



2023 (사)대한지질공학회 임시총회 및 추계학술대회

The Korean Society Of Engineering Geology

초록집

10.26.(목) - 27.(금)

여수 히든베이호텔

주최·주관_ (사)대한지질공학회

후 원_ 한국CCUS추진단, (주)지오메카이엔지, 한국원자력환경공단, (주)동해이엔지, 벽산엔지니어링(주), (주)산하이엔씨, (주)세종이엔씨, 셀파이엔씨(주), 씨앤에치아이엔씨(주), (주)어스이엔지, (주)인텔리지오, (주)지오그린21, (주)지오브로그 코리아, 지오텍컨설팅(주), 코탐(주), (주)한세지반엔지니어링, 여수시, (주)에이퍼브



2023 (사)대한지질공학회 임시총회 및 추계학술대회

The Korean Society Of Engineering Geology

초록집

10.26.(목) - 27.(금)

여수 히든베이호텔

주최·주관_ (사)대한지질공학회

후 원_ 한국CCUS추진단, (주)지오메카이엔지, 한국원자력환경공단, (주)동해이엔지, 벽산엔지니어링(주), (주)산하이엔씨, (주)세종이엔씨, 셀파이엔씨(주), 씨앤에치아이엔씨(주), (주)어스이엔지, (주)인텔리지오, (주)지오그린21, (주)지오브로그 코리아, 지오텍컨설턴트(주), 코탐(주), (주)한세지반엔지니어링, 여주시, (주)에이퍼브

2023 (사)대한지질공학회 임시총회 및 추계학술대회

The Korean Society Of Engineering Geology

SPONSOR

한국CCUS추진단

(주)지오메카이엔지

한국원자력환경공단

(주)동해이엔지

벽산엔지니어링(주)

(주)산하이앤씨

(주)세종이앤씨

셀파이앤씨(주)

씨앤에치아이앤씨(주)

(주)어스이엔지

(주)인텔리지오

(주)지오그린21

(주)지오브로그 코리아

지오텍컨설턴트(주)

코탐(주)

(주)한세지반엔지니어링

여수시

(주)에이퍼브



For CCUS Commercialization!

CCUS 확산의 컨트롤 타워로서
민관협력의 **구심점**이 되어
CCUS 新산업 활성화와 생태계 조성에 기여하겠습니다



“인간과 환경의 아름다운 공존을 추구하는 최신퉴chnology 선도기업”

차량형 3D GPR 탐사

- 도로하부 공동조사
- 지하안전영향 평가



공동(空洞) 신속복구 시스템

- 유동성 채움재 시공



핸디형 GPR탐사

- 도로하부 공동조사
- 지하안전영향 평가



지하매설물 탐사

- 2차원, 3차원 지하매설물 조사



안전하고 친환경적인 방사성폐기물 관리
한국원자력환경공단이 약속합니다



환경과 미래를 생각하는 기업
(주)동해이엔지 "미래가 우리의 경쟁 상대입니다"

시추 조사 및 현장 시험
지구 물리 탐사
· 탄성파·전기비저항·GPR탐사
암반 사면 안정성 평가
지하수 영향 조사 및 관정 개발
광역 지하수 모델링

엔지니어링사업자
채석경제성평가 전문조사기관
전문광해방지사업자
지하안전평가 전문기관
지하수영향조사기관
지하수개발·이용시공업
안전진단 전문기관
벤처기업



여수남도리 천선대

|주| 동해이엔지
DONGHAE ENG CO.,LTD.




부산광역시 금정구 조리2길 34(두구동)
T: 051)338-5636 F: 051)338-9414
www.edonghae.co.kr



Blooming



백산엔지니어링

-  BYUCKSAN ENGINEERING
-  BYUCKSAN POWER
-  BYUCKSAN ENTERPRISE

One Stop Service

of Investigation, Design and Construction

지반	정화	광해방지	지하수	지질·자원	기타시공
<ul style="list-style-type: none"> 도로/철도/단지 지하안전진단 지하공동 가시설/계측 	<ul style="list-style-type: none"> 반입정화 토양 지하수 안정화 	<ul style="list-style-type: none"> 지반침하 방지 토양오염개량 광물찌꺼기 광해수질 개선 	<ul style="list-style-type: none"> 강변여과수 지하수영향조사 모델링 신재생에너지 	<ul style="list-style-type: none"> 동굴 안전진단 지질조사 광상조사 학술연구 	<ul style="list-style-type: none"> 보링.그라우팅 토공사 지하공동 보강 가시설

건설신기술지정 912호

이 중 필터 취수정공법

강변여과수 대구경 수직 취수 기술



수질 개선

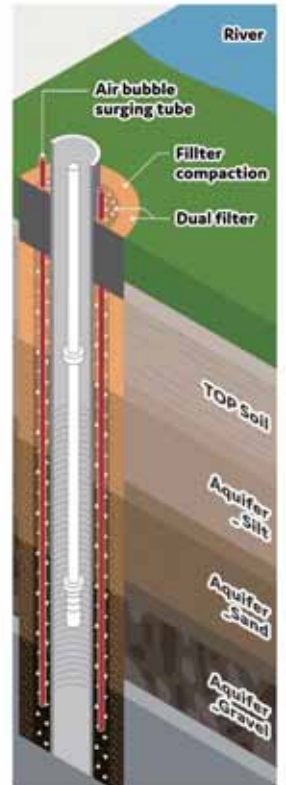


물 공급의 안정성 확보



경제성 향상

대체 수자원 확보를 위한
최적의 솔루션을 제공합니다.



충주 토양센터(반입정화시설)



본사 : 경기 성남시 사기막골로 124
비즈센터 1001호

충주 토양센터(반입정화시설) :
충북 충주시 소태면 동막강현길 137

Tel : 031-776-0682 Homepage : www.sanhaenc.com

• 스마트건설
강소기업

• 건설신기술
(689호, 922호)

• 직무발명보상
우수기업

• 기술혁신형
중소기업(INNO-BIZ)

Global IP스타기업

• 경영혁신형
중소기업(Main-Biz)

최우수 지식재산경영인상 수상

내일을 위한 도전과 열정

The Creative Developers

SEJONG E&C

www.sjenc.co.kr

SEJONG E&C
Since 2007

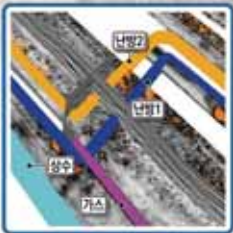
지하안전 분야의 전문 **셀파**로서 역할을 충실히 수행하겠습니다.



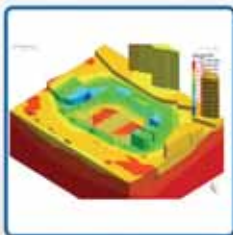
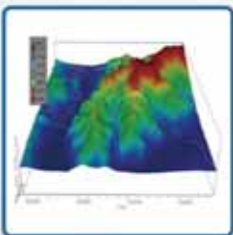
지하안전
영향평가
전문기관

최첨단
기술의 장비 보유
(Coded Signal)

최초의
차량형 장비 도입
(2015년)



- 지하안전영향평가, 지하지장물 GIS구축
- 2D · 3D GPR탐사, 공동조사
- 물리탐사, 지반조사, 실내시험



- 지하수 시공 및 영향조사
- 비탈면, 기초, 터널 설계
- 지반보강, 안전진단





EST Technology(Equalized Scrambled Technology)를 사용하는 새로운 시스템

: 최근 IDS Georadar에 의해 전 세계적으로 특허를 받은 GPR 기술

- 약하고 깊은 목표물의 낮은 진폭신호에 대한 감도 ↑
- 노이즈 레벨을 낮추는 신호의 동적범위 ↑
- 최첨단 하드웨어 → 더 빠르고 완벽한 파형 디지털 샘플링 가능
- 신호의 노이즈 샘플링 강화 및 제거 가능
- 신호 vs 노이즈 비율 개선 → 노이즈 플로어 감소 → 안테나 동적범위 증가

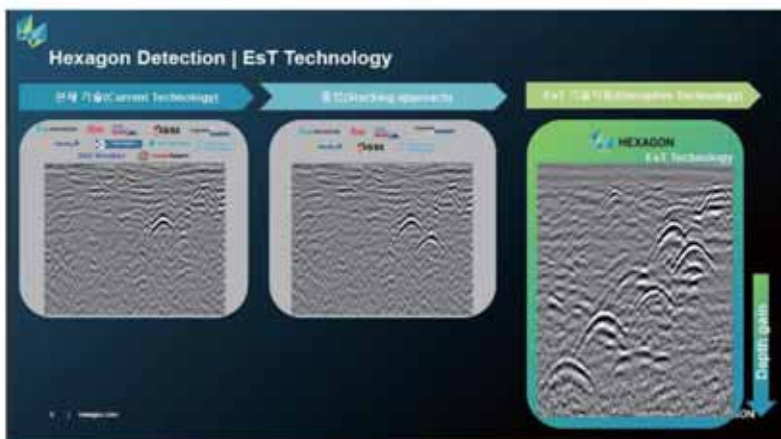


Fig.1 기존 GPR 데이터(왼쪽) Stream DP 데이터(오른쪽)

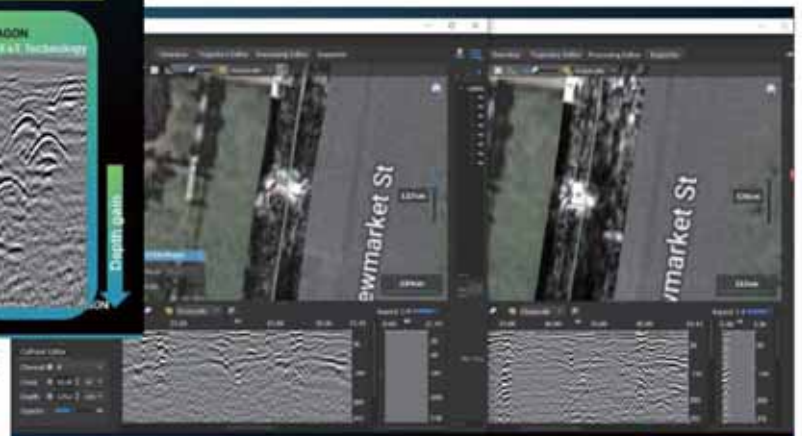


Fig.2 기존 GPR 데이터(왼쪽), Stream DP 데이터(오른쪽)

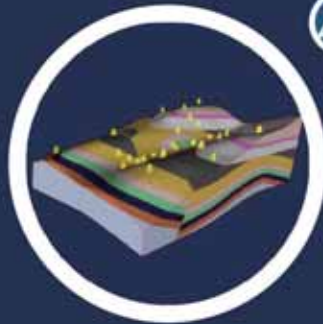


Earth EnG

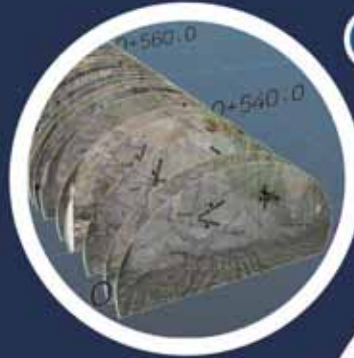
(주)어스이엔지 Earth EnG Co.,Ltd



Deep Borehole Seismometer
심부 시추공 지진계

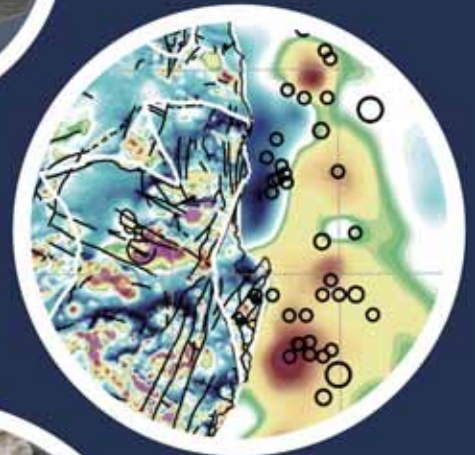


3D Geo Modelling
3차원 지오 모델링



Tunnel Digital Face Mapping
터널 디지털 페이스 �핑

Geo-environment Info. System
지질환경 정보시스템



Deep Drilling
대심도 시추



Geo Investigation
지질 및 지반 조사



My way into the Earth

www.eartheng.co.kr / earth@eartheng.co.kr

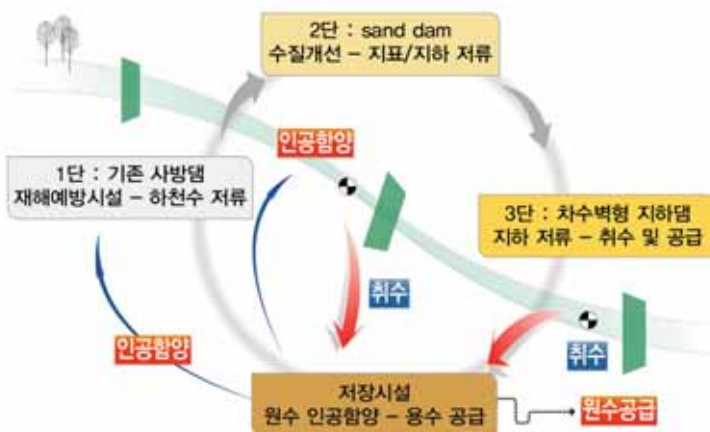
중산간 지역 소규모 급수시설 현대화 사업

산골 모래샘 (mountain valley sand spring) 설치사업

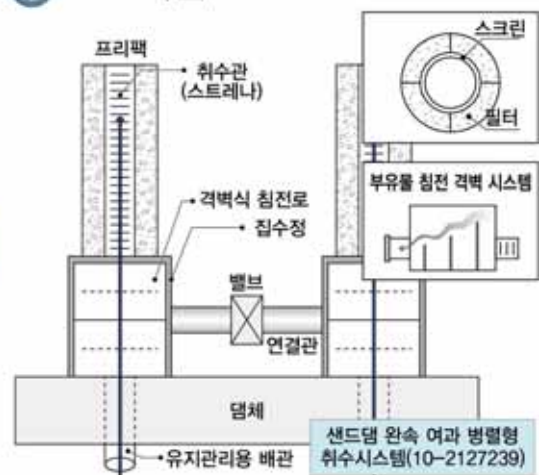


이 기술은 지표수와 지하수의 연계 이용과 수원 다변화를 통해 기후변화와 가뭄에 대해 적극적으로 대응 가능함

개념도



요소기술



현장조사를 통한 시설계획 수립, 기존 사방댐과 연계한 다단식 구조물 설치, 요소기술 반영을 통해 물 복지 향상 도모



(주)인텔리지오

<http://www.intellegeo.com>

TEL. 02-2082-2361

FAX. 02-2082-2364

E-mail. intellege@naver.com

(주)지오그린21

환경을 생각하고 지구를 보다 깨끗하고 안전하게 만드는 기업
Green Earth, Safe Earth with Geogreen21



www.geogreen21.com

서울특별시 구로구 디지털로33길 55, 901호 (주)지오그린21 Tel. 02-6330-2500 Fax. 02-6330-2507



고강도 텐션(테코)네트



암부착망

지오브루그 시스템은 자연재해로부터 귀중한 인명과 재산을 보호합니다



링네트 토석류 방호책



링네트 토석류 방호책



낙석발생 : 충북선 동양-삼탄간, 암괴 16톤(2.4X1.8X1.5m), 1,200kJ

(주)지오브루그코리아
GEOBRUGG KOREA Co., Ltd.

Geotechnical Business Platform

지질 및 지반공학 분야,
CO₂ 지중저장 분야의
연구 및 시공 고품질화
서비스 전문기업



Hybrid형 지하수 인공함양 시스템 기술

특허 : 지중침투를 위한 수자원 인공함양 시스템
(제 10-2230241호)

특허 : 농수로의 인공함양 시스템
(제 10-2308770호)



급격한 기후변화로 인해
갈수록 증가하는 가뭄 재해 대응 및
효과적인 대책 확보 기술



지오테크컨실턴트(주)
GEOTECH CONSULTANT CO.,LTD

COBRA

PLUG-IN GPR KIT

Long-Range Penetration GPR



최대 120M 투과 심도 장심도 GPR



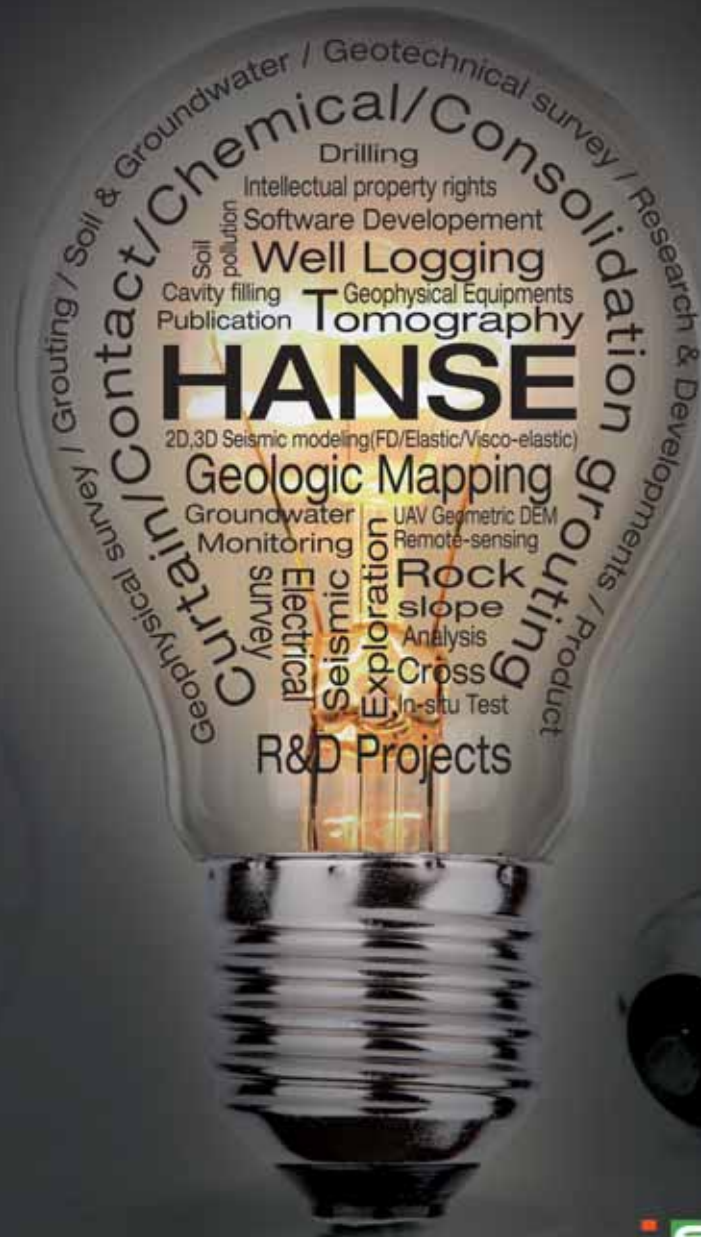
UAV 운영 탑재
핸디형, 카트형, 차량 운영
국내 산악지형 탐사
WIRELESS 방식의 편리함

코탐은 스웨덴 RADAR TEAM의 국내 독점 판매처 입니다.

[구입문의] 코탐(주) 070.5102.0297 / 용역 및 기술문의 / 010.5188.6962 / <http://www.kotam.co.kr> / kotam2014@gmail.com

최고를 위한 노력과 열정

우리 안에 있는 세상,
최고를 향한 노력과 열정으로
(주)한세지반엔지니어링이 해답을 찾아 드립니다.



 (주)한세지반엔지니어링
HANSE GEOENGINEERING

학회 저널 출판을

Smart 하게!

Journal

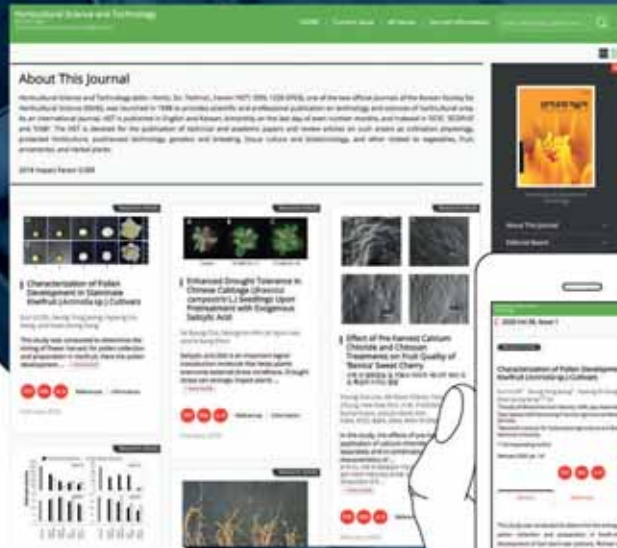
저널 홈페이지 서비스 무료
(학술지 출판 계약시)

학술지 국제화를 위한 서비스

- 저널 국제화 필수요소 반영 (Online Availability)
- JATS XML, Online First 지원

과총 및 연구재단 평가항목 준수

- DOI, JATS XML, Cited by, CrossMark, ORCID, FundRef 등
- SCIE, ESCI, SCOPUS 등재 학술지 다수 발간



Online Submission & Review System

온라인 논문 투고심사시스템 무료 제공
(학술지 출판 계약시)

- 학회 고유 심사절차에 맞도록 시스템 적용
(투고규정, 윤리규정, 심사규정, 출판규정)
- 전담인력 배정하여 투고 원고 검사, 표절 검사업무 및 심사일정 관리 지원

게재 확정 논문 Online First 발행

- 게재 확정된 논문의 최종논문 제출 후 저자와 직접 소통하며 편집 진행
- 편집 완료 후 편집위원회 검토를 거쳐 Online First 발행



학회의 니즈가 우리의 목표입니다.

(주)에이퍼브는 국내외 학술대회, 정기간행물 출판, IT서비스를 원활히 진행할 수 있도록 필요한 기술과 업무를 서비스하고 있습니다.



(주)에이퍼브

서울 중구 필동로8길 43(예장동)

T. 02 2274 3666



2023 (사)대한지질공학회 임시총회 및 추계학술대회

The Korean Society Of Engineering Geology

초록집

10.26.(목) - 27.(금)

여수 히든베이호텔

주최·주관_ (사)대한지질공학회

후 원_ 한국CCUS추진단, (주)지오메카이엔지, 한국원자력환경공단, (주)동해이엔지, 벽산엔지니어링(주), (주)산하이엔씨, (주)세종이엔씨, 셀파이엔씨(주), 씨앤에치아이엔씨(주), (주)어스이엔지, (주)인텔리지오, (주)지오그린21, (주)지오브로그 코리아, 지오텍컨설턴트(주), 코탐(주), (주)한세지반엔지니어링, 여주시, (주)에이퍼브

인사말

여수에 오신 대한지질공학회 회원 여러분 환영합니다.

올해는 기후변화로 인한 재해재난이 사회적으로 크게 이슈가 되었던 한 해였습니다. 이런 재해재난의 예측과 분석에 우리 지질공학 전공자들의 역할이 그 어느 때보다 중요해지지 않을까 생각됩니다.

이번 추계학술대회에서는 올해 우리가 경험했던 재해재난 중 특히 산사태 및 사면재해의 사례와 현황을 통해 지질공학분야의 역할을 모색하기 위해 우리나라의 산사태와 급경사지의 전문기관인 한국지질기술협회와 한국급경사지협회와의 공동 세션을 준비했습니다. 이러한 기회를 통해 우리 학회가 산사태 및 급경사지 분야의 조사 및 예측 그리고 모니터링 관련 분야의 연구에 다양하게 기여할 수 있기를 기대합니다. 또한, 이번 특별세션에서는 한국산림공학회 회장이신 서울대학교 임상준 교수의 발표도 포함되어 있으며, 향후 산림공학회와도 다양한 교류를 이어갈 예정입니다.

이번 학술대회에서는 두 분의 국외 전문가를 초청하여 초청강연을 진행합니다. 최근 지질공학분야에서는 딥러닝을 활용한 분석 및 예측이 활발하게 진행되고 있으며, 이러한 연구를 주도하고 계신 이탈리아 University of Padova의 Filippo Catani 교수님이 Recent advancements on the role of deep learning in mapping, monitoring, and forecasting landslides이라는 제목의 강연을 해 줄 실 예정입니다. 또한 인공위성로부터 획득된 자료가 지질공학분야에서 범용적으로 사용되고 있음에 따라 인공위성 SAR자료를 활용하여 산사태 모니터링 관련 연구를 수행하고 계신 이탈리아 University of Bologna의 Alessandro Simoni 교수님이 Detection and monitoring of active landslides through InSAR investigation이라는 제목의 강연을 해주실 예정입니다.

그동안은 추계학술대회가 한해를 마무리하는 우리 학회의 마지막 행사였습니다만 올해에는 11월과 12월에 지질분야 전공 대학생을 대상으로 하는 우리 학회 참여 기업의 기업설명회와 사면 및 수리시설 관련 단기강좌가 예정되어 있습니다. 이 행사가 잘 마무리 될 수 있도록 회원 여러분들의 관심과 참여 부탁드립니다.

늘 행사를 진행하게 되면 물심양면으로 고생하시고 도와주시는 분들이 계십니다. 이번 학회를 준비하시느라 고생해 주신 준비위원 여러분들과 재정적인 지원을 해주신 후원사 여러분들께도 감사드립니다.

마지막으로 회원 여러분의 가정에 축복과 행복이 가득하시기를 기원하며, 늘 노래를 통해 익숙한 여수의 밤바다를 즐기시는 기회가 되시기 바랍니다.

2023. 10. 26

(사) 대한지질공학회 회장 박혁진



2023년도 임시총회

- 개 회 총무이사

- 개 회 사 회 장

- 1. 축 사 한국급경사지안전협회장
한국치산기술협회장

- 2. 공로패 수여 회 장

- 3. 임명장 수여 회 장

- 4. 기타 안건 및 토의 회 장

- 폐 회 총무이사



2023년 (사)대한지질공학회 임시총회 및 추계학술대회

2023. 10. 26. (목)

시 간	내 용	
11:00~	이사회 및 편집위원회	
13:00~14:20	[일반세션-1] 수리지질 및 환경 그랜드볼룸1 (좌장: 구민호)	[일반세션-2] 지질재해 / 지반구조물 베이1,2 (좌장: 권오일)
	Break	
14:30~16:30	[특별세션] 기후 위기 대응 산사태 기술 그랜드볼룸 1 (좌장: 김만일)	
	[포스터세션] B2 Lobby	
17:00~18:00	[초청강연 (Keynote Lecture)] Filippo Catani (University of Padova, Italy) Alessandro Simoni (University of Bologna, Italy) 그랜드볼룸1 (좌장: 박유철)	
	18:00~18:30 임시 총회(그랜드볼룸1)	
18:30~20:30	만찬(그랜드볼룸2)	

2023. 10. 27. (금)

시 간	내 용	
9:30~11:00	[일반세션-3] 물리탐사 및 GIS 토질 및 암반역학 그랜드볼룸1 (좌장: 유재형)	[일반세션-4] 지질 및 지반조사 연구 정책 및 동향 베이1,2 (좌장: 한향선)
	11:00~11:30 폐회 및 시상식(그랜드볼룸1)	



» 구두 발표

10월 26일 (목요일)

발표장	시간	분야	제목	저자	소속
그랜드볼룸 1	13:00-14:20	일반세션-1 수리 지질 및 환경 (좌장:구민호)	선형적 오염원 저감 모델링을 활용한 TCE 오염 지속성 기여도 평가	장성간, 양민준	부경대학교
			점토 종류에 따른 입상 흡착제 제조 및 우라늄 흡착 특성 평가	김수빈, 이해림, 양민준	부경대학교
			골프장 인접지역 망간 오염 조사 및 벼 작물에 미치는 영향 평가	허준용, 양민준	부경대학교
			수환경에서 미세플라스틱 입자크기에 따른 Pb 흡착특성 평가	하태정, 양민준	부경대학교
			제주 대정읍 지하수 내 질산염 이온의 질소, 산소 동위원소 및 질산성 질소 농도의 시공간적 분포 특성 규명 연구	김창민, 양민준	부경대학교
베이1,2		일반세션-2 지질재해/ 지반구조물 (좌장:권오일)	Random forest를 활용한 산사태 피해 영향인자 평가	이재호, 정유진, 최정해	경북대학교
			원전부지 및 고준위 방폐물처분부지 선정을 위한 지질학적 고려 요소	김영석, 최호석, 김고은	부경대학교
			산사태 취약성 분석의 신뢰도 향상을 위한 클러스터링 기반 샘플링 방법 제안	오종찬, 이정현, 박혁진, 윤대응	전남대학교
			기후위기 대응 일반국도 도로비탈면 관리방안	김승현, 박병석, 우용훈, 정준호, 한성수, 신중욱	한국건설기술 연구원
	14:20-14:30	휴식			
그랜드볼룸 1	14:30-16:30	특별세션 기후 위기 대응 산사태 기술 (좌장:김만일)	산불 후 토양의 수리적 특성 변화가 산사태 발생에 미치는 영향 평가	임상준, 이철원	서울대학교
			산사태 발생 우려지역의 조사현황	박윤성	산림조합중앙회
			관리 사각 급경사지 안전관리를 위한 전국 실태조사 사례 및 결과	곽재환, 전상률, 이문세, 김영환, 박기병, 양현용	한국급경사지 안전협회
			급경사지 안전관리 현황 분석 및 개선방안 연구-'23년 피해지 조사 결과를 바탕으로-	최정렬, 전상률, 곽재환, 박기병, 양현용	한국급경사지 안전협회
			강원지역 국도변 토석류 피해 우려지 특성 분석 연구	배현석, 김정식, 전주영, 박성균, 이상호, 김승현	한국치산기술 협회
			LiDAR 자료를 활용한 산사태 피해지 지형복원 방안 연구	이광연, 윤석희, 김동현, 이종서, 이상호	한국치산기술 협회
B2 Lobby	16:30-17:00	포스터 세션			
그랜드볼룸 1	17:00-18:00	초청강연 (좌장:박유철)	Detection and Monitoring of Active Landslides through InSAR Investigation	Alessandro Simoni	University of Bologna, Italy
			Recent Advancements on the Role of Deep Learning in Mapping, Monitoring, and Forecasting Landslides	Filippo Catani	University of Padova, Italy
그랜드볼룸 1	18:00-18:30	임시총회			
그랜드볼룸 2	18:30-20:30	만찬			



» 구두 발표

10월 27일 (금요일)

발표장	시간	분야	제목	저자	소속
그랜드볼룸 1	9:30-11:00	일반세션-3 물리탐사 및 GIS/ 토질 및 암반역학 (좌장:유재형)	천부 수동탄성파 탐사 모니터링	장성형, 이동훈, 손우현, 최윤석, 주용환	한국지질자원 연구원
			지질조사에 있어서 방사능탐사의 활용	박삼규, 정수철, 신승욱, 이명중, 박계순, 최진혁, 천영범, 장한길로, 노경찬	한국지질자원 연구원
			광학 영상화 검증 자료를 이용한 지층 분류 모델 적용	정승호, 신제현, 황세호, 윤대웅	전남대학교
			케이싱 내에서 측정된 물리검층 자료의 활용	황세호, 정승호, 최지훈, 신제현	한국지질자원 연구원
			머신러닝과 지구통계학을 이용한 시추조사 결과 기반 지반 3차원 지오모델링	윤서현, 이경원, 김광엽	한국해양대학교
베이1,2		일반세션-4 지질 및 지반조사/ 연구 정책 및 동향 (좌장:한향선)	원자력시설 부지 기초지반 조사/평가에 관한 국제원자력기구(IAEA) 기술기준 동향	심택모, 박보나, 권오상, 우현동	한국원자력 안전기술원
			자가 학습 기법을 활용한 해양 저질 분류 모델의 성능 향상 연구	이창훈, 임문수, 이보연, 윤대웅, 박수정	전남대학교
			개방형 지열에너지 보급 확대를 위한 법령 및 정책 개선 방안	조선주, 손영철, 김종욱	한국수자원공사
			기계학습 모델을 활용한 국내 지질학의 연구주제 분류 및 연구 동향 분석	김태용, 양민준	부경대학교
			물-암석 반응 실험 기반 비생물기원 수소 생산성 평가 관련 해외 연구 동향 분석	정성우, 양민준	부경대학교
그랜드볼룸 1	11:00-11:30	폐회 및 시상식			

» 초청강연

10월 26일 (목요일)

발표장	시간	분야	제목	저자	소속
그랜드볼룸 1	17:00-18:00	초청강연 (좌장:박유철)	Detection and Monitoring of Active Landslides through InSAR Investigation	Alessandro Simoni	University of Bologna, Italy
			Recent Advancements on the Role of Deep Learning in Mapping, Monitoring, and Forecasting Landslides	Filippo Catani	University of Padova, Italy

» 포스터 발표

분야	번호	제목	저자	소속
지반구조물 (GP-S)	1	PLAXIS3D와 연동되는 영구배수공법 모델러 GSM 프로그램 개발	진현식, 이효일, 최장면, 채수근	(주)HNG컨설턴트
	2	2022년 일반국도 비탈면 IoT 시스템 실측사례	우용훈, 박병석, 김승현, 김우석, 황성필	한국건설기술연구원 지반연구본부
	3	토목 구조물 유지관리 분야 정적 센서 대응 통합 데이터 수신 장치 개념 도출	김우석, 박병석, 황성필, 우용훈	한국건설기술연구원 지반연구본부



분 야	번호	제 목	저 자	소 속
지반구조물 (GP-S)	4	강우시 자연사면에서 발생하는 얇은 파괴에 대한 이론적 해석	송영석, 박준영, 윤대성, 김경수	한국지질자원연구원 지질재해연구본부
	5	국도 비탈면 IOT 시스템 실측사례 연구	박병석, 우용훈, 황성필, 김우석	한국건설기술연구원 지반연구본부
	6	일반국도 터널 관리시스템 구축 및 운영	권오일, 이규필, 김정흠	한국건설기술연구원 도로관리통합클러스터
	7	국도터널 유지관리 계획 수립을 위한 보수보강 비용분석	이규필, 권오일	한국건설기술연구원 도로관리통합클러스터
	8	분류 모델 평가 지표들을 이용한 비탈면 입력변수 선정에 대한 연구	노정두, 강성승	전남연구원
수리지질 (GP-W)	1	복합 물리현상 해석 SW를 이용한 지열 생산 시의 열수 이동 해석	유수환, 김선경, 박정훈, 이창열	어스이엔지
	2	상시가뭄지역의 Hybrid형 인공함양 시스템 구축과 운영을 통한 개선사례 연구	이영동, 원경식, 신동민, 홍지용	지오택컨설팅트(주)
	3	국가지하수관리측정망의 주요 용존이온 수질특성 현황	김양아, 안경환, 박재현, 유정아, 이상길, 김민식, 박철희, 정지혜, 박선연	한국수자원공사 K-water 연구원
	4	MT3D를 이용한 중금속 오염 지하수의 양수처리법 정화 효율성 평가	이선민, 장진희, 김나빈, 김승희, 구민호	공주대학교 지질환경과학과
	5	RT3D를 이용한 중금속 오염 지하수의 원위치(in-situ) 정화기법 연구	장진희, 이선민, 김유진, 이민재, 구민호	공주대학교 지질환경과학과
	6	지하수 플럭스 측정을 위한 폴리셀론 담체 내 알코올 흡·탈착 기작 평가	이주연, 양민준	부경대학교 지구환경시스템과학부
	7	천안북면 국가관리측정망의 염소농도 변동특성 및 원인규명	김민식, 유정아, 안경환, 박재현, 김양아, 이승민	한국수자원공사
	8	영동추풍령 국가관리측정망의 질산성질소 상승 원인 분석	김민식, 유정아, 안경환, 박재현, 김양아, 박경미	한국수자원공사
	9	산화제 주입 방식에 따른 철과 망간 거동에 관한 반응성 운송 모델 연구	손서영, 박성민, 박재우, 손봉호, 김원미, 정희원	충남대학교 우주지질학과
	10	SWAT-K 모형을 이용한 연천지역 지하수 함양량 분석	김민규, 이정은, 최지안, 정일문	한국건설기술연구원
	11	SWAT 모형기반 토지이용 변화에 따른 지표수 및 지하수 함양량 분석	타레켄 멘기스투, 제노비아 탈푸루, 정일문	한국건설기술연구원
	12	Evaluating the groundwater recharge of Anyang watershed using SWAT+gwflow module	히요 하티아 와레, 장선우, 정일문	한국건설기술연구원
	13	GIS와 원격탐사를 이용한 작물 수자원 생산성 추정	제노비아 탈푸루, 정일문	한국건설기술연구원
토질/ 암반역학 (GP-M)	1	납석의 산업용 세라믹 신소재 개발을 위한 고속고압 분말 성형 기술	강성승, 김다혜, 박혜수, 반상연, 오탉윤, 이유빈, 곽세중, 위장복	조선대학교 에너지자원공학과/ 첨단에너지공학과
	2	거칠기 효과에 따른 링전단실험 특성 및 고찰	정승원	한국지질자원연구원
	3	단층핵 세립자의 입도분포 추정 곡선 알고리즘 개발	하유진, 문성우, 이정음, 주세정, 신재민, 서용석	충북대학교 지구환경과학과



