



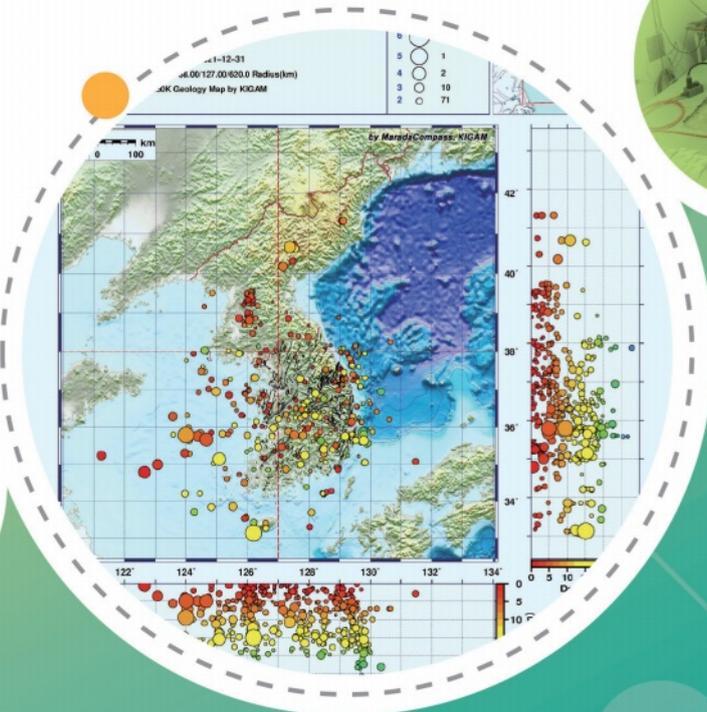
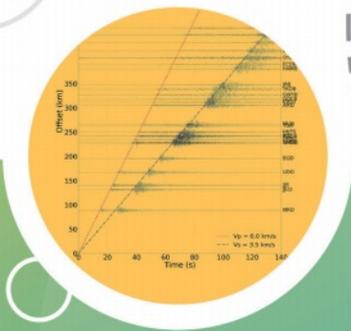
2024

봄 학술대회 초록집

한반도 지진과 국민안전: 지구물리·물리탐사의 역할

2024. 3. 27. (수) ~ 3. 29. (금)

경북대학교 글로벌플라자



초대의 글



한국지구물리·물리탐사학회 회원여러분 안녕하십니까?

먼저 2024년 한국지구물리·물리탐사학회의 봄 학술대회를 축하해 주시기 위해 참석해주신 홍원화 경북대학교 총장님, 정현숙 기상청 지진화산국장님, 그리고 기조강연 해주시는 홍태경 연세대학교 교수님께 감사의 말씀드립니다. 해방이후 대한민국의 역사와 함께 발전하는 국립 경북대학교에서 봄 학술대회 개최를 허락해 주신 경북대학교 관계자 여러분들께 다시 한 번 깊은 감사를 드립니다.

지난 20세기에서는 한반도 내에서 지진의 위험을 거의 느끼지 못했었습니다. 그러나 2016, 2017년에 발생한 규모 5 이상의 경주·포항 지진에 의하여 막대한 재산피해가 발생하는 등, 이제는 한반도가 더 이상 지진의 안전지대가 아님을 보여주고 있습니다. 국민생활과 안전에 큰 영향을 끼치는 지진에 대비하기 위하여 우선적으로 해야 할 것이 우리나라에서 발생하는 지진에 대한 심층조사일 것입니다. 이에 가장 중요한 역할을 하는 학문분야가 바로 지구물리·물리탐사 분야입니다. 이러한 관점에서 이번 봄학술대회의 주제를 '한반도 지진과 국민안전: 지구물리·물리탐사의 역할로 설정한 것은 시의적절한 것으로 생각합니다.

이번 학술대회는 3일 동안 진행됩니다. 첫째 날은 회원여러분의 역량강화를 위한 단기강좌 “방사성 폐기물 심층처분을 위한 탐사와 평가”를 진행합니다. 둘째, 셋째 날은 학술논문의 구두 및 포스터 발표, 간담회로 진행되며 각각의 논문발표와 세션에 회원 여러분의 많은 참여가 기대되고 있습니다. 이번 학술대회를 통하여 회원들간의 학술교류가 더욱 증진되고 친목도모가 활발히 이루어지기를 바랍니다.

마지막으로 이번 학술대회의 준비를 위하여 힘써주신 김영석 준비위원장을 비롯한 여러 준비위원께 감사드립니다. 그리고 학술대회의 성공적인 개최를 위하여 아낌없는 후원과 협찬을 해주시는 많은 기관과 기업들에게 고개숙여 감사드립니다.

올해에는 다른 해에 비하여 이른 3월에 학술대회를 개최하여 상당히 쌀쌀한 날씨를 보이고 있습니다. 회원 여러분의 건강에 각별히 신경써 주시길 바라며, Colorful Daegu 경북대에서 알찬 학술대회를 즐기시기를 기원합니다.

감사합니다.

2024년 3월

한국지구물리·물리탐사학회 회장 **홍종국**

환영사



존경하는 한국지구물리·물리탐사학회 회원 여러분 그리고 한국지구물리·물리탐사학회 2024년도 봄 학술대회 참석을 위해 멀리서 귀한 걸음 해 주신 연구자 여러분!

경북대학교를 방문해 주신 여러분을 진심으로 환영합니다.

새로운 봄이 시작되는 3월, 한국지구물리·물리탐사학회의 2024년도 봄 학술대회 개최를 진심으로 축하드립니다. 한국지구물리·물리탐사학회는 2007년 대한지구물리학회와 한국물리탐사학회가 통합된 이래 한국을 대표하는 지구물리·물리탐사 분야의 중심 학회로서 선도적인 역할을 하고 있습니다. 이번 학술대회는 '한반도 지진과 국민안전: 지구물리·물리탐사의 역할'을 주제로, 많은 분들이 함께해 주셨습니다. 감사드립니다.

현재 우리는 과거 어느 때보다도 지구물리·물리탐사 분야의 전문 지식이 필요한 시대를 살고 있습니다. 전 세계적으로 지구온난화 문제가 점점 심각해지고 있으며 탄소 중립 목표 달성을 위한 기술 개발의 필요성이 높아지고 있습니다. 또한 고준위 방사성 폐기물 심층처분, 지진 재해 대비와 같이 국민의 안전과 관련된 기술의 수요도 확대되고 있습니다. 이 모든 것들의 바탕에는 지구물리·물리탐사 분야의 전문 지식이 필요합니다. 이번 학술대회는 물론 관련 분야 연구자들의 역할이 중요한 이유입니다.

이번 학회는 지구물리학과 물리탐사 분야의 선도적인 연구자들이 한자리에 모여 연구 성과를 공유하고 서로 협력하여 새로운 아이디어와 기술을 발전시키기 위한 의미 있는 자리입니다. 참석하신 모든 분께 서로의 경험과 지식을 나누고 함께 성장할 수 있는 소중한 시간이 되기를 기대합니다. 순수한 학문적 성과를 공유하는 것뿐만 아니라, 우리가 직면한 공동의 문제들의 해결 방안을 모색하는 뜻깊은 자리가 되기를 기대합니다.

성공적인 학술대회 개최를 위해 많은 분들이 애써주셨습니다. 홍종국 회장님과 준비위원께 특별한 감사와 존경을 전합니다. 아울러 한국지구물리·물리탐사학회와 회원 여러분의 앞날에 좋은 일만 가득하시길 기원합니다.

감사합니다.

2024년 3월
경북대학교 총장 **홍원화**

축사



한국지구물리·물리탐사학회 회원 여러분, 그리고 홍종국 회장님과 내빈 여러분 반갑습니다. 오늘, 지진을 비롯한 지구물리 분야와 물리탐사 분야 학술연구와 산업계를 아우르는 한국지구물리·물리탐사학회에서 축사를 하게 된 것에 뜻깊게 생각합니다. 특히, 이번 학술대회에서 '한반도 지진과 국민안전'을 위한 지구물리·물리탐사 분야의 역할을 논의하게 된 것에 대해 최일선에서 지진으로부터 국민의 생명을 보호하고 안전을 지키는 임무를 수행하고 있는 기상청을 대표해서 감사의 말씀을 드립니다.

지난 2016년 경주지진과 2017년 포항지진으로 이곳 대구와 경북지역은 큰 진동과 함께 지진피해도 경험했습니다. 그 이후로도 작년 규모 4.0의 경주지진과 규모 4.5의 동해 해역지진 등 한반도와 주변 해역에서 국민들이 느끼고 진동으로 불안해할 수 있는 지진이 이어지고 있습니다. 그뿐만 아니라 지난 1월 1일 일본 노토반도에서 대규모 지진이 발생해 진앙 주변 지역에 큰 피해를 안겼으며 뒤따르는 지진해일은 동해를 거쳐 우리나라 동해안까지 도달했습니다. 이번 사례에서는 다행히 피해가 없었지만, 과거에도 동해안은 지진해일로 인한 피해가 있었던 만큼 언제 발생할지 모르는 지진과 지진해일에 대한 사전 대비와 대응체계 구축이 중요하다고 하겠습니다.

그런 의미에서 지구물리와 물리탐사 분야의 역할이 매우 중요하며, 오늘 한반도 지진과 국민안전에 대한 특별세션이 개최되어 고무적이라 생각합니다. 아무쪼록 지진피해를 최소화하고 국민안전을 확보하는데 기여할 수 있는 다양하고 건설적인 논의가 이루어지기를 바랍니다. 기상청에서도 활용 가능한 연구성과와 발전적인 제안들을 현업에 적용하고 대국민 서비스에 반영해 나가도록 노력하겠습니다. 감사합니다.

2024년 3월
기상청 지진화산국장 정현숙

2024 봄 학술대회

한반도 지진과 국민안전: 지구물리·물리탐사의 역할

프로그램

» 3월 28일(목)

시간	프로그램
09:00-10:00	등록
10:00-10:30	개회식 <ul style="list-style-type: none">• 개회사: 홍종국 회장(한국지구물리·물리탐사학회)• 환영사: 홍원화 총장(경북대학교)• 축사: 정현숙 지진화산국장(기상청)
10:30-11:00	기조강연 <ul style="list-style-type: none">• 한반도 지진의 특성과 전망 홍태경(연세대학교)
11:00-11:30	정기총회
11:30-12:30	점심
12:30-13:30	일반세션 1 탄성파/기계학습 <ul style="list-style-type: none">• 좌장: 김원기(충북대학교)
13:30-13:40	휴식
13:40-14:40	특별세션 I 한반도 지진활동과 지진재해 I <ul style="list-style-type: none">• 좌장: 손민경(한국지질자원연구원)
14:40-15:40	특별세션 II 한반도 지진활동과 지진재해 II <ul style="list-style-type: none">• 좌장: 박성준(연세대학교)
15:40-15:50	특별세션 토론
15:50-16:00	휴식
16:00-17:00	일반세션 2-1 공학/실무 <ul style="list-style-type: none">• 좌장: 전형구(경북대학교)
17:00-17:15	휴식
17:15-18:30	일반세션 2-2 지진/지구물리 <ul style="list-style-type: none">• 좌장: 박은진(한국지질자원연구원)
19:00-21:00	간담회(호텔 인터볼고 엑스코)

2024 봄 학술대회

한반도 지진과 국민안전: 지구물리·물리탐사의 역할

» 3월 29일(금)

시간	프로그램
09:00-10:00	등록
10:00-11:30	일반세션 3-1 물리탐사 • 좌장: 신영재(경상국립대학교)
11:30-11:45	휴식
11:45-12:45	일반세션 3-2 국제공동연구 • 좌장: 정우근(한국해양대학교)

단기강좌

» 3월 27일(수)

