 온실 구조모델을 생성하고, 하중의 크기와 작용 방향을 구조모델에 시각적으로 표시하였다. 구조해석에는 전체 강성행렬을 구성하여 절점 변위와 부재력을 계산하는 강성행렬 기반 3차원 프레임 해석 모듈을 탑재하였다. 풍하중과 적설하중 산정 및 부재 안전성 검토에는 농촌진흥청 온실구조설계기준을 적용하였다. 개발된 모듈을 통해 사용자는 입력조건에 따른 설계하중, 하중 적용 위치 및 구조해석 결과를 직관적으로 확인할 수 있다. 본 연구는 농업용 온실의 구조설계 과정을 단순화하고 지역 맞춤형 구조안전성 평가를 지원하는 데 활용될 것으로 기대된다.

핵심용어: 농업용 온실, 자연어 입력, 3차원 구조모델, 강성행렬법, 구조해석

본 연구성과는 2025년도 정부 교육부의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임(No. RS-2025-25410054).

* 준회원・경북대학교 농업토목공학과 학사과정・E-mail : ksy0403@knu.ac.kr
** 준회원・경북대학교 농업토목공학과 학사과정・E-mail : rcd1106@knu.ac.kr
*** 준회원・경북대학교 농업토목공학과 학사과정・E-mail : congsister1@knu.ac.kr
**** 준회원・경북대학교 농업토목공학과 학사과정・E-mail : ekgus050103@naver.com
***** 준회원・경북대학교 농업토목공학과 학사과정・E-mail : vchaewon0901@gmail.com
****** 준회원・경북대학교 농업토목공학과 석사과정・E-mail : gksdn6222@naver.com
******* 정회원・경북대학교 농업과학기술연구소 연구초빙교수・E-mail : jonghyuk.lee@knu.ac.kr
******** 정회원・경북대학교 농업과학기술연구소 연구원・E-mail : wooks121@knu.ac.kr
********* 정회원・경북대학교 농업과학기술연구소 연구원・E-mail : rabiuanis@knu.ac.kr
********** 정회원・경북대학교 농업토목공학과 조교수・E-mail : sangik@knu.ac.kr

인공지능 및 실시간 멀티모달 데이터를 활용한 지능형 작물 생육 진단 및 맞춤형 양분 관리 SaaS 플랫폼 개발 및 실증

Development and Demonstration of Intelligent Crop Growth Diagnosis and Customized Nutrient Management SaaS Platform Utilizing AI and Real-time Multi-modal Data

안이영*
YiYoung Ahn

요 지

최근 농업 분야에서는 데이터 기반의 정밀 농업이 대두되고 있으나, 여전히 일회성 토양 검정과 농가의 경험에 의존하는 비효율적 양분 관리가 주를 이루고 있다. 본 연구는 이러한 한계를 극복하고 농업의 디지털 전환을 가속화하기 위해, 멀티모달(Multi-modal) 데이터 융합과 인공지능(AI) 알고리즘을 핵심으로 하는 '지능형 작물 생육 진단 및 맞춤형 양분 관리 SaaS 플랫폼'을 개발하고 실증하였다.

본 플랫폼은 농가에 설치된 IoT 기기를 통해 식물 및 토양의 16종 이종 데이터를 실시간으로 수집하여 클라우드 데이터 웨어하우스로 전송한다. 클라우드 환경에서 구동되는 CNN-LSTM 하이브리드 모델은 작물의 시공간적 특징을 추출하여 생육 상태를 동적으로 진단하며, 8,000건의 필드 데이터 학습과 K-Fold 교차 검증을 통해 92% 이상의 높은 진단 정확도를 달성하였다.

AI 모델은 작물의 실시간 생육 진단 데이터를 바탕으로 7차원 입체 매트릭스와 생화학 공식을 종합 연산하여, 농가 환경과 작물 특성에 최적화된 맞춤형 양분 처방전을 실시간으로 정밀하게 도출한다. 나아가 본 연구를 통해 상용화된 웹 및 모바일 기반 SaaS 솔루션은 멀티테넌시(Multi-Tenancy) 아키텍처를 탑재하여, 단일 플랫폼 내에서 다수 농가의 데이터를 독립적이고 효율적으로 관리함으로써 향후 글로벌 시장으로의 용이한 확장이 가능하도록 설계되었다.

기술성 평가 결과, 초당 1,000건(1,000 TPS)의 동시 접속 처리 능력과 300ms 이하의 평균 응답 속도, 99% 이상의 서비스 안정성(SLA)을 확보하여 대규모 농업 기술 서비스(ATaaS)로서의 기술적 요건을 충족하였다.

실제 실증 농가에 본 SaaS 솔루션을 적용한 결과, 과학적 처방을 통해 기존 관행 대비 비료 사용량을 50%, 농약 사용량을 90% 이상 대폭 절감하였다. 더불어 산출물의 영양 밀도 피드백 데이터를 AI 모델에 지속적으로 환류시킴으로써, 모델의 자가 학습을 통해 프리미엄 작물의 생산성을 10~20% 이상 높이는 경제적 성과를 거두었다.

결론적으로 본 AI 기반 SaaS 플랫폼은 투입 자원의 획기적인 절감과 작물 생산성 향상을 통해 농가의 경제적 수익성을 크게 극복하고 개선할 뿐만 아니라, 영양 밀도 데이터 기반의 자가 학습 AI와 글로벌 확장이 용이한 멀티테넌시 구조를 바탕으로 지속 가능한 친환경 정밀 농업 생태계를 선도할 핵심 서비스 모델이 될 것으로 기대된다.

핵심용어: 하이브리드 AI 모델, 맞춤형 양분 관리, AI 기반 SaaS 플랫폼

* 정회원・메타오가닉테크놀러지 주식회사・E-mail : jya@metaorga.io

Sentinel-2와 설명가능 인공지능을 이용한 하구담수호 총유기탄소의 시공간 모니터링

Sentinel-2 and XAI-Based Spatiotemporal Monitoring of Total Organic Carbon in an Agricultural Estuarine Reservoir

김진욱*, 정지훈**, 이용관***, 김세훈****, 김용원*****, 김성준******
Jinuk Kim, Jeehun Chung, Yonggwan Lee, Sehoon Kim, Yongwon Kim, Seongjoon Kim

요 지

하구담수호는 육상 기원 탄소가 해양으로 이동하기 전 저장·변환되는 주요 탄소 조절 공간이나, 총유기탄소(Total Organic Carbon, TOC)는 광학적으로 복잡한 특성을 지녀 위성 반사도로부터의 직접 추정이 제한적이었다. 본 연구에서는 Sentinel-2 다분광 영상을 이용해 남양호의 TOC를 직접 예측하는 설명가능 머신러닝 프레임워크를 구축하였다. 2021년부터 2024년까지 채취한 194개 현장 수질 시료를 위성 통과 시각 ±3시간 이내의 Sentinel-2A/B 반사도와 매칭하였으며, B01–B08 밴드로부터 정규화차이지수(NDI)와 비율지수를 산정하고 200회 반복 리샘플링 기반 mRMR 안정성 선택을 통해 5개 NDI와 2개 원밴드를 최종 입력변수로 선정하였다. Support vector machine (SVR), Random forest (RFR), XGBoost (XGB), Deep neural network (DNN)의 네 가지 모형을 비교한 결과 XGB가 가장 안정적인 일반화 성능을 보였으며(test R^2=0.636, RMSE=0.878 mg/L), 전체 194개 시료에 대한 Out-of-fold (OOF) 평가에서는 보다 보수적인 R^2 0.441이 산정되었다. SHAP 분석에서는 NDI(B02, B05)와 B01의 기여가 가장 크게 나타나 443–705 nm 가시광 대역의 민감도가 크게 나타났다. 반면 근적외 조합인 NDI(B07, B08)의 기여는 6.4%에 그쳐 입자 후방산란의 역할이 제한적임을 확인하였다. 부분화(partialling-out) 기반 잔차 진단에서는 위성 반사도로 설명되지 않는 TOC 변동 요인으로 전기전도도와 총질소가 유의하게 도출된 반면 탁도와 부유물질은 유의하지 않아, 입자 관련 신호는 이미 반사도에 반영되고 있음을 확인하였다. 이들 비광학 변수를 이용한 보조 보정으로 test R^2는 0.636에서 0.681로 향상되었다. 공간 TOC를 확인한 결과 봄철 안정, 여름철 몬순 유입에 따른 증가, 가을철 회복이라는 계절 패턴을 여러 해에 걸쳐 일관되게 재현하였으나, 강우 사상이 집중되는 여름철에는 잔차가 증가하였으며 앙상블 불확실도가 절대잔차와 높은 상관(r=0.766)을 보여 예측 신뢰도 지표로 활용가능함을 확인하였다. 본 프레임워크는 위성 기반 TOC 모형이 예측에 그치지 않고 활용 광학 신호를 해석하고 오차 원인을 진단할 수 있는 의사결정 도구로 활용될 수 있을 것으로 판단된다.

핵심용어: Total organic carbon, Remote sensing, Residual diagnostics, SHAP, Interpretable machine learning, Sentinel-2

본 연구성과는 2026년도 정부(교육부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임(No. RS-2026-25568547)

* 정회원・고려대학교 미래건설환경융합연구소 박사후연구원・E-mail : saertt@korea.ac.kr
** 정회원・건국대학교 아시아시설물연구센터 박사후연구원・E-mail : gop1519@konkuk.ac.kr
*** 정회원・건국대학교 아시아시설물연구센터 조교수・E-mail : leeyg@konkuk.ac.kr
**** 정회원・건국대학교 아시아시설물연구센터 박사후연구원・E-mail : ksh91@konkuk.ac.kr
***** 정회원・건국대학교 아시아시설물연구센터 박사후연구원・E-mail : longliveyw@konkuk.ac.kr
****** 정회원・건국대학교 공과대학 사회환경공학부 교수・E-mail : kimsj@konkuk.ac.kr

양수식 수력발전 저수지의 다중 예측기간 저수량 예측을 위한 물리정보 기반 머신러닝 프레임워크 개발

Physics-Informed Machine Learning for Multi-Horizon Pumped-Storage Hydropower Forecasting: A Regime-Stratified Evaluation at Castaic Reservoir

신재훈*
Jae hun Shin

요 지

양수발전소(Pumped-Storage Hydropower, PSH)는 강수 및 유입량과 같은 자연적인 수문과정뿐만 아니라 양수와 발전 운전에 의해 저수량이 결정되는 복합적인 물-에너지 시스템이다. 최근 머신러닝 기반 저수량 예측기법이 활발히 연구되고 있으나, 대부분의 연구는 기상 및 수문 변수에 의존하고 있어 양수발전소 고유의 운영 특성을 충분히 반영하지 못하는 한계를 가진다. 특히 발전 수요와 운영 전략에 따라 저수량 변동이 크게 영향을 받는 양수발전소의 경우, 운영물리를 고려한 예측모형 개발이 필요하다. 이에 본 연구에서는 발전소 운영 특성을 반영한 물리정보 기반(Physics-Informed) 머신러닝 프레임워크를 구축하고 다중 예측기간 저수량 예측 성능을 평가하였다.

연구 대상지는 미국 캘리포니아주에 위치한 Castaic 저수지로 선정하였다. 입력자료는 강수량, 기온 등 기상자료와 유입량을 포함한 수문자료뿐만 아니라, 상대수두(Relative Head)와 터빈효율지수(Turbine Efficiency Proxy) 등 발전소 운영 특성을 나타내는 물리정보 기반 변수를 포함하여 구성하였다. 예측모형으로는 BiLSTM, Attention-BiLSTM 및 XGBoost를 적용하였으며, 1일, 3일, 7일 및 14일 선행 저수량 예측을 수행하였다. 또한 SHAP 기법을 활용하여 예측 결과에 대한 변수별 기여도를 정량적으로 분석하였다.

분석 결과, XGBoost 모형은 모든 예측기간에서 가장 우수한 성능을 나타냈으며, 단기 예측뿐만 아니라 장기 예측에서도 안정적인 예측 정확도를 유지하였다. SHAP 분석 결과 운영물리를 반영한 변수의 기여도가 전체 중요도의 약 79%를 차지하는 것으로 나타나, 양수발전소 저수량 변동에 운영 특성이 지배적인 영향을 미치는 것으로 확인되었다. 또한 장기 예측에서는 Attention 메커니즘이 시계열 자료의 장기 의존성을 효과적으로 학습하여 예측 성능 향상에 기여하였다. 반면, 극한 갈수기 조건에서는 실제 운영자의 의사결정 과정이 모형에 충분히 반영되지 못해 상대적으로 큰 예측 오차가 발생하였다.

본 연구는 양수발전소 운영물리를 고려한 특징변수 설계가 머신러닝 기반 저수량 예측 성능 향상에 효과적임을 입증하였으며, 향후 양수발전소 디지털 트윈 구축과 저수지 운영 최적화, 물-에너지 인프라의 의사결정 지원을 위한 활용 가능성을 제시하였다.

핵심용어: 양수발전소, 저수량 예측, 물리정보 기반 머신러닝, XGBoost, SHAP 분석, 디지털 트윈

* 준회원・충북대학교 지역건설공학과 박사후 연구원・E-mail : jhshin1@cbnu.ac.kr

표면 변위와 머신러닝을 활용한 필댐 내부침식 위험영역 탐지

Surface Displacement-Based Detection of Internal Erosion in Embankment Dams Using Machine Learning

김홍주*, 김동주**, 손주익***, 허윤검****, 변용훈*****
Hong Ju Kim, Dong-Ju Kim, Juik Son, Yoon-Geom Heo, and Yong-Hoon Byun*

Abstract

This study presents a machine-learning framework for identifying locations where internal displacements exceed critical erosion thresholds using only surface displacement measurements obtained from Digital Image Correlation (DIC). Three scaled embankment dam models representing distinct internal erosion failure mechanisms are constructed and tested under controlled laboratory conditions. Surface displacements are continuously monitored using DIC, while high-resolution internal images enabled extraction of time-series displacement data at approximately 700 grid points using an OpenCV-based image processing workflow. Several machine-learning algorithms, including XGBoost, LightGBM, Gradient Boosting Machine, and Decision Tree, are implemented to classify grid locations according to whether internal displacements exceed a predefined critical threshold associated with erosion initiation. Model hyperparameters are optimized using grid search. Model performance is evaluated using accuracy, F1-score, and the area under the receiver operating characteristic curve (AUC). The results show a modest overall accuracy, which is primarily attributed to the high spatial resolution of the dataset. Despite the modest accuracy, the best-performing models achieve F1-score and AUC values of 0.99, indicating strong predictive capability for identifying critical internal erosion locations. The proposed approach demonstrates the potential of a non-intrusive and real-time monitoring strategy for internal erosion in embankment dams using only surface deformation measurements.

Key words: Embankment dam, Internal erosion, Surface displacement, Machine learning

이 논문은 2021년도 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(No. RS-2021-NR060085)을 밝히며, 이에 깊이 감사드립니다.

* 종신회원・경북대학교・E-mail : hongjuwin45@naver.com
** 종신회원・고려대학교・E-mail : kyrix1028@korea.ac.kr
*** 종신회원・경북대학교・E-mail : son010423@gmail.com
**** 종신회원・경북대학교
***** 종신회원・경북대학교・E-mail : yhbyun@knu.ac.kr

구조, 재료 및 시공

B-P-1

THE KOREAN SOCIETY OF AGRICULTURAL ENGINEER

농업생산기반설계기준 취입보(KDS 67 15 00) 개정 연구

A Study on the Revision of Design Standard for Intake Weir (KDS 67 15 00), the Design Standard for Agricultural Production Infrastructure

이백*, 전상옥**, 김현성***, 한다민****, 구재혁*****, 박찬기******
Baeg Lee, Sangok Jeon, Hyeonseong Kim, Damin Han, Jaehyuk Koo, Changi Park

요 지

농업생산기반시설 설계기준 취입보편(KDS 67 15 00)은 급격한 기후변화로 인한 각종 재해와 영농환경 변화에 대비하기 위하여 설계기준의 주요 내용과 세부 항목에 대한 개정 필요성이 요구되고 있다. 본 연구에서는 KDS 67 15 00(취입보)의 세부 내용과 국내외 최신 기술의 조사·분석, 기후변화 대응 기술 반영 여부 및 현장 실무자의 수요조사 결과를 바탕으로 설계기준을 개정하였다. 취입보의 세부 코드체계는 취입보 일반, 조사, 기본 설계, 취수구 설계, 고정보 설계, 가동보 설계, 배사구 설계, 기초공 및 지수벽 설계, 바닥보호공 설계, 부대시설 설계, 계류취수공 설계 및 유지관리로 구성되어 있었다. 본 개정에서는 기존의 '취입보 기본 설계'를 설계기준 체계를 고려하여 '취입보 계획'으로 수정하였으며, 세부 내용은 취입보 각 세부 코드로 이동하여 개정하였다. 각 세부 코드의 주요내용은 국내외 최신 관련 기준, 관련 법령, 신기술, 현장 수요조사 내용, 국내외 주요 선진기술의 내용을 반영하였다. 또한, 용어 및 SI 단위 체계는 국가건설기준 작성요령에 따라 정비하였으며, 타 국가설계기준과의 중복·상충 여부를 검토한 후 연계성을 고려하여 취입보 설계기준을 개정하였다.

핵심용어: 농업생산기반시설, 국가건설기준, 설계기준, 취입보, 기후변화

본 연구의 결과물은 한국농어촌공사 농어촌연구원의 지원을 받아 수행하였음[과제명: 재해대응을 위한 건설기준 개정 연구(2026년)]

* 정회원・한국농어촌공사 농어촌연구원 책임연구원・E-mail : blee@ekr.or.kr
** 정회원・한국농어촌공사 농어촌연구원 안전품질연구부장・E-mail : jeonso@ekr.or.kr
*** 정회원・한국농어촌공사 기후대응처 과장・E-mail : zoshs6510@ekr.or.kr
**** 정회원・한국농어촌공사 기후대응처 대리・E-mail : hdm132@ekr.or.kr
***** 정회원・국립공주대학교 농공학과 박사과정・E-mail : D20250151@smail.kongju.ac.kr
****** 정회원・국립공주대학교 지역건설공학과 교수・E-mail : cgpark@kongju.ac.kr

LLM 기반 정밀안전진단보고서 정형화와 주성분분석을 활용한 농업용 저수지 보수 · 보강 발생위험 관련요인 분석

LLM-Based Structuring and PCA of Safety Diagnosis Reports for Repair and Reinforcement Risk Analysis in Agricultural Reservoirs

서예진*, 서병훈**, 김동수***, 조예림****, 심지민*****, 김민재******, 최원*******†
Ye-jin Seo, Byunghun Seo, Dongsu Kim, Yerim Jo, Jimin Shim, Minjae Kim, Won Choi

요 지

농업용 저수지의 보수·보강 의사결정은 정기점검 및 정밀안전진단 결과를 기반으로 이루어진다. 그러나 시설 제원, 결함, 내구성 수치 및 안전성 정보가 PDF와 한글 형식의 진단보고서에 분산되어 있어, 반복 점검이력에 근거한 정량적 분석에 한계가 있다. 본 연구는 비정형 정밀안전진단보고서를 LLM 기반 정보추출로 정형 데이터베이스화하고, 반복 진단이력 및 보수이력과 연계하여 보수·보강 발생위험 관련요인을 분석하고자 하였다. 고정된 보고서 목차와 추출 항목을 바탕으로 결정적 섹션 라우팅과 폐쇄형 스키마 기반 LLM 정보추출을 수행하여 시설 제원, 내구성·안전성 수치 및 결함 서술을 정형화하였다. 추출값은 원문 근거와 함께 저장하고, 단위·결측·결함 표현을 표준화하였다. 이를 집계자료의 안전등급, 공종별 결함 및 보수이력과 저수지별·진단시점별로 결합하여 반복관측 분석자료를 구축하였다. 연속형 상태변수에는 주성분분석을 적용하여 핵심 노후화 인자를 도출하고 다중공선성을 완화하였다. 각 진단시점 이후 다음 점검구간 내 보수·보강 발생 여부를 결과변수로 설정하고, 주성분, 주요 결함, 노후연수, 시설 제원 및 직전 진단 대비 상태변화를 설명변수로 구성하였다. 동일 저수지 내 반복 측정의 상관성을 고려한 반복측정 로지스틱 회귀모형을 적용하여 각 요인과 보수·보강 발생위험 간의 관련성을 추정하였다. 본 연구는 정확한 보수·보강 시행시점을 예측하는 모형 개발이 아니라, 비정형 진단보고서를 분석 가능한 데이터베이스로 전환하고 반복 진단이력에 기반하여 보수·보강 발생과 관련된 핵심 위험요인을 정량적으로 규명하는 데 목적이 있다. 이를 통해 시설물별 상태 변화와 결함 특성을 반영한 보수·보강 우선관리의 기초 근거를 제공하고자 한다.

핵심용어: 대규모 언어모델 기반 정보추출, 농업용 저수지 유지관리, 보수 · 보강 발생위험

이 성과는 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임 (RS-2024-00341095)

* 정회원・서울대학교 지역시스템공학과 박사과정・E-mail : hwiey@snu.ac.kr
** 정회원・서울대학교 농업생명과학연구원 선임연구원・E-mail : tjqudgns123@snu.ac.kr
*** 정회원・서울대학교 지역시스템공학과 박사과정・E-mail : xenonkds@snu.ac.kr
**** 정회원・서울대학교 지역시스템공학과 박사과정・E-mail : yl6289@snu.ac.kr
***** 정회원・서울대학교 지역시스템공학과 박사과정・E-mail : zirnini@snu.ac.kr
****** 준회원・서울대학교 지역시스템공학과 석사과정・E-mail : msarah12@snu.ac.kr
******* 정회원・서울대학교 지역시스템공학과/농업생명과학연구원/융합전공 글로벌 스마트팜 교수・E-mail : fembem@snu.ac.kr

바이오차 혼입 비소성 인공경량골재의 CO_2 양생에 따른 기계적 특성 및 환경성 평가

Mechanical and Environmental Evaluation of Biochar Cold-Bonded Artificial Lightweight Aggregates under CO_2 Curing

최종민*, 손영환**, 조상범***, 이원영****
Jongmin Choi, Younghwan Son, Sangbeom Jo, Wonyoung Lee

요 지

비소성 인공경량골재(Cold-bonded Artificial Lightweight Aggregate, CALA)는 고온 소성 공정 없이 시멘트계 결합재의 수화 반응을 통해 제조되므로, 소성 인공경량골재에 비해 CO_2 배출을 줄일 수 있는 저탄소 건설재료로 주목받고 있다. CALA는 수화 반응에 의해 강도가 발현되므로 적절한 양생이 필수적이며, 최근에는 강도 발현과 CO_2고정을 동시에 유도할 수 있는 CO_2양생이 적용되고 있다. 특히 다공성 구조를 갖는 바이오차를 CALA에 혼입하면 CO_2의 내부 침투를 촉진하여 탄산화 반응에 유리한 환경을 조성할 수 있다. 이에 따라 바이오차 혼입 CALA의 CO_2양생에 관한 연구가 수행되어 왔으나, 대부분 기계적 특성 및 CO_2고정량 평가에 치중되어 있으며, 바이오차 활용에 따른 환경적 이점을 정량적으로 분석한 연구는 부족한 실정이다. 따라서 본 연구에서는 시멘트, 고로슬래그 미분말 및 플라이애시로 구성된 혼합결합재에 1~5%의 바이오차를 혼입하여 CALA를 제조하고, 기계적 특성 및 환경성 평가를 수행하였다. 양생은 CO_2 농도를 20%로 유지한 아크릴 챔버에서 실시하였으며, CO_2양생의 효율적 수행을 위해 전양생, 전처리, CO_2양생 및 후양생의 4단계 양생을 적용하였다. 각 조건에서 재령 14일 및 28일의 파쇄강도와 밀도, 흡수율을 측정하고, 염산 반응에 따른 질량 감소량을 이용하여 CO_2고정량을 산정하였다. 또한 환경성 평가를 통해 Cradle-to-gate까지의 탄소 배출량을 비교함으로써 환경적 이점을 정량적으로 평가하였다. 바이오차 혼입과 CO_2양생은 CALA의 파쇄강도와 CO_2고정량을 향상시키는 동시에 환경영향을 저감시키는 것으로 나타났으며, 이를 통해 최적 바이오차 혼입률을 도출할 수 있었다. 본 연구 결과는 산업부산물과 바이오차를 활용한 저탄소 경량골재의 제조 및 CO_2활용(CCU) 기술의 적용 가능성을 제시함으로써, 구조용 경량콘크리트 및 친환경 건설재료 분야에서 탄소중립 실현에 기여할 수 있을 것으로 판단된다.

핵심용어: 비소성 인공경량골재; CO_2 양생; 바이오차; 환경성 평가

본 연구는 과학기술정보통신부의 재원으로 한국 연구재단의 지원 (RS-2024-00356669)을 받아 수행된 연구임

* 준회원・서울대학교 지역시스템공학과 학사과정・E-mail : jongmin0308@snu.ac.kr
** 종신회원・서울대학교 지역시스템공학과 교수・E-mail : syh86@snu.ac.kr
*** 종신회원・서울대학교 지역시스템공학과 박사과정・E-mail : cow9253@snu.ac.kr
**** 준회원・서울대학교 지역시스템공학과 석사과정・E-mail : ji4288@snu.ac.kr

기후변화 시나리오 기반 미래 적설심 및 할증률 산정을 통한 온실모델 구조 설계기준 고도화

Advancement of Structural Design Standards for Greenhouse Models through Estimation of Future Snow Depth and Climate Change Adjustment Factors Based on Climate Change Scenarios

류현*, 전다현**, 김서윤***, 곽찬우****, 반채원*****, 한일우******, 이종혁*******, 나욱호********, Anis*********, 이상익**********†

Hyeon Ryu, Dahyun Jeon, Seoyun Kim, Chanwoo Kwak, Chaewon Van, Ilwoo Han, Jonghyuk Lee, WookHo Na, Anis Rablu, Sangik Lee

요 지

최근 기후변화로 인해 폭설, 강풍 등 극한 기상현상의 발생 양상이 변화하면서 온실 및 비닐하우스와 같은 시설원예 구조물의 구조 안전성을 확보하기 위한 설계기준의 고도화 필요성이 증가하고 있다. 그러나 현행 설계기준은 과거 기상관측자료에 기반하고 있어 미래 기후변화에 따른 적설 특성의 변화를 충분히 반영하는데 한계가 있다. 본 연구에서는 과거 기상관측자료와 기후변화 시나리오 기반의 대규모 앙상블 기후자료를 활용하여 미래 적설심 및 목표 재현기간의 적설하중 변화를 평가하고, 기후변화에 따른 설계하중 할증률을 산정함으로써 온실모델의 구조 설계기준을 고도화하고자 하였다. 먼저 과거 관측자료와 d4PDF (Database for Policy Decision making for Future climate change) 자료에서 추출한 연최대적설심을 대상으로 빈도해석을 수행하여 목표 재현기간에 관한 적설심을 산정하고, 과거 대비 미래 적설심의 변화율을 바탕으로 지역별 기후변화 할증률을 도출하였다. 또한 평균기온, 최저기온, 최고기온, 일강수량 및 평균상대습도를 입력변수로, 일최심적설을 목표변수로 설정한 지역별 인공신경망 (Artificial Neural Network, ANN) 기반 적설심 예측모델을 구축하였다. 과거 관측자료로 모델을 학습한 후 SSP 기후변화 시나리오 자료를 활용하여 2021년부터 2100년까지의 일별 적설심과 미래 연최대적설심을 예측하였다. 이를 바탕으로 재현기간 30년에 해당하는 지역별 설계적설심을 산정하였으며, 과거 대비 미래 설계적설심의 변화율에 근거하여 적설하중에 관한 기후변화 할증률을 산정하였다. 도출된 할증률은 기후변화 조건에서 온실 구조물의 지역별 내재해성을 확보하기 위한 설계하중 기준의 조정 방향을 제시하며, 향후 온실모델의 구조 설계기준 고도화 및 구조 안전성 검토를 위한 기초자료로 활용될 것으로 기대된다.

핵심용어: 온실모델, 기후변화 시나리오, 구조 설계기준, 적설하중, 기후변화 할증률

본 성과물은 농촌진흥청 연구사업(과제번호: RS-2025-02223042)의 지원에 의해 이루어진 것임.

* 준회원・경북대학교 농업토목공학과 학사과정・E-mail : congsister1@knu.ac.kr
** 준회원・경북대학교 농업토목공학과 학사과정・E-mail : ekgus050103@naver.com
*** 준회원・경북대학교 농업토목공학과 학사과정・E-mail : ksy0403@knu.ac.kr
**** 준회원・경북대학교 농업토목공학과 학사과정・E-mail : rcd1106@knu.ac.kr
***** 준회원・경북대학교 농업토목공학과 학사과정・E-mail : vchaewon0901@gmail.com
****** 준회원・경북대학교 농업토목공학과 석사과정・E-mail : gksdn6222@naver.com
******* 정회원・경북대학교 농업과학기술연구소 연구초빙교수・E-mail : jonghyuk.lee@knu.ac.kr
******** 정회원・경북대학교 농업과학기술연구소 연구원・E-mail : wooks121@knu.ac.kr
********* 정회원・경북대학교 농업과학기술연구소 연구원・E-mail : rabiuanis@knu.ac.kr
********** 정회원・경북대학교 농업토목공학과 조교수・E-mail : sangik@knu.ac.kr

기후변화 대응 천창 환기형 현대화 온실모델의 구조안전성 평가 및 설계기준 고도화 방안 분석

Evaluating Structural Safety and Enhancing Design Standards for Climate Resilience in Modernized Skylight-Ventilated Greenhouses

곽찬우*, 김서윤**, 류현***, 전다현****, 반채원*****, 한일우******, 이종혁*******, 나욱호********, Anis RABIU*********, 이상익**********†

Chanwoo Kwak, Seoyun Kim, Hyeon Ryu, Dahyun Jeon, Chaewon Van, Ilwoo Han, Jonghyuk Lee, WookHo Na, Anis RABIU, Sangik Lee

요 지

최근 폭설, 강풍 등 극한 기상현상의 발생 빈도와 강도가 증가하면서 온실 구조물의 피해가 지속적으로 발생하고 있으며, 이에 따라 구조안전성을 확보하기 위한 설계기준의 고도화가 요구되고 있다. 아울러 기후변화로 인한 평균기온 상승에 대응하고 온실 내부 환경을 효율적으로 조절하기 위해 천창 환기형 온실의 도입이 확대되는 추세이다. 그러나 천창 환기형 온실은 지붕 형상 변화에 따라 적설 및 풍하중에 대한 구조적 거동이 달라짐에도 불구하고, 이에 관한 구조안전성 평가와 설계기준 정립은 여전히 미흡한 실정이다. 본 연구에서는 현행 내재해 시설규격 온실을 기반으로 기본형, 고깔형 및 맞배형 천창을 적용한 3차원 구조해석 모델을 구축하고, 허용응력설계법을 바탕으로 구조안전성 평가를 수행하였다. 특히 지붕 형상에 따라 현행 시설규격의 풍압계수 적용에 한계가 있을 수 있으므로, 전산유체역학(CFD) 시뮬레이션을 통해 정밀 산정한 풍압을 구조해석에 적용하였다. 각 모델에 설계적설심과 설계풍속을 단위하중으로 단계적으로 재하하여, 부재의 응력비가 허용기준을 초과하지 않는 조건에서의 한계 적설심 및 한계 풍속을 산정하였다. 또한 지붕 형상별 적설 및 풍하중에 대한 부재의 구조적 응답 특성을 비교·분석하여 한계하중의 차이를 규명하였다. 이를 통해 효율적인 환경조절을 위한 천창의 도입과 극한 기상조건에 대한 구조안전성을 동시에 고려한 현대화 온실모델의 설계기준 고도화를 위한 기초자료로 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

핵심용어: 현대화 온실모델, 기후변화, 천창 환기, 구조해석, 설계기준

본 성과물은 농촌진흥청 연구사업(과제번호: RS-2025-02223042)의 지원에 의해 이루어진 것임.