분야	번호	제목	저자	소속
지질재해 (GP-H)	1	경상북도 북부지역에 발생한 산사태의 특징	조용찬, 김민석, 배현석, 김성환	한국지질자원연구원 광물자원연구본부
	2	산사태 취약성 분석을 위한 XAI 기반 랜덤 포레스트 모델링	최지희, 이정현, 안상아, 박혁진	세종대학교 지구자원시스템공학과
	3	데이터 탐색의 시각화를 이용한 머신러닝 기반의 산사태 취약성 분석	조은비, 박정은, 이정현, 박혁진	세종대학교 지구자원시스템공학과
	4	머신 러닝 회귀 모델과 딥러닝 모델을 활용한 산사태 취약성 분석	전원준, 송원준, 윤아영, 전찬미, 이정현, 박혁진	세종대학교 지구자원시스템공학과
	5	미국 중동부 지진원 특성화에서 지진원 해석 논리수목 접근 방식 사례 분석	권세현, 최세윤, 박동희	한국수력원자력(주) 중앙연구원
	6	해외 지진에 의한 단층 분기 파열 특성 예비연구	권세현, 최세윤, 박동희	한국수력원자력(주) 중앙연구원
	7	강원지역의 산사태 발생 현황 및 강우 양상을 고려한 최근 산사태 분석	김만일, 이지성, 이승엽, 김남균	산림조합중앙회 산림공학연구소
	8	Markov Chain Monte Carlo를 활용한 확률론적 산사태 취약성 분석 예측 성능 개선	황인탁, 박혁진	세종대학교 에너지자원공학과
	9	Machine learning approach for forest fire susceptibility assessment considering road network and car speed	Kounghoon Nam, Yujin Hwang, Jongtae Kim, Mi-Na Jang, Chang-Oh Choo, Gyo-Cheol Jeong	안동대학교 지구환경과학과
	10	Landslide susceptibility assessment using hybrid sampling approach based on Mahalanobis distance	Kounghoon Nam, Yujin Hwang, Jongtae Kim, Mi-Na Jang, Chang-Oh Choo, Gyo-Cheol Jeong	안동대학교 지구환경과학과
	11	홍천지역의 시추코어를 활용한 불연속면의 형태학적 분류	정유진, 이재호, 최정해	경북대학교 지질학과
물리탐사 및 GIS (GP-E)	1	드론 열화상 자료와 근집-이상값 분석 기법을 이용한 폐광산 갱구 탐지	최교익, 정영국, 한호상, 서장원	강원대학교 에너지자원융합공학과
	2	Time-lapse 전기비저항탐사 기법을 활용한 시공중 그라우팅 효과 분석	김종형, 신현범, 노영조, 박정민, 임국묵, 최성도	(주)한세지반엔지니어링
	3	GPR 탐사를 이용한 방조제 안전관리 방안 및 대책 제안	용환호, 이규상, 임경학, 서상진, 송성호	한국농어촌공사 농어촌연구원
	4	도심지 지중오염 분포 파악을 위한 시추공 연계 전기비저항 탐사 해석	조아현, 정인석, 유희은, 정주연, 장한나, 손정술, 남명진	세종대학교 에너지자원공학과
	5	대심도 GPR 탐사를 이용한 지하구조 평가	유희은, 유영철, 방은석, 고창성 남명진	세종대학교 에너지자원공학과
	6	인공위성 시계열 영상레이더 간섭기법을 이용한 소양강댐 변위 탐지	김태욱, 한향선	강원대학교 지구물리학과
지질 및 지반조사 (GP-I)	1	국내 납석 분포 지역 분석 및 활용 방안	강성승, 김다혜, 박혜수, 반상연, 오태운, 이유빈,곽세중, 위장복	조선대학교 에너지자원공학과/ 첨단에너지공학과
	2	Review of investigation cases of fault developed within the overseas nuclear facility sites	정수호	한국수력원자력



분 야	번 호	제 목	저 자	소 속
지질 및 지반조사 (GP-I)	3	경주시 천북면 일대 신진기 미고결 퇴적암 내부 단열 발달특성 예비 연구	권세현	한국수력원자력(주) 중앙연구원
	4	지반설계정수 디지털 맵 제작 기획 연구	김진환, 백용, 이종현, 이규필, 김우석	한국건설기술연구원
기타 (GP-ET)	1	건축자재에 함유된 석면의 분석공학적 규명 및 도시재생사업 기여도 고찰	심혜지, 유재형, 김혜수	충남대학교 우주지질학과
	2	CO ₂ -EWR 시스템 내 반응용기의 설계인자 도출을 위한 시뮬레이션 연구	김미래, 석기범, 안준영, 전성천, 천정용	(주)지오그린231
	3	산불 지역과 비산불 지역 토층의 열 변화에 따른 점토광물 특성 비교	추창오, 김만일, 김종태, 남경훈, 황유진, 정교철	안동대학교 지구환경과학과
	4	폐기물 매립시설 비탈면 하부 옹벽의 안정성 검토 사례 연구	황성필, 김우석, 박병석, 우용훈	한국건설기술연구원 지반연구본부



CONTENTS

초청강연

Recent Advancements on the Role of Deep Learning in Mapping, Monitoring, and Forecasting Landslides	3
Filippo Catani	
Detection and Monitoring of Active Landslides through InSAR Investigation	4
Alessandro Simoni	

구두 발표

●● 일반세션

기후위기대응 일반국도 도로비탈면 관리방안	11
김승현, 박병석, 우용훈, 정준호, 한성수, 신종욱	
제주도 용암동굴의 형상에 따른 진동 영향 분석	12
강민지, 문성우, 이근훈, 서용석	
선형적 오염원 저감 모델링을 활용한 TCE 오염 지속성 기여도 평가	13
장성간, 양민준	
점토 종류에 따른 입상 흡착제 제조 및 우라늄 흡착 특성 평가	14
김수빈, 이해림, 양민준	
머신러닝과 지구통계학을 이용한 시추조사 결과 기반 지반 3차원 지오모델링	15
윤서현, 이경원, 김광염	
Random forest를 활용한 산사태 피해 영향인자 평가	16
이재호, 정유진, 최정해	
원전부지 및 고준위 방폐물처분부지 선정을 위한 지질학적 고려 요소	17
김영석, 최호석, 김고은	
산사태 취약성 분석의 신뢰도 향상을 위한 클러스터링 기반 샘플링 방법 제안	18
오종찬, 이정현, 박혁진, 윤대웅	
천부 수동탄성파 탐사 모니터링	19
장성형, 이동훈, 손우현, 최윤석, 주용환	
지질조사에 있어서 방사능탐사의 활용	20
박삼규, 정수철, 신승욱, 이명중, 박계순, 최진혁, 천영범, 장한길로, 노경찬	



광학 영상화 검증 자료를 이용한 지층 분류 모델 적용	21
정승호, 신제현, 황세호, 윤대웅	
케이싱 내에서 측정된 물리검층 자료의 활용	22
황세호, 정승호, 최지훈, 신제현	
원자력시설 부지 기초지반 조사/평가에 관한 국제원자력기구(IAEA) 기술기준 동향	23
심택모, 박보나, 권오상, 우현동	
자가 학습 기법을 활용한 해양 저질 분류 모델의 성능 향상 연구	25
이창훈, 임문수, 이보연, 윤대웅, 박수정	
개방형 지열에너지 보급 확대를 위한 법령 및 정책 개선 방안	26
조선주, 손영철, 김종욱	
기계학습 모델을 활용한 국내 지질학의 연구주제 분류 및 연구 동향 분석	27
김태용, 양민준	
물-암석 반응 실험 기반 비생물기원 수소 생산성 평가 관련 해외 연구 동향 분석	28
정성우, 양민준	
골프장 인접지역 망간 오염 조사 및 벼 작물에 미치는 영향 평가	29
허준용, 양민준	
수환경에서 미세플라스틱 입자크기에 따른 Pb 흡착특성 평가	30
하태정, 양민준	
제주 대정읍 지하수 내 질산염 이온의 질소, 산소 동위원소 및 질산성 질소 농도의 시공간적 분포 특성 규명 연구	31
김창민, 양민준	
●● 특별세션	
산불 후 토양의 수리적 특성 변화가 산사태 발생에 미치는 영향 평가	35
임상준, 이철원	
산사태 발생 우려지역의 조사현황	36
박윤성	
관리 사각 급경사지 안전관리를 위한 전국 실태조사 사례 및 결과	37
곽재환, 전상률, 이문세, 김영환, 박기병, 양현용	
급경사지 안전관리 현황 분석 및 개선방안 연구 -'23년 피해지 조사 결과를 바탕으로-	38
최정렬, 전상률, 곽재환, 박기병, 양현용	
강원지역 국도변 토석류 피해 우려지 특성 분석 연구	39
배현식, 김정식, 전주영, 박성균, 이상호, 김승현	
LiDAR 자료를 활용한 산사태 피해지 지형복원 방안 연구	40
이광연, 윤석희, 김동현, 이종서, 이상호	



포스터 발표

PLAXIS3D와 연동되는 영구배수공법 모델러 GSM 프로그램 개발 43
 진현식, 이효일, 최장면, 채수근

2022년 일반국도 비탈면 IoT 시스템 실측사례 44
 우용훈, 박병석, 김승현, 김우석, 황성필

토목 구조물 유지관리 분야 정적 센서 대응 통합 데이터 수신 장치 개념 도출 45
 김우석, 박병석, 황성필, 우용훈

강우시 자연사면에서 발생하는 얇은 파괴에 대한 이론적 해석 46
 송영석, 박준영, 윤대성, 김경수

국도 비탈면 IOT 시스템 실측사례 연구 47
 박병석, 우용훈, 황성필, 김우석

일반국도 터널 관리시스템 구축 및 운영 48
 권오일, 이규필, 김정흠

국도터널 유지관리 계획 수립을 위한 보수보강 비용분석 50
 이규필, 권오일

분류 모델 평가 지표들을 이용한 비탈면 입력변수 선정에 대한 연구 52
 노정두, 강성승

복합 물리현상 해석 SW를 이용한 지열 생산 시의 열수 이동 해석 54
 유수환, 김선경, 박정훈, 이창열

상시가뭄지역의 Hybrid형 인공함양 시스템 구축과 운영을 통한 개선사례 연구 55
 이영동, 원경식, 신동민, 홍지용

국가지하수관리측정망의 주요 용존이온 수질특성 현황 56
 김양아, 안경환, 박재현, 유정아, 이상길, 김민식, 박철휘, 정지혜, 박선인

MT3D를 이용한 중금속 오염 지하수의 양수처리법 정화 효율성 평가 57
 이선민, 장진희, 김나빈, 김승희, 구민호

RT3D를 이용한 중금속 오염 지하수의 원위치(in-situ) 정화기법 연구 58
 장진희, 이선민, 김유진, 이민재, 구민호

지하수 플럭스 측정을 위한 폴리셀폰 담체 내 알코올 흡·탈착 기작 평가 59
 이주연, 양민준

천안북면 국가관리측정망의 염소농도 변동특성 및 원인규명 60
 김민식, 유정아, 안경환, 박재현, 김양아, 이승민

영동추풍령 국가관리측정망의 질산성질소 상승 원인 분석 61
 김민식, 유정아, 안경환, 박재현, 김양아, 박경미



산화제 주입 방식에 따른 철과 망간 거동에 관한 반응성 운송 모델 연구	62
손서영, 박성민, 박재우 손봉호, 김원미, 정희원	
SWAT-K 모형을 이용한 연천지역 지하수 함양량 분석	63
김민규, 이정은, 최지안, 정일문	
SWAT 모형기반 토지이용 변화에 따른 지표수 및 지하수 함양량 분석	64
타레켄 멘기스투, 제노비아 탈푸루, 정일문	
Evaluating the Groundwater Recharge of Anyang Watershed Using SWAT+gwflow Module	65
히요 하티아 와레, 장선우, 정일문	
GIS와 원격탐사를 이용한 작물 수자원 생산성 추정	66
제노비아 탈푸루, 정일문	
납석의 산업용 세라믹 신소재 개발을 위한 고속고압 분말 성형 기술	67
강성승, 김다혜, 박혜수, 반상연, 오태운, 이유빈, 곽태중, 위장복	
거칠기 효과에 따른 링전단실험 특성 및 고찰	69
정승원	
단층핵 세립자의 입도분포 추정 곡선 알고리즘 개발	70
하유진, 문성우, 이정음, 주세정, 신재민, 서용석	
경상북도 북부지역에 발생한 산사태의 특징	71
조용찬, 김민석, 배현석, 김성환	
산사태 취약성 분석을 위한 XAI 기반 랜덤 포레스트 모델링	72
최지희, 이정현, 안상아, 박혁진	
데이터 탐색의 시각화를 이용한 머신러닝 기반의 산사태 취약성 분석	73
조은비, 박정은, 이정현, 박혁진	
머신 러닝 회귀 모델과 딥러닝 모델을 활용한 산사태 취약성 분석	74
전원준, 송원준, 윤아영, 전찬미, 이정현, 박혁진	
미국 중동부 지진원 특성화에서 지진원 해석 논리수목 접근 방식 사례 분석	75
권세현, 최세운, 박동희	
해외 지진에 의한 단층 분기 파열 특성 예비연구	76
권세현, 최세운, 박동희	
강원지역의 산사태 발생 현황 및 강우 양상을 고려한 최근 산사태 분석	77
김만일, 이지성, 이승엽, 김남균	
Markov Chain Monte Carlo를 활용한 확률론적 산사태 취약성 분석 예측 성능 개선	78
황인탁, 박혁진	
Machine Learning Approach for Forest Fire Susceptibility Assessment Considering Road Network and Car Speed	79
Kounghoon Nam, Yujin Hwang, Jongtae Kim, Mi-Na Jang, Chang-Oh Choo, Gyo-Cheol Jeong	



Landslide Susceptibility Assessment Using Hybrid Sampling Approach Based on Mahalanobis Distance	80
Kounghoon Nam, Yujin Hwang, Jongtae Kim, Mi-Na Jang, Chang-Oh Choo, Gyo-Cheol Jeong	
홍천지역의 시추코어를 활용한 불연속면의 형태학적 분류	81
정유진, 이재호, 최정해	
드론 열화상 자료와 군집-이상값 분석 기법을 이용한 폐광산 갱구 탐지	82
최교익, 정영국, 한호상, 서장원	
Time-lapse 전기비저항사탐사 기법을 활용한 시공중 그라우팅 효과 분석	83
김중형, 신현범, 노영조, 박정민, 임국목, 최성도	
GPR 탐사를 이용한 방조제 안전관리 방안 및 대책 제안	84
용환호, 이규상, 임경학, 서상진, 송성호	
도심지 지중오염 분포 파악을 위한 시추공 연계 전기비저항 탐사 해석	85
조아현, 정인석, 유희은, 정주연, 장한나, 손정술, 남명진	
대심도 GPR 탐사를 이용한 지하구조 평가	86
유희은, 유영철, 방은석, 고창성, 남명진	
인공위성 시계열 영상레이더 간섭기법을 이용한 소양강댐 변위 탐지	87
김태욱, 한향선	
국내 납석 분포 지역 분석 및 활용 방안	88
강성승, 김다혜, 박혜수, 반상연, 오태윤, 이유빈, 곽태중, 위장복	
Review of Investigation Cases of Fault Developed within the Overseas Nuclear Facility Sites	90
정수호	
경주시 천북면 일대 신진기 퇴적암 내부 단열 발달특성 예비 연구	91
권세현	
지반설계정수 디지털 맵 제작 기획 연구	92
김진환, 백용, 이종현, 이규필, 김우석	
건축자재에 함유된 석면의 분석공학적 규명 및 도시재생사업 기여도 고찰	93
심혜지, 유재형, 김혜수	
CO ₂ -EWR 시스템 내 반응용기의 설계인자 도출을 위한 시뮬레이션 연구	94
김미래, 석기범, 안준영, 전성천, 천정용	
산불 지역과 비산불 지역 토층의 열 변화에 따른 점토광물 특성 비교	95
추창오, 김만일, 김종태, 남경훈, 황유진, 정교철	
폐기물 매립시설 비탈면 하부 옹벽의 안정성 검토 사례 연구	96
황성필, 김우석, 박병석, 우용훈	

초청강연



Recent Advancements on the Role of Deep Learning in Mapping, Monitoring, and Forecasting Landslides

Filippo Catani*

Department of Geosciences, University of Padova, Italy filippo.catani@unipd.it

Recent advances in AI applications have shown a flourishing in many fields of applied and theoretical research. Despite this, their usage in Engineering Geology is still in the initial stages, apart from machine learning methods. In particular, deep learning is probably the most promising technique for providing new groundbreaking contributions in many sub-fields of engineering geology, such as hazard assessment, soil and rock slope modeling, analysis of monitoring time series, early warning, terrain characterization. In this keynote, we will briefly present an overview of recent promising applications of deep learning methods to the mitigation of slope hazards, including the rapid mapping of landslides after large-scale triggering events such as earthquakes or tropical cyclones, the automated extraction of information related to landslide mechanics and features from satellite images, the exploitation of LSTM neural networks to filter huge time-series datasets to highlight changes in the strain-time behavior of natural and engineered slopes, the definition of robust forecasts of time-of-failure based on monitoring time series coming from field or remote sensors, and the potential of AI in mining big data, such as crowdsourced sensor networks information or social networks, to gather data useful for model calibration and validation.

Detection and Monitoring of Active Landslides through InSAR Investigation

Alessandro Simoni*

Department of Biological, Geological and Environmental Sciences (BiGeA), University of Bologna, Italy
alessandro.simoni@unibo.it

Many types of landslides, ranging from rockslides to earthflows, may exhibit sustained slow-movement that include dormancy periods, slow movements (mm/yr), reactivations at rates up to m/yr or generalised catastrophic failures, strongly impacting morphology, river hydraulics and infrastructures. The mechanisms and styles of activity control the mode and the severity of their possible impact on settlements and infrastructures. Geomorphological mapping is accurate and useful to recognize processes, but difficult to update and not suited to characterise landslide activity. Monitoring is thus essential to recognize active processes, understand their spatio-temporal patterns and responses to climate events.

Remote sensing techniques combine the advantages of their areal perspective with the accuracy of the most advanced methodologies based on satellite radars (Cohen-Waeber et al., 2018). Interferometric processing of synthetic aperture radar images (InSAR) has proved useful for studying gravitational movements of slopes, both for specific studies of landslides (Xu et al., 2020), and for regional analyses (Raspini et al., 2019). Automated processing strategies exploit multiple interferograms to generate time series of ground displacement, allowing the systematic analysis of large regions where displacement time-series can be retrieved for stable scatterers (Raspini et al., 2019). InSAR has proven useful for regional analysis, not only for the detection of active landslides (Dini et al., 2019) but also for monitoring ongoing deformation (Bekaert et al., 2020). In Europe, the great effort made by the Copernicus program has recently resulted in the most important wide-area deformation monitoring system ever developed: the European ground motion service (Crosetto et al., 2020) which is now operational.

However, the regional investigation of landslides through InSAR techniques is still challenging due to several factors. Landslide detection and monitoring is not possible when snow cover is present while the presence of dense vegetation introduces temporal decorrelation impairing the interferometric analysis. Atmospheric delay anomalies, topographic artefacts (Murray et al., 2019) and decorrelation due to large deformation gradients (Hu et al., 2019) are among the factors significantly influencing our ability to measure surface displacements. In addition, the satellite orbital geometry and the side-looking SAR imaging makes some slope orientations less favourable and causes layover and shadowing over steep mountainous terrain. In this context, standard two-pass interferometry (Handwerger et al., 2013) is acquiring significance thanks to the short revisit time and orbital precision of Sentinel-1 satellites which greatly reduces the decorrelation of interferograms. Standard two-pass interferometry thus can be used to maximize the information that satellite interferometry can supply about slope movement dynamics, also over large areas (Beckaert et al., 2020).

Here, I am illustrating examples of standard InSAR application to landslide detection and monitoring in the Northern and Central Apennines of Italy, where landslides are very common and actively contribute to shape the relief.

Site-specific investigations illustrate how catastrophic landslides may be preceded by pre-failure deformation which takes place month and years before the actual failure occurs (Squarzoni et al., 2020). Signal enhancements derives from a close reference area, detailed topographical information, widely varying temporal baselines of interferograms (up to 1 yr) to capture the range of displacement rates of interest. This way, standard InSAR allows to follow the evolution of the phenomena through most part of the year, snow cover and spring/summer peak of vegetation being the most notable exceptions. Seasonal trends and accelerations in response to severe rainfall episodes can be detected in space and time.

For wide-area analysis, interferogram selection is also crucial, in relation to the landslide types that are present in the territory (Ciuffi et al., 2021). The selection is based on spatial baseline, coherence, environmental conditions (e.g. snow cover, season and vegetation) and visual expert inspection. Interferograms are generated with varying temporal baseline, generally short (< 1 month) to reduce possible sources of decorrelation. Longer baselines (seasonal or annual) are also possible where reflective properties are good and stable through time. Different temporal scales of analysis are best suited to capture different types of mass movement.

The products of the analysis are ground displacement maps. Stacking interferograms is very useful to enhance the signal to noise ratio. In general, the presence of residual noise is inversely proportional to the duration of the stack. The recognition of deformation signals caused by slope movements requires interpretation and has to take into account geomorphology and land-use. Results show that only a fraction of all the mapped landslide deposits are in an active state according to interferometric results. Annual interferometric stacks proved better suited to detect active slope movements, while less than 15% of our deformation signals can only be detected by inspecting monthly stacks. We compare our results with the geological map and the landslide inventory, illustrating how active landslides are favored by weak lithologies and pre-existing slope instability. Also, the relative orientation of the satellite's line of sight with respect to the slope influences the results indicating a bias in the completeness of remotely sensed data. Active landslides show variable displacement rates in monthly stacks. Periods of dormancy alternate to accelerations that may lead to actual catastrophic failures or, more often, determine finite periods of sustained slow movement before the displacement rates drop below the detection limit. We compared the evolutionary trends of the phenomena to the probability of landslide occurrence over the territory. Results show that, at increasing landslide occurrence probabilities, an increasing fraction of actively deforming landslides can be detected by InSAR.

References

- Bekaert, D.P.S., Handwerger, A.L., Agram, P., Kirschbaum, D.B., 2020. InSAR-based detection method for mapping and monitoring slow-moving landslides in remote regions with steep and mountainous terrain: An application to Nepal, *Remote Sensing of Environment*, Volume 249, 2020, 111983, ISSN 0034-4257, <https://doi.org/10.1016/j.rse.2020.111983>.
- Ciuffi, P., Bayer, B., Berti, M., Franceschini, S., Simoni, A., 2021. Deformation Detection 676 in Cyclic Landslides prior to Their Reactivation Using Two-Pass Satellite Interferometry. *Applied Sciences* 11, 678, <https://doi.org/10.3390/app11073156>
- Cohen-Waeber, J., Bürgmann, R., Chaussard, E., Giannico, C., Ferretti A., 2018. Spatiotemporal patterns of precipitation-modulated landslide deformation from independent component analysis of InSAR time series. *Geophys. Res. Lett.* 45, 4, 1878-1887. doi: 10.1002/2017GL075950.
- Crosetto M., Solari L., Mroz M., et al., 2020. The Evolution of Wide-Area DInSAR: From Regional and National Services to the European Ground Motion Service. *Remote Sens.* 12, 2043; doi:10.3390/rs12122043.
- Dini, B., Manconi, A., Loew, S., 2019. Investigation of slope instabilities in NW Bhutan as derived from systematic DInSAR analyses. *Engineering Geology* 259, 105111.
- Handwerger, A.L., Roering, J.J., Schmidt, D.A., 2013. Controls on the seasonal deformation of slow-moving landslides. *Earth Planet. Sci. Lett.* 377, 239-247.
- Hu, X., Bürgmann, R., Lu, Z., Handwerger, A.L., Wang, T., Miao, R., 2019. Mobility, Thickness, and Hydraulic Diffusivity of the Slow-Moving Monroe Landslide in California Revealed by L-Band Satellite Radar Interferometry. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 124, 7504-7518.
- Murray, K.D., Bekaert, D.P.S., Lohman, R.B., 2019. Tropospheric corrections for InSAR: Statistical assessments and applications to the Central United States and Mexico. *Remote Sensing of Environment* 232, 749 111326.
- Raspini, F., Bianchini, S., Ciampalini, A., Del Soldato, M., Montalti, R., Solari, L., Tofani, V., Casagli, N., 2019. Persistent

Scatterers continuous streaming for landslide monitoring and mapping: the case of the Tuscany region (Italy). *Landslides* 16, 2033-2044.

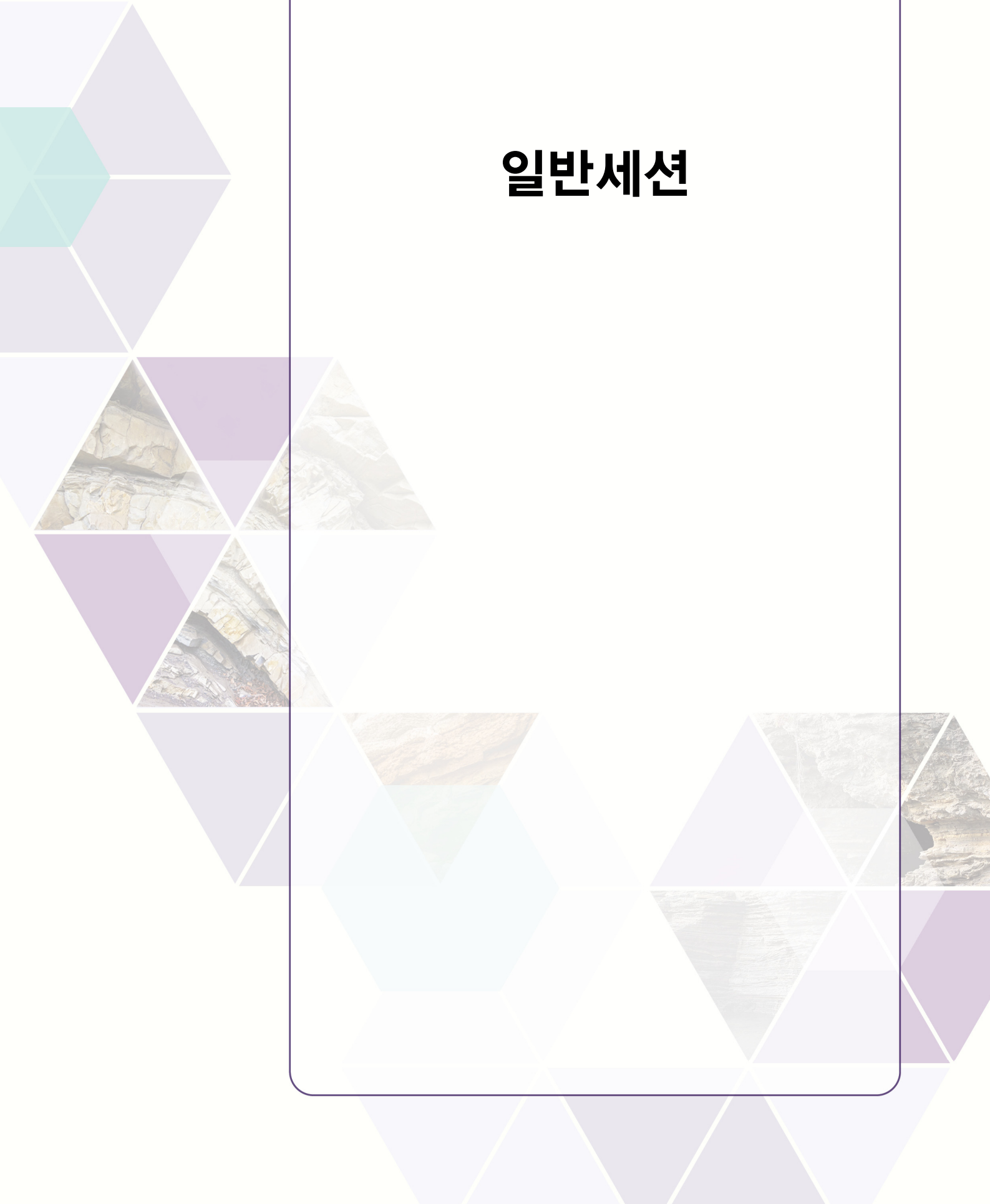
Squarzoni, G.; Benedikt, B.; Franceschini, S.; Simoni, 2020. A. Pre- and post-failure dynamics of landslides in the Northern Apennines revealed by space-borne synthetic aperture radar interferometry (InSAR). *Geomorphology* 369, 107353.

Xu, Y., Lu, Z., Schulz, W.H., Kim, J., 2020. Twelve-Year Dynamics and Rainfall Thresholds for Alternating Creep and Rapid Movement of the Hooskanaden Landslide From Integrating InSAR, Pixel Offset Tracking, and Borehole and Hydrological Measurements. *Journal of Geophysical Research: Earth Surface*, 125, e2020JF005640. <https://doi.org/10.1029/2020JF005640>

구두 발표



일반세션



기후위기대응 일반국도 도로비탈면 관리방안

김승현^{1)*}, 박병석¹⁾, 우용훈¹⁾, 정준호¹⁾, 한성수²⁾, 신종욱²⁾

¹⁾한국건설기술연구원 지반연구본부 도로관리통합클러스터 sshkim@kict.re.kr

²⁾국토교통부 도로국 도로관리과

산사태 또는 비탈면 붕괴가 발생하게 되면, 인명피해 또는 재산피해가 발생하기 때문에 이에 대한 적절한 대응이 필요하다. 특히 최근 기후변화, 기후위기, 극한강우, 국지성 호우의 증가로 토사유실 및 비탈면 붕괴 위험성이 높아지고 해마다 비탈면 피해가 반복되는 실정이다. 최근에는 차량통행이 낮은 일반국도의 특성상 크지 않은 비탈면 유실이나 붕괴로도 교통 통제나 사상자가 발생하는 등 상당한 피해가 보고되고 있다.

우리나라 일반국도의 비탈면은 중소규모 비탈면이 대부분을 차지하고 있으나 시특법 2종시설물에서 제외된 현장들에 대해서는 체계적인 안전점검이나 관리가 상대적으로 미흡한 상황이다. 도로관리기관에서는 취약시기인 해빙기, 우기에 현장점검을 시행 중이나 점검자의 전문성 부족, 비탈면 접근 제한 등으로 실질적인 점검에 한계를 경험 중이다. 국토교통부는 최근 주요 비탈면에 대하여 비탈면 IoT 계측시스템을 확충 중이며, 붕괴징후시 사전예방조치로서의 대응역량을 강화하고 있으나, 현행 계측기술의 한계 등으로 암반비탈면의 사전 움직임 대응에 있어 어려움을 겪고 있다.

국토교통부는 “도로비탈면유지관리시스템(CSMS)” 업무를 통해 전체 일반국도 깎기비탈면에 대한 데이터베이스를 확보하고 있다. 그러나 구축된 데이터베이스는 오래 전 구축된 자료로서 중장기 유지관리에 다소 한계를 느끼고 있는 실정이다. 이에 2023년부터 데이터베이스 갱신 작업을 시작하였으며, 붕괴이력, 지반상태 등을 종합 분석하여 위험비탈면 집중구간에 대한 중점관리필요구간을 지정할 예정이며, 이에 취약시기에 집중 점검을 실시할 예정이다. 또한 소규모라고 하더라도 취약비탈면은 체계적인 안전관리를 위해 시특법 3종시설물로 지정하여 법정관리 대상을 확대할 계획을 마련 중이다.

도로비탈면에 대한 점검은 일선 업무담당자가 실시하나 전문기관의 교육을 통해 관련지식 부족 등으로 관리소홀이 발생하지 않도록, 비탈면의 위해 특성 파악 및 인지, 활용에 집중 교육을 실시할 예정이며, 도로관리여건변화와 기후위기 특성을 고려한 “도로비탈면 유지관리 실무매뉴얼”의 개정, “붕괴사례집”의 발간 등으로 통해 일선업무담당자와 전문가적 지식을 기반으로 한 기술발전에 이를 활용할 예정이다.1

또한 2025년까지 비탈면 IoT 모니터링의 확대설치와 더불어 사전징후 없이 급격한 파괴양상 등으로 예측이 어려운 암반비탈면에 대하여는 계측기술, 분석기법, 대응체계 등의 고도화를 준비 중에 있다.

사 사

본 연구는 국토교통부의 위탁과제인 “도로비탈면유지관리시스템(CSMS) 운영 업무”의 일환으로 수행된 과업임.

제주도 용암동굴의 형상에 따른 진동 영향 분석

강민지¹⁾, 문성우¹⁾, 이근춘²⁾, 서용석^{1)*}

¹⁾충북대학교 지구환경과학과 ysseo@cbu.ac.kr

²⁾㈜산하이엔씨

제주도의 북서쪽에 위치하고 있는 용암동굴인 ○○○동굴은 주굴 약 2,800m, 지굴 약 7,200m로 연장성이 좋은 동굴이다. ○○○동굴은 낮은 점성도를 가진 귀덕리현무암으로 형성되어 평탄한 지형을 이루고 있으며, 바리메조면현무암에 대부분 피복된 상태이다(손영관 외, 2016). 동굴의 상부 지표에는 도로나 비닐하우스가 분포하고 있고 대부분 농경지로 활용되고 있어 이로 인한 차량진동이나 생활진동이 동굴에 영향을 미치고 있다.

현재 ○○○동굴은 약 30% 구간만이 문화재로 지정되어 보호되고 있으며, 문화재로 지정되지 않은 구간의 동굴은 차량 및 생활진동에 의해 영향을 받고 있어 보호관리가 적절히 이루어지지 않고 있다(Moon et al. 2023). 동굴은 동굴 축을 따라 계속해서 변하는 단면으로 이루어져 있으며, 동굴의 형상과 분포 위치에 따라 변위 발생 정도와 응력 집중 정도의 차이를 보인다. 따라서 본 연구에서는 ○○○동굴의 다양한 형상을 대상으로 정해석과 동해석을 수행하였으며, 동굴의 형상 및 토 피고 차이에 따른 지반진동의 영향을 분석하였다.

References

- 손영관, 우경식, 길영우, 김련, 류춘길, 최용근, 2016, 세계자연유산지구 확대 타당성 조사 용역 보고서. 제주특별자치도 세계유산본부, 316p.
- Moon, S.W., Lim, H.M., Kim, H.S., Seo, Y.S., 2023, Estimation of Ground Vibration Around Lava Tubes in Jeju Island Geopark, Korea, Journal of Geoheritage, 37, 1-13.

선형적 오염원 저감 모델링을 활용한 TCE 오염 지속성 기여도 평가

장성간, 양민준*

부경대학교 지구환경시스템과학부 *minjune@pknu.ac.kr*

지하시스템 내 저투수층이 DNAPL (dense non-aqueous phase liquid)로 오염된 경우, 오염된 저투수층의 역확산으로 인해 대수층 오염은 장기간 지속될 수 있다. 오염이 장기간 지속되는데 영향을 미치는 요인들로는 오염원의 저감 유형, 오염물질과 저투수층의 상호작용 등이 포함된다. 본 연구에서는 선형적 오염원 감소(linear source depletion, LSD) 기간(K), 오염물질의 확산속도(S), 저투수층의 두께(L)를 고려하여 선형적 오염원 저감과 역확산 간의 오염 지속성 기여도를 평가하고자 하였다. 오염 지속성 기여도를 평가하기 위해서 유한한 두께의 저투수층과 LSD를 고려한 1차원 확산 해석해를 개발하였으며, 개발된 해석해의 타당성을 확인하기 위해서 Yang et al. (2016)의 모델링 결과와 실내 실험 결과를 비교하였다. 모델링을 위한 오염 시나리오는 trichloroethylene (TCE)로 오염된 대수층과 저투수층이 단일로 존재하는 지하시스템에서 TCE의 농도가 선형적으로 감소되는 환경을 가정하였으며, K, S, L을 변수로 활용하여 오염 지속성 기여도를 평가하였다. 본 연구에서 개발된 해석해를 Yang et al. (2016)의 데이터에 적용한 결과, 실내 실험과 모델링 결과 모두 유사하게 나타내어 개발된 해석해의 타당성을 검증하였다. 세 변수(K, S, L)를 활용하여 오염 지속성 기여도 평가를 분석한 결과, 대수층에서 TCE의 상대농도가 0.5보다 높은 경우에서 역확산이 시작되며 역확산의 기여도가 더 높았으며, K와 S의 증가, L이 감소하는 경우에서 역확산의 기여도가 우세하게 나타났다. 또한 대수층에서 TCE의 상대농도가 0.55일 때 역확산이 발생하는 조건에서는 오염 지속성이 가장 오래동안 유지되는 경향을 보였다. 이를 분석한 결과, 저투수층에서 확산된 오염물질이 저투수층의 최대 두께에 도달할 때 역확산이 발생되었다. 본 연구 결과는 오염 및 정화가 완료된 부지를 대상으로 대수층 오염 지속성을 정량화함으로써 부지 관리의 효율성 향상 및 가이드라인 제시에 기여할 수 있을 것으로 사료된다.

References

Yang, M., Annable, M. D., Jawitz, J. W., 2016, Solute source depletion control of forward and back diffusion through low-permeability zones. *Journal of contaminant hydrology*, 193, 54-62.

점토 종류에 따른 입상 흡착제 제조 및 우라늄 흡착 특성 평가

김수빈^{1),3)}, 이혜림²⁾, 양민준^{2),3)*}

¹⁾부경대학교 지구환경시스템과학부 지구환경과학전공 *subin_kim@pukyong.ac.kr*

²⁾부경대학교 지구환경시스템과학부 환경지질과학전공

³⁾㈜와이블

본 연구는 벤토나이트(BNT)와 카올리나이트(KLT) 점토 분말에 대한 수용액 내 우라늄의 흡착 특성을 확인하고, 입상의 흡착제로 제조하여 우라늄 흡착효율을 비교하였다. BNT와 KLT는 초기 농도, pH에 따른 흡착 배치 실험을 진행하였다. 이후 polysulfone을 이용하여 BNT와 KLT는 2-3 mm 크기의 입상 흡착제 (P-BNT, P-KLT)로 제조하였으며, 반응시간, 초기농도, pH 조건에 따른 우라늄 흡착 배치 실험에 이용하였다. BNT와 KLT의 흡착 배치 실험 결과 KLT의 우라늄 흡착효율은 pH 7 조건에서 91.8%로 가장 높고, pH 4에서 73.9%로 가장 낮은 것으로 나타났다. BNT의 경우 최대효율이 pH 9에서 46.1%로 나타났으며, pH 7에서 36.1%로 최소효율을 나타내어 전반적으로 모든 pH 조건에서 현저히 낮은 흡착효율을 보였다. 흡착실험 결과를 흡착 등온 모델에 적용한 결과, KLT는 Langmuir 모델에서 높은 일치도를($R^2 = 0.999$) 보였으며 BNT는 sips 모델에서 높은 일치도를($R^2 = 0.949$) 보였다. 그러나 입상 흡착제인 P-KLT의 경우 pH 7에서 84.9%로 높은 흡착효율을 보였으나, pH 4와 pH 9에서 각각 41.4%와 58.8%로 낮은 우라늄 흡착효율을 보였다. P-BNT의 경우, pH 4과 pH 7 조건에서 98%이상의 우라늄 흡착 효율 보였으며, pH 9 조건에서 우라늄의 55.2% 매우 낮게 나타났다. P-KLT과 P-BNT의 흡착실험 결과를 흡착 등온 모델과 반응 속도 모델에 적용하였을 때 P-KLT는 Freundlich 모델($R^2 = 0.983$)과 1차 반응 속도모델($R^2 = 0.978$)과 잘 일치하였으며, P-BNT는 Langmuir 모델($R^2 = 0.999$)과 2차 반응 속도모델($R^2 = 0.999$)과 잘 일치하였다. 이러한 결과를 통해 P-KLT는 우라늄을 물리적으로 흡착하며, P-BNT는 우라늄이 화학적으로 흡착함을 추정할 수 있었다. 최종적으로 BNT와 KLT의 우라늄 흡착효율 결과와 달리 염기성 환경을 제외한 조건에서는 P-BNT가 적용성 및 활용성이 높을 것으로 예상된다.