- 행사장소: 경북대학교 글로벌플라자 201호
- 행사주최: 한국지구물리·물리탐사학회
- 행사후원: 경북대학교

방사성 폐기물 심층처분을 위한 탐사와 평가		좌장: 신제현(한국지질자원연구원)
시간	발표자	제목
13:00~14:00	정미선 (한국원자력환경공단)	심층처분시설 개요 및 현황
14:00~15:00	최정해 (경북대학교)	국외사례를 통한 지질공학적 부지특성 평가인자
15:00~15:20	휴식	
15:20~16:20	이성곤 (한국지질자원연구원)	고준위 방사성 폐기물 지층 처분과 지구물리탐사
16:20~17:20	한원식 (연세대학교)	수리지질학적 복합물리현상을 고려한 방사성 폐기물 처분장 부지 선정 연구 소개

2024 봄 학술대회

한반도 지진과 국민안전: 지구물리·물리탐사의 역할

구두발표

» 3월 28일(목)

시간	발표제목	구분(좌장)
09:00-10:00	등록	
10:00-10:30	개회식 <ul style="list-style-type: none">개회사: 홍종국 회장(한국지구물리·물리탐사학회)환영사: 흥원화 총장(경북대학교)축사: 정현숙 지진화산국장(기상청)	• 사회: 이주한 (총무위원장/ 극지연구소)
10:30-11:00	기조강연 한반도 지진의 특성과 전망 홍태경(연세대학교)	
11:00-11:30	정기총회	
11:30-12:30	점심	
12:30-12:45	기계 학습 기반의 광역 지층 탄성 물성 예측 기술 개발 김수정 ¹⁾ , 전형구 ^{1)*} ^{1)*} 경북대학교 지질학과	일반세션 1 탄성파/기계학습 • 좌장: 김원기 (충북대학교)
12:45-13:00	Efficient transformer 기반 탄성파 영상의 초고해상도 기술 개발 박진영 ^{1)*} , Omar M. Saad ²⁾ , Tariq Alkhalifah ²⁾ , 오주원 ^{1,3)} ^{1)*} 전북대학교 환경에너지융합학과 ²⁾ King Abdullah University of Science and Technology, Dept. of Physical Science and Engineering ³⁾ 전북대학교 토목/환경/자원·에너지공학부(자원에너지공학)	
13:00-13:15	기계학습을 이용한 지층 가스 분포 파악 연구 원종필 ¹⁾ , 전형구 ^{1)*} ^{1)*} 경북대학교 지질학과	
13:15-13:30	지도 학습 기반 라플라스 영역 탄성파 역산 조준현 ¹⁾ , 하완수 ^{1)*} ^{1)*} 부경대학교 에너지자원공학과	
13:30-13:40	휴식	

2024 봄 학술대회

한반도 지진과 국민안전: 지구물리·물리탐사의 역할

시간	발표제목	구분(좌장)
13:40-13:55	Fault complexity revealed by focal mechanisms of small earthquakes in Gyeongju, South Korea: effective use of S-wave polarizations retrieved from the high-density seismic array Sangwoo Han ^{1)*} , and YoungHee Kim ¹⁾ ^{1)*} School of Earth and Environmental Sciences, Seoul National University	특별세션 I 한반도 지진활동과 지진재해 I • 좌장: 손민경 (한국지질자원연구원)
13:55-14:10	2022 규모 4.1 과산 지진 분석을 위한 임시지진관측망 운영과 딥러닝 모델 EQTransformer의 적용 이은진 ¹⁾ , 손유진 ¹⁾ , 김광희 ^{1)*} , 강수영 ²⁾ , 주형태 ³⁾ ^{1)*} 부산대학교 지질환경과학과, ²⁾ 부산대학교 지질재해연구소 ³⁾ 한국해양과학기술원	
14:10-14:25	2017 포항지진과 여진 7건(Mw>3.5)의 응력강하량과 진원시간함수 손민경 ^{1)*} , Esteban J. Chaves ²⁾ , 조창수 ¹⁾ ^{1)*} 한국지질자원연구원 지진연구센터, ²⁾ Observatorio Vulcanologico Sismologica de Costa Rica-Universidad Nacional	
14:25-14:40	국지지진 횡파 분리 분석에 의한 한반도 남동부의 상부지각 이방성 백준 ^{1)*} , 강태섭 ¹⁾ , 허다빈 ¹⁾ , 이진한 ²⁾ , 김광희 ³⁾ , 이준기 ⁴⁾ , 김영희 ⁴⁾ ^{1)*} 부경대학교 지구환경시스템과학부, ²⁾ 고려대학교 지구환경과학과 ³⁾ 부산대학교 지질환경과학과, ⁴⁾ 서울대학교 지구환경과학부	
14:40-14:55	2024년 일본 노토반도 지진에 따른 동해안 지진해일 관측 및 분석 이지민 ^{1)*} , 유설한 ¹⁾ , 조태환 ¹⁾ , 이하성 ¹⁾ , 박순천 ¹⁾ ^{1)*} 기상청 지진화산연구과	
14:55-15:10	주요 고주파 지진 변수 반영 지진동 모사 분석 및 한반도 역사지진 규모 평가 적용 연구 박은진 ^{1)*} , 송석구 ²⁾ ^{1)*} 한국지질자원연구원 지진재해연구본부 ²⁾ 한국지질자원연구원 지질재해연구본부	특별세션 II 한반도 지진활동과 지진재해 II • 좌장: 박성준 (연세대학교)
15:10-15:25	한반도의 확률론적 지진 재해 분석 박성준 ^{1)*} , 홍태경 ¹⁾ ^{1)*} 연세대학교 지구시스템과학과	
15:25-15:40	단층이동률과 지진발생률의 관계에 대해 노명현 ^{1)*} ^{1)*} 한국원자력안전기술원 구조부지평가실	

2024 봄 학술대회

한반도 지진과 국민안전: 지구물리·물리탐사의 역할

시간	발표제목	구분(좌장)
15:40-15:50	특별세션 토론	
15:50-16:00	휴식	
16:00-16:15	딥러닝 기반 GPR 자료해석 모델을 이용한 교량 바닥판 상태평가 작업 효율 향상 최병훈 ^{1)*} , 채휘영 ¹⁾ , 장제훈 ¹⁾ ^{1)*} (주)지오메카이엔지	일반세션 2-1 공학/실무 • 좌장: 전형구 (경북대학교)
16:15-16:30	상시미동 배열 탐사와 다중채널표면파 탐사를 활용한 전단파속도 주상도 추정 서환우 ¹⁾ , 김병민 ^{1)*} ^{1)*} 울산과학기술원 지구환경도시건설공학과	
16:30-16:45	TSP 탐사의 지반 물성 분석 결과를 이용한 암반상태 및 함수대 예측 임경학 ^{1)*} , 채휘영 ¹⁾ , 한경수 ¹⁾ ^{1)*} (주)지오메카이엔지	
16:45-17:00	전기비저항탐사 장비 개발 및 토양 오염 농도 추정 가능성 연구 안태규 ^{1)*} , 이희순 ¹⁾ , 김성도 ¹⁾ , 고지혜 ¹⁾ , 최재영 ²⁾ , 송서영 ²⁾ , 이선재 ²⁾ ^{1)*} (주)지오룩스, ²⁾ 한국과학기술연구원	
17:00-17:15	휴식	
17:15-17:30	Constraining Upper Mantle Seismic Anisotropy beneath the Oldest Pacific Seafloor from Shear-wave Splitting Seung-Heon Choi ^{1)*} , YoungHee Kim ¹⁾ , Hyunsun Kang ²⁾ , Hwaju Lee ¹⁾ , Takehi Isse ³⁾ , Hitoshi Kawakatsu ³⁾ , Sung-Joon Chang ⁴⁾ , Sang-Mook Lee ¹⁾ , Hajime Shiobara ³⁾ , Hisashi Utada ³⁾ , Nozomu Takeuchi ³⁾ , and Hiroko Sugioka ⁵⁾ ^{1)*} Seoul National University, ²⁾ University of Florida ³⁾ Earthquake Research Institute, The University of Tokyo ⁴⁾ Kangwon National University, ⁵⁾ Kobe University	일반세션 2-2 지진/지구물리 • 좌장: 박은진 (한국지질자원 연구원)
17:30-17:45	빙진 모니터링 시스템 개발과 남극 빙하에서의 적용 고지혜 ^{1)*} , 이희순 ¹⁾ , 김성도 ¹⁾ , 안태규 ¹⁾ , 이주한 ²⁾ , 정창현 ²⁾ , 김형권 ²⁾ , 윤동진 ²⁾ ^{1)*} (주)지오룩스, ²⁾ 극지연구소 미래기술센터	
17:45-18:00	Constraints on crustal seismic properties of the southern Korean Peninsula using Virtual Deep Seismic Sounding Young Oh Son ^{1)*} , YoungHee Kim ¹⁾ , and Chunquan Yu ²⁾ ^{1)*} Seoul National University ²⁾ Southern University of Science and Technology	

2024 봄 학술대회

한반도 지진과 국민안전: 지구물리·물리탐사의 역할

시간	발표제목	구분(좌장)
18:00-18:15	<p>Teleseismic constraints on the crustal structure beneath Gyeongju, S. Korea from high-density seismic array data</p> <p><u>Minkyung Kim</u>^{1)*}, Hobin Lim²⁾, YoungHee Kim¹⁾, Junkee Rhie¹⁾, Tae-Seob Kang³⁾, Kwang-Hee Kim⁴⁾, and Jin-Han Ree⁵⁾</p> <p>^{1)*}Seoul National University ²⁾Korea Institute of Geoscience and Mineral Resources ³⁾Pukyong National University, ⁴⁾Pusan National University ⁵⁾Korea University</p>	
18:15-18:30	<p>Investigation of Rupture Processes of Two 2021 Earthquake Sequences using Regional L_g wave in Gunsan Basin</p> <p><u>Jun Yong Park</u>^{1)*}, YoungHee Kim¹⁾, Won Young Kim²⁾, and Xuzhang Shen³⁾</p> <p>^{1)*}Seoul National University, ²⁾Columbia University, ³⁾Sun Yat-Sen University</p>	
19:00-21:00	간담회(호텔 인터불고 엑스코)	

2024 봄 학술대회

한반도 지진과 국민안전: 지구물리·물리탐사의 역할

» 3월 29일(금)

시간	발표제목	구분(좌장)
09:00-10:00	등록	
10:00-10:15	시간 경과 탄성파 자료의 반복성 향상을 위한 기계 학습 모델의 불확실성 정량화 연구 이수진 ¹⁾ , 신정균 ²⁾ , 하지호 ²⁾ , 전형구 ^{1)*} ^{1)*} 경북대학교 지질학과, ²⁾ 한국지질자원연구원 포항지질자원실증연구센터	일반세션 3-1 물리탐사 • 좌장: 신영재 (경상국립대학교)
10:15-10:30	이산화탄소 지중저장 프로젝트를 위한 DAS 기반 미소진동 위치 결정: 취득 파라미터 별 민감도 분석 조상인 ¹⁾ , 최우창 ¹⁾ , 편석준 ^{1)*} , 윤병준 ²⁾ , 박권규 ²⁾ , 이창현 ²⁾ ^{1)*} 인하대학교 에너지자원공학과, ²⁾ 한국지질자원연구원	
10:30-10:45	시추공 분산형 음향 계측 자료의 공통모드 잡음 제거 정우돈 ^{1)*} , 윤채원 ¹⁾ , 윤병준 ²⁾ , 박권규 ²⁾ ^{1)*} 강원대학교 지구물리학과, ²⁾ 한국지질자원연구원 CO ₂ 지중저장연구센터	
10:45-11:00	물리검층법 표준지침의 제안 황세호 ¹⁾ , 최지훈 ¹⁾ , 김명선 ²⁾ , 신제현 ^{1)*} ^{1)*} 한국지질자원연구원 지하수환경연구센터 ²⁾ 한국지질자원연구원 심층처분환경연구센터	
11:00-11:15	시간영역 유도분극 탐사 감쇠곡선 자료의 시간 2차 미분 이용 역산 유희은 ¹⁾ , 김빛나래 ²⁾ , 남명진 ^{1,3)*} ¹⁾ 세종대학교 에너지자원공학과 ²⁾ Bureau de Recherches Géologiques et Minières ^{3)*} 세종대학교 지구자원시스템공학과	
11:15-11:30	피복 단층조사를 위한 전기비저항탐사 적용 사례 연구 박삼규 ^{1)*} , 천영범 ²⁾ , 최진혁 ²⁾ , 신승욱 ¹⁾ , 손정술 ¹⁾ , 박계순 ¹⁾ ^{1)*} 한국지질자원연구원 광물자원연구본부 ²⁾ 한국지질자원연구원 지질재해연구본부	
11:30-11:45	휴식	
11:45-12:00	노르웨이 슬라이프너 프로젝트 모니터링 자료에 대한 탄성파-전자탐사 복합 해석 연구 박세은 ^{1)*} , 박준상 ²⁾ , Malte Vöge ²⁾ , Alexey Stovas ³⁾ , 오주원 ^{1,4)} ^{1)*} 전북대학교 환경에너지융합학과, ²⁾ Norwegian Geotechnical Institute, Geohazards and Dynamics ³⁾ Norwegian University of Science and Technology, Department of Geoscience and Petroleum ⁴⁾ 전북대학교 토목/환경/자원·에너지공학부(자원에너지공학)	일반세션 3-2 국제공동연구 • 좌장: 정우근 (한국해양대학교)