* 준회원・경북대학교 농업토목공학과 학사과정・E-mail : rcd1106@knu.ac.kr
** 준회원・경북대학교 농업토목공학과 학사과정・E-mail : ksy0403@knu.ac.kr
*** 준회원・경북대학교 농업토목공학과 학사과정・E-mail : congsister1@knu.ac.kr
**** 준회원・경북대학교 농업토목공학과 학사과정・E-mail : ekgus050103@naver.com
***** 준회원・경북대학교 농업토목공학과 학사과정・E-mail : vchaewon0901@gmail.com
****** 준회원・경북대학교 농업토목공학과 석사과정・E-mail : gksdn6222@naver.com
******* 정회원・경북대학교 농업과학기술연구소 연구초빙교수・E-mail : jonghyuk.lee@knu.ac.kr
******** 정회원・경북대학교 농업과학기술연구소 연구원・E-mail : wooks121@knu.ac.kr
********* 정회원・경북대학교 농업과학기술연구소 연구원・E-mail : rabiuanis@knu.ac.kr
********** 정회원・경북대학교 농업토목공학과 조교수・E-mail : sangik@knu.ac.kr

배합조건 및 골재입도에 따른 기존 제체 표면보강용 Rich-mix CSG의 다짐성 및 압축강도 특성

Compaction and Compressive Strength Characteristics of Rich-Mix Cemented Sand and Gravel (CSG) for Surface Reinforcement of Existing Embankments with Different Mix Proportions and Aggregate Gradations

오리온*, 박성기**, 성상경***, 고용기****, 박상현*****
Rion Oh, Sungki Park, Sangkyoung Sung, Yongki Ko, SangHyeon Park

요 지

국내 농업용 저수지의 87.8%는 50년 이상 공용에 따른 노후화와 기후변화로 인한 집중호우 증가로 기존 제체의 안정성 확보를 위한 보강기술이 요구되고 있다. CSG(Cemented Sand and Gravel) 공법은 현장에서 발생하는 재료를 활용하여 시공성과 경제성이 우수하지만, CSG 배합에 시멘트 사용량이 적기 때문에 표면보강에 필요한 강도를 확보하는 데 한계가 있다.

본 연구에서는 기존 제체 표면보강용 Rich-mix CSG의 배합조건 및 골재입도에 따른 다짐성과 압축강도 특성을 평가하였다. 또한, 탄소 저감을 위한 시멘트 사용량을 절감하기 위하여 고로슬래그 미분말(GGBFS), 플라이애시(FA), 석회석 미분말(LP)을 각각 30% 치환하여 적용하였다.

하상골재 상한입도, 중간입도 및 제체골재 하한입도를 사용하여 Vebe 및 압축강도 시험을 실시하였으며, 목표 Vebe 시간은 20±10초, 목표 압축강도는 5 MPa로 설정하였다. 예비시험 결과 제체골재 하한입도는 Vebe 기준은 만족하였으나 모든 배합에서 목표 압축강도인 5 MPa를 만족하지 못하여 이후 실험에서 제외하였다. 이에 하상골재 상한입도와 중간입도를 대상으로 단위시멘트량 및 단위수량을 변수로 설정하고 혼화재를 30% 치환하여 Vebe 시험을 수행하였다.

시험 결과, Vebe 시간은 대부분의 배합조건에서 목표 범위인 20±10초를 만족하였다. 압축강도 시험의 경우, Plain 배합은 하상골재 상한입도에서 10.45~13.42 MPa, 중간입도에서 7.19~7.88 MPa의 범위를 나타냈으며, 혼화재 치환 배합은 플라이애시 30% 치환 시 6.02~12.30 MPa로 모든 조건에서 목표강도를 만족하였다. 반면 고로슬래그 및 석회석 미분말로 치환한 하상골재 상한입도 배합에서는 목표강도를 만족하였으나, 중간골재 배합에서는 목표강도 5 MPa에 만족하지 못하는 결과가 나타났다. 이는 Rich-mix CSG의 다짐성 및 압축강도가 배합조건과 골재입도에 따라 상이하며, 혼화재 치환을 통해 시멘트 사용량을 저감하면서도 목표성능 확보가 가능함을 확인하였다. 향후 성능 및 경제성을 종합적으로 검토하여 기존 제체 표면보강용 Rich-mix CSG의 최적배합을 선정할 예정이다.

핵심용어: Rich-mix CSG, 골재입도, Vebe, 압축강도

본 결과물은 농림축산식품부의 재원으로 농림식품기술기획평가원의 기후변화대응지능형농업기반관리사업의 지원을 받아 연구되었음(RS-2025-02219948)

* 정회원・㈜콘텍이엔지 연구소장・E-mail : ohrion@contecheng.co.kr
** 정회원・㈜콘텍이엔지 대표이사・E-mail : skpark@contecheng.co.kr
*** 정회원・㈜콘텍이엔지 부장・E-mail : ssk0328@contecheng.co.kr
**** 정회원・㈜콘텍이엔지 대리・E-mail : dydrl1996@contecheng.co.kr
***** 정회원・㈜콘텍이엔지 사원・E-mail : upcon0105@contecheng.co.kr

골재입도 및 혼화재 치환에 따른 기존 제체 표면보강용 Rich-mix CSG의 전단강도 특성

Shear Strength Characteristics of Rich-Mix Cemented Sand and Gravel (CSG) for Surface Reinforcement with Different Aggregate Gradations and Mineral Admixtures

오리온*, 박성기**, 성상경***, 고용기****, 박상현*****
Rion Oh, Sungki Park, Sangkyoung Sung, Yongki Ko, Sanghyeon Park

요 지

기존 제체의 표면보강에 적용되는 Rich-mix CSG는 제체 비탈면에 포설하여 보강층을 형성하므로 압축강도와 더불어 전단에 대한 역학적 특성을 검토할 필요가 있다. 특히 CSG는 시멘트 사용량이 적고 골재가 대부분을 차지하므로 골재입도와 결합재 조건에 따라 전단 성능에 차이가 발생할 수 있다.

이에 본 연구에서는 골재입도와 탄소 저감을 위한 고로슬래그 미분말(GGBFS), 플라이애시(FA) 및 석회석 미분말(LP)을 각각 30% 치환하여 혼화재 종류에 따른 Rich-mix CSG의 전단강도 특성을 평가하였다.

Rich-mix CSG의 전단강도를 평가하기 위해 관련 시험방법을 검토하였으며, Φ150×300 mm 원주형 공시체에 적용 가능한 전단강도 시험 지그를 직접 설계 및 제작하였다. 시험지그는 하중재하 시 공시체에 두 개의 전단면이 형성되도록 구성하였으며, 측정된 최대하중과 전단면적을 이용하여 전단강도를 산정하였다.

본 연구의 실험변수는 골재 종류(하상골재 상한입도, 중간입도), 혼화재 종류(고로슬래그미분말, 플라이애시, 석회미분말)로 설정하였으며, 이에 따른 Plain 배합과 각 혼화재를 30%씩 치환한 배합으로 실험배합을 구성하였다.

시험 결과, 전단강도는 하상골재 상한입도에서 1.08~2.19 MPa, 중간입도에서 0.48~1.68 MPa 범위로 나타났으며, 전반적으로 하상골재 상한입도를 적용한 배합에서 높은 전단강도를 보였다. 압축강도와 전단강도는 골재입도에 따라 유사한 경향을 보였으며, 압축강도가 높은 골재조건에서 전단강도도 대체로 높게 나타났다. 또한, 동일한 골재조건에서도 혼화재 종류에 따라 전단강도에 차이가 나타나 골재입도와 혼화재 치환 여부가 Rich-mix CSG의 전단특성에 영향을 미치는 것을 확인하였다. 본 연구 결과는 향후 압축강도, 내구성 및 경제성 등을 고려하여 기존 제체 표면보강용 Rich-mix CSG의 최적배합을 선정하고 현장 적용성을 확보하기 위한 기초 자료로 활용될 예정이다.

핵심용어: Rich-mix CSG, 골재입도, 혼화재 치환, 전단강도

본 결과물은 농림축산식품부의 재원으로 농림식품기술기획평가원의 기후변화대응지능형농업기반관리사업의 지원을 받아 연구되었음(RS-2025-02219948)

* 정회원・㈜콘텍이엔지 연구소장・E-mail : ohrion@contecheng.co.kr
** 정회원・㈜콘텍이엔지 대표이사・E-mail : skpark@contecheng.co.kr
*** 정회원・㈜콘텍이엔지 부장・E-mail : ssk0328@contecheng.co.kr
**** 정회원・㈜콘텍이엔지 대리・E-mail : dydrl1996@contecheng.co.kr
***** 정회원・㈜콘텍이엔지 사원・E-mail : upcon0105@contecheng.co.kr

수위 관계 분석 기반 농업용 관수로 통수 저하 구간 탐지 기법

Detection of Flow-Restricted Sections in Agricultural Culvert Based on Water-Level Relationships

이준서*, 조준휘**, 스타인 데릭 가브리엘***, 연재흠****
Junseo Lee, Junhwi Cho, Derick Gabriel Stein, Jaeheum Yeon

요 지

농업용 관수로는 내부 접근이 제한되어 퇴적, 폐색 및 통수 저하와 같은 이상이 발생하더라도 문제 위치를 신속하게 확인하기 어렵다. 수위 센서를 이용하면 내부 상태 변화를 간접적으로 파악할 수 있으나, 개별 센서의 수위 값만으로는 공급량 변화와 국부적인 이상을 구분하기 어렵고 하나의 이상으로 인하여 여러 하류 지점의 수위가 동시에 변화할 수 있다는 한계가 있다. 이에 본 연구는 다지점 수위 계측자료의 상호 관계를 분석하여 이상 발생 가능성이 높은 관수로 구간을 자동으로 탐지하는 분석 알고리즘을 개발하였다. 수집된 수위 자료에 대해 측정범위와 결측 여부를 검토하고 중앙값 필터를 적용한 후, 정상 통수 조건에서 설정한 인접 센서 간 기준 수위 차와 현재 수위 차를 비교하여 구간별 잔차를 산정하였다. 이후 잔차의 크기와 방향, 상·하류 수위 분포, 이상 상태 지속시간 및 인접 구간과의 상대적인 차이를 종합하여 이상 가능성이 가장 높은 구간을 선정하도록 분석 코드를 구성하였다. 실험 수로에 설치된 5개 수위 계측 센서를 이용하여 정상적인 공급 과정과 국부적인 통수 제한 조건을 적용한 결과, 전체 수위가 변화하거나 물이 하류로 이동하는 정상적인 과정에서는 특정 구간을 이상으로 판단하지 않았으며, 통수 제한이 발생한 경우에는 실제 제한 위치의 직상·하류 센서 사이에서 지배적인 수위 관계 변화가 나타나 해당 구간을 구분할 수 있었다. 또한 제한 위치 이후의 저수위 구간을 별도의 이상으로 중복 판단하지 않고 동일한 현상에 따른 영향 구간으로 분리할 수 있었다. 본 연구에서 제안한 방법은 개별 수위 값이 아닌 인접 지점 간의 수위 관계를 이용하여 이상 구간을 분석한다는 점에서 기존의 단순 수위 모니터링과 차별되며, 향후 실제 관수로의 장기 계측자료와 운영 정보를 연계할 경우 유지관리 대상 구간의 자동 선별에 활용할 수 있을 것으로 판단된다.

핵심용어: 농업용 관수로, 수위 데이터, 이상 구간 탐지, 수위 관계 분석, 유지관리

본 성과물(논문, 산업재산권, 품종보호권 등)은 농촌진흥청 연구사업(과제번호 : RS-2025 02215069)의 지원에 의해 이루어진 것임.

* 준회원・강원대학교 지오에코시스템융합학과 석사과정・E-mail : ejun0208@kangwon.ac.kr
** 정회원・강원대학교 지오에코시스템융합학과 박사과정・E-mail : xnxlwnsgnl@kangwon.ac.kr
*** 준회원・강원대학교 지오에코시스템융합학과 석사과정・E-mail : gabriel.stein@kangwon.ac.kr
**** 종신회원・강원대학교 지역건설공학과 교수・E-mail : jyeon@kangwon.ac.kr

토목섬유 필터 매트 설치방법에 따른 배수특성 평가

Evaluation of Drainage Characteristics According to Geotextile Filter Mat Installation Methods

구재혁*, 신종호**, 최유진***, 박상혁****, 이준수*****, 조상민******, 박채영*******, 김웅********, 연재흠*********, 박찬기**********
Jaehyuk Koo, Jongho Shin, Yujin Choi, Sanghyuk Park, Junsu Lee, Sangmin Jo, Chaeyoung Park, Woong Kim, Jaeheum Yeon, Changi Park

요 지

본 연구는 지하배수암거공법에서 매트 설치 형태에 따른 배수 특성을 평가하기 위해 500x500x1000mm 아크릴 수조를 제작하였다. 본 연구에서 실험에 적용하기 위한 평균 유입수량은 국내 농지의 2020~2024년까지의 평균 강우량을 조사하여 6.35 L로 산정하였다. 매트는 설치 조건에 따라서, 수평 매트, 수직 매트, 복합매트로 구분하였으며, 수평매트는 유공관 상부 매트를 수평으로 설치하여 안정적 배수를 유도하고 토사 유입을 방지하도록 구성하였다. 수직매트는 매트를 수직으로 설치하여 배수 경로를 형성하고, 복합 매트는 수평매트와 수직매트를 결합하여 두 가지 기능을 동시에 확보하도록 구성하였다. 실험결과, 강우 실험 초기 모든 매트에서 유공관 내부로 물이 유입되지 않아 유출이 발생하지 않았다. 하지만, 반복 횟수가 서서히 증가함에 따라서 유공관을 통하여 유출이 발생하였다. 이는 반복적인 강우 공급으로 유공관 주변 배수 경로가 형성되어 토양 내 수분이 유공관으로 유입된 결과로 판단되었다. 또한, 필터 매트 설치 방식에 따라서 토양수분 이동 형상 및 배수성능 차이가 발생하였다.

핵심용어: 토목섬유, 필터 매트, 유공관, 배수특성

본 성과물(논문, 산업재산권, 품종보호권 등)은 농촌진흥청 연구사업(과제번호 : RS-2025 02215069) 및 농림축산식품부의 재원으로 농림식품기술기획평가원의 기후변화대응지능형농업기반관리기술개발사업의 지원을 받아 연구되었음(RS-2025-02263147)

* 정회원・국립공주대학교 농공학과 박사과정・E-mail : D20250151@smail.kongju.ac.kr
** 학생회원・국립공주대학교 지역건설공학과 학부과정・E-mail : jongho43@smail.kongju.ac.kr
*** 학생회원・국립공주대학교 지역건설공학과 학부과정・E-mail : tinacyj0203@naver.com
**** 학생회원・국립공주대학교 지역건설공학과 학부과정・E-mail : sam040220@naver.com
***** 학생회원・국립공주대학교 지역건설공학과 학부과정・E-mail : dlwnstn0123@gmail.com
****** 학생회원・국립공주대학교 지역건설공학과 학부과정・E-mail : jhsam0116@naver.com
******* 학생회원・국립공주대학교 지역건설공학과 학부과정・E-mail : yeong0063@naver.com
******** 비회원・국립공주대학교 스마트팜공학과 교수・E-mail : kimw017@kongju.ac.kr
********* 종신회원・강원대학교 지역건설공학과 교수・E-mail : jyeon@kangwon.ac.kr
********** 정회원・국립공주대학교 지역건설공학과 교수・E-mail : cgpark@kongju.ac.kr

내재해형 단동 비닐온실의 브레이싱 설계변수에 따른 구조 보강 효과 분석

Analysis of Sturcutral Reinforcement Effects According to Bracing Design Parameters in Single-Span Plastic Greenhouse

심지민*, 서병훈**, 김동수***, 서예진****, 조예림*****, 김민재******, 최원*******†
Jimin Shim, Byunghun Seo, Dongsu Kim, Ye-Jin Seo, Yerim Jo, Minjae Kim, Won Choi

요 지

최근 기후변화에 따라 대설 및 강풍과 같은 극한기상 현상이 빈번하게 발생하면서 비닐온실의 구조적 피해가 지속적으로 발생하고 있다. 현재 내재해형 비닐온실에는 구조 안전성 확보를 위한 브레이싱이 적용되고 있으나, 브레이싱의 설치 위치, 형상, 설치 길이 및 배치 방향은 온실의 설계도마다 상이하며, 여러 유형의 브레이싱에 따른 구조 보강 효과를 체계적으로 평가한 연구도 미흡한 실정이다. 이에 본 연구에서는 국내에서 가장 많이 사용되는 단동 비닐온실을 대상으로 다양한 브레이싱의 구조 보강 효과를 정량적으로 분석하고, 효과적인 브레이싱 설계 방안을 제시하고자 하였다. 본 연구의 대상 온실은 농림축산식품부『원예특작시설 내재해 규격 설계도 및 시방서』에 제시된 <10-단동-3형> 단동 비닐온실이며, 브레이싱은 실제 온실 현장 조사와 설계도면 사례를 바탕으로 설치 위치, 형상, 설치 길이 및 배치 방향을 주요 설계 변수로 선정하였다. 구조해석은 3차원 보 요소 기반의 유한요소해석을 이용하여 적설 및 풍하중 조건에서 수행하였으며, 허용응력설계법을 기반으로 온실 부재별 구조 안전성을 평가하였다. 구조해석 결과, 브레이싱은 설계 변수 중 설치 위치의 영향을 가장 크게 받는 것으로 나타났다. 다음으로 동일한 설치 위치에서도 브레이싱의 형상에 따라 보강 효과가 상이하게 나타났으며, 설치 길이와 배치 방향의 영향은 상대적으로 작았다. 따라서 브레이싱 설계 시에는 설치 위치를 우선적으로 고려하되 형상, 설치 길이 및 배치 방향을 함께 검토할 필요가 있으며, 본 연구 결과는 향후 내재해형 비닐온실의 브레이싱 설계기준 개선을 위한 기초 자료로 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

핵심용어: 내재해형 온실, 단동 비닐온실, 브레이싱, 구조 안전성, 유한요소해석

이 성과는 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(RS-2024-00341095)

* 정회원・서울대학교 지역시스템공학과 박사과정・E-mail : zirnini@snu.ac.kr
** 정회원・서울대학교 농업생명과학연구원 선임연구원・E-mail : tjqudgns123@snu.ac.kr
*** 정회원・서울대학교 지역시스템공학과 박사과정・E-mail : xenonkds@snu.ac.kr
**** 정회원・서울대학교 지역시스템공학과 박사과정・E-mail : hwiey@snu.ac.kr
***** 정회원・서울대학교 지역시스템공학과 박사과정・E-mail : yl6289@snu.ac.kr
****** 정회원・서울대학교 지역시스템공학과 석사과정・E-mail : msarah12@snu.ac.kr
******* 정회원・서울대학교 지역시스템공학과/농업생명과학연구원/융합전공 글로벌 스마트팜 교수・E-mail : fembem@snu.ac.kr

농어촌물이용

C-P-2

THE KOREAN SOCIETY OF AGRICULTURAL ENGINEER

범용 농지 적용을 위한 승강식 자동 물꼬의 개념설계

Conceptual Design of an Automated Paddy Field Water-Control Gate System

최용훈*, 남내현**, 이라온***, 한승헌****, 이관재*****
Yonghun Choi, Naehyeon Nam, Raon Lee, Seungheon Han, Gwanjae Lee

요 지

범용 농지는 논과 밭작물 재배를 탄력적으로 전환할 수 있는 농지로, 작물의 종류와 생육단계에 따라 관개·배수 조건을 능동적으로 조절할 수 있는 물관리 기술이 요구된다. 특히 범용 농지를 논으로 이용할 때는 적정 담수심을 유지하기 위한 농업용수의 안정적이고 원활한 공급이 중요하다. 그러나 기존 농업용수로에서는 수위가 낮을 경우 필지로의 자연 유입이 원활하지 않아, 농업인이 취수에 필요한 수위를 확보하기 위해 농업용수로의 일부를 임시로 차단하기도 한다. 이러한 현장 대응 방식에 착안하여, 본 연구에서는 범용 농지의 효율적인 용수 공급과 현장 물관리 자동화를 위해 하나의 모터를 활용하여 필지 유입 게이트와 농업용수로 수위 조절 게이트를 서로 반대 방향으로 구동하는 승강식 슬라이딩 수문 형태의 자동 물꼬를 설계하였다. 구동부는 모터 회전축에 연결된 두 개의 와이어가 서로 반대 방향으로 감기고 풀리도록 구성하였다. 이에 따라 필지 유입 게이트가 상승하여 개방될 때 농업용수로 수위 조절 게이트는 하강하며, 농업용수로의 일부를 차단하여 취수에 필요한 수위를 확보하고 필지로의 자연 유입을 유도하도록 설계하였다. 향후 시제품 제작과 현장시험을 통해 게이트의 상하 이동성, 모터 출력과 와이어 인양력의 적정성, 자중에 의한 하강 성능, 퇴적물 및 이물질의 영향, 목표 수위 유지 성능, 월류 특성 및 필지 취수 성능을 평가할 예정이다. 본 설계는 단일 구동장치로 필지 취수와 농업용수로 수위 조절을 동시에 수행함으로써 농업용수 관리의 자동화, 현장 작업 부담 경감 및 물 이용 효율 향상에 기여할 것으로 기대된다.

핵심용어: 범용 농지, 승강식 슬라이딩 수문, 자동 물꼬, 농업용수로, 수위 확보

본 연구는 농림축산식품부의 재원으로 농림식품기술기획평가원의 기후변화대응지능형농업기반관리기술개발사업으로 지원받아 수행되었습니다(과제번호: RS-2025-02263147).

* 정회원・일엠연구소 이사・E-mail : yhchoi@ilem.co.kr
** 정회원・일엠연구소 과장・E-mail : nnh@ilem.co.kr
*** 비회원・일엠연구소 대리・E-mail : raon@ilem.co.kr
**** 비회원・일엠연구소 사원・E-mail : hsh@ilem.co.kr
***** 정회원・일엠연구소 대표이사・E-mail : gwanjae2@ilem.co.kr

다기능저류조를 이용한 농업용 관수로 탁도 감지 및 용수공급 제어 시스템 평가

Evaluation of a Turbidity-Based Detection and Water Supply Control System for Agricultural Pipelines Using a Multifunctional Reservoir

최유진*, 신종호**, 박상혁***, 이준수****, 조상민*****, 구재혁******, 오리온*******, 박찬기********
Yujin Choi, Jongho Shin, Sanghyuk Park, Junsu Lee, Sangmin Jo, Jaehyuk Koo, Rion Oh, Changi Park

요 지

최근 기후변화와 농업용수에 대한 수요 증가에 따라 안정적인 공급과 효율적인 관리에 대한 중요성이 증가하고 있다. 특히, 관수로를 이용한 농업용수의 공급은 개수로에 비하여 오염물질(부유물질 등) 유입을 저감할 수 있다. 그러나 부유물질 등이 관수로에 유입되면 통수능력 저감 등을 발생시킬 수 있어, 지속적인 관리가 필요하다. 본 연구에서는 농업용 관수로와 연계된 저류조를 대상으로 용수공급 제어시스템을 구축하였으며, 부유물질이 기준이상으로 유입되었을 때 용수공급 제어 특성을 분석하고자 하였다. 부유물질 기준은 한국수자원공사의 탁도관리기준에 따라서 2.0 NTU로 설정하였으며, 저류조 및 관수로에 설치된 탁도계를 통하여 부유물질 유입량을 실시간으로 계측하였다. 계측된 탁도가 2.0 NTU 이하인 경우 정상적으로 공급시스템이 운영되고, 2.0 NTU를 초과하는 경우 이상 상태 경보와 함께 펌프 가동이 자동으로 중지되는 시스템을 구축하였다. 부유물질 모니터링 결과, 탁도는 약 1.0~2.0 범위로 나타났으며, 인위적으로 탁도를 변화시켜, 2.0 NTU를 초과하였을 때 수질 이상 상태를 감지한 후 용수 공급을 중지할 수 있는 것으로 나타났다. 이를 통하여 부유물질이 관리기준을 초과한 경우 농업용수 공급을 차단하고, 수질 상태가 적절한 용수를 선택적으로 공급함으로써 농업용수의 안정적 공급 및 관수로 연계 저류조의 부유물질 관리가 가능할 것으로 판단된다.

핵심용어: 탁도, 농업용 관수로, 용수공급 제어 시스템, 수질관리

본 성과물(논문, 산업재산권, 품종보호권 등)은 농촌진흥청 연구사업(과제번호 : RS-2026-25517224)의 지원에 의 해 이루어진 것임.

* 학생회원・국립공주대학교 지역건설공학과 학부과정・E-mail : tinacyj0203@naver.com
** 학생회원・국립공주대학교 지역건설공학과 학부과정・E-mail : jongho43@smail.kongju.ac.kr
*** 학생회원・국립공주대학교 지역건설공학과 학부과정・E-mail : sam040220@naver.com
**** 학생회원・국립공주대학교 지역건설공학과 학부과정・E-mail : dlwnstn0123@gmail.com
***** 학생회원・국립공주대학교 지역건설공학과 학부과정・E-mail : jhsam0116@naver.com
****** 정회원・국립공주대학교 농공학과 박사과정・E-mail : D20250151@smail.kongju.ac.kr
******* 정회원・㈜콘텍이엔지 기술연구소 연구소장・E-mail : ohrion@contecheng.co.kr
******** 정회원・국립공주대학교 지역건설공학과 교수・E-mail : cgpark@kongju.ac.kr

극한 가뭄 대비 작물별 최소 용수공급 기준 수립을 위한 밭 Test-bed 용수공급 저감 모니터링 시스템 구축

Establishment of Field Test-Bed Monitoring System for Determining Crop-Specific Minimum Irrigation Requirements under Extreme Drought

안용빈*, 홍은미**, 남원호***, 나규동****, 이선아*****
Yongbin An, Eun Mi Hong, Won-Ho Nam, Kyudong Na, Seonah Lee

요 지

기후변화로 인한 극한 가뭄 발생 빈도 및 가뭄 심도가 증가함에 따라 농업용수가 부족한 현상이 발생하고 있다. 농업용수의 부족은 곧 작물에 공급하는 용수공급량의 감소로 이어지며 이는 작물 생장 및 수확량에 영향을 미친다. 이에 극한 가뭄을 대비한 농업용수 공급 방안이 필요하며 가뭄 시 최소한의 물 공급을 통해 작물의 생장과 수확량을 유지할 필요가 있다. 작물마다 용수공급이 필요한 시기와 가뭄시 생장을 위해 요구하는 최소한의 용수공급량이 모두 다르기 때문에 작물별 물 사용 요구량을 파악하는 것이 중요하다. 본 연구에서는 작물별 최소 용수공급 기준을 산정을 위해 Test-bed 운영을 통한 용수공급량 저감 모니터링 분석을 수행하고자 한다. 이를 위해 강원대학교 부속농장에 위치한 밭 Test-bed에 용수공급 저감 모니터링 시스템을 구축하였다. Test-bed는 2×16m 크기의 직사각형 모양의 밭에 들깨를 모종하였다. Test-bed의 기상환경을 파악하기 위해 춘천신북에 위치한 기상관측소의 방재기상관측 데이터와 농업기상관측 데이터를 활용할 예정이다. 또한 기상 데이터를 바탕으로 작물에 필요한 최소 용수공급량을 파악하기 위해 증발산량을 산정할 계획이다. Test-bed 토양 내 수분 변화를 모니터링하기 위해 층위별로 토양수분·온도·EC센서를 설치하여 작물의 토양 내 수분, 이온 흡수 패턴을 파악할 계획이다. 또한 토양수분장력센서를 설치하여 작물의 가뭄 및 수분 스트레스를 파악하고자 한다. 드론 항공 촬영을 통해 작물 생육단계별 변화, 잎 온도 변화 등을 측정하여 용수공급에 따른 생육 모니터링도 함께 수행할 예정이다. 이와 같은 모니터링 시스템 운영을 통해 극한 가뭄 상황에서 작물이 요구하는 최소 용수를 공급시 나타나는 토양 변화 및 작물 생육 변화를 파악하고 적절한 수확량을 유지하는 체계적인 물 공급 전략 수립 및 운영 매뉴얼 작성을 위한 기초 자료로서 활용하고자 한다.

핵심용어: 가뭄, 증발산량, 최소 용수량, 토양수분, Test-bed

본 연구는 농림축산식품부의 재원으로 농림식품기술기획평가원의 기후변화대응지능형농업기반관리기술개발사업(RS-2025-02219764)의 지원을 받아 수행되었습니다.