머신러닝과 지구통계학을 이용한 시추조사 결과 기반 지반 3차원 지오모델링

윤서현¹⁾, 이경원¹⁾, 김광염^{2)*}

¹⁾한국해양대학교 해양에너지자원공학과

²⁾한국해양대학교 에너지자원공학과 kykim@kmou.ac.kr

터널 설계 전 지반 조사 단계에서 광역적 지반모델링은 필수적이다. 기존의 지반모델링은 터널의 계획 노선이 통과하게 되는 불량 지층의 개수와 길이 등의 정보를 얻어 시공 안정성 및 경제성을 평가하기 위해 사용되었다. 하지만 사전 지반 조사 데이터는 한정적이므로 목적 구간에 대한 신뢰성 있는 지반 물성을 취득하기에 한계가 있다. 본 연구에서는 현장에서 국내에 분포하는 암종을 대상으로 한 시추 코어 이미지 기반의 암석강도를 추정할 수 있는 딥러닝 아키텍처를 개발하고 검증하였다. 또한, 이를 이용하여 터널 설계 노선 구간의 시추조사 결과를 이용하여 각 시추공별 암석강도 분포추이를 평가하고자 하였다. 암석 강도 추정을 위한 학습용 모델로는 ResNet, Inception, EfficientNet을 사용하였으며 각각의 모델에서 성능에 따라 가중치를 주어 Ensemble 기법을 적용한 최종 모델을 선정하였다. 또한, 지오모델링을 위해 사용된 지구통계학 기법은 역거리가중치법으로 탐색구간의 이방성 및 가중치 등을 조절하여 주어진 정보를 통한 최적의 미시추 구간 정보를 추출하는데 효과적인 것으로 평가되었다. 향후 추가 연구를 통해 물리탐사 데이터를 활용함으로써 미시추 구간에 대한 지오모델링의 신뢰도를 높이고자 한다.

사 사

본 연구는 해외자원개발협회의 주요사업인 스마트 마이닝 전문 인력 양성(2021-0316-03)의 지원을 받아 수행되었습니다.

Random forest를 활용한 산사태 피해 영향인자 평가

이재호¹⁾, 정유진¹⁾, 최정해^{2)*}

¹⁾경북대학교 지질학과

²⁾경북대학교 지구과학교육과 choi.jh@knu.ac.kr

산사태는 매년 국내에서 인명과 재산피해를 일으키는 대표적인 자연재해로써 최근 기후변화로 인한 발생 빈도와 규모가 점차 증가하고 있는 경향을 보인다. 국내에서도 여름철 집중되는 강우량으로 인해 산사태 피해가 점차 증가하고 있으며 특히 충주시에서는 2020년 7~8월에 발생한 집중호우로 인해 산사태가 지난 10년에 비해 두드러지게 증가하는 경향을 보였다. 이러한 산사태 피해를 완화시키기 위해 산사태 피해에 초점을 둔 연구가 필요하다.

본 연구는 2020년 집중호우로 인해 발생한 충주시의 산사태에 대해 산사태 피해 증가에 영향을 준 변수를 추출하여 변수 중요도 분석을 수행 하였다. 산사태 피해에 영향을 주는 14개의 인자(고도, 사면경사, 사면방향, 수직곡률, 수평곡률, 수계와의 거리, 경사 길이와 기울기(LS factor), 지형습윤지수(TWI), 유효토심, 심도토성, 모암물질, 임상도, 피해 면적, 지질)를 선정하여 빈도 비율(frequency ratio)을 이용하여 분류한 후 랜덤 포레스트 모델에 입력데이터로 넣었다.

그 결과, 랜덤 포레스트 모델의 AUC값은 0.83으로 나타났으며, 변수 중요도 순위는 수계와의 거리와 사면 방향이 각각 1순위, 2순위를 차지하였다. 이는 지표물질의 이동과 직접적으로 영향을 미치는 수계와의 거리와 사면에서 유출되는 사태물질의 이동방향을 결정짓는 사면 방향이 사회 기반 시설에 영향을 미침으로 인해 나타난 결과로 추측된다.

본 연구 결과는 산사태 피해 예측 지도를 제작하는 기초 연구 자료가 될 수 있으며, 향후 연구에서는 넓은 지역에 대한 피해 예측 지도구축과 강수량을 고려한 통합적인 접근 방식이 필요할 것으로 판단된다.

원전부지 및 고준위 방사성폐기물처분부지 선정을 위한 지질학적 고려 요소

김영석*, 최호석, 김고은

부경대학교 지구환경시스템과학부 지질구조재해연구실 ysk7909@pknu.ac.kr

우리나라는 전력의 약 31.7%를 원자력 발전(이하 원전)을 통해 생산하는 원전 의존도가 높은 나라이다. 이에 반해 원전 안전과 폐기물 처리방안 등 원전관련 시설에 대한 사회적 불안 또한 높다. 이러한 불안을 해소하고 원자력에너지 안전하게 사용하기 위해서는 원전관련 시설을 안전한 위치에 건설하는 것이 무엇보다 중요하며, 이를 위해서는 원전관련 부지선정에서 지질학적 요건을 최우선적으로 고려한 명확한 선정기준이 마련되어야 한다. 원전관련 시설은 지표에 건설되는 원자력발전소와 지하에 건설되는 방사성폐기물처분장 시설로 나눌 수 있다. 지표에 건설되는 원자력발전소는 지진동, 지표파열, 쓰나미 등에 의해 사고가 발생할 수 있기 때문에 단층의 위치에 따른 손상대 패턴 및 여진의 분포와 같은 지표 단층대에 대한 이해를 바탕으로 단층과의 이격거리를 설정하고, 활성단층 조사를 통해 지진으로부터 피해 가능성이 낮은 지역을 선택하는 것이 중요하다.

2022년 환경부가 발표한 한국형 녹색분류체계(K-Taxonomy)에 원자력이 포함되었고, 2031년 고리 및 한빛 원전의 임시 저장시설이 포화될 것으로 예상되어, 고준위 방사성폐기물 처분부지의 선정을 위한 방법과 법제도 마련이 시급한 실정이다. 방폐장의 장기적인 지질학적 안정성은 국민의 안전과 직결되어 있으므로, 영향을 줄 수 있는 다양한 지질학적 항목들을 면밀히 고려하여야 한다. 이번 연구에서는 먼저 고준위 방사성폐기물 심층처분시설에 대한 일반기준과 선행연구에서 제시한 지질학적 항목들을 바탕으로 고려해야 할 주요한 요소들을 제시하였다(e.g. 암종, 수리지질, 단층 및 단열 시스템, 지진, 선형구조, 활성단층 등).

또한 이러한 고려 요소들을 토대로 지질학적 안정성을 확보할 수 있는 고준위 방사성폐기물 처분장의 선정절차를 제시하였다: (1) 전국을 대상으로 지질학적 및 사회적 배제조건에 부합하는 지역을 우선적으로 제외하고, (2) 지표조사를 통해 지질학적 조건에 부합하는 상위 10여개의 후보부지를 선정하고, 선정된 후보부지에 대해 정밀조사와 수용성 선호도 조사를 실시한 후 이를 점수로 반영하고, (3) 최종 상위 2-3개 후보지에 대한 상세조사를 실시하여 최종부지를 부지선정위원회에서 점수를 바탕으로 선정. 부지선정 과정은 신뢰를 바탕으로 공정하게 진행되어야 하며, 안정성과 혜택을 충분히 설명하여야 하며, 모든 선정절차를 투명하게 공개하여야 성공적인 고준위 방사성폐기물 처분부지 선정을 할 수 있을 것이다.

사 사

이 연구는 2023년도 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 사용후핵연료관리핵심기술개발사업단 및 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구사업임(No. 2021M2E1A1085200)

산사태 취약성 분석의 신뢰도 향상을 위한 클러스터링 기반 샘플링 방법 제안

오종찬¹⁾, 이정현²⁾, 박혁진²⁾, 윤대웅^{1)*}

¹⁾전남대학교 에너지자원공학과 duyoon@jnu.ac.kr

²⁾세종대학교 지구자원시스템공학과

산사태는 불안정한 영향 인자를 가진 지역에 집중호우, 지진 등의 유발 인자에 의해 발생하고, 이러한 영향 인자를 활용하여 해당 지역의 산사태 발생 가능성을 예측하는 문제를 산사태 취약성 분석이라 정의한다. 산사태 취약성 분석에는 기계 학습, 특히 지도학습 방식이 주로 활용된다. 모델의 입력으로 사용되는 특성으로는 경사면, 고도, 주향 등의 영향 인자가 있고, 특정 위치에서의 산사태 발생 여부가 학습의 레이블로 활용된다. 일반적으로 산사태가 발생하지 않은 지점의 정보를 무작위로 샘플링하여 학습에 사용하는데, 이와 같은 무작위 샘플링 방식은 산사태의 정확한 경계 판단을 어렵게 하고, 추후 영향 인자의 특성 중요도 분석 결과가 샘플링 방식에 따라 편향될 위험이 있다.

본 연구에서는 이러한 자료 샘플링 기법에 따른 특성 중요도의 편향을 완화하고 산사태 취약성 분석의 신뢰도 향상을 위해 K-평균 클러스터링을 활용한 자료 추출 기법을 제안하였다. 분석에 사용된 자료는 2006년 7월 강원도 평창군 진부면 일대에서 발생한 산사태 자료로, 디지털 고도 모델(DEM)을 이용해 얻은 특성 9개, 토양 특성 5개, 수목 자료 특성 4개, 지질 특성, 그리고 토지 사용 특성을 포함한 총 20개의 특성을 사용하였다. 연구 과정으로는, 먼저 기존의 자료 추출법을 활용하여 산사태 취약성 분석 모델을 학습한 후, SHAP (SHapley Additive exPlanations) 기법을 적용하여 특성에 따른 중요도를 분석하였다. 그 후 중요도가 높은 특성을 선정하여 클러스터링을 적용하고, 이를 통해 학습 자료를 재추출하여 모델을 다시 학습하였다. 결과적으로, 테스트 자료를 바탕으로 한 성능 평가에서 클러스터링 기반 샘플링 방식을 적용한 모델이 기존 방식에 비해 더 우수한 성능을 보였으며, SHAP 기반의 특성 중요도 분석에서도 특정 특성에의 편향성이 줄어든 것을 확인하였다.

사 사

본 연구는 한국연구재단(NRF)에서 출원한 “산사태 메커니즘 통합 분석 연구실” (RS-2023-00222563) 사업의 지원을 받아 수행되었습니다.

천부 수동탄성과 탐사 모니터링

장성형*, 이동훈, 손우현, 최윤석, 주용환

한국지질자원연구원 해저지질에너지연구본부 shjang@kigam.re.kr

두 수진기에서 기록한 탄성과 배경잡음을 상호상관하면 간접적으로 위상과 진폭정보를 포함하는 그린함수를 구할 수 있다. 그린함수는 지구내부 영상화와 시간에 따라 변하는 탄성과속도를 확인할 수 있어서 화산활동, 단층대, 영구 동토층, 생산중인 탄화수소 저류층, 이산화탄소 저류층에서 일어나는 작은 변화를 감지하는 모니터링에 활용한다(Poupinet et al., 1985). 또한 속도변화는 공극률, 투수도에 영향을 미치므로 다양한 물성변화 모니터링에도 활용한다. 천부 수동탄성과 탐사는 인위적인 송신음원을 사용하지 않고 우리 생활에서 늘 존재하는 미소진동음원이나 항공기, 기차, 차량이동, 토목건설 공사와 같은 생활잡음으로 발생하는 진동을 기록하여 지구내부 구조를 확인하는 방법이다(Park, et al., 2007). 이 연구에서는 수동탄성과 탐사를 천부지층에서 시간경과에 따른 탄성과 속도변화 감지 가능성을 살펴보고자 한다. 수동탄성과 자료 취득은 한국지질자원연구원 중앙 광장에 육상 노달 수진기를 설치하여 수행하였다. 5 Hz 3 성분 수진기를 1 m 간격으로 48개 설치하고 기록 시간간격은 1 ms로 설정하여 29일 동안 기록하였다. 자료취득은 천부탄성과 속도변화를 예상할 수 있도록 장마 시기 이전부터 이후까지 계속하였다. 차량진동 음원을 이용한 원시 수동탄성과 자료에서 신호가 상대적으로 강하게 기록된 구간을 선정하고 주파수 분석, 상호상관을 이용한 모음자료, 주파수-속도 스펙트럼, 역산 과정으로 표면파 속도를 구한다. 장마 이전과 이후 수직 성분 수동탄성과 자료를 처리하고 분석하여 시간경과에 따른 시간-주파수 스펙트럼 차이로부터 천부탄성과 속도차이를 확인하였다. 장마 이전 수동탄성과 탐사자료의 경우 천부 S 파 속도는 약 4 m 깊이까지 199 m/s, 장마 이후에는 약 2.5 m 깊이까지 143 m/s 를 확인하였다. 속도, 밀도, 공극률과 같은 지하 물성변화로 발생하는 도심지 지반침하, 단층대변화 모니터링에 활용하기 위해서는 천부 수동탄성과 자료처리 기술개발과 능동탄성과 탐사 결과와 비교를 통해서 신뢰성을 높이는 과정이 필요하다.

사 사

이 연구는 과학기술정보통신부 산하 한국지질자원연구원 기본사업인 “교통차량 진동을 이용한 도심 지질탐사 및 상시 모니터링 기술개발(23-3806)” 과제 지원으로 수행 되었습니다.

References

- Poupinet G., Frdchet J., Ellsworth W. L., Frdmont M. J., and Glangeaud F.. 1985, Doublet analysis: improved accuracy for earth-quake prediction studies. *Earthquake Predict. Res.* 3, 147-159.
- Park, C. B., Miller, R. D., Xia, J., and Ivanov, J., 1999, Multichannel analysis of surface waves (MASW)-active and passive methods, *The Leading Edge*, 26(1), 60-64.

지질조사에 있어서 방사능탐사의 활용

박삼규^{1)*}, 정수철¹⁾, 신승욱¹⁾, 이명종¹⁾, 박계순¹⁾, 최진혁²⁾, 천영범²⁾, 장한길로³⁾, 노경찬³⁾

¹⁾한국지질자원연구원 광물자원연구본부 samgyu@kigam.re.kr

²⁾한국지질자원연구원 지질재해연구본부

³⁾보민글로벌 주식회사

국내에서 방사능탐사는 주로 항공기를 이용하여 방사능 원소 이상도를 작성하기 위하여 한국지질자원연구원에서 1982년부터 수행되어 왔으며(Park *et al.*, 2015), 최근에는 리튬 등 2차전지에 필요한 핵심광물을 탐사하기 위한 목적으로 사용되고 있다. 지표 지질조사로 사용되고 있는 방사능탐사는 주로 감마선을 방출하는 핵종으로 ⁴⁰K, ²³⁸U(Bi), ²³²Th(²⁰⁸Ti)의 단위시간당 방사선 수나 에너지를 측정하여 지표층의 지질 상태를 해석한다. 감마선의 검출에는 일반적으로 형광작용을 이용한 NaI(Tl) 신틸레이션미터를 사용하여 감마선의 총량과 감마선 스펙트럼으로부터 핵종별 감마선 강도를 구할 수 있다. 이러한 자료를 바탕으로 지표부에 노출된 단층파쇄대나 피복된 암반의 암종을 구분하는데 유용하지만, 국내에서는 탐사가 비교적 간편함에도 불구하고 해석상에 어려운 점들이 있어 활용 사례가 많지 않다. 그 이유는 지표에 방출된 감마선 강도의 약 90%는 지표면 부근의 30~45cm 이내에서 발생한 것이라 암반이 노출되어 있거나 풍화층의 두께에 따라 그 강도가 다르고 단층파쇄대에서는 점토화가 진행되었을 경우 오히려 감마선 강도가 낮게 나타나는 등 현장의 지표지질 상태에 따라 달리 해석되어야 하기 때문이다.

따라서 이 연구에서는 국내 방사능탐사의 적용성을 알아보기 위하여 휴대용 Gamma-Ray Spectrometer(Radiation Solutions Inc.)를 사용하여 활성단층 및 광물자원탐사 지역을 대상으로 전기비저항탐사와 함께 방사능탐사를 수행하고, 현장 측정 자료를 바탕으로 전기비저항탐사 결과와 현장 지질 상태를 복합적으로 고려하여 단층파쇄대 및 광화대 분포 등을 해석하였다. 그 결과 감마선을 방출하는 각 핵종별 강도와 U/K, Th/K, U/Th의 스펙트럼비로부터 단층파쇄대 및 광화대 분포, 암상 경계를 구분하는데 유용함을 알 수 있었으며, 앞으로 많은 현장 탐사자료가 축적되면 보다 지표 지질조사 목적으로 그 활용 범위를 넓힐 수 있을 것으로 보인다.

사 사

이 연구는 한국지질자원연구원 기본사업“판내부 활성지구조특성 연구 및 단층분절모델개발(GP2020-014)”사업 및“국내 바나듐(V) 등 에너지 저장광물 정밀탐사기술 개발 및 부존량 예측(GP2020-007)”사업의 지원을 받아 수행되었으며, 또한 한국에너지기술평가원 신산업 맞춤형 핵심광물 개발 활용 기술개발사업“음극재용 흑연광 스마트 탐사/개발 및 원료화 기술개발(20227A10100040)”사업의 지원으로 수행되었습니다.

References

Park, Y-S., Rim, H., Lim, M., Shin, Y. H., 2015, Leveling the Gamma-ray Spectrometric Data using Baseline Survey, Geophysics and Geophysical Exploration, 18(3), 97-104.

광학 영상화 검층 자료를 이용한 지층 분류 모델 적용

정승호^{1,2)}, 신제현^{2)*}, 황세호²⁾, 윤대웅¹⁾

¹⁾전남대학교 에너지자원공학과

²⁾한국지질자원연구원 지하수환경연구센터 jehyun@kigam.re.kr

지층의 상세 구조 파악은 지질 특성, 지하수 조사, 환경오염, 지하공간 분야 등의 연구 및 활용에 매우 중요하다. 지층 구성물질의 구조와 물리·화학적 특성이 유체 및 오염물질의 유동에 영향을 주기 때문이다. 층적층 특징을 확인하는 일반적인 방법으로는 시추 코어를 기반으로 지질 주상도를 작성하거나 천부는 토양 샘플링 조사 방법이 있다. 토양 샘플링 조사는 소구경 시추 장비로 토양 시료를 채취하며 지층의 상태에 따라서 불교란 시료 채취가 불가능하거나 연속 시료 채취가 어려운 경우가 발생한다. 이와 같은 문제점을 개선하기 위하여 NX 규격의 시추 후, 시추공 내에 투명 케이싱을 설치하고 고해상의 광학영상화검층 자료를 취득하여 지층의 상태를 원위치 측정 정보를 활용하는 방법을 대안으로 적용할 수 있다. 측정 광학영상검층 자료를 이용한 지층분류 과정은 시추 주상도와 물리검층 자료처리 사용자의 전문성 차이로 인한 품질관리의 어려움이 있다. 본 연구는 위와 같은 단점을 개선하기 위하여 인공지능 기술을 적용하였으며 비전 분야에서 주로 활용하는 합성곱 신경망(CNN)을 사용하여 지층분류 모델을 개발하였다. 전체적인 분류는 이미지구조에 사용되는 CNN 구조 기반의 모델을 사용하여 지층을 분류하였다. 투명 케이싱 내에서 측정한 광학영상화검층 자료를 오버랩 방식으로 분할하고 자료 증강을 적용하여 학습 자료를 생성하였다. 학습 수행한 후, 다른 현장의 광학영상화검층 자료에 학습된 모델을 적용하여 시추 주상도와 비교 분석하였다. 본 연구에서 개발된 기술은 소구경 시추를 이용한 샘플링 조사 과정에서 발생할 수 있는 단점들을 개선할 수 있을 것으로 기대된다.

사 사

이 연구는 한국지질자원연구원 주요사업(23-3411)과 환경부의 재원으로 한국환경산업기술원의 지중환경 오염위해관리기술개발사업(R&D)의 지원을 받아 연구되었습니다(RS-2023-00230833).

케이싱 내에서 측정한 물리검층 자료의 활용

황세호¹⁾, 정승호^{1),2)}, 최지훈¹⁾, 신제현^{1)*}

¹⁾한국지질자원연구원 지하수환경연구센터 *jehyun@kigam.re.kr*

²⁾전남대학교 에너지자원공학과

물리검층 조사법은 시추공을 이용하는 방법으로 시추공 주변의 지층물성, 구성성분, 지질구조와 균열 특성, 수리적 특성 등의 측정이 가능한 장점이 있다. 물리검층 기술은 기본적으로 나공(open-hole) 환경에 적용성이 높게 개발되었으며 케이싱(casing)이 설치된 환경에서도 적용이 가능하도록 기술개발이 진행되었다. 토양층이나 단층균열대, 깊은 시추공의 경우, 시추공이 안정적으로 유지되기 어렵기 때문에 철재 또는 PVC 케이싱을 설치하며 깊은 시추공의 경우, 케이싱 뒷면에 시멘팅을 하여 시추공의 안정성을 높이기도 한다. 물리검층 자료의 활용성을 높이기 위해서는 케이싱 내에서 측정한 자료의 적용성에 대한 이해가 필요하다. 본 연구는 다양한 종류의 케이싱이 설치된 시추공 환경에서 수행한 물리검층 사례를 중심으로 적용성에 대한 소개를 한다. 케이싱 내에서의 물리검층 자료측정은 나공 환경과 많은 차이가 있어 케이싱 설치에 대한 이해를 중심으로 투과력이 좋은 방사능 검층, 지하수 유동의 추정, 케이싱 설치 상태와 시멘팅 정도 평가 등에 대한 적용 사례를 기술한다. 방사능 검층은 케이싱의 영향을 보정하는 방법이 적용되며 수치모델링이나 현장에서 나공과 케이싱 설치 환경의 차이를 이용하여 보정을 수행한다. 음파 검층은 케이싱 뒷면의 시멘팅 상태 평가에 주로 이용되나 지층의 속도 측정이 가능한 환경과 적용사례를 소개한다. 그리고 케이싱이 설치된 내부 상태, 즉 스크린 구간, 연결 상태, 케이싱 설치 상태를 파악하는 공내 영상화 검층법의 다양한 적용 사례를 소개한다. 다양한 케이싱이 설치된 시추공 환경에서 측정한 물리검층 자료의 적용 사례 소개는 시추공 완성도 평가 이외에도 지하수 조사, 환경오염 조사, 지반 조사 분야에서도 적극적으로 이용될 수 있을 것으로 기대된다.

사 사

본 연구는 환경부의 재원으로 한국환경산업기술원의 ‘지중환경오염위해관리기술개발사업(RS-2023-00230833)’과 한국지질자원연구원 기본사업인 ‘기후변화대응 대용량지하수 확보 및 최적활용 기술개발(23-3411)’사업, 과학기술정보통신부의 주민공감 현장문제 해결사업(한국연구재단 NRF2021M3F8A104906011)의 지원을 받아 수행되었습니다.

원자력시설 부지 기초지반 조사/평가에 관한 국제원자력기구(IAEA) 기술기준 동향

심택모^{1)*}, 박보나¹⁾, 권오상¹⁾, 우현동²⁾

¹⁾한국원자력안전기술원 구조부지평가실 k147stm@kins.re.kr,

²⁾한국원자력안전기술원 법령기준실

국제원자력안전기구(IAEA)는 원자력시설의 부지평가에 관한 특정안전요건 No. SSR-1을 발행하고 요건 21 (지반물질의 지질공학적 및 지질학적 특성)에 “지반 물질의 지질공학적 특성 및 지질학적 특징을 조사하고, 지반 물질의 변동성 및 불확실성을 고려한 부지의 토양 및 암석 프로파일을 도출해야한다.”와 요건 22 (지질공학적 및 지질학적 재해의 평가)에 “경사면 불안정성, 붕괴, 침하 또는 용기, 토양 액상화를 포함한 지질공학적 및 지질학적 재해 그리고 이러한 재해가 원자력 시설의 안전에 미치는 영향을 평가해야한다.”를 규정하고 있다. 이를 만족시키기 위해 IAEA는 안전지침 No. NS-G-3.6, “원자력발전소의 부지평가 및 기초지반에서의 지질공학적 측면, 2004”를 발행하였다. 이 안전기준은 조사 및 평가 수행 기관, 규제기관 그리고 설계회사 모두에 적용된다.

현재 IAEA는 회원국 간에 축적된 최신지식, 경험, 교훈을 반영하고 조사 및 평가의 품질을 보장할 수 있는 기준 그리고 원자력 시설의 중요도에 따라 지반 조사 및 평가를 등급화할 수 있도록 지침 NS-G-3.6을 개정 중이다. 현행 및 개정 중인 기준에서 규정하고 있는 지질공학적 특성의 조사 및 평가와 관련한 주요 내용은 다음과 같다. 1. 부지평가는 부지선정, 부지특성결정, 운영 전 및 운영 단계로 나누어지는데 모든 단계에서 조사 및 평가 범위, 상세의 정도를 달리하는 지질공학적 특성에 대한 규명이 필요하다. 특히 부지선정단계에서는 허용할 수 없는 지질공학적 지반조건들을 식별하여 이를 배제함으로써 적합한 부지가 선정될 수 있도록 한다. 부지특성을 결정하는 전반부 검증단계에서는 원자력시설의 배치에 적합한 소규모조사를 실시하되 지구물리탐사, 시추, 현장 원위치 시험, 실내시험 위주로 조사를 실시하며 후반부 확인 단계에서는 부지 내 지반의 지질공학적 특성과 구조물의 안전등급을 고려한 최종배치를 고려하여 부지 기초지반의 적합성을 최종적으로 확인한다. 2. 원자로시설 기초지반의 안정성을 평가하는데 있어 요구되는 지질공학적 설계 프로파일에는 부지 고유 응답스펙트럼, 액상화 잠재성, 기초지반내 응력분포, 구조물기초의 안정성, 토양-구조물 상호작용, 지반 침하 및 상승(heave), 토구조물의 안정성, 그리고 매설 구조물의 토압 및 변형특성 등이다. 3. 지질공학적 특성에 관한 데이터는 과거 및 현재 문서상 기록 및 데이터, 그리고 각종 현장 및 실내시험 결과이며 시험과 결과의 평가에는 품질관리가 적절하게 적용되어야 한다. 또한 4. 지반안정성 평가와 관련하여 중요한 상기의 인자들은 원자력시설의 운영중에도 지속적인 모니터링을 실시하며 이들 조사 결과를 반영하여 주기적으로 지반안정성을 재평가하여야 한다.

개정되는 안전기준에 새로이 추가되는 부분은 원자력시설의 지반안정성 평가에 있어 시설의 정상운전 및 사고시 방사선학적 위험도에 따라 지질공학적 부지 조사 및 특성결정을 등급화할 수 있도록 허용하고 있다. 이는 부지조건에 따른 등급별 접근에는 지질공학적 조사 및 평가에 관한 전문가적인 판단이 허용될 수 있음을 의미한다. 또한 원자력시설의 지질공학적 특성과 관련한 부지지반조사 및 시험, 특성결정 및 평가와 관련한 모든 조직에 적용 가능한 관리시스템을 조사프로그램 실행 전에 수립할 것을 요구하고 있다. 관리시스템은 원자력시설 기초지반의 지질공학적 특성을 결정하기 위한 모든 프로세스와 활동을 포함하여야 하는데 다음을 포함한다; 관련 문헌 및 수집데이터, 시료채취, 기록, 보관 등을 포함하는 현장 조사캠페인, 시험, 측정 및 모니터링, 실내시험, 데이터처리, 계산, 컴퓨터소프트웨어 검증 및 유효성 검사, 문서 관리 및 보관 등.

지질공학적 지반조사 및 평가에 관한 IAEA의 기준을 상세하게 검토 및 분석하여 국내 실정에 부합하는 기준개발 필요성을 살펴보고 원자력시설뿐만 아니라 안전을 요하는 필수 산업시설 등에도 그 적용성을 검토해 볼 필요성이 있다.

References

IAEA Safety Standard, Specific Safety Requirements, No. SSR-1, “Site Evaluation for Nuclear Installations,” IAEA, 2019.

IAEA Safety Standard, Specific Safety Requirements, No. NS-R-3, "Site Evaluation for Nuclear Installations," IAEA, 2003. (Superseded by SSR-1)

IAEA Safety Standard, No.50-C-S, "Code on the Safety, of Nuclear Power Plants: Siting," IAEA, 1988. (Superseded by NS-R-3)

IAEA, Safety Guide No. NS-G-3.6, "Geotechnical Aspects of Site Evaluation and Foundations for Nuclear Power Plants," IAEA, 2004.

IAEA Safety Standard, Draft Safety Guide DS531, R0D9, "Geotechnical Aspects of Site Evaluation and Foundations for Nuclear Power Plants," IAEA, 2023.

자가 학습 기법을 활용한 해양 저질 분류 모델의 성능 향상 연구

이창훈¹⁾, 임문수²⁾, 이보연³⁾, 윤대웅^{1)*}, 박수정¹⁾

¹⁾전남대학교 에너지자원공학과 duyoon@jnu.ac.kr

²⁾마린리서치(주)

³⁾한국지질자원연구원 해저지질에너지연구본부

해양 저질 정보는 해양 생태계의 기본 구성 요소로서, 해양 생태계 관리, 해양 자원 개발, 해양 건설 및 개발 등의 분야에서 주로 활용된다. 해저면 특성 분류에 사용되는 샘플링 방식은 저질의 특성을 직접적으로 분석할 수 있는 반면, 자료 취득 비용이 높고 특정 위치에서의 정보만 획득할 수 있어 넓은 범위에서의 해저 특성 정보를 파악하기 어렵다. 멀티빔 에코 사운더는 해저 음향 반사 및 음향 산란 신호를 통해 연속적이고 넓은 범위의 탐사가 가능하지만, 저질의 세부적인 특징을 파악하기에 어려움이 있다. 따라서 멀티빔 자료와 현장 샘플링 정보를 통합하면 보다 정확하고 효율적으로 넓은 범위에서의 해양 저질을 분류할 수 있다. 기존의 해양 저질 분류는 멀티빔 에코 사운더를 통해 획득한 후방산란 자료와 수심 자료를 전문가가 통계학적으로 분석하여 해석하였다. 이러한 분류 방식은 낮은 정확도와 자료처리 과정이 비효율적이라는 단점이 존재한다. 따라서 본 연구에서는 멀티빔 자료와 샘플링 자료에 기계학습 기법을 적용하여 해양 저질을 분류하였다.

해저면 특성 분류 방법은 일반적으로 저질의 종류를 예측하는 분류(classification) 방식을 사용하지만, 본 연구에서는 자갈, 모래, 실트, 점토, 그리고 암석(rock)의 5가지 주요 성분의 비율을 예측하는 회귀(regression) 방식을 사용하였다. 획득된 멀티빔 자료는 해상도가 일정하지 않고 일부 영역에 누락된 값이 있어, 전처리 과정에서 딥러닝 기반 내삽 기법을 사용하여 자료를 보간하고 해상도를 통일시키는 작업을 수행하였다. 또한 명암도 동시 발생 행렬(GLCM), 로스 텍스처(Laws texture), 이산 웨이블릿 변환(DWT) 방식을 이용하여 총 30가지의 특성을 추출하였으며, 취득된 샘플링 자료를 레이블로 이용하여 Random Forest(RF), deep neural network(DNN), Support Vector Machine(SVM), Light Gradient Boosting Machine(LightGBM), eXtreme Gradient Boosting(XGBoost)의 총 5가지 저질 예측 기본 모델을 학습하였다. 이후 부족한 샘플의 수를 보완하고 학습 성능을 향상하기 위해 자가 학습(self-learning) 방식을 적용하여 최종 저질 분류 모델을 학습하였고, 테스트 자료를 이용하여 개발된 모델의 성능을 비교하였다. 결과적으로 자가 학습 방식을 적용한 모델이 기존 모델에 비해 해양 저질 분류의 정확도와 효율성이 향상됨을 확인하였다.

사 사

본 연구는 2023년 해양수산부 재원으로 해양수산과학기술진흥원의 지원을 받아 수행되었습니다(머신러닝 기반 해저면 특성 분류 기술개발)(관리번호: 20220254).

개방형 지열에너지 보급 확대를 위한 법령 및 정책 개선 방안

조선주, 손영철, 김종욱*

한국수자원공사 jwkim@kwater.or.kr

기후변화가 대두됨에 따라 태양열, 풍력, 조력 등 다양한 신·재생에너지에 대한 수요가 증가하고 있으며, 지열에너지 또한 지속가능한 친환경 에너지로 주목받고 있다. 본 연구에서는 지열에너지, 특히 지하수를 이용한 개방형 지열에너지 활용을 위한 법령 및 정책 개선 방안을 제시하고자 한다.

현재 우리나라에서 개방형 지열에너지 관련 법령으로는 「지하수법」, 「신에너지 및 재생에너지 개발·이용·보급 촉진법」(이하 신재생에너지법), 「녹색건축물 조성 지원법」, 「기후위기 대응을 위한 탄소중립·녹색성장 기본법」등이 있으며, 지열에너지는 「신재생에너지법」의 제2조 정의에 따라 재생에너지로 분류되고 있다. 기후변화 대응을 위해 지열에너지와 관련된 여러 법령을 통해 보조금 지원, 자금지원, 세제 혜택 등 각종 인센티브를 부여하고 있으나 지원 대상의 한정, 각종 규제 등으로 인한 한계점이 존재한다.

본 연구에서는 신재생에너지보급사업 및 신농업에너지이용효율화사업을 비롯, 각 중앙부처에서 실시중인 지원제도의 현황, 지원대상, 예산등을 분석하였으며 지원 대상의 한계, 규제 사항에 대한 개선 방안 등을 제시하였다.

일반적으로 물을 직접 취수하여 이용하는 개방형 지하수열 시스템은 지중에 매립한 파이프를 순환하는 유체를 이용하는 폐쇄형에 비해 높은 효율을 가지고 있다고 알려져 있으며, 국내 연구(송재용 외, 2018)에서도 개방형이 폐쇄형에 비해 높은 열 교환량을 나타내었다. 따라서, 보다 우수한 효율을 가지는 개방형 지열시스템의 확대를 위한 법·제도에 있어서의 개선이 필요하다.

개방형 지열에너지 보급 확대를 위해서는 첫째, 탄소중립과 연계하여 다양한 신·재생에너지의 활용을 촉진하는 행위와 직간접적으로 연관된 법률을 활용함으로써 지열에너지 이용에 대해 주어지는 인센티브를 다변화 해야 한다. 둘째, 관련 법령에 의한 규제 완화가 필요하다. 현재 지하수 업무수행 지침에 따르면 지하수보전구역, 토양보전대책지역, 소규모수도시설 설치지역의 경우에 지열발전시설의 설치를 제한하도록 권고하고 있다. 셋째, 현재 시행중인 각종 지열에너지 지원 사업의 대상을 확대해야 한다. 현재 신재생에너지 보급사업의 지열 지원 대상은 수직밀폐형으로 한정되어 있으며, 신농업에너지이용 효율화 사업의 지원대상은 개방형 시설 중 SCW형만 해당하는 등 개방형 지열발전시설의 지원이 미흡한 상황이다.

신재생에너지법의 지속적 개정을 통해 공공기관이 신축·증축·개축하는 연면적 1,000m²이상의 건축물에 대해서는 신재생에너지의 공급을 의무화하는 등(‘22년, 32%) 지열에너지 시스템의 수요는 점점 증가할 것으로 예상된다.]

본 개선방안 제시를 시작으로, 지하수를 활용한 개방형 지열에너지의 보급 확대를 위해 중장기 차원에서의 법·제도 개선을 위해 지속적으로 노력해 나가고자 한다.