2024 봄 학술대회

한반도 지진과 국민안전: 지구물리·물리탐사의 역할

시간	발표제목	구분(좌장)
12:00-12:15	<p>캐나다 알버타주 이산화탄소 지중저장 부지의 4차원 탄성파 전파형역산 실증 연구 지형근^{1)*}, Kristopher A. Innanen²⁾, 박세은¹⁾, 오주원^{1,3)}</p> <p>^{1)*}전북대학교 환경에너지융합학과 ²⁾University of Calgary, Department of Geoscience ³⁾전북대학교 토목/환경/자원·에너지공학부(자원에너지공학)</p>	
12:15-12:30	<p>호주 오토웨이 프로젝트 4차원 시추공 모니터링 자료에 대한 탄성파 전파형역산 적용성 검토 조현욱^{1)*}, Roman Pevzner²⁾, 오주원^{1,3)}</p> <p>^{1)*}전북대학교 환경에너지융합학과 ²⁾Curtin University, Centre for Exploration Geophysics ³⁾전북대학교 토목/환경/자원·에너지공학부(자원에너지공학)</p>	
12:30-12:45	<p>유타 FORGE 지열발전 부지의 3차원 탄성파 전파형역산 실증 연구 정윤하^{1)*}, Nori Nakata^{2,3)}, 박세은¹⁾, 오주원^{1,4)}</p> <p>^{1)*}전북대학교 환경에너지융합학과 ²⁾Lawrence Berkeley National Laboratory, Earth and Environment Sciences Area ³⁾Massachusetts Institute of Technology, Department of Earth, Atmospheric and Planetary Sciences ⁴⁾전북대학교 토목/환경/자원·에너지공학부(자원에너지공학)</p>	

2024 봄 학술대회

한반도 지진과 국민안전: 지구물리·물리탐사의 역할

포스터발표(경하홀 I 로비)

» 3월 28일(목)

포스터발표-질의답변(P-1~P-9: 16:00~17:00 / P-10~P-18: 17:00~18:00)

• 좌장: 오주원(전북대학교)

순번	발표제목
SP-1	The 2022 Goesan earthquake of the moment magnitude 3.8 along the buried fault in the central Korean Peninsula Hobin Lim ^{1)*} , Chang Soo Cho ¹⁾ , and Minkyung Son ¹⁾ ^{1)*} 한국지질자원연구원 지진연구센터
SP-2	Diverse fault geometry beneath the epicentral region of 29 November 2023 M_L 4.0 Gyeongju earthquake illuminated from decade-long seismicity Min-Seong Seo ^{1)*} , Sangwoo Han ¹⁾ , Won-Young Kim ²⁾ , and YoungHee Kim ¹⁾ ^{1)*} School of Earth and Environmental Sciences, Seoul National University ²⁾ Lamont-Doherty Earth Observatory of Columbia University
SP-3	임시지진관측망을 활용한 2023년 규모 3.5 장수 지진의 여진 분포와 단층 기하 분석 조유성 ¹⁾ , 김광희 ^{1)*} ^{1)*} 부산대학교 지질환경과학과
P-1	2차원 전기비저항 탐사를 통한 북평분지의 지하구조 영상화와 분지구조 이해 김우현 ¹⁾ , 최한진 ^{1)*} , 김광희 ¹⁾ ^{1)*} 부산대학교 지구환경시스템학부
P-2	자기지도학습 기반 탄성파 트레이스 외삽 기술을 활용한 근거리 오프셋 영역 빠짐 외삽 박지호 ¹⁾ , 최용규 ¹⁾ , 설순지 ¹⁾ , 변중무 ^{1)*} ^{1)*} 한양대학교 자원환경공학과
P-3	소규모 초고해상 3D 탄성파 탐사를 활용한 시간 경과 영상화 적용성 연구 신정균 ^{1)*} , 하지호 ¹⁾ , 전형구 ²⁾ ^{1)*} 한국지질자원연구원 포항지질자원실증연구센터, ²⁾ 경북대학교 지질학과
P-4	유류 오염 부지에서 전기비저항 및 유도분극 탐사를 활용한 정화 모니터링 송서영 ^{1)*} , 이선재 ¹⁾ , 안태규 ²⁾ , 고지혜 ²⁾ , 최재영 ¹⁾ , 이희순 ²⁾ ^{1)*} 한국과학기술연구원 지속가능환경연구단, ²⁾ ㈜지오룩스
P-5	군산분지 3차원 해저면 탄성파 탐사자료의 영상화 구승현 ^{1)*} , 박세은 ²⁾ , 최서윤 ¹⁾ , 조현욱 ²⁾ , 김규중 ³⁾ , 오주원 ^{1,2)} ^{1)*} 전북대학교 토목/환경/자원·에너지공학부(자원에너지공학), ²⁾ 전북대학교 환경에너지융합학과 ³⁾ AAT Co. Ltd.

2024 봄 학술대회

한반도 지진과 국민안전: 지구물리·물리탐사의 역할

순번	발표제목
P-6	<p>해상풍력단지 부지 특성화를 위한 음향 전파형역산: 네덜란드 NOZ TNW 프로젝트에 대한 적용 박윤곤^{1)*}, 박세은²⁾, Guillaume Sauvin³⁾, Jean-Rémi Dujardin³⁾, 박준상³⁾, Maarten Vanneste³⁾, 오주원^{1,2)}</p> <p>^{1)*}전북대학교 토목/환경/자원·에너지공학부(자원에너지공학), ²⁾전북대학교 환경에너지융합학과 ³⁾Norwegian Geotechnical Institute, Geohazards and Dynamics</p>
P-7	<p>유타 FORGE 지열발전 부지 탄성파 속도 모델과 밀도 모델의 정확성 검토 이영주^{1)*}, 김정우²⁾, 정윤하¹⁾, 오주원^{1,3)}</p> <p>^{1)*}전북대학교 환경에너지융합학과, ²⁾University of Calgary, Department of Geomatics Engineering ³⁾전북대학교 토목/환경/자원·에너지공학부(자원에너지공학)</p>
P-8	<p>초동주시 기반 재생성된 파동장을 이용한 다중 스케일 완전파형역산 정서제¹⁾, 이다운²⁾, 신성렬²⁾, 정우근^{2)*}</p> <p>¹⁾국립한국해양대학교 해양과학기술융합학과, ^{2)*}국립한국해양대학교 에너지자원공학과</p>
P-9	<p>자력이상도와 다중빔음향측심 지형자료를 이용한 서필리핀분지의 진화 연구 신현욱¹⁾, 최한진^{1)*}</p> <p>^{1)*}부산대학교 지질환경과학과</p>
P-10	<p>불규칙한 지표 경계에서의 음향파 모델링을 위한 유한차분법 비교 강호진¹⁾, 최우창¹⁾, 박윤희²⁾, 편석준^{1)*}</p> <p>^{1)*}인하대학교 에너지자원공학과, ²⁾한국해양과학기술원</p>
P-11	<p>배수지 증설을 위한 탄성파 굴절법 탐사 적용 이창우¹⁾, 이용재²⁾, 조경서²⁾, 김원기^{1)*}</p> <p>^{1)*}충북대학교 지구환경과학과, ²⁾(주)아시아지오</p>
P-12	<p>딥러닝 기반 자료해석 모델 학습을 위한 교량 바닥판에서의 GPR 탐사 수치모델링 최병훈^{1)*}, 채희영¹⁾, 장제훈¹⁾, 유경원²⁾</p> <p>^{1)*}(주)지오메카이엔지, ²⁾인하대학교 에너지자원공학과</p>
P-13	<p>여기진폭 기법을 활용한 장파장 속도모델 도출 이다운¹⁾, 정서제²⁾, 정우근^{1)*}</p> <p>^{1)*}국립한국해양대학교 에너지자원공학과, ²⁾국립한국해양대학교 해양과학기술융합학과</p>
P-14	<p>전기비저항탐사를 이용한 바이오리액터형 매립지의 침출수 주입 모니터링 김원기^{1)*}, 이철화²⁾, 이창우¹⁾, 김영규³⁾, 최원영³⁾</p> <p>^{1)*}충북대학교 지구환경과학과, ²⁾(주)아시아지오, ³⁾한국종합기술</p>
P-15	<p>울릉분지 진화구조 규명을 위한 동해 고해상도 해양자력이상도 제작 최성규¹⁾, 최한진^{1)*}</p> <p>^{1)*}부산대학교 지구환경시스템학부 지질환경과학전공</p>

2024 봄 학술대회

한반도 지진과 국민안전: 지구물리·물리탐사의 역할

순번	발표제목
P-16	지구물리자료 기반 모래확률지도를 이용한 포항지역의 2차원 액상화 가능성 평가 이아인 ¹⁾ , 오석훈 ^{2)*} , 권형석 ³⁾ ¹⁾ 강원대학교 에너지·인프라융합학과, ^{2)*} 강원대학교 에너지자원공학과, ³⁾ 강원대학교 지구자원연구소
P-17	복합지구물리탐사를 통한 곡강단층 주변 및 주변해역의 해저활성지구조 연구 정경서 ¹⁾ , 최한진 ^{1)*} , 박요섭 ²⁾ ^{1)*} 부산대학교 지질환경과학과, ²⁾ 한국해양과학기술원 수중로봇복합실증센터
P-18	이산화탄소 지중저장 프로젝트를 위한 DAS 기반 미소진동 위치 결정: 합성자료 모델링 조상인 ¹⁾ , 최우창 ¹⁾ , 편석준 ^{1)*} ^{1)*} 인하대학교 에너지자원공학과

2024 봄 학술대회

한반도 지진과 국민안전: 지구물리·물리탐사의 역할

CONTENTS

초대의 글

홍종국 회장(한국지구물리·물리탐사학회)

환영사

홍원화 총장(경북대학교)

축사

정현숙 지진화산국장(기상청)

기조강연

한반도 지진의 특성과 전망

2

홍태경(연세대학교)

일반세션 1 탄성파/기계학습

기계 학습 기반의 광역 지층 탄성 물성 예측 기술 개발

4

김수정¹⁾, 전형구^{1)*}

^{1)*}경북대학교 지질학과

Efficient transformer 기반 탄성파 영상의 초고해상도 기술 개발

5

박진영^{1)*}, Omar M. Saad²⁾, Tariq Alkhalifah²⁾, 오주원^{1,3)}

^{1)*}전북대학교 환경에너지융합학과

²⁾King Abdullah University of Science and Technology, Dept. of Physical Science and Engineering