* 준회원・강원대학교 지오에코시스템융합학과 박사과정・E-mail : dydqls910@kangwon.ac.kr
** 정회원・강원대학교 농업생명과학대학 생명·환경융합학부 환경과학전공 부교수・E-mail : eunmi.hong@kangwon.ac.kr
*** 정회원・한경국립대학교 사회안전시스템공학부 교수・E-mail : wonho.nam@hknu.ac.kr
**** 준회원・강원대학교 지오에코시스템융합학과 석사과정・E-mail : aswasw8987@kangwon.ac.kr
***** 준회원・강원대학교 지오에코시스템융합학과 석박사통합과정・E-mail : blueblue@kangwon.ac.kr

SMAP 기반 WCM 및 WCM-RF 모형의 100 m 격자 표층 토양수분 산정 성능 비교: 부여군 사례

Comparison of SMAP-based WCM and WCM-RF models for 100 m surface soil moisture estimation: A case study of Buyeo-gun

이정수*, 최아린**, 박정하***, 김지호****, 강석훈*****, 송정헌******
Jeong Soo Lee, Arin Choi, Jeongha Park, Jiho Kim, Seokhun Kang, Jung-Hun Song

요 지

농경지 표층 토양수분은 작물 생육, 관개용수 관리 및 농업가뭄 감시에 중요한 정보이다. Soil Moisture Active Passive (SMAP) 위성은 광범위한 지역의 토양수분 정보를 지속적으로 제공하지만, 본 연구에서 활용한 SMAP 자료는 약 9 km의 공간격자를 가지므로 개별 농경지 및 지역 단위의 세밀한 토양수분 변동성을 파악하는 데 한계가 있다. 반면 Sentinel-1 Synthetic Aperture Radar (SAR) 자료는 10 m 격자 단위의 후방산란 정보를 제공할 수 있어 보다 세밀한 공간규모의 토양수분 산정에 활용될 수 있으나, 레이더 후방산란 신호는 토양수분뿐만 아니라 식생 및 지표면 거칠기의 영향을 받는다. Water Cloud Model (WCM)은 레이더 후방산란 신호를 식생과 토양의 기여분으로 구분하여 식생의 영향을 고려하는 대표적인 반경험적 모형이지만, 고정된 매개변수를 적용할 경우 계절에 따른 작물 생육 및 지표면 상태의 변화를 충분히 반영하는 데 한계가 있을 수 있다. 본 연구에서는 충청남도 부여군 밭 농경지를 대상으로 WCM과 WCM-Random Forest (RF) 결합 모형을 구축하고, 100 m 격자 기반의 표층 토양수분 산정 성능을 비교하였다. 분석에는 2017년부터 2025년까지의 Sentinel-1, Sentinel-2 및 SMAP 위성자료를 활용하였으며, Sentinel-1의 10 m 격자 후방산란 자료를 포함한 위성자료를 100 m 분석격자로 구축하였다. 2017-2024년의 SMAP 토양수분 자료를 기준으로 WCM의 매개변수를 보정하고, RF가 WCM 산정값과 SMAP 토양수분 간의 잔차를 학습하도록 하여 WCM의 오차를 보정하였다. 2025년 자료는 모형 구축에 사용하지 않고 독립적인 평가자료로 활용하였으며, 결정계수 및 오차지표를 이용하여 WCM과 WCM-RF 모형의 토양수분 산정 성능을 비교하였다. 이를 통해 RF 기반 잔차 보정에 따른 WCM의 토양수분 산정 성능 개선 가능성을 평가하고, 공간규모가 상이한 다중 위성자료를 활용한 100 m 격자 표층 토양수분 공간상세화의 적용 가능성을 검토하였다. 본 연구의 결과는 향후 농경지 단위의 토양수분 정보 구축과 농업가뭄 감시 및 효율적인 농업용수 관리를 위한 기초자료로 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

핵심용어: 표층 토양수분, Water Cloud Model (WCM), Random Forest (RF), Sentinel-1, Sentinel-2, Soil Moisture Active Passive (SMAP), 공간상세화

이 성과는 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(RS-2026-25468845).

* 학생회원・충남대학교 지역환경토목학과 학부연구원・E-mail : ssu9952@naver.com
** 학생회원・충남대학교 지역환경토목학과 학부연구원・E-mail : kkkaaarrriiinnn@naver.com
*** 학생회원・충남대학교 지역환경토목학과 학부연구원・E-mail : ha6358@naver.com
**** 학생회원・충남대학교 지역환경토목학과 학부연구원・E-mail : kjh1029@o.cnu.ac.kr
***** 학생회원・충남대학교 지역환경토목학과 연구원・E-mail : 13ewq@o.cnu.ac.kr
****** 정회원・충남대학교 지역환경토목학과 교수・E-mail : j.song@cnu.ac.kr

농업환경보전 활동의 효과성 평가를 위한 실측 담수심 기반 논물관리의 환경영향 분석

Environmental Impact Assessment of Paddy Water Management Based on Observed Ponding Depth Data for Agricultural Environmental Conservation Activities

윤푸른*, 권승빈**, 박하진***, 김태겸****, 추병서*****, 최진용******, 김마가*******
Pu Reun Yoon, Seungbeen Kwon, Ha Jin Park, Taegyeom Kim, Byeong Seo Choo, Jin-Yong Choi, Maga Kim

요 지

논물관리는 농업용수 이용과 온실가스 배출에 영향을 미치는 주요 영농활동으로, 농업환경보전 활동의 중요한 관리요소 중 하나이다. 그러나 논물관리의 환경영향을 평가하기 위해서는 일정한 기준에 따라 설정된 물관리 시나리오뿐만 아니라 실제 영농현장에서 나타나는 담수와 건조의 변동성을 함께 고려할 필요가 있다. 본 연구에서는 실측 담수심 자료와 과정기반 모형을 연계하여 실제 논물관리에 따른 환경영향을 분석하고, 농업환경보전 활동의 효과성 평가를 위한 기초자료를 마련하고자 하였다. 경기도 파주시 19개 논 필지에 수위센서를 설치하여 재배기간 동안 담수심을 지속적으로 관측하였으며, 관측자료를 일 단위 자료로 가공하여 DNDC 모형의 물관리 입력자료로 활용하였다. 이를 기반으로 실제 농가 물관리 조건에서의 온실가스 배출량을 모의하고, 상시담수 및 논물얕게대기 등 대표적인 물관리 시나리오와 비교하여 실제 논물관리 특성에 따른 메탄 배출 양상을 분석하였다. 실제 논물관리 양상은 필지마다 서로 다르게 나타났으며, 이에 따라 메탄 배출량 또한 필지 간 큰 차이를 나타냈다. 건조가 거의 이루어지지 않은 필지에서는 상시담수와 유사한 수준의 메탄 배출량을 나타낸 반면, 건조가 자주 발생하거나 오랜 기간 지속된 필지에서는 상대적으로 낮은 메탄 배출량을 보였다. 또한 실제 농가 물관리 조건에서의 메탄 배출량은 상시담수보다 낮고 논물얕게대기보다 높은 수준으로 나타났다. 본 연구는 실측 담수심 자료와 과정기반 모형을 연계하여 실제 영농환경을 반영한 논물관리의 온실가스 배출 특성을 분석하였으며, 향후 농업환경보전 활동의 효과성 평가를 위한 기초자료로 활용될 수 있을 것으로 판단된다.

핵심용어: 논물관리, 농업환경보전 활동, 실측 담수심 자료, DNDC 모형, 온실가스 배출, 효과성 평가

본 연구는 농촌진흥청 국립농업과학원 농업환경보전정책지원기술개발 사업의 지원을 받아 연구되었음 (RS-2026-25505631, 과제명: 공익직불제·농업환경보전정책의 효과성 및 경제성 종합관리 기술개발).

* 정회원・공주대학교 지역건설공학과 조교수・E-mail : vnfms3259@snu.ac.kr
** 준회원・공주대학교 지역건설공학과 학사과정
*** 준회원・공주대학교 지역건설공학과 학사과정
**** 준회원・공주대학교 지역건설공학과 학사과정
***** 준회원・공주대학교 지역건설공학과 학사과정
****** 정회원・서울대학교 지역시스템공학과 교수・E-mail : iamchoi@snu.ac.kr
******* 정회원・서울대학교 대학원 생태·조경지역시스템공학부 박사과정・E-mail : mnkm53@snu.ac.kr

실측 기공 반응 동역학이 증산 추정에 미치는 영향

Effect of measured stomatal response dynamics on transpiration estimation

서범석*, 김귀훈**, 한상훈***, 최진용****
Beomseok Seo, Kwihoon Kim, Sang hoon Han, Jin-Yong Choi

Abstract

Evapotranspiration models estimate crop water use for irrigation scheduling. In physically based models, canopy transpiration depends on stomatal conductance. Most conductance models assume an instantaneous response to environmental change. However, stomatal conductance changes gradually toward a new steady state. These dynamics have rarely been quantified for use in evapotranspiration models. Stomatal dynamics were quantified in hot pepper (*Capsicum annuum*) under well watered and water deficit conditions. Leaf gas exchange was measured with an LI-6800 every 15 s during a PPFD sequence of dark, 50, 1500, and dark (μmol m^{-2} s^{-1}) at 400 and 800 ppm CO_2. Stomatal conductance reached 50% response 1.5 to 9.0 min later than assimilation (mean 3.9 min). Closure took 8.8 to 15.2 min to reach 90% of the change. Opening took 1.8 to 2.8 times longer than closure. Steady state conductance, assimilation, transpiration, and the Ball Berry slope were similar between water treatments. However, closure was 23% shorter under water deficit (10.3 vs 13.4 min). No such difference was found for opening. Doubling CO_2 had no consistent effect on response times. The measurements were then compared with a Farquhar model coupled with Ball Berry or Medlyn and calibrated to each leaf at steady state. Over each transition, transpiration was overestimated by up to 20% during opening and underestimated by 15 to 73% after darkening. Because of these dynamics, the models did not reproduce measured transpiration across the light transitions. A mechanistic approach to stomatal response may therefore improve evapotranspiration models, particularly at short time steps or under changing light conditions.

Key words: Evapotranspiration model, Stomatal response dynamics, Response time, Ball-Berry model, Hot pepper

This work was carried out with the support of "Research Program for Agriculture Science and Technology Development (Project No. RS-2025-02273020)" Rural Development Administration, Republic of Korea.

* 정회원・서울대학교 농업생명과학연구원 선임연구원・E-mail : sessi82@snu.ac.kr
** 정회원・서울대학교 농업생명과학연구원 선임연구원・E-mail : kgh0330@snu.ac.kr
*** 비회원・서울대학교 지역시스템공학 전공 박사과정・E-mail : paurin0421@snu.ac.kr
**** 정회원・서울대학교 지역시스템공학 전공 교수・E-mail : iamchoi@snu.ac.kr

국가 농업환경 모니터링을 통한 농촌 소유역 농업용수 수질의 시공간적 변동 및 장기 추세 평가

Long-term spatiotemporal changes in agricultural watershed water quality using national agro-environmental monitoring database

김동현*, 장태일**, 김학관***, 전상민****
Dong-Hyeon Kim, Taeil Jang, Hakkwan Kim, Sang-Min Jun

요 지

기후변화와 급격한 농업환경 변화로 인해 농업용수 수질의 불확실성이 증가함에 따라 체계적인 수질 모니터링 및 평가체계 구축의 필요성이 높아지고 있다. 국내에서는 국가 수질측정망을 통해 지속적인 수질 모니터링이 이루어지고 있으나, 표준유역의 주요 하천을 중심으로 운영되고 있어 농촌지역의 소하천 및 소규모 농업유역에 대한 수질자료는 상대적으로 부족한 실정이다. 본 연구에서는 농촌진흥청 국립농업과학원에서 구축 및 운영하고 있는 농업환경 변동조사 데이터베이스의 활용성을 제고하고, 소규모 농업유역의 수질을 체계적으로 평가하기 위한 표준화된 평가체계를 구축하고자 하였다. 이를 위해 2015년부터 2024년까지 전국 300개 이상의 농업용 하천 수질조사지점에서 수집된 장기 수질자료를 활용하였다. 연 3회(4월, 7월, 10월) 조사된 수질자료를 기반으로 Mann-Kendall(MK) 검정을 적용하여 농업용수 수질의 장기적인 시공간적 변화 및 경향성을 분석하였다. 또한 농업유역별 수질 상태를 종합적으로 평가하고 비교하기 위해 표준화된 수질평가 기법인 Nemerow Pollution Index(NPI)을 적용하였다. 나아가 장기 수질변화에 대한 통계적 경향성 분석과 표준화된 수질평가 결과를 인공지능 기반 분석기법과 연계함으로써 농업용수 수질평가의 신뢰성과 활용성을 향상시키고자 하였다. 본 연구에서 제안하는 평가체계는 국가 단위 농업환경 모니터링 자료를 활용하여 농업용수 수질의 시공간적 특성을 체계적으로 진단하고, 유역 단위 농업용수 수질관리 및 기후변화에 대응한 환경친화적 농업정책 수립을 위한 과학적 기초자료로 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

핵심용어: 농업용수, 통계분석, 농업환경 변동조사, 농촌 소유역, 수질

본 연구는 농촌진흥청 공동연구사업(과제번호: RS-2026-25517429)의 지원에 의해 이루어진 것임

* 정회원・전북대학교 지역건설공학과/스마트팜학과 조교수・E-mail : kdh4354@jbnu.ac.kr
** 정회원・전북대학교 지역건설공학과 교수・E-mail : tjang@jbnu.ac.kr
*** 정회원・서울대학교 국제농업기술대학원 부교수・그린바이오과학기술연구원 겸무연구원・E-mail : hkkimbest@snu.ac.kr
**** 정회원・농촌진흥청 국립농업과학원 연구사・E-mail : luckyjsm@korea.kr

단계적 시계열 품질관리를 적용한 전자파표면유속계 기반 농업용수 사용량 산정

Estimation of Agricultural Water Use Based on an Electromagnetic Surface Velocity Meter with Stepwise Time-Series Quality Control

조상욱*, 오동헌**, 백종석*** 김민국****, 장동우*****
Sanguk Cho, Dongheon Oh, Jongseok Baek, Minkuk Kim, Dong-U Jang

요 지

최근 기후변화와 수자원 이용 여건의 변화로 한정된 수자원을 효율적으로 관리하기 위한 이수 측면의 하천수 사용량 관리 중요성이 증대되고 있다. 특히 농업용수는 주요 하천수 이용 부문 중 하나로, 하천수 사용자는 허가 조건에 따라 매월 사용계획량 및 실적을 보고하고 있으나 실제 취수량에 대한 연속적인 계측자료가 충분하지 않아 보고자료의 정확성과 신뢰성을 객관적으로 검증하는 데 한계가 있다. 따라서 농업용수의 실제 이용현황을 정량적으로 파악하기 위해 신뢰성 높은 실시간 유량자료 확보가 필요하다

본 연구에서는 농업용수 취수시설인 능서1양수장을 대상으로 전자파표면유속계를 설치하여 실시간 유속자료를 취득하였다. 전자파표면유속계는 비접촉 방식으로 연속적인 유속자료를 확보할 수 있다는 장점이 있으나, 수표면의 국부적인 유속을 측정하기 때문에 하천 단면 전체의 평균유속을 직접적으로 대표하기에는 한계가 있다. 또한 센서로부터 취득되는 원시자료에는 이상값, 순간적인 변동 및 계측환경에 따른 불확실성이 포함될 수 있다. 이에 본 연구에서는 계측자료의 신뢰성 향상을 위해 원시 유속자료에 단계적 품질개선 데이터 프레임워크(Stepwise Quality-Control Framework)를 적용하여 신뢰성이 확보된 유속자료를 구축하였다. 이후 현장 유량측정 성과와의 관계를 이용하여 지표유속-평균유속 관계식(Index Velocity Method, IVM)을 개발하였으며, 이를 통해 10분 단위의 연속 유량자료를 산정하였다.

산정된 유량자료를 기반으로 동일 기간의 농업용수 하천수 사용 허가량 및 사용실적 보고량과 비교·분석하였다. 또한 실시간 전자파표면유속 자료를 이용한 IVM 기반 산정 유량과 기존의 수위-유량 관계곡선(H-Q) 및 전력량-유량 관계를 이용한 산정 결과를 비교하였다. 분석 결과, 각 방법으로 산정된 유량은 전반적인 시계열 변화 양상에서 유사한 경향을 나타냈으며, 방법별 산정 결과 간의 오차 또한 비교적 양호한 수준으로 나타나 전자파표면유속계를 활용한 농업용수 사용량 산정의 적용 가능성을 확인할 수 있었다.

특히 실시간 유속자료를 활용한 방법은 취수시설의 가동 및 유량 변화를 연속적으로 반영할 수 있어 월 단위로 집계되는 기존 사용실적 자료보다 실제 농업용수 이용 특성을 세밀하게 파악할 수 있는 장점이 있다. 이를 바탕으로 하천수 사용실적 보고량과 실시간 계측 기반 산정량을 비교함으로써 기존 보고자료의 적정성을 검토하고, 실제 농업용수 사용량을 보다 객관적으로 평가할 수 있을 것으로 판단된다.

본 연구 결과는 전자파표면유속계를 활용한 실시간 계측자료와 단계적 품질개선 기법을 결합함으로써 농업용수 사용량을 연속적이고 정량적으로 산정할 수 있음을 보여준다. 향후 하천수 사용실적 자료의 검증과 농업용수 이용현황 파악에 활용될 수 있으며, 신뢰성 있는 농업용수 사용량 자료 구축 및 효율적인 수자원 관리에 기여할 수 있을 것으로 기대된다.

핵심용어: 전자파표면유속계, 하천수, 농업용수, 데이터 프레임워크

* 비회원・인천대학교 건설환경공학과 박사수료(한국수자원조사기술원 책임연구원)・E-mail : chosanguk@kihs.re.kr
** 비회원・인천대학교 건설환경공학과 박사수료(한국수자원조사기술원 선임연구원)・E-mail : dh@kihs.re.kr
*** 비회원・한국수자원조사기술원 수문자료디지털자동화추진단 선임연구원・E-mail : bjs@kihs.re.kr
**** 비회원・한국수자원조사기술원 수문자료디지털자동화추진단 전임연구원・E-mail : mk4223@kihs.re.kr
***** 정회원・인천대학교 도시환경공학부 부교수・E-mail : jdw@inu.ac.kr

농어촌물이용

C-P-3

THE KOREAN SOCIETY OF AGRICULTURAL ENGINEER

벼 지능형 물관리 솔루션을 활용한 관개용수 절감효과 분석

Analysis of Irrigation Water Savings Effects Using an Intelligent Rice Water Management Solution

김영범*, 김덕현**
Youngbum Kim, Deokhyeon Kim

요 지

관행적인 벼 재배는 상시담수로 인하여 농업용수를 과도하게 사용하며 담수상태의 논은 온실가스 메탄(CH_4)의 주요배출원으로 인위적 지구 메탄 가스 배출량의 8% 차지한다(Saunois et al., 2020). 기후변화에 따른 물부족 및 탄소배출 문제와 관련, 적절한 물관리를 통하여 담수상태의 논물 사용을 조절하고 온실가스 메탄 배출량을 감소할 수 있다. 이에 따라 정부에서는 온실가스감축 목표 달성을 위해'저탄소 벼 논물관리기술보급 시범사업'을 '22년부터 추진하고 농가들의 벼 물관리 방식을 논물얕게대기나 간단관개(AWD)로 전환을 유도하고 있다. 한편, 논 수위를 실시간으로 모니터링 하고 목표 수위를 기준으로 관개량을 자동으로 제어하는 지능형 물관리 시스템은 탄소절감, 농작업 생력화에 기여한다.

본 연구에서는 전남광주통합특별시 나주시 반남면에 조성된'첨단무인자동화 농업생산 시범단지'의 벼 지능형 물관리 솔루션을 활용하여 논물얕게대기, 간단관개(AWD), 상시담수 등 벼 생육단계별 담수심 시나리오를 다르게 적용하고 관개용수의 절감효과를 벼 생육상태 및 생산량과 함께 비교분석하였다. 해당 관수설비는 개수로가 아닌 증발산량을 최소로 한 용수관로(PE관 D100~200mm)를 사용하며 포장별 개도 급수밸브 수량에 맞추어 양수장내 부스터펌프로 송수 압력을 조정할 수 있다.

논 테스트베드(6,900㎡)는 3개의 필지로 구분하여 물관리 시나리오를 다르게 적용하였고, 각 필지의 IoT센서로부터 기상, 토양수분, 담수심, 유량 데이터와 작물생육 이미지를 실시간으로 모니터링하였으며, 자동물관리 플랫폼에서 원격제어를 통해 수위를 자동제어를 할 수 있도록 구성하였다. 벼 육묘는 새청무를 30일간 실시하고, 재식거리 30cm×22cm로 6월 4일 기계이앙 하였다. 조사내용은 생육단계별 물 공급량, 관개 개시 수위에서 목표 수위까지의 물 공급량, 기상정보, 토양(EC, 습도), 관수량, 작물생육, 수확량 등으로 구성되었다. 생육조사는 이앙후 7주부터 수확기까지 주1회 실시하였고, 이와 동시에 드론항공촬영으로 다중분광이미지를 획득하여 벼의 식생지수를 분석하였다.

분석결과 물절감효과는 논물얕게대기>간단관개>상시담수 순으로 나타났으며, 간단관개(AWD)와 논물얕게대기 물관리 시나리오를 적용하여 논관개를 자동화함으로써, 기존 관행대비 20%~30%의 관개용수 절감 효과를 나타내었다. 벼 생육에 있어 경수변화는 간단관개>논물얕게대기>관행 순으로 나타났고, 출수기이후 수장, 이삭수 변화 또한 간단관개>논물얕게대기>관행 순으로 나타났다. 한편 생산량의 비교에서는 간단관개(AWD) 및 논물얕게대기 처리구는 관행 상시담수 대조군과 비교하여 최종 수확량(kg/10a)에 있어서 다소 증가하는 경향을 나타내었다. 이는 주기적인 벼 논 말리기와 얕은 수위 관리로 인해서 벼의 뿌리 발달이 촉진되어 후기 도복 저항성이 향상되어 수확작업시 손실이 저감되는 것으로 판단되었다. 결론적으로 벼 지능형 물관리 솔루션을 사용하여 서로 다른 담수심 시나리오를 적용한 재배실험에서 간단관개(AWD) 및 논물얕게대기 물관리법이 관행대비 관개용수를 절감하면서도 벼의 생산성은 크게 차이나지 않음을 알수 있었다. 결론적으로 벼 지능형 물관리 솔루션은 기후변화로 인한 수자원 부족, 농촌고령화 및 노동력 부족문제에 대응하고, 온실가스 저감에 기여하는 노지스마트농업 요소기술로 평가된다.

핵심용어: 스마트 농업, 벼 물관리, 관개용수 절감, 간단관개(AWD), 탄소중립

* 전남광주통합특별시 농업기술원 스마트농업센터 지방농업연구사・E-mail : kyb999@korea.kr
** 전남광주통합특별시 농업기술원 스마트농업센터 지방농업연구관・E-mail : kimdh5760@korea.kr

AquaCrop을 이용한 수분 스트레스 수준별 고추 수량 및 물생산성 평가

Evaluation of Hot Pepper Yield and Water Productivity under Different Water Stress Levels Using AquaCrop

김귀훈*, 서범석**, 조하영*** 김마가****, 최진용*****
Kwihoon Kim, Beomseok Seo, Hayeong Cho, Maga Kim, Jin-Yong Choi

Abstract

Water stress is a major factor affecting crop growth and yield, and quantitative assessment of yield reduction under varying soil water conditions is essential for evaluating agricultural water management. This study aimed to evaluate the growth and yield responses of hot pepper (Capsicum annuum L.) to different soil water conditions and to assess the applicability of AquaCrop for predicting yield reduction under water stress. A pot experiment was conducted using 15 pots under five soil water treatments corresponding to 100, 80, 60, 40, and below 20% of field capacity, with three replicates per treatment. Soil water content and irrigation amount were monitored throughout the growing period, while plant height, stem diameter, number of nodes, and fruit yield were measured to characterize crop responses to water stress. AquaCrop was parameterized and evaluated using measured meteorological, soil, irrigation, soil water, and crop data. The ability of the model to reproduce soil water dynamics and yield responses across different water stress levels was evaluated by comparing simulated and observed values. Water productivity and yield reduction were also analyzed according to water stress intensity. The validated model is intended to provide a framework for predicting hot pepper yield reduction under simulated soil water conditions, enabling the impacts of various soil water environments on crop productivity to be quantitatively assessed.

Key words: AquaCrop; hot pepper; soil water; water stress; yield reduction; water productivity

This work was carried out with the support of "Research Program for Agriculture Science and Technology Development (Project No. RS-2025-02273020)" Rural Development Administration, Republic of Korea

* 정회원・서울대학교 농업생명과학연구원 선임연구원・E-mail : kgh0330@snu.ac.kr
** 정회원・서울대학교 농업생명과학연구원 선임연구원・E-mail : sessi82@snu.ac.kr
*** 비회원・서울대학교 조경・지역시스템공학부 학사과정・E-mail : pitapat@snu.ac.kr
**** 정회원・서울대학교 대학원 생태・조경지역시스템공학부 박사과정・E-mail : mnkm53@snu.ac.kr
***** 정회원・서울대학교 대학원 생태・조경지역시스템공학부 교수・E-mail : iamchoi@snu.ac.kr

Projecting Future TOC in Data-Scarce Agricultural Reservoirs: A WGAN-Enhanced Framework Revealing the Importance of Dynamic Variability

Christian Joseph Siose*, Yeonji Jeong**, Jeongho Han***,
Dongjun Lee****, Kyoung Jae Lim*****

Abstract

Climate change poses substantial risks to water quality in agricultural reservoirs, yet machine-learning (ML) projections are often constrained by limited long-term observations. This study developed a framework for projecting future Total Organic Carbon (TOC) concentrations by integrating Wasserstein Generative Adversarial Network (WGAN)-based data augmentation with ML models. The framework was applied to two contrasting South Korean reservoirs representing pristine and polluted conditions. Historical datasets (n=60 per reservoir) were augmented using WGAN and evaluated using Kolmogorov-Smirnov (KS), Anderson-Darling (AD), and Energy Distance (ED) tests, which indicated distributional similarity between observed and synthetic data. Although TOC in Sacheon Reservoir showed significant differences in the KS and AD tests ($p<0.05$), the non-significant ED test indicated overall distributional similarity. Nine ML models were optimized and evaluated, with the M5 Model Tree with Stochastic Gradient Boosting (M5-SGB) showing the best performance. The model was used to project TOC from 2025–2100 using an ensemble of 12 CMIP6 Global Climate Models under SSP2-4.5 and SSP5-8.5 scenarios. WGAN augmentation showed model-dependent benefits, substantially improving some algorithms while providing limited improvement to others. Future projections indicated increasing TOC in both reservoirs, but responses differed by site. The pristine yet temporally variable reservoir showed significant vulnerability even under SSP2-4.5, whereas the polluted but relatively stable reservoir exhibited a significant trend only under SSP5-8.5. These findings demonstrate that climate vulnerability depends not only on current water-quality status but also on temporal variability, providing a framework for risk-based reservoir monitoring and management under data-limited conditions.

Key words: Reservoir water quality, Total organic carbon, Climate Change, Machine Learning, WGAN, Data Augmentation

This work was supported by Korea Institute of Planning and Evaluation for Technology in Food, Agriculture and Forestry (IPET) through Intelligent Agricultural Infra Management for Climate Change Development Program, funded by Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs (MAFRA) (RS-2025-02263904).

* Member · Interdisciplinary Program in Earth Env. System Sci. & Eng., Kangwon National University; Graduate Student; E-mail : christiansiose18@gmail.com

** Member · Interdisciplinary Program in Earth Env. System Sci. & Eng., Kangwon National University; Graduate Student; E-mail : jyj4977@gmail.com

*** Member · Agriculture and Life Sciences Research Institute, Kangwon National University; Senior Researcher; E-mail :hanjeongho24@kangown.ac.kr

**** Member · Agriculture and Life Sciences Research Institute., Kangwon National University; Senior Researcher; E-mail :dj90lee@gmail.com

***** Member · Dept. of Regional Infrastructure Eng., Kangwon National University, Professor; E-mail : kjlim@kangwon.ac.kr

PINN 기반 센서 데이터를 활용한 스마트 온실 미기후 매개변수의 재구성 및 예측

PINN-Based Reconstruction and Prediction of Smart Greenhouse Temperature and Velocity Field from Sparse Sensors

아니스 라비우*, 나욱호**, 이종혁***, 한일우****, 류현*****, 김서윤******, 곽찬우*******, 전다현********, 이상익*********†

Anis RABIU, Na Wook Ho, Jonghyuk Lee, Ilwoo Han, Hyeon Ryu, Seoyun Kim, Kwak Chan-woo, Dahyun Jeon, Sangik Lee

Abstract

This study developed a Physics-Informed Neural Network (PINN) framework for reconstructing and predicting two-dimensional greenhouse temperature and air-velocity fields from sparse measurements. The framework incorporates governing physical constraints through the heat equation for temperature and the Navier–Stokes equations for airflow, while simultaneously learning from available sensor observations. Fully connected neural networks were trained using data, physics, boundary, and initial-condition losses with adaptive learning-rate optimization for up to 10,000 epochs. Experimental measurements from a single-span smart greenhouse were used for model training and independent validation. The temperature PINN demonstrated strong agreement with measured conditions, achieving R^2 = 0.87, RMSE = 0.89 °C, and MAE = 0.58 °C, while reproducing the spatial and temporal variation of greenhouse temperature. The velocity PINN captured the dominant airflow circulation patterns across the greenhouse domain, although reduced accuracy was observed near boundary regions, highlighting the influence of boundary conditions and flow representation. Overall, the results demonstrate the potential of PINNs as physics-consistent and data-efficient surrogate models for reconstructing key greenhouse environmental fields from sparse sensing. The proposed framework provides a foundation for rapid environmental assessment and future development of real-time greenhouse climate control and energy-optimization systems.

Key words: Air–Velocity; Greenhouse microclimate; Meta–model; PINN; Temperature distribution;

This work is supported by the National Research Foundation of Korea (NRF) under the support of the Korean government (Ministry of Science and ICT) with research funding (RS-2025-00560277).

본 성과물(논문,산업재산권,품종보호권 등)은 한국 정부(과학기술정보통신부)의 지원을 받아 한국연구재단(NRF)에서 제공한 연구비(RS-2025-00560277)로 생산된 중간 수준의 품질을 지닌 결과물입니다.

* 정회원・경북대학교 농업과학기술연구소 연구원・E-mail : rabiuanis@gmail.com, rabiuanis@knu.ac.kr
** 정회원・경북대학교 농업과학기술연구소 연구원・E-mail : wooks121@knu.ac.kr
*** 정회원(종신회원)・경북대학교 농업과학기술연구소·연구초빙교수・E-mail : jonghyuk.lee@knu.ac.kr
**** 준회원・경북대학교 농업토목공학과 석사과정・E-mail : gksdn6222@naver.com
***** 준회원・경북대학교 농업토목공학과 학사과정・E-mail : congsister1@knu.ac.kr
****** 준회원・경북대학교 농업토목공학과 학사과정・E-mail : seoyunkim0403@gmail.com
******* 준회원・경북대학교 농업토목공학과 학사과정・E-mail : rcd1106@knu.ac.kr
******** 준회원・경북대학교 농업토목공학과 학사과정・E-mail : ekgus050103@naver.com
********* 정회원・경북대학교 농업토목공학과 조교수・E-mail : sangik@knu.ac.kr

가축 운송 중 환경 스트레스 평가를 위한 지능형 멀티모달 모니터링 프레임워크 개발

Development of an Intelligent Multimodal Monitoring Framework for Assessing Environmental Stress in Livestock Transportation

Rajagukguk Rial Arifin*, 임준홍**, 김영준***, 이휴경****, 조성환*****, 서정흠******, 김명선*******, 이세연********, 박지연*********, 이채린**********, 박진선***********, 홍세운*********** †

Rial Arifin Rajagukguk, Junhong Im, Youngjoon Kim, HyuGyeong Lee, Sunghwan Cho, Jeong Heum Seo, Myeongseon Kim, Se-yeon Lee, Ji-yeon Park, Chae-rin Lee, Jinseon Park, Se-woon Hong

Abstract

The transportation of livestock exposes animals to continuously changing environmental and operational conditions that may compromise animal welfare and increase stress. This study presents the development of an intelligent multimodal monitoring framework for assessing environmental conditions and potential stress responses of cattle during road transportation. The proposed system integrates real-time measurements of the truck microclimate, including air temperature, and relative humidity, with vehicle operational data such as geographical location, speed, and motion characteristics. Video recordings are simultaneously collected to capture behavioral responses and activity patterns of cattle during transportation. By integrating environmental, vehicle, and behavioral information, the study aims to characterize the dynamic interactions between transportation conditions and livestock responses. Artificial intelligence and machine learning approaches are employed to analyze the multimodal data and identify patterns associated with unfavorable environmental conditions and potential stress. The proposed framework provides a foundation for intelligent and real-time livestock welfare monitoring during transportation. The outcomes of this research may contribute to improved transportation management strategies, early detection of stressful conditions, and the development of data-driven systems for enhancing animal welfare during road transport.