기계학습 모델을 활용한 국내 지질학의 연구주제 분류 및 연구 동향 분석

김태용, 양민준*

부경대학교 환경해양대학 지구환경시스템과학부 환경지질과학전공 *minjune@pknu.ac.kr*

지질학과 관련된 국내 연구는 20세기 중반부터 지속적으로 성장하고 있다. 지난 수년 동안 많은 지질학 연구자들에 의해 주요 학술지를 대상으로 지질학과 관련된 문헌을 고찰하였으나, 대용량의 자료를 개별적으로 검토하고 연구주제를 분류하는 것은 시간적·경제적 많은 한계점이 존재하였다. 또한, 신규 연구 분야가 등장하고 기존의 연구와 통합되면서 지질학적 연구 카테고리의 체계 정립에 어려움이 존재하였다. 따라서, 본 연구에서는 이러한 한계점을 극복하고자 Kim et al., 2021에서 제시한 토픽 모델링 기법 및 통계 분석 방법(회귀분석, 주성분분석, 군집분석, 네트워크 분석)을 적용하여 국내 지질학 전체를 대상으로 문헌고찰을 실시하였다. 분석 결과, 국내 지질학의 주요 연구주제 18개를 식별하였으며, “자원지질학”, “암석학”, “층서학”과 같은 분야가 1996년 이전에 주요한 연구주제로 확인되었으며, 1996년 이후에는 “환경지질학”, “수리지질학”등 환경분야 및 수자원분야와 관련된 연구들이 성행하였음을 확인하였다. 본 연구에서 식별한 총 18개의 주제는 4가지 그룹(공학, 환경, 현장조사, 화학)으로 분류할 수 있었으며, 그중에서 공학그룹이 가장 높은 연관성(mean weight = 5.18)을 보여주었다. 본 연구의 결과는 국내 지질학의 연구 방향성과 지질학의 역사와 발전에 대해 이해를 제공하였으며, 정량적인 문헌고찰 수행 방법을 제시하였음에 의의가 있다.

References

Kim, T., Park, H., Heo, J., & Yang, M. (2021). Topic model analysis of research themes and trends in the journal of economic and environmental geology. *Economic and Environmental Geology*, 54(3), 353-364.

물-암석 반응 실험 기반 비생물기원 수소 생산성 평가 관련 해외 연구 동향 분석

정성우, 양민준*

부경대학교 지구환경시스템과학부 *minjune@pknu.ac.kr*

2차 산업혁명의 시작과 함께 화석연료(석유, 석탄, 천연가스) 사용량 증대로 인해 지구온난화 가속화 현상이 초래되었으며, 이는 전 지구적 환경변화를 유발하여 인간 활동에 피해를 유발하였다. 전 세계 에너지 관련 분야의 연구자들은 지구온난화 가속화를 완화하기 위해 에너지 개발의 핵심 기술인 수소 에너지에 주목하고 있다. 현재까지 개발된 수소 생산 기술들은 생산 원료와 수반되는 공정 과정에 따라 그레이수소, 블루수소, 그린수소 등으로 분류된다. 해외 지질학자들의 경우 별도의 열·화학적 공정 과정이 요구되는 기존의 수소 생산 기술과는 달리 자연적인 기작을 통한 수소 에너지 개발을 위해 사문암화작용 또는 물-암석 반응을 활용하여 비생물기원 수소 생산 메커니즘에 관한 연구를 진행하고 있다. 그 중 미국, 호주, 프랑스 등의 국가에서는 실내실험 규모의 물-암석 반응 실험을 통해 다양한 실험 조건(온도, 압력, 유체의 화학조성 등)에서의 수소 생산성을 비교 분석하는 연구가 활발히 보고되는 추세이다. 하지만 국내에서는 비생물기원 수소에 대한 연구가 거의 진행된 바 없으며, 특히 실내실험 규모의 물-암석 반응 실험을 통해 비생물기원 수소 생산성을 평가한 연구는 미흡한 실정이다. 이에 본 연구에서는 해외에서 수행된 실내실험 규모의 물-암석 반응 실험 사례들을 종합적으로 검토하고 분석함으로써 국내 비생물기원 수소 관련 연구의 발전 방향을 제시하였다.

References

- Mayhew, L.E., Ellison, E.T., McCollom, T.M., Trainor, T.P., Templeton, A.S., 2013, Hydrogen generation from low temperature water-rock reactions, *Nature Geoscience*, 6(6), 478-484.
- McCollom, T.M., Klein, F., Moskowitz, B., Berquo, T.S., Bach, W., Templeton, A.S., 2020, Hydrogen generation and iron partitioning during experimental serpentinization of an olivine-pyroxene mixture, *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 282, 55-75.
- Truche, L., Bourdelle, F., Salvi, S., Lefeuvre, N., Zug, A., Lloret, E., 2021, Hydrogen generation during hydrothermal alteration of peralkaline granite, *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 308, 42-59.
- Miller, H.M., Mayhew, L.E., Ellison, E.T., Kelemen, P., Kubo, M., Templeton, A.S., 2017, Low temperature hydrogen production during experimental hydration of partially-serpentinized dunite, *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 209, 161-183.

골프장 인접지역 망간 오염 조사 및 벼 작물에 미치는 영향 평가

허준용, 양민준*

부경대학교 환경해양대학 지구환경시스템과학부 minjune@pknu.ac.kr

최근 골프장과 같은 대형건축물의 수요가 증가하고 있으며, 시설물 건축 시 하부지반 구축을 위해 매립하는 잔석을 인근의 밭파암으로 이용할 경우 잔석의 특성에 따라 광물의 산화로 인해 중금속 용출이 발생할 수 있다. 인근의 농업지역이 용출된 중금속으로 오염될 경우 식품을 통해 인간의 식생활에 직접적인 악영향을 끼칠 수 있다. 특히 망간은 식품을 통해 고농도로 섭취할 경우 운동실조, 정신착란 등 다양한 신경학적 문제를 일으키기 때문에 망간 오염에 대한 조사 및 관리는 필수적이다. 따라서, 본 연구는 최근 골프장이 건설된 부지의 인접지역을 대상으로 지표수, 퇴적물, 벼 작물을 채취하여 망간 농도 분석을 통해 망간 오염 평가 수행하였다. 또한, 벼 작물의 망간축적 가능성 평가를 위한 망간축적 실내실험을 수행하였다. 현장시료는 골프장 유출조부터 시작되는 관개수로에서 약 20 m 간격으로 지표수와 퇴적물을 채취하였으며, 논을 4개의 구역(Area 1 - 4)으로 구분하여 논 토양과 벼 작물을 채취하였다. 벼 작물의 경우 뿌리, 줄기, 곡물 부분으로 나누어 채취하였으며, 퇴적물과 논 토양은 연속추출법을 통해 망간 농도를 분석하였다. 망간축적 실내실험은 각기 다른 Mn 농도(0, 1, 10, 100)로 조절된 인공 망간오염수에서 벼 작물을 5일동안 성장시킨 후, 24시간 간격으로 인공오염수를 채취하여 망간 농도를 분석하였다. 실험이 끝난 후 벼 작물은 뿌리와 줄기부분으로 나누어 망간 농도를 분석하였다. 연구지역 지표수의 망간 농도는 관개수로의 하류로 갈수록 망간 농도가 감소하였으며, 상류에 비해 최대 88% 감소하였다. 퇴적물의 망간 농도는 논으로 연결이 시작되고 지점과 끝나는 지점에서 평균 18,000 mg/kg 이상의 높은 농도를 보였으며, 관개수로 사이에 위치한 55 - 100 m 지점에서 평균 약 10,000 mg/kg으로 망간농도가 감소하였다. 식물이 사용가능한 Acid soluble, Reducible 형태의 망간 농도 비율이 90% 이상으로 나타났다. 논 토양의 망간 농도는 관개수로와 첫 번째로 연결되는 Area 1에서 약 1,000 mg/kg으로 가장 높게 나타났으며 퇴적물에 비해 식물이 사용가능한 형태의 망간 농도 비율이 평균 75%로 낮게 나타났다. 벼 곡물의 평균 망간 농도는 120 mg/kg 이상으로 USDA에서 권고하는 벼 곡물 망간 농도의 평균인 5 mg/kg보다 약 20배 이상 높게 검출되었다. 망간축적 실내실험 결과 실험 종료 후 모든 인공오염수의 망간농도는 90% 이상 감소하였으며, 100 mg/L에서 성장시킨 벼 작물의 경우 0 mg/L에서 성장시킨 벼 작물에 비해 600 mg/kg 이상 망간이 축적된 것을 확인할 수 있었다. 본 연구를 통해 골프장에서 나오는 유출수에 의한 망간 오염의 식별할 수 있었으며, 이로 인한 주변 농지에 대한 영향을 확인하였다. 이를 통해 골프장의 운영과 관련된 환경오염 문제에 대한 철저한 관리 전략이 필요할 것으로 생각된다.

수환경에서 미세플라스틱 입자크기에 따른 Pb 흡착특성 평가

하태정, 양민준*

부경대학교 환경해양대학 지구환경시스템과학부 *minjune@pknu.ac.kr*

미세플라스틱은 5 mm 미만의 입자크기인 플라스틱으로 정의하며, 수환경으로 유입된 미세플라스틱은 다양한 오염물질을 흡착하여 전달할 수 있으며 생태계의 먹이사슬을 통해 인간에게 악영향을 미칠 위험이 있다. 본 연구는 수환경에서 미세플라스틱과 Pb의 흡착 거동과 입자크기에 따른 Pb 흡착특성을 평가하고자 하였다. HDPE (High-density Polyethylene)와 PVC (Polyvinyl Chloride)를 세 가지 입자크기(Group 1: 2.5 mm - 1.0 mm, Group 2: 1.0 mm - 0.3 mm, Group 3: < 0.3 mm)로 제조하였으며, 미세플라스틱 입자크기의 비표면적은 BET (Brunauer, Emmett, Teller) 분석을 통해 측정하였다. 농도(0.5 - 30 mg/L)에 따른 Pb 흡착실험을 수행한 후, 실험 결과를 4가지 흡착등온식(Langmuir, Freundlich, Redlich-Peterson, Sips)에 적용하여 나타내었다. 실험 결과, HDPE와 PVC의 비표면적은 모두 Group 3 > Group 2 > Group 1 순으로 확인되었으며, 미세플라스틱의 입자크기가 작을수록 비표면적이 높게 나타났다. 4가지 흡착등온식 중, Sips 모델 ($R^2 > 0.98$)이 HDPE와 PVC에서 Pb의 흡착거동을 설명하기에 가장 적합하였다. 미세플라스틱의 입자크기가 작을수록 흡착량이 증가하고 최대흡착능(Q_m)이 높아지는 경향을 보였으며, HDPE와 PVC의 Group 3에서 흡착세기(K_F)와 흡착강도(n^{-1})가 가장 높게 나타나 입자크기가 흡착능에 영향을 미치는 것을 관찰하였다. PVC의 Pb 흡착량(0.192 mg/g)이 HDPE Pb 흡착량(0.053 mg/g)보다 3배 높게 나타나 폴리머 종류에 따라 흡착량의 차이가 있음을 확인했다. 본 연구를 통해 HDPE와 PVC에서 납의 흡착거동은 다양한 흡착메커니즘이 관여하고 있음을 추측할 수 있었으며, 미세플라스틱의 입자크기와 종류가 중금속 흡착량에 영향을 미치는 중요한 요소임을 확인하였다. 미세플라스틱은 중금속을 운반할 수 있는 잠재적인 매개체 역할을 할 수 있으며, 흡착과정에 영향을 미치는 다양한 요인을 추가적으로 연구할 필요가 있다.

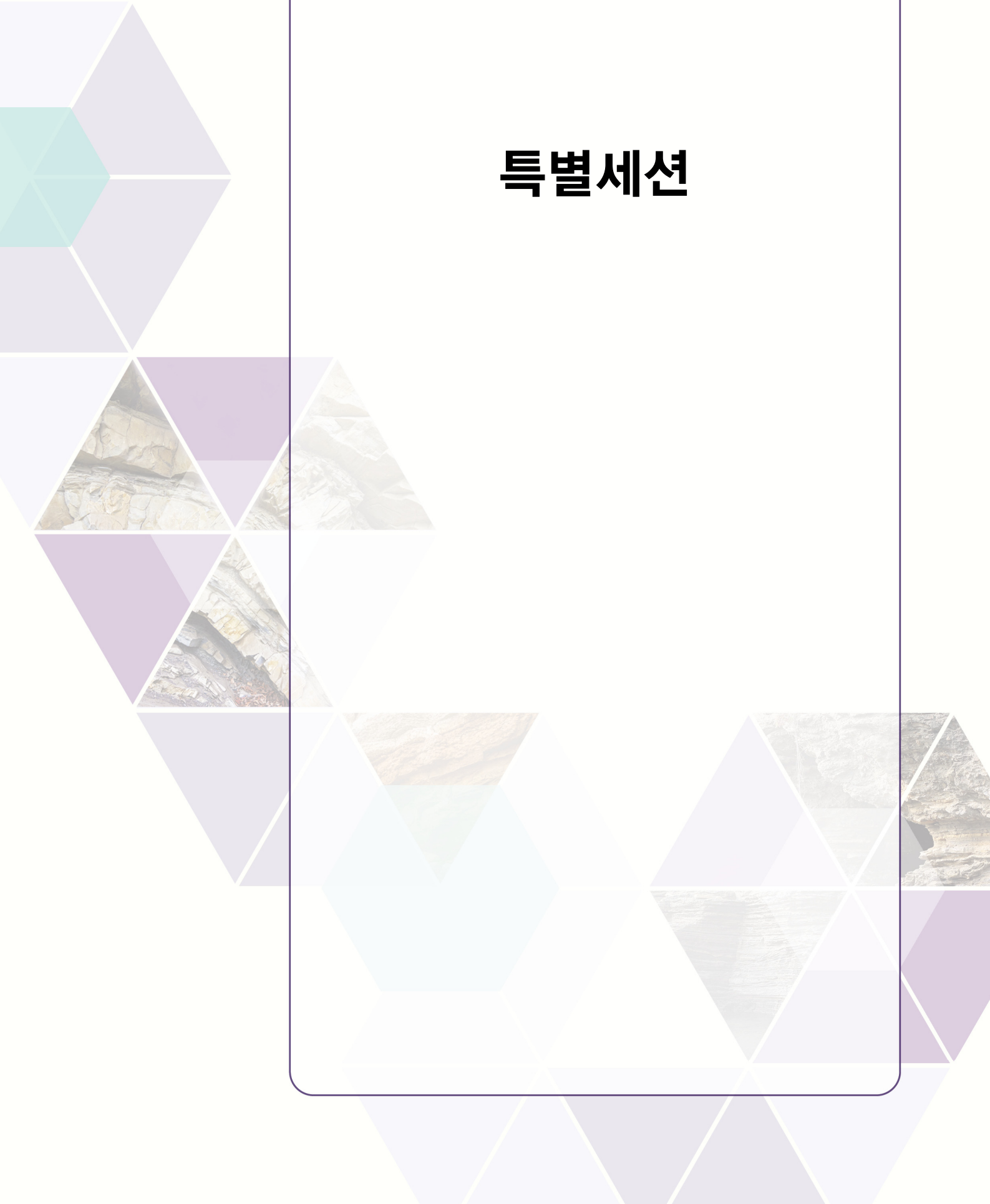
제주 대정읍 지하수 내 질산염 이온의 질소, 산소 동위원소 및 질산성 질소 농도의 시공간적 분포 특성 규명 연구

김창민, 양민준*

부경대학교 지구환경시스템과학부 minjune@pknu.ac.kr

본 연구에서는 제주 남서부 대정읍 지역 일대 지하수를 채취하여 질산성 질소 농도(NO_3^-)와 질산염이온의 질소($\delta^{15}\text{N}-\text{NO}_3^-$), 산소($\delta^{18}\text{O}-\text{NO}_3^-$) 동위원소비의 계절적 변동 특성을 규명하고자 하였다. 지하수 채취는 연구지역 일대의 60개 생활 및 농업용 관정을 대상으로 진행되었으며, 총 150개 샘플을 2021년 10월부터 5회($n_1=26, n_2=38, n_3=26, n_4=28, n_5=32$)에 걸쳐 채취하였다. 질산성 질소 농도는 이온크로마토그래피를 이용하여 측정하였으며, 질산염 이온의 질소, 산소 동위원소비는 탈질미생물법과 GT-IRMS를 이용하여 분석하였다. 분석 결과, 전체 150개 샘플 중 52개 지하수(34.7%)에서 음용수 기준($\text{NO}_3^-=44.3\text{mg/L}$)을 초과하는 질산염 농도가 측정되었으며, 강수량과 비료 시비량이 증가하는 봄-여름(46.2%, 42.9%)에 음용수 기준을 초과하는 관정이 높은 비율로 나타났다. 특히, 대정읍 상모리 인근 4개 관정의 지하수에서는 샘플링 5회차 동안 지속적으로 기준을 초과하는 질산성 질소 농도가 측정되었으며, 최대 농도는 140.3mg/L 로 나타났다. 동위원소 분석 결과, 가을의 평균 질소, 산소 동위원소비가 가장 높게($\delta^{15}\text{N}-\text{NO}_3^-=6.64\pm 2.35\text{‰}, \delta^{18}\text{O}-\text{NO}_3^-=2.28\pm 2.40\text{‰}$), 봄철이 가장 낮게($\delta^{15}\text{N}-\text{NO}_3^-=4.17\pm 2.45\text{‰}, \delta^{18}\text{O}-\text{NO}_3^-=2.22\pm 2.58\text{‰}$) 나타났으며 특히 산소 동위원소비가 질소에 비해 큰 폭(-4.5‰)으로 감소하였다. 이러한 동위원소비의 감소현상은 지표에 시비된 비료와 지하수 함양과정의 영향으로 추정해볼 수 있다. 추후 연구에서는 연구지역에서 사용된 무기비료와 축산폐수 등 단성분(end-members)의 질소-산소 동위원소비 분석을 통해 다중 오염원의 상대적인 기여도를 평가할 예정이다.

특별세션



산불 후 토양의 수리적 특성 변화가 산사태 발생에 미치는 영향 평가

임상준*, 이철원

서울대학교 농림생물자원학부, 농업생명과학연구원 junie@snu.ac.kr

산불은 산지에서 발생하는 대형재난으로, 지상의 산림연료를 연소하며, 그 과정에서 발생하는 고열로 토양의 물리적·수리적 특성이 달라진다 (Li et al. 2021). 산불 후에는 일시적으로 토양의 발수성이 증가하고 재(ash)에 의한 공극막힘 현상이 나타나 토양 침투량이 감소한다 (Kim et al. 2022). 이 연구에서는 우리나라 산불피해지를 대상으로 산불 전후의 토양의 물리적 특성 변화를 주기적으로 조사하고, 이를 반영하여 산불발생지의 산사태 발생 위험을 수치적으로 평가하였다. 산불피해지 토양의 재층 두께 및 발수성은 현장실험을 통해 조사하였으며, 토양의 수리특성 변화는 실내실험을 통해 해석하였다. 산불피해지의 산사태 발생 위험은 USGS의 TRIGRS 모형을 이용하여 강우조건별로 추정하였다. 산불 후 지표토양의 토성이 변화였으며, 산불피해강도 및 지형에 따라 토양의 발수성이 다르게 나타났다. TRIGRS 모형 적용에 의하면, 산불 발생 직후에는 토양발수층의 형성으로 인해 지표침투량이 감소하며, 이로 인해 산사태 발생 위험은 낮아지는 것으로 모의되었다. 산불 후 시간 경과에 따라 토양침투능은 회복되고 수목 고사로 인한 뿌리의 토양보강 효과가 감소하여, 산불피해지 산사태 위험은 산불 발생 직후보다 증가하는 것으로 평가되었다. 이 연구는 산불 후 토양침투능의 변화에 따른 산사태 발생 위험을 수치적으로 평가한 것으로, 산불 이후 토양 침투량이 일시적으로 줄어들어 강우침투에 의한 사면 붕괴 위험은 낮아지는 것으로 나타났다. 그러나 산불이 산사태 발생에 미치는 영향을 종합적으로 평가하기 위해서는 산불로 인한 토양 수리특성 변화 뿐만 아니라, 토양 피복의 변화, 산불 후 preferential flow로 인한 지표하 흐름 증가, 표토 유실 등에 대한 추가 연구가 필요하다.

사 사

본 연구는 산림청(한국임업진흥원) 산림과학기술 연구개발사업(2023474B10-2325-BB01)의 지원에 의하여 이루어진 것입니다.

References

- Kim, T., Lee, J., Lee, Y-E., and Im, S., 2022, Exploring the role of ash on pore clogging and hydraulic properties of ash-covered soils under laboratory experiments, *Fire*, 5, 99.
- Li, Q., Ahn, S., Kim, T., and Im, S., 2021, Post-fire impacts of vegetation burning on soil properties and water repellency in a Pine forest, South Korea, *Forests*, 12, 708.

산사태 발생 우려지역의 조사현황

박윤성*

산림조합중앙회 산림종합기술본부 atos9826@hanmail.net

최근 10년간 산사태 발생 면적은 평균 243.9ha, 인명피해 1.7명, 복구비 558.3억을 나타내고 있으며, 이는 장마, 태풍, 기후변화, 산지의 개발 등의 다양한 이유로 지속적으로 증가하는 추세이다. 국토면적의 64%가 산지인 대한민국은 생활권 확보를 위한 산지개발이 지속적으로 증가하고 있으며, 산지 연접지 특성상 산사태 피해가 증가할 수 밖에 없는 현실이다. 이러한 산사태 피해를 예방하기 위해 산림청은 우면산 산사태를 기점으로 복구 중심의 정책에서 예방중심의 정책을 기반으로 하는 산림보호법을 2012년 개정하였으며, 2013년부터 산사태 발생 우려지역에 대한 조사를 실시하고 있다. 산사태 조사는 산림청에서 실시하는 전수조사 개념의 기초조사와 지자체에서 수행하는 정밀조사 개념의 실태조사로 구분되고 있으며, 실태조사에서 A,B 등급으로 판정된 지역에 대해서는 지정심의를 통해 산사태 취약지역으로 지정되어 관리되고 있다.

산사태 기초조사 대상지는 약 14만개소이며, 2022년까지 약 60% 조사공정을 보이고 있다. 기초조사 완료지 중 실태조사를 통해 취약지역으로 지정된 대상지는 약 2.7만개소로 나타나고 있으며, 취약지역의 유지관리를 위하여 년 2회 현장점검을 실시하고 있다. 또한 위험도가 높은 지역에 대해서는 사방댐, 계류보전, 산지사방 등의 산사태 예방 시설을 설치하여 위험도를 낮추고이 모든 공정은 산사태정보시스템을 통한 공간정보 및 대장 등을 통하여 관리가 이루어지고 있다.

References

산림청, 2023년 전국 산사태예방 종합대책.

산림청, 2020 K-산사태방지 대책.

관리 사각 급경사지 안전관리를 위한 전국 실태조사 사례 및 결과

곽재환*, 전상률, 이문세, 김영환, 박기병, 양현용

(특)한국급경사지안전협회 jaehwan-kwak@hanmail.net

이상기후 현상에 의한 자연 변화와 예측할 수 없는 인간의 활동으로 인해 산사태, 급경사지 토사유실과 같은 재난발생이 증가하고 있으며, 이러한 재난은 전 세계적으로 심각한 환경적, 생태학적 문제 중 하나가 되어 많은 관심을 끌고 있다(Xu et al., 2022).

우리나라는 국토의 약 64%가 산지로 구성되어 있고, 경사가 급한 지역이 많이 존재한다. 또한 또한 하절기 태풍, 집중호우 등 많은 양의 강우가 집중하여 발생하는 특징을 가지고 있어 산사태, 급경사지 붕괴가 빈번하게 발생하고 있다.

행정안전부는 효율적인 급경사지 관리를 위해 「급경사지 재해예방에 관한 법률」을 제정하였으며, 급경사지의 위험도를 평가할 수 있는 급경사지 재해위험도 평가 기준을 마련하였다. 급경사지 재해위험도 평가기준은 자연비탈면 및 산지와 인공비탈면으로 구분되어 있으며 인공비탈면에는 옹벽 및 축대가 포함되어 있다. 행정안전부는 급경사지 재해위험도 평가표를 바탕으로 급경사지에 대한 위험도를 점수로 평가하고 점수에 따른 등급을 부여하여 관리하고 있으며 매년 1~2회 이상의 안전점검을 통해 위험 급경사지를 관리하고 있다.

「급경사지 재해예방에 관한 법률」이 제정된 후 중앙정부에서는 위험 급경사지는 발굴, 조사하였으며 2008년 기준 약 8,900개의 급경사지가 발굴, 조사되었다. 그러나 최근까지 지자체에서는 사유지 급경사지에 대한 관리 부담, 민원 등 다양한 이유로 인해 정비사업 대상지 또는 피해지역을 중심으로 등록, 관리하는 등 위험 급경사지에 대한 발굴, 관리가 미비한 실정이다.

본 연구에서는 관리 사각지대의 위험 급경사지에 대해 효율적인 안전관리를 위해 GIS기반의 공간분석기법을 활용한 급경사지 추정지역을 추출하고, 추출결과를 바탕으로 현장 실태조사를 수행하였다. 현장 실태조사를 통해 수집된 급경사지에 대한 정보는 DB로 구축하여 기존 관리 급경사지와의 차이를 분석하였다.

References

- Fujin Xu., Weijun Zhao., Tingting Yan., Wei Qin., and Henan Chen., 2022. Can slope spectrum information entropy replace slope length and steepness factor: A case study of the rocky mountain area in northern China. *Catena*. 212, 106047.

급경사지 안전관리 현황 분석 및 개선방안 연구 - '23년 피해지 조사 결과를 바탕으로 -

최정렬*, 전상률, 곽재환, 박기병, 양현용

(특)한국급경사지안전협회 lovekurt82@gmail.com

기후변화로 인해 한반도에서 국지적 강우 강도 및 빈도가 증가하였으며, 급경사지 붕괴로 파생되는 사면 하부 주민들의 인명·재산 피해 위험성이 증가하였다. 이에 대응하기 위해 급경사지 안전관리를 위한 「급경사지 재해예방에 관한 법률(약칭 : 급경사지법)」이 '07년에 제정되었으며, '08년 법률 시행과 함께 일제조사를 실시하여 급경사지 관리를 위한 기틀이 마련되었다. 일제 조사 이후 관리기관에서는 행정 편리를 위하여 정비사업 대상지 및 국유지 등 필요시에만 등록을 추진하게 되었으며, 이에 따라 관리 사각지대가 발생하는 한계가 나타났다(한국급경사지안전협회·한국방재협회, 2022). '23년 급경사지 피해 조사 결과를 분석해본 결과 경북 영주시 상망동(영아 1 사망, H : 4m), 전북 순창군 유등면(주택 피해, H : 3.5m) 등 전체 인공비탈면 피해지 300개소 중 15개소가 제원 기준 미달 지역에서 발생한 것으로 나타났으며, 인명피해 대부분이 국가에서 관리되고 있지 않은 사유지 및 인위적 개발·훼손 지역에서 주로 발생하는 것으로 나타났다. 이에 본 연구에서는 국내외 타 기관의 급경사지 관련 현황을 조사하였으며, 이를 행정안전부 급경사지 안전관리 현황과 비교·분석하여 급경사지 관리 영역 및 관리 체계 부문의 개선방안을 도출하였다. 그 결과 첫 번째로 급경사지 관리 영역의 재설정이 필요하다. 현행 급경사지법상 제원(인공 : 높이 5m, 경사 34. 이상, 자연 : 높이 50m, 경사 34. 이상)을 국내외 기준(일본 : 경사 30. 이상, 국토교통부 : 높이 3m 이상, 산림청 : 기준 없음)을 바탕으로 하향 조정 검토가 필요하며, 상부 자연 산지와 연계 관리할 방안이 필요하다(행정안전부, 2022, 국토교통부·국토안전관리원, 2021, 산림청, 2015). 두 번째로 안전점검 방법, 주기, 자격 요건 등의 개선이 필요하다. 기존 급경사지 안전 점검은 정기 점검만 이루어지고 있으며, 이는 육안 점검 수준으로 일본, 국토부, 산림청과 같이 정밀점검 및 정밀안전진단으로 세분화하고, 급경사지 안전점검 지침 등을 신설하여 체계적인 주기, 예산 체계, 수행 자격 및 DB 관리체계가 시급히 필요하다.

References

- 국토교통부·국토안전관리원, 2021, 시설물의 안전 및 유리관리 실시 세부지침.
- 산림청, 2015, 사방시설의 유지관리 매뉴얼.
- 한국급경사지안전협회·한국방재협회, 2022, 2022년 전국 급경사지 실태조사 연구용역.
- 행정안전부, 2022, 급경사지 관리 실무편람.

강원지역 국도변 토석류 피해 우려지 특성 분석 연구

배현석*, 김정식, 전주영, 박성균, 이상호, 김승현

한국치산기술협회 bhsme@kafet.or.kr

최근 기후위기에 따른 태풍 및 국지성 집중호우 빈발로 도로 인근 산림지역에서 발생하는 토석류로 인해 도로 인명피해, 통행차단, 도로 및 시설물 유실 등의 피해가 유발되고 있다. 우리나라는 전국토의 약 63%가 산림으로 구성되어 있어, 도로 개설시 불가피하게 산림이 다수 편입되고 있다. 도로연장과 교통량은 매년 꾸준히 증가하는 실정이며, 도로변 산지의 인공 절개사면 및 계곡부, 터널이 늘어남에 따라 산사태, 토석류 등 산지토사재해에 의한 피해발생 우려는 높아지고 있다. 이에 따라 한국건설기술연구원에서는 국립산림과학원에서 개발한 토석류피해예측지도를 활용하여 일반국도변 토석류 피해우려지 총 8,523개소를 추출하였고(한국건설기술연구원, 2022), 산림청에서는 일반국도변 토석류 피해예방을 위하여 일반국도변 토석류 피해우려지에 대한 전수조사를 실시하고 있다. 2023년은 강원지역 약 2,000여 개소에 대하여 현장조사를 실시하였으며, 현장조사 결과 토석류 발생우려가 높아 사방사업 등의 구조적관리가 필요한 대상지는 전체의 약 9%로 나타났다. 구조적관리가 필요한 대상지는 전체 대상지에 비하여 화강암과 변성암의 분포 비율이 높은 것으로 나타났고, 집수면적은 작을수록, 계류길이는 짧을수록, 계류경사는 급할수록 구조적관리가 필요한 것으로 나타났다. 산림유역 유출구와 도로 간의 거리는 짧을수록, 계류 내 상수는 적거나 없을수록 구조적관리가 필요한 것으로 나타났다. 한편 산지평균경사와 계상폭 등의 인자는 전체 대상지와 구조적관리가 필요한 대상지 간의 큰 차이가 없었다. 이 연구에서는 강원지역의 일반국도변 토석류 피해 우려지 중 구조적관리가 필요한 대상지의 환경특성 자료를 확보할 수 있었다. 이러한 연구 결과는 향후 일반국도변 토석류 피해 예방·저감을 위한 기초자료로써 활용될 것으로 기대된다.

사 사

이 연구는 산림청 "일반국도변 토석류 피해우려지 사업실행 타당성평가"의 지원에 의하여 이루어진 것입니다.

References

- 산림청, 2023, 2023년 전국 산사태예방 종합대책.
- 한국건설기술연구원, 2022, 토석류 및 터널입출구 비탈면 관리 강화.

LiDAR 자료를 활용한 산사태 피해지 지형복원 방안 연구

이광연*, 윤석희, 김동현, 이종서, 이상호

한국지산기술협회 lky@kafet.or.kr

최근 기후 패턴 변화와 더불어 산지 개발이 증가함에 따라 산사태 발생 빈도는 높아지고, 피해 양상은 다양화되고 있다. 이러한 산사태를 보다 효율적으로 예방하기 위해서는 산사태 발생 이전 정밀지형정보의 확보와 이를 활용한 발생 메커니즘 규명이 필요하다. 그러나 산사태의 경우 발생을 미리 예측하여 발생지점을 특정하는 것이 어렵기 때문에 발생 이전 정밀지형정보를 수집하는데 한계가 나타나고 있다. 이러한 배경으로 이 연구는 LiDAR 자료 기반의 지형복원기법을 검토하여 산사태 발생지의 피해 이전 정밀지형정보의 수집방안을 마련하고자 하였다. 이 연구에서는 산사태 발생지의 지형복원을 위해 확률적 모형과 공간보간 모형을 활용하였고, 또한, 두 모형의 적합성을 평가하기 위해 산사태 미발생지를 대상으로 산사태 발생을 모의한 이후 지형복원을 실시하여 LiDAR 기반의 원지형과 비교하였다. 그 결과, 확률적 모형과 공간보간 모형 모두 원지형과 근사한 결과의 획득이 가능하였다. 다만, 확률적 모형은 확률분포 개수 설정에 의해 결괏값이 상이하게 나타나는 경향을 나타냈고, 공간보간 모형은 반변량 함수와 지연 크기 및 상관 거리가 결괏값에 영향을 미치는 것으로 확인되었다. 특히, 공간보간 모형은 피해 범위가 광대하거나 지형이 복잡성을 내포하는 경우 공간적 분산 정도와 비유사성이 높아지는 경향을 보이므로, 피해 외곽으로부터 피해 중심부까지 지형복원 기법을 계층적으로 적용하는 방안이 필요할 것으로 판단되었다. 최종적으로 이 연구에서는 확률적 모형과 공간보간 모형을 기반으로 실제 산사태 피해지의 지형복원을 실시하여 원지형 자료를 확보할 수 있었다. 이러한 연구 결과는 보다 명확한 산사태 붕괴량 산정과 함께 산사태 발생 메커니즘 규명 연구의 기초자료로 활용될 것으로 기대된다.

사 사

이 연구는 국립산림과학원 위탁연구과제 "토석류 퇴적에 의한 피해규모 분석알고리즘 개발"의 지원에 의하여 이루어진 것입니다.

References

Woo, C. S., Youn, H. J., Lee, C. W., Lee, K. S. 2011. Development of the Topography Restoration Method for Debris Flow Area Using Airborne LiDAR Data. Journal of the Korean Association of Geographic Information Studies. 14(3): 174-187.

포스터 발표



PLAXIS3D와 연동되는 영구배수공법 모델러 GSM 프로그램 개발

진현식^{1)*}, 이효일²⁾, 최장면²⁾, 채수근²⁾

¹⁾(주)HNG컨설턴트 지질및지반 연구부 hng@hng.re.kr

²⁾지에스이앤씨(주)

영구배수공법은 Building 기초 아래 인위적인 배수층을 만들고 배수재(GSD관, 드레인보드 등)를 통해 집수정으로 모여 든 지하수를 펌핑처리 함으로써 부력 및 양압력을 감소시키는 공법이다. 이로 인해 영구배수공법이 설치된 Building 기초 아래, 그 주변 지반 및 구조물에서는 3차원 침투흐름과 지반침하가 발생하게 된다.

배수재를 촘촘하게 배치할 경우 주변지반 침하가 크게 발생하게 되고, 배수재를 넓게 배치할 경우에는 부력 및 양압력 저감효과가 감소하게 된다. 따라서 도심지 내에서 영구배수공법을 적용할 경우 안정적인 배수재 배치와 그 적정성 검토를 위해서는 반드시 침투-응력-변위를 고려할 수 있는 3차원 유한요소 프로그램을 이용한 주변 지반 및 구조물의 침하검토가 필요하다. 하지만, 3차원 흐름을 고려한 지반 침하검토를 위해서는 3차원 프로그램을 다룰 수 있는 고급인력과 수백개의 배수재, 각종 구조물(Building, 도로 등)을 모델링하는데에 아주 많은 시간이 필요하다.

본 연구는 범용프로그램 PLAXIS3D를 이용하여 영구배수공법이 적용된 Building의 주변지반 및 구조물 침하검토를 보다 빠르고, 쉽고 정확하게 하기 위해 GSM(GS Module)를 개발하였다. GSM은 Python을 이용하여 개발된 영구배수공법 모델러로서, 3차원 유한요소 프로그램인 PLAXIS3D와 완전히 연동되도록 하였다. GSM은 Cad.dxf 파일만을 이용하여 영구 배수재, 도로 및 구조물 등을 PLAXIS3D와 연동되어 3차원 모델링을 할 수 있으며, 초기응력 → 주변 구조물생성 → 본 구조물 및 영구배수재 생성 → 시간 경과 등으로 이어지는 시공단계를 완전 자동으로 생성되도록 하였다. 특히 영구배수재 설치후 Fully coupled flow-deformation이 완전히 구현되어 시간에 따른 주변 지반의 간극수압 변화와 구조물 침하검토가 가능하도록 하였다.

사 사

본 연구는 지에스이앤씨(주) 엔지니어링 사업처와 중소기업 기술경쟁력 향상의 일환으로 수행되었으며 이에 깊은 감사를 드립니다.

References

- Bentley Systems International Ltd, 2022, PLAXIS 3D CONNECT Edition V22.01, User Manuals, Delft, Netherlands.
Chae, S.G., Choi, J.M., 2008, PDD(Permanent Double Drain)Permanent Drain, Journal of the Korean geosynthetics, 7(1), 13~14 (in Korea with English abstract).

2022년 일반국도 비탈면 IoT 시스템 실측사례

우용훈*, 박병석, 김승현, 김우석, 황성필

한국건설기술연구원 지반연구본부 yonghoonwoo@kict.re.kr

비탈면 IoT시스템은 하나의 계측시스템에 의존하던 계측방식을 복합계측으로 변경하고 신뢰도를 높였으며, 점, 선, 면, 입체 전방위 계측이 가능하도록 시스템을 구축하였다. 위험비탈면 데이터 변화경향분석을 통한 예방, 위험기준, 관리기준을 적용하였으며, 국부적 계측이 아닌 전방위 계측이 주목적이며, 누구든, 어디서든 실시간 관측이 가능한 관리시스템이 구축되어있다.

통합관리시스템에 표출되는 계측치에는 실제 지반의 변동 이외로 계측기기의 오작동, 기상, 온도, 조석 등의 영향, 센서의 특성에 따른 계측오차 등이 포함되었으며, 계측치에서 이것들을 제외한 진의 계측치에 의거하여 해석 및 평가를 할 필요가 있다. 특히 지표면에 설치된 지표변위계의 경우 풍압, 수목, 동물, 사람 등에 따른 접촉에 의해 오작동이 생기는 수가 있으므로 그 가능성이 고려되는 계측치의 해석에 앞서 이들 영향의 유무를 확인하여야 한다.

비탈면 IoT 통합관리시스템에서는 이상변위 발생, 붕괴이력, 지속적인 변위, 강우 및 기후변화에 민감하여 불안정성이 인지되는 비탈면에 대하여 집중호우시 특별관리대상으로 선정하여 관리하고 있다. 2022년 관리대상이었던 비탈면 2개소 (A지구, B지구)에서 에 대한 사례를 분석하였다.