³⁾전북대학교 토목/환경/자원·에너지공학부(자원에너지공학)

2024 봄 학술대회

한반도 지진과 국민안전: 지구물리·물리탐사의 역할

기계학습을 이용한 지층 가스 분포 파악 연구 원종필 ¹⁾ , 전형구 ^{1)*} ^{1)*} 경북대학교 지질학과	6
지도 학습 기반 라플라스 영역 탄성파 역산 조준현 ¹⁾ , 하완수 ^{1)*} ^{1)*} 부경대학교 에너지자원공학과	7

특별세션 I 한반도 지진활동과 지진재해 I

Fault complexity revealed by focal mechanisms of small earthquakes in Gyeongju, South Korea: effective use of S-wave polarizations retrieved from the high-density seismic array Sangwoo Han ^{1)*} , and YoungHee Kim ¹⁾ ^{1)*} School of Earth and Environmental Sciences, Seoul National University	9
2022 규모 4.1 괴산 지진 분석을 위한 임시지진관측망 운영과 딥러닝 모델 EQTransformer의 적용 이은진 ¹⁾ , 손유진 ¹⁾ , 김광희 ^{1)*} , 강수영 ²⁾ , 주형태 ³⁾ ^{1)*} 부산대학교 지질환경과학과, ²⁾ 부산대학교 지질재해연구소, ³⁾ 한국해양과학기술원	10
2017 포항지진과 여진 7건(Mw>3.5)의 응력강하량과 진원시간함수 손민경 ^{1)*} , Esteban J. Chaves ²⁾ , 조창수 ¹⁾ ^{1)*} 한국지질자원연구원 지진연구센터, ²⁾ Observatorio Vulcanologico Sismologica de Costa Rica-Universidad Nacional	11
국지지진 횡파 분리 분석에 의한 한반도 남동부의 상부지각 이방성 백준 ^{1)*} , 강태섭 ¹⁾ , 허다빈 ¹⁾ , 이진한 ²⁾ , 김광희 ³⁾ , 이준기 ⁴⁾ , 김영희 ⁴⁾ ^{1)*} 부경대학교 지구환경시스템과학부, ²⁾ 고려대학교 지구환경과학과, ³⁾ 부산대학교 지질환경과학과, ⁴⁾ 서울대학교 지구환경과학부	12

특별세션 II 한반도 지진활동과 지진재해 II

2024년 일본 노토반도 지진에 따른 동해안 지진해일 관측 및 분석 이지민 ^{1)*} , 유설한 ¹⁾ , 조태환 ¹⁾ , 이하성 ¹⁾ , 박순천 ¹⁾ ^{1)*} 기상청 지진화산연구과	14
---	----

2024 봄 학술대회

한반도 지진과 국민안전: 지구물리·물리탐사의 역할

주요 고주파 지진 변수 반영 지진동 모사 분석 및 한반도 역사지진 규모 평가 적용 연구 15

박은진^{1)*}, 송석구²⁾

^{1)*}한국지질자원연구원 지진재해연구본부, ²⁾한국지질자원연구원 지질재해연구본부

한반도의 확률론적 지진 재해 분석 16

박성준^{1)*}, 홍태경¹⁾

^{1)*}연세대학교 지구시스템학과

단층이동률과 지진발생률의 관계에 대해 17

노명현^{1)*}

^{1)*}한국원자력안전기술원 구조부지평가실

일반세션 2-1 공학/실무

딥러닝 기반 GPR 자료해석 모델을 이용한 교량 바닥판 상태평가 작업 효율 향상 19

최병훈^{1)*}, 채휘영¹⁾, 장제훈¹⁾

^{1)*}(주)지오메카이엔지

상시미동 배열 탐사와 다중채널표면파 탐사를 활용한 전단파속도 주상도 추정 20

서환우¹⁾, 김병민^{1)*}

^{1)*}울산과학기술원 지구환경도시건설공학과

TSP 탐사의 지반 물성 분석 결과를 이용한 암반상태 및 함수대 예측 21

임경학^{1)*}, 채휘영¹⁾, 한경수¹⁾

^{1)*}(주)지오메카이엔지

전기비저항탐사 장비 개발 및 토양 오염 농도 추정 가능성 연구 22

안태규^{1)*}, 이희순¹⁾, 김성도¹⁾, 고지혜¹⁾, 최재영²⁾, 송서영²⁾, 이선재²⁾

^{1)*}(주)지오룩스, ²⁾한국과학기술연구원

일반세션 2-2 지진/지구물리

Constraining Upper Mantle Seismic Anisotropy beneath the Oldest Pacific Seafloor from Shear-wave Splitting 24

Seung-Heon Choi^{1)*}, YoungHee Kim¹⁾, Hyunsun Kang²⁾, Hwaju Lee¹⁾, Takehi Isse³⁾, Hitoshi Kawakatsu³⁾, Sung-Joon Chang⁴⁾, Sang-Mook Lee¹⁾, Hajime Shiobara³⁾, Hisashi Utada³⁾, Nozomu Takeuchi³⁾, and Hiroko Sugioka⁵⁾

^{1)*}Seoul National University, ²⁾University of Florida, ³⁾Earthquake Research Institute, The University of Tokyo, ⁴⁾Kangwon National University, ⁵⁾Kobe University

빙진 모니터링 시스템 개발과 남극 빙하에서의 적용 25

고지혜^{1)*}, 이희순¹⁾, 김성도¹⁾, 안태규¹⁾, 이주한²⁾, 정창현²⁾, 김형권²⁾, 윤동진²⁾

^{1)*}(주)지오룩스, ²⁾극지연구소 미래기술센터

Constraints on crustal seismic properties of the southern Korean Peninsula using Virtual Deep Seismic Sounding 26

Young Oh Son^{1)*}, YoungHee Kim¹⁾, and Chunquan Yu²⁾

^{1)*}Seoul National University, ²⁾Southern University of Science and Technology

Teleseismic constraints on the crustal structure beneath Gyeongju, S. Korea from high-density seismic array data 27

Minkyung Kim^{1)*}, Hobin Lim²⁾, YoungHee Kim¹⁾, Junkee Rhie¹⁾, Tae-Seob Kang³⁾, Kwang-Hee Kim⁴⁾, and Jin-Han Ree⁵⁾

^{1)*}Seoul National University, ²⁾Korea Institute of Geoscience and Mineral Resources, ³⁾Pukyong National University, ⁴⁾Pusan National University, ⁵⁾Korea University

Investigation of Rupture Processes of Two 2021 Earthquake Sequences using Regional L_g wave in Gunsan Basin 28

Jun Yong Park^{1)*}, YoungHee Kim¹⁾, Won Young Kim²⁾, and Xuzhang Shen³⁾

^{1)*}Seoul National University, ²⁾Columbia University, ³⁾Sun Yat-Sen University

일반세션 3-1 물리탐사

시간 경과 탄성파 자료의 반복성 향상을 위한 기계 학습 모델의 불확실성 정량화 연구 30

이수진¹⁾, 신정균²⁾, 하지호²⁾, 전형구^{1)*}

^{1)*}경북대학교 지질학과, ²⁾한국지질자원연구원 포항지질자원실증연구센터

이산화탄소 지중저장 프로젝트를 위한 DAS 기반 미소진동 위치 결정: 취득 파라미터 별 민감도 분석 조상인 ¹⁾ , 최우창 ¹⁾ , 편석준 ^{1)*} , 윤병준 ²⁾ , 박권규 ²⁾ , 이창현 ²⁾ ^{1)*} 인하대학교 에너지자원공학과, ²⁾ 한국지질자원연구원	31
시추공 분산형 음향 계측 자료의 공통모드 잡음 제거 정우돈 ^{1)*} , 윤채원 ¹⁾ , 윤병준 ²⁾ , 박권규 ²⁾ ^{1)*} 강원대학교 지구물리학과, ²⁾ 한국지질자원연구원 CO ₂ 지중저장연구센터	32
물리검층법 표준지침의 제안 황세호 ¹⁾ , 최지훈 ¹⁾ , 김명선 ²⁾ , 신제현 ^{1)*} ^{1)*} 한국지질자원연구원 지하수환경연구센터, ²⁾ 한국지질자원연구원 심층처분환경연구센터	33
시간영역 유도분극 탐사 감쇠곡선 자료의 시간 2차 미분 이용 역산 유희은 ¹⁾ , 김빛나래 ²⁾ , 남명진 ^{1,3)*} ¹⁾ 세종대학교 에너지자원공학과, ²⁾ Bureau de Recherches Géologiques et Minières, ^{3)*} 세종대학교 지구자원시스템공학과	34
피복 단층조사를 위한 전기비저항탐사 적용 사례 연구 박삼균 ^{1)*} , 천영범 ²⁾ , 최진혁 ²⁾ , 신승욱 ¹⁾ , 손정술 ¹⁾ , 박계순 ¹⁾ ^{1)*} 한국지질자원연구원 광물자원연구본부, ²⁾ 한국지질자원연구원 지질재해연구본부	35

일반세션 3-2 국제공동연구

노르웨이 슬라이프너 프로젝트 모니터링 자료에 대한 탄성파-전자탐사 복합 해석 연구 박세은 ^{1)*} , 박준상 ²⁾ , Malte Vöge ²⁾ , Alexey Stovas ³⁾ , 오주원 ^{1,4)} ^{1)*} 전북대학교 환경에너지융합학과, ²⁾ Norwegian Geotechnical Institute, Geohazards and Dynamics, ³⁾ Norwegian University of Science and Technology, Department of Geoscience and Petroleum, ⁴⁾ 전북대학교 토목/환경/자원·에너지공학부(자원에너지공학)	37
캐나다 알버타주 이산화탄소 지중저장 부지의 4차원 탄성파 전파형역산 실증 연구 지형근 ^{1)*} , Kristopher A. Innanen ²⁾ , 박세은 ¹⁾ , 오주원 ^{1,3)} ^{1)*} 전북대학교 환경에너지융합학과, ²⁾ University of Calgary, Department of Geoscience, ³⁾ 전북대학교 토목/환경/자원·에너지공학부(자원에너지공학)	38

2024 봄 학술대회

한반도 지진과 국민안전: 지구물리·물리탐사의 역할

호주 오토웨이 프로젝트 4차원 시추공 모니터링 자료에 대한 탄성파 전파형역산 적용성 검토 39

조현욱^{1)*}, Roman Pevzner²⁾, 오주원^{1,3)}

^{1)*}전북대학교 환경에너지융합학과, ²⁾Curtin University, Centre for Exploration Geophysics,

³⁾전북대학교 토목/환경/자원·에너지공학부(자원에너지공학)

유타 FORGE 지열발전 부지의 3차원 탄성파 전파형역산 실증 연구 40

정윤하^{1)*}, Nori Nakata^{2,3)}, 박세은¹⁾, 오주원^{1,4)}

^{1)*}전북대학교 환경에너지융합학과,

²⁾Lawrence Berkeley National Laboratory, Earth and Environment Sciences Area,

³⁾Massachusetts Institute of Technology, Department of Earth, Atmospheric and Planetary Sciences,

⁴⁾전북대학교 토목/환경/자원·에너지공학부(자원에너지공학)

특별세션: 포스터세션

SP-1 The 2022 Goesan earthquake of the moment magnitude 3.8 along the buried fault in the central Korean Peninsula 42

Hobin Lim^{1)*}, Chang Soo Cho¹⁾, and Minkyung Son¹⁾

^{1)*}한국지질자원연구원 지진연구센터

SP-2 Diverse fault geometry beneath the epicentral region of 29 November 2023 M_L 4.0 Gyeongju earthquake illuminated from decade-long seismicity 43