Key words: Livestock transportation, Animal welfare, Truck microclimate, Multimodal monitoring

This research was supported by Basic Science Research Program through the National Research Foundation of Korea(NRF) funded by the Ministry of Education(RS-2025-00518097).

* 정회원・전남대학교 농업생명과학대학 지역·바이오시스템공학과 연구교수・E-mail : rialarifin@jnu.ac.kr
** 정회원・전남대학교 대학원 지역·바이오시스템공학과 & BK21 기후지능형 간척지 농업 교육연구팀 석사・E-mail : 214199@jnu.ac.kr
*** 정회원・전남대학교 농업생명과학대학 지역·바이오시스템공학과 학부연구생・E-mail : kimyj4644@jnu.ac.kr
**** 정회원・전남대학교 농업생명과학대학 지역·바이오시스템공학과 학부연구생・E-mail : dlgbrud0307@gmail.com
***** 정회원・전남대학교 농업생명과학대학 지역·바이오시스템공학과 학부연구생・E-mail : whtjghks0320@jnu.ac.kr
****** 정회원・전남대학교 농업생명과학대학 지역·바이오시스템공학과 학부연구생・E-mail : tiger1819@jnu.ac.kr
******* 정회원・전남대학교 농업생명과학대학 지역·바이오시스템공학과 학부연구생・E-mail : kms2464@jnu.ac.kr
******** 정회원・전남대학교 대학원 지역·바이오시스템공학과 박사후 연구원・E-mail : seyeonn@jnu.ac.kr
********* 정회원・전남대학교 대학원 지역·바이오시스템공학과 & BK21 기후지능형 간척지 농업 교육연구팀 박사・E-mail: qkrwldus7749@jnu.ac.kr
********** 정회원・전남대학교 대학원 지역·바이오시스템공학과 & BK21 기후지능형 간척지 농업 교육연구팀 박사・E-mail: chaerinl@jnu.ac.kr
*********** 정회원・전남대학교 농업생명과학대학 기후변화대응농생명연구소 연구교수・E-mail : icarus381 @jnu.ac.kr
************ 정회원・전남대학교 농업생명과학대학 지역·바이오시스템공학과 & BK21 기후지능형 간척지 농업 교육연구팀 부교수・E-mail : hsewoon@jnu.ac.kr †

논 중심 간척지 유역에서 작물 다양화가 지하수 함양과 용수 생산성에 미치는 영향

Effects of crop diversification on groundwater recharge and agricultural water productivity in a paddy-dominated reclaimed watershed

김동현*, 장태일**, 김학관***, 전상민****
Dong-Hyeon Kim, Taeil Jang, Hakkwan Kim, Sang-Min Jun

요 지

논 중심 농업지역에서 작부체계의 다양화가 확대되고 있으나, 벼와 밭작물의 윤작이 지하수 함양을 비롯한 작물 생산성 및 영양물질 배출에 미치는 장기적인 영향에 대한 연구는 여전히 부족한 실정이다. 본 연구에서는 새만금 간척지역 내 농업유역을 대상으로 연속적인 벼 단작에서 다양한 윤작체계로의 전환이 유역의 장기적인 수문순환과 수질에 미치는 영향을 평가하였다. 특히 논에서의 담수관개 감소, 작물별 근권 및 증발산 특성의 차이, 계절별 토양수분 및 침투 변화 등 작부체계 전환에 따른 물수지 및 지하수 함양 특성의 변화를 분석하였다. 이를 위해 유역수문모형인 SWAT과 지하수모형인 MODFLOW를 연계하여 벼 단작, 벼-밀, 옥수수-밀 및 콩-밀의 4개 대표 작부체계를 모의하였다. 작부체계별 하천유출량, 지하수위, 총질소(T-N) 부하량을 분석하였으며, 작물 생산량을 기반으로 물 생산성 및 물이용효율을 평가하였다. 모형은 관측된 수문, 수질, 그리고 작물 생산량을 적정 수준으로 재현하였다. 분석 결과, 벼-밀 윤작은 연속적인 벼 단작과 비교하여 지하수 함양량을 증가시키는 동시에 물 생산성과 물이용효율을 향상시키는 것으로 나타나, 작부체계 다양화가 농업 생산성과 지하수 관련 기능을 동시에 개선할 수 있는 가능성을 보여주었다. 논에서 밭작물 중심으로 전환되는 옥수수-밀 및 콩-밀 윤작은 유역 규모의 하천유출량에는 상대적으로 작은 변화를 나타냈으나, 지하수 함양을 유지하거나 소폭 증가시키면서 장기적으로 총질소 부하량을 감소시킬 가능성이 있는 것으로 분석되었다. 이러한 결과는 논 중심 간척유역에서 작부체계 다양화, 특히 벼-밀 윤작이 농업 생산성을 유지·향상시키면서 지하수의 지속가능성과 영양물질 관리를 개선할 수 있는 실질적인 대안이 될 수 있음을 보여준다. 또한 본 연구는 논 중심 농업지역에서 밭작물 도입에 따른 지표수-지하수 상호작용과 장기적인 지하수 함양 변화를 정량적으로 평가함으로써 지속가능한 농업수자원 관리 및 작부체계 전환 정책 수립을 위한 기초자료를 제공할 수 있을 것으로 판단된다.

핵심용어: 논, 작물 윤작, 수문, 수질, 지하수, 물이용효율, 물 생산성

본 연구는 농촌진흥청 공동연구사업(과제번호: RS-2026-25517429)의 지원에 의해 이루어진 것임

* 정회원・전북대학교 지역건설공학과/스마트팜학과 조교수・E-mail : kdh4354@jbnu.ac.kr
** 정회원・전북대학교 지역건설공학과 교수・E-mail : tjang@jbnu.ac.kr
*** 정회원・서울대학교 국제농업기술대학원 부교수・그린바이오과학기술연구원 겸무연구원・E-mail : hkkimbest@snu.ac.kr
**** 정회원・농촌진흥청 국립농업과학원 연구사・E-mail : luckyjsm@korea.kr

비접촉식 계측 기반 하천수 사용량 수집 및 품질관리: 시험유역 적용 사례

Collection and Quality Control of River Water Usage Data Based on Non-contact Measurement: A Case Study of a Test Basin

오동헌*, 조상욱**, 백종석***, 김민국****, 안진주*****, 장동우******
Dongheon OH, Sanguk Cho, Jongseok Baek, Minkuk Kim, Jinju An, Dong-U Jang

요 지

본 연구는 하천수의 적정 관리와 효율적인 물관리시스템 운영을 위해 비접촉식 계측 장비를 활용한 실시간 하천수 사용량 수집 방안과 품질관리 체계를 제안하고, 시험유역 운영을 통한 실증 사례를 제시하였다. 현행 하천수 사용량 자료는 주로 사용자의 간접적인 월 단위 입력에 의존하고 있으며, 가동시간에 따른 환산유량 등 간접 계측을 적용하거나 농업용수 회귀율을 일괄적으로 35%로 적용하는 등 자료의 객관성과 실시간 관리 측면에서 한계가 존재한다. 이러한 한계를 극복하기 위해 취·방류수량 계통이 단순한 벼농사 수혜면적을 시험유역으로 선정하여 비접촉식 계측 기반의 실시간 유량측정 시스템을 구축하였다. 개수로에는 전자파표면유량계와 수위계를 설치하여 수위-유량관계식을 개발하였고, 양수관에는 초음파관유량계 등을 활용하여 계측을 수행하였다. 현장 검증 결과, 개수로에 설치된 전자파표면유량계는 평균 8.1%, 양수관의 관유량계는 4.3%의 정확도를 보여 하천수 수량 파악에 적합한 것으로 평가되었다. 아울러 현장에서 10분 주기로 계측된 자료는 첨단 계측장비를 이용하는 한강홍수통제소의 IRDiMS (Integrated Real-time Discharge Measurement System) 수신서버로 전송된다. 수집된 자료는 처리서버에서 품질관리를 거쳐 자동유량DB에 저장되며, 이후 국가수문DB 및 하천수사용관리시스템과 실시간으로 연계되도록 수집 및 관리 체계를 마련하였다. 결과적으로 본 연구의 시험유역 운영 사례와 실시간 품질관리 연계 방안은 객관적이고 표준화된 하천수 사용량 계측의 신뢰도를 높이고, 정확한 취수량 및 회귀수량 산정을 통해 국가 하천수 관리 제도를 개선하는 데 기여할 것으로 기대된다.

핵심용어: 하천수, 하천수사용량, 시험유역, IRDiMS

* 비회원・인천대학교 건설환경공학과 박사수료(한국수자원조사기술원 선임연구원)・E-mail : dh@kihs.re.kr
** 비회원・인천대학교 건설환경공학과 박사수료(한국수자원조사기술원 책임연구원)・E-mail : chosanguk@kihs.re.kr
*** 비회원・한국수자원조사기술원 선임연구원 공학박사・E-mail : bjs@kihs.re.kr
**** 비회원・한국수자원조사기술원 전임연구원・E-mail : mk4223@kihs.re.kr
***** 비회원・한국수자원조사기술원 연구원・E-mail : dkswlswn0221@kihs.re.kr
****** 비회원・인천대학교 건설환경공학과 부교수・E-mail : jdw@inu.ac.kr

새만금 농생명용지 지하수와 생태환경용지의 수위 간 변화 특성 분석

Analysis of Groundwater Level Dynamics and Eco-Environmental Surface Water Interaction in Saemangeum Agricultural Land

손재권*, 송재도**, 함종화***, 윤상원****, 임병찬*****
Jaegwon Son, Jaedo Song, Jonghwa Ham, Sangwon Yoon, Byeongchan Im

요 지

새만금 간척지의 면적은 총 40,900ha이며 이중 내부개발 조성되는 토지 면적은 29,100ha이고, 새만금 담수호 11,800ha로 구성하고 있다. 이중 비농업적 활용면적은 전체 개발면적의 67.6%인 19,670ha이고, 순수 농업목적의 농생명용지는 32.4%인 9,430ha로 계획되어 있다(SDIA, 2021). 이중 농생명용지는 9,430ha 중 2023년 12월 기준 77%인 7,275ha 조성이 완료되었고, 나머지 2,155ha는 조성중에 있다(KRC., 2025). 일반적으로 하천수위 하강은 인근 지역 지하수위를 강하시켜 지하수 흐름을 변화시키며, 이는 주변 농경지에서의 지하수 이용에 영향을 미칠 수 있고(Lee et al., 2019), 하천의 수문개방에 따라 상류 지역의 지하수위 변동이 불가피하고 지하수 시설의 깊이가 얕은 일부 지역의 경우 지하수 이용 장애가 발생할 것으로 판단되고 있다(Cha, 2014). 따라서, 새만금 농생명용지와 같이 새만금 호, 새만금 생태환경용지, 농경지 지하수위 역시 상호간의 수위변화에 대한 분석을 통해 새만금 호의 수위변화가 새만금 생태환경용지에 미치는 영향에 대한 분석이 필요하고, 다음으로 생태환경용지 저류지의 수위가 농생명용지에 미치는 영향에 대한 검토가 필요할 것으로 여겨진다.

이에 본 연구는 새만금 간척지 농생명용지 중 주요 공구별 지하수 수위, 인접한 환경생태용지의 수위변화 조사를 위해 경작지에 Hydros 21을 설치하였다. 새만금 간척지 농생명용지 공구별로 지하수위 및 환경생태용지 수위간의 변화를 분석하여 농지에 미치는 영향에 대한 기초 자료 확보, 이에 대한 대응책 마련에 활용이 가능할 수 있을 것으로 판단된다.

핵심용어: 새만금, 농생명용지, 지하수위, 생태환경용지 수위

* 정회원・전북대학교 지역건설공학과 명예교수・E-mail : sjg@jbnu.ac.kr
** 정회원・전북대학교 지역건설공학과 강의초빙교수・E-mail : song352@naver.com
*** 정회원・한국농어촌공사 농어촌연구원・E-mail : drhaam@ekr.or.kr
**** 준회원・전북대학교 지역건설공학과 연구원・E-mail : dbstkddnjs48@naver.com
***** 준회원・전북대학교 지역건설공학과 대학원・E-mail : mandda@naver.com

농업농촌환경

D-P-3

THE KOREAN SOCIETY OF AGRICULTURAL ENGINEER

토양탄소 통합영향평가를 위한 Pre-MRV Bridge 개발

Development of a Pre-MRV Bridge for Soil Carbon Integrated Impact Assessment

남내현*, 이라온**, 한승헌***, 최용훈****, 이관재*****
Naehyeon Nam, Raon Lee, Seungheon Han, Yonghun Choi, Gwanjae Lee

요 지

토양기반 탄소흡수기술의 통합영향평가에는 토양탄소와 온실가스 관측, 수문·공간정보, 실험실 분석 및 과정모형 산출물 등 다양한 자료가 활용된다. 그러나 다양한 연구 및 기관에서 생산되는 자료는 형식·단위·시간 및 공간적 범위가 달라 산정과 보고에 일관되게 활용하기 어렵다. 본 연구에서는 통합영향평가 플랫폼 구축에 앞서 연구자료를 표준화하고 향후 측정·보고·검증(MRV) 연계를 지원하는 Pre-MRV Bridge를 설계하였다. Pre-MRV Bridge는 자료 수집·표준화·품질관리와 모델 입출력 연계를 담당하는 측정·산정(M), 승인된 산정 결과와 근거를 보고후보로 구성하는 보고(R), 보고패키지를 대상으로 증빙·변경 이력·검토의견을 관리하는 검증지원(V)을 하나의 공통 데이터모델로 연결하는 기능구조를 설계하고 개발하였다. 본 연구의 성과인 Pre-MRV Bridge는 향후 토양기반 탄소흡수기술 통합영향평가 플랫폼과 MRV 플랫폼간의 자료의 공유를 원활하게 지원하고, 향후 개발될 통합영향평가 플랫폼의 기초데이터를 확보할 수 있을 것으로 기대된다.

핵심용어: Pre-MRV Bridge, 탄소흡수기술, 통합영향평가

본 결과물은 기후에너지환경부의 재원으로 한국환경산업기술원의 국가NDC 달성 기여를 위한 토양기반 환경기술 개발사업의 지원을 받아 연구되었습니다(RS-2026-25504681)

* 정회원・(주)일엠연구소 과장・E-mail : nnh@ilem.co.kr
** 비회원・(주)일엠연구소 주임・E-mail : raon@ilem.co.kr
*** 비회원・(주)일엠연구소 사원・E-mail : hsh@ilem.co.kr
**** 정회원・(주)일엠연구소 이사・E-mail : yhchoi@ilem.co.kr
***** 정회원・(주)일엠연구소 대표이사・E-mail : gwanjae2@ilem.co.kr

유공관 부직포 필터 적용 유무에 따른 층위별 용적토양수분함량 변화

Changes in Volumetric Soil Water Content at Different Soil Depths with and without a Nonwoven Filter on Perforated Pipes

신종호*, 최유진**, 박상혁***, 이준수****, 조상민*****, 박채영******, 구재혁*******, 김웅********, 연재흠*********, 박찬기**********

Jongho Shin, Yujin Choi, Sanghyuk Park, Junsu Lee, Sangmin Jo, Chaeyoung Park, Jaehyuk Koo, Woong Kim, Jaeheum Yeon, Changi Park

요 지

지하배수 유공관 암거공법에서 유공관에 적용되는 부직포 필터 유무에 따른 층위별 용적토양수분함량의 변화 특성을 평가하기 위하여 토양 수분 공급 및 지하수위 제어가 가능한 토양수분공급 시스템 실험실을 구축하였다. 해당 시스템은 30×30 mm 각관 프레임으로 제작된 3,000×3,000×800 mm 규모의 구조물과 2,500×3,000×800 mm 내부 수조로 제작하였다. 제작한 수조에는 유공관 3본 및 개폐밸브, 층위별토양수분센서, 데이터로거를 설치하여 수분 공급에 따른 용적토양수분함량 변화를 시계열로 분석할 수 있도록 설계하였다. 각 실험군에 동일한 유량을 공급하였으며, 수분공급조건은 300 mm 정수두 조건을 적용하였다. 유공관에 부직포 적용 조건과 미적용 조건을 각각 토양수분공급의 변수로 설정하였으며, 부직포를 적용한 유공관은 내부로 토립자가 유입되는 것을 저감하기 위한 측면에서 적용하였다. 층위별 용적토양수분함량 특성을 비교·분석 하는 조건으로는 유공관 3본 중 1본을 단독 급수하는 조건으로 설정했다. 본 연구에서는 기준 수위를 설정하기 위해서 가뭄의 시기의 콩 일증발산량을 기반으로 작물 필요공급수량을 산정하였고, 층위별 최소 용적토양수분함량을 기준으로 삼았다. 일반 가뭄 조건에서는 콩의 일증발산량이 5 mm/day 이며, 7일을 기준으로 산출한 필요수량은 35 mm이다. 이를 최소 용적토양수분함량으로 환산할 경우, 층위 150 mm 또는 층위 600 mm 기준으로 각각 0.233 m^3/m^3와 0.058 m^3/m^3로 확인된다. 실험 결과, 150 mm 및 600 mm 층위에서 기준 수치에 대하여 모두 만족하는 용적토양수분함량을 보였다. 공급 초기에는 용적토양수분함량이 급격히 증가하는 경향을 나타내었으며, 이후 일정 구간에서는 그 경향이 층위별로 안정적으로 유지되는 양상을 나타내었다. 층위별 분석 결과로는 600 mm 층위에서 용적토양수분함량이 비교적 높게 나타나 깊이에 따른 특성차이를 확인할 수 있었다. 부직포 필터 적용 유무에 따른 분석 결과로는 부직포 필터를 미적용한 조건에서 용적토양수분함량의 증가폭이 상대적으로 큰 추세를 보였으며, 부직포 필터를 적용한 조건에서는 층위별 용적수분변화량이 비교적 완만한 것을 확인할 수 있었다. 이는 유공관 부직포 필터의 적용 여부에 따라 토양 내 수분 이동 및 유지 특성에 영향을 미칠 수 있음을 의미한다.

핵심용어: 유공관, 부직포, 용적토양수분함량, 토양수분센서

본 성과물(논문, 산업재산권, 품종보호권 등)은 농촌진흥청 연구사업(과제번호 : RS-2025 02215069) 및 농림축산식품부의 재원으로 농림식품기술기획평가원의 기후변화대응지능형농업기반관리기술개발사업의 지원을 받아 연구되었음(RS-2025-02263147)

* 학생회원・국립공주대학교 지역건설공학과 학부과정・E-mail : jongho43@smail.kongju.ac.kr
** 학생회원・국립공주대학교 지역건설공학과 학부과정・E-mail : tinacyj0203@naver.com
*** 학생회원・국립공주대학교 지역건설공학과 학부과정・E-mail : sam040220@naver.com
**** 학생회원・국립공주대학교 지역건설공학과 학부과정・E-mail : dlwnstn0123@gmail.com
***** 학생회원・국립공주대학교 지역건설공학과 학부과정・E-mail : jhsam0116@naver.com
****** 학생회원・국립공주대학교 지역건설공학과 학부과정・E-mail : yeong0063@naver.com
******* 정회원・국립공주대학교 농공학과 박사과정・E-mail : D20250151@smail.kongju.ac.kr
******** 비회원・국립공주대학교 스마트팜공학과 교수・E-mail : kimw017@kongju.ac.kr
********* 종신회원・강원대학교 지역건설공학과 교수・E-mail : jyeon@kangwon.ac.kr
********** 정회원・국립공주대학교 지역건설공학과 교수・E-mail : cgpark@kongju.ac.kr

경사지 라이시미터에서 천연물 유래 토양저감물질의 토성에 따른 저감효과 비교

Comparison of reduction effects of naturally derived soil erosion reduction agents according to soil texture in Slope Lysimeters

조송래*, 옥정훈**, 손정우***, 박형진****, 김동현*****, 이단비******, 최세영*******
Songrae Cho, Junghun Ok, Jeongwoo Son, Hyejin Park, Hyeongjin Park, Donghyun Kim, Danbi Lee, Seyoung Choi

요 지

기후변화로 인해 갑작스런 집중호우 빈도와 강우강도가 증가하고 있다. 높은 강우강도는 토양 유실과 침식에 큰 영향을 끼칠 가능성이 있따. 이와 같은 유실로 인해 발생한 토양, 비료 등은 수계로 유출되어 작물 생산 기반 토양의 부족, 물환경 등에 부정적인 영향을 끼치게 된다. 이와 같은 문제를 야기할 수 있는 토양 유실을 방지하기 위하여 작물재배, 토양유실저감제 처리 등의 방법을 활용하고 있다. 본 연구에서는 국립농업과학원 내에 위치한 경사지 라이시미터에서 콩 정식 전 처리한 천연물 유래 토양유실 저감제에 의한 토양 유실 저감 효과를 확인하는 연구를 진행하였다. 연구진행을 위해 설치된 경사지 라이시미터는 국립농업과학원 내부 포장에 경사도 13%, 세로×가로=2×25(m)의 규격을 갖고 있으며, 미사질식양토, 양토, 사양토의 3 종류의 토성으로 구분되어있으며, 재배 작물로서 콩을 선택하여 6월 첫째주 정식하였으며, 처리구는 콩 재배구, 콩+저감물질처리구, 나지로 구분하였다. 천연 토양유실 저감제로서는 가는개도박을 선택하여 농축 및 희석하여 콩 정식 일주일 전 콩+저감물질 처리구에 시용하였다. 콩이 생육하여 피복도가 60%이상이 될 때까지를 기준으로 강우강도에 따른 저감물질처리에 의한 효과를 보았다. 콩의 피복도가 60%가 넘는 시점은 8월경 전체 처리구에서 확인되었으며, 그 기간동안 12.7mm이상의 강우이벤트는 약 7회, 누적 강우량은 약 605.5mm, 누적 강우강도는 2013(MJmm/ha/hr)로 관측되었다. 처리구별 누적 토양유실량은 나지에서 미사질식양토, 양토, 사양토 순으로 각 166.9, 103.4, 100.2(ton/ha)가 유실되었고 콩 재배구에서는 4.3, 73.58, 36.9(ton/ha)가 콩+저감물질 처리구에서는 5.8, 20.4, 39(ton/ha)의 유실량이 발생하였다. 이를 바탕으로 콩 재배처리구와 콩+저감물질처리구에서의 토양유실 저감효과를 비교하여 본 결과 나지 대비 콩은 각 97.4, 28.6, 63.2%의 유실량 저감효과를 보였으며, 콩+저감물질 처리구에서는 96.5, 80.3, 61.1%의 효과를 보였다. 콩 재배구와 콩+저감물질 처리구간의 비교 결과 미사질식양토, 양토, 사양토 순으로 각 −0.9, 51.6, -2.1%의 효과가 나타났다. 보다 정밀한 저감물질에 의한 효과를 확인하기 위하여서는 저감물질만 처리한 처리구에서의 토양유실량 비교 등 추가적인 연구가 필요할 것으로 예상된다.

핵심용어: 경사지 라이시미터, 토양유실저감제, 토양유실, 강우강도

본 연구는 농촌진흥청 신농업기후변화대응체계구축 사업 내 기후변화에 따른 농경지 토양 침식 모니터링 및 취약성 평가(2단계)(과제번호: RS-2024-00400192)의 지원을 받아 수행된 연구임.

* 정회원・국립농업과학원 토양물환경과 농업연구사・E-mail : srchoo@korea.kr
** 정회원・국립농업과학원 토양물환경과 농업연구사・E-mail : loveacasia@hanmail.net
*** 정회원・국립농업과학원 토양물환경과 농업연구사
**** 국립농업과학원 토양물환경과 전문연구원
***** 국립농업과학원 토양물환경과 전문연구원
****** 국립농업과학원 토양물환경과 전문연구원
******* 포항 농업기술센터 농촌지도사

논에서 복합 저탄소 기술 적용에 따른 벼 생육 반응

Rice growth responses to combined low-carbon strategies for greenhoise gas mitigation in paddy

정영재*, 신윤식, 박혜란, 이민지, 이형석, 김민욱, 홍성창, 김진호
Young-Jae Jeong, Yunsik Shin, Hye-Ran Park, Minji, Lee, Hyoung-Seok Lee, Min-Wook Kim, Sung-Chang Hong, Jin-ho Kim

요 지

본 연구는 논 온실가스(CH_4, N_2O) 저감 복합 저탄소 기술의 적용이 벼 생육에 미치는 영향을 구명하고, 생산성을 유지하는 감축 복합 기술을 개발하기 위해 수행되었다. 논물관리(AWD), 완효성비료, 깊이거름주기, 바이오차의 4개 요소기술을 조합한 14개 처리(대조 3, 단일 4, 2종 3, 3종 3, 4종 1)를 와그너포트(1/2,000a, 신동진)에 3반복으로 온실에 배치하였다. 저탄소 복합기술 적용에 따른 벼 생육 평가를 위하여 분얼최대기부터 출수기까지 초장, 분얼수, 이삭수 및 유효경비율을 조사하고, 일원분산분석 후 Duncan 다중검정(α=0.05)으로 처리 간 차이를 비교하였다. 출수기 조사 결과 초장(94.5~111.0 cm), 분얼수(16.5~28.0개), 이삭수(8.5~23.5개), 유효경비율(51.8~97.6%) 모두 처리 간의 유의성이 있었다($p < 0.05$). 무비+상시담수구는 모든 항목에서 유의하게 가장 낮았으며, 복합 저탄소 처리구는 초장이 관행과 대등하게 유지되었고, 유효경비율이 88~98%로 높게 유지되어 무효분얼 발생이 적었다. 특히 완효성비료와 깊이거름주기 복합 처리구는 분얼수 및 이삭수가 관행보다 낮았으나 유효경비율은 오히려 높아, 질소의 완효적 공급이 무효분얼을 억제하고 유효경 중심의 생육이 나타난 것으로 판단된다. 또한, 4종복합(논물+완효성+바이오차+깊이거름)도 유효경비율 92.4%로 관행과 대등한 생육을 보였다. 이상의 결과는 4개 요소기술의 복합 적용이 출수기까지 벼 생육 및 유효경 확보에 부정적 영향을 미치지 않음을 시사한다. 향후 수확기 수량 및 등숙, CH_4·N_2O 배출량을 통합하여 CO_2-eq 및 수량 단위 배출량 기준으로 최적 감축 패키지를 선정하여 실증 평가를 진행할 예정이다.

핵심용어: 논 온실가스 저감, 복합 저탄소 기술, 논물관리, 바이오차, 완효성비료

* 비회원・국립농업과학원 기후변화대응과・Email : jyj970731@korea.kr

관행 대비 권장 시비에 따른 옥수수 · 들깨 밭토양의 N_2O 배출 특성 비교

Comparison of N_2O Emission Characteristics from Upland Soil under Conventional and Recommended Fertilization in Maize and Perilla Cropping Systems

이선아*, 나규동**, 안진혁** , 정세윤***, 박혜진****, 홍은미*****
Seonah Lee, Kyudong Na, Jin-Hyuk An, Seyoon Jung, Hye-jin Park, Eunmi Hong

요 지

아산화질소(N_2O)는 1 kg 배출 시 약 273 kg CO_2-eq의 온난화 영향을 나타내는 강력한 온실가스로, 농경지에 투입되는 질소비료는 주요 인위적 배출원이다. 배수가 양호한 밭토양은 대체로 호기성 상태를 유지하지만, 시비와 강우에 따른 토양수분 및 무기태 질소의 변화와 산소 확산 제한은 질산화와 탈질 과정에 영향을 미쳐 N_2O 배출을 증가시킬 수 있다. 또한 N_2O 배출은 작물, 시비관리 및 토양·기상조건에 따라 달라질 수 있으므로, 실제 밭 조건에서 N_2O 배출과 관련 환경요인의 변화를 함께 관측할 필요가 있다. 따라서 본 연구는 작물 및 시비관리 조건에 따른 밭토양 N_2O 배출의 시간적 변동을 비교하고, 시비 및 강우에 따른 토양환경 변화와 N_2O 배출 간의 관계를 분석하고자 한다. 본 연구는 강원대학교 시험포장에서 2 m × 20 m 시험구를 조성하여 옥수수 2개 시비 처리구와 들깨 1개 처리구로 구성하였다. 옥수수 시비 처리는 관행 기준과 농촌진흥청 권장 기준으로 구분하였다. 가스 시료는 USDA-ARS GRACEnet 지침에 따라 정적 챔버를 이용하여 2026년 7월부터 2주 간격으로 정기 모니터링을 실시하였고, 주요 시비 및 강우 이후에는 추가 측정을 수행하였으며, 토양수분, 토양온도, 기상조건 및 영농활동을 조사하였다. 수집된 자료를 이용하여 처리구별 N_2O 배출의 시간적 변화를 비교하고, 시비 및 강우 전후의 토양수분과 N_2O 배출 간의 관계를 분석하고자 하였다. 본 연구에서 구축한 현장자료는 작물 및 시비관리 조건에 따른 밭토양 N_2O 배출 특성과 시비·강우에 대한 반응을 파악하고, 향후 과정 기반 모형의 검·보정 및 시비관리 시나리오 평가를 위한 기초자료로 활용될 것으로 기대한다.

핵심용어: N_2O 배출, 질소비료 시비관리, 온실가스 저감, 탈질, 질산화

본 연구는 농촌진흥청 연구사업「농업환경모니터링 및 변동평가기술개발」의「국가·지역단위 양분수지 영향평가 통합관리 기술개발」과제 지원을 받아 수행되었음(과제번호: RS-2026-25518288).

* 정회원 · 강원대학교 지오에코시스템융합학과 석박사통합과정 · E-mail : blueblue@kangwon.ac.kr
** 정회원 · 강원대학교 지오에코시스템융합학과 석사과정 · E-mail : aswasw8987@kangwon.ac.kr
*** 정회원 · 강원대학교 지오에코시스템융합학과 석사과정 · E-mail : ajh4728@kangwon.ac.kr
**** 정회원 · 강원대학교 지오에코시스템융합학과 박사과정 · E-mail : tpdbs2688@kangwon.ac.kr
***** 정회원 · 국립농업과학원 토양물환경과 농업연구사 E-mail : hjin11@korea.kr
****** 강원대학교 지오에코시스템융합학과 교수 · E-mail : eunmi.hong@kangwon.ac.kr

지역별 토양수분특성에 따른 사과 생리장해 및 품질특성 비교

Comparison of Physiological Disorders and Quality Attributes of Apples in Relation to Regional Soil Moisture Properties

박형진*, 조송래**, 서병환***, 이단비****, 옥정훈*****
Hyeongjin Bak, Song-rae Cho, Byeong-hwan Seo, Dan-bi Lee, Jung-hun Ok

요 지

기후변화로 인해 농산물의 재배 적지가 변화하고 강우 패턴의 변동성이 증가하면서, 농산물의 품질 및 저장성에 차이가 발생하고 있다. 안정적인 농산물 수급과 장기 유통을 위해 CA(Controlled Atmosphere) 저장과 같은 장기 저장기술의 활용이 확대되고 있으나, 저장 중 품질 변화는 저장조건뿐만 아니라 재배환경의 영향을 받을 수 있다. 특히 토양수분은 작물의 생육에 직접적으로 관여하는 주요 환경 요인으로, 토양수분의 수준과 변동에 따라 농산물의 품질 및 생리장해 발생이 달라질 수 있다. 따라서 장기 저장 중 품질 변화를 예측하기 위해서는 토양수분 변화와 수확 후 과실 품질 및 생리장해 발생 간의 관계를 파악할 필요가 있다. 이에 본 연구는 CA 저장을 통해 장기 유통되는 과수 작물인 사과를 대상으로 지역별 토양수분 특성과 수확 후 생리장해(열과) 발생 및 과실 품질 간 관계를 비교하였다.