A 지구는 설치 계측기 (경사계 12개, 지표변위계 12개, gnss 7개) 중 2개 계측기에서 주의단계 변위 (경사계 1개, 지표변위계 1개)가 발생하여 통행제한에 따른 후속 조치가 이루어 졌으며, B지구는 설치 계측기 (경사계 16개, 지표변위계 16개) 중 5개 계측기에서 심각단계 변위(지표변위계 3개), 주의단계 변위(경사계 1개, 지표변위계 1개)가 발생하여 통행제한에 따른 후속 조치가 이루어졌다.

이 외에도 경시변화를 보이는 센서들이 다수 있으나 그 수치가 미미하고 대부분 수렴되어 더 이상 변위증가가 진전되지 않고 있으나 집중강우 및 해빙시기 등 지속적인 모니터링이 필요한 것으로 판단된다.

사 사

본 연구는 국토교통부의 위탁과제인 “도로비탈면유지관리시스템(CSMS) 운영 업무”, “일반국도 비탈면 IoT 계측시스템 운영 용역”의 일환으로 수행된 과업임.

토목 구조물 유지관리 분야 정적 센서 대응 통합 데이터 수신 장치 개념 도출

김우석*, 박병석, 황성필, 우용훈

한국건설기술연구원 지반연구본부 kws@kict.re.kr

최근 국내에서는 교량, 도로 및 비탈면, 항만, 댐, 하천 등 토목 구조물 대상 다양한 계측기기의 활용이 증가하고 있으나, 계측 데이터 취급 분야 중 데이터 수집 및 전송 부분에서 호환성이 높은 기술이 미비한 상태이다. 이에 본 연구에서는 다중 이기종 계측기의 유지보수 및 호환성, 경제성, 시장성 등을 향상할 수 있으며 다양한 센서의 제품성능을 평가하여, 호환성 데이터 수집장치를 개발하고자 하였다.

호환성 높은 통합 데이터 수신장치 개념 도출을 위해 먼저 국토교통부(국토관리사무소)에서 관리중인 국도 비탈면 IoT 계측시스템에서 활용 중인 센서에 대하여 분석하였다. 현재 약 200여개소에서 5,000여개의 센서를 설치 운용중에 있으며, 지표변위계의 경우 6개사 제품이 주를 이루고 있었으며, 구조물 경사계의 경우 5개사 제품, 데이터 수신장치의 경우 3개사 제품이 주로 활용되고 있었다. 그 외, 수위계의 경우 압력식과 초음파식 각 1개사 제품을 활용하고 있는 것으로 파악되었다. 각 주요 제조사별 특징 등을 분석하여, 통합 데이터 수신장치의 시스템 설계를 위한 주요 사양에 대한 항목 도출을 선행 하였으며, 특히 계측센서 통합, 호환성, 시스템 통합 및 개선 등을 고려하였으며, 프로세서, 메모리, 입출력, 통신, 디스플레이, SWITCH&KEY, 전원, 인터페이스 등으로 분류하여 최소-최대 사양에 대한 개념을 도출할 수 있었다. 향후, 기존 활용되고 있는 장치들의 실제 제시하고 있는 주요 사양 대비 작동되는 값을 측정하여 그 결과를 바탕으로 최종 호환성 높은 통합 데이터 수신장치의 설계를 통한 시작품 제작까지 진행할 예정이다.

사 사

본 연구는 한국건설기술연구원 주요사업 “토목 구조물 유지관리를 위한 다중 이기종 센서 통합 수신 장비 및 스마트 호환 센서 개발 (과제번호: 20230317-001)” 과제로 수행되었으며, 이에 깊은 감사를 드립니다.

강우시 자연사면에서 발생하는 얇은 파괴에 대한 이론적 해석

송영석*, 박준영, 윤대성, 김경수

한국지질자원연구원 지질재해연구본부 yssong@kigam.re.kr

우리나라 자연사면에서 발생하는 산사태는 대부분 얇은 깊이의 무한사면 파괴형태를 나타낸다. 강우시 자연사면에서는 지하수위의 상승에 의한 영향보다는 강우의 침투로 발생하는 침윤전선의 하강에 의한 영향으로 얇은 깊이의 무한사면 파괴가 주로 발생된다(Song et al., 2012). 강우로 인한 얇은 깊이의 무한사면파괴를 해석하기 위하여 Lu and Godt (2008)는 포화토 및 불포화토 상태에서의 일반적인 유효응력의 개념을 통합하였다. 즉 흡입응력 개념을 도입하여 불포화 조건에서의 무한사면 안정해석기법을 제안하였다. 본 연구에서는 흡입응력을 고려한 불포화 무한사면의 안정해석기법을 국내 화강암 풍화토로 구성된 자연사면을 대상으로 적용하였다. 먼저 강우로 인한 침투가 발생되지 않고 지하수위의 영향만을 고려한 경우와 강우로 인한 정상침투와 지하수위의 영향을 모두 고려한 경우에 대하여 이론적인 해석을 수행하였다. 해석결과 정상침투와 지하수위의 영향을 모두 고려한 경우가 지하수위의 영향만을 고려한 경우 보다 얇은 깊이에서 파괴가 발생하는 것으로 나타났다. 따라서 자연사면과 같은 무한사면의 경우 강우침투의 영향으로 인하여 보다 얇은 깊이에서 사면파괴 발생이 발생할 수 있음을 이론적으로 확인할 수 있다.

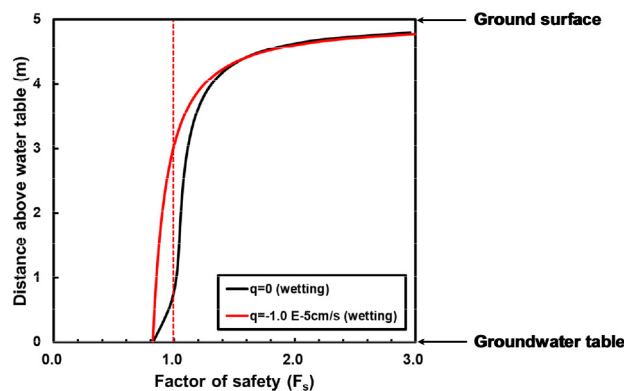


Fig. 1. Profiles of factor of safety in the infinite slope under steady infiltration condition

사 사

본 연구는 한국지질자원연구원 기본사업인 “실시간 도시지역 산사태 조기경보기술 및 지질환경 오염물질 위험관리기술 개발” 과제의 일환으로 수행되었습니다.

References

- Song, Y.S., Hwang, W.K., Jung, S.J. and Kim, T.H. (2012) A comparative study of suction stress between sand and silt under unsaturated conditions. *Engineering Geology*, 124(4), 90-97.
- Lu, N. and Godt, J. (2008) Infinite slope stability under strady unsaturated seepage conditions. *Water Resources Research*, 44, W11404.

국도 비탈면 IOT 시스템 실측사례 연구

박병석*, 우용훈, 황성필, 김우석

한국건설기술연구원 지반연구본부 parkbyungsuk@kict.re.kr

국도비탈면의 경우 2020년 상시계측시스템 고도화를 시작으로 매년 평균 100개소의 현장에 비탈면 IOT 시스템을 도입하고 있다. 고전적인 방식에서 벗어나 위험비탈면 데이터 변화 경향분석을 통한 예방(포렌식)이 가능하며, 현장 중심의 붕괴 실측데이터를 이용하여 위험기준 등 유지관리 기준을 마련하여 관리하고 있다. 비탈면은 타 구조물과 다르게 정형화하기 어렵기 때문에 기본 2개 이상의 센서를 조합하고, 점, 선, 면 등 영역으로 구분하여 관리하고 있으며, 계측기기 오류에 대한 문제점을 사전에 해결, 계측 신뢰도를 높여 관리하고 있다. 매년 이상변위 구간에 대하여 집중관리를 시행하고, 정기점검을 실시하고 있다. 이상변위 발생, 붕괴이력, 지속적인 변위, 강우 및 기후변화에 민감하여 불안정성이 인지되는 비탈면에 대하여 집중호우시 특별관리대상으로 선정하여 관리하고 있으며, 2023년 관리대상이었던 비탈면에 대한 사례를 분석하였다.

대상비탈면은 국도22호선(하행)에 위치한 터널 입구부 깎기비탈면으로 지표복합센서(지표변위계+경사계) 11개, RTK GNSS 11개, 분포형 광섬유, 강우량계, CCTV 등이 설치되어 있었으며, 2022년부터 집중호우시 특별관리대상으로 분류되어 관리하고 있었다.

2023년 07월 15일 19시29분 지표변위계 2번 관리기준치 1차 초과를 시작으로 07월 16일 09시53분 지표변위계 3번 1차 관리기준치를 초과하면서 비탈면이 도로방향으로 변위 발생이 시작된 것으로 판단하였다. 22시44분 지표변위계 2번 2차 경고, 경사계 2번 2차 경고, 23시00분 지표변위 3번 2차 경고, 지표변위계 3차 경고 발생, 변위가 지속적으로 증가하여 23시23분 1차선 통제를 시작하였다. 23시49분 지표변위계 3번 3차 경고 발생으로 07월17일 양방향 차선을 전면 통제하고 도로우회를 실시하였다. 최대변위는 117.36mm가 발생하였으며, 3~4소단 상이 중앙부에 가로 4.0m, 세로 0.5m 깊이 7.5m이상의 균열을 확인하였으며, 비탈면 IoT 시스템으로 변위 경향을 예측하여 대규모 붕괴를 사전에 예방할 수 있었다.

Date & Time	Sensor 2		Sensor 3		GNSS Sensor 3		
	Surface displacement	Dip-slip displacement	Surface displacement	Dip-slip displacement	Displacement(X)	Displacement(Y)	Displacement(Z)
07/15 19:29	15.29	-0.39	-4.69	-0.07	-5.78	6.6	28.92
07/16 23:23	55.25	-0.69	-47.76	-0.07	-61.23	17.7	3.13
07/17 00:07	68.98	-1.61	-60.24	-0.09	-74.67	23.22	4.05
07/21 현재	117.36	-2.81	-81.47	-0.34	-100.58	43.35	40.6

일반국도 터널 관리시스템 구축 및 운영

권오일, 이규필, 김정흠*

한국건설기술연구원 도로관리통합클러스터 heum@kict.re.kr

유럽, 미국, 일본 등 주요 선진국에서는 표준화 및 상세화된 지침을 바탕으로 체계화된 터널유지관리를 수행하고 있음은 물론, 나아가 통합 터널유지관리시스템을 구축함으로써 경제적이고 효율적으로 관리하기 위한 노력을 경주하고 있다. 국내에서는 1997년 수립한 ‘정보화 촉진 계획’에 따라 건설 CALS(Continuous Acquisition & Life-cycle Support) 사업을 시작으로 시설물유지관리시스템(Facility Maintenance System; FMS)을 구축하여 활용하고 있다.

CALS, FMS 등과 같은 기존 관리시스템은 정보화 촉진 계획 및 시설물의 안전 및 유지관리에 관한 특별법 등 관련 법령에 의해 요구되는 터널 관련 정보를 각 시스템별로 관리하고 있으나, 도로법, 소방시설법(약칭), 도로터널 방재시설 설치 및 관리지침 등 여러 관련 법령에 의거 터널내 설치되는 다양한 방재시설 및 안전시설에 대한 정보관리가 미흡한 실정이다.

2022년 12월 기준 일반국도상 764개소(1종 171개소, 2종 593개소) 터널이 운영중에 있으며, 114개소(연장 85,800m)의 터널을 공사 중 또는 계획 중에 있다.

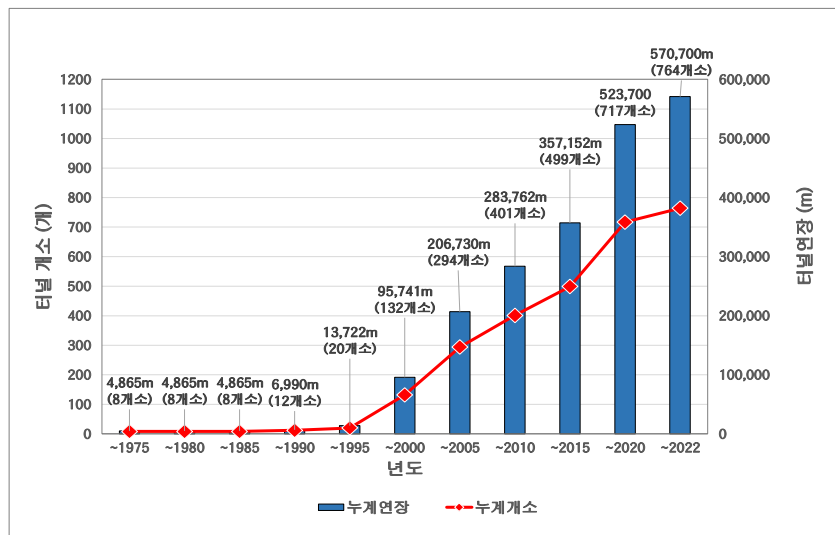


그림 1. 일반국도 터널 운영 현황

터널은 “시설물의 안전 및 유지관리에 관한 특별법”에 따른 터널구조물에 대한 점검 및 진단 시행은 물론 “전기안전법”, “소방시설 설치 및 관리에 관한 법률”, “화재의 예방 및 안전관리에 관한 법률”에 따라 안전관리자선임, 관련 방재시설의 설치 및 이에 대한 점검을 시행하여야 한다. 그러나 상기 법령 및 “도로터널 방재·환기시설 설치 및 관리지침” 등에 따라 터널내 설치되는 방재시설은 터널 이용자 안전 확보에 매우 중요한 시설이나, CALS, FMS 등 기존 시스템에서는 방재시설의 설치현황 정보를 관리하지 않고 있다. 따라서 각 터널별 부족 방재시설 현황을 확인할 수 없을 뿐만 아니라 공용년수 경과에 따른 노후시설 교체를 위한 계획수립, 소요예산 분석, 시공 등 일련의 유지관리 계획 수립에 필요한 정보관리가 미흡한 실정이다.

국토교통부에서는 효율적인 터널유지관리를 위하여 ‘터널 유지관리 효율화 방안 연구’(수행기관 : 한국건설기술연구원)를 통하여 일반국도 상 터널을 대상으로 터널통합관리시스템(TIMIS : Tunnel Integrated Management System)을 구축 관련 정보를 관리중에 있다. 터널통합관리시스템은 관리주체, 설계·시공사, 안전등급, 방재등급 등 기본정보, 연장, 폭, 높이, 차로 수, 교통량 등 상세정보 및 방재시설물 설치현황 정보 등을 입력/관리하고 있다. 또한 GIS 기반 위치정보 제공 및 점검/진단정보 관리를 통하여 터널 보수·보강을 위한 소요예산 분석 및 계획수립, 터널관리사무소 운영 등에 활용하고 있다.

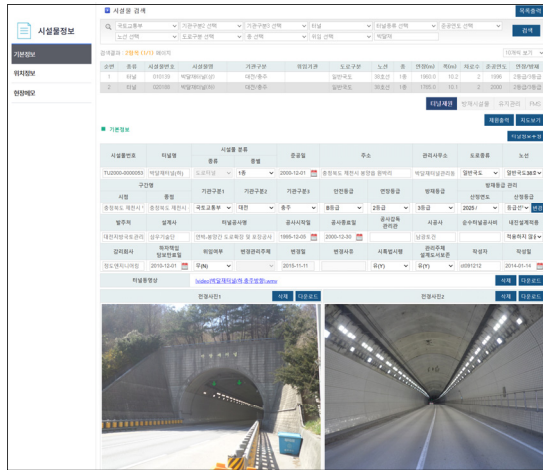


그림 2. 터널통합관리시스템 기본정보 관리 현황

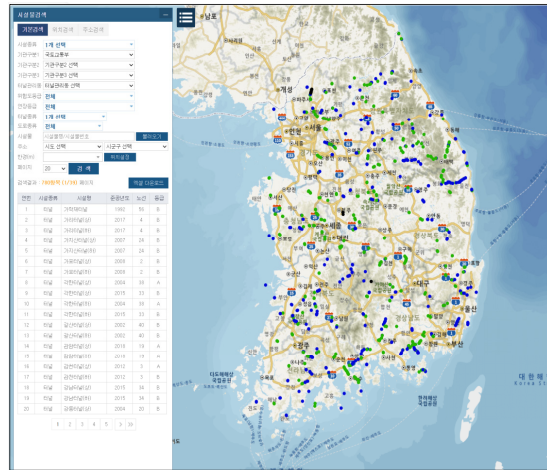


그림 3. GIS 기반 터널 위치정보

사 사

본 연구는 국토교통부 “2023년 터널관리시스템 운영”의 일환으로 작성되었습니다.

References

국토교통부, 2023, 도로 교량 및 터널 현황조사.

국도터널 유지관리 계획 수립을 위한 보수보강 비용분석

이규필*, 권오일

한국건설기술연구원 도로관리통합클러스터 freely@kict.re.kr

교량, 터널 등과 같은 관리대상 시설물의 증가 및 노후화로 인한 유지관리 비용의 증가는 국가재정 부담과 함께 국민의 안전을 위협하는 심각한 문제로 인식되고 있다. 기반시설의 노후화를 먼저 경험한 미국, 일본 등 선진국들에서는 기반시설의 보수·보강 및 성능개선을 위하여 이미 과감한 예산 투자를 수행하고 있는 실정이다. 기반시설 노후화에 적극적으로 대처하기 위해서는 기존 사후 유지관리 체계로는 한계가 있으며, 시설물의 내구성, 안전성 저하를 정량적으로 평가 예측하고 시설물의 자산가치를 고려한 합리적인 유지관리 체계의 구축이 요구되고 있다. 본 연구에서는 터널구조물의 보수·보강 등 선제적 유지관리 체계구축을 위하여, 공용년수 20년 이상 터널 107개소(1종 7개소, 2종 100개소)에 대한 콘크리트 라이닝 등 구조물 보수·보강 비용 분석을 수행하였다.

2022년 12월 기준 일반국도상 764개소(1종 171개소, 2종 593개소) 터널이 운영중에 있으며, 공용년수 10년 미만 터널 357개소, 10년~19년 터널 300개소, 20년~29년 터널 84개소, 30년~39년 터널 18개소, 40년 이상 터널 5개소로 평균 공용연수는 약 13년이며, 전체 약 86% 657개소가 20년 이내의 공용년수를 갖는다. 또한 본 연구에서 터널구조물 보수보강 비용 분석 대상인 공용년수 20년 이상 터널 107개소에 대하여 “시설물의 안전 및 유지관리에 관한 특별법”에 따라 시행된 정밀 안전점검 및 정밀안전진단에 따른 안전등급은 A등급 46개소, B등급 61개소이다.

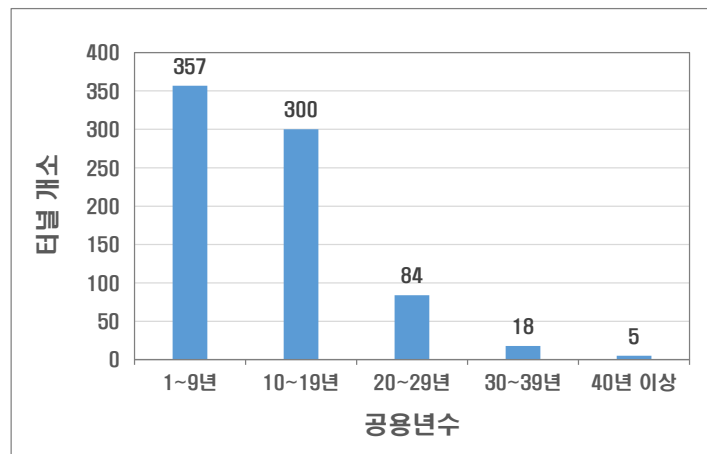


그림 1. 터널 공용년수별 터널개소 현황

터널 유지관리비용은 대부분의 비용이 터널 내 전력, 환기 등의 설비에 대한 일상수선/대수선비용이며, 터널 구조물 유지보수비용은 대부분이 라이닝 보수이다. 본 연구에서는 터널구조물 보수보강 비용분석을 위하여, 공용년수 20년 이상 터널을 대상으로 2014~2022년 수행한 보수·보강 실적 현황자료(FMS : 시설물통합정보관리시스템)를 조사·분석하였다.

정밀안전점검 및 정밀안전진단을 수행한 공용년수 20년 이상 터널 107개소 중 37개소 터널에 대한 보수·보강 실적이 확인되었으며, 37개소 대상 터널에 대한 보수·보강 비용은 총액은 약 31.8억으로 개소당 평균 약 0.86억원의 비용이 발생한 것으로 나타났다. 이를 1종, 2종 시설물 구분에 따라 세부적으로 분석하면, 1종 시설물 3개소에 대한 보수·보강 총액은 비용은 약 13.8억원으로 개소당 평균 약 4.6억원, 2종 시설물 34개소에 대한 보수·보강 총액은 비용은 약 18억원으로 개소당 평균 약 0.53억원의 비용이 발생한 것으로 나타났다. 1종 시설물 3개소 터널 연장은 11,592m 2종 시설물 34개소 터널 연장은 51,361m이며, 각 종별 시설물의 터널 단위길이(m) 당 보수·보강 비용은 1종 시설물의 경우 약 118천원, 2종 시설물의 경우 약 35천원인 것으로 나타났다.

일반국도상 터널구조물은 그림 2에서 보는 바와 같이 2000년도 기준 132개소(연장 95,741m)에서 2022년 12월 현재 764

개소(연장 570,700m)로 약 6배 증가하였으며, 공용년수 증가에 따른 노후 시설물의 급증 및 이로 인한 유지관리 비용의 증가는 필연적이라 할 수 있다. 따라서 지속적인 보수·보강 비용 분석을 통한 유지관리 계획 수립이 요구된다.

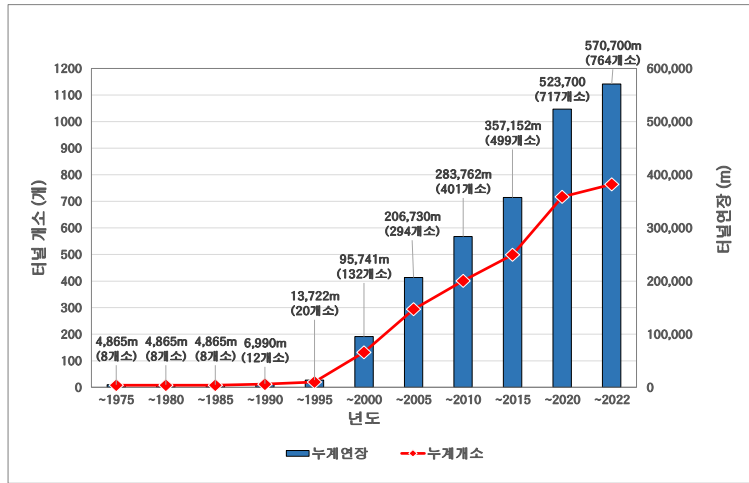


그림 2. 국도터널 현황

사 사

본 연구는 국토교통부 “2023년 터널관리시스템 운영”의 일환으로 작성되었습니다.

References

- 국토교통부, 2023, 도로 교량 및 터널 현황조사.
 시설물통합정보관리시스템(<https://www.fms.or.kr>).

분류 모델 평가 지표들을 이용한 비탈면 입력변수 선정에 대한 연구

노정두¹⁾, 강성승^{2)*}

¹⁾전남연구원 전라남도 탄소중립지원센터

²⁾조선대학교 첨단에너지공학과 kangss@chosun.ac.kr

국토의 약 70% 이상이 산지로 구성된 우리나라는 국토를 개발함에 따라 인공비탈면의 비율도 증가하고 있는 추세이다. 인공 비탈면은 원지반을 깎아서 형성되는 깎기비탈면과 기존 지반 위에 흙이나 암을 쌓아 만드는 쌓기 비탈면으로 분류되며 주변 환경조건에 따라 자연비탈면 보다 잠재적 산사태 발생 가능성이 높다. 국내 산사태 발생은 주로 여름철 태풍, 집중호우 등에 의하여 시기, 지역별로 편중되어 나타나는 경향이 있고(Pradhan et al., 2018), 대규모 인명 및 재산피해를 야기한다. 이를 예방하기 위하여 사용하는 방법은 이론적 방법, 통계적 방법, 수치해석 방법 등이 있다. 하지만 최근 데이터의 중요성과 하드웨어의 급속한 발전으로 인해 인공지능, 머신러닝, 빅데이터 등의 기술들이 도입되고 있다. 이러한 방법들이 최적의 성능을 발휘하기 위하여 모델의 입력변수가 객관성을 가져야 한다. 따라서 본 연구에서는 약 30,000개의 비탈면 현장조사자료와 분류모델 평가지표들을 활용하여 비탈면 안정성 평가 모델의 입력변수를 선정하는데 있다. 이를 위하여 첫 번째로 데이터 전처리와 기초통계분석을 실시하였다. 두 번째, 비탈면 안정성과 상관성이 높은 변수의 사용 유무에 따라 예측 모델을 구분하였다. 마지막으로 로지스틱 회귀분석을 이용하여 예측 모델의 성능을 비교분석하였다. LR-1, -2 예측 모델의 각각의 입력변수와 출력변수는 Table 1과 같다. 훈련 및 시험 데이터 비율은 7:3이고, 초매개변수는 초기 설정값을 사용하였다.

Table 1. Input and output variables of prediction models LR-1, 2

Model	Input variables	Output variables
LR-1	Slope characteristics(31 variables including length, height, angle, etc.)	Stability
	Highly correlated variables with output variables(collapse record, rockfall, floating rock, risk grade, damage grade, danger zone, etc.)	
LR-2	Slope characteristics(31 variables including length, height, angle, etc.)	Stability

LR-1 훈련 모델의 정확도는 89.77%, AUC는 0.949, 재현율은 89.66%, 정밀도는 89.41%, F1-Score는 89.53%로 나타났다. LR-1 시험 모델의 정확도는 89.65%, AUC는 0.946, 재현율은 89.58%, 정밀도는 89.24%, F1-Score는 89.40%로 나타났다. LR-2 훈련 모델의 정확도는 71.36%, AUC는 0.772, 재현율은 70.00%, 정밀도는 70.57%, F1-Score는 70.19%로 나타났다. LR-2 시험 모델의 정확도는 71.21%, AUC는 0.777, 재현율은 69.94%, 정밀도는 70.33%, F1-Score는 70.09%로 나타났다(Figure 1 and Table 2).

예측 성능을 비교한 결과 각 LR-1, 2의 훈련 및 시험 모델 간 성능 차이는 발생하지 않았고, LR-1의 예측 성능이 LR-2 보다 약 20% 높게 나타났다. 이를 통하여 입력변수의 객관화가 잘 이루어진 것으로 판단되며, 또한 비탈면 붕괴와 상관성이 높은 변수들이 모델의 성능에 큰 영향을 미치는 것으로 사료된다. 본 연구의 결과 보다 높은 예측 성능을 도출하기 위하여 추후 다른 방법론이 고려되고 또한 변수 중요도 등을 산정하여 비탈면 안정성 예측 모델에 대한 고찰이 더 필요할 것으로 판단된다.

Table 2. Results of prediction model using training and test models of LR-1, 2

Model	Accuracy(%)	AUC	Recall(%)	Precision(%)	F1-Score(%)
LR-1	89.77	0.949	89.66	89.41	89.53
	89.65	0.946	89.58	89.24	89.40
LR-2	71.36	0.772	70.00	70.57	70.19
	71.21	0.777	69.94	70.33	70.09

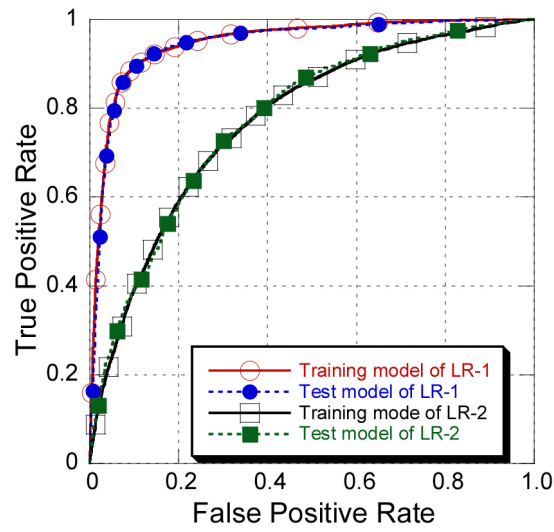


Fig. 1. ROC-AUC curves for prediction model LR-1, 2

References

Pradhan, B., Lee, S., Buchroithner, M. F., 2010, A GIS-based back-propagation neural network model and its cross-application and validation for landslides susceptibility analysis, *Computers, Environment and Urban Systems*, 34(3), 216-235.

복합 물리현상 해석 SW를 이용한 지열 생산 시의 열수 이동 해석

유수환^{1)*}, 김선경¹⁾, 박정훈¹⁾, 이창열²⁾

¹⁾㈜어스이엔지 shyoo93@eartheng.co.kr,

²⁾연세대학교 지구시스템과학부

지열 에너지는 지구 내부의 열이 근원이며, 비교적 짧은 시간 동안에는 시간에 관계없이 일정량을 방출한다. 지열 생산은 보통 지표수가 주입공을 통해 주입되고 지열에 의해 덩어진 물이 생산공을 통해 생산되는 과정으로 진행된다. 주입공과 생산공들의 깊이와 위치에 따라 지열 에너지 생산량과 효율성은 변동된다. 이 연구는 지열 에너지의 생산량과 효율성 평가가 고려된 지열 생산 설계를 위한 3차원 수치모델링으로 대수층에서의 지표수 주입과 생산을 포함한 지하수 유동과 지열로 인한 열 유동 계산을 목적으로 한다.

지열 생산에 관한 3차원 모델링을 하기 위해 우리는 대수층에서의 지하수 유동, 지표수 주입/생산과 지열로 인한 열 유동을 고려하였다. 대수층에서의 지하수 유동은 달시 법칙(Darcy's law)을 따르는 지하수 유동 방정식으로 해석되었다. 대수층의 공극률은 시공간에 관계없이 일정하다고 가정하면 대수층에서의 지하수 유동 방정식은 지표수 주입/생산과 수두 차이로 발생하는 지하수 유동을 설명한다. 대수층에서의 열 유동은 지구 내부의 열로 인한 열 전도와 대수층에서의 지하수의 이류(advection)로 인한 열 유동이 영향을 미친다. 지구 내부의 열로 인한 열 전도는 지온 구배로 결정된다. 지온 구배는 깊이에 따라 다양하지만 지열 생산이 이루어지는 제한된 심도 범위에서는 큰 변화가 없으므로 지온 구배를 일정하다고 가정하여 열류량이 계산되었다. 지하수의 이류로 인한 열 유동은 다공성 매체에서의 열 전달 방정식으로 해석하였다. 대수층의 다공성 매체와 그에 인접한 지하수는 같은 온도를 가진다고 가정하고 대수층에서의 열 전달 방정식을 이용하면 시간에 따른 주입공에서 주입된 물의 이류로 인한 대수층에서의 온도 분포 계산이 가능하다. 따라서 지열로 인한 대수층의 열 유동은 지열의 열 전도로 인한 깊이에 따른 온도 분포와 지하수의 이류로 인한 온도 변화로 표현된다. 대수층에서의 지하수와 열 유동을 계산하기 위해 우리는 상용 프로그램인 콤포스 멀티피직스(COMSOL Multiphysics)를 사용하였다.

실험 결과는 주입공에서 주입된 물의 경로, 온도 변화와 생산공에서 생산되는 물의 온도로 나타난다. 일정한 온도로 주입된 물과 생산된 물의 온도 차이를 통해 지열 에너지의 생산량을 평가할 수 있다. 향후 연구는 주입공과 생산공의 깊이와 위치 및 주입공에서의 물의 주입량을 변화시키며 최적 인자를 파악하여 에너지 생산 효율 제고에 초점을 맞출 예정이다. 이러한 실험은 지열 에너지 생산량 예측 및 생산 설계에 도움을 줄 수 있을 것이다.

상시가뭍지역의 Hybrid형 인공함양 시스템 구축과 운영을 통한 개선사례 연구

이영동*, 원경식, 신동민, 홍지용

지오택컨설팅(주) ydlee@geoinfo.co.kr

최근 기후변화의 영향으로 전 세계는 물론 한국은 매년 가뭄이 빈번히 발생하고 있으며 피해지역도 다양하게 나타나고 있다. 이에, 가뭄에 능동적으로 대처하고, 지하수를 활용한 부족한 물 문제를 해결할 수 있는 대안으로 인공함양 기술이 대두되고 있다.

본 연구는 소규모 평탄지 하천 중·상류지역 중 상시적으로 가뭄이 발생하는 지역을 대상으로 선정하였으며, 선정된 지역은 충청남도 홍성군 갈산면 운곡마을로 농번기 기간에 지속적으로 농업 가뭄이 발생하여 물 부족현상을 겪고 있는 지역이다.

연구지역에 구축된 시설은 Hybrid형 인공함양 시스템으로 하천을 통해 1차적으로 전 처리된 하천수를 중·상류지역 층적층에 Ditch 및 수직정의 형태로 인공함양을 시키고 대수층 발달이 상대적으로 양호한 하류지역에 2개 라인의 수평 집수정을 설치하여 인공함양-취수-공급의 지속적인 순환방식의 인공함양시스템으로 구축되었다.

연구수행방법은 구축된 Hybrid형 인공함양 시스템의 장기적인 현장시험 및 운영을 통해 개선사항을 파악하여 이를 인공함양 시스템에 적용하여 향후 지속적이며 효율적인 시스템을 운영하는 것을 목적으로 하였다.

개선사항의 주된 내용은 주민 편의 및 운영관리 대상을 최소화하는 것으로 접근하여 수행되었으며 파악된 내용은 농업 용수 공급량에 비해 분배공급시설의 과도한 공경으로 적정 공급량을 공급하기 힘들다는 점, 하천의 전처리시설부터 인공함양시설까지 펌프를 통해 함양이 이루어지는 점 등이 주 개선사항으로 파악되었으며, 현재는 분배공급시설의 공경 축소, 전처리 시설에서 인공함양 시설까지 자연유하 방식으로 인공함양이 되도록 연구시설을 개선하여 운영 중에 있다.

Hybrid형 지하수 인공함양 시스템은 다양한 시설과 용수 공급 시설들이 접목되어 있으며 인공함양 대상 지역 전반에 걸쳐 설치되어 있다. 따라서 효율적인 인공함양 시스템의 운영 및 관리를 위하여 IoT를 접목하여 인공함양 시스템의 전반적인 운영 현황을 파악하고 운영 및 관리의 효율성을 개선하여 수요자의 편의성을 제공할 것으로 판단된다.

사 사

본 연구는 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구입니다(NRF-2022M3E9A1098302).

국가지하수관리측정망의 주요 용존이온 수질특성 현황

김양아^{1)*}, 안경환^{1)*}, 박재현¹⁾, 유정아¹⁾, 이상길¹⁾, 김민식¹⁾, 박철희²⁾, 정지혜²⁾, 박선인¹⁾

¹⁾한국수자원공사 K-water 연구원 ahnkh@kwater.or.kr

²⁾한국수자원공사 미래수자원처

지하수는 물-암석 반응에 의하여 조암광물이 용해되며, 그에 따른 지하수 내 용존 이온의 수질 유형은 이동경로 및 시간, 암석의 종류, 오염원 유입 등의 영향을 받게 된다. 특히, 동일 지역의 지하수라도 대수층에 따라 서로 다른 수질유형을 보이는 경우가 많다. 따라서 우리나라는 유역별, 지질 및 지층 특성에 따라 암반측정망, 충적측정망으로 나누어 지하수를 관리하고 있다.

국가지하수관리측정망에서 수질항목 중 주요이온(Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ , NO_3^- , SO_4^{2-} , Cl^- , HCO_3^- , CO_3^{2-})은 2008년부터 주기적인 측정이 시작되었으며 2020년부터는 연2회씩 측정되고 있다. 과거부터 축적된 자료를 바탕으로 대수층별 및 지질단위별 용존이온의 수질특성 현황을 확인하였다. 국가지하수관리측정망에서 2008년~2021년까지 주요 용존이온 측정자료가 존재하는 측정망 434개소 중 암반 및 충적대수층을 가지는 161개소를 바탕으로 분석을 수행하였다.

분석 결과, 암반대수층 및 충적대수층은 양이온 $\text{Ca}^{2+} > \text{Na}^+ > \text{Mg}^{2+} > \text{K}^+$ 음이온 $\text{HCO}_3^- > \text{Cl}^- > \text{SO}_4^{2-} > \text{NO}_3^- > \text{CO}_3^{2-}$ 경향을 가지는 것으로 확인되었다. 대부분 암반층과 충적층의 주요 용존이온 경향성은 큰 차이를 보이지 않으며, 이는 동일 지질단위로 수질특성에서 큰 변화를 보이지 않거나 암반측정망 내 충적층 지하수의 혼입으로 인하여 암반층 및 충적층 지하수가 유사한 수질 특성이 관측될 수 있는 것으로 추측된다.

수문지질단위별로 살펴보면 관입화성암·미고결퇴적물·변성암·비다공질화산암·석회암·고기퇴적암에서는 Ca-HCO₃ 및 Ca-(SO₄+Cl) 경향을 보이거나 신기퇴적암은 대부분 Na-Cl 가까운 유형을 보이는 등 지질단위에 따라 수리지구화학 특성이 다르게 나타났다. 신기퇴적암 특성을 보이는 지역은 영덕·포항지역으로 해안가 지역과 인접하여 Na-Cl 특성이 나타나는 것으로 확인된다.

향후 장기간 축적된 국가지하수관리측정망 이화학 분석 자료의 신뢰성 향상을 위하여 정도관리(QA/QC)가 고려되어야 할 것이며, 장기적으로 효율적인 지하수측정망 운영관리를 위해 충적층 지하수 혼입 가능성 평가 등 주요 용존이온 수질자료의 평가 및 해석에 대한 활용성이 확대되어야 할 것이다.