Min-Seong Seo^{1)*}, Sangwoo Han¹⁾, Won-Young Kim²⁾, and YoungHee Kim¹⁾

^{1)*}School of Earth and Environmental Sciences, Seoul National University,

²⁾Lamont-Doherty Earth Observatory of Columbia University

SP-3 임시지진관측망을 활용한 2023년 규모 3.5 장수 지진의 여진 분포와 단층 기하 분석 44

조유성¹⁾, 김광희^{1)*}

^{1)*}부산대학교 지질환경과학과

포스터세션

P-1 2차원 전기비저항 탐사를 통한 북평분지의 지하구조 영상화와 분지구조 이해 46

김우현¹⁾, 최한진^{1)*}, 김광희¹⁾

^{1)*}부산대학교 지구환경시스템학부

2024 봄 학술대회

한반도 지진과 국민안전: 지구물리·물리탐사의 역할

P-2	자기지도학습 기반 탄성파 트레이스 외삽 기술을 활용한 근거리 오프셋 영역 빠짐 외삽 박지호 ¹⁾ , 최용규 ¹⁾ , 설순지 ¹⁾ , 변중무 ¹⁾ * ¹⁾ *한양대학교 자원환경공학과	47
P-3	소규모 초고해상 3D 탄성파 탐사를 활용한 시간 경과 영상화 적용성 연구 신정균 ¹⁾ *, 하지호 ¹⁾ , 전형구 ²⁾ ¹⁾ *한국지질자원연구원 포항지질자원실증연구센터, ²⁾ 경북대학교 지질학과	48
P-4	유류 오염 부지에서 전기비저항 및 유도분극 탐사를 활용한 정화 모니터링 송서영 ¹⁾ *, 이선재 ¹⁾ , 안태규 ²⁾ , 고지혜 ²⁾ , 최재영 ¹⁾ , 이희순 ²⁾ ¹⁾ *한국과학기술연구원 지속가능환경연구단, ²⁾ (주)지오룩스	49
P-5	군산분지 3차원 해저면 탄성파 탐사자료의 영상화 구승현 ¹⁾ *, 박세은 ²⁾ , 최서윤 ¹⁾ , 조현욱 ²⁾ , 김규중 ³⁾ , 오주원 ^{1,2)} ¹⁾ *전북대학교 토목/환경/자원·에너지공학부(자원에너지공학), ²⁾ 전북대학교 환경에너지융합학과, ³⁾ AAT Co. Ltd.	50
P-6	해상풍력단지 부지 특성화를 위한 음향 전파형역산: 네덜란드 NOZ TNW 프로젝트에 대한 적용 박윤곤 ¹⁾ *, 박세은 ²⁾ , Guillaume Sauvin ³⁾ , Jean-Rémi Dujardin ³⁾ , 박준상 ³⁾ , Maarten Vanneste ³⁾ , 오주원 ^{1,2)} ¹⁾ *전북대학교 토목/환경/자원·에너지공학부(자원에너지공학), ²⁾ 전북대학교 환경에너지융합학과 ³⁾ Norwegian Geotechnical Institute, Geohazards and Dynamics	51
P-7	유타 FORGE 지열발전 부지 탄성파 속도 모델과 밀도 모델의 정확성 검토 이영주 ¹⁾ *, 김정우 ²⁾ , 정윤하 ¹⁾ , 오주원 ^{1,3)} ¹⁾ *전북대학교 환경에너지융합학과, ²⁾ University of Calgary, Department of Geomatics Engineering, ³⁾ 전북대학교 토목/환경/자원·에너지공학부(자원에너지공학)	52
P-8	초동주시 기반 재생성된 파동장을 이용한 다중 스케일 완전파형역산 정서제 ¹⁾ , 이다운 ²⁾ , 신성렬 ²⁾ , 정우근 ²⁾ * ¹⁾ 국립한국해양대학교 해양과학기술융합학과, ²⁾ *국립한국해양대학교 에너지자원공학과	53
P-9	자력이상도와 다중빔음향측심 지형자료를 이용한 서필리핀분지의 진화 연구 신현욱 ¹⁾ , 최한진 ¹⁾ * ¹⁾ *부산대학교 지질환경과학과	54

2024 봄 학술대회

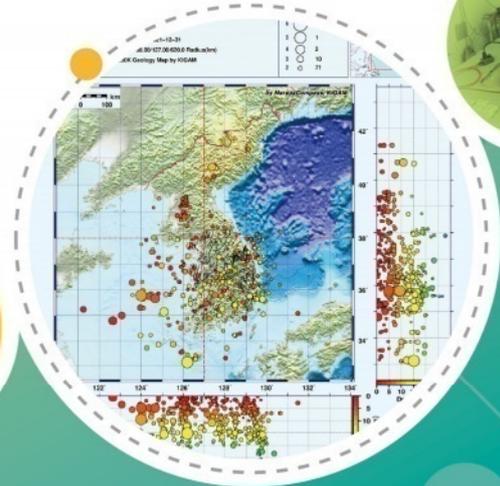
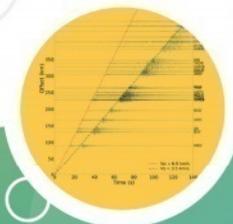
한반도 지진과 국민안전: 지구물리·물리탐사의 역할

P-10	불규칙한 지표 경계에서의 음향파 모델링을 위한 유한차분법 비교 강호진 ¹⁾ , 최우창 ¹⁾ , 박윤희 ²⁾ , 편석준 ^{1)*} ^{1)*} 인하대학교 에너지자원공학과, ²⁾ 한국해양과학기술원	55
P-11	배수지 증설을 위한 탄성파 굴절법 탐사 적용 이창우 ¹⁾ , 이용재 ²⁾ , 조경서 ²⁾ , 김원기 ^{1)*} ^{1)*} 충북대학교 지구환경과학과, ²⁾ (주)아시아지오	56
P-12	딥러닝 기반 자료해석 모델 학습을 위한 교량 바닥판에서의 GPR 탐사 수치모델링 최병훈 ^{1)*} , 채휘영 ¹⁾ , 장제훈 ¹⁾ , 유경원 ²⁾ ^{1)*} (주)지오메카이엔지, ²⁾ 인하대학교 에너지자원공학과	57
P-13	여기진폭 기법을 활용한 장파장 속도모델 도출 이다운 ¹⁾ , 정서제 ²⁾ , 정우근 ^{1)*} ^{1)*} 국립한국해양대학교 에너지자원공학과, ²⁾ 국립한국해양대학교 해양과학기술융합학과	58
P-14	전기비저항탐사를 이용한 바이오리액터형 매립지의 침출수 주입 모니터링 김원기 ^{1)*} , 이철희 ²⁾ , 이창우 ¹⁾ , 김영규 ³⁾ , 최원영 ³⁾ ^{1)*} 충북대학교 지구환경과학과, ²⁾ (주)아시아지오, ³⁾ 한국종합기술	59
P-15	울릉분지 진화구조 규명을 위한 동해 고해상도 해양자력이상도 제작 최성규 ¹⁾ , 최한진 ^{1)*} ^{1)*} 부산대학교 지구환경시스템학부 지질환경과학전공	60
P-16	지구물리자료 기반 모래확률지도를 이용한 포항지역의 2차원 액상화 가능성 평가 이아인 ¹⁾ , 오석훈 ^{2)*} , 권형석 ³⁾ ¹⁾ 강원대학교 에너지·인프라융합학과, ^{2)*} 강원대학교 에너지자원공학과, ³⁾ 강원대학교 지구자원연구소	61
P-17	복합지구물리탐사를 통한 곡강단층 주변 및 주변해역의 해저활성지구조 연구 정경서 ¹⁾ , 최한진 ^{1)*} , 박요섭 ²⁾ ^{1)*} 부산대학교 지질환경과학과, ²⁾ 한국해양과학기술원 수중로봇복합실증센터	62
P-18	이산화탄소 지중저장 프로젝트를 위한 DAS 기반 미소진동 위치 결정: 합성자료 모델링 조상인 ¹⁾ , 최우창 ¹⁾ , 편석준 ^{1)*} ^{1)*} 인하대학교 에너지자원공학과	63

기조강연

한반도 지진의 특성과 전망

홍태경(연세대학교)



한반도 지진의 특성과 전망

홍태경^{1)*}

^{1)*}연세대학교 지구시스템과학과, tkhong@yonsei.ac.kr

Characteristics and outlook of earthquakes in the Korean Peninsula

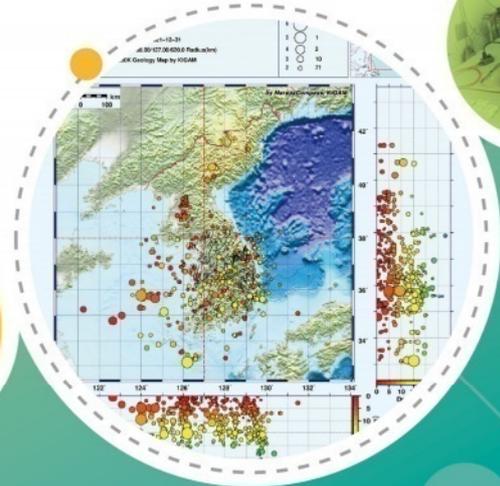
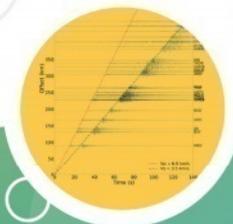
Tae-Kyung Hong^{1)*}

한반도는 안정한 판 내부 환경에 위치하고 지진 발생빈도는 판경계부에 비해 낮다. 하지만, 2011년 규모 9.0 동일본 대지진 후 한반도 내륙과 해역에서 연쇄적인 중규모 지진과 군발지진들이 발생하며 지진 발생 빈도와 특성 변화가 있다. 동일본 대지진 이후부터 현재까지 9년 동안 규모 5 이상의 지진이 5차례 발생했다. 2014년 충남 태안 서해면바다에서 규모 5.1 지진이 발생했고, 2016년 울산 앞바다에서 규모 5.0, 2016년 경주 지역에서 48분 간격을 두고 규모 5.1, 5.8 지진이 연속적으로 발생했다. 이후 2017년 규모 5.4 포항 지진으로 이어졌다. 인구밀도가 높고 도시가 발달한 한반도에서는 이러한 지진 특성 변화의 파급력은 작지 않다. 한반도에서는 내륙에서는 평양 인근, 속리산 일원, 영남 지역에서 지진 발생빈도가 높고, 해역에서는 동해안과 서해안, 제주 근해에서 지진 발생 빈도가 높다. 조선 왕조실록 등 역사서에는 수도권을 포함한 한반도 일대에서 피해를 일으킨 지진들이 다수 기록되어 있다. 동일본 대지진 후, 한반도에서는 군집형 지진도 자주 관측된다. 백령도 근해에서는 2013년 약 6개월간 최대 규모 4.9에 이르는 지진이 45회 발생했다. 보령 앞바다에서는 2013년 규모 0.7~3.5의 지진이 3개월간 108회 발생했다. 2020년해남 일대에서는 최대 규모 3.1의 지진이 보름여간 총 400여 회의 지진이 깊이 20~22km에서 북서-남동 방향으로 발달한 가로 500m, 깊이 300m 가량의 단층면을 가진 주향이동단층에서 발생했다. 지진단층면을 따라 방사방향으로 확장되는 형태를 띤다. 이 군집형 지진들은 그간 지진이 관측되지 않던 지역을 중심으로 발생했다. 2023년도 동해시 앞바다에서도 군발지진이 관측되기도 했다. 최근 수도권과 서울 지역에서의 임시 지진관측망을 통해 분석한 결과의 다수의 지진들이 관측되었다. 수도권에서 보이는 지진의 단층면해는 북북동-남남서 방향의 주향과 지진 분포를 보인다. 이 방향은 이 지역에 작용하는 배경응력장에 반응하는 단층의 방향에 부합한다. 서울지역의 경우 깊이 10 km 이하의 얕은 깊이에서 주로 발생하며, 서울 북서 지역에서 발생빈도가 높다. 서울을 가로지르는 동두천 단층일대에서는 집중적인 지진 발생 특성을 보이며, 남북 방향의 주향과 일치하는 지진 분포를 보인다. 본 발표에서는 한반도 지진의 특성을 살펴보고, 향후 전망에 대해 토의한다.