사과 재배 지역 중 CA 저장고가 위치하는 보은, 청송, 장수 지역을 대상으로 지역별 1개 농가를 선정하여 조사를 수행하였다. 현장 토양조사 및 토양 시료 분석을 통해 지역별 토양 이화학성을 파악하였으며, 농가 내 경사를 고려하여 농가별로 3~4개의 토양수분 센서를 설치하였다. 토양수분은 개화 이후인 5월부터 수확일(11월 7~10일)까지 모니터링하였고, 이를 바탕으로 사과 성숙기(8월 말 ~ 11월 초) 평균 토양수분량 및 토양수분 변화율을 산정하였다. 또한 CA 저장고에 입고 전, 사과 생리장해 중 토양특성과 관련이 있을 것으로 예상되는 '열과' 발생 여부와 과실 품질을 조사하였으며, 토양특성과 품질특성 간 관계는 Spearman 순위상관분석을 통해 분석하였다.

토양 시료 분석 결과 보은과 장수의 토성은 사양토(sandy loam), 청송의 토성은 미사질식양토(silt clay loam)로 확인되었다. 성숙기 평균 토양수분량은 보은 14.8%, 청송 33.1%, 장수 28.1%로 청송에서 가장 높게 나타났다. 반면 토양수분 변화율은 보은 12.8%, 청송 4.3%, 장수 -0.5%로 보은에서 가장 높았다. 수확 후 생리장해 조사 결과, 열과 발생률은 보은에서 4.1%로 가장 크게 나타났다. Spearman 순위상관분석 결과, 토양수분 변화율은 열과 발생률과 양의 경향을 나타냈으며 토양수분량은 과실중량과 양의 경향을, 과실경도와는 음의 경향을 보였다. 이는 다량의 토양수분이 수분 흡수 및 비대를 촉진하여 과실 중량을 증가시키는 반면, 세포벽 구조를 변화시켜 과실 경도를 감소시킨 것으로 보이며, 성숙기 토양수분량의 증가가 과실의 급격한 팽창을 유도하여 열과 발생에 영향을 미쳤을 가능성이 있다. 이러한 결과는 지역별 토양수분 수준 및 변동에 따라 사과의 생리장해 유무 및 품질에 영향을 줄 수 있으며, 과실의 수확기 및 장기 저장 중 품질 예측을 위해서는 토양수분 변동을 함께 고려할 필요가 있음을 보여준다. 이에 본 결과는 향후 장기 저장 중 품질 변화 예측을 위한 기초자료로 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

핵심용어: 사과, 토양수분, 과실품질, Spearman 순위상관분석

* 준회원・국립농업과학원 토양물환경과 석사후연구원・E-mail : bhj0138@korea.kr
** 정회원・국립농업과학원 토양물환경과 연구사・E-mail : srchoo@korea.kr
*** 정회원・국립농업과학원 토양물환경과 연구사・E-mail : sbhsbhlove@naver.com
**** 정회원・국립농업과학원 토양물환경과 박사후연구원・E-mail : dblee91@korea.kr
***** 정회원・국립농업과학원 토양물환경과 연구사・E-mail : okjh@korea.kr

비료 처리 위치에 따른 마늘 재배시 깊이별 토양 무기태 질소 변화 평가

Effects of Fertilizer Placement on Soil Inorganic Nitrogen Distribution at Different Soil Depths in Garlic Cultivation

이찬욱*
Chanwook Lee

요 지

경종분야 탄소중립 이행계획과 관련된 농경지 온실가스 배출량 감축 및 토양 탄소 저장 기술의 개발에 따라 현장에서 실천할 수 있는 매뉴얼의 개발과 보급이 필요하다. 본 연구에서는 아산화질소 감축에 효과가 있다고 알려진 깊이거름주기 장치 적용시 깊이별 토양 화학성의 변동을 평가하고자 하였다. 마늘 재배 유기물 적정 범위 25～35 g/kg을 고려하여 유기물 적정 범위 초과 토양(42 g/kg), 적정 범위 토양(28 g/kg), 적정범위 미만 토양(6 g/kg)의 농가 포장을 선정하여 재배실험을 진행하였다. 비료량은 시험전 토양 화학성 기준으로 검정시비량을 산정하였다. 마늘은 2025년 10월말～11월초에 밑거름 처리 및 파종하였으며, 2026년 3월 중순, 4월 중순에 각각 1, 2차 웃거름을 처리하였으며, 깊이거름주기 처리에 맞추어 밑거름 60%, 1차 웃거름 20%, 2차 웃거름 20%로 분시비율을 조정하였다. 깊이거름주기 처리는 전용 기계를 이용하여 지표면에서 25 cm 아래에 일렬로 시비한 후 덮은 후 경운 처리하였다. 관행 처리는 토양 표면에 비료를 흩뿌린 후 경운 처리하여 토양에 섞이도록 하였으며, 마늘 생육 시기별로 0～15 cm, 15～30 cm, 30 cm 이하의 토양 화학성을 분석하였다. 밑거름 처리 위치에 따른 토양 화학성 영향을 확인하고자 마늘 월동 전 깊이별 무기태 질소 함량(질산태 질소 + 암모니아태 질소)을 비교하였을 때, 0～15 cm, 15～30 cm, 30 cm 이하 각각 깊이거름주기 처리시 19, 22, 50 mg/kg(적정범위 초과 토양), 36, 27, 50 mg/kg(적정 범위 토양), 27, 21, 26 mg/kg(적정범위 미만 토양)으로 30 cm 이하 토양에서 무기태 질소 함량이 높고, 관행 처리시 19, 12, 9 mg/kg(적정 범위 초과 토양), 45, 46, 37 mg/kg(적정 범위 토양), 129, 79, 38 mg/kg(적정범위 미만 토양)으로 표층에서 높은 경향을 나타내었다.

핵심용어: 비료 처방, 무기태 질소, 마늘

본 연구는 농촌진흥청 농업과학기반기술연구사업(과제번호: PJ017678)의 지원을 받아 수행된 연구임.

* 비회원・국립농업과학원 토양물환경과 농업연구사・E-mail : cksdnr0123@korea.kr

간척지 토양의 유기물 투입에 따른 화학성 및 생물학성 초기 변화

Changes on Soil Chemical and Biological Properties Following Organic Amendment Application in Reclaimed Agricultural Land

이세인*, 조현숙**, 이광승***, 김성철****
Se-In Lee, Hyeounsuk Cho, Kwangseung Lee, Sungchul Kim

요 지

간척지 토양은 일반 농경지에 비해 유기물함량과 양분보유력이 낮고 염류의 영향을 받기 쉬운 특성으로, 간척지의 지력을 증진시키고 작물의 생산성을 높이기 위해 유기물 투입이 필요하다. 농경지에 투입하는 유기물은 퇴비, 바이오차, 토양개량제 등 종류가 다양하고 원료, 부숙도, 양분함량 등이 다르기 때문에 간척지 토양에 적합한 유기물을 선정하기 위해서는 유기물 종류에 따른 토양 특성 변화를 함께 평가할 필요가 있다. 따라서, 본 연구에서는 간척지 토양에 퇴비와 토양개량제를 투입하고 이에 따른 토양 화학성과 생물학성의 변화를 비교하였다.

퇴비는 우분퇴비를 사용하였고 토양개량제는 두 종류로 바이오차가 포함되지 않은 개량제(개량제A)와 바이오차가 포함(15%)된 개량제(개량제B)를 사용하였다. 퇴비와 토양개량제는 각각 40, 60 및 100 t ha^{-1} 수준으로 처리하였고, 토양시료는 유기물 투입 전과 투입 20일 후에 각각 채취하였다. 토양 화학성은 pH, 전기전도도(EC), 유기물함량(OM), 유효인산(P_2O_5), 교환성 양이온(K, Ca, Mg, Na)을 분석하였고, 토양 생물학성은 산성 인산분해효소(Acid phosphatase), 요소분해효소(Urease), 탈수소효소(Dehydrogenase, DHA), β-glucosidase 활성 및 토양호흡을 분석하였다.

유기물 투입 전과 후의 화학성 및 생물학성의 전반적인 경향을 비교한 결과, 토양 화학성은 모든 처리에서 pH, OM, P_2O_5, 및 교환성 Ca, K, Na가 증가하였고, EC는 퇴비와 처리에서 증가하였으나 개량제B 처리구에서는 감소하였다. 토양 생물학성은 인산분해효소 활성은 퇴비와 개량제A 처리구에서 감소하였으나, 개량제B 처리구에서는 감소하지 않았다. Urease 활성은 퇴비 처리에서 감소한 반면, 두 토양개량제 처리에서는 증가하는 경향을 보였다. DHA와 토양호흡은 유기물 종류와 관계없이 전반적으로 감소하였다. β-Glucosidase 활성은 퇴비와 개량제A 처리에서 감소하였으나, 개량제B 처리에서는 뚜렷한 감소가 나타나지 않았다.

유기물 투입 후 토양의 pH, OM, 유효인산 및 CEC가 증가하여 간척지 토양의 화학적 비옥도 개선 가능성이 확인되었으나, DHA와 토양호흡의 감소는 이러한 변화가 단기간에 미생물의 전반적인 대사활성 증가로 이어지지 않았음을 나타냈다. 특히, 바이오차 포함 개량제를 투입할 경우 EC가 상승하지 않고, 인산분해효소와 β-glucosidase 활성을 유지하고 요소분해효소 활성을 높이는 경향이었다. 따라서 바이오차가 포함된 개량제는 시험한 유기물 중 토양 염도를 상승시키지 않으면서 일부 양분의 순환 기능을 유지하는 데 상대적으로 유리한 것으로 판단된다. 다만 유기물 종류별 효과와 적정 투입량을 결정하기 위해서는 시용량별 반응과 생물학적 활성의 지속성을 추가로 평가할 필요가 있다.

핵심용어: 새만금 간척지, 토양 염도, 유기물함량, 가축분퇴비, 토양개량제

본 연구는 농촌진흥청 연구사업(과제번호: PJ01784603)에 의해 이루어진 것임.

* 비회원・국립식량과학원 간척지농업연구센터 전문연구원・E-mail : sein7913@korea.kr
** 비회원・국립식량과학원 간척지농업연구센터 농업연구관・E-mail : chohs@korea.kr
*** 비회원・국립식량과학원 간척지농업연구센터 농업연구사・E-mail : kslee23@korea.kr
**** 비회원・충남대학교 생물환경화학과 교수・E-mail : sckim@cnu.ac.kr

HAWQS+를 활용한 웹 기반 유역 수문 · 수질 모델링 시스템 및 모델 공유 플랫폼 개발

Development of a web-based watershed hydrology and water quality modeling system and model-sharing platform using HAWQS+ for South Korea

남원호*, 김민진**, Jaclyn Tech***, 정재학****, 홍은미*****, 김태곤******, 엽소진*******, 전상민********, 최순군*********

Won-Ho Nam, Min-Jin Kim, Jaclyn Tech, Jae-Hak Jeong, Eun-Mi Hong, Taegon Kim, So-Jin Yeob, Sang-Min Jun, Soon-Kun Choi

요 지

유역 수문·수질 모형은 기후변화, 토지이용 변화, 농업활동 및 유역관리 시나리오에 따른 수문·수질 변화를 정량적으로 평가하는 데 활용된다. 기존의 유역 수문·수질 모델링은 연구자가 개별 컴퓨터 환경에서 모형을 구축하고 검·보정하여 운영하는 방식이 일반적이므로, 검증된 모형과 입력자료 및 분석결과를 공동으로 활용하거나 다른 유역으로 확대 적용하는 데 한계가 있다. 미국의 Hydrologic and Water Quality System Plus(HAWQS+)는 SWAT+를 핵심 모형으로 활용하여 유역 선택, 입력자료 구축, 시나리오 설정, 모형 실행 및 결과 분석을 웹 환경에서 수행할 수 있도록 개발된 통합 수문·수질 모델링 시스템이다. 이 시스템은 모델링 자료와 분석 과정을 통합 관리함으로써 개별 연구자 중심의 모델링 체계를 공유와 확장이 가능한 플랫폼으로 전환한다. 본 연구에서는 HAWQS+의 웹 기반 모델링 개념과 기능을 국내 유역 환경에 적용하여 한국형 HAWQS+ 기반 유역 수문·수질 모델링 웹 시스템을 개발하였다. 국내 기상, 지형, 토양, 토지이용 및 수문·수질 자료를 활용하여 시범 유역인 안성천 유역의 입력자료 데이터베이스와 모델링 환경을 구축하였다. 개발된 시스템은 유역 공간정보와 수문·수질 모형을 웹 환경에서 통합하고, 다양한 유역관리 및 기후 시나리오에 따른 수문·수질 변화를 비교·분석할 수 있도록 구성하였다. 또한 국내 여러 유역으로의 확대 적용을 위해 유역별 공간자료와 모형 입력자료를 데이터베이스화하고, 검증된 유역 모형과 분석결과의 공동 활용 및 모델링의 확장성을 고려하여 설계하였다. 향후 국내 유역의 수문·수질 분석과 기후변화 및 토지이용 변화에 대응한 유역관리 의사결정을 지원하는 웹 기반 유역 모델링 플랫폼의 기반을 마련하고자 한다.

핵심용어 : HAWQS+, SWAT+, 웹 기반 유역 모델링, 수문 · 수질 모델링, 모델 공유 플랫폼, 유역관리

본 연구는 농촌진흥청의 공동연구사업 (과제번호: RS-2024-00396736)의 지원을 받아 연구되었음.

* 정회원・한경국립대학교 사회안전시스템공학부 교수・E-mail : wonho.nam@hknu.ac.kr
** 정회원・한경국립대학교 융합시스템공학과 박사과정・E-mail : minjin.kim@hknu.ac.kr
*** 비회원・텍사스 A&M 농생명연구원 연구원・E-mail : jaclyn.tech@ag.tamu.edu
**** 비회원・텍사스 A&M 대학교 농업생명연구소 교수・E-mail : jaehak.jeong@ag.tamu.edu
***** 정회원・강원대학교 농업생명과학대학 환경융합학부 부교수・E-mail : eunmi.hong@kangwon.ac.kr
****** 정회원・전북대학교 스마트팜학과 부교수・E-mail : taegon@jbnu.ac.kr
******* 정회원・농촌진흥청 국립농업과학원 기후변화대응과 농업연구사・E-mail : yeobsojin@korea.kr
******** 정회원・농촌진흥청 국립농업과학원 기후변화대응과 농업연구사・E-mail : luckyjsm@korea.kr
********* 정회원・농촌진흥청 농업지능데이터팀 농업연구사・E-mail : soonkun@korea.kr

물안전

F-P-2

전국 규모 자연유량 복원 및 AI–물리 융합 수문매개변수 추정 프레임워크 개발

Streamflow Naturalisation and AI-Physics Hybrid Parameter Estimation for National-Scale Rainfall-Runoff Modelling in South Korea

신재훈*
Jae hun Shin

요 지

기후변화와 수자원 개발의 영향으로 국내 하천 유량은 댐 및 저수지 운영, 농업용수 취수, 생활·공업용수 이용, 지하수 개발 등 다양한 인위적 요인에 의해 변형되고 있다. 이러한 조건에서 관측유량을 직접 활용한 수문모형 매개변수 추정은 유역 고유의 강우-유출 반응 특성을 왜곡할 가능성이 있으며, 미계측 유역에 대한 적용성에도 한계가 있다. 이에 본 연구에서는 전국 규모 자연유량 복원(Streamflow Naturalization)과 AI-물리 융합 기반 수문매개변수 추정을 통합한 프레임워크를 개발하고자 하였다.

연구를 위해 국가수자원관리종합정보시스템(WAMIS), 기상청 및 환경공간정보 자료를 활용하여 전국 단위 수문·기상·지형·토지이용 데이터베이스를 구축하였다. 또한 유량관측소별 유역을 대상으로 댐 운영, 취수시설, 농업용수 이용 및 지하수 개발에 따른 인위적 영향을 정량화하고, 이를 기반으로 자연유량 복원 체계를 설계하였다. 복원된 자연유량 자료는 Curve Number(CN), Baseflow Index(BFI), 유역 반응시간(Catchment Response Time) 등 주요 수문매개변수 산정에 활용할 수 있도록 구성하였다.

아울러 Graph Neural Network(GNN), Transformer 및 LSTM 기반 인공지능 기법과 수문학적 제약조건을 결합한 AI-물리 융합 접근법을 적용하여 수문매개변수의 공간적 일반화 및 미계측 유역 확장을 위한 추정 체계를 개발하고자 하였다. 제안된 프레임워크는 자연유량 복원, 물리기반 수문특성 추출, AI 기반 매개변수 추정 과정을 통합적으로 연결함으로써 전국 규모 수문특성 진단 체계 구축을 목표로 한다.

본 연구는 인위적 영향을 제거한 자연유량 정보를 기반으로 유역 고유의 수문 특성을 정량화하고, 전국 단위 수문매개변수 지도 구축을 위한 새로운 방법론을 제시한다는 점에서 의의가 있다. 향후 본 프레임워크는 미계측 유역 해석, 홍수 및 가뭄 위험 평가, 디지털 유역 구축, 기후변화 적응형 수자원 관리 등을 위한 기반기술로 활용될 것으로 기대된다.

핵심용어: 자연유량 복원, 수문매개변수, AI–물리 융합, 미계측 유역, 디지털 유역, 수문모형, GNN, Transformer

* 준회원・충북대학교 지역건설공학과 박사후 연구원・E-mail : jhshin1@cbnu.ac.kr

다중센서 SWO와 DEM 경사연장 기반 북한 미계측 저수지의 시계열 저수량 복원

Reconstruction of time-series storage in ungauged reservoirs in North Korea using multi-sensor surface-water occurrence and DEM-based slope extension

조정호*, 남원호**, 이희진***
Jung-Ho Cho, Won-Ho Nam, Hee-Jin Lee

요 지

본 연구에서는 Sentinel-2, Sentinel-1 및 Landsat 영상으로 구축한 다중센서 수면발생빈도(Surface-Water Occurrence, SWO), 수치표고모델(Digital Elevation Model, DEM) 기반 면적-표고 관계 및 제한된 경사연장 기법을 결합하여 북한 9개소와 검증을 위한 남한 2개소 등 총 11개 미계측 저수지의 시계열 저수량 변화를 복원하였다. 2016년 10월부터 2025년 9월까지 수집한 15,560개 후보 영상 중 7,159개의 유효 영상을 선별하고, 6,239개 시점의 정규화 저수량을 산정하여 수위 관측자료와 내용적곡선이 없는 저수지에 대한 9개 수문연도의 연속 시계열을 구축하였다. SWO 5~95% 변동구간에서 바닥표고를 기준으로 산정한 저수지별 저수량 규모는 0.22~17.80 Mm³로 나타났으며, 독립적으로 산정한 연안경사 기반 추정치와의 차이는 저수지별 1.01~1.40배 범위로 나타났다. SWO 변동구간 아래에 위치한 상시수체 구간의 저수량은 11개 저수지에서 총 11.41 Mm³로 산정되었다. ICESat-2 ATL08 지형 세그먼트를 이용한 SWO-표고 공간연계 분석에서는 4개 저수지에서 면적-표고 관계를 뒷받침하는 독립적인 표고정보가 확인되었다. 동일시기 센서 간 수표면적을 비교한 결과, Landsat에서 산정한 수표면적은 Sentinel-2와 Sentinel-1의 각각 0.867배와 0.806배로 나타났으며, 저수지 수면적이 작아질수록 센서 간 차이가 증가하였다. 반면 Sentinel-2와 Sentinel-1의 수표면적 비율은 0.967로 비교적 높은 일치도를 보였다. 남한의 오봉저수지와 천태저수지에서 수행한 다중빔 음향측심 및 항공 LiDAR 기반 실측 지형자료와 비교한 결과, 만수위 기준 총저수량은 각각 실측값의 98.2%와 110.1%로 재현되었다. 본 연구에서 제시한 방법은 센서 및 지형정보의 불확실성을 고려하면서 현장 접근과 계측이 제한된 북한 저수지의 시계열 저수량 변화를 복원하고, 저수량 감소 시기를 탐색적으로 감시하는 데 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

핵심용어: 미계측 저수지, 정규화 저수량, 수면발생빈도, DEM 경사연장, ICESat-2 ATL08

본 결과물은 농림축산식품부의 재원으로 농림식품기술기획평가원의 기후변화대응지능형농업기반관리기술개발사업의 지원을 받아 연구되었음(RS-2025-02219764)

* 정회원・(주)지오스토리 부사장・E-mail : remotesensing@geostory.co.kr
** 정회원・한경국립대학교 사회안전시스템공학부 교수・E-mail : wonho.nam@hknu.ac.kr
*** 정회원・한경국립대학교 국가농업용수센터 선임연구원 ・E-mail : heejin.lee@hknu.ac.kr

관산저수지 유입하천에서의 표면유속–평균유속 환산계수 산정

Estimation of surface-to-mean velocity conversion coefficient in the inflow stream of Gwansan reservoir

신서하*, 정준명**, 김민준***, 강석훈****, 송정헌*****
Seoha Shin, Junmyeong Jung, Minjun Kim, Seokhun Kang, Jung-Hun Song

요 지

농업용 저수지의 효율적인 운영과 유입량 관리를 위해서는 상류 유입 하천의 유량을 정확하게 파악할 필요가 있다. 특히 강우 시에는 유량과 유속이 급격하게 증가하여 접촉식 유속계를 이용한 현장 측정에 어려움이 발생할 수 있어 비접촉식 표면유속 측정 방법의 필요성이 높아지고 있다. 그러나 표면유속은 하천 수심 전체의 평균유속과 차이가 있으며, 표면유속을 이용하여 유량을 산정하기 위해서는 두 유속 간의 관계와 적절한 환산계수 α를 파악해야 한다. 본 연구에서 환산계수 α는 평균유속(Vm)을 표면유속(Vs)으로 나눈 값으로 정의하며, α = Vm/Vs, 즉 Vm = αVs의 관계를 이용한다. 또한 표면유속-평균유속 환산계수는 수심, 유속, 하상 거칠기 및 식생 등 하천의 수리 특성에 따라 달라질 수 있다. 따라서 본 연구에서는 농업용 저수지 상류 유입 하천에서 측정되는 표면유속과 평균유속의 관계를 파악하기 위해 관산저수지 유입 하천을 대상으로 현장 측정을 수행하고자 한다. 표면유속은 비접촉식 전자파 표면 유속계를 이용하여 측정하고, 평균유속은 프로펠러 유속계를 이용한 유속 측정 자료를 바탕으로 산정하고자 한다. 측정된 자료를 이용하여 표면유속과 평균유속 간의 상관관계를 분석하고, 평균유속과 표면유속의 비를 바탕으로 관산저수지 유입 하천에 적합한 환산계수 α를 산정하고자 한다. 또한 수심 및 유속 변화에 따른 환산계수의 변동 특성을 분석하고, 산정된 환산계수와 자연 하천에서 일반적으로 적용되는 α = 0.85를 비교하여 평균유속 및 유량 산정 결과의 차이를 검토함으로써 기존 환산계수의 현장 적용성을 평가하고자 한다.본 연구 결과는 비접촉식 표면유속 측정을 활용한 농업용 저수지 유입량 산정의 정확도 향상과 효율적인 농업용수 관리를 위한 기초자료로 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

핵심용어: 관산저수지, 유입하천, 표면유속, 평균유속, 환산계수

본 연구는 농촌진흥청 공동연구사업(과제번호: RS-2026-25517429)의 지원에 의해 이루어진 것임.

* 학생회원・충남대학교 지역환경토목학과 학부연구원・E-mail : ssh051228@naver.com
** 학생회원・충남대학교 지역환경토목학과 학부연구원・E-mail : wjdwnsaud27@naver.com
*** 학생회원・충남대학교 지역환경토목학과 학부연구원・E-mail : alswns0704@o.cnu.ac.kr
**** 학생회원・충남대학교 지역환경토목학과 연구원・E-mail : 13ewq@o.cnu.ac.kr
***** 정회원・충남대학교 지역환경토목학과 교수・E-mail : j.song@cnu.ac.kr

설계홍수 및 농업용 저수지 붕괴 조건에서 수변완충지대 폭에 따른 계곡부 홍수 수리반응 분석

Analysis of flood hydraulic responses to different riparian buffer widths in a valley reach under design flood and agricultural reservoir breach conditions

박현수*, 김동현**, 장태일***
Hyunsu Park, Dong-Hyeon Kim, Taeil Jang

요 지

수변림은 식생에 의한 흐름저항 증가를 통해 홍수 흐름을 완화할 수 있는 자연기반 수단으로 제시되어 왔다. 그러나 증가된 흐름저항은 유속을 감소시키는 동시에 일부 구간의 수심 증가를 유발할 수 있으며, 이러한 수리적 반응은 지형과 수변완충지대의 조성 폭에 따라 달라질 수 있다. 본 연구에서는 소규모 농업용 저수지 사이의 좁은 계곡부를 대상으로 수변완충지대 폭에 따른 홍수 수리반응을 평가하였다. 대상지는 상류 청도저수지와 하류 금평저수지 사이의 약 1.2 km 계곡부이며, HEC-RAS 2D를 이용해 200년 빈도 설계홍수와 상류 저수지 붕괴 홍수파를 모의하였다. 수변완충지대 조성을 모의하기 위해 하천 중심선으로부터 20 m 및 60 m 범위 내 농경지의 조도계수를 산림 조건으로 재분류하였으며, 실제 적용 면적은 각각 13.88 ha와 23.80 ha였다. 각 시나리오는 기존 토지피복 조건과 비교하였으며, 유속 변화는 하천 중심선으로부터 20 m 이내의 하천 인접부를 대상으로 분석하였다. 수변완충지대 적용 시 계곡부 침수면적은 기존 토지피복 조건보다 3.4~5.8% 증가하였으나, 금평저수지 하류 평야의 침수면적 변화는 두 홍수 조건 모두 ±0.04% 이내로 미미하였다. 하천 인접부의 최대유속은 60 m 완충대 시나리오에서 설계홍수와 붕괴 조건에 대해 각각 52%와 58% 감소하였으며, 20 m 완충대 시나리오에서는 붕괴 조건에서만 42% 감소하였다. 계곡부 최대수심은 설계홍수에서 최대 0.16 m, 붕괴 조건에서 최대 0.88 m 증가한 반면, 금평저수지의 유입 및 방류 첨두유량 변화는 각각 3.2%와 2.4% 이내로 제한적이었다. 이러한 결과는 수변완충지대에 의한 흐름저항 증가가 계곡부 내부에서는 유속을 크게 저감하는 동시에 수심 및 침수범위 증가를 유발할 수 있음을 보여준다. 본 연구 결과는 농업용 저수지 사이 계곡부에서 수변완충지대를 계획할 때 유속 저감과 침수위험 간의 균형을 고려한 적정 폭 설정에 활용될 수 있다.

핵심용어: 수변완충지대, 농업용 저수지, HEC-RAS 2D, 흐름저항, 저수지 붕괴 홍수파

본 결과물은 농림축산식품부의 재원으로 농림식품기술기획평가원의 기후변화대응지능형농업기반관리기술개발사업의 지원을 받아 연구되었음 (RS-2025-02215604).

* 정회원・전북대학교 농공학과 박사과정・E-mail : dest1496@jbnu.ac.kr
** 정회원・전북대학교 지역건설공학과 / 스마트팜학과 조교수・E-mail : kdh4354@jbnu.ac.kr
*** 정회원・전북대학교 지역건설공학과 교수・E-mail : tjang@jbnu.ac.kr

영산강 · 섬진강 수계 농업용 저수지 붕괴 시나리오에 따른 하류부 침수 및 대피 안전성 평가

Assessment of Downstream Inundation and Evacuation Safety under Agricultural Reservoir Breach Scenarios in the Yeongsan and Seomjin River Basins

나라*, 주동혁**, 김하영***, 전승준****, 김수인*****, 김해길******, 류슬아*******, 유승환********
Ra Na, Donghyuk Joo, Hayoung Kim, Seungjoon Jeon, Suin Kim, Haegil Kim,
Seul-A Ryu, Seung-Hwan Yoo

요 지

기후변화에 따른 강우 패턴 변화와 집중호우 발생 빈도 증가는 농업용 저수지의 월류·붕괴 위험과 하류부 침수 피해 가능성을 높이고 있다. 이에 따라 붕괴 시나리오에 기반한 하류부 위험도 평가와 주민 대피 대책 수립이 저수지 안전관리의 중요한 과제로 대두되고 있다. 본 연구는 영산강·섬진강 수계 농업용 저수지를 대상으로 붕괴 시 하류부 침수 피해를 최소화하기 위해, 침수 범위와 주민 대피 안전성을 평가하는 데 목적이 있다. 이를 위해 전라남도 구례군 소재 백련저수지를 대상지로 선정하고, 극한 강우 조건에서 제체 월류에 따른 붕괴를 모의하였다. 대상 저수지에 대해 붕괴 폭 및 붕괴 지속시간을 달리한 붕괴 시나리오를 설정한 후, 붕괴부 유출수문곡선을 유도하고 이를 고정밀 지형자료와 함께 2차원 수리해석 모형에 적용하여 토사 흐름과 측방유입을 고려한 하류부 침수 범위 및 홍수파 도달시간을 해석하였다. 이어서 해석 결과를 바탕으로 하류부 인구밀집 구역을 구획하고, 대피 경로 기반 시뮬레이션을 통해 붕괴 전 사전 경보 시간에 따른 하류부 주민의 대피 소요시간과 대피확률을 청년층과 노년층으로 구분하여 산정하였다. 또한 침수구역 내 건물 구조물 및 내용물, 농경지, 농작물, 공공시설물 등 자산요소별 홍수 피해액을 산정하여 하류부 침수 영향을 정량적으로 평가하였다. 본 연구는 저수지 붕괴 해석과 대피 안전성 및 경제적 피해 평가를 연계함으로써 농업용 저수지 홍수 재해 평가의 정밀도를 높이고, 하류부 인명·재산 피해 최소화를 위한 스마트 홍수 관리 체계 구축에 기여할 수 있을 것으로 기대된다.