MT3D를 이용한 중금속 오염 지하수의 양수처리법 정화 효율성 평가

이선민, 장진희, 김나빈, 김승희, 구민호*

공주대학교 지질환경과학과 koo@kongju.ac.kr

1970년에 설립되어 세계 4위의 아연 생산능력을 가진 A제련소는 아연제련 과정에서 누출된 카드뮴과 납 등의 중금속에 의해 공장 부지 내 토양과 지하수가 오염된 것으로 알려졌다. A제련소의 이러한 환경오염 문제는 2014년 환경단체에 의해 최초로 제기되었으며, 2021년 물환경보전법 위반에 따른 과징금이 부과되기도 하였다. 현재는 토양환경보전법과 지하수법에 따른 오염토양정화 명령과 오염지하수 정화명령이 이행 중이다.

제련소 1공장 지하수의 카드뮴 오염 농도는 대체로 1~100ppm의 범위를 보이며, 1000ppm 이상의 고농도 지역도 확인되어 기준치(0.005ppm)를 훨씬 초과하는 것으로 나타났다. 현재 공장 내에는 정화명령 이행에 따라 차수벽, 오염방지공(양수정), 확산방지차집시설(수평집수관과 차수벽) 등의 오염방지시설이 설치되어 운영되고 있다.

본 연구에서는 1공장 부지를 대상으로 지하수 모델을 개발하여 카드뮴에 오염된 지하수의 거동을 예측하였다. Modflow에 연동되어 오염물 거동 예측에 널리 이용되는 MT3D 모델을 이용하여 카드뮴의 농도 변화를 모의하였으며, 다양한 시나리오 모의를 통하여 오염방지시설의 장기적인 정화 효율성을 평가하였다. 오염방지시설 설치에 따른 예측 시나리오는 1) 오염방지시설이 없는 경우, 2) 차수벽과 오염방지공이 설치된 경우, 3) 확산방지차집시설이 추가 설치된 경우, 4) 향후 수평주입시설에 의한 재순환식 주입-양수 시설이 설치될 경우 등 4가지로 구분하여 모의하였으며, 각 시나리오별 장기적인 오염 정화 효율을 평가하였다. 모델 분석 결과 2022년 설치된 확산방지차집시설은 공장부지 외부(낙동강)로의 오염 지하수의 유출을 방지하는 수리적 방벽 기능을 하는 것으로 예측되었다. 한편, 오염지역 배후지에 수평주입시설을 설치하여 재순환식 주입-양수시설을 운영할 때 최적의 정화 효율을 보이는 것으로 분석되었다. 이러한 모델 예측 결과는 향후 1공장의 지하수 오염 정화 계획 수립 시 유용한 설계 자료로 활용될 수 있을 것으로 예상된다.

RT3D를 이용한 중금속 오염 지하수의 원위치(in-situ) 정화기법 연구

장진희, 이선민, 김유진, 이민재, 구민호*

공주대학교 지질환경과학과 koo@kongju.ac.kr

1970년 1공장을 시작으로 1974년 2공장, 2015년 3공장을 설립하여 세계 4위의 아연 생산능력을 가진 A제련소는 아연 제련 과정에서 누출된 중금속에 의해 토양과 지하수가 오염된 것으로 알려졌다. 본 연구에서는 3공장 부지를 대상으로 지하수 모델을 개발하여 카드뮴에 오염된 지하수의 거동을 모의하고, 다양한 오염정화시설(차수벽, 양수처리시설, CPS 주입 시설)의 설치에 따른 정화 효과를 분석하였다. CPS(Calcium polysulfide)는 중금속과 결합하여 황화물 형태로 침전되는 환원제이며, 최근 고농도로 오염된 지하수의 원위치(in-situ) 정화에 이용될 수 있는 물질로 연구되고 있다(고현우 외, 2023).

RT3D 모델을 이용한 다양한 시나리오 모의를 통하여 3공장 오염정화시설(안)의 장기적인 정화 효율성을 평가하였다. CPS 주입에 의한 카드뮴의 지중정화는 RT3D의 'BTEX의 즉각적인 유기물 분해 반응(Instantaneous aerobic decay of BTEX)' 모델을 이용하여 모의하였다. 오염정화시설 설치에 따른 예측 시나리오는 1) 오염정화시설이 없는 경우, 2) 차수벽과 양수처리시설이 설치된 경우, 3) 양수처리시설 대신 CPS 주입시설과 PRB가 설치된 경우, 4) 양수처리시설과 CPS 주입시설이 동시에 설치된 경우 등 4가지로 구분하였으며, 각 시나리오별 장기적인 오염 정화 효율을 평가하였다. 오염정화 시설에 의한 저감 효과는 정화 초기(5-10년)에 잘 나타나며, CPS 주입시설이 양수처리시설보다 저감 효율성 측면에서 우세한 것으로 예측되었다. 한편, 공장 외곽에 설치된 차수벽과 양수처리시설은 공장부지로부터 낙동강 인근 지역으로의 카드뮴 확산을 제어하며, 동시에 낙동강으로의 지하수 유출량을 감소시키는 역할을 하는 것으로 분석되었다. 이러한 모델 예측 결과는 향후 3공장의 지하수 오염 정화 계획 수립 시 유용한 설계 자료로 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

References

고현우, 주진철, 남경필, 문희선, 윤성희, 이동휘, 장소예, 2023, 균질한 매질 내 Calcium polysulfide 주입에 따른 고농도 중금속 오염지하수 정화 타당성 검토, 지하수토양환경, 28(1), 1-14.

지하수 플럭스 측정을 위한 폴리설편 담체 내 알코올 흡·탈착 기작 평가

이주연, 양민준*

부경대학교 환경해양대학 지구시스템과학부 minjune@pknu.ac.kr

대수층의 정확한 유량을 알기 위해서는 지하수 플럭스(groundwater flux)의 측정이 필수적이다. 지하수 플럭스 측정에 대한 지속적인 연구는 되어왔으나, 측정 방법이 매우 까다롭고 어렵다는 인식이 있어 국내의 지하수 플럭스 측정 사례가 미비한 실정이다. 기존의 지하수 플럭스 측정 방법 중 흡착제 내 알코올 추적자의 탈착량을 이용한 지하수 플럭스 측정법의 경우 설치 및 제작이 용이한 장점이 있다(Annable et al., 2005; Essouayed et al., 2019; Hatfield et al., 2004). 그러나 선행연구에서 흡착제로 사용되었던 입상활성탄은 원마도 및 분급이 낮아 지하수 플럭스 측정 결과에 불균일성을 야기할 수 있다. 폴리설편은 흡착물질의 종류가 매우 다양하고 형태의 변형도 용이하여 주로 흡착 담체로 사용되고 있는 물질이다. 따라서, 본 연구는 폴리설편을 지하수 플럭스 측정법에 적용하고자 폴리설편 담체를 제작하여 알코올의 흡·탈착 기작을 평가하였다. 폴리설편 내 구성물질 유무에 따른 알코올의 흡·탈착 특성을 비교하기 위하여 1) 순수 폴리설편 담체와 2) 활성탄 분말이 혼합된 폴리설편 담체를 선정하였고, 각 담체의 직경을 3 mm와 5 mm 두 가지 형태로 제작하였다. 알코올은 지연계수가 다른 Isopropyl alcohol과 1-hexanol이 사용되었으며, 농도(10, 25, 50, 75, 100 mg/L)별로 흡착실험을 진행한 후 흡착등온식(Langmuir, Freundlich)을 적용하여 흡착 기작을 평가하고 최대 흡착량을 나타내었다. 폴리설편 담체 종류에 따른 흡착 속도를 알아보기 위하여 100 mg/L의 알코올 용액을 시간별로(24, 48, 72 h) 교반하여 실험을 진행하였다. 탈착 실험의 경우, 1D 컬럼을 이용하여 시간(24, 48, 72, 96, 120 h)에 따라 유출수를 채수하여 담체 내 알코올의 탈착량을 계산하였다. 실험의 모든 알코올 정량분석은 가스 크로마토그래피 질량분석기(Gas chromatography mass spectrometry, GC-MS)를 사용하였다. 본 연구 결과를 통해 얻은 폴리설편 담체의 알코올 흡·탈착 특성을 바탕으로 지하수 플럭스 측정법 연구에 적용한다면, 더 다양한 지하수 플럭스 측정에 도움이 될 것으로 사료된다.

References

- Annable, M. D., Hatfield, K., Cho, J., Klammler, H., Parker, B. L., Cherry, J. A., and Rao, P. S. C., 2005. Field-scale evaluation of the passive flux meter for simultaneous measurement of groundwater and contaminant fluxes. *Environmental science & technology*, 39(18), 7194-7201.
- Essouayed, E., Annable, M. D., Momtbrun, M., and Atteia, O., 2019. An innovative tool for groundwater velocity measurement compared with other tools in laboratory and field tests. *Journal of Hydrology X*, 2, 100008.
- Hatfield, K., Annable, M., Cho, J., Rao, P. S. C., and Klammler, H., 2004. A direct passive method for measuring water and contaminant fluxes in porous media. *Journal of contaminant hydrology*, 75(3-4), 155-181.

천안북면 국가관리측정망의 염소농도 변동특성 및 원인규명

김민식, 유정아*, 안경환, 박재현, 김양아, 이승민

한국수자원공사 K-water 연구원 jaryu@kwater.or.kr

환경부 및 K-water에서는 1995년부터 전국에 총 688개소(’21년 말 기준)의 국가관리측정망을 설치·운영중에 있다. 실시간으로 국가관리측정망의 지하수위/수질을 감시·관측하여 눈에 띄는 변동을 보이는 측정망을 선정, 또한 반기별로 생활용수 기준(20항목)으로 수질검사를 실시하여 기준치를 초과하는 항목에 대해 원인조사 및 대책방안을 마련하는 “지하수 변동실태 조사”를 실시하고 있다. 이를 통해 효율적이고 효과적인 지하수의 보전 방안 등을 제시하고 있다. 본 연구는 염소농도 변동을 보이는 국가관리측정망 1개소를 선정하여 변동하는 특성 및 원인을 규명하여 대책방안을 제시하는 데 그 목적이 있으며, 그 결과를 활용하여 측정망 인근 지하수를 체계적으로 관리하고자 한다.

본 연구의 대상 측정망은 충청남도 천안시에 설치된 천안북면 측정망으로 2000년 설치 후 현재까지 운영되고 있다. 천안북면 측정망의 염소 농도는 2013년(상) 284.4 mg/L, 2014년(상) 323.2 mg/L, 2015년(상) 481.7 mg/L, 2016년(상) 821.3 mg/L 등으로 생활용수 기준인 250 mg/L를 초과하였다. 이에 측정망 반경 1 km 내에 설치 및 사용 중인 지하수 관정 18개소, 하천 5개소를 관측지점으로 선정하였고 2022년 8월~2023년 6월까지 매달 현장간이수질조사(수위, 수온, EC, 염소이온)를 실시하였다. 또한 분기별로 수질시료를 채취하여 양·음이온 분석을 실시하였으며 그 결과를 Piper Diagram에 도시하여 지하수 유형분류 및 오염 경향 평가를 실시하였다.

현장간이수질조사(염소이온) 결과, 3~4월경에 높은 값을 보이며, 겨울철(11~2월) 염소이온 평균 값에 비해 많게는 23배 가량 차이를 보인다. 이는 겨울철 내 쌓여있던 제설제나 봄철이 오기 전에 살포한 제초제 등이 점진적인 함양을 통해 3~4월에 측정되는 것으로 예상된다.

양·음이온 분석 결과를 Piper Diagram에 도시한 결과, 천안북면 측정망은 Na-Cl형으로 분류되는데, 이는 해수나 소금(NaCl) 등의 제설제에 의한 영향을 받은 것을 지시한다. 다른 2개소는 Ca-Cl형으로, 나머지 관측지점은 Ca-HCO₃ 유형으로 분류된다. 이는 각 인위적인 요인(비료, 제설제, 하수 등)에 의해 영향, 일반적인 지하수의 형태로 탄산염 광물의 용해작용으로 형성된 것을 지시한다.

천안북면 국가관리측정망의 염소이온 농도 상승원인을 파악하기 위해서 측정망 인근지역에 신규시추공 및 사용중인 관정을 관측망으로 선정하고 현장조사를 실시하였다. 염소이온 농도의 상승원인을 규명하기 위해서는 지하수모델링, 추가 이화학분석 등이 필요할 것으로 보이며, 필요시 실시할 예정이다. 향후 추가 연구를 통해 염소이온 농도 상승원인에 대한 대책방안을 마련할 예정이며, 지자체에 전달하여 효과적이고 효율적인 지하수 관리방안을 수립할 수 있도록 지원할 예정이다.

영동추풍령 국가관리측정망의 질산성질소 상승 원인 분석

김민식, 유정아*, 안경환, 박재현, 김양아, 박경미

한국수자원공사 K-water 연구원 jaryu@kwater.or.kr

환경부 및 K-water에서는 지하수의 체계적인 관리를 위해 1995년부터 전국 각지에 총 688개소(2021년 말 기준)의 국가관리측정망을 설치하여 설치 시점부터 현재까지 지하수 수위 및 수질을 지속적으로 감시·관측하고 있다. 또한 정기적으로 지하수 장기관측자료 조사·분석을 실시하여 지하수 수위·수질의 변동특성 파악하고, 지하수의 효율적인 보전 및 활용방안 등을 제시하고 있다. 본 연구에서는 질산성질소 농도 변동을 보이는 국가관리측정망을 1개소 선정하여 그 원인을 분석하고 대책방안을 수립하여 측정망 인근 지역의 지하수를 체계적으로 관리하는데 활용하고자 한다.

본 연구의 대상 측정망은 2012년에 설치되어 현재까지 운영되고 있는 충청북도 영동군에 설치된 영동추풍령 측정망이다. 국가관리측정망은 지하수법에 의거 반기별로 지하수 수질검사(20항목, 생활용수기준)를 실시하고 있으며, 영동추풍령 측정망의 질산성질소 농도는 설치시점부터 현재까지 생활용 수질기준(20 mg/L이하)을 총 6회 초과하였다.(2016년(하) 20.7 mg/L, 2018년(하) 20.9 mg/L, 2019년(상) 22.4 mg/L, 2019년(하) 24.9 mg/L, 2021년(상) 22.8 mg/L, 2021년(하) 21.2 mg/L) 이에 측정망 반경 0.5 km 내에 설치·사용 중인 지하수 관정을 대상으로 14개의 지하수 수위/수질 관측망을 설정하였고, 2022년 8월~2023년 6월까지 매달 현장간이수질조사 실시 및 휴대용 비색계를 이용하여 현장에서 질산성질소를 측정하였다. 또한 분기별로 지하수 시료를 채취하여 양·음이온 분석을 실시하였고, 그 결과를 Piper Diagram에 도시하여 지하수의 유형 분류, 기원 및 오염 경향을 평가하였다. 추가로 연구지역에서 검출되는 질산성질소의 기원을 파악하기 위해 안정동위원소 질량분석기(IR-MS)로 탈질법을 이용한 질산염의 질소 및 산소 안정동위원소비($\delta^{15}\text{N}$, $\delta^{18}\text{O}$) 분석을 실시하였다.

양·음이온 분석 결과를 Piper Diagram에 도시한 결과, 영동추풍령 측정망은 Ca-Cl형으로 분류되는데 이는 퇴비, 하수 등과 같은 인위적인 영향을 받고 있는 것을 지시한다. 영동추풍령 측정망을 제외한 12개소는 Ca-HCO₃형으로 분류되며, 이 유형은 빗물이 암석 또는 토양대수층을 거치며 탄산염 광물의 용해작용으로 형성된 지하수로 중탄산이온이 우세하게 나타난다. 나머지 1개소는 Na-HCO₃형으로 분류되며 이는 Ca-HCO₃형의 지하수가 토양, 암석 등과 반응하여 진화한 형태이다.

영동추풍령 국가관리측정망의 질산성질소 농도 상승원인을 파악하기 위해 측정망 인근지역의 기본현황 조사, 관측망설정 및 지하수위/수질 특성을 조사하였고, 향후 지하수모델링 등의 연구가 필요할 것으로 보이며, 필요시 추가적인 분석(토양 등)을 수행할 계획이다. 마지막으로 본 연구를 통해 파악한 질산성질소 농도의 상승원인에 대한 대책방안을 마련하여 지자체에 전달하고 지하수를 효율적으로 관리할 수 있도록 안내할 예정이다.

산화제 주입 방식에 따른 철과 망간 거동에 관한 반응성 운송 모델 연구

손서영¹⁾, 박성민²⁾, 박재우²⁾, 손봉호³⁾, 김원미³⁾, 정희원^{4)*}

¹⁾충남대학교 우주지질학과

²⁾한양대학교 건설환경공학과

³⁾주식회사 지엔에스엔지니어링

⁴⁾충남대학교 지질환경과학과 hjung@cnu.ac.kr

원위치 화학적 산화법(In situ chemical oxidation, ISCO)은 용존철이 다량 존재하는 대수층의 정화기법 중 하나로, 대수층 내 산화 환경을 조성하여 철 수산화물의 침전을 유도하고 침전물에 중금속의 흡착을 야기하는 방식으로 지하수의 철과 중금속을 저감한다. 이번 연구에서는 관정의 깊이와 양수 시간에 따라 달라지는 철의 침전 양상과 그로 인한 망간의 흡착의 공간적인 변화를 시뮬레이션으로 연구하였다. 2차원 다성분 반응성 운송 모델(multi-component reactive transport model)을 이용하였으며, 3개의 다른 투수성을 가진 퇴적층으로 구성된 대수층에서 ISCO를 시행할 때 나타나는 공간적인 변화를 예측하였다. 시뮬레이션 결과, 주입정과 양수정이 각각 하부층과 상부층에 위치한 경우(B1, B2) 침전물은 전체 층에 걸쳐 철이 침전된다. 반대로 두 관정이 투수성이 높은 중간층에 위치하면(A1, A2) 산화제가 빠르게 퇴적층을 따라 이동하며 대부분의 침전이 중간층을 따라 일어나며 침전량도 A1과 A2보다 적다. 실험 환경에서는 산화제가 너무 빠르게 양수정에 도달하여 산화제 소모가 충분히 일어나지 않는다. 그 결과, 양수 시간 동안 배경 지하수와 주입수 간의 혼합이 일어나 A1과 A2, B2에서 양수정 부근에 침전이 집중되었다. 그러나 양수 시간이 짧은 B1의 경우 양수정까지의 이동 거리가 멀지만, 양수 시간은 짧아 양수정에서 침전이 거의 일어나지 않는다. 이는 양수 시간에 따라 관정 부근의 침전량이 영향을 받는다는 것을 보여준다. 철 수산화물의 반응으로 변화하는 pH는 망간의 표면 흡착 반응에 관여하며, 철이 침전하여 pH가 감소하면 망간이 탈착되고, 반대로 용해될 때 pH가 증가해 망간이 다시 흡착되는 모습을 보인다. 따라서 산화제 주입으로 인한 침전으로 흡착면이 증가하지만, 이때 감소하는 pH로 인하여 망간이 탈착되어 농도가 증가할 수 있다.

SWAT-K 모형을 이용한 연천지역 지하수 함양량 분석

김민규, 이정은, 최지안, 정일문*

한국건설기술연구원 수자원하천연구본부 *imchung@kict.re.kr*

SWAT-K모형은 미 농무성에서 개발된 SWAT(Soil and Water Assessment Tool) 유역모형을 우리나라의 유역에 적용하기 위하여 개선한 프로그램으로, 지표수-지하수 통합모의를 위하여 MODFLOW와 완전연동방식으로 결합하고, 우리나라의 토양통 데이터베이스를 구축하여 적용하였다. 본 연구에서는 SWAT-K를 이용하여 연천지역에 대한 지표수-지하수 통합 물수지분석을 수행하고, 지표수의 유출과 지하수의 수위변동을 고려하여 연간 함양량 분석을 소유역별로 구분하여 분석하였다. 지하수 함양량 분석을 위하여 12년(2011년~2022년)의 일단위 수문량을 모의하였으며, 이중 2011년의 수문량은 모형의 안정화 기간으로 제외하였다. 그리고, 출구점인 비룡대교의 관측값(2012년~2022년)을 검보정 자료로 활용하였다. 분석결과 연천지역의 지하수 함양량은 180,694.8천 m^3 /년으로 연천지역 전체의 수자원총량인 876,271.3천 m^3 /년의 20.6%에 해당하는 것으로 나타났다.

사 사

본 연구는 환경부 대행사업인 2023년도 지하수 기초조사 사업으로 수행되었습니다.

References

- Arnold, J. G., Allen, P. M., and Bernhardt, G., 1993, A comprehensive surface-groundwater flow model. *Journal of Hydrology*, 142, 47-69.
- Kim, N. W., Chung, I. M., Won, Y. S., and Arnold, J. G., 2008, Development and application of the integrated SWAT-MODFLOW model, *Journal of Hydrology*, 356, 1-16.
- McDonald, M. G. and Harbaugh, A. W., 1988, A Modular Three-Dimensional Finite- Difference Ground-water Flow Model. *Techniques of Water Resources Investigations Report*, U.S. Geological Survey, 6(A1), 528.
- 김일환, 이주현, 정일문, 2023, 연천지역의 표준 강수 지수와 하천 유량 가뭄지수를 이용한 가뭄 평가, *지질공학*, 33(2), 241-256.
- 환경부, 2022, 연천지역 지하수 기초조사 보고서.

SWAT 모형기반 토지이용 변화에 따른 지표수 및 지하수 함양량 분석

타레켄 멘기스투, 제노비아 탈푸루, 정일문*

한국건설기술연구원 수자원하천연구본부 *imchung@kict.re.kr*

수자원에 대한 시공간적 토지 이용 토지 피복(LULC) 변화를 평가하는 것은 지역의 지속 가능성과 적절한 관리 전략을 개발하는 데 필수적이다. 수문 모델링과 시너지 효과를 발휘하는 LULC 시나리오를 평가하면 수문 과정을 지배하는 요인에 대한 증거가 가능하다. 따라서 본 연구에서는 에티오피아 지역의 토양 및 물 평가 도구(SWAT) 모델을 사용하여 지하수 함양 및 하천 흐름에 대한 LULC의 시공간적 효과를 평가하였다. 농경지와 초지 피복은 2000년부터 2020년까지 각각 3.76%, 1.36% 증가했다. 산림 토지 피복은 2020년에 5.49% 감소했다. 각 기준 시뮬레이션 기간의 반응을 이해하기 위해 SWAT-CUP-SUFI-2 알고리즘을 사용하여 과거 스트림 데이터를 사용하여 시뮬레이션 모델을 보정하고 검증했다. 현장관측 및 모의된 지표수 유출은 월별 시간 단계에서 결정 계수(R²), 모델 효율성(NSE) 및 백분율 편향(PBIAS)의 성능 지수가 보정 및 검증 기간 모두에서 모든 LULC 시뮬레이션에 대해 양호한 일치를 보인다. 이 연구는 지표 유출이 증가한 반면 지하수는 기간 동안 감소했음을 나타냈다. 시공간적 변화는 우기 동안 가장 높은 함양이 발생하고, 지표수의 유출이 발생했음을 밝혔다. 따라서 이 연구는 물 관리 전략을 극대화하고 환경에 악영향을 미치는 요인을 줄이는 데 도움이 될 것으로 판단된다.

사 사

본 연구는 환경부 대행사업인 2023년도 지하수 기초조사 사업으로 수행되었습니다.

Evaluating the Groundwater Recharge of Anyang Watershed Using SWAT+gwflow Module

히요 하티아 와레, 장선우, 정일문*

한국건설기술연구원 수자원하천연구본부 *imchung@kict.re.kr*

Accurate prediction of groundwater recharge in hydrological models relies on replicating the internal processes within a watershed. Previously, achieving this accuracy involves integrating separate groundwater and surface water models, but this approach is intricate, requiring code adjustments and lengthy computational processes. To address these challenges, a new groundwater module named "gwflow" has been developed directly within the Soil and Water Assessment Tool (SWAT) code. This study evaluates the effectiveness of this gwflow module in capturing interactions between surface water and groundwater within the Anyang watershed in South Korea, covering an area of 137.2 square kilometers. The research involved calibrating the SWAT+ model for daily mean streamflow at the watershed's outlet. Additionally, the SWAT+gwflow model, designed to account for groundwater dynamics, underwent calibration using the PEST tool. The results reveal significant spatio-temporal variations in groundwater recharge within the Anyang watershed. Overall, the latest version of SWAT+ with the gwflow module proves to be proficient in representing the groundwater distribution in the study area.

사 사

본 연구는 환경부 대행사업인 2023년도 지하수 기초조사 사업으로 수행되었습니다.

GIS와 원격탐사를 이용한 작물 수자원 생산성 추정

제노비아 탈푸루, 정일문*

한국건설기술연구원 수자원하천연구본부 *imchung@kict.re.kr*

본 연구는 지리 정보 시스템(GIS) 환경에서 원격 탐사 데이터를 활용하여 파키스탄 로리 운하 지역에서 밀, 면, 및 쌀의 작물 수자원 생산성(CWP)을 추정한 것이다. 실제 증발량은 나우셔로 페로즈, 나와부샤, 미르푸르카스, 상하르, 마티야리, 하이데라바드, 탄도 알라야르, 탄도 무함마드 칸, 그리고 바딘에 대해 두 개의 라비 계절(2014-2015 및 2016-2017)과 두 개의 카리프 계절(1998년 및 2017년)에 대해 계산되었다. 쌀 작물에서는 작물의 과다 수분 요구 때문에 ETa가 높았으며, 밀 작물에서는 면작물에 비해 낮았다. ETa는 작물 유형에 따라 다르며, 일부 작물은 다른 작물보다 더 많은 물을 필요로 한다. 연구 결과는 실제 ET를 추정하는 것이 관개 수량 및 작물 스트레스 조건 관리에 중요하다는 것을 실증하였다. 또한 EEFlux 모델을 사용하여 ET_{rf} 이미지를 얻는 방법도 가능하다. CWP는 토양 준비, 파종 방법, 종자와 토양 품질, 물과 비료 적용, 그리고 잡초와 해충 통제로 이루어진 농업 실천에 영향을 받는 것으로 나타났다.

사 사

본 연구는 환경부 대행사업인 2023년도 지하수 기초조사 사업으로 수행되었습니다.

납석의 산업용 세라믹 신소재 개발을 위한 고속고압 분말 성형 기술

강성승^{1)*}, 김다혜¹⁾, 박혜수¹⁾, 반상연¹⁾, 오태윤¹⁾, 이유빈¹⁾, 곽태종¹⁾, 위장복²⁾

¹⁾조선대학교 에너지자원공학과/첨단에너지공학과 kangss@chosun.ac.kr

²⁾(주)정진이앤씨

미래형 운송기기의 첨단화는 제품의 고기능화는 물론 친환경적이고 에너지절약형 부품 소재가 요구된다. 이러한 첨단 부품 소재는 초고강도, 경량화, 고기능화 등의 다양한 물리적 특성을 포함하고 있어야 한다. 현재 이러한 특성을 가진 첨단 부품 소재를 개발하기 위한 여러 가지 제조 기술이 다방면으로 시도되고 있다. 본 연구는 첨단 부품 소재로써 납석을 활용하여 산업용 세라믹 신소재를 개발하기 위한 고속고압 분말 성형 기술을 개발하는 데 있다. 납석은 천연 원자재로써 우리나라가 세계 최대 규모의 매장량을 보유하고 있다. 2011~2020년까지 국내 납석의 생산량과 판매량(해외수출 포함)을 살펴보면 Fig. 1과 같다. 납석의 활용 분야는 세라믹 신소재로써 세라믹 수처리 분야, 무기재료 분야, 정밀화학 및 제약산업 분야, 에너지 분야, 그리고 자동차, 선박, 건설기계 등 디젤엔진 배기가스 저감장치 필터 분야 등으로 매우 다양하다. 하지만 납석을 산업용 소재로 활용하기에는 아직 원천기술이 절대적으로 부족한 실정이다. 특히 납석 분말을 활용한 산업용 세라믹 신소재 개발은 현재 초기 단계에 머물러 있으며, 향후 첨단 부품 소재의 선진화를 위해서는 반드시 해결해야 할 과제이다. 더군다나 에너지 및 광물자원의 고갈과 환경오염은 지구온난화 문제를 더욱 가속하는 원인이기 때문에 이를 해결하는 방안으로써 산업 전반에 걸쳐 부품 소재의 고기능화와 에너지 효율화가 요구되고 있다.

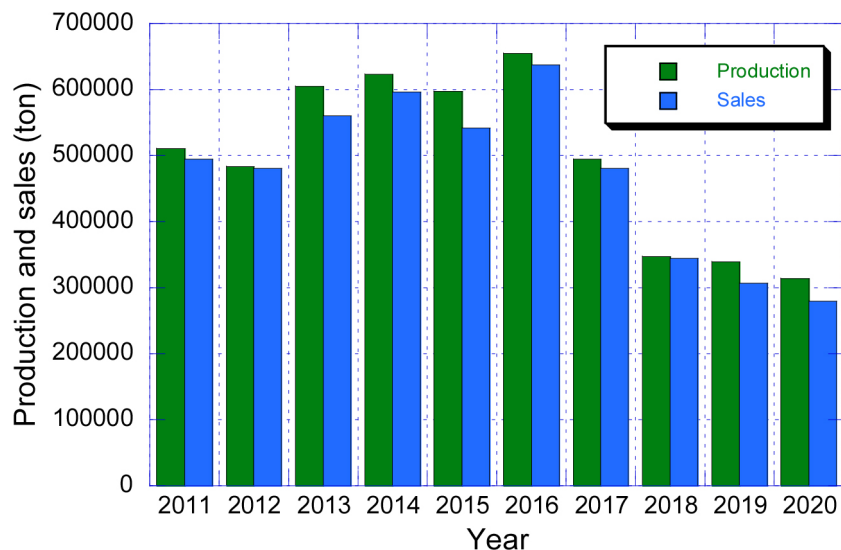


Fig. 1. Production and sales volume of pyrophyllite from 2011 to 2020 (KIGAM, 2021)

결과적으로 우리나라에서 안정적으로 원자재 공급이 가능한 점, 세라믹 필터 촉매용, 자동차용 핵심 SCR부품, 유리섬유, 제품 등 다양한 분야로의 활용이 가능한 점, 그리고 청정에너지, 대기환경 및 물 환경보호 등 지구 환경보전 측면에서 효과가 높은 점 등의 특성을 가진 납석의 산업용 세라믹 신소재 개발은 매우 유익하고 실현 가능한 프로젝트라 할 수 있다.

일반적으로 세라믹 분말을 성형하는 데 이용되고 있는 방법으로는 i) HP (Hot Pressing) 또는 HIP (Hot Isostatic Pressing), ii) SPS (Spark Plasma Sintering), iii) MWS(Micro Wave Sintering), 그리고 iv) HVS (High Voltage Shockwave) 등을 예로 들 수 있다(KAERI, 2011). 고온 가압 방식의 HP 또는 HIP는 분말 재료를 고온 상태에서 가압하여 소결시키는 방법으로 대형설비가 요구되며, 장시간 열처리 공정으로 제조 비용도 많이 소요된다. SPS는 가압 중에 전기 스파크를 유도하여 세라믹 분말을 소결하는 방법으로 전기적 방전을 위해 대전류가 필요하므로 대형설비가 요구되며, 전력 소비량도 많이 든다. 이 기술은 아직 기술 개발단계에 있으며, 취급이 어렵고 성형 제품에 균열이 빈번하게 발생하는 문제

점이 있다. MWS는 마이크로 전자파를 이용하는 방법으로 세라믹 분말에 장시간 전자파를 가해야 하므로 전력 소비 부담이 크다는 단점이 있다. HVS는 고속고압의 물리적인 충격 압축력으로 세라믹 분말을 고화 성형시키는 방법으로 장시간 열처리를 이용하는 일반적인 세라믹 분말 소결 방법보다 성형시간이 빠르고 열처리도 필요치 않아 제조 비용이 저렴하다. 본 연구에서는 납석 분말을 성형하는데 HVS 기술의 특성과 장점을 고려한 고속고압 분말 성형 압축 원천기술(Fig. 2)을 확립하고자 한다.

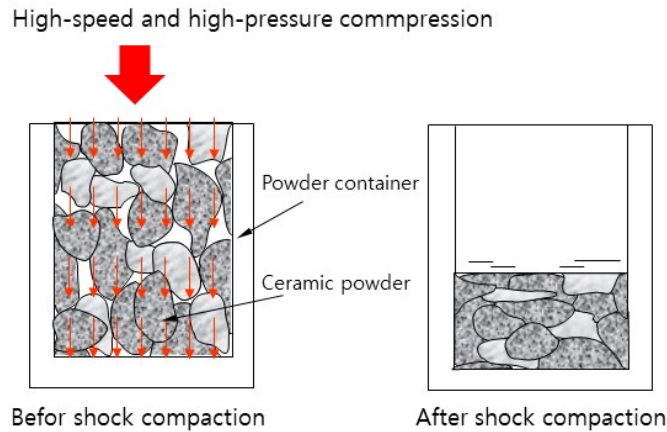


Fig. 2. Principle of high-speed and high-pressure powder molding

사 사

본 과제는 교육부와 한국연구재단의 재원으로 지원을 받아 수행된 광주전남지역혁신플랫폼 미래형운송기기육성사업의 연구결과입니다.

References

- KAERI, 2011, Application of dynamic compaction technology for high performance and precision powder products, KAERI Final Report (RR-3267), pp.1-159.
- KIGAM, 2021, 2020/2021 Mineral commodity supply and demand, pp.194-203.

거칠기 효과에 따른 링전단실험 특성 및 고찰

정승원*

한국지질자원연구원 지질재해연구본부 산사태연구센터 swjeong@kigam.re.kr

링전단시험(ring shear test)은 사면안정성 평가에서 잔류전단강도(residual shear strength)를 측정하고자 할 때 사용된다. 여기서 결정되는 잔류전단강도(residual shear strength)는 시험대상으로 사용되는 흙시료에 따라 달라지며, 링전단시험 전단상자의 전단부의 거칠기에 따라 차이를 나타낸다. 본 연구에서는 주문진 표준사를 사용하여 거칠기를 달리하여, 일정 연직응력하(50 kPa)에서 전단속도(0.001~100 mm/s)에 따른 전단응력, 연직변위 및 간극수압의 변화를 관찰하였다. 일반적으로 전단시간이 상대적으로 짧은 구간에서는 전단응력의 변화가 작지만, 전단시간이 길어질수록 거칠기에 따른 전단응력의 차이가 커진다. 연직변위는 거칠기효과에 크게 의존하지 않는다. 간극수압의 경우 비배수조건에서 조금 더 크게 나타난다. 잔류전단상태에 도달되면 두 값의 차이는 일정한 값을 가진다. 실험결과에 따르면, 거친면을 가진 링전단상자를 사용할 경우 배수상태 모래가 조밀한 조건에서 대략 20%의 큰 잔류전단강도가 발현되는 것으로 나타났다. 비배수조건에서는 3%의 차이로 줄어들음을 관찰하였다. 이와 같은 결과는 물의 유출입이 자유로운 배수조건에서 링전단상자 내에서 흙입자 간의 마찰과 파쇄를 통한 미세 분말(fine fractures)이 링전단상자 하부에 순차적으로 적층되고 고결화됨으로써 전단시간이 길어질수록 전단강도가 점진적으로 증가시키는 결과를 도출하는 것으로 판단된다. 입도분포곡선을 통하여 링전단상자의 상부, 중간, 하부 층에 적층된 각 시료의 입자크기 결과에서 동일한 결과를 확인할 수 있다.

사 사

본 연구는 한국지질자원연구원 기본사업(23-3412-1) 지원을 받아 수행된 연구결과임

단층핵 세립자의 입도분포 추정 곡선 알고리즘 개발

하유진¹⁾, 문성우¹⁾, 이정음¹⁾, 주세정¹⁾, 신재민²⁾, 서용석^{1)*}

¹⁾충북대학교 지구환경과학과 ysseo@cbu.ac.kr

²⁾충북대학교 수학과

본 연구에서는 조립질과 세립질이 혼재되어있는 단층핵을 대상으로 조립토의 입도분포 특성으로부터 세립토의 입도분포 특성을 추정할 수 있는 알고리즘을 개발하고자 한다.

단층대에서 채취한 단층핵 시료를 대상으로 체분석 시험(Sieve test)을 수행한 후 200번 체를 통과한 시료를 대상으로 비중계 시험(Hydrometer analysis)을 수행하였다. 이를 통해, 조립질과 세립질의 분포를 모두 표현한 입도분포곡선을 먼저 작성하고, 조립질과 세립질의 입도분포 특성을 설명할 수 있는 관계식을 다양한 방식(Interpolation, extrapolation 등)으로 도출하였다. 이들 중 세립질 입도분포를 가장 잘 추정하는 관계식을 결정하였으며, 관계식들에서 정규분포의 분포개수와와의 상관성을 비교·분석 하였다.

본 연구에서 도출한 관계식은 비교적 시험 과정이 간단한 조립토의 입도분포 특성만으로 시험 과정이 번거로운 세립토의 입도분포 특성을 파악할 수 있다는 장점이 있으며, 이는 입도특성에 영향을 크게 받는 단층핵의 전단강도 규명에 도움이 될 것으로 판단된다.