일반세션 1

탄성파/기계학습

좌장: 김원기(충북대학교)



기계 학습 기반의 광역 지층 탄성 물성 예측 기술 개발

김수정¹⁾, 전형구^{1)*}

^{1)*}경북대학교 지질학과, hgjun@knu.ac.kr

Development of Machine learning Technology for Elastic Properties Estimation

Sujeong Kim¹⁾, and Hyunggu Jun^{1)*}

최근 지하 공간 활용에 대한 수요가 증가하고 있으며, 이산화탄소 지중 저장소의 안전성 평가, 고준위 방사성 폐기물 저장 등 지하 공간 활용 기술의 효율적인 운용을 위해 지질학적 및 지구물리학적 물성 정보가 필수적으로 요구되고 있다. 지층 탄성 물성(P파와 S파 속도, 밀도)은 지하 매질의 물리적 상태와 구조적 특성을 반영하기 때문에 취성도와 같은 지층의 기계적 거동을 이해하는데 필수적인 요소이다. 광역적인 지층의 탄성 물성은 탄성파 자료를 통해 도출될 수 있으나, 간접 자료이기 때문에 높은 정확도를 가지는 정보를 도출하기 어렵다는 한계가 존재한다. 반면, 물리검층 자료는 시추공 내에서의 직접 관측을 통해 취득된 정보이므로 높은 해상도의 정보를 정확하게 도출할 수 있다. 하지만, 물리검층 자료 취득에는 매우 많은 시간과 비용이 소모되며, 시추공 인근에 대한 지역적인 정보만 취득할 수 있다는 한계가 있다. 본 연구에서는 광역 자료인 지층 탄성파 자료와 지역 자료인 물리검층 자료를 융합하여 광역 지층에 대한 탄성 물성 예측 정확도를 향상시키고자 한다. 광역 자료와 지역 자료의 융합을 위해 기계학습을 활용하였으며, 시계열 자료 예측에 널리 사용되는 LSTM 모델을 통해 광역 자료의 특성과 지역 자료의 특성을 학습시키고자 하였다. 물리검층 자료와 탄성파 기반 자료로 구축된 학습 자료로 모델 학습을 수행한 후 학습에 사용하지 않은 물리검층 자료와 예측된 탄성 물성을 비교하여 모델의 정확도를 검증하였으며, 최종적으로 전체 탄성파 자료에 학습된 모델을 적용하여 광역 지층에 대한 탄성 물성 예측을 수행하였다.

사사

본 연구는 한국연구재단의 지원(No. 2022R1I1A3066265, 지역대학우수과학자), 산업통상자원부(MOTIE)와 한국에너지기술평가원(KETEP)의 지원을 받아 수행된 연구입니다. (No. 20212010200020)

Efficient transformer 기반 탄성파 영상의 초고해상도 기술 개발

박진영^{1)*}, Omar M. Saad²⁾, Tariq Alkhalifah²⁾, 오주원^{1,3)}

¹⁾*전북대학교 환경에너지융합학과, singiri129@jbnu.ac.kr

²⁾King Abdullah University of Science and Technology, Dept. of Physical Science and Engineering

³⁾전북대학교 토목/환경/자원·에너지공학부(자원에너지공학)

Development of Super-Resolution Seismic Imaging Technology Based on Efficient Transformers

Jin-Yeong Park^{1)*}, Omar M. Saad²⁾, Tariq Alkhalifah²⁾, and Ju-Won Oh^{1,3)}

유가스전 탐사와 이산화탄소 지중저장 사업에서 부지의 정확한 정보를 해석하기 위해서는 탄성파 탐사를 통해 고분해능의 지하 영상을 획득하는 것이 중요하다. GPU 성능이 향상되면서 최근 컴퓨터 비전 분야에서 딥러닝 기법이 주목받고 있으며, 초고해상도를 위하여 Vision-Transformer와 U-net과 같은 새로운 접근 방식이 등장했다. 그러나 이러한 기술들은 높은 계산 비용과 계산 시간 등의 문제로 실제 응용에는 제약이 있다. 이러한 제약을 극복하기 위해 높은 해상도 향상을 유지하면서 가벼운 모델인 Efficient Super-Resolution Transformer (ESRT)가 개발되었으며, ESRT는 SISR (Single Image Super-Resolution) 네트워크의 성능을 향상시키면서 GPU 메모리 사용량을 줄일 수 있다는 장점이 있다. 본 연구에서는 한국에너지기술평가원의 에너지인력양성사업을 통해 2023년 9월부터 2024년 3월까지 수행된 사우디아라비아 KAUST 대학의 DeepWave 연구팀과의 공동연구 결과를 소개하고자 한다.

본 연구에서는 ESRT 기반의 초고해상도 기술을 이용하여, 고해상도 2D 탄성파 영상을 생성하고자 한다. 또한 SSIM (Structural Similarity) 손실(loss)과 FFT (Fast Fourier Transform) 손실을 활용하여 성능을 향상시키고자 하였다. 지도학습 기반의 네트워크를 훈련시키기 위해 합성 탄성파 자료를 생성하였으며, 합성자료에 대한 성능을 검증하기 위해 PSNR (Peak Signal-to-Noise Ratio)과 SSIM 기법을 사용하여 Unet 모델과의 성능을 비교하였다. 개발된 ESRT 기반의 초고해상도 기술은 향후 국내 유가스전 탐사, CCS 저장소 탐사에 적용되어 지하 정보의 공간적 분해능을 향상시키는데 기여할 것으로 기대된다.

사사

본 연구는 2023년 산업통상자원부의 재원으로 한국에너지기술평가원(KETEP)의 에너지 인력양성사업(지구물리탐사 및 모니터링 글로벌 혁신인재양성)과 한국지질자원연구원의 기본사업인 “3D 해저정밀영상화를 위한 복합 탄성파 탐사 및 실규모 고분해능 처리기술(GP2020-023)”의 지원을 수행한 연구과제입니다. 또한 컴퓨터 자원을 제공해 준 KAUST와 발표를 승인해주신 DeepWave 컨소시엄 스폰서의 지원에 대해 감사드립니다.

기계학습을 이용한 지층 가스 분포 파악 연구

원종필¹⁾, 전형구¹⁾*

¹⁾*경북대학교 지질학과, hgjun@knu.ac.kr

Prediction of Subsurface Gas Distribution Based on Machine Learning

Jongpil Won¹⁾, and Hyunggu Jun¹⁾*

탄성과 탐사는 해저 지층에 대한 정보를 얻을 수 있는 유용한 방법으로 석유 및 가스와의 같은 지하자원 개발에 이용되면서 계속 발전해 왔다. 복합적인 정보를 가지고 있는 탄성과 자료로부터 지하자원 개발에 필요한 정보를 도출하기 위해 특정 정보를 추출하고 해석하는 방법에 관한 연구가 활발하게 수행되고 있다. 특히, 필요한 정보를 추출할 수 있는 탄성과 속성분석은 1970년대부터 지금까지 다양한 분야에서 사용되며 연구되었다. 최근에는 계산 자원 성능의 향상과 기계학습 알고리즘의 발달로 인해 탄성과 자료 해석 분야에서도 기계학습을 활용한 연구가 활발하게 진행되고 있다. 이번 연구에서는 현장 자료의 지층 가스 분포를 파악하기 위해 기계학습을 적용하는 방법을 제안한다. 학습을 위한 입력 자료는 탄성과 큐브, 탄성과 속성분석 자료, 지층 층서 자료를 사용하였으며 레이블 자료는 탄성과 자료의 일부 단면을 해석하여 생성하였다. 전체 인라인 자료 중 일부에 대한 직접 해석을 통해 학습된 모델을 전체 탄성과 자료에 적용하여 3차원 가스 분포를 생성하였으며, 이를 탄성과 속성분석을 통해 생성한 기존 3차원 가스 분포와 비교하였다. 기계학습을 통해 예측된 3차원 가스 분포는 기존 다중 탄성과 속성분석을 통해 생성한 결과에 비해 상대적으로 정확하게 가스 분포를 도출하였으며 특히, 하부 암염 구조와 가스 분포 영역을 효과적으로 구분하였다. 이번 연구를 통해 제시된 기계학습 기반 지층 가스 분포 예측 기술은 지하 에너지 자원 개발 및 이산화탄소 지중 저장소 모니터링과 같이 방대한 탄성과 자료를 처리하고 원하는 정보를 도출해야 하는 분야에 적용되어 지하 구조 해석의 효율성 향상에 기여할 수 있다.

사사

본 연구는 한국에너지기술평가원의 지원(No. 20226A10100030, 고성능 해양 CO₂ 저장 모니터링 기술개발) 및 한국연구재단의 지원(No. 2022R1I1A3066265, 지역대학우수과학자)을 받아 수행되었습니다.

지도 학습 기반 라플라스 영역 탄성파 역산

조준현¹⁾, 하완수^{1)*}

¹⁾*부경대학교 에너지자원공학과, wansooaha@pknu.ac.kr

Supervised Learning-based Seismic Inversion in the Laplace-domain

Jun Hyeon Jo¹⁾, and Wansoo Ha^{1)*}

지도 학습을 이용한 딥러닝 탄성파 역산은 소규모 영역을 대상으로 하는 합성 자료 예제에서 우수한 역산 성능을 보여주었다. 이 방법은 시간 영역 파동장을 입력, 지하 속도 모델을 출력으로 하는 심층 신경망을 사용하는데, 시간 영역 파동장으로 인해 작은 크기의 속도 모델을 사용하더라도 입력 자료의 크기가 상당히 커진다. 따라서, GPU 메모리 문제로 인해 대량의 데이터로 훈련하는 지도 학습 기반 딥러닝 탄성파 역산을 현장 규모의 자료에 적용하는 연구는 수행되지 못하고 있다. 본 연구에서는 지도 학습 기반 딥러닝 탄성파 역산 기법을 현장 규모의 자료에 적용하기 위해 시간 영역 파동장 대신 라플라스 영역 파동장을 입력으로 사용하여 지하 속도 모델을 예측하였다. 시간 영역 파동장 대신 라플라스 영역 파동장을 사용하면 저해상도의 결과를 얻게 되지만 입력 자료의 크기가 상당히 감소하여 GPU 메모리 사용량을 줄일 수 있으며, 심층 신경망의 훈련도 가속할 수 있다. 또한, 큰 격자 간격을 사용할 수 있어 현장 자료 크기의 속도 모델과 라플라스 영역 파동장을 효율적으로 다룰 수 있으며 이를 통해 얻은 결과는 고해상도 역산의 초기 모델로 사용할 수 있다. 훈련을 위해 해저 지층을 시뮬레이션한 현장 자료 크기의 인공 속도 모델을 대량으로 생성하였으며, 2차원 견인 스트리머 취득 조건으로 각 속도 모델로부터 라플라스 영역 파동장을 생성하였다. 테스트 자료와 벤치마크 모델을 이용한 수치 예제에서 훈련된 신경망이 합리적인 수준의 역산 성능을 보여주었다.

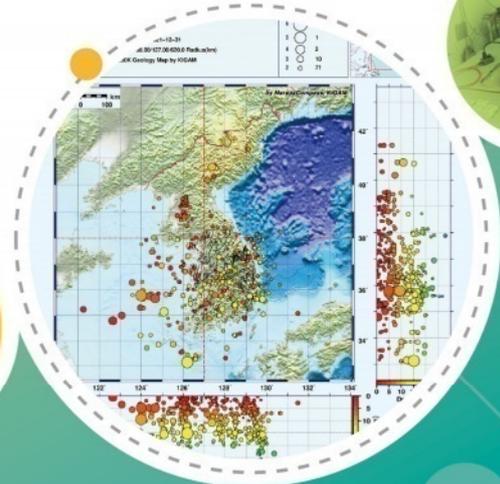
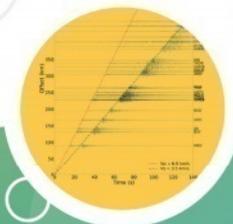
사사

이 연구는 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행되었습니다(No. 2021R1F1A1064432).