핵심용어: 농업용 저수지, 저수지 붕괴, 하류부 침수 해석, 대피 안전성, 홍수 피해액

본 결과물은 농림축산식품부의 재원으로 농림식품기술기획평가원의 기후변화대응지능형농업기반관리기술개발사업의 지원을 받아 연구되었음(RS-2025-02215604)

* 정회원・전남대학교 농업과학기술연구소 박사후연구원・E-mail : nara4180@jnu.ac.kr
** 정회원・전남대학교 농업과학기술연구소 박사후연구원・E-mail : wnehdgur3gh@jnu.ac.kr
*** 정회원・전남대학교 대학원 지역・바이오시스템공학과 & BK21기후지능형간척지농업교육연구팀 박사과정・E-mail : hy153706@naver.com
**** 준회원・전남대학교 지역・바이오시스템공학과 학사과정・E-mail : jsj020356@naver.com
***** 준회원・전남대학교 지역・바이오시스템공학과 학사과정・E-mail : tndls5098@naver.com
****** 준회원・전남대학교 지역・바이오시스템공학과 학사과정・E-mail : kimhaegil718@naver.com
******* 준회원・전남대학교 지역・바이오시스템공학과 학사과정・E-mail : monday8741@naver.com
******** 정회원・전남대학교 대학원 지역・바이오시스템공학과 & BK21기후지능형간척지농업교육연구팀 교수・E-mail : yoosh15@jnu.ac.kr

극한강우 시 유출특성과 저수지 붕괴 양상에 따른 침수민감도 평가

Assessment of Inundation Sensitivity to Runoff Characteristics and Dam-Break Patterns under Extreme Rainfall

김시호*, 정민규**, 김호연***, 정우영****, 허나은*****, 황세운******
Siho Kim, Mingyu Jeong, Hoyeon Kim, Wooyoung Jeong, Naeun Heo, Syewoon Hwang

요 지

농업용 저수지는 농업용수의 안정적인 공급을 목적으로 설계·운영되어 왔으나, 최근 기후변화로 극한강우 발생 가능성이 증가하면서 저수지의 치수 안전성과 하류지역의 재해 대응에 대한 중요성이 높아지고 있다. 동일한 가능최대강수량(PMP)이 발생하여도 유역의 강우-유출 반응에 따라 저수지로 유입되는 수문곡선의 첨두유량과 도달시간, 상승 양상이 달라질 수 있다. 이러한 유입조건의 차이는 저수지 붕괴 시 방류되는 유량뿐만 아니라 하류지역의 침수범위와 수심, 홍수파 도달특성에도 영향을 미칠 수 있으므로 이를 고려한 정량적인 평가가 필요하다.

본 연구에서는 동일한 PMP 조건에서 유역의 유출특성을 달리한 시나리오를 구성하고, DAMBRK와 HEC-RAS를 연계하여 설정된 붕괴 조건에 따른 저수지 붕괴 및 하류지역 침수해석을 수행하였다. 시나리오별 침수영향은 침수면적, 최대 침수수심을 중심으로 비교하였으며, 비지도학습을 적용하여 유출특성에 따른 침수 반응을 유형화하였다. 또한 지도학습 기반의 변수 중요도 분석을 통해 하류 침수특성에 영향을 미치는 주요 인자를 평가하였다. 분석 결과, 유출특성의 변화에 따라 첨두유입량과 첨두유출량, 수문곡선 상승부의 특성에 뚜렷한 차이가 나타났으며, 첨두도달시간이 짧고 수문곡선의 상승이 급격한 조건에서 하류지역의 침수면적과 최대수심이 비선형적으로 증가하는 경향이 확인되었다. 침수 반응은 단시간에 높은 수심이 집중되는 유형과 상대적으로 낮은 수심이 넓은 지역으로 확산되는 유형으로 구분되었다.

본 연구결과는 단일 설계홍수량 중심의 기존 농업용 저수지 안전성 평가 방식의 한계를 보완하고, 유출특성 불확실성을 고려한 침수민감도 기반 위험평가 체계의 필요성을 제시한다. 연구 결과는 저수지 붕괴 취약구간 도출, 위험기반 관리수위 설정, 단계별 대응 전략 수립을 위한 과학적 근거로 활용될 수 있으며, 기후변화 대응 농업용 저수지 치수 안전성 강화 정책 수립에 기여할 것으로 기대된다.

핵심용어: 농업용 저수지, 확률최대강수량(PMP), 댐 붕괴 해석, 유출특성, 침수민감도

본 연구는 농림축산식품부의 재원으로 농림식품기술기획평가원의 기후변화대응지능형농업기반관리기술개발사업의 지원을 받아 연구되었음 (RS-2025-02215604)

* 정회원・경상국립대학교 대학원 농공학과 박사과정・E-mail : sihokim97@gmail.com
** 준회원・경상국립대학교 지역시스템공학과 학사과정・E-mail : jmgstar@naver.com
*** 준회원・경상국립대학교 지역시스템공학과 학사과정・E-mail : ghdus4965@naver.com
**** 준회원・경상국립대학교 지역시스템공학과 학사과정・E-mail : wjdtjdud55@naver.com
***** 준회원・경상국립대학교 지역시스템공학과 학사과정・E-mail : skdms050504@naver.com
****** 정회원・경상국립대학교 지역시스템공학과・농업생명과학연구원 교수・E-mail : swhwang@gnu.ac.kr

저수지 내 휴면포자 함유 표층퇴적물 제거에 따른 녹조 저감효과 평가

Evaluation of Harmful Algal Bloom Reduction Effects by Removal of Akinete-Containing Sediment in a Reservoir

최예진*, 조연정**, 박소영***, 송대성****
Yejin Choi, Yeonjung Cho, Soyeong Park, Dae-Sung Song

요 지

유해남조류의 일부 종은 생육에 불리한 시기에 휴면포자(akinete)를 형성해 퇴적층에 잔존하다가, 수온·광량·영양염류 조건이 충족되면 발아해 수층 내 초기 개체군 형성에 기여한다. 따라서 퇴적층 내 휴면포자는 녹조 발생의 잠재적 공급원으로 작용하며, 이를 사전에 제거하는 것은 사후 대응 중심이던 기존 녹조관리를 보완하는 예방적 방안이 될 수 있다. 이에 본 연구는 00호 녹조우심지역의 휴면포자 함유 표층퇴적물을 제거하고, 전·후 휴면포자 분포와 수체 내 녹조 발생특성을 비교해 저감효과를 평가하였다.

실증 대상지는 사전조사를 통해 휴면포자 분포, 수심 및 현장조건 등을 고려하여 00호 00리로 선정하였으며, 동일 수역 내 표층퇴적물을 제거하는 제거구와 원상태를 유지하는 유지구로 구분하였다. 제거구는 수중 ROV 준설장치를 이용하여 표층퇴적물만 선택적으로 제거하였다. 제거 전·후 퇴적물 시료를 채취하여 Ludox Hs-40 비중분리 후 현미경으로 휴면포자 현존량을 계수하였으며, 수체 내 TN, TP, Chl-a은 하절기까지 모니터링하였다. 준설 직후 전체 휴면포자 현존량은 제거구 190～983 cells/g, 유지구 993～47,220 cells/g으로 제거구에서 상대적으로 낮게 나타났다. 제거 후 일정 기간이 경과한 시점에서는 제거구에 비해 유지구·차단막 밖의 TN, TP, Chl-a가 높게 나타나, 수질 지표에서도 저감효과가 확인되었다.

본 연구 결과, 준설 직후 제거구의 휴면포자 및 주요 남조류 종 현존량이 유지구보다 낮게 나타나 표층퇴적물 제거가 내부오염원 저감에 기여할 가능성을 시사하였다. 다만 이후 조사에서는 시기에 따라 상이한 경향을 보여, 초기 저감효과의 지속성과 녹조 발생에 미치는 영향을 평가하기 위한 추가적인 검증이 필요하다. 특히 수중 ROV를 이용한 준설은 수저면의 불규칙한 지형과 현장조건에 따라 표층퇴적물의 제거 정도에 차이가 발생할 수 있어, 현장조건을 고려한 제거방법의 선택이 필요하다. 향후 수위저하 시 노출되는 퇴적층에 육상 준설 등 적합한 공법을 적용하여 제거효율을 향상시키고, 이에 따른 휴면포자 및 녹조 발생특성의 변화를 추가적으로 평가할 필요가 있다.

핵심용어: 남조류, 휴면포자(Akinete), 퇴적물, 준설, 녹조

* 비회원・한국수자원공사 물환경관리처 대리・E-mail : yejin.c@kwater.or.kr
** 비회원・한국수자원공사 물환경관리처 대리・E-mail : wh4502@kwater.or.kr
*** 비회원・한국수자원공사 물환경관리처 대리・E-mail : PARK@kwater.or.kr
**** 비회원・한국수자원공사 물환경관리처 책임위원・E-mail : dssong@kwater.or.kr

격자 강우자료, TPOT 기반 농업용 저수지 관리를 위한 강우예측 정확도 향상 연구

Improving Rainfall Predictions for Agricultural Reservoir Management Using Grid-based Data and TPOT

정연지*, 최준영**, 김찬겸***, 이동준****, 한정호*****, 임경재******
Yeonji Jeong, Joonyoung Choi, Changyeom Kim, Dongjun Lee,
Jeongho Han, Kyouong Jae Lim

요 지

우리나라는 최근 이상기후의 심화와 태풍·집중호우 등 극한 기상현상의 빈발로 인해 농업용 수리시설물의 피해가 지속적으로 증가하고 있다. 최근 몇 년간 발생한 집중호우는 단기간에 대규모 강우가 유입되는 형태로 나타나고 있으며, 이에 따라 홍수, 범람, 저수지 월류 등 다양한 형태의 수리시설물 피해가 급증하는 추세이다. 특히 농업용 저수지는 농촌 지역 물 관리의 핵심 기반시설로서 집중호우 시 수위 상승에 취약하여, 재해 발생 시 인명 및 재산 피해로 직결될 가능성이 크다. 과학적인 농업용 저수지 안전관리를 위해서는 저수지 상류 유역의 특성을 고려한 저수위 및 저수율 변화를 예측하는 것이 필요하다. 저수위 및 저수율의 정확한 예측을 위해서는 저수위 및 저수율에 영향이 큰 강우량 자료의 정확도가 중요하다. 특히 중소규모의 저수지는 유역면적이 작아 인근 기상대와의 거리가 먼 경우가 많아 저수지 유역 특성에 맞는 정확한 강우량 산정이 필요하다.

본 연구에서는 저수지 유역면적 특성에 맞는 강우량 산정을 위해 기상청 격자예보 강우량 5 km 격자 단위의 강우량을 사용하였다. 상관분석을 통해 연구대상지역내의 격자 중 기상청 격자 예보 강우량 자료와의 최적 격자점을 도출하였다. 도출된 최적 격자점의 강우량 자료와 연구대상지역 내 설치된 강우량계 등을 활용해 예보 강우량의 정확도를 향상시켰다. 예보강우량 자료의 정확도 향상을 위해 자동화 머신러닝(Automated machine learning; AutoML) 중 하나인 TPOT(Tree-Based Pipeline Optimization Tool)을 활용하였다. 이를 통해 최적화된 알고리즘들을 생성하고 각 저수지의 1~6시간 후 예보강우량을 예측하였다.

TPOT을 활용한 모델 탐색 결과, 강우 발생 시점, 강우 강도, 지속시간 등 단기 강우 패턴을 기존 예보보다 더 정확하게 재현하였으며, 특히 1시간 후 예측에서 가장 높은 개선 효과가 나타났다. 이는 향후 저수지 운영 의사결정의 정확성을 높이고, 가뭄 및 홍수 대응 과정에서 보다 안정적인 물관리 전략을 수립하는 데 중요한 기반이 될 것이라 판단된다.

핵심용어: TPOT, 강우 예측, 물관리 전략 수립, 저수지 운영 의사결정

This work was supported by Korea Institute of Planning and Evaluation for Technology in Food, Agriculture and Forestry (IPET) through Intelligent Agricultural Infra Management for Climate Change Development Program, funded by Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs (MAFRA) (RS-2025-02263904).

* 정회원・강원대학교 농업생명과학연구원 선임연구원・E-mail : jyj4977@gmail.com
** 정회원・강원대학교 지오에코시스템융합학과 박사과정・E-mail : jychoi@kangwon.ac.kr
*** 정회원・강원대학교 지오에코시스템융합학과 ・E-mail : teddy00102933@gmail.com
**** 정회원・강원대학교 농업생명과학연구원 선임연구원・E-mail : dj90lee@gmail.com
***** 정회원・강원대학교 농업생명과학연구원 선임연구원・E-mail : hanjeongho24@kangown.ac.kr
****** 정회원・강원대학교 지역건설공학과 교수・E-mail : kyoungjaelim@gmail.com

스마트시설농업

G-P-1

THE KOREAN SOCIETY OF AGRICULTURAL ENGINEER

GHTwin3D: 단동 온실 디지털 트윈을 위한 IFC 기반 실내 점군-BIM 데이터셋

GHTwin3D: An IFC-based Indoor Point Cloud–BIM Dataset for Single-span Greenhouse Digital Twins

서병훈*, 김동수**, 서예진***, 조예림****, 심지민*****, 김민재******, 최원*******
Byung-hun Seo, Dongsu Kim, Ye-jin Seo, Yerim Jo, Jimin Shim, Minjae Kim, Won Choi

요 지

온실 내부 환경조절 및 폭설·강풍 등 극한 기상재해 대응을 위해 시설물 상태를 반영할 수 있는 디지털 트윈의 구축 필요성이 증가하고 있다. 그러나, 단동 온실은 표준설계도를 따르지 않은 시공 형상과 장기 처짐으로 정형·대칭을 전제한 모델과 상이할 수 있어, UAV나 지상 LiDAR 스캐너 기반의 스캔을 통해 디지털 트윈 모델에 실제 형상을 반영할 필요가 있다. 또한, 온실 디지털 트윈의 지속 가능한 유지관리를 위해서는 스캔 데이터(점군)의 의미론적 분류 클래스 및 형상 모델(BIM)의 부재 스키마(Schema)에 대한 표준적인 체계 정의가 요구된다. 이에 본 연구에서는 단동 온실의 스캔 기반 디지털 트윈 모델링에 활용할 수 있는 IFC 기반 실내 점군과 BIM 데이터셋 GHTwin3D를 구축하였다. 데이터셋은 5개 지역군·8개소 온실을 지상 LiDAR 스캐너로 스캔한 실내 점군을 제공하며, 각 온실에 대응하는 부재 실측값과 이 값을 바탕으로 생성된 LOD 300 수준의 초기 BIM을 제공한다. 점군 데이터는 5 mm의 해상도로 복셀화된 전체 1억 150만 개 점이 좌표·색상·반사강도 속성(XYZRGBI)과 함께 제공되며, 의미론적 분할 학습을 위해 각 점에 대해 프레임·피복재·지반·기타의 4개 클래스 주석을 부여하였다. 여기서, 프레임·피복재·지반은 BIM 생성 요소와 호환되는 클래스로, 기타 점은 BIM 부재에서는 제외되는 클래스로 정의하였다. 점군 의미론적 클래스 체계와 BIM 요소 체계는 국제 표준(ISO 16739-1)으로 발행된 IFC 4.3 스키마를 기준으로 공통의 의미 체계를 공유한다. 초기 BIM은 온실의 너비, 높이, 길이, 부재 간격 및 단면 제원 등의 설계변수 값을 입력받아, 개별 부재의 수량·치수·형상·위치 수준의 모델을 생성하는 파라메트릭 BIM 생성기를 통해 구축하였다. 데이터셋은 공개 저장소(Zenodo)를 통해 온실별 의미 주석 점군·초기 BIM·현장 실측값을 배포하며, 파라메트릭 BIM 생성기 모듈과 의미론적 분할 실행 코드는 별도의 코드 저장소(GitHub)를 통해 제공한다. 대상 온실 점군의 취득 조건에 따른 의미론적 분할 성능 범위를 제공하고자, 선행 분할 모델을 이용하여 위치군별로 독립된 5-fold Leave-one-group-out 교차검증 결과를 제시하였다. 본 연구에서 구축한 GHTwin3D 데이터셋은 추후 단동 온실의 AI 기반 디지털 트윈 모델링 자동화 기술 개발을 위한 재현 가능한 공개 데이터 기반으로 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

핵심용어: 온실 디지털 트윈; 실내 점군; BIM; 의미론적 분할; 벤치마크 데이터셋

본 성과물은 (논문, 산업재산권, 품종보호권 등)은 농촌진흥청 연구사업(세부과제번호: RS-2024-00399434)의 지원에 의해 이루어진 것임

* 정회원・서울대학교 농업생명과학연구원 선임연구원・E-mail : tjqudgns123@snu.ac.kr
** 정회원・서울대학교 지역시스템공학과 박사과정・E-mail : xenonkds@snu.ac.kr
*** 정회원・서울대학교 지역시스템공학과 박사과정・E-mail : hwiey@snu.ac.kr
**** 정회원・서울대학교 지역시스템공학과 박사과정・E-mail : yl6289@snu.ac.kr
***** 정회원・서울대학교 지역시스템공학과 박사과정・E-mail : zirnini@snu.ac.kr
****** 정회원・서울대학교 지역시스템공학과 석사과정・E-mail : msarah12@snu.ac.kr
******* 정회원・서울대학교 지역시스템공학과/농업생명과학연구원/융합전공 글로벌 스마트팜 교수・E-mail : fembem@snu.ac.kr

배 과원에서의 방상팬 가동에 따른 미기상 변화 분석

Analysis of Microclimatic Changes Induced by Wind Machine Operation in a Pear Orchard

김가은*, 로딜리아스 넬슨 주니어**, 강성하***, 유재민****, 박성조*****,
윤성욱******, 여욱현*******
Ga-Eun Kim, Nelson Junior Rodillas, Seong-Ha Kang, Jae-Min Yu, Seong-Jo Park,
Sung-Wook Yun, Uk-Hyeon Yeo

요 지

기후변화로 개화기가 앞당겨지고 봄철 서리 발생 위험이 증가함에 따라 과수의 저온 피해가 지속적으로 발생하고 있다. 특히 개화기의 저온은 개화기 꽃의 동해를 유발하여 착과율을 저하시키고, 심한 경우 수량 및 상품성 감소로 이어져 농가의 경제적 손실을 초래할 수 있다. 이러한 저온 피해를 경감하기 위해 과원에서는 대기 상층의 상대적으로 따뜻한 공기를 지표면 부근으로 순환시켜 냉기 정체를 완화하는 방상팬이 활용되고 있으나, 실제 과원 환경에서 방상팬 가동에 따른 미기상 변화와 송풍 효과를 정량적으로 분석한 연구는 부족한 실정이다. 이에 본 연구에서는 진주 소재 배 과원에 설치된 직경 1.1m의 방상팬을 대상으로 현장실험을 수행하고, 가동에 따른 풍속, 기온 및 습도 변화를 정량적으로 분석하였다. 방상팬으로부터의 거리와 방향을 달리하여 풍속, 기온 및 상대습도, 이슬점을 측정하였으며, 10초 평균자료를 이용하여 가동 시작 1분 전과 가동 시작 3분 후 시점의 값을 통해 미가동 조건과 가동 조건에서의 풍속 변화를 비교하였으며 이는 같은 방향으로 10, 20, 30m 거리에 배치된 측정 지점을 대상으로 하였다. 또한 가동 시작값, 종료값 및 가동 중 최대값을 비교하였다. 분석 결과 10, 20 및 30m 지점의 평균 풍속은 가동 시작 1분 전 0.35m/s에서 가동 시작 3분 후 0.61m/s로 증가하여 약 75.9%의 증가율을 보였다. 가동 시작 대비 최대 풍속 증가량은 10m에서 3.47m/s, 20m에서 2.13m/s, 30m에서 0.66m/s로 나타나 방상팬으로부터 거리가 멀어질수록 송풍 강도가 감소하였다. 기온은 가동 시작 대비 최대 1.17℃ 상승하였다. 본 연구 결과는 배 과원에서 방상팬 가동에 따른 미기상 변화와 열풍기 병행 효과를 정량적으로 파악하고, 향후 방상팬의 효율적인 운용조건 설정과 수치해석 모델 검증을 위한 기초 자료로 활용될 수 있을 것으로 판단된다.

핵심용어: 방상팬, 노지, 풍속, 온도, 서리

본 연구는 농촌진흥청 신농업기후변화대응체계구축사업(RS-2025-02283290)의 지원을 받아 수행된 연구임.

* 준회원・경상국립대학교 대학원 농공학과 석사・E-mail : gekim@gnu.ac.kr
** 준회원・경상국립대학교 대학원 농공학과 석사・E-mail : ntrodillas@gnu.ac.kr
*** 준회원・경상국립대학교 대학원 농공학과 석사・E-mail : kasv123@gnu.ac.kr
**** 준회원・경상국립대학교 대학원 농공학과 석사・E-mail : woals5965@gnu.ac.kr
***** 준회원・경상국립대학교 지역시스템공학과 학부생・E-mail : qkrwnl220@gnu.ac.kr
****** 정회원・농촌진흥청 국립농업과학원 농업공학부 연구사・E-mail : wookswooks@korea.kr
******* 정회원・경상국립대학교 지역시스템공학과 조교수・E-mail : uhyeo@gnu.ac.kr

태안 간척지 영농형 태양광시설의 일사량 변화 특성 분석

Analysis of Solar Radiation Characteristics of Agrivoltaic Facilities on Reclaimed Land in Taean

전명진*, 구재혁**, 박찬기***, 장명준****, 김웅*****
Myongjin Jeon, Jaehyuk Koo, Changi Park, Myoungjun Jang, Woong Kim

요 지

영농형 태양광 시설은 농경지 상부에 태양광 모듈이 설치되는 구조적 특성으로 인해 작물에 도달하는 일사량이 변화하며, 이러한 일사 환경의 변화는 작물의 광합성, 증발산 및 농경지 미기상 환경에 영향을 미칠 수 있다. 태양광 모듈에 의해 발생하는 차광은 태양의 고도 및 방위각에 따라 시간대별로 변화하므로 시설 하부의 일사량은 노지와 다른 변화 특성을 나타낼 가능성이 있다.

본 연구에서는 영농형 태양광 시설이 설치된 시험구와 노지 대조구에서 측정된 일사량을 비교하고, 평균 및 최대 일사 강도, 시간대별 변화 및 누적 일사 에너지를 분석하여 영농형 태양광시설 설치에 따른 농경지의 일사 환경 변화 특성을 평가하고자 하였다. 실험구는 태양광 모듈이 설치된 시험구와 태양광시설의 영향을 받지않는 노지 대조구로 구분하였으며 각 지점에서 측정된 값을 평균하여 시험구와 대조구의 대표 일사량으로 적용하여 1일 30분 간격으로 측정된 자료를 분석하였다. 계측된 일사 강도를 바탕으로 전체 기간평균, 최대값 및 시간대별 평균 일사 강도를 산정하였다. 결과로는 전체 기간 평균 일사 강도는 시험구에서 119.52 W/m^2, 대조구에서 175.85 W/m^{2}로 시험구의 주간 평균 일사 강도는 대조구 대비 약 31.7% 감소, 기간 누적 일사 에너지는 시험구 216.43 MJ/m^2, 대조구 318.42 MJ/m^{2}로 나타났으며, 시험구의 누적 일사 에너지는 대조구 대비 약 32.03% 감소, 시간대별 일사 강도는 시험구와 대조구 모두 정오 이후 가장 높은 값을 나타내었으나, 시험구의 일사 저감률은 시간대에 따라 차이가 나타났다. 특히 15시에는 시험구의 평균 일사 강도가 대조구 보다 약 63.6% 감소하여 태양의 위치에 따른 태양광 모듈의 차광 영향이 크게 나타났다. 따라서 영농형 태양광시설은 분석 기간 동안 시설 하부 농경지에 도달하는 전체 일사에너지를 약 32% 감소시키는 것으로 나타났으며, 차광 효과는 시간대에 따라 다르게 나타나는 것으로 판단된다.

핵심용어: 영농형태양광시설, 태양광 모듈, 일사에너지

본 연구는 한국농어촌공사의 지원을 받아 수행되었음.

* 비회원・국립공주대학교 스마트팜공학과 연구원・E-mail : myonggene@kongju.ac.kr
** 정회원・국립공주대학교 농공학과 박사과정・E-mail : D20250151@smail.kongju.ac.kr
*** 정회원・국립공주대학교 지역건설공학과 교수・E-mail : cgpark@kongju.ac.kr
**** 비회원・국립공주대학교 식물자원학과 교수・E-mail : plant119@kongju.ac.kr
***** 비회원・국립공주대학교 스마트팜공학과 교수・E-mail : kimw017@kongju.ac.kr

태안 간척지 영농형 태양광시설의 온·습도 변화 특성 분석

Analysis of Air Temperature and Relative Humidity Characteristics in Agrivoltaic Facilities on Reclaimed Land in Taean

전명진*, 구재혁**, 박찬기***, 장명준****, 김웅*****
Myongjin Jeon, Jaehyuk Koo, Changi Park, Myoungjun Jang, Woong Kim

요 지

최근 농업생산과 신재생에너지 생산을 동시에 수행할 수 있는 영농형 태양광시설에 대한 관심이 증가하고 있다. 영농형 태양광시설은 농경지 상부에 태양광 모듈을 설치하는 구조로, 태양광 모듈에 의해 일사량, 기류 및 지표면 에너지 교환 등이 변화할 수 있으며, 이에 따라 시설 하부 농경지의 미기상 환경이 노지와 다르게 형성될 가능성이 있다. 특히 온도와 상대습도는 작물의 생육과 증발산, 토양 수분 및 농업용수 이용 등에 영향을 미치는 주요 기상 인자로서 영농형 태양광시설의 농업적 적용성을 평가하기 위해서는 시설 설치에 따른 변화 특성을 분석할 필요가 있다. 따라서 본 연구에서는 태안 간척지 영농형 태양광 시설이 설치된 시험구와 일반노지 대조구에서 측정된 기온 및 상대습도 자료를 비교하여 영농형 태양광시설 설치에 따른 농경지 미기상환경의 변화 특성을 분석하였다. 본 연구에서는 태안 간척지 영농형태양광시설 설치에 따른 농경지의 온·습도변화 특성을 평가하기 위해 시험구와 노지대조구에서 측정된 기상자료를 비교·분석하였다. 실험구는 태양광 모듈이 설치된 시험구와 태양광시설의 영향을 받지 않는 노지 대조구로 구분하였다. 각 지점에서 측정된 값을 평균하여 시험구 및 대조구의 대푯값으로 적용하였다. 측정된 자료를 이용하여 전체기간 평균값, 최대값, 최소값 및 일변화 특성을 분석하였다. 또한 주간, 야간으로 구분하여 시험구와 대조구의 온·습도 차이를 비교하였다. 분석한 결과, 전체 기간동안 시험구의 평균 기온은 26.77℃, 대조구는 26.77℃로 측정되어 두 처리구 사이의 평균기온차이는 약-0.01℃ 이하로 매우 미미하였다. 시험구의 전체기간 최저 및 최고기온은 각각 20.80℃ 와 33.75℃ 였으며, 대조구는 각각 20.85℃ 와 33.85℃ 로 나타났다. 이에 따라 영농형태양광시설의 설치 여부에 따른 전체적인 기온 차이는 크지 않은 것으로 나타났다. 상대습도는 기온과 달리 시험구와 대조구 사이에서 비교적 뚜렷한 차이가 나타났다. 전체기간 평균 상대습도는 시험구에서 82.65%, 대조구에서 89.55%로 나타나 시험구의 상대습도가 대조구보다 약 6.90%p 낮았다. 따라서 본연구의 분석 기간에서는 영농형 태양광시설이 주변 대기 기온 자체에는 큰 변화를 발생시키지 않았으나,시험구와 노지대조구 사이의 상대습도 환경에는 일정한 차이가 형성되는 것으로 나타났다. 향후 일사량, 풍속, 지온 및 토양수분 등의 계측자료와 온·습도 변화를 연계하여 분석한다면 영농형 태양광시설 설치에 따른 농경지 미기상 변화의 원인을 보다 구체적으로 규명할 수 있을 것으로 판단된다.

핵심용어: 영농형태양광시설, 온도, 습도

본 연구는 한국농어촌공사의 지원을 받아 수행되었음.

* 비회원・국립공주대학교 스마트팜공학과 연구원・E-mail : myonggene@kongju.ac.kr
** 정회원・국립공주대학교 농공학과 박사과정・E-mail : D20250151@smail.kongju.ac.kr
*** 정회원・국립공주대학교 지역건설공학과 교수・E-mail : cgpark@kongju.ac.kr
**** 장명준 비회원・국립공주대학교 식물자원학과 교수・E-mail : plant119@kongju.ac.kr
***** 비회원・국립공주대학교 스마트팜공학과 교수・E-mail : kimw017@kongju.ac.kr

고온건조 지역 적용을 위한 에어돔 온실 에너지 모델의 개발

Development of an Energy Model for Air-Dome Greenhouses for Application in Hot and Arid Regions

아드난 라쉬드*, 강성하**, 유재민***, 로딜리아스 넬슨 주니어**** 김가은*****,
박성조******, 여욱현*******
Adnan Rasheed, Seong-Ha Kang, Jae-Min Yu, Nelson Junior Rodillas, Seong-Jo Park,
Ga-Eun Kim, Uk-Hyeon Yeo

Abstract

This study develops and validates an energy simulation model of an air-dome greenhouse located at a smart farm in Damyang-gun, South Korea. The greenhouse has dimensions of 86 m in length, 34 m in width, and 17 m in height, and is enclosed by a double-layer reinforced woven polyethylene membrane. Based on the actual dimensions and geometry of the experimental greenhouse, a three-dimensional model was developed in Rhinoceros 3D. Thermal and daylight simulations were conducted using the Honeybee plugin within the Grasshopper parametric environment, with EnergyPlus used as the thermal simulation engine and Radiance for illuminance prediction. The thermal model was validated by comparing simulated indoor air temperatures with measured data collected from five sensor locations within the experimental greenhouse. The simulated and measured temperatures showed good agreement, with a coefficient of determination (R^2) of 0.96. Under fully closed conditions, a cooling setpoint of 27°C resulted in an annual cooling energy consumption of 343,161 kWh and a peak cooling demand of 207 kW, while a heating setpoint of 18°C resulted in an annual heating energy consumption of 5,464 kWh and a peak heating demand of 35 kW. These results indicate a substantial cooling requirement under the evaluated conditions. The current validation is limited to the thermal model, as the heat pump system model is still under development; further validation incorporating heating system performance will be conducted following its integration. The validated model provides a foundation for evaluating passive and active cooling strategies, including, shading, and evaporative cooling, to assess the feasibility and energy performance of air-dome greenhouses in hot climates.