경상북도 북부지역에 발생한 산사태의 특징

조용찬^{1)*}, 김민석²⁾, 배현석³⁾, 김성환³⁾

¹⁾한국지질자원연구원 광물자원연구본부 *choych@kigam.re.kr*

²⁾한국지질자원연구원 지질재해연구본부

³⁾한국치산기술협회 치산기술연구소

올해(2013년)는 6월 중순부터 장마가 시작하였다. 지역마다 편차가 있기는 하지만 북동-남서방향으로 길쭉하게 형성된 장마전선의 이동이 북상과 남하를 반복적으로 하면서 한반도에 많은 비를 내렸다. 장마전선의 반복적인 이동으로 인해 강우도 장마기간 동안 반복적으로 발생하였다. 올해는 경북 북부지역인 예천~영주~봉화지역에 산사태와 토석류로 인해 많은 피해가 발생하였다. 예천지역의 강우는 6월 20일 37mm를 시작으로 26일 89mm, 29~30일 99mm, 7월 4~7일은 160mm, 11일은 35mm, 13~15일은 263mm가 발생하였다. 영주지역의 강우는 6월 21일 43mm를 시작으로 26일은 102mm, 29~30일은 344mm, 7월 4일부터 11일까지는 10~40mm가 계속 내렸고, 13~15일은 295mm가 발생하였다. 봉화지역은 6월 14일 32mm를 시작으로 21일은 42mm, 26~27일은 120mm, 29~30일은 129mm, 7월 4~5일은 88mm, 13~15일은 355mm가 발생하였다. 대부분 지역에서 3~5회 정도로 강우가 반복되었고, 7월 14일 새벽 무렵부터 많은 지역에서 동시다발적으로 산사태와 토석류가 발생하였다. 이 지역 일대는 선캠브리아기 편마암과 중생대 유라기에 관입한 대보화강암이 분포하는 지역인데 암석의 형성시기와 유형은 다르지만 암석을 구성하는 조암광물이 유사하여 이들 암석이 풍화되었을 때 풍화토의 물리적 특성은 일부 유사할 수 있다. 6월에 시작된 3~4회의 선행강우로 인해 토층(풍화층과 붕적층)이 포화되거나 함수비가 높아진 상태에서 7월 13일 오후부터 시작된 강우로 인해 또다시 강우가 토층으로 침투하면서 토층의 하중은 증가하고, 침투한 강우가 암반과의 경계면의 마찰력을 저하시켜 산사태가 발생된 것으로 추정된다. 규모가 큰 산사태는 그 시작 지점의 위치가 7~9부 지점의 사면에 해당하고, 사면 붕괴로 인하여 계곡에 퇴적되어 강우로 거의 포화상태인 붕적층에서 토석류를 유발시켜 하부의 경작지와 마을에 많은 피해를 발생시켰다. 영주와 봉화지역에서 발생한 산사태 중에서 사면에서 비교적 소규모로 발생하였으나 붕괴물질이 사면과 연결한 민가로 유입되어 인명피해가 발생한 곳도 있다. 이러한 유형은 대부분 화강암 분포지역에서 발생하였다. 붕괴 전의 지형은 자연사면으로 관찰되지만 붕괴된 이후의 지형을 조사하면 풍화심도가 비교적 깊은 얇은 골짜기 형태를 보여주고 있어 강우가 침투될 때 중심부쪽으로 유입되면서 붕괴를 유발시킨 것으로 판단된다. 또한 발생규모에 비해 피해가 커진 이유는 민가가 사면에 연결해서 있어서 대피할 시간이 없었을 것이었다. 최근 우리나라의 장마 유형을 보면 장마전선이 북상과 남하를 반복적으로 하면서 일부지역에 집중호우를 발생시키는데 특히 장마 후반부에는 특정위치에서 전선이 이동하지 않고 정체하면서 2~3일정도 집중적으로 강우를 발생시키고 있다. 2020년의 경우는 함양~산청지역과 아산~음성~충주~제천지역에 장마가 집중되어 많은 피해가 발생하였고 이후 21년과 22년은 거의 피해가 없었지만, 올해 23년은 논산지역과 문경~예천~영주~봉화지역에서 많은 피해가 발생하였다. 전지구적 이상기후현상에 의하여 강우 형태가 과거와는 달라지고 있어 집중호우로 유발된 산사태에 의한 인명피해를 예방하기 위해서는 주민대피방안을 지금보다 더 촘촘하게 마련해야 할 것이다. 현재는 산림보호법과 재난안전법에 의거 주민대피가 이루어지고 있는데 향후 자연재해에 의한 효과적인 주민대피 방법(시기, 대피할 장소, 기간 등)을 다각도로 연구하여 할 것이다. 특히 강우가 올해처럼 반복적으로 발생할 때는 선행강우의 영향을 충분히 반영하는 산사태 예경보 모델의 고도화가 필요하며, 주민대피와 관련해서는 과학적 근거와 행정적 실행방안에 대해서 입체적으로 고민해야 할 것이라 생각한다.

사 사

본 연구는 산림청(한국임업진흥원)의 산림분야 재난재해의 현안해결형 연구개발(R&D)사업 (FTIS:2021342C10-2323-CD01)의 지원에 의하여 이루어졌습니다.

산사태 취약성 분석을 위한 XAI 기반 랜덤 포레스트 모델링

최지희*, 이정현, 안상아, 박혁진

세종대학교 지구자원시스템공학과 jihui1220@gmail.com

산사태 취약성 분석은 산사태 유발인자들과 산사태 발생 위치 간의 비선형적 관계를 분석하여 앞으로의 산사태 발생 가능성을 예측하는 중요한 방법이다. 이러한 데이터의 특성을 효과적으로 다루기 위해 머신러닝 기법이 널리 활용되고 있다. 그러나 머신러닝은 입력 데이터를 활용하여 출력 데이터를 예측하거나 생성할 때 내부 처리 과정을 명확히 설명하기 어려운 블랙박스 특성을 가지고 있어, 유발 인자 사이의 상관성이 모델에 영향을 미치는 과정과 분석 결과의 근거를 명확히 설명하는 부분이 부족하다. 이러한 이유로 XAI (eXplainable AI, 설명 가능한 AI) 기술의 필요성이 더욱 강조되고 있다. XAI는 모델이 어떻게 작동하며, 결정을 내리는 데 어떤 근거를 사용하는지 인간이 이해할 수 있도록 설명하는 기술이다. AI 모델의 복잡성과 설명 가능성은 종종 상충 관계에 있다. 따라서 본 연구에서는 AI 모델의 복잡성을 유지하면서도 설명 가능성을 양립하기 위해 대표적 머신러닝 모델인 랜덤 포레스트(random forest)를 선택하고, XAI를 적용하였다. 랜덤 포레스트는 앙상블(ensemble) 기법 중 하나로, 다수의 의사 결정 트리(decision tree) 형태로 구성된 모델이다. 랜덤 포레스트는 각 특성의 중요도를 평가할 수 있으며, 다수의 결정 트리를 결합하기 때문에 높은 예측 성능을 가지는 것과 부트스트랩 샘플링과 무작위 특성 선택을 통해 과적합(overfitting)을 방지하는 장점이 있는 모델이다.

랜덤 포레스트와 같은 앙상블 기법은 예측 성능을 향상시키는 데 효과적이지만, 블랙박스 형태로서 그 내부 동작을 이해하기 어려울 수 있다. 이러한 문제를 극복하기 위해 XAI 기술을 적용하여 모델의 결정 과정을 명확하게 설명했으며 이를 토대로 연구지역의 산사태 발생 가능성을 예측하였다. 본 연구에서는 2006년에 약 1,000여개소의 산사태가 발생한 강원도 평창군 진부면 일대를 연구지역으로 선정하였다. 산사태 유발 인자로는 고도, 사면경사, 사면방향, 평면곡률, 측면곡률, 표준곡률, 집수면적, TWI, SPI, 암종, 경급, 영급, 임상종류, 임상밀도, 토지이용, 토양배수, 토양통, 심토특성, 토양심도, 표토 특성의 20개 인자를 사용하였다. 랜덤 포레스트 모델의 예측 결과에 대해서 XAI의 데이터 시각화를 활용하여 모델의 의사 결정 근거를 분석하고, 결과의 우수성 여부와 관계없이 모델 개선에 기여하는 XAI의 특성을 활용하여 랜덤 포레스트 모델의 성능을 개선하였다.

사 사

이 논문은 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(No. 2021R1A2C100354013 and RS-2023-00222563).

데이터 탐색의 시각화를 이용한 머신러닝 기반의 산사태 취약성 분석

조은비*, 박정은, 이정현, 박혁진

세종대학교 지구자원시스템공학과 dmsql3718@gmail.com

최근 기후변화로 인한 집중호우가 심화됨에 따라 산사태의 피해 및 위험성이 증가하고 있다. 이에 따라 산사태와 관련된 연구들이 다양한 방법으로 수행되고 있는 가운데, 산사태 취약성 분석은 산사태의 발생 가능성을 예측하는 것을 목표로 하고 있다. 산사태 취약성 분석 과정 중 데이터 탐색 (Exploratory Data Analysis) 단계는 자료의 분포와 통계를 파악하여 특성을 이해하기 위한 과정으로 특히 산사태 유발 인자들의 상관도와 영향력을 알아보기 위해 필수적인 단계이다. 기초 통계 분석, 상관 분석, 데이터의 시각화와 같이 데이터 탐색의 여러 방법 중 본 연구에서는 데이터 시각화 분석에 중점을 두고 산사태 취약성 분석을 수행하였다. 머신러닝 모델로는 로지스틱 회귀분석 모델을 선택하였으며, 선별된 인자 중 랜덤한 인자들을 제외시켜 정확도를 확인하는 과정을 통해 모든 경우의 모델을 분석하였다.

연구 대상 지역은 2020년 8월 다수의 산사태가 발생한 충청북도 제천시 봉양읍으로 산사태 발생 이전의 데이터인 2019년도의 데이터를 수집해 17개의 산사태 영향 인자(임상종류, 경급, 영급, 임상밀도, 임분고, 유효토심, 표준곡률, 평면곡률, 측면곡률, 고도, 사면경사, 사면방향, 집수면적, TWI, SPI, TRI, 토지이용)를 분석에 적용하였다. 기초 통계 분석에서는 산사태 영향 인자들의 평균, 분산, 표준편차를 구해 각 인자의 특징을 이해하였고, 상관 분석에서는 pearson, kendall, spearman 상관관계 히트맵을 통해 각 인자들의 관계를 파악하였다. 또한 히스토그램 및 산점도와 같은 시각화 도구를 통해 산사태 유발 인자들의 특성을 시각적으로 파악함에 따라 데이터의 분포 형태를 파악하는 과정을 수행하였다. 특히 데이터 분석에 부정적인 영향을 주는 이상치를 제거하여 모델의 성능을 개선하기 위해 여러 방법을 사용하였다. 각 인자별 Box-and-whisker plot, Winsorization, Z Score, IQR method의 과정과 함께 특성 중요도에 따른 인자 선별 과정을 거치며 ROC 기반 AUC 그래프를 비교하는 과정을 통해 모델의 성능을 검증하고 보다 유의미한 결과를 얻고자 한다.

사 사

이 논문은 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(No. 2021R1A2C100354013 and RS-2023-00222563).

머신 러닝 회귀 모델과 딥러닝 모델을 활용한 산사태 취약성 분석

전원준*, 송원준, 윤아영, 전찬미, 이정현, 박혁진

세종대학교 지구자원시스템공학과 balldk0308@gmail.com

산사태 취약성 분석에서 데이터 기반 분석기법은 과거에 통계적 분석기법(statistical analysis)을 사용했지만, 최근 들어 머신 러닝과 같은 알고리즘의 발전으로 인해 다양한 특성과 불균형한 분포를 가진 데이터를 효과적으로 분석할 수 있게 되었다. 산사태 취약성 분석의 경우, 여러 발생 인자들을 바탕으로 산사태 발생 가능성을 0에서 1 사이의 값으로 예측한다. 본 연구에서는 다양한 머신 러닝 기법 중, label이 있는 데이터셋을 학습하는 방법인 Logistic Regression (LR), Support Vector Machine (SVM), Random Forest (RF), XGBoost, LightGBM 등의 회귀 모델과 딥러닝의 종류인 MLP (Multi-Layer Perceptron) 모델을 사용하여 산사태 취약성 분석을 진행하였다.

특히 RF, XGBoost, LightGBM의 세 가지 모델은 트리 기반 앙상블 모델로, 선형뿐만 아니라 비선형 관계도 모델링할 수 있다. 또한 각 특성의 중요도를 계산하여 어떤 특성이 예측에 가장 중요한지를 파악하여 더 많은 가중치를 주어 모델의 성능을 향상시키며, 그 결과 높은 정확도와 과적합을 방지한다. MLP 모델은 입력층(input layer), 하나 이상의 은닉층(hidden layer), 출력층(output layer)으로 구성된다. 각 층의 뉴런들은 이전 층의 모든 뉴런과 연결되어 있고, 손실 함수를 최소화하기 위해 순전파와 역전파를 반복한다. 이는 복잡한 비선형 관계를 모델링할 수 있으며 연속형, 범주형 데이터를 효과적으로 처리할 수 있다는 장점이 있다.

본 연구에서는 2020년에 산사태가 발생한 제천시 금성면, 명지동, 산곡동 지역을 연구지역으로 선정하였다. 산사태 유발인자인 고도, 사면경사, 사면방향, 평면곡률, 측면곡률, 표준곡률, SCA (Specific Catchment Area), TWI (Topographic Wetness Index), SPI (Stream Power Index)는 수치지형도로부터, 임상종류, 경급, 영급, 임상 밀도, 임분고는 수치임상도로부터, 토지이용은 토지피복도로부터, 암종은 수치지질도로부터, 토양심도는 토양도로부터 획득하여 DB를 구축하였다. 구축한 DB를 바탕으로 데이터 탐색을 실시하여 상관계수가 0.7 이상의 유발인자(표준곡률, 임상종류, 경급, 영급, 임분고)는 인자 중요도를 고려하여 제거하는 선별 과정을 거쳤다. 최종 선별된 12개의 인자들을 바탕으로 LR, SVM, RF, XGBoost, LightGBM 모델들과 MLP 모델을 학습시켜 산사태 취약성 분석을 수행하였으며, 각 모델의 성능은 ROC 기반 AUC Curve를 사용하여 각 모델의 성능을 평가하였다.

사 사

이 논문은 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(No. 2021R1A2C100354013 and RS-2023-00222563).

미국 중동부 지진원 특성화에서 지진원 해석 논리수목 접근 방식 사례 분석

권세현*, 최세운, 박동희

한국수력원자력(주) 중앙연구원 *sehyeon.gwon@khnp.co.kr*

지진재해도 평가 입력 지진원 모델의 해석적 불확실성(epistemic uncertainty)은 재해도 평가 결과에 미치는 영향이 크다. 해외 지진재해도 평가 사례를 살펴보면, 논리수목 접근 방식은 지진원 해석에 불확실성을 개선하는 방법론으로 인정된다. 한반도와 같은 대륙지각 판 내부 지역에서는 지표파열 유발 지진의 재현 주기가 길고 직접 관찰은 어려워, 지진원 고유 특성 해석에 불확실성이 높은 수준이다. 최근 한반도 동남권을 중심으로 활성단층 조사지점이 다수 보고되었고, 신뢰도 높은 지진재해도 평가를 위한 지진원 해석 방법론 개발의 필요성이 증대되었다.

이번 연구는 국내 지진원 평가 방법론 개발을 위해, 지진지체구조적 환경 측면에서 국내와 유사한, 2012년 수행한 미국 중동부 지진원 특성화 프로젝트(NRC, 2012)를 바탕으로 호주, 남아프리카 공화국, 브라질 등 대륙지각 판 내부 지역에서 논리수목을 활용한 지진원 평가 체계와 방법론에 대한 연구 동향을 보고한다. NRC (2012)는 미국 중동부 지역의 다양한 부지 조건에 있는 원자력 시설 부지에 대한 확률론적 지진재해도 평가에 활용 가능한 새로운 광역 지진원 모델을 개발하였다. 지진원 특성화에서 지진원 고유 특성 평가 기준은 (1) 지진 재현율(earthquake recurrence rate), (2) 최대 지진 규모(Mmax), (3) 예상 미래 지진 특성(단층 운동학, 파열 방향성, 심도 분포 등), 그리고 (4) 지체구조의 활동확률(probability of activity of tectonic feature)이다. 각 평가 기준은 재해도 계산 결과에 유의성에 따라 반영 여부를 결정하여 입력 지진원 모델의 복잡성 수준을 제한하였다. 논리수목 구성 초기 단계에서 전반적인 지진원 모델의 구성과 해석 방법론, 그리고 상대적인 신뢰도를 결정하고, 후속 지진원 평가에서 개별 지진원에 대한 해석과 평가에 일관성을 확보하였다. 논리수목은 지진원의 지진 재현율 그리고 Mmax 평가와 관련된 지진활동도 평활화를 나타내고, 미래 지진 특성의 차별성을 평가한다. 논리수목의 첫 번째 평가에서는 지진원 해석과 관련된 기본 개념 모델을 설정하고, 각 평가 방법론에 연계된 후속 노드에서는 개별 지진원의 특성과 관련된 해석적 불확실성과 대안 해석 모델을 다룬다. 특히 고지진학적으로 제4기 혹은 홀로세 시기에 반복 재발한 지진원에 대한 평가에는 대규모 지진의 시간적 군집화 특성을 평가 항목으로 구성하고, 평가 자료의 신뢰도에 따라 단층 지진원 혹은 면적 지진원으로 계산한다.

향후 논리수목 접근 방식에 의한 해외 지진재해도 평가 사례들의 국내 적용성을 사전 검토하고 국내 지진재해도 평가 입력 지진원 해석 논리수목 최적화 기술개발에 활용할 예정이다.

References

Nuclear Regulatory Commission (NRC), 2012, Central and eastern United States seismic source characterization for nuclear facilities, NUREG-2115.

해외 지진에 의한 단층 분기 파열 특성 예비연구

권세현*, 최세운, 박동희

한국수력원자력(주) 중앙연구원 *sehyeon.gwon@khnp.co.kr*

지진성 단층 파열 시나리오는 지진재해도 평가에서 지진성 단층 분절의 파열 거동 특성과 이웃한 단층 사이의 연계 파열 잠재성을 평가하는 모델이다. 이번 연구에서는 지진성 파열이 주 단층에서 분기 단층으로 전파되는 단층 분기 파열 특성에 대한 예비 연구 결과를 보고한다. 해외 지표파열 지진에 의한 분기 단층의 파열 특성에 대한 연구 동향을 분석하여 유발 단층의 기하학적 특성과 최대 수평 압력 방향(Smax), 그리고 분기 단층작용과의 상관성을 검토하였다. 파열의 분기 거동 특성에 따라 (1) 주 단층과 분기 단층 모두 파열, (2) 분기 단층에서 진행된 파열이 주 단층과의 교차점에서 정지, 그리고 (3) 주 단층을 따라 파열 진행되고 분기 단층작용이 나타나지 않는 파열 시나리오를 작성하였다. 각 파열 시나리오와 관련해 분석한 해외 지진 사례는 (1) 1992년 랜더스 지진, 1995년 고베 지진, 2016년 구마모토 지진과 카이코우라 지진, (2) 1990년 루손 지진과 2002년 데날리 지진, 그리고 (3) 2001년 쿨룬산 지진 등이다. 분석 결과, 단층 분기 거동 특성은 단층의 기하학적 불규칙성과 응력 방향이 이루는 각 관계에서 유의미한 상관성이 나타났다. 향후 해외 지표파열 지진의 단층 파열 거동 특성에 대한 추가적인 분석을 통해 국내 단층조사에서 단층 분절에서의 지진 전파 특성 해석과 시나리오 단층 지진원 모델 구축에 적용 가능성을 검토할 필요가 있다.

강원지역의 산사태 발생 현황 및 강우 양상을 고려한 최근 산사태 분석

김만일^{1)*}, 이지성²⁾, 이승엽³⁾, 김남균¹⁾

¹⁾산림조합중앙회 산림종합기술본부 mikim@nfcf.or.kr

²⁾부경대학교 스마트인프라기술연구소

³⁾프로테크엔지니어링 서울사무소

강원지역은 전체 면적 대비 산림 면적 비율이 약 81%로 매우 높으며, 과거 2002년 태풍 RUSA, 2003년 태풍 MEAMI, 2006년 태풍 EWINIAR 및 집중호우로 인해 산림지역을 중심으로 산사태 및 토석류 재해가 집중적으로 발생하였다. 본 연구에서는 1972년부터 2020년까지의 최근 50년간 강우량 분석을 위하여, 강원지역에 위치한 15개소의 유인기상관측소의 관측자료를 활용하였다. 분석 결과, 대관령(100) 기상관측소의 연평균 강우량이 1,633.3mm로 가장 크고, 강원도 정선군(217) 기상관측소가 1,146.0mm로 가장 적게 나타났다. 강원지역 연평균 강우량을 선형회귀 분석하면 강우량은 증가하는 추세를 보였으며, 1972년에 비해 2022년에 연평균 강우량이 약 106mm 증가함을 알 수 있다. 이는 전지구적인 기후변화 영향으로 인해 강원지역의 연평균 강우량도 점진적으로 증가하고 있는 추세인 것으로 판단된다.

강원지역 산사태 발생자료(1999~2018)는 구글어스의 디지털 항공사진과 한국지질자원연구원에서 구축된 자료를 재분석하여 GIS 환경에서 지점 자료로 총 19,487개소에 대해 공간정보를 분석하였다. 산사태 발생자료를 토대로 분석한 결과, 인제군(4,877개소), 평창군(4,212개소), 강릉시(2,972개소)로 가장 많은 산사태 발생한 것으로 집계되었다. 강원지역의 시·군별 면적 비율과 전체 산사태 발생개소에 대한 각 시·군별로 산사태 발생 비율을 분석해 보면, 인제군은 약 25%의 산사태 발생비율을 가지며, 이는 강원지역 전체 면적에서 두 번째로 높다. 평창군은 약 21%로 산사태 발생비율이 높고 강원지역 전체 면적에서 세 번째로 큰 비율을 가진다. 특히, 강릉시는 강원지역에서 여섯 번째의 면적 크기를 가지지만, 산사태 발생비율은 약 15%로 세 번째에 해당한다. 이는 단위면적당 산사태 발생비율의 관계에서 산사태 발생밀도가 높을수록 상대적으로 피해도가 클 수 있다는 의미이다. 강원지역의 시·군별 산사태 발생자료와 산사태 위험등급을 비교해 보면, 산사태 위험등급 비율은 1등급 11.7%, 2등급 21.0%, 3등급 34.5%, 4등급 24.3%, 5등급 8.5%로 분석되었다. 이를 산사태 발생지점과 중첩하여 분석해 보면 1등급 24.5%, 2등급 28.9%, 3등급 28.3%, 4등급 12.0%, 5등급 3.2%, 산사태 위험지도에 포함되지 않은 지점 3.1%로 나타났다.

2022년 8월 9일 강원도 횡성군 청일면 지역에서 발생한 산사태에 대해 물리기반모형인 TRIGRS를 적용하여 산사태 발생지역에 대한 안전율 변화와 산사태 위험등급을 비교 분석하였다. 산사태 발생 전 선행강우는 발생하였으나, 8월 5일부터 7일 사이에는 강우가 발생하지 않은 점을 고려하여, 산사태 유발 강우량은 8월 8일 강우시점부터 8월 9일 새벽 4시까지 내린 28시간 동안 내린 235mm를 유발 강우량으로 산정하였다. TRIGRS 분석을 위한 강우량 조건은 초기조건 0mm, 13시간 108mm, 18시간 151mm, 28시간 235mm로 설정하여 4가지 안전율 기준(1.0 미만, 1.0~1.2, 1.2~1.5, 1.5 이상)으로 분류하였다. 분석 결과, 강우가 발생하지 않은 초기 조건에서는 안전율 1.2 이상의 값을 보였으나, 강우지속시간의 증가에 따른 강우량이 커지는 조건에서는 안전율 1.0 미만이 상대적으로 증가하는 경향을 보였다. 또한, 안전율 1.2 미만이 108mm 강우(33.6%), 151mm 강우(38.5%), 235mm 강우(45.8%)로 점진적으로 증가함을 보여, 강우 침투에 따른 안전율의 감소가 직접적으로 산사태 발생에 영향을 미친 것을 알 수 있다. 따라서, 강우 침투에 따른 안정성 분석에 있어, 토층 지반의 물리·역학적인 상태(공극, 투수계수, 단위중량, 전단강도 등)와 강우 양상(강우지속시간, 강우량, 강우강도 등)을 선정하여 적용하는 것이 중요하다.

사 사

이 논문은 행정안전부 기후변화대응 AI기반 풍수해 위험도 예측기술 개발사업의 지원을 받아 수행된 연구임 (2022-MOIS61-001 / RS-2022-ND634011).

Markov Chain Monte Carlo를 활용한 확률론적 산사태 취약성 분석 예측 성능 개선

황인탁*, 박혁진

세종대학교 에너지자원공학과 hit7410@naver.com

물리사면모델 기반 산사태 취약성 분석은 사면의 기하학적 특성을 고려해 산사태 발생 메커니즘을 가정하고, 사면 구성 물질의 지질공학적 특성을 사용해 산사태 취약성을 분석한다. 이러한 분석 기법을 사용함에 있어 지질공학적 특성인 점착력과 마찰각은 사면 안정성을 판단하는 주요 인자이며, 현장에서 채취한 시료를 대상으로 실내시험을 수행하여 획득할 수 있다. 그러나 광역지역을 대상으로 분석을 수행하는 경우, 지반의 공간적 변동성과 시료 채취의 어려움으로 인해 전단강도정수를 정확하게 결정하기 어려우며, 따라서 상당한 불확실성이 개입될 수 있다. 이러한 불확실성을 정량화하기 위해 불확실한 변수를 확률변수로 고려하는 확률론적 분석방법이 활용되어 왔다. 확률론적 분석에서는 확률변수의 정확한 통계특성을 결정하는 것이 중요하며, 분석에 사용할 수 있는 정보가 많을수록 확률변수의 정확한 특성을 획득할 수 있다. 따라서 본 연구에서는 과거 사면붕괴 이력으로부터 전단강도정수에 대한 추가적인 정보를 획득할 수 있는 Bayesian back analysis의 하나인 Markov Chain Monte Carlo (MCMC)를 활용하여 전단강도정수의 추가 정보를 획득함으로써 산사태 취약성 분석 결과의 정확성을 향상시키고자 하였다. MCMC는 데이터 샘플링을 위해 직전 상태의 영향만을 고려하는 Markov Chain에 기반해 목표확률분포로부터 랜덤 샘플을 획득하는 샘플링 기법으로 Bayes' theorem과 결합을 통해 조건부 확률인 사후분포를 획득할 수 있다.

이를 위하여 2020년 8월 대규모 산사태가 발생했던 제천지역을 연구지역으로 선정하여 분석을 수행하였다. 산사태가 발생했을 때 전단강도정수의 확률분포인 사후분포를 계산하기 위해 산사태가 발생하기 전 전단강도정수의 분포인 사전분포 결정이 필요하다. 본 연구에서는 사전분포 결정을 위해 연구지역에서 채취한 토양시료에 대한 실내시험을 수행하였으며, 이를 바탕으로 산사태 위치에서 MCMC를 통한 back analysis를 수행해 점착력과 마찰각의 사후분포를 획득하였다. 획득한 전단강도정수에 대한 정보를 활용하여 점착력과 마찰각의 주제도를 업데이트하였으며, 이를 확률론적 산사태 취약성 분석 기법인 Monte Carlo simulation에 적용하여 취약성분석을 수행하였다. 또한 제안된 해석기법의 분석결과는 실내시험 결과만을 사용한 분석결과와 비교하였으며, 이를 통해 예측성능이 향상된 것을 확인하였다.

사 사

이 논문은 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(No. 2021R1A2C100354013 and RS-2023-00222563).

Machine Learning Approach for Forest Fire Susceptibility Assessment Considering Road Network and Car Speed

Kounghoon Nam¹⁾, Yujin Hwang¹⁾, Jongtae Kim²⁾, Mi-Na Jang³⁾, Chang-Oh Choo¹⁾,
Gyo-Cheol Jeong^{1)*}

¹⁾Department of Earth and Environmental Sciences, Andong National University jeong@anu.ac.kr

²⁾Nature and Tech Inc.

³⁾Forest Fire Management Research Center, Korea Forest Fire Management Service Association

Forest fires are among the most frequent natural hazards, leading to significant economic losses and extensive destruction of forest cover. This study evaluates the influence of car speed on forest fire susceptibility assessment (LSA). The Gangwon-do region in Korea, with its vast forest resources and rich ecological diversity, holds the distinction of being Korea's largest forested area. Given its significance, there's an urgent need for spatial data regarding the forest fire susceptibility of the region. This study produced a forest fire susceptibility map for Gangwon-do, taking into account the road network, car speed and three machine learning algorithms: Logistic Regression (LR), Support Vector Machine (SVM), and Random Forest (RF). OSMnx is a Python package that utilizes spatial data from OpenStreetMap (Boeing et al., 2017). It's particularly adept at network analysis tasks like routing and road visualization. While OSMnx doesn't directly provide car speed data, OpenStreetMap (OSM) can sometimes offer speed limit information for specific roads. Factors were compiled from topography, forest digital maps, forest soil digital maps, and the road network. To ascertain the accuracy, the area under the receiver operating characteristic curve (AUC) was compared between models that used car speed (speeds of 40 - 60, 61 - 80, and over 81 km/h) and those that did not. The AUC values for models incorporating car speed factors proved higher than those without.

Acknowledgement

This study was carried out with the support of R&D Program for Forest Science Technology (Project No. 2023476C10-2325-BB01) provided by Korea Forest Service (Korea Forestry Promotion Institute).

References

Boeing, G., 2017, OSMnx: New methods for acquiring, constructing, analyzing, and visualizing complex street networks, *Computers, Environment and Urban Systems*, 65, 126-139.

Landslide Susceptibility Assessment Using Hybrid Sampling Approach Based on Mahalanobis Distance

Kounghoon Nam¹⁾, Yujin Hwang¹⁾, Jongtae Kim²⁾, Mi-Na Jang³⁾, Chang-Oh Choo¹⁾,
Gyo-Cheol Jeong^{1)*}

¹⁾Department of Earth and Environmental Sciences, Andong National University jeong@anu.ac.kr

²⁾Nature and Tech Inc.

³⁾Forest Fire Management Research Center, Korea Forest Fire Management Service Association

This research is centered on the evaluation of a resampling methodology encompassing hybrid sampling techniques within the context of the random forest (RF) model for landslide susceptibility assessment (LSA). The study area chosen for this investigation is Hokkaido, Japan, which witnessed a significant landslide event comprising 5,625 occurrences, triggered by the 2018 Iburi earthquake. The primary objective of this research is to confront the challenge of class imbalance and enhance the accuracy of LSA. Multiple data sources are harnessed to gather conditioning factors, and an objective absence data sampling method based on the Mahalanobis distance is implemented to address the issue of unlabeled samples. The assessment of these values is carried out utilizing two diagnostic tools, the Precision-Recall curve (AUPRC). The findings underscore the improvement in performance as sample sizes increase, and they underscore the enhanced consistency achieved through the resampling approach compared to random sampling within the study area. To augment the precision and consistency of machine learning techniques in mitigating landslide risks, this study recommends the incorporation of hybrid sampling techniques and the adoption of Mahalanobis distance-based absence data sampling methods within the realm of LSA (Nam et al., 2023).

Acknowledgement

This study was carried out with the support of R&D Program for Forest Science Technology (Project No. 2023476C10-2325-BB01) provided by Korea Forest Service (Korea Forestry Promotion Institute).

References

Nam, K.H., Kim, J.T., Chae, B.G., 2023, Exploring class imbalance with under-sampling, over-sampling, and hybrid sampling based on Mahalanobis distance for landslide susceptibility assessment: A case study of the 2018 Iburi earthquake induced landslides in Hokkaido, Japan, *Geosciences Journal*, Accepted (No. GEOJ-D-23-00200).

홍천지역의 시추코어를 활용한 불연속면의 형태학적 분류

정유진¹⁾, 이재호¹⁾, 최정해^{2)*}

¹⁾경북대학교 지질학과

²⁾경북대학교 지구과학교육과 choi.jh@knu.ac.kr

암반 내에 존재하는 불연속면은 암반의 안정성에 직접적인 영향을 미치는 요소이며 특히, 고준위방사성폐기물 지층처분의 경우 이러한 불연속면은 지하수 이동의 중요한 경로(flow path)로 작용하기 때문에 지하수 내에 포함된 핵종의 지표 유출에 불리한 조건으로 작용할 수 있다. 암반 내 불연속면들의 다양한 형태는 지하수의 이동 및 지하수 내에 분포하고 있는 핵종의 이동에 영향을 미치며, 암반의 성질과 암반에 작용하는 응력 또는 암반의 변형 과정을 지시할 수 있다. 이러한 이유에서 고준위방사성폐기물 지층처분에 있어 핵종 이동을 해석하기 위해서는 불연속면의 형태학적 분류가 고려되어야 한다.

본 연구에서는 홍천지역 심부 시추공에서 관찰되는 절리면과 단층을 형태학적으로 분류하고 특징적으로 나타나는 형태에 대한 분류 모델을 제시하고 있다. 심부 시추공의 현장 조사를 통해 불연속면이 가지는 형태를 구분하였다. 절리면의 형태학적 분류는 Yoshida et al. (1989)이 제시한 모델을 따라 4가지로 분류하였다. 단층의 형태학적 분류에 있어서는 단층 core의 양상 및 파쇄대의 분포를 기준으로 4가지 형태로 분류하고, 밀도를 이용하여 단층 core 주변 손상대에 분포하는 불연속면의 공간적 배열을 분석하였다. 또한, 불연속면의 패턴이 갖는 지질학적 의미를 파악하기 위해 형상학적 패턴 비율의 심도와 암상에 따른 변화양상을 확인하였다. 본 연구 결과는 심부에서 채취한 시추코어에서 나타나는 불연속면의 형태학적 분류 및 3차원 지하공간에서의 불연속면의 해석을 위한 기초 자료로 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

사 사

본 연구는 2023년도 정부(원자력안전위원회)의 재원으로 사용후핵연료관리핵심기술개발사업단 및 한국원자력안전재단의 지원을 받아 수행된 연구사업임(No.2109092-0222-SB110).

References

Yoshida, H., Ohsawa, H., Yanagizawa, K., Yamakawa, M., 1989, Analysis of fracture system in granitic rock, Journal of the Japan Society of Engineering Geology, 30, 131-142.

드론 열화상 자료와 군집-이상값 분석 기법을 이용한 폐광산 갱구 탐지

최교익¹⁾, 정영국¹⁾, 한호상²⁾, 서장원^{2)*}

¹⁾한국광해광업공단 강원지사

²⁾강원대학교 에너지자원화학공학과 jangwonsuh@kangwon.ac.kr

갱구는 석탄 또는 광물 등의 지하자원개발이 이루어진 갱도의 입구로써 강우 발생시 지하수위 상승 등으로 인하여 갱내수가 유출되는 통로이기도 하다. 국내의 경우 갱구의 위치나 폐쇄 여부에 대한 정보가 불확실한 경우가 있어 갱내수 유출에 의한 수질·토양오염을 방지하기 위해서는 갱구에 대한 탐지가 필요하다. 따라서 본 연구에서는 무인항공기(이하 드론)로 촬영한 열화상 이미지(thermal infrared image)와 공간통계학에서 활용되는 군집-이상값 분석(cluster-outlier analysis) 기법을 이용하여 폐광산지역의 갱구 위치를 탐지하였다. 연구대상지역은 강원도 정선군에 위치한 삼척탄좌 정암광업소로 이 지역은 과거 약 38년간 석탄개발이 이루어지다가 2001년에 폐광되었으며 다수의 갱구가 위치하는 것으로 알려져있다. DJI Mavic 2 Enterprise Advanced 드론을 이용하여 폐광산지역의 50cm×50cm 공간해상도를 갖는 열적외선 영상을 획득하였다. 이후 격자셀의 열적 특성값(온도)을 대상으로 핫스팟 분석 기법을 적용하였다. 군집-이상값 분석은 데이터의 공간 패턴에 통계적(Anselin Moran's I)으로 유의한 군집이 있는지 확인하는 기법(ESRI, 2023)으로, 본 연구에서는 폐광산지역의 온도 분포를 통계적으로 분석하여 HH (High-High), LL (Low-Low), HL (High-Low), LH (Low-High) 영역 추출에 활용되었다. 일반적으로 연중 기온 10~15℃를 유지하는 갱도의 영향으로 갱구 앞의 기온 역시 약 15℃에 해당한다. 따라서 겨울을 제외한 계절(봄, 여름, 가을)의 오후 3시 경에는 일반적인 지표온도보다 갱구온도가 낮은 편이다. 이러한 원리를 통해 연구지역의 갱구 중 하나의 위치를 (핫스팟 분석 결과 중) 고온 군집 내 저온을 의미하는 HL 영역에서 탐지하였다. 이 외에도 일반적으로 도심지보다 저온인 산지 내에서 상대적 더 저온에 해당하는 LL 영역을 추가로 추출하였다. 이후 갱내도 자료와의 공간적 비교를 통해 갱구로 추정되는 지점을 도출하였다. 본 연구에서 제안한 갱구 탐지 기법은 아직 미확인된 갱구를 추가로 발견하는데 효과적으로 활용될 수 있을 것으로 기대한다.

사 사

본 연구는 2021년도 정부(산업통상자원부)의 재원으로 해외자원개발협회의 지원을 받아 수행된 연구임(데이터사이언스 기반 석유·가스 탐사 컨소시엄).

References

ESRI, 2023, ArcGIS pro - Optimized Outlier Analysis (Spatial Statistics). <https://pro.arcgis.com/en/pro-app/latest/tool-reference/spatial-statistics/optimizedoutlieranalysis.htm>

Time-lapse 전기비저항탐사 기법을 활용한 시공중 그라우팅 효과 분석

김종형^{1)*}, 신현범²⁾, 노영조²⁾, 박정민³⁾, 임국묵¹⁾, 최성도¹⁾

¹⁾㈜한세지반엔지니어링 sandstone@nate.com

²⁾한국농어촌공사 충남지역본부 환경지질부

³⁾한국농어촌공사 충북지역본부 환경지질부

방조제 및 저수지의 그라우팅 효과 판정을 확인하기 위한 지구물리탐사법은 대부분 전기비저항탐사를 활용하여 시공 전·후 측정을 통해 비교 분석하는 방법이 일반적이다. 본 연구는 그라우트재 주입 중 보강 효과를 확인하기 위하여 그라우팅 시공 구간에 전기비저항탐사 측선을 매설하고 Time-lapse(시간차) 기법을 활용하여 시공 중 일정 시간마다 탐사 측정을 통해 최초 탐사 결과로부터 변화되는 양상을 관찰하였으며, 이를 통해 그라우팅 시공 시 주입위치에 따른 전기비저항치의 변화비를 분석하여 이에 따른 그라우팅 영향범위 및 효과 분석을 수행하였다.