특별세션 I

한반도 지진활동과 지진재해 I

좌장: 손민경(한국지질자원연구원)



Fault complexity revealed by focal mechanisms of small earthquakes in Gyeongju, South Korea: effective use of S-wave polarizations retrieved from the high-density seismic array

Sangwoo Han^{1)*}, and YoungHee Kim¹⁾

^{1)*}School of Earth and Environmental Sciences, Seoul National University, sangw876@snu.ac.kr

미소지진 단층면해를 통한 경주 지역 단층 복잡성 규명

한상우^{1)*}, 김영희¹⁾

The southeastern part of Korean Peninsula is the most seismically active after the 2016 Mw 5.5 Gyeongju earthquake. This earthquake sequence involves foreshocks, mainshock, and aftershocks which appear to occur on multiple segments of the Naenam fault. We here investigate detailed fault structures with the focal mechanisms of small earthquakes recorded by the 200 broadband seismic stations that cover a 50 km by 50 km zone of the earthquake sequence.

We developed a method that utilizes S-wave polarizations to increase the accuracy of focal mechanism solutions of small earthquakes ($ML < 3$). S waves recorded within epicentral distance of 13 km were used to exclude non-linear particle motions due to free-surface interactions at incidence angle greater than critical angle of S-to-P conversion. Through rigorous synthetic tests, we assessed focal mechanisms using three different datasets: P-wave first-motion polarities, S/P amplitude ratios, and S-wave polarization directions, with varying levels of measurement errors. Results indicate that utilizing the S-wave polarization directions with correction of S-wave splitting effectively reduces the minimum required number of stations. Considering realistic noise levels for a ML 2.6 event, the solution could be derived with only two stations with mean error of 15° in the 3-D rotation angles. Lastly, we applied our method to determine focal mechanisms of small earthquakes that occurred within the network since 2019 in Gyeongju. We obtained $\sim 90\%$ strike-slip and $\sim 10\%$ reverse faulting mechanisms having spatially different distributions depending on their focal depths. We also found that reverse faulting mechanisms are mostly concentrated at shallower depths. Our analysis results suggest that the location of earthquakes can be improved by using seismic waveforms rotated to the direction of S-wave polarization constrained by the focal mechanism.

This work was supported by the National Research Foundation of Korea (NRF) grant funded by the Korea government (MSIT) (2022R1A2C1003006 and 2022R1A5A1085103).

2022 규모 4.1 괴산 지진 분석을 위한 임시지진관측망 운영과 딥러닝 모델 EQTransformer의 적용

이은진¹⁾, 손유진¹⁾, 김광희^{1)*}, 강수영²⁾, 주형태³⁾

¹⁾*부산대학교 지질환경과학과, kwanghee@pusan.ac.kr

²⁾부산대학교 지질재해연구소

³⁾한국해양과학기술원

Deployment of a temporary seismic network for the 2022 M_L 4.1 Goesan earthquake : Applied to the Deep Learning Model EQTransformer

Eun Jin Lee¹⁾, Yu Jin Sohn¹⁾, Kwang-Hee Kim^{1)*}, Su Young Kang²⁾, and Hyeong-Tae Jou³⁾

2022년 10월 29일 오전 8시 27분 49초(KST) 한반도 중앙에 위치한 괴산에서 규모 4.1 지진이 발생하였다. 부산대학교 지구물리연구실은 주변 관측소와의 방위각을 고려하여 진앙으로부터 8 km 반경 내 9개의 임시지진관측소를 설치하였다. 임시지진관측망은 광대역 지진계 1대와 단주기 지진계 8대로 구성되어있다. 2022년 10월 29일부터 2023년 5월 31일까지 약 7개월의 기간에 대하여 파형자료를 수집하였으며, 해당 기간 동안 총 386개의 이벤트를 검출하였다. 그 중 대부분은 본진 발생 후 13일 동안 발생하였으며, 시간이 지날수록 1일 여진 발생 횟수는 감소하였다. HYPOELLIPSE로 결정된 지진 초기 위치는 이중차분법(Double-difference method)을 활용한 HypoDD를 통해 재결정하였다. 재결정된 여진 진앙은 지표에 존재하는 단층선을 따라 분포하며 주로 12 ~ 15 km 깊이에서 발생하였음을 알 수 있었다. 단층의 기하를 파악하기 위해, 규모 4.1 본진과 미소지진들의 P파 초동 극성을 활용하여 복합단층면해(Composite focal mechanism)를 결정하였다. 수평성분 대 수직성분 스펙트럼 비(Horizontal-to-Vertical Spectral Ratio, HVSR)로부터 구해진 퇴적층 두께와 파워스펙트럼밀도(Power Spectral Density, PSD)의 배경잡음을 분석하여 미소지진 관측에 적합한 환경에 대해 판단하였다. 본진 진앙과 가장 가까운 관측소인 GE01은 퇴적층의 두께가 상대적으로 두꺼운 곳에 위치하며 낮은 신호대잡음비(Signal-to-Noise Ratio, SNR)를 가진다. 가장 조용한 관측소인 GE03과 비교하여, 0.5 ~ 10 Hz 대역에서 GE01의 파워스펙트럼밀도 최빈값은 약 20 dB 정도의 차이를 보였다. 또한 연구 지역의 자료를, 지진 검출과 위상 발체를 동시에 수행할 수 있는 딥러닝 모델인 EQTransformer에 적용하였다. 이 과정에서 학습자료와 파라미터에 따라 4개의 모델로 구분하여 P파와 S파에 대한 예측 성능을 비교하였다. 결과적으로, 비지진 신호와 연구지역의 지진자료를 반영하여 학습한 모델이 EQTransformer의 기존 학습 모델보다 향상된 높은 정확도를 보였다.

2017 포항지진과 여진 7건(Mw>3.5)의 응력강하량과 진원시간함수

손민경^{1)*}, Esteban J. Chaves²⁾, 조창수¹⁾

¹⁾*한국지질자원연구원 지진연구센터, kersti@kigam.re.kr

²⁾Observatorio Vulcanologico Sismologica de Costa Rica-Universidad Nacional

Stress drop estimates and source time functions of the 2017 Pohang earthquake and seven largest aftershocks

Minkyung Son^{1)*}, Esteban J. Chaves²⁾, and Chang Soo Cho²⁾

2017년 포항지진과 모멘트규모 3.5 이상 여진 7건(이하 주요 여진)의 지진원 변수(source parameter), 그 중 응력강하량(stress drop)과 진원시간함수(source time function)를 경험적 그린함수(Empirical Green's Function) 기법으로 추정하고, 결과의 의미를 시공간적으로 살펴보았다. 먼저, 추정된 응력강하량은 2017 포항지진 본진 파열면과 주요 여진 진원의 상대적 위치에 따라 다른 값(1.5-18.4 MPa)을 보였다. 2017 포항지진 본진, 그리고 본진의 파열 반경 안에서 발생한 주요 여진 3건의 응력강하량은 하위 3개 값에 해당하였으며, 이는 본진 파열 반경 안에 축적되었던 응력이 본진 발생에 의하여 부분적으로 적은 응력만을 남기고 대부분 해소되었음을 의미한다. 따라서, 본진 파열 반경에 위치한 약한 단층 부분은 작은 나머지 응력만으로도 파열에 이르렀다고 생각할 수 있다. 가장 큰 응력강하량을 발생시킨 지진은 본진 파열면을 포함하는 중앙 단층면의 외곽 중 최상단에서 발생한 여진이었으며, 두 번째로 큰 응력강하량은 중앙 단층면과 깊이 방향으로 교차하는 북쪽 단층면의 최상단에서 발생한 여진에 대하여 추정되었다. 이 두 여진은 깊이가 얕아지는 방향으로 발생한 여진군에 포함되므로, 위로 이동하는 여진군이 일으킨 응력 변화가 연쇄적으로 누적되어 최상단에서 가장 큰 응력강하량을 발생시켰다고 해석하였다. 이는 최상단이 매우 강하게 결속되어 있는, 즉 마찰 조건이 강한 상태였을 것이며, 여진의 이동이 발생한 영역과는 물리적으로 다른 상태에 놓여 있었을 것이라는 단서를 준다. 한편, 본진의 진원시간함수로부터는 적어도 두 개 이상의 봉우리(peak)를 관찰했으며, 이는 본진이 시간적으로 중첩된 몇 개의 부지진(subevent)으로 구성되었을 것이며, 혹은 공간적으로 특별히 거친 몇 개의 영역(asperity)을 포함하는 파열면을 가졌을 것임을 시사한다. 또한, 방위각에 따른 진원시간함수에서 두 갈래 이상의 뚜렷한 파열 방향성이 관찰되므로, 본진 파열 과정 중 파열의 저지(arrest)와 점프가 일어났을 것이라 생각할 수 있다. 또한, 이번 연구는 처음으로 포항지진 주요 여진의 진원시간함수를 제시하는데, 이 중 한 여진의 진원시간함수가 뚜렷한 두 개의 부지진을 갖는 것을 확인하였다. 이 여진은 중앙면이 깊이 방향으로 분절된 것으로 추정되는 영역에서 발생하였으며, 본진과 진원거리가 약 1 km로 여진의 파열면은 본진의 파열면에 포함된다. 따라서 이 여진의 진원시간함수는 두 개 이상의 부지진 형태를 보인 본진의 진원시간함수 추정 결과에 부합하며, 이 연구에서 제안하는 본진의 파열과정 복잡성을 지지한다.

국지지진 횡파 분리 분석에 의한 한반도 남동부의 상부지각 이방성

백준^{1)*}, 강태섭¹⁾, 허다빈¹⁾, 이진한²⁾, 김광희³⁾, 이준기⁴⁾, 김영희⁴⁾

^{1)*}부경대학교 지구환경시스템과학부, 100june6@gmail.com

²⁾고려대학교 지구환경과학과

³⁾부산대학교 지질환경과학과

⁴⁾서울대학교 지구환경과학부

Upper crustal anisotropy of the southeastern Korean Peninsula revealed by local shear wave splitting

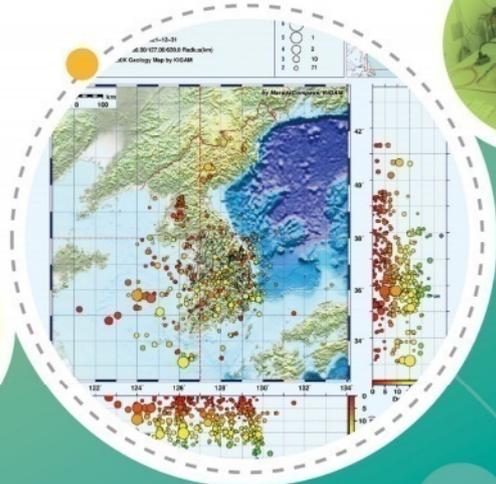
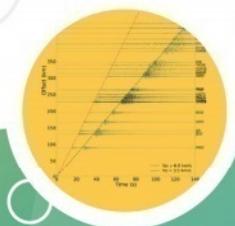
June Baek^{1)*}, Tae-Seob Kang¹⁾, Dabeen Heo¹⁾, Jin-Han Ree²⁾, Kwang-Hee Kim³⁾,
Junkee Rhie⁴⁾, and YoungHee Kim⁴⁾