Key words: Greenhouse energy saving, Illuminance, Day-lighting, EnergyPlus simulation

This research was supported by the Korea Institute of Planning and Evaluation for Technology in Food, Agriculture and Forestry(IPET) through the Agri-Food Export Enhancement Technology Development Program, funded by the Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs(MAFRA) (RS-2025-02313370)

* 정회원・경상국립대학교 스마트팜 선임연구원・E-mail : adnan.rasheed@gnu.ac.kr
** 준회원・경상국립대학교 대학원 농공학과 석사・E-mail : kasv123@gnu.ac.kr
*** 준회원・경상국립대학교 대학원 농공학과 석사・E-mail : woals5965@gnu.ac.kr
**** 준회원・경경상국립대학교 대학원 농공학과 석사・E-mail : ntrodillas@gnu.ac.kr
***** 준회원・경상국립대학교 대학원 농공학과 석사・E-mail : gekim@gnu.ac.kr
****** 준회원・경상국립대학교 지역시스템공학과 학부생・E-mail : qkrwnl220@gnu.ac.kr
******* 정회원・경상국립대학교 지역시스템공학과 조교수・E-mail : uhyeo@gnu.ac.kr

일사 조건과 에너지 효율을 고려한 보온스크린 개방률의 최적화

Multi-objective Optimization of Daytime Thermal Screen Opening rate Balancing solar gain and Heating Energy saving

아드난 라쉬드*, 강성하**, 유재민***, 로딜리아스 넬슨 주니어****, 김가은*****,
박성조******, 여욱현*******
Adnan Rasheed, Seong-Ha Kang, Jae-Min Yu, Nelson Junior Rodillas, Ga-Eun Kim,
Seong-Jo Park, Uk-Hyeon Yeo

Abstract

This study presents a multi-objective optimization approach for daytime screen opening control during winter, balancing daylight availability and heating energy performance in multi-sapn greenhouses. The objectives were to maximize average floor daylight intensity (lux), maximize cumulative solar radiation energy (kWh/m^2), minimize daytime heating consumption (kWh), and minimize nighttime heating consumption (kWh). The experimental greenhouse used for the simulations was a four-span, arch-roofed structure located in Jeonju, South Korea, with dimensions of 37 m in length, 15.8 m in width, a total height of 5.6 m, and a floor area of 584.6 m^2. Multiple screen scenarios were developed by varying opening ratios along the longitudinal and lateral directions and by subdividing the screen into one, two, or three sections to evaluate different opening ratios and screen arrangements. Energy modeling was performed using EnergyPlus, daylight simulation was conducted with Radiance integrated into Grasshopper for parametric analysis, and multi-objective optimization was executed using Wallacei. The model was validated using measured data from the experimental greenhouse air temperature. The results showed that, Full closure of thermal screen eliminated daylight and solar radiation and minimized daytime/nighttime heating (282/6,493 kWh), whereas full opening maximized cumulative illuminance of 25,000 klx over the winter period and solar radiation of 226 kWh/m^2 but increased heating to 10,755/12,024 kWh. Optimized configuration (55% longitudinal and 65% width-wise opening) reduced daytime/nighttime heating to 3,259/8,974 kWh while maintaining 11,363 klx cumulative illuminance and 102 kWh/m^2 solar radiation.

Key words: Energy management, Illuminance, Daylighting, EnergyPlus simulation

This work was supported by the National Institute of Agricultural Sciences, Rural Development Administration, Republic of Korea (Project No. PJ01768702).

* 정회원・경상국립대학교 스마트팜 선임연구원・E-mail : adnan.rasheed@gnu.ac.kr
** 준회원・경상국립대학교 대학원 농공학과 석사・E-mail : kasv123@gnu.ac.kr
*** 준회원・경상국립대학교 대학원 농공학과 석사・E-mail : woals5965@gnu.ac.kr
**** 준회원・경경상국립대학교 대학원 농공학과 석사・E-mail : ntrodillas@gnu.ac.kr
***** 준회원・경상국립대학교 대학원 농공학과 석사・E-mail : gekim@gnu.ac.kr
****** 준회원・경상국립대학교 지역시스템공학과 학부생・E-mail : qkrwnl220@gnu.ac.kr
******* 정회원・경상국립대학교 지역시스템공학과 조교수・E-mail : uhyeo@gnu.ac.kr

다겹보온커튼 개폐 비율에 따른 온실 내부 수직 온도 및 풍속 분포 분석

Analysis in Vertical Temperature and Air Velocity Distribution in a Greenhouse depending on the Opening Ratio of Multilayer Thermal Curtains

박성조*, 강성하**, 유재민***, 로딜리아스 넬슨 주니어****, 김가은*****,
아드난 라쉬드******, 여욱현*******
Seong-Jo Park, Seong-Ha Kang, Jae-Min Yu, Nelson Junior Rodillas, Ga-Eun Kim, Adnan Rasheed, Uk-Hyeon Yeo

요 지

겨울철 온실의 보온력 향상은 시설 내 열 손실을 최소화하여 작물의 생육적온을 안정적으로 유지하고, 난방 비용 절감을 위해 필수적이다. 겨울철 온실에서는 작물의 광합성에 필요한 일사량을 확보하기 위해 일출 이후 다겹보온커튼을 개방한다. 커튼 개방되면서 상부 공간의 저온 공기와 재배 공간의 공기 교환이 증가하면서 온실 내부 열환경에 급격한 영향을 미칠 수 있다. 본 연구에서는 커튼 개폐 비율에 따른 높이별 수직 온도와 풍속 분포를 분석하고자 하였다. 현장 실험은 전북특별자치도 전주시에 위치한 2연동 이중피복온실에서 진행되었으며 온실 내부에는 작물이 없는 조건에서 실험을 진행하였다. 온실 외부 규격은 길이 37m, 폭 18.6m, 동고 5.6m, 측고 4.1m이며 피복재 내·외부 PO 필름으로 구성되어 있다. 또한 온실 피복재 내외부 사이에는 1.4m 정도의 단열 공기층이 형성되어 있다. 온실 내부의 측벽 부근과 중앙부에 각각 지상 1~4m 높이로 1m 간격의 센서 4개씩을 수직 배치하고, 이중피복 사이의 단열 공기층에도 지상 1m 높이에 센서 1개를 추가하여 총 9개의 센서를 설치하였다. 다겹보온커튼 개폐 비율에 따른 온도 분포를 분석하기 위해 실험 초기 온도와 종료 시점의 온도를 1분당 온도 감쇠율을 계산하였으며, 개폐 시 유입되는 단열 공기층을 외부온도로 설정하여 온실 내·외부 온도차에 대한 변화를 온도 정규화 지수를(NTD)를 이용하여 산정하였다. 보온커튼 개폐 비율을 증가될수록 온도 감쇠율이 높아지지만 일정 너비 이상에 도달하게 되면 온도 감쇠율의 증가폭이 미미해지는 것을 확인하였다. 또한 온도 감쇠율이 온실 중앙부보다 온실 측면부 지점에서 평균 11.96% 정도 더 높게 나타났다. 높이별 온도 감쇠율에서 4m 높이에 위치한 센서에서 평균 0.109℃/min으로 온도 감쇠율로 가장 높게 나타났고 NTD는 0.73으로 나타났다. 1m 높이에 위치한 센서에서는 평균 0.063℃/min 온도 감쇠율로 가장 낮게 나타났으며, NTD는 0.88로 나타났다. 개폐 전 비교적 일정한 풍속을 보인 1분을 기준으로 하여 초기 변화가 빠르게 나타나는 개폐 5분간의 변화를 단순 이동 평균 풍속으로 계산하여 개폐 비율에 따라 온실 평균 풍속은 0.15m/s~0.22m/s에서 개폐 후 0.26m/s~ 0.28m/s로 증가하였다.

핵심용어: 다겹보온커튼, 열교환, 재배환경, 풍속, 온도

본 결과물은 농림축산식품부의 재원으로 농림식품기술기획평가원의 스마트팜다부처패키지혁신 기술개발사업의 지원을 받아 연구되었음(RS-2025-02305220)

* 준회원・경상국립대학교 지역시스템공학과 학부생・E-mail : qkrwnl220@gnu.ac.kr
** 준회원・경상국립대학교 대학원 농공학과 대학원생・E-mail : kasv123@gnu.ac.kr
*** 준회원・경상국립대학교 대학원 농공학과 대학원생・E-mail : woals5965@gnu.ac.kr
**** 준회원・경경상국립대학교 대학원 농공학과 대학원생・E-mail : ntrodillas@gnu.ac.kr
***** 준회원・경상국립대학교 대학원 농공학과 대학원생・E-mail : gekim@gnu.ac.kr
****** 정회원・경상국립대학교 스마트팜 선임연구원・E-mail : adnan.rasheed@gnu.ac.kr
******* 정회원・경상국립대학교 지역시스템공학과 조교수・E-mail : uhyeo@gnu.ac.kr

Nexus 관점의 시설농업 통합자원관리: 연구 동향과 적용 방안

A Nexus Perspective on Integrated Resource Management in Agricultural Facilities: Research and Technology Trends and Application Strategies

윤동기*, 라상중**, 이상현***, 이상연****
Dong-Gi Yun, Sang-Jung Ra, Sang-Hyun Lee, Sang-Yeon Lee

요 지

Nexus는 자원 및 부문 간 연계에서 나타나는 상충관계와 상승효과를 규명하고, 자원관리 의사결정의 시스템적 파급효과를 분석하는 통합적 관점이다. WEF Nexus는 물, 에너지, 식량을 다루며, 국가·유역 단위의 정책 평가를 중심으로 발전해 왔다. 반면 시설농업에서는 생육 상태와 자원 이용에 따라 관수, 환기, 냉난방 등의 의사결정이 짧은 주기로 이루어지므로, 기존 Nexus 연구와는 분석 범위와 시간 규모가 다르다. 따라서 시설농업에 Nexus를 적용하려면 분석 범위와 상태·제어변수를 명확히 설정하고, 운영 대안별 자원 영향을 의사결정 시점에서 계산하는 체계가 필요하다. 본 연구는 국가연구개발 과제, 학술 문헌, 특허 및 대표 사례를 대상으로 적용 규모, 의사결정 주기, 주요 변수 및 평가 방식에 따라 비교하여 Nexus의 시설농업 적용 요건을 도출하였다. 2013–2025년 ScienceDirect 문헌 804편 중 시설농업 대상 연구는 9편이었고, 별도로 검토한 물, 에너지 공동제어 관련 연구 21편 중 농업시설 대상은 8편이었다. WEF 연계 특허는 2건, 국내 농업시설 운영 기술 특허는 1,241건으로, 개별 기술 축적에 비해 자원 연계형 통합은 제한적이었다. 대표 사례에서는 정책대안 비교가 주요 산출물로 제시되었으며, 시설농업 연구는 물, 에너지를 함께 다루면서도 생육 상태·자원 수지 연계와 실측자료 기반 평가가 제한적이었다. 이를 바탕으로 분석 범위와 상태·제어변수를 설정하고 생육 상태를 자원 수지와 연계하여, 운영 대안별 자원 영향을 운영 주기 내 비교하는 시설농업 통합자원관리 방안을 제시하였다. 아울러 불확실성 처리와 실측자료 기반 단계별 평가를 적용 요건에 포함하였다. 제안한 방안은 운영 대안이 자원 이용과 생육에 미치는 영향을 경제·환경적 측면과 함께 평가하여 운영자의 선택을 지원한다. 본 연구는 Nexus를 시설 단위 운영에 적용하기 위한 핵심 요건을 체계화하고, 시설농업 통합자원관리와 의사결정 지원을 연결하는 분석 기반을 제시하였다.

핵심용어: 넥서스, 시설농업, 의사결정지원, 통합자원관리, 지속가능성

* 비회원・한국전자통신연구원 학연학생・E-mail : motivagii@etri.re.kr
** 비회원・한국전자통신연구원 책임연구원・E-mail : sjna@etri.re.kr
*** 정회원・충북대학교 지역건설공학과 교수・E-mail : sanghyun@chungbuk.ac.kr
**** 정회원・한국전자통신연구원 선임연구원・E-mail : sylee2023@etri.re.kr

동남아시아 이중 지붕 육계사 내부의 열환경 예측을 위한 열전달–전산유체역학 (HTM+CFD) 연계 모델 개발

Development of an HTM-CFD Framework for Predicting Indoor Thermal Environment in Southeast Asian Broiler Houses with Double-Skin Roofs

이세연*, 박지연**, 이채린***, 박진선****, Rajagukguk Rial Arifin*****, 임준홍******, 김슬기*******, 홍세운********†

Se-yeon Lee, Ji-yeon Park, Chae-rin Lee, Jinseon Park, Rial Arifin Rajagukguk, Junhong Im, Seul-gi Kim, Se-woon Hong

요 지

말레이시아와 같은 동남아시아 지역에서는 육계가 지속적으로 고온다습한 환경에 노출된다. 이에 주지붕 위에 보조지붕을 설치하여 공기층을 형성하는 저비용 이중 지붕(Double-Skin Roof, DSR)이 기존 지붕 단열 방식의 경제적인 대안으로 활용되고 있다. DSR의 효율을 최적화하기 위해서는 열적 거동을 이해할 필요가 있다. 기존에는 DSR의 열적 거동을 주로 열전달 모델(Heat-Transfer Model, HTM)로 평가하였으나, HTM은 사육공간의 공간적 열환경을 반영하기 어렵다. 반면, 전산유체역학(Computational Fluid Dynamics, CFD) 모델은 공간적 특성을 분석할 수 있지만, DSR 전체 형상을 구현할 경우 많은 계산 자원이 요구된다. 본 연구에서는 이러한 한계를 보완하기 위해 DSR은 HTM으로, 사육공간은 CFD로 분석하는 통합 모델링 프레임워크(HTM+CFD)를 개발하여 육계사의 열환경 평가 가능성을 검토하였다. HTM으로 보조지붕에서 주지붕으로 전달되는 정상상태 열유속을 추정하고, 24시간 동안 측정한 지붕 사이 공기층 온도와 비교하여 모델을 검증하였다. 그 결과, 모든 조건에서 CVRMSE는 10% 미만, MAPE는 7% 미만으로 높은 예측 정확도를 보였다. 이후 예측된 열유속을 HTM+CFD 모델의 경계조건으로 적용하고, DSR 전체 형상을 구현한 DSR+CFD 모델 및 지붕 열유속을 고려하지 않은 CFD 모델과 육계사 내부 9개 측정 지점의 기온과 유속을 비교하였다. 그 결과, 두 모델 모두 높은 일사 조건에서 열유속을 고려하지 않은 CFD 모델보다 실측값과 높은 일치도를 보였다. 특히 HTM+CFD 모델은 유사한 예측 정확도를 유지하면서 DSR+CFD 대비 계산 시간과 자원을 약 50% 수준으로 줄일 수 있었다. 따라서 HTM+CFD 통합 모델은 동남아시아의 DSR 적용 축산시설의 공간적 열환경을 효과적으로 반영하면서 계산 효율성을 확보할 수 있는 열환경 평가 도구로 활용될 수 있을 것으로 판단된다.

핵심용어: 열 스트레스, 열전달 모델, 열환경, 통합 모델링, CFD 모델

본 결과물은 농림축산식품부 및 과학기술정보통신부, 농촌진흥청의 재원으로 농림식품기술기획평가원과 재단법인 스마트팜연구개발사업단의 스마트팜다부처패키지혁신기술개발사업의 지원(RS-2024-00402271)을 받아 수행된 연구임

* 정회원・전남대학교 대학원 지역·바이오시스템공학과 박사후 연구원・E-mail : seyeonn@jnu.ac.kr

** 정회원・전남대학교 대학원 지역·바이오시스템공학과 & BK21 기후지능형 간척지 농업 교육연구팀 박사・E-mail: qkrwldus7749@jnu.ac.kr

*** 정회원・전남대학교 대학원 지역·바이오시스템공학과 & BK21 기후지능형 간척지 농업 교육연구팀 박사・E-mail: chaerinl@jnu.ac.kr

**** 정회원・전남대학교 농업생명과학대학 기후변화대응농생명연구소 연구교수・E-mail : icarus381@jnu.ac.kr

***** 정회원・전남대학교 농업생명과학대학 지역·바이오시스템공학과 연구교수・E-mail : rialarifin@jnu.ac.kr

****** 정회원・전남대학교 대학원 지역·바이오시스템공학과 & BK21 기후지능형 간척지 농업 교육연구팀 석사・E-mail : 214199@jnu.ac.kr

******* 정회원・전남대학교 농업생명과학대학 지역·바이오시스템공학과 학부연구원・E-mail : 0228tmfrl@jnu.ac.kr

******** 정회원・전남대학교 농업생명과학대학 지역·바이오시스템공학과 & BK21 기후지능형 간척지 농업 교육연구팀 부교수・E-mail : hsewoon@jnu.ac.kr

지역별 온실 단지 토양분류 특성 분석

Analysis of Soil Classification Characteristics in Greenhouse Complexes by Region

김명환*†, 박오현**, 신현호***
Myeonghwan Kim, Ohhyun Park, Hyunho Shin

요 지

본 연구는 온실 구조물의 안정적인 기초 설계를 위한 토질 공학적 기초 정보를 획득하고자, 우리나라 5개 지역(경기, 강원, 충남, 전남, 경남) 총 36개소의 온실단지를 대상으로 표토(10cm)와 심토(20cm)를 채취하여 토양의 물리적·공학적 특성을 분석하였다.

토양 특성 분석 결과, 지역별 평균 비율은 표토의 경우 모래 44.8%, 실트 38.3%, 점토 16.9%, 심토의 경우 모래 43.8%, 실트 39.4%, 점토 16.8%로 나타나 농촌진흥청에서 제시한 기준과 유사하였으며, 삼각분류상 양토, 통일분류상 ML 또는 CL로 분류되었다. 지역별 토성과 투수계수는 지형적·지질학적 특징에 따라 뚜렷한 공학적 차이를 보였다. 화강암 및 화강편마암 분포로 조립질 모래 성분(화강암 풍화토)이 지배적인 경기·강원 지역은 투수계수가 5.43E-04cm/sec로 가장 높았다. 반면, 변성암 지대 기반의 영산강 유역 미세 퇴적물 영향을 받은 전남 지역은 3.16E-06cm/sec, 셰일 및 이암 지대로 미사질 함량이 높은 충남·경남 지역은 2.27E-06cm/sec로 상대적으로 낮은 투수성을 보였다. 토양의 평균 함수비는 표토와 심토 모두 약 23%로 지역별 큰 차이가 없었으나, 현장밀도는 표토 평균 1.585g/㎤, 심토 평균 1.684g/㎤로 심토가 더 높게 측정되었다.

결론적으로, 측정된 토양 밀도는 농학적 관점에서는 식물 생육에 불리한 조건(1.1~1.3g/㎤ 이상)에 해당하나, 공학적 관점에서는 자연 압밀에 의한 전단강도 증가로 온실 기초를 지지하기에 비교적 단단하고 안정적인 지반인 것으로 판단된다. 다만 구조물의 부등침하 방지 및 안정성 확보를 위해 상대적으로 느슨한 표토층에 대해서는 향후 철저한 다짐 관리가 수반되어야 할 것으로 사료된다.

핵심용어: 토양분류; 비닐하우스; 온실기초; 삼각분류

본 성과물은 농촌진흥청 연구사업(과제번호: RS-2025-02223042)의 지원에 의해 이루어진 것임

* 정회원・지엠티지 이사・E-mail : gmtg2016@naver.com
** 정회원・지엠티지 부장・E-mail : gmtg2016@naver.com
*** 정회원・국립원예특작과학원 시설원예연구소 농업연구사・E-mail : shh99@korea.kr

농업지역 초미세먼지 성분분석을 통한 암모니아의 초미세먼지 형성 기여도 평가

Assessment of the Contribution to PM-2.5 Formation throught Chemical Composition Analysis in Agricultural Areas

김민욱*, 김진호**†, 김혜원***, 배민석****
Min-wook Kim, Jin-Ho Kim, Hye-won Kim, Min-Suk Bae

요 지

암모니아(NH_3)는 대기 중 화학반응을 통해 초미세먼지(PM-2.5)를 형성하는 주요 전구물질이나, 농업지역에서의 암모니아 배출 특성과 초미세먼지 형성 기여도에 대한 과학적 근거는 아직 부족한 실정이다. 본 연구에서는 농업지역 초미세먼지 생성기작을 구명하고 암모니아의 PM-2.5 형성 기여도를 정량적으로 평가하였다. 이를 위해 논(부안)과 밭(고창) 지역에 대기질 집중측정소를 구축하고, 2022~2025년 동안 PM-10, PM-2.5, O_3, NO, NO_2, SO_2, NH_3 등의 대기오염물질과 기상요인을 실시간으로 관측하였다. 또한 초미세먼지 형성 기여도 평가를 위해 OC, EC, WSOC와 NO_3^-, SO_4^{2-}, NH_4^+ 등 주요 이온성분을 추가로 분석하였다.

농업지역 초미세먼지 성분 분석 결과, 탄소성분과 수용성 이온성분이 PM-2.5 질량농도 형성에 주요하게 기여하였으며, 특히 NO_3^-, SO_4^{2-}, NH_4^+ 등 이차생성 무기이온의 비중이 높아 농업지역 PM-2.5가 대기 중 2차 생성 과정의 영향을 크게 받는 것으로 나타났다. 특히 농업지역은 ammonium-rich 상태로 나타나 이차생성 무기염(SIA) 형성에 유리한 조건을 보였으며, 고농도 PM-2.5 발생 시 수용성 이온성분의 기여도 역시 증가하는 경향을 나타냈다. 실시간 관측자료와 PM-2.5 성분 분석 결과를 기반으로 암모니아의 초미세먼지 형성 기여율을 추정한 결과, 농업지역 PM-2.5의 약 17%가 암모니아와 관련된 2차 생성 과정에 의해 형성되는 것으로 평가되었다.

본 연구는 농업지역 초미세먼지의 주요 생성기작과 암모니아의 정량적 기여도를 제시함으로써 향후 농업지역 미세먼지 관리 및 정책 대응을 위한 과학적 근거를 제공할 것으로 판단된다.

핵심용어: 농업지역, 초미세먼지, 암모니아, 생성기작, 기여율 평가

본 연구는 “농촌진흥청 국립농업과학원 농업과학기술 연구개발사업(RS-2022-RD010418)”의 지원을 받아 수행된 연구임

* 회원・농촌진흥청 국립농업과학원 기후변화대응과 농업연구사・E-mail : minuk09@korea.kr
** 회원・농촌진흥청 국립농업과학원 기후변화대응과 농업연구관・E-mail : water86@korea.kr
*** 비회원・농촌진흥청 국립농업과학원 기후변화대응과 연구원・E-mail : khwon0712@korea.kr
**** 비회원・ 목포대학교 교수 E-mail : minsbae@hotmail.com

물리정보 신경망(PINN)과 전산유체역학(CFD)을 결합한 온실 환기 유동 예측 프레임워크

Greenhouse Ventilation Flow Prediction Framework Integrating Physics-Informed Neural Network and Computational Fluid Dynamics

반채원*, 류현**, 전다현***, 곽찬우****, 김서윤*****, 한일우******, 이종혁*******,
나욱호********, Anis Rabiu*********, 이상익**********†
Chanwoo Kwak, Seoyun Kim, Hyeon Ryu, Dahyun Jeon, Chaewon Van, Ilwoo Han,
Jonghyuk Lee, WookHo Na, Anis RABIU, Sangik Lee

요 지

온실 및 비닐하우스 등 시설원예 구조물의 내부 환경 제어 및 환기 효율 최적화를 위한 정밀 유동 해석 기술의 중요성이 증가하고 있다. 그러나 전산유체역학(Computational Fluid Dynamics, CFD) 기반 해석은 높은 계산 비용으로 인해 다양한 환기 조건에 대한 신속한 반복 검토나 실시간 활용에 한계가 있다. 본 연구에서는 물리정보 신경망(Physics-Informed Neural Network, PINN)을 활용하여 2차원 온실 내부 환기 유동을 빠르게 예측하는 모델을 구축하고, 이를 CFD 결과와 비교하여 예측 신뢰도를 검증하였다. 대상 형상은 반원 아치형 지붕과 수직벽으로 단순화한 2차원 온실 단면으로 설정하였으며, 좌우 측벽 상단 환기구를 유입부(inlet)와 유출부(outlet)로, 벽면은 no-slip 조건으로 정의하여 층류 정상상태 Navier-Stokes 방정식을 적용하였다. PINN 모델은 지배방정식 잔차와 경계조건 오차를 결합한 손실함수를 기반으로 학습하였으며, 유속 수렴도 및 압력장 분포 개선을 위해 학습 에폭, 손실 가중치, 은닉층 크기 및 층수를 조합한 24가지 하이퍼파라미터 탐색을 수행하였다. 최적화된 PINN 모델의 예측 성능을 검증하기 위해 동일 형상 및 경계조건의 Fluent CFD 해석 결과와 정량 비교를 수행하였다. 도메인 내 무작위 지점에서 속도 및 압력 예측값을 대응시켜 산점도 및 결정계수(R^2)로 분석한 결과, 유속 성분에서 CFD와 높은 일치도를 확인하였다. 본 연구는 PINN이 온실 환기 유동을 CFD 수준으로 신속히 재현할 수 있음을 확인하였으며, 향후 다양한 온실 형상 및 운영 조건에 대응하는 신속 유동 예측 도구로서의 활용 가능성을 제시하였다.

핵심용어: 물리정보 신경망, 전산유체역학, 온실 환기, 하이퍼파라미터 최적화, 신뢰성 검증

이 성과는 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임 (RS-2025-00560277).

* 준회원・경북대학교 농업토목공학과 학사과정・E-mail : vchaewon0901@gmail.com
** 준회원・경북대학교 농업토목공학과 학사과정・E-mail : congsister1@knu.ac.kr
*** 준회원・경북대학교 농업토목공학과 학사과정・E-mail : ekgus050103@naver.com
**** 준회원・경북대학교 농업토목공학과 학사과정・E-mail : rcd1106@knu.ac.kr
***** 준회원・경북대학교 농업토목공학과 학사과정・E-mail : ksy0403@knu.ac.kr
****** 준회원・경북대학교 농업토목공학과 석사과정・E-mail : gksdn6222@naver.com
******* 정회원・경북대학교 농업과학기술연구소 연구초빙교수・E-mail : jonghyuk.lee@knu.ac.kr
******** 정회원・경북대학교 농업과학기술연구소 연구원・E-mail : wooks121@knu.ac.kr
********* 정회원・경북대학교 농업과학기술연구소 연구원・E-mail : rabiuanis@knu.ac.kr
********** 정회원・경북대학교 농업토목공학과 조교수・E-mail : sangik@knu.ac.kr

지반 및 기초공학

H-P-1

THE KOREAN SOCIETY OF AGRICULTURAL ENGINEER

수평 지보재 대체 앵커의 설치조건에 따른 도심지 굴착 적용성 및 경제성 평가

Evaluation of Applicability and Economic Feasibility of Horizontal Support-Replacing Anchors for Urban Excavation under Different Installation Conditions

김창준*, 최승일**, 권다빈***, 김종승****, 김용성*****
Changjun Kim, Seungil Choi, Dabin Kwon, Jongseung Kim, Yongseong Kim

요 지

최근 국내에서는 도심지 재개발 및 지하공간 활용이 확대됨에 따라 제한된 부지 내에서 수행되는 굴착공사가 증가하고 있다. 도심지 굴착공사는 인접 구조물, 지중 매설물 및 부지 경계 등의 제약을 동시에 고려해야 하며, 기존 수평 지보재는 굴착 내부 공간을 점유하고 어스앵커는 경사 정착장 확보를 위한 배면 공간이 요구되어 협소한 부지에서 적용에 한계가 있다. 이에 본 연구에서는 고각 설치가 가능한 수평 지보재 대체 앵커를 대상으로 설치조건에 따른 도심지 굴착 적용성 및 경제성을 평가하였다.

도심지 굴착 적용성은 앵커 설치각과 굴착깊이에 따른 인접 구조물과의 최소 이격거리를 비교하여 검토하였다. 분석 결과, 굴착깊이 10 m 조건에서 설치각 45°의 최소 이격거리는 7.1 m였으나, 설치각 70°와 80°에서는 각각 3.4 m와 1.7 m로 감소하였다. 또한 굴착깊이 20 m에서도 설치각 80° 조건의 최소 이격거리는 3.5 m로 평가되어 고각 설치에 따른 공간적 이점이 확인되었다. 경제성 평가에서는 동일한 시공조건을 기준으로 기존 어스앵커 공법과 비교한 결과, 앵커 단수가 12단에서 7단으로 감소하였으며, 이에 따라 공사기간은 28주에서 18주로 약 10주 단축되는 것으로 평가되었다. 이를 통해 수평 지보재 대체 앵커는 협소한 도심지 굴착 현장에서 기존 지보공법의 공간적 제약을 보완하고 시공 효율성을 향상시키는 데 효과적인 것으로 확인되었으며, 고각 설치가 요구되는 협소부에서 적용 가능성이 높은 것으로 판단된다. 본 연구 결과는 향후 도심지 굴착공사의 시공 효율성 향상과 지보공법의 적용범위 확대에 기여할 수 있을 것으로 기대된다.

핵심용어: 수평 지보재 대체 앵커, 도심지 굴착, 앵커 설치각, 최소 이격거리, 경제성

* 정회원・강원대학교 지역건설공학과 석박사통합과정・E-mail : changjun@kangwon.ac.kr
** 비회원・강원대학교 지역건설공학과 박사・E-mail : csil@korea.kr
*** 준회원・강원대학교 지역건설공학과 석사과정・E-mail : klsjbh4@kangwon.ac.kr
**** 준회원・강원대학교 지역건설공학과 석사과정・E-mail : jonsen0608@kangwon.ac.kr
***** 정회원・강원대학교 지역건설공학과 교수・E-mail : yskim2@kangwon.ac.kr

GNSS 측량을 활용한 지하배수 유공관 암거 위치 좌표 분석

Analysis of Subsurface Drainage Perforated Pipe Location Coordinates Using GNSS Surveying

구재혁*, 신종호**, 최유진***, 박상혁****, 이준수*****, 조상민******, 박채영*******,
김웅********, 연재흠*********, 박찬기**********
Jaehyuk Koo, Jongho Shin, Yujin Choi, Sanghyuk Park, Junsu Lee, Sangmin Jo,
Chaeyoung Park, Woong Kim, Jaeheum Yeon, Changi Park

요 지

지하배수 유공관 암거공법에 적용되는 유공관은 지하에 매설 이후 외부에서 위치를 육안으로 확인하기 어렵기 때문에, 유공관의 장기적인 유지관리를 위해서는 유공관의 위치 좌표를 기반으로 매설 위치를 도식화한 정밀 위치 매핑(Location Mapping)기술이 필요하다. 이에 본 연구에서는 RTAP2U를 활용한 정밀 GNSS 측량이 지하배수 유공관 암거 공법의 매설 위치 좌표 취득에 적용 가능한지를 평가하였다. 정밀 측량 시스템의 좌표 안정성을 검토하기 위해 동일 지점에서 정지 상태 반복 측량을 수행하였다. 또한 본 연구에서는 GNSS 측량 결과의 3차원 오차 특성을 분석하기 위해 기준선 기반의 GNSS 3D 시뮬레이터 시스템을 구축하였다. RTAP2U로 취득한 좌표를 시뮬레이터에 적용하여 위도·경도·고도 오차를 3차원 공간상에서 정량적인 수치와 도식화된 형태로 분석하였다. 취득한 좌표의 허용 오차범위는 기준선을 중심으로 직경 50 mm 범위로 설정하였으며, 이는 유공관의 직경을 고려하였을 때, 50 mm 이내의 좌표 오차는 시공 위치 판단에 영향을 미치지 않는 범위로 해석하였다. 이에 본 연구에서는 정밀 자동 측량을 위해 시공 구간의 양 끝 지점을 정지측량으로 취득한 후, 두 지점 사이의 구간을 자동 측량하였다. 그 결과 총 717개의 좌표가 자동으로 수집되었으며, 모든 좌표가 허용 가능 오차범위인 직경 50 mm에 이내에 포함되는 것 확인되었다. 따라서 지하배수 암거의 시공 위치 및 매설 깊이 정보의 안정적인 확보가 가능한 수준의 정확성을 나타내는 것으로 판단된다. 현장 적용성 평가를 위해 새만금 간척지 지하배수 유공관 암거 공법 시공 현장에서 GNSS 측량을 수행한 후 취득된 위치 좌표를 기반으로 유공관 위치 매핑(Location Mapping)을 수행하였다. 현장에서 취득한 위도·경도·고도 좌표를 분석한 결과, 사전에 설정한 유공관 간격이 3m로 일치하는 것으로 나타났으며, 이를 통해 RTAP2U가 정지측량뿐만 아니라 암거 시공과 동시에 안정적으로 측량 좌표 를 취득할 수 있음을 확인하였다. 따라서 GNSS 기반 위치정보 수집과 지하배수 유공관 암거 위치 매핑(Location Mapping) 과정을 통해 유공관의 매설 위치를 정밀하게 도출할 수 있으며, 향후 지중에 매설된 유공관의 유지관리 측면에서 활용 가능성이 높은 것으로 판단된다.