연구부지는 서해지역 방조제구간으로 전기비저항탐사 배열은 해수에 의한 영향을 고려, S/N비를 높이기 위하여 변형된 단극배열법(Modified Pole-Pole)을 사용하였으며, 탐사 측선은 원 위치에서 데이터를 획득하기 위해 시공구간에 호측으로 5m 떨어진 구간에 매설하였으며, 시공 기간 동안 총 20회 탐사를 통해 획득한 탐사 데이터의 변화비를 확인하여 그라우팅 시공 구간에 따른 비저항 변화 및 그라우팅 효과 분석을 수행하였다.

연구결과 Time-lapse 기법의 적용으로 그라우트재 주입 구간에 따른 시간경과 전기비저항탐사 변화비 확인을 통해 시공 중 주입공에서 퍼져나가는 주입재의 영향 범위 및 그라우팅 효과를 파악할 수 있었다. 또한 시간이 지남에 따라 시공구간 탐사 자료의 변화비가 상승하는 것으로 보아 그라우트재의 양생 정도도 확인할 수 있을 것으로 판단된다. 이러한 연구는 향후 그라우팅 시공구간을 보다 정확하게 파악하고, 그라우팅 효과 판정에 보다 정확한 정보를 제공하는 데 도움이 될 것으로 판단된다.

References

- 하명진. “2차원 전기비저항 모니터링 자료에 대한 시간경과 역산에서의 교차모델 제한자.” 국내석사학위논문 강원대학교, 2013. 강원도.
- 송성호, 이규상, 김진호, and 권병두. “방조제 누수지점 탐지를 위한 SP 및 단극배열 전기비저항탐사의 적용.” 자원환경지질 33.5 (2000): 417-424.
- 송성호, 이규상, 김영규, 성백욱, 김양빈, and 김동호. “방조제 해수유입 구간 탐지를 위한 전기, 전자탐사 적용.” 한국자원공학회지 44.3 (2007): 235-243.

GPR 탐사를 이용한 방조제 안전관리 방안 및 대책 제안

용환호^{1)*}, 이규상¹⁾, 임경학²⁾, 서상진¹⁾, 송성호¹⁾

¹⁾한국농어촌공사 농어촌연구원 yonghwanho@ekr.or.kr

²⁾주식회사 지오메카이엔지 기술연구소

방조제와 같은 대규모 수리시설은 안전점검에 어려움이 따른다. 시설 규모가 거대할 뿐만 아니라 제체를 구성하는 성토재 내부 구조에 대한 변화는 육안 관찰이 불가능하기 때문이다. 최근 방조제는 간척지 조성, 염해 피해방지의 궁극적 목적 이외에도 원활한 교통을 위해 차량이나 보행자의 통행이 점차 증가하여 안전관리가 더욱 중요시되고 있다. 특히 아스콘이나 포장재로 되어 있는 제체는 지반침하나 함몰이 발생해도 포장재의 지지력으로 인해 지표에서 확인되지 않는다. 이 경우는 지표면에 하중이 발생하는 경우 대형 사고로 이어질 수 있다.

제체 하부에 침하나 함몰로 인한 지하 공간을 확인하기 위해 GPR(Ground Penetration Radar) 탐사를 수행하였다. 공동에 의한 GPR 반응이 나타난 지점에서 소형 시추를 통해 공 내부에서 영상을 촬영하여 공동의 존재 여부를 확인할 수 있었으며, 이 결과는 보수·보강과 같은 사전 재해예방을 위한 의사결정 자료로 활용되었다. GPR 탐사자료에서 공동에 의한 반응은 공동 상부에서 지표면까지의 거리에 따라 보수·보강이 진행되어야 한다. 공동 상부에 토피가 얇을수록 함몰의 위험성이 증가하기 때문이다. 따라서 공동에 의한 반응이 나타난 지점에서 정기적인 GPR 탐사를 통해 공동의 확장 여부를 관찰하였다. 그 결과, 일부 지점에서 공동 상부의 토피가 점차 얇아지는 현상이 나타났다. 이 지점들은 모두 중점관리 구간으로 지정하여 방조제의 안전점검자들에게 제시되었다.

한편 사용된 GPR 탐사의 송·수신 주파수는 200 MHz, 600 MHz로 전기비저항이 낮은 제체의 특성상 가탐심도가 4 m 이내에 불과하다. 낮은 탐사심도를 극복하기 위해 MASW(Multi-channel Analysis of Surface Wave) 탐사를 수행한 결과, 공동이나 지반이완대가 발생한 지점 하부의 낮은 저속도 구간을 확인하였다.

이와 같은 결과를 바탕으로 향후 GPR 탐사, MASW 탐사 적용을 통해 침하, 함몰에 대한 사전대비가 가능해질 뿐만 아니라 제체 내부에 대한 기초자료를 제공함으로써 방조제 안전관리를 도모할 수 있을 것으로 기대한다.

사 사

본 연구는 농림축산식품부 새만금 조사연구 중 “새만금 방조제 안전성 확보를 위한 GPR 상시 모니터링” 연구과제의 지원을 받아 수행되었습니다.

도심지 지중오염 분포 파악을 위한 시추공 연계 전기비저항 탐사 해석

조아현¹⁾, 정인석¹⁾, 유희은¹⁾, 정주연¹⁾, 장한나¹⁾, 손정술²⁾, 남명진^{1),3)*}

¹⁾세종대학교 에너지자원공학과

²⁾한국지질자원연구원

³⁾세종대학교 지구자원시스템공학과 nmj1203@gmail.com/nmj1203@sejong.ac.kr

전기비저항 탐사는 지하 매질의 종류 및 분포, 지하수의 분포, 지하 매질의 공극률, 오염 분포 등에 따라 반응이 다르게 나타난다(Guo et al., 2014). 지표 전기비저항 탐사는 탐사 심도에 한계가 있고 심도가 증가할수록 분해능이 낮아져 정밀 영상화에 한계가 있어 이를 극복하기 위해 종종 시추공을 이용한 전기비저항 탐사가 수행된다(Daniels and Dyck, 1984; Shima, 1992). 시추공 연계 탐사는 건물 등의 인공구조물 하부에 대한 탐사도 가능하다(e.g. Goes and Meekes, 2004; Kim et al., 2006; Tsokas et al., 2011).

이 연구에서는 국내 도심지에서의 소수성 액체(non-aqueous phase liquid; NAPL) 오염 분포 파악을 위해 시추공 연계 전기비저항 탐사를 수행하였다. 시추공-지표와 시추공-시추공 뿐 아니라 단일 시추공 탐사까지 모두 적용하였으며, 각 탐사법의 민감도 및 분해능 등을 고려하여 전기비저항 분포를 해석하였다. 시추공-시추공 탐사에는 단극-쌍극자, 변형된 단극-쌍극자, 쌍극자-쌍극자 배열 등 다양한 전극 배열을 적용하였다. 각 탐사 자료를 역산하여 그 결과들을 비교 분석하고 또한 동시 역산도 수행하여 오염 영역에 대한 특성화를 수행하여 도심지에서의 시추공-시추공 전기비저항 탐사의 오염 탐사 가능성을 확인할 수 있었다.

사 사

본 연구는 환경부의 재원으로 한국환경산업기술원의 지중환경 오염위해관리기술개발사업(RS-2023-00230833)의 지원을 받아 연구되었습니다.

References

- Daniels, J. J., & Dyck, A. V., 1984, Borehole resistivity and electromagnetic methods applied to mineral exploration. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, (1), 80-87.
- Goes, B. J. M., & Meekes, J. A. C., 2004, An effective electrode configuration for the detection of DNAPLs with electrical resistivity tomography. Journal of Environmental & Engineering Geophysics, 9(3), 127-141.
- Guo, K., Milkreit, B., & Qian, W., 2014, Geometry factor for near surface borehole resistivity surveys: a key to accurate imaging and monitoring. GeoConvention 2014.
- Kim, J.H., Yi, M.J., Cho, S.J., Son, J.S., and Song, W.K., 2006, Anisotropic crosshole resistivity tomography for ground safety analysis of a high-storied building over an abandoned mine. J. Environ. Eng., Geophys., 11 (4), p.225-235
- Shima, H., 1992, Vertical electric imaging: a new technique to image electric reflectivity near borehole. In 54th EAEG Meeting, European Association of Geoscientists & Engineers. (pp. cp-45)
- Tsokas, G. N., Tsourlos, P. I., Vargemesis, G. N., & Pazaras, N. T., 2011, Using surface and cross-hole resistivity tomography in an urban environment: an example of imaging the foundations of the ancient wall in Thessaloniki, North Greece. Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C, 36(16), 1310-1317.

대심도 GPR 탐사를 이용한 지하구조 평가

유희은¹⁾, 유영철²⁾, 방은석³⁾, 고창성⁴⁾, 남명진^{1),5)*}

¹⁾세종대학교 에너지자원공학과

²⁾코탐

³⁾한국지질자원연구원 광물자원연구본부

⁴⁾제주연구원

⁵⁾세종대학교 지구자원시스템공학과 mnj1203@sejong.ac.kr

최근 GPR 탐사 장비들이 안테나는 일반적인 중첩 수를 증가시켜 향상된 신호대잡음비(signal to noise ratio) 신호를 얻는 것이 가능해졌을 뿐만 아니라 더욱 깊은 심도의 반사파도 측정이 가능해졌다. 특히 드론에 부착 가능한 안테나와 제어 장치가 무선으로 연결되는 장비들도 개발되어, 사람이 접근하기 어려운 지역에서는 드론을 이용하여 자료 취득하는 것이 가능하다.

이 연구에서는 제주도 용눈이 오름, 방애오름, 체오름에서 Radarteam社의 Cobra 시리즈 장비중 주주파수가 80MHz인 SE-70 안테나를 이용하여 40m 이상 심도까지 지질 구조를 분석하고자 하였다. 지표 탐사뿐 아니라 드론을 이용한 항공 탐사도 수행하였다. 드론을 이용한 탐사는 1m/s의 일정한 속도로 일정한 고도에서 수행하여, 거리와 고도에 대한 보정이 필요하지 않도록 하였다. 탐사 결과 오름의 퇴적 두께뿐 아니라 20m 이상 깊이에 있는 고지형의 구조도 매우 잘 나타나 지질학적 구조를 평가할 수 있었다. 주변에 잡음을 야기하는 인공 구조물이나 대상 매질이 상대적으로 함수율이 낮다는 점을 감안하더라도, GPR 탐사로 20m 이상 심도의 구조를 파악할 수 있다는 것은 의미가 있다고 할 수 있다. 향후 도심지 등 다양한 환경에서 탐사를 수행하여 주변 구조물에 의한 잡음 분리 등의 연구가 진행되어 의미 있는 결과를 도출할 수 있다면, 도심지 지반함물이나 지하수위 파악 등 여러 분야에서 활용할 수 있을 것으로 기대된다.

사 사

본 결과물은 환경부의 재원으로 한국환경산업기술원의 지중환경 오염위해관리기술개발사업의 지원을 받아 연구되었습니다(RS-2023-00230833).

인공위성 시계열 영상레이더 간섭기법을 이용한 소양강댐 변위 탐지

김태욱, 한향선*

강원대학교 지구물리학과 hyangsun@kangwon.ac.kr

댐은 관개, 홍수 조절 및 수력 발전에 도움을 주는 필수 인프라 시설 중 하나이다. 최근 기후변화로 인한 물 관련 재해의 빈번해짐에 따라 사회경제적 피해가 증가하면서 댐의 안정성 모니터링 필요성이 대두되고 있다. 댐체의 변위는 지반의 거동, 저수량 및 저수위와 방류량, 기온 등 다양한 요인에 의해 발생하며, 댐의 안정성을 지시하는 중요한 인자로 활용되고 있다. 우리나라는 현재 수자원 관리 및 수재해 모니터링을 위해 C-band 영상레이더(synthetic aperture radar, SAR)를 탑재한 수자원 위성(차세대중형위성 5호)을 2025년 발사 목표로 개발 중에 있다. 이 연구에서는 수자원시설물 안정성 모니터링을 위한 수자원위성 활용 기술 개발의 일환으로 인공위성 C-band SAR 영상을 위한 영구산란체 간섭기법(Permanent Scatterer Interferometric SAR, PSInSAR) 기반 변위 탐지 알고리즘을 설계 및 구축하였고, 2015년부터 2023년까지 취득된 Sentinel-1 C-band SAR 영상에 적용하여 소양강댐의 시계열 변위를 해석하였다. 소양강댐의 댐마루는 상향 및 하향 궤도의 SAR 관측 방향으로 각각 -2.4 mm/year와 -3.4 mm/year의 변위속도를 보였으며, 이는 댐마루의 침하에 지배적인 영향을 받는 것으로 추정되었다. 댐의 수문에서 관측된 SAR 관측 방향의 변위는 계절에 따라 증감하는 것이 관측되었다. 소양강댐의 SAR 관측 방향 변위속도는 5 mm/year 이하로 산출되었고, 이는 2015년 이후 소양강댐이 안정적인 상태를 유지해 왔음을 나타낸다. 이 연구를 통하여 Sentinel-1 C-band SAR 영상으로 소양강댐 변위의 시공간 변화 분석이 가능함을 확인하였다. 향후 더 높은 시공간 해상도의 SAR 영상을 제공하는 수자원위성을 활용하여 수자원시설물에 대한 더욱 정밀하고 효과적인 안정성 모니터링이 가능할 것으로 기대된다.

사 사

본 연구는 한국수자원공사(K-water) 수자원위성 지상운영체계 구축사업의 지원을 받아 수행되었습니다.

국내 납석 분포 지역 분석 및 활용 방안

강성승^{1)*}, 김다혜¹⁾, 박혜수¹⁾, 반상연¹⁾, 오태윤¹⁾, 이유빈¹⁾, 곽태종¹⁾, 위장복²⁾

¹⁾조선대학교 에너지자원공학과/첨단에너지공학과 kangss@chosun.ac.kr

²⁾(주)정진이앤씨

국내 납석(agalmatolite)은 주로 한반도 남서부의 전남과 남동부의 경남 지역에 집중해서 분포하는 광물이다. 납석 광상의 형성 시기와 환경은 백악기나 제3기의 화산암 기원의 열수변질형 광상, 고생대 부정합형의 열수변질형 광상과 변성 광상으로 구분되며, 백악기의 열수변질형 광상이 가장 우세하게 발달하여 있는 것으로 보고되었다. 납석은 엽납석(pyrophyllite, $A_1_2Si_4O_{10}(OH)_2$)이 주된 광물 성분이지만, 카올리나이트(kaolinite, $A_1_4Si_4O_{10}(OH)_8$)와 디카이트(dickite, $A_1_4Si_4O_{10}(OH)_8$)와 같은 고령토질 납석이나 일라이트(illite, $KA_1_2(Si,Al)_4O_{10}(OH)_2$)와 같은 견운모질 납석도 납석으로 취급되어 개발되고 있다. 미국지질조사국(United States Geological Society, USGS)에서 발행된 2015년 광물 연감의 세계 납석 생산량(Table 1)에서 알 수 있듯이 세계 최대 납석 생산국이 한국이며 2위가 일본으로 두 나라의 납석 생산량이 세계 총 생산량의 약 70%를 차지한다. 국내 납석을 생산하고 있는 광산은 2017년 기준 21개로 지역별 매장량은 전남이 가장 많고, 그다음으로 충북, 경남, 강원, 경북 순이다(Table 2). 국내 대표적인 납석 가행광산의 생산 실적을 정리하면 Table 3과 같다.

Table 1. World pyrophyllite production (USGS, 2015)

Country	Production (ton)				
	2011	2012	2013	2014	2015
Korea	510,708	483,133	524,881	662,865	600,000
Japan	350,000	340,000	340,000	340,000	340,000
India	251,939	248,022	217,690	207,454	147,431
Pakistan	69,176	75,891	88,989	80,289	113,509
Peru	30,389	30,399	31,678	17,859	26,209
South Africa	121,368	18,734	17,336	22,500	16,801
Total	1,410,000	1,250,000	1,270,000	1,370,000	1,280,000

Table 2. Reserves of pyrophyllite by region (KOMIS, 2018)

Region	Jeonnam	Chungbuk	Gyeongnam	Gangweon	Gyeongbuk
Reserves (ton)	44,725	29,671	12,539	4,663	4,648

납석의 결정구조는 평활도가 좋은 엽편상 결정형으로 쪼개짐과 요곡성의 특징을 가지며, 경도는 1.0-2.0, 비중은 2.8-2.9이다. 납석의 광택은 진주광택이며 색은 백색, 회색, 회황색, 황갈색, 녹색 등 다양하다. 납석은 내마모성의 물성적으로 안정화된 광물로서 중성의 pH를 띠어 살균제와 살충제 효능이 우수하고 높은 내열성과 낮은 가열 및 응축 효과도 뛰어난 특성을 갖는다. 이러한 성질 때문에 납석은 용도에 따라 내화 재료, 도자기 재료, 시멘트 첨가제, 페인트, 아스팔트 및 고무 충전재, 살충제 제조용 분산 충전재, 플라스틱 및 제지용 충전재, 그리고 유리 섬유용 등으로 이용된다. 현재 국내에서 납석을 활용한 핵심산업분야로는 수처리 세라믹 분리막 소재, 디젤엔진 배기가스 저감장치 세라믹 필터 소재, 유리섬유 및 LCD 패널 소재 등을 들 수 있다. 제품별 화학적 및 물리적 성질을 정리하면 Table 4와 같다.

Table 3. Production of pyrophyllite in operation mines (KOMIS, 2018)

Mine	Location	Production (ton)				
		2012	2013	2014	2015	2016
Jungang resource	Chungbuk Danyang	3.3	95.2	124.3	103.3	164.5
Wando	Jeonnam Wando	128.5	138.0	134.0	127.1	111.2
Naju ceramics	Jeonnam Naju	56.0	55.6	50.8	52.2	58.2
Cheongseok-Saj iweon	Chungbuk Danyang	22.9	3.0	29.5	24.7	23.6
Gyeongju	Gyeongbuk Gyeongju	23.0	22.5	21.6	24.0	21.6
Baekam	Jeonnam Haenam	22.9	20.5	20.4	20.8	21.5
Minkyong-No whado	Jeonnam Wando	103.5	109.1	101.0	11.6	14.3
Bugok	Jeonnam Haenam	23.0	22.5	17.8	13.7	9.8
Jinhae pyphyllite	Gyeongnam Jinhae	6.8	12.2	15.7	3.6	9.4
Bobae	Busan Gangseo	68.0	80.1	68.2	52.7	-

Table 4. Chemical and physical properties of pyrophyllite by product (KIGAM, 2010)

By use	By product	Chemical properties				Physical properties	
		SiO2 (%)	Al2O3 (%)	Fe2O3 (%)	CaO (%)	Refractoriness (%)	Outage (%)
Refractories	Acidic refractories, bricks	59.8	32.10	0.30	0.15	33	6.66
	Neutral refractories, bricks	64.4	24.60	1.17	-	34	9.78
Ceramics	Ceramics, tiles	68.0	21.60	0.60	3<	34	4.28
Cement, etc.	Back cement additive	75.8	15.17	0.25	-	-	5.00
	Pesticide additive	60.8	15.32	1.00<	-	28	-

사 사

본 과제는 교육부와 한국연구재단의 재원으로 지원을 받아 수행된 광주전남지역혁신플랫폼 미래형운송기기육성사업의 연구결과입니다.

References

- KIGAM, 2010, Resource overview.
 KOMIS, 2018, Korea Mineral Resource Information Service (www.komis.or.kr), pyrophyllite.
 USGS, 2015, Minerals Yearbook 2015 (Talc and Pyrophyllite).

Review of Investigation Cases of Fault Developed within the Overseas Nuclear Facility Sites

정수호*

한국수력원자력(주) 구조기술처 *jsh.1212@khnp.co.kr*

국내·외 원자력발전소(이하 원전) 건설과 운영을 위해서는 부지에 대한 지질·지진학적 안전성 확보가 최우선된다. 원전 부지의 지질·지진학적 안전성을 평가에는 다양한 사항들이 고려되지만 그중에서도 단층은 매우 중요한 요소로 면밀하게 평가되고 있다.

본 연구는 국외 원전 부지 내 단층 분포, 그중에서도 가까운 미래에 재활동할 가능성이 있는 제4기 단층(Quaternary fault)의 부지 내 분포 사례와 그에 대한 조치현황을 조사하고 국내 원전에 활용 가능성을 검토하는데 목적이 있다. 국내 원전의 건설 및 운영허가에 활용되는 규정으로 미국 원자력규제위원회(U.S.NRC: United States Nuclear Regulatory Commission) 규정 10 CFR Part 100 Appendix.A가 준용되고 있으므로 금번 조사 대상국은 미국으로 설정하였다. 현재까지 조사 결과 미국 내 6개 원전에서 부지 내 제4기 단층이 분포하는 것으로 확인되었다: 1) Seabrook; 2) Nine Mile Point; 3) San Onofre; 4) Byron; 5) Washington; and 6) Limerick Generating Station.

상기 6개 원전의 사업자들은 다양한 조사기법을 활용해 단층의 시·공간적 특성을 규명하였고 NRC로부터 운영허가를 취득하였다. 금번 검토된 각 원전의 인허가 과정에서 활용된 조사기법 및 지질공학적 조치사항들은 향후 국내 원전 부지의 안전성 증진 및 평가 분야에서 활용 가능 할 것으로 기대된다.

경주시 천북면 일대 신진기 퇴적암 내부 단열 발달특성 예비 연구

권세현*

한국수력원자력(주) 중앙연구원 *sehyeon.gwon@khnp.co.kr*

분지 충전 퇴적물 내부 단열은 분지 형성 이래 작용한 응력 조건(지체구조적, 유체압력 등)의 변화에 대한 정보를 제공하고, 분지 진화와 단열의 재활 잠재성 해석을 통한 지반 안전성 확보에 기초자료로 활용된다. 이번 연구에서는 경주시 천북면 갈곡리 일대 신진기 퇴적암 내부 단열의 형성과 관련하여 작용한 응력조건에 대한 예비 연구 결과를 보고한다. 야외 지질조사를 통해 연구지역 일대에 단열이 잘 발달한 노두 지점을 선정하여 단열의 방향성, 운동·기하학적 특성, 그리고 상호 교차 관계 등을 기재하고, 실내에서 정밀 단열 분석을 수행하였다. 조사지점에서 동남동 방향으로 경사하는 미교결 퇴적암은 주로 역암으로 구성되고, 사질과 이질 퇴적암이 교호한다. 그 내부에서 단열은 북북동-남남서 방향 저각의 소단층, 그 주변으로 2개 그룹의 북북동-남남서 내지 북동-남서 방향 단열조가 발달한다. 서북서 방향으로 약 40°내외로 경사하는 단열(그룹 1)은 사질 퇴적층 내부에 규칙적인 간격으로 발달하고 소단층에 접하고, 아수평한 단열(그룹 2)은 소단층에 예각으로 접한다. 단열 분석 결과, 그룹 1은 미교결 퇴적층의 경동(tilting) 이전에 북서-남동 내지 북북서-남남동 방향의 인장 응력 조건하에서 층리면에 아수직인 방향으로 형성된 인장성 단열로 해석된다. 그룹 2는 지층의 경동 이후, 북서-남동 방향의 압력 응력 조건하에서 층리면을 따른 전단작용과 관련하여 형성된 인장성 단열로 해석된다. 이는 연구지역 일대에서 보고된 신진기 지각변형 연구 결과와 유사하다. 이번 연구에서는 조사지점 인근에서 기보고된 제4기 단층과 관련된 단열 재활의 증거는 확인하지 못하였다. 향후 연구지역 일대에 대한 정밀 단열 분석을 통해 신진기 퇴적암 내부 단열의 형성시 응력조건과 현생 응력 조건하에서의 재활 잠재성 해석에 기초자료로 활용할 계획이다.

지반설계정수 디지털 맵 제작 기획 연구

김진환^{1)*}, 백용¹⁾, 이종현²⁾, 이규필¹⁾, 김우석¹⁾

¹⁾한국건설기술연구원 지반연구본부 goethite@kict.re.kr

²⁾한국건설기술연구원 건설산업진흥본부 중소기업지원실

4차산업, AI 시대, 스마트건설 시대에 가장 중요한 것은 디지털 데이터다. 토목 건설분야의 기초 데이터는 지반조사로부터 시작된다. 시추조사 데이터 관리를 위해 국토교통부에서는 국토지반정보 통합DB센터를 운영하고 있으나 데이터의 유통에 초점이 맞추어져 있어 소극적인 관리가 이루어지고 있다(국토교통부, 2023). 본 기획 연구는 각종 건설공사의 설계, 시공을 위해 수행하였던 지반조사 결과를 장기적으로 활용하는 방안을 검토하는 것이다. 지반조사 데이터 관리의 개선 방향을 도출하고, 활용 가능한 서비스 방안을 모색하였다. 지반조사 자료 활용 방안으로 시범지구를 설정하고 시추조사 정보 중, 일부 설계정수를 이용하여 ‘지반설계정수 디지털 맵’ 제작하였다. 지반설계정수 디지털 맵 제작 과정에서 데이터 부족의 문제점이 나타났으며 맵을 작성하기 위한 알고리즘에 대한 보완 사항도 도출되었다. 추가 연구를 통해 보다 완성된 지반설계정수 디지털 맵을 제작할 수 있을 것이다.

사 사

본 연구는 과학기술정보통신부 한국건설기술연구원 연구운영비지원(주요사업)사업으로 수행되었습니다(과제번호 2023 0096-001, 지반분야 재난재해 대응과 미래 건설산업 신성장을 위한 지반 기술 연구 (3/3)).

References

국토교통부, 2023, 국토지반정보 통합DB센터, <https://www.geoinfo.or.kr>.

건축자재에 함유된 석면의 분석공학적 규명 및 도시재생사업 기여도 고찰

심혜지¹⁾, 유재형^{2)*}, 김혜수¹⁾

¹⁾충남대학교 우주지질학과

²⁾충남대학교 지질환경과학과 jaeyu@cmu.ac.kr

석면은 국제보건기구 지정 1군 발암물질로 국내에서는 석면안전관리법, 산업안전보건법 등으로 위해성과 규제를 명시하여 관리하는 위험 물질이다. 그럼에도 석면은 1990년대 후반까지 다양한 건축자재에 활용되어, 석면으로 인한 피해가 100억 원을 초과하였다. 따라서 석면을 함유한 건축자재는 도시재생사업에 있어 우선으로 해결해야 할 문제로 고려된다. 석면함유 건축자재 주재료로 사용되는 석면은 백석면, 청석면, 갈석면, 투섬석 등 다양한 광물이 있으나, 기존의 조사법은 석면함유 여부만을 규명했을 뿐, 이들에 대한 분석 공학적 연구는 미미한 실정이다. 본 연구는 국내에서 활용되는 다양한 건축자재들을 대상으로 주사전자현미경, X선 회절 분석, 가시 적외선 분광분석을 활용하여, 건축자재에 함유된 석면의 분석 공학적 특징을 규명하였다. 그 결과 석면을 함유한 건축자재의 경우, 특징적인 침상 구조가 주사전자현미경에서 관찰되었으며, X선 회절분석 결과 대부분 백석면을 함유하고 있는 것으로 확인되었다. 또한 이들의 전자기파 반응 특성을 고려할 때, 석면 광물이 발현하는 흡광 특성이 관찰되었다. 해당 분광 특성은 초분광탐사기법을 활용할 경우 석면을 함유한 건축자재를 영상화할 수 있는 가능성이 있음을 지시한다. 이러한 가능성은 도시재생사업의 주요 해결 대상인 석면철거에 있어 효율적인 대안을 제시할 것으로 기대된다.

CO₂-EWR 시스템 내 반응용기의 설계인자 도출을 위한 시뮬레이션 연구

김미래*, 석기범, 안준영, 전성천, 천정용

(주)지오그린21 alfo5800@geogreen21.com

Enhanced Oil Recovery(EOR) 기술은 석유 분야에서 물이나 CO₂ 등을 추가적으로 주입하여 석유 회수율을 증진시키는 목적으로 개발되었다. 이에 착안하여 CO₂를 감축하기 위한 Carbonate Capture and Storage(CCS) 기술에 EOR을 활용한 CO₂-EWR(Enhanced Water Recovery) 기술은 양수시스템을 통해 주입압을 완화하여 CO₂ 주입성을 향상시키는 기술로, ○○지역에서 실제로 적용하여 연구가 수행되었지만 여전히 자료가 부족한 상태이다. 이에 본 연구에서는 실증규모의 CO₂-EWR 모사실험 시스템을 구축하기에 앞서 다양한 실험조건을 설정하고 시뮬레이션하여 시스템 설계에 필요한 인자를 도출하고자 하였다. 실증규모 시스템은 크게 모래나 암석 등이 충전되는 고압용기, CO₂ 주입장치, 온도조절장치, 양수장치 등으로 구성되며, 고압용기로부터 충전재의 유실을 막기 위해 필터가 설치되어야 한다. 이렇게 구성된 시스템에서는 1) 필터에 의한 차압발생, 2) 고압용기와 필터 사이 등 시스템 내 Dead volume이 발생할 수 있기 때문에, 이를 시뮬레이션을 통해 평가하였고, CO₂ 거동 양상에 어떠한 영향을 주는지 평가하였다. 시뮬레이션은 Computer Modeling Group (CMG) 프로그램을 이용하여 모델링하였다. 시뮬레이션 기본조건은 빈공간에 대한 공극률 0.999, 투과도는 임의적으로 1,000 mD와 10,000 mD로 설정하였으며, 충전재의 공극률은 0.4, 투과도는 1000 mD, 온도와 압력은 저압환경(24도씨, 1기압)과 고압환경(50도씨, 80기압)으로 설정하였다. 필터에 의한 차압발생을 평가하기 위한 시뮬레이션에서는 공극률 0.3, 투과도 52 mD일 때 유량을 1PV/5hour, 5PV/5hour 설정하여 시뮬레이션한 결과, 차압이 각각 0.06 kPa, 0.4 kPa으로 낮게 발생하는 것으로 나타났는데, 이는 Filter의 길이는 1 cm로, 길지 않기 때문인 것으로 판단된다. Dead volume이 있을 경우의 시뮬레이션한 결과, Dead Volume의 투과도가 충전재의 투과도보다 높을수록 Dead Volume에서의 CO₂ 이동은 용기 내에서 상부층으로만 잘 이동하는 것을 확인하였다. 이는 Dead Volume의 투과도가 높을수록 CO₂의 부력 영향을 더 많이 받은 것으로 판단된다. 필터와 Dead Volume의 영향으로 인한 CO₂ 거동 양상을 비교한 결과, 필터보다 Dead Volume의 영향을 가장 많이 받았으며, 기존 CO₂ 주입이 중앙을 기준으로 호를 그리며 골고루 퍼지는 반면, Dead Volume의 영향이 커질수록 CO₂가 위로 이동하는 영향이 커져 점차적으로 직선형태로 CO₂가 주입되는 것을 확인할 수 있었다. 이를 반영하여 실증규모 CO₂-EWR 모사실험 시스템은 필터의 차압 및 Dead Volume의 영향을 최소화할 수 있도록 설계하여 구축할 예정이다.

사 사

본 연구는 2021년도 산업통상자원부의 재원으로 한국에너지기술평가원(KEPTPE)의 지원을 받아 수행한 연구결과입니다. (No.20212010200010)

산불 지역과 비산불 지역 토층의 열 변화에 따른 점토광물 특성 비교

추창오¹⁾, 김만일²⁾, 김종태³⁾, 남경훈¹⁾, 황유진¹⁾, 정교철¹⁾*

¹⁾국립안동대학교 지구환경과학과 jeong@anu.ac.kr

²⁾산림조합중앙회 산림종합기술본부

³⁾자연과 기술(주)

산불은 토양의 중요한 물리, 화학적 특성 변화를 일으키는데 토양 광물조성, 토양수의 반발성, 토양 덩어리의 안정성, 토양 조직의 변화를 초래한다. 산불 화재 동안 토양의 온도는 토양의 심도에 따라 크게 변하며, 산불은 토층의 물성을 변화시켜 산 사면의 안정성에도 크게 영향을 미친다. 이 연구에서는 2022년 울진산불 발생지역 현장과 그 인근 산불 미발생 지역에서 경사도와 위치를 고려하여 표층과 표토하 10cm 지점의 토층을 대상으로 열분석을 실시하여 토층의 구성 광물의 특성 변화를 해석하였다. 토층 시료는 상온 및 350°C, 500°C에서 열처리한 후에 각각 X-선 회절분석(XRD)을 실시하였다. 토양은 열에 따른 구성 광물조성 변화를 보일 뿐만 아니라, 유기물과 함철성분의 연소 때문에 색상변화를 보인다. 고온으로 갈수록 석영, 장석류의 함량은 증가하며, 점토광물과 비정질 광물의 함량은 감소한다. 함수성, 저온성인 이들 이차광물이 고온에서 구조가 파괴되었기 때문이다. 산불 미발생 지역 토층에서는 500도 가열 시 버미큘라이트(vermiculite), 녹니석, 카올리나이트와 같은 점토 광물류는 거의 소멸한다. 산불 발생지역에서는 표층과 지하 토층의 광물 조성비는 거의 흡사하며, 지하에서는 각섬석이 잔류한다. 버미큘라이트, 일라이트/버미큘라이트 혼합층상구조 광물은 산사면의 상부에서 산출된다. 산불 발생지역에서는 물라이트(mullite), 아날사이트(analcite), 적철석 등이 소량으로 확인되었으며, 일라이트/버미큘라이트 혼합층상구조 광물은 특히 표토에서 특징적으로 확인된다. 이에 반해 산불 미발생지역에서는 일라이트/버미큘라이트 혼합층상 구조 광물은 산출되지 않는다. 이는 산불화재의 영향을 받는 인자로 적용할 수 있을 것으로 판단된다. 이같은 팽창성 점토광물은 토층 내에서 체적변화가 심하기 때문에 강우시 사면 지반의 안정성에 영향을 미칠 수 있다.

사 사

본 연구는 산림청(한국임업진흥원) 산림과학기술 연구개발사업(2023476C10-2325-BB01)의 지원에 의하여 이루어졌습니다.

폐기물 매립시설 비탈면 하부 옹벽의 안정성 검토 사례 연구

황성필*, 김우석, 박병석, 우용훈

한국건설기술연구원 지반연구본부 hsp@kict.re.kr

매일 많은양이 배출되는 폐기물은 매립시설을 통해 매립 처리되며, 이러한 매립시설의 안정성은 환경오염 등의 피해를 막기 위해 엄격하게 관리될 필요가 있다. 국내 매립시설의 경우 매 3년마다 정기검사를 통해 그 안정성을 검토하고 있으며, 종료 후에도 30년 이상 사후관리를 통해 관리하고 있다. 이러한 매립시설의 안정 관리를 위해 매립시설에 존재하는 다양한 토목구조물의 안정성도 검토되고 있다. 본 사례 연구에서는 매립시설 비탈면 하부에 존재하는 옹벽의 안정성 검토 사례를 분석하였다.

사례연구된 매립시설의 비탈면 하부 옹벽의 총 연장은 529m이며 높이는 1.8m~2.95m로 설치되어 있다. 외관조사 결과 균열(폭 0.3mm미만, 이상)(7.20m, 31.00m), 단차(3.00m²), 시공이음부 파손(5.40m²), 이격(6.00m), 재료분리(1.00m²), 파손(0.15m²), 인도 침하(1ea), 수로 덮개 유실(14ea), 배수공 세립토 배수 흔적(27ea), 토사 유실(30.00m²) 손상 등이 조사되었다. 조사된 손상 중 이격은 시공 초기 건조수축 및 온도응력으로 발생한 균열이 이격으로 진전된 것으로 사료되며, 각 손상별 적절한 보수 및 지속 관찰을 실시한다면 구조물의 내구성 및 사용성에는 문제가 없을 것으로 판단된다.

강도측정결과 옹벽 벽체는 24.0~26.7MPa로 조사되어 전 개소에서 추정설계기준강도(24.0MPa)의 100% 이상으로 측정되어 콘크리트 강도 상태는 전반적으로 양호하였다.

본 매립시설 외곽 옹벽에 대한 외관조사 및 기울기 측정결과 중대결함에 포함되는 손상은 조사되지 않았으며, 외관조사 결과를 바탕으로 안전등급을 산정한 결과 『보조부재에 경미한 결함이 발생하였으나 기능 발휘에는 지장이 없으며 내구성 증진을 위하여 일부의 보수가 필요한 상태』인 “B(양호)”로 평가되었다.

2023년 (사)대한지질공학회 임시총회 및 추계학술대회

총괄위원회

위 원 : 강성승 부회장, 백용 부회장, 전병칠 부회장, 김지욱 부회장

실행위원회

위원장 : 최정해, 장현식

학술분과 위원장 : 장현식

위 원 : 박유철, 양민준, 유재형, 한향선, 김승현, 송영석

홍보분과 위원장 : 임국묵

위 원 : 고정희,곽정하, 박정근, 송재용, 주병찬, 한기환

행사분과 위원장 : 유영철

위 원 : 권오일, 이종현, 채병근, 유병욱, 김만일, 이병욱, 이지형

인 쇄 일 : 2023년 10월 23일

발 행 일 : 2023년 10월 26일

발 행 처 : (사)대한지질공학회

2023 (사)대한지질공학회 임시총회 및 추계학술대회

The Korean Society Of Engineering Geology

초록집

10. 26.(목) - 27.(금)

여수 히든베이호텔



대한지질공학회
The Korean Society of Engineering Geology