핵심용어: 위치 좌표, GNSS, GNSS 3D 시뮬레이터, 지하배수 유공관 암거 공법

본 성과물(논문, 산업재산권, 품종보호권 등)은 농촌진흥청 연구사업(과제번호 : RS-2025 02215069) 및 농림축산식품부의 재원으로 농림식품기술기획평가원의 기후변화대응지능형농업기반관리기술개발사업의 지원을 받아 연구되었음(RS-2025-02263147)

* 정회원・국립공주대학교 농공학과 박사과정・E-mail : D20250151@smail.kongju.ac.kr
** 학생회원・국립공주대학교 지역건설공학과 학부과정・E-mail : jongho43@smail.kongju.ac.kr
*** 학생회원・국립공주대학교 지역건설공학과 학부과정・E-mail : tinacyj0203@naver.com
**** 학생회원・국립공주대학교 지역건설공학과 학부과정・E-mail : sam040220@naver.com
***** 학생회원・국립공주대학교 지역건설공학과 학부과정・E-mail : dlwnstn0123@gmail.com
****** 학생회원・국립공주대학교 지역건설공학과 학부과정・E-mail : jhsam0116@naver.com
******* 학생회원・국립공주대학교 지역건설공학과 학부과정・E-mail : yeong0063@naver.com
******** 비회원・국립공주대학교 스마트팜공학과 교수・E-mail : kimw017@kongju.ac.kr
********* 종신회원・강원대학교 지역건설공학과 교수・E-mail : jyeon@kangwon.ac.kr
********** 정회원・국립공주대학교 지역건설공학과 교수・E-mail : cgpark@kongju.ac.kr

연약지반 초기 계측자료를 활용한 장기 압밀침하 분석

Long-Term Consolidation Settlement Analysis Using Initial Monitoring Data of Soft Ground

문명재*, 백원진**, 윤현준***, 정원철****, 고현종*****, 강승헌******
Myoungjae Mun, Wonjin Baek, Hyunjun Yoon, Wonchul Jeong, Hyeonjong Ko, Seungheon Kang

요 지

연약지반에서 발생하는 압밀침하는 시간 의존적 거동 특성을 가지며 장기간 지속되므로 전체 침하가 종료되기 이전에 예상 침하량과 안정화 시점을 예측하는 것이 중요하다. 그러나 압밀침하는 비선형성과 시간 의존성을 동시에 가지기 때문에 제한된 초기 계측자료만으로는 장기 압밀침하를 예측하는 데에는 한계가 있다.

본 연구에서는 새만금 지역의 연약지반 계측자료를 활용하여 초기 계측데이터 기반 장기 압밀침하 예측 가능성을 검토하였다. 이를 위해 시계열 딥러닝 모델인 LSTM(Long Short-Term Memory)과 Seq2Seq (Sequence-to-Sequence)을 적용하고, 압축지수(Compression Index, Cc) 포함 여부에 따른 예측 성능을 비교하였다. 총 510개 계측기에서 취득한 42,003개의 침하 계측자료를 대상으로 전체 시계열의 10%, 20%, 30%, 40%를 초기 입력구간으로 설정하였으며, 침하곡선, 최종 침하량 및 안정화 시점(T95)을 예측하였다.

분석 결과, 초기 계측자료만으로도 장기 침하 거동의 전반적인 경향과 최종 침하량을 일정 수준 예측할 수 있었으며, 일부 조건에서는 계측자료의 비율 증가에 따라 예측 성능이 향상되었다. 반면 T95 예측은 상대적으로 큰 오차가 나타났으며, 이는 압밀 후반부의 완만한 침하 거동에 기인한 것으로 판단된다.

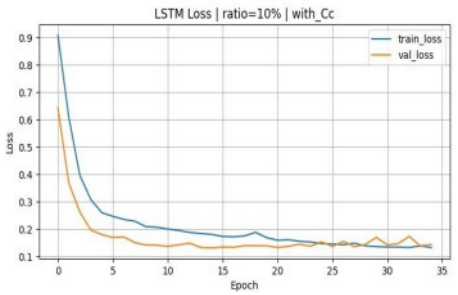

그림1. LSTM 입력변수별 변화 경향 10%

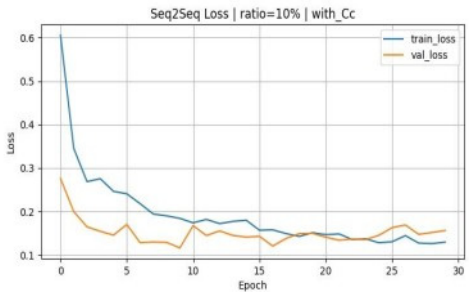

그림2. Seq2Seq 입력변수별 변화 경향 10%

핵심용어: 연약지반, 압축지수, 압밀침하, LSTM, Seq2Seq

* 준회원・전남대학교 대학원 지역·바이오시스템공학과 석사과정・E-mail : ggb1109@naver.com
** 정회원・전남대학교 지역·바이오시스템공학과 교수・E-mail : bwj215@jnu.ac.kr
*** 정회원・전남대학교 대학원 지역·바이오시스템공학과 박사과정・E-mail : for815yhj@jnu.ac.kr
**** 준회원・전남대학교 대학원 지역·바이오시스템공학과 공학석사
***** 비회원・전남대학교 학사 지역·바이오시스템공학과
****** 비회원・전남대학교 학사 지역·바이오시스템공학과

토석류의 주거공간 침입 실증실험과 거주자 보호행동 인식조사

Experimental Investigation of Debris-Flow Intrusion into Residential Space and Perceptions of Indoor Protective Actions

이영학*, 송효성**, 이승재***, 나건하****, 김솔리*****, 박재성******,
이달원*******, 김재정********
Younghak Lee, Hyosung Song, Seungjae Lee, Gunha Na, Soli Kim, Jaesung Park, Dalwon Lee, Jaejeong Kim

요 지

토석류가 건축물 내부로 유입될 경우 급격한 토사물 유입으로 거주자의 이동과 대응이 제한될 수 있다. 본 연구에서는 대형 사면실험을 수행하여 약 1.2~1.8m/s의 이동속도를 갖는 토석류가 주택 외벽을 파괴 후 실내침입 이후의 공간적 변화를 관찰하였다. 실험 시뮬레이터 하류부에는 3.5×3.5 m 규모의 실규모 주거공간을 모사한 조적조 주택이 위치하고 주택 내에는 성인 크기의 마네킹이 설치되었다. 실험에서 촬영한 토석류의 접근, 벽체 파괴 및 실내침입 시나리오를 구성하여 산사태 및 토석류 재해의 비경험자 성인 92명을 대상으로 보호행동 인식을 조사하였다.

실험 결과, 외벽 하부가 파괴된 직후 토사물이 실내로 유입되어 약 6초 만에 수심이 0.6m에 도달하였으며, 마네킹은 약 3.2m 이동하였다. 이는 벽체 파괴 이후 짧은 시간에 실내 이동이 제한됨으로써 출구가 제한된 공간에서는 고립 또는 매몰 가능성이 있음을 시사한다. 인식조사에서는 성별 및 연령을 구분하지 않은 전체 대상자들에서 적극적인 탈출행동이 60.9%, 외부 구조요청이 32.6%, 비대응이 6.5%로 나타났다. 외부 구조요청은 60세 이상과 여성에서 상대적으로 높은 비율을 보였는데, 이는 실제 토석류 재해 시 통신망과 접근로가 단절될 수 있고 벽체 파괴 이후 실내환경도 수초 내 급변하는 상황이 간과되었을 가능성이 있다. 즉, 재해에 직면한 상황에서 스스로 보호할 수 있다고 여긴 인식과 재해에 직면 상황에서 실제 실행가능한 행동에는 괴리감이 클 수 있음을 보여주는 결과이다. 따라서, 토석류의 실내 침입 후, 예상되는 보호행동뿐만 아니라, 각 행동을 실제로 수행할 수 있는 시간적·공간적 조치에 대해 보호행동 지침에 반영될 필요가 있다.

핵심용어: 토석류, 주거공간, 실내침입, 실증실험, 보호행동, 재해인식

본 연구는 행정안전부 재난안전관리업무지원기술개발 사업인 '실증실험 기반 지자체 노후 저수지 제체 안전관리 기술개발' 과제[NDMI-주요 2026-07-03]에 의해 수행되었습니다. 이에 감사드립니다. 또한, 보건복지부 지정 공용기관생명윤리위원회 승인(P01-202606-01-092) 받았으며, 인식조사에 참여한 모든 대상자로부터 사전동의를 받았음을 알립니다.

* 정회원・국립재난안전연구원・E-mail : fulian3208@korea.kr
** 비회원・국립재난안전연구원・E-mail : song32@korea.kr
*** 정회원・국립재난안전연구원・E-mail : seungje1215@korea.kr
**** 비회원・국립재난안전연구원・E-mail : ngh3714@korea.kr
***** 비회원・국립재난안전연구원・E-mail : solli128@naver.com
****** 정회원・부산대학교 바이오산업기계공학과 교수・E-mail : jaesung.park@pusan.ac.kr
******* 정회원・충남대학교 지역환경토목학과 교수・E-mail : dwlee@cnu.ac.kr
******** 비회원・국립재난안전연구원・E-mail : kjj0914@korea.kr

산사태 미발생지 선정 기법 고도화를 통한 머신러닝 기반 산사태 취약성 평가 – 경기도를 중심으로

Machine Learning-Based Landslide Susceptibility Assessment Through Advanced Non-Landslide Sampling : A Case Study in Gyeonggi-do

이시은*, 봉태호**, 전지훈***, 정은수****, 송정민*****, 홍승찬******
Sieun Lee, Taeho Bong, Jihun Jeon, Eunsoo Jeong, Jungmin Song, Seoungchan Hong

요 지

최근 산사태의 발생 빈도 및 피해 규모가 증가함에 따라, 산사태 발생 지점 예측의 신뢰도 및 정확도 확보를 위한 머신러닝 기반 산사태 취약성 평가 모델 구축에 관한 연구가 활발히 진행 중에 있다. 또한 산사태 취약성 평가 모델의 신뢰도 상승을 위해선 고품질의 학습 데이터셋 구축이 필수적이다. 하지만, 기존 연구들은 산사태 미발생지를 단순 무작위 추출 방식을 통해 선정하여 표본의 편향에 따른 모델의 신뢰도와 같은 한계가 존재한다. 따라서 본 연구에선 이러한 한계를 극복하고자 민감도 분석을 통해 선정된 고도, 경사, 곡률 등의 주요 지형 인자를 대상으로 분위수 층화 추출 및 다차원 클러스터 분석을 적용한 미발생지 추출법을 제안하였다. 이를 바탕으로 2018～2025년에 발생한 경기 권역의 산사태 이력 데이터 기반의 분위수 층화 추출법, GMM, GAMM, K-means 등의 클러스터 알고리즘을 적용하여 추출 방법별 미발생지 데이터셋을 구성하였다. 이를 다양한 머신러닝 모델에 학습시켜 취약도 평가 모델을 구축하고, 미발생지 추출법 및 머신러닝 알고리즘에 따른 모델의 예측 성능을 비교 · 분석하였다.

핵심용어: 산사태 취약성 평가, 미발생지 추출, 머신러닝, 클러스터링 분석

이 성과는 산림청(한국임업진흥원) 산림과학기술 연구개발사업′(RS-2025-02213490)′의 지원에 의하여 이루어진 것입니다.

* 준회원・충북대학교 산림학과 석사과정・E-mail : sieun@cbnu.ac.kr
** 정회원・충북대학교 산림학과 부교수・E-mail : thbong@cbnu.ac.kr
*** 정회원・충북대학교 농업과학기술연구소・E-mail : jihun.jeon123@cbnu.ac.kr
**** 준회원・충북대학교 산림학과 박사과정・E-mail : eunsoo@cbnu.ac.kr
***** 준회원・충북대학교 산림학과 석사과정・E-mail : sjm2570@gmail.com
****** 준회원・충북대학교 산림학과 학사과정・E-mail : ckahsehong@gmail.com

굴착규모를 고려한 도심지 지반함몰 영향범위 분석

Analysis of Excavation Influence on Urban Ground Subsidence Considering Excavation Scale

윤현준*, 백원진**, 문명재***
Hyunjun Yoon, Wonjin Baek, Myoungjae Mun

요 지

최근 도시공간의 고밀도화와 함께 전력구 지하화, 송·배전선로 지중화, 통신구 및 상·하수도관 설치, 도시철도 및 지하공간 개발 등 다양한 지하시설물 구축사업이 확대되면서 도심지에서의 굴착공사가 지속적으로 증가하고 있다. 특히, 도심지 굴착은 기존 건축물과 도로, 지하매설물 등이 밀집된 환경에서 이루어지는 경우가 많아 굴착에 따른 지반의 응력상태 변화, 지하수 유동 및 수위 변화, 토사 유실 등이 주변 지반의 안정성에 영향을 미칠 가능성이 있다. 이에 따라 굴착공사 주변의 지반함몰 위험을 사전에 평가하고 관리할 필요성이 증가하고 있으나, 굴착지점으로부터 어느 범위까지 지반함몰 발생과의 공간적 연관성이 나타나는지에 대한 정량적 분석은 충분하지 않은 실정이다. 따라서, 본 연구에서는 도심지역을 대상으로 지반굴착과 지반함몰 발생 간의 공간적 관계를 분석하고, 굴착면적과 이격거리를 고려하여 지반굴착에 따른 지반함몰 영향범위를 정량적으로 평가하고자 하였다.

이를 위해 지반굴착의 위치, 굴착면적 및 허가시기와 지반함몰의 발생위치, 발생시기 및 발생규모에 대한 공간데이터베이스를 구축하였다. 또한, 분석영역의 민감도 향상을 위해 건축물 피복률을 산정하여 GRID 면적 5% 이상을 분석대상으로 설정하였으며, 지하수 관측자료를 기반으로 연도별 지하수위 분포와 변화량을 구축하였다. 지반굴착과 지반함몰의 공간적 관계를 평가하기 위해 함몰 발생 이전에 수행된 굴착을 대상으로 최근접 이격거리를 산정하고, 굴착지점으로부터의 거리를 단계별로 구분하여 거리대별 지반함몰 발생률을 분석하였다. 또한, 굴착면적을 규모별로 구분하여 거리 증가에 따른 함몰 발생률의 변화를 비교함으로써 굴착규모별 공간적 영향범위를 검토하였다.

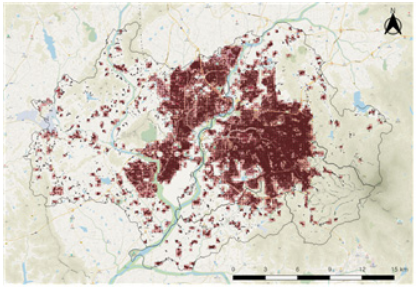

그림1. 대상지역 건축물 피복률 현황(피복률 5%)

핵심용어: 지반함몰, 영향인자, 굴착공사, 지하수위

* 준회원・전남대학교 대학원 지역·바이오시스템공학과 박사1・E-mail : for815yhj@jnu.ac.kr
** 정회원・전남대학교 지역·바이오시스템공학과 교수・E-mail : bwj215@jnu.ac.kr
*** 정회원・전남대학교 대학원 지역·바이오시스템공학과 석사1・E-mail : ggb1109@naver.com

스테레오 카메라 기반 임도 노면 변형 측정을 통한 도로 상태 지수 적용성 평가

Evaluation of Road Condition Index Applicability Based on Stereo-Camera Forest Road Surface Deformation Measurement

송정민*, 봉태호**, 전지훈***, 정은수****, 이시은*****, 홍승찬******
Jungmin Song, Taeho Bong, Jihun Jeon, Eunsoo Jeong, Si-eun Lee, Seoungchan Hong

요 지

임도는 산림경영과 재해 대응을 위한 필수 기반시설로, 노후화와 관리 미흡에 따른 러팅·포트홀·침식 등이 통행성과 안전에 직결되어 지속적인 유지·관리가 요구된다. 임도 유지·관리를 수행함에 있어 보수 우선순위를 판단하기 위해 도로 상태를 평가하는 여러 지수(PCI, URCI, FRPCI, PASER 등)가 개발 및 활용되고 있으나, 노면 변형을 측정 및 평가하는 항목은 주로 육안 등급 판정에 의존하여 평가자 간 편차가 크고, 일정 구간을 소수의 등급으로 구간화하여 노선을 따라 연속적으로 변화하는 노면 변형을 반영하지 못하는 한계가 있다. 이에 노면 변형을 정량적·연속적으로 측정하기 위한 대안으로 광학카메라, 레이저 스캐너 등을 활용한 3차원 측정에 관한 연구가 수행되고 있으나, 복잡한 데이터 후처리와 높은 장비 비용 등의 한계가 있다. 반면 뎁스카메라는 스테레오·ToF·구조광 등의 방식으로 대상 표면까지의 거리를 화소별로 측정하여 3차원 형상을 측정하는 센서로 노면 파손의 깊이와 면적을 지점별로 정량화할 수 있으며 저비용, 소형·경량, 실시간 데이터 취득 등의 장점이 있다. 따라서 본 연구에서는 임도 내 대상 구간을 선정한 뒤 스테레오 카메라로 촬영하여 3차원 지형 데이터를 취득하고, 임도 노면의 변형량을 정량적으로 분석하였다. 이를 바탕으로 기존 도로 상태 지수를 산정하고 지수별 산정 결과를 비교·분석하였으며, 기존 도로 상태 지수의 임도 적용성을 평가하였다.

핵심용어: 임도, 노면 변형, 도로 상태 지수, 스테레오 카메라, 유지관리

본 연구는 산림청/한국임업진흥원의 지원으로 수행되었음 (과제번호 RS-2026-25504741)

* 준회원・충북대학교 산림학과 석사과정・E-mail : sjm2570@gmail.com
** 정회원・충북대학교 산림학과 부교수・E-mail : thbong@cbnu.ac.kr
*** 정회원・충북대학교 농업과학기술연구소・E-mail : jihun.jeon123@cbnu.ac.kr
**** 준회원・충북대학교 산림학과 박사과정・E-mail : eunsoo@cbnu.ac.kr
***** 준회원・충북대학교 산림학과 석사과정・E-mail : sieun@cbnu.ac.kr
****** 준회원・충북대학교 산림학과 학사과정・E-mail : ckahsehong@gmail.com

압전센서를 활용한 전단 파괴 탄성파 방출 신호 특성 분석

Analysis of Acoustic Emission Signal Characteristics during Shear Failure Using Piezoelectric Sensors

정은수*, 봉태호**, 전지훈***, 이시은****, 송정민*****, 홍승찬******
Eunsoo Jeong, Taeho Bong, Jihun Jeon, Si-eun Lee, Jungmin Song, Seoungchan Hong

요 지

최근 이상기후로 인한 극한 강우 등으로 산사태 및 사면 붕괴 위험이 급증함에 따라, 붕괴 예측 및 조기 경보 시스템에 대한 필요성이 대두되고 있다. 그러나 기존 계측 시스템은 국소적인 상태변화나 사후 변위 감지에 초점이 맞춰져 있어 붕괴 이전의 역학적 거동을 선제적으로 파악하는 데 한계가 있다. 이에 따라, 실제 붕괴 전조 증상으로 나타나는 진동 신호에 대한 중요성이 증대되고 있다. 사면 붕괴에 있어 전단대의 형성 과정에서 지반 내부 균열 및 응력변화에 따라 나타나는 고주파 탄성파 방출 신호는 거시적 변위 발생 전 감지 가능한 핵심 전조 증상이지만, 이에 대한 정량적인 분석 연구 및 파괴 발생 시 나타나는 진동 신호의 기준이 불명확한 실정이다. 또한, 기존의 고주파 진동신호를 측정할 수 있는 음향 방출 센서 및 DAQ 시스템은 도입 비용이 높아 실제 활용에는 어려운 문제가 있다. 따라서 본 연구에서는 지반 붕괴의 전조 증상인 진동 신호를 기반으로 사면 붕괴를 조기에 예측하고자, 전단 파괴 시 발생하는 탄성파 방출 신호 분석 연구를 수행하였다. 이를 위해 압전센서를 활용한 고주파 대역의 진동 측정 시스템을 구축하였으며, 실내 모형 실험을 구축하여 전단 파괴 실험을 수행하였다. 이를 통해 전단 파괴 시 방출되는 고주파 대역의 진동 신호를 연속적으로 측정하였으며, 붕괴 전조 및 전단 파괴 시 나타나는 고유 진동 신호 특성을 규명하였다.

핵심용어: 산사태, 전단 파괴, 진동 신호, 탄성파 방출, 조기경보

이 성과는 산림청(한국임업진흥원) 산림과학기술 연구개발사업′(RS-2025-02213490)′의 지원에 의하여 이루어진 것입니다.

* 준회원・충북대학교 산림학과 박사과정・E-mail : eunsoo@cbnu.ac.kr
** 정회원・충북대학교 산림학과 부교수・E-mail : thbong@cbnu.ac.kr
*** 정회원・충북대학교 농업과학기술연구소 초빙 조교수・E-mail : jihun.jeon123@cbnu.ac.kr
**** 준회원・충북대학교 산림학과 석사과정・E-mail : sieun@cbnu.ac.kr
***** 준회원・충북대학교 산림학과 석사과정・E-mail : sjm2570@gmail.com
****** 준회원・충북대학교 산림학과 학사과정・E-mail : ckahsehong@gmail.com

원심모형실험을 이용한 실제 저수지 기초지반 PBD 공법의 압밀촉진 효과 평가

Evaluation of the Consolidation Acceleration Effect of PBD in an Actual Reservoir Foundation Ground Using Centrifuge Model Tests

김종승*, 정우철**, 김창준***, 권다빈****, 김용성*****
Jongseung Kim, Woocheol Jeong, Changjun Kim, Dabin Kwon, Yongseong Kim

요 지

연약지반 상에 축조되는 농업용 저수지는 성토 과정에서 발생하는 과잉간극수압과 장기 압밀침하로 인해 시공성과 안정성 확보가 중요한 문제로 작용한다. 본 연구에서는 실제 농업용 저수지 단면을 기반으로 저수지 제체와 기초 연약지반을 축소 제작하고, 50G 원심모형실험을 수행하여 PBD(Plastic Board Drain) 공법의 압밀촉진 효과를 평가하였다.

동일한 조건에서 PBD 설치구간과 미설치구간을 구성하여 침하와 간극수압 변화를 비교한 결과, PBD를 적용한 구간에서는 과잉간극수압이 빠르게 소산되었으며, 장기적으로 발생할 압밀침하가 성토 초기 단계에서 집중적으로 발생하여 초기 압밀이 효과적으로 촉진되는 것으로 확인되었다. 또한 PBD 설치구간은 미설치구간에 비해 압밀 진행속도가 빠르게 나타나 조기 안정화에 유리한 거동을 보였으며, 이는 저수지 축조 시 요구되는 기초지반의 안정성 확보에 긍정적인 효과를 나타내는 것으로 평가되었다. 특히 실제 저수지 단면을 기반으로 한 원심모형실험을 통해 PBD 적용에 따른 지반거동을 효과적으로 재현하고 압밀촉진 효과를 실험적으로 검증함으로써, 원심모형실험이 연약지반 처리공법의 성능 평가뿐만 아니라 저수지 기초지반 설계 및 시공계획 수립을 위한 검증기법으로 활용될 수 있음을 확인하였다. 따라서 본 연구에서 제시한 원심모형실험 기법은 연약지반 상 저수지의 신설뿐만 아니라 기존 저수지 제체의 보강 및 유지관리 과정에서 적용 가능한 기초자료로 활용될 것으로 판단된다.

핵심용어: 원심모형실험, 농업용 저수지, 연약지반, PBD, 압밀촉진, 제체 안정성

* 준회원・강원대학교 지역건설공학과 석사과정・E-mail : jonsen0608@kangwon.ac.kr
** 비회원・강원대학교 지역건설공학과 박사・E-mail : j1965@korea.kr
*** 정회원・강원대학교 지역건설공학과 석박사통합과정・E-mail : changjun@kangwon.ac.kr
**** 준회원・강원대학교 지역건설공학과 석사과정・E-mail : klsjbh4@kangwon.ac.kr
***** 정회원・강원대학교 지역건설공학과 교수・E-mail : yskim2@kangwon.ac.kr

지능형 다짐관리 기반 다짐품질 평가와 도로포장 하부 지반침하 예방을 위한 시사점

Implications of Intelligent Compaction-Based Quality Assessment for Preventing Pavement Subsidence

김진영*†, 강재모**, 이성열***
Sungyeol Lee, Jaemo Kang, Myeongsik Kong

요 지

도로포장의 조기 손상과 국지적 침하, 나아가 도심 지반침하(땅꺼짐) 사고는 상당 부분 성토체 및 뒤채움재의 불충분하거나 불균질한 다짐에서 비롯된다. 기존 다짐 품질관리는 평판재하시험(PLT)등 점 단위 시험에 의존하여 시공 구간 전체의 다짐 상태를 대표하기 어렵고, 국지적 과소·과다 다짐 구간의 식별에 한계가 있다. 이를 보완하기 위해 진동 롤러에 가속도계와 GPS를 결합한 지능형 다짐(IC) 기술이 도입됐으며, 다짐도 평가지수(CMV)는 실무적 적용성이 높은 대표 지수로 활용된다. 반면 공진도 평가지수(RMV)는 롤러의 이상거동(더블점프 등)을 나타내는 보조지표로 간주되어, 일정 기준값을 초과할 경우 관행적으로 분석에서 제외되어 왔으나, 이러한 RMV 기반 데이터 배제 기준의 타당성에 대한 정량적 검증은 미흡한 실정이다.

본 연구는 한국건설기술연구원 연천 SOC 실증연구센터에서 수행한 실규모 현장 다짐시험 자료를 활용하여, RMV 임계값 적용이 데이터 손실과 다짐품질 평가 결과에 미치는 영향을 분석하였다. 분석 결과, 기존에 제안된 RMV > 2 혹은 > 4의 엄격한 기준을 적용할 경우 다짐 횟수와 무관하게 측정자료의 대부분(약 80~90%)이 손실되었으며, 완화된 기준인 RMV > 17을 적용하더라도 30% 이상의 자료 손실이 발생하였다. 반면 RMV 필터링을 적용하지 않은 경우, CMV는 평판재하시험(r = 0.829), 소형 낙하식 처짐계 시험(r = 0.956), 동적콘관입시험(r = -0.977) 결과와 강한 상관관계를 나타냈다. 이는 RMV가 높게 나타나는 구간이 반드시 이상 거동이나 측정 오류를 의미하지 않으며, 오히려 지반강성 증가에 따른 롤러-지반 상호작용의 동적 응답 변화를 반영할 수 있음을 시사한다.

관행적인 RMV 기준값 기반의 일률적 데이터 배제는 실제로는 양호하게 다짐된 구간을 다짐불량 구간으로 오판하거나, 반대로 국지적 다짐불량 구간을 조기에 식별하지 못하게 하여 도로포장 하부의 국지적 침하 및 땅꺼짐 위험을 증가시킬 소지가 있다. 따라서 본 연구는 RMV를 데이터 배제의 절대적 기준이 아니라 다짐 상태 진단을 위한 보조 지표로 활용할 것을 제안하며, 이러한 접근이 도로포장 하부 뒤채움·성토체의 다짐 품질을 전 구간에 걸쳐 신뢰성 있게 평가하고 궁극적으로 지반침하(땅꺼짐) 예방을 위한 시공 중 품질관리 체계 고도화에 기여할 수 있음을 제시한다.

핵심용어: 지능형 다짐관리, 다짐도 평가지수, 공진도 평가지수, 도로포장, 지반침하(땅꺼짐)

본 연구는 국토교통부/국토교통과학기술진흥원의 지원으로 수행되었음(스마트 지하안전 조사·분석·평가 기술개발, 과제번호: RS-2026-25528114).

* 비회원・한국건설기술연구원 연구전략기획본부 연구기획실 연구위원・E-mail : goldcamp@kict.re.kr
** 비회원・한국건설기술연구원 지반연구본부 연구위원・E-mail : jmkang@kict.re.kr
*** 비회원・한국건설기술연구원 지반연구본부 박사후연구원・E-mail : leesy@kict.re.kr

한국농공학회 학술발표회 준비위원회

회 장	김상민 (경상국립대학교 교수)	
부회장	최 원 (서울대학교 교수) 유승환 (전남대학교 교수) 송철민 (충북대학교 교수) 신용철 (경북대학교 교수) 서 교 (서울대학교 교수) 박성직 (한경국립대학교 교수) 장태일 (전북대학교 교수) 임경재 (강원대학교 교수) 배승종 (서울대학교 연구교수) 홍세운 (전남대학교 교수) 박찬기 (국립공주대학교 교수) 이재천 (농림축산식품부 농업기반과 과장) 김태형 (농림축산식품부 농업시설안전과 과장)	이승한 (충남도청 농축산국장) 김우상 (한국농어촌공사 기반사업이사) 최현수 (한국농어촌공사 수자원관리이사) 조영호 (한국농어촌공사 기획전략이사) 이승헌 (한국농어촌공사 농어촌연구원장) 이경도 (농촌진흥청 농업위성센터 농업연구관) 임병희 (한국쌀전업농중앙연합회 사무총장)
전임이사	이상현 (충북대학교 교수)	

사단법인 한 국 농 공 학 회

서울 강남구 테헤란로 7길 22 한국과학기술회관 1관 610호

www.ksae.re.kr