지각에 분포하는 미세 균열은 크게 단층과 같은 구조적 요인, 또는 응력장에 의해 나란하게 발달하며 지각을 지나는 횡파를 두 개의 수직 성분으로 분리시킨다. 횡파가 분리되면 입자 운동은 비선형성을 가지며 적절한 횡파 분리 매개변수(고속도 횡파 방향과 지연 시간)로 선형성을 복구할 수 있다. 횡파 분리를 분석하기 위해 방법은 고윳값 방법을 사용하였고 자료는 2019년-2020년 사이 경주 고밀도 광대역 지진 관측망(GHBSN)에 기록된 횡파를 사용하였다. 관측한 매개변수는 1차적으로 1) 횡파의 입사각, 2) 고속도 횡파의 오차, 3) 분리 이전 횡파의 입자 운동 방향과 고속도 횡파 방향의 각도 차이, 4) 등급 분류 체계를 이용하여 걸러냈으며, 수동적으로 재선별하였다. 4611개의 자료를 최종적으로 선별하였으며 2016 경주지진 일대와 울산단층 동부에 집중된 양상을 보인다. 지연 시간은 작은 값들에 집중된 분포를 보이며 2016 경주지진 일대와 울산단층 동부에서도 비슷한 양상을 보인다. 고속도 횡파 방향은 장축이 약 30° 방향인 타원형 분포를 보이며 2016 경주지진 시퀀스는 전체에 비해 더 북쪽에 근접한 방향을, 울산단층 동부는 동북동-서남서 방향을 지시하고 있다. 한반도 남동부 지각의 지역적 특성을 확인하기 위해 공간 평균화를 적용하였다. 지연 시간 토모그래피는 울산단층 동부에서 전반적으로 높게 도출되었는데, 이 지역이 울산단층의 상반이라는 특징과 단층들의 미끄럼 경향성이 높게 나온 연구 결과들과 연관되는 것으로 판단된다. 울산단층 서부에서는 좁은 지역에서 주변보다 높게 나타나는 양상을 보이며 선형성을 가지기도 한다. 고속도 횡파 방향은 둘 또는 셋의 대푯값을 가지는 지역들이 다수 존재하며 전반적으로 북동-남서 방향으로 우세한 경향을 보인다. 이는 지각의 지진 이방성에 여러 개의 요인이 복합적으로 작용하고 있다는 것을 의미한다. 울산단층 동부는 북동-남서와 동-서 방향이 우세한 것으로 판단되며 이는 각각 단층과 같은 구조들과 지역 응력장과 관련이 있어 보인다. 양산단층 주변에서는 양산단층의 주향과 나란한 것을 통해 양산단층 주변에 미세 균열이 나란하게 발달하였음을 알 수 있다. 양산단층 서부에서 북동-남서 방향의 우세함은 깊은 깊이에서 작용하는 동북동-서남서의 광역 압축 응력보다는 얇은 깊이에 작용하는 국지적 압축 응력과 관련이 있다고 여겨진다.

특별세션 II

한반도 지진활동과 지진재해 II

좌장: 박성준(연세대학교)



2024년 일본 노토반도 지진에 따른 동해안 지진해일 관측 및 분석

이지민^{1)*}, 유설한¹⁾, 조태환¹⁾, 이하성¹⁾, 박순천¹⁾

¹⁾*기상청 지진화산연구과, jiminlee@korea.kr

Observation and analysis of the East Sea Tsunami due to 2024 Noto Peninsula earthquake, Japan

Jimin Lee^{1)*}, Seolhan You¹⁾, Taehwan Jo¹⁾, Haseong Lee¹⁾, and Sun-Cheon Park¹⁾

2024년 1월 1일 일본 이시카와현 노토반도에서 발생한 규모 7.6의 지진으로 인해 우리나라 동해안에서 지진해일이 관측되었다. 1983년 아키타현 지진해일 및 1993년 홋카이도 지진해일 등 일본 서쪽 해역에서 발생한 지진해일에 의해 동해안의 여러 항구에 피해를 입힌 과거 사례가 있었으나 이번 지진해일의 경우에는 피해가 발생하지 않았다. 기상청에서는 한반도 주변 해역에서 발생한 지진해일의 감시 및 특·정보 발표를 통한 피해 경감을 위해 지진해일 시나리오 DB를 구축하고 지진해일 예측시스템을 개발하여 운영하고 있다. 한반도 인근에서 규모 6.0 이상의 해역 지진이 발생하면 지진의 위치, 규모, 깊이만을 이용하여 가상 지진해일에 대한 사전 정보가 포함된 시나리오 DB에서 구역별 도달시간 및 최대파고 예측 결과를 생산한 후 특·정보를 우선적으로 발표한다. 그리고 추가적으로 분석된 단층정보를 활용한 지진해일 수치모의를 수행하여 필요시 보다 정확한 지진해일 정보를 제공한다. 기상청은 일본 노토반도 지진해일 발생 직후 시나리오 DB를 이용해 해안에 도달하는 지진해일의 최초도달시각과 최대높이를 예측하고 지진해일정보를 발표하였다. 지진해일 감시·관측, 그리고 통보를 위해 기상청은 해일파고계와 연안방재 시스템, 국립해양조사원 조위관측소 등 해양 관측자료를 활용한 실시간 지진해일 검출시스템을 개발하여 현업 운영 중이며, 이번에 발생한 일본 지진해일은 동해안의 속초, 임원 등 주요 관측지점 12개소에서 관측되었으며, 최초 관측된 자료와 업데이트된 관측자료에 대해 검출시스템에서 분석된 정보를 이용하여 지진해일정보 2보와 3보를 각각 발표하였다. 울릉도에 1시간 20분 후인 17시 30분경 최초 관측되었고 이후 남향진, 속초 등 동해안으로 전파되었고 묵호에서는 최대 높이 82cm까지 관측되었다. 수집된 노토반도 지진의 단층면해 분석정보를 이용한 지진해일 수치모의를 수행하여 상세한 지진해일 전파특성을 분석하였다. 최근에는 지진해일 선도관측망 확보 및 지진해일 감시·관측역량 강화를 위해 RTK-GPS 기반의 근해 지진해일 신관측기술과 CCTV 영상 기반 인공지능 지진해일 자동 관측 기술을 개발하고 있다.

주요 고주파 지진 변수 반영 지진동 모사 분석 및 한반도 역사지진 규모 평가 적용 연구

박은진^{1)*}, 송석구²⁾

^{1)*}한국지질자원연구원 지진재해연구본부 선임연구원, eunjinn@kigam.re.kr

²⁾한국지질자원연구원 지진재해연구본부 책임연구원

Ground-motion Simulation with High Frequency Seismic Parameters and Magnitude Estimation of Korean Historical Earthquakes

Eunjin Park^{1)*}, and Seok Goo Song²⁾

이 연구에서는 한반도 역사지진에 대해 물리적 지진 모델링 기반 지진동 모사 기술을 적용하여 기존의 문헌 기록 및 진도-규모 변환식 등을 활용하여 추정된 역사지진 규모와 비교 분석하였다. 이를 위해 우선 물리적 지진 모델링 기반 지진동 모사 기술의 한반도 적용 가능성을 확인하였다. 지진동 모사 기술은 지진 재해 평가 및 지진동 특성 파악을 위해 중요한 분야로, 보다 정확한 지진동 모사를 위해서는 지역별 지진원 모델링, 지진파 전파, 부지 효과 등을 고려해야 한다. 한반도 환경에 적합한 지진동 모사를 위해 한반도 속도 모델을 사용하고 고주파 지진원 변수인 κ , 감쇄상수 Q , 응력강하량 등을 고려하였다. 2016년 경주지진을 대상으로 실제 지진 자료와 지진동 모사 자료를 비교하여 적합한 고주파 지진 변수들을 결정하였다. 이렇게 개발된 지진동 모사 기법을 1036년 경주지진 및 1643년 울산지진에 적용하여 지반 운동의 특성을 파악하고 최대 지반 속도/가속도를 도출하여 역사지진의 규모를 평가하였다. 각 역사지진의 위치 및 최대 진도는 기상청에서 발간한 ‘한반도 역사지진 기록(2년~1904년)’에서 발췌하였으며 규모 결정은 Lee and Yang(2006) 논문의 진도-규모 변환식을 사용하였다. 지진원 메커니즘은 2016 경주 지진에 대한 연구 결과(Uchide and Song, 2018)를 따랐으며 단층 크기는 Wells and Coppersmith(1994) 방법을 통해 얻었다. 이 기법을 통해 추정된 규모는 기존의 역사지진 규모에 비해 비슷하거나 조금 과추정되는 결과를 보인다. 본 연구는 물리적 지진 모델링을 이용한 지진동 모사 기술을 한반도 역사지진 규모 평가에 적용하기 위한 기반 연구로, 추후 지진동 모사 기술과 진도-규모 변환 방법 등을 향상시키면 좀 더 신뢰도 높은 평가 시스템을 구축할 수 있을 것으로 기대한다.

사사

이 연구는 한국지질자원연구원의 기본사업인 ‘동남권 단층지진원 기반 강지진동 예측 및 지역특화 지진조기경보 기술개발(GP2020-027)’ 과제의 지원을 받아 수행되었습니다.

한반도의 확률론적 지진 재해 분석

박성준^{1)*}, 홍태경¹⁾

^{1)*}연세대학교 지구시스템과학과, seongjunpark@yonsei.ac.kr

Probabilistic seismic hazard analysis for the Korean Peninsula

Seongjun Park^{1)*}, and Tae-Kyung Hong¹⁾

한반도는 안정한 판 내부 환경에 위치하여 낮은 지진활동도를 보인다. 그러나 역사 문헌 기록은 과거 한반도에서 중규모 이상 지진이 다수 발생하였음을 시사한다. 최근 2016년 M_L 5.8 경주 지진, 2017년 M_L 5.4 포항 지진, 2021년 M_L 4.9 서귀포 해역 지진, 2022년 M_L 4.1 괴산 지진 등 중규모 지진들이 연이어 발생하여 한반도의 지진 위험성에 대한 우려가 높아지고 있다. 효과적인 지진 방재를 위해서는 잠재적인 지진 재해의 수준 산정이 필요하다. 본 연구에서는 한반도의 확률론적 지진재해분석(probabilistic seismic hazard analysis)을 수행한다. 기상청(Korea Meteorological Administration), 일본 기상청(Japan Meteorological Agency), 중국 지진국(China Earthquake Administration)으로부터 수집된 1978-2019년 사이의 계기 지진 목록과 역사 기록으로부터 평가된 2-1904년 사이의 역사 지진 목록을 취합하고, 다양한 지진지체 구조 모델을 적용하여 지진의 발생 밀도, Gutenberg-Richter 규모-빈도 관계, 지진원 깊이, 최대지진규모 등의 지진원 모델을 작성한다. 한반도 암반 부지에 대해 개발된 7개의 지진동예측식(ground motion prediction equation)을 지진동 모델로서 고려한다. 작성된 지진원 및 지진동 모델에 대해 지진동의 강도에 따른 발생 확률을 지역별로 산정한다. 서로 다른 입력 모델에 따른 결과들을 논리수목을 통해 취합하여 입력 모델에 따른 불확실성을 보완한다. 분석 과정 및 결과는 몬테카를로 시뮬레이션(Monte Carlo simulation) 및 벤치마크 검사(benchmark test)를 통해 검증한다. 한반도 북서부, 중남부, 남동부에서 지진 위험성이 상대적으로 높은 것으로 평가되며, 해당 지역들에서 250, 500, 1000, 2400, 4800년 재현주기를 갖는 최대지반가속도는 약 0.06, 0.09, 0.13, 0.21, 0.28 g로 나타난다. 한편, 해당 재현 주기에 대해 한반도 중부 및 남서 지역은 약 0.04, 0.06, 0.08, 0.14, 0.20 g의 잠재적 지진동을 나타내어 상대적으로 낮은 지진 재해를 보인다. 이러한 지진 재해 모델은 지진 분포와 높은 상관성을 보이며, 특히 동일본 대지진 이후 증가된 지진 활동이 한반도 동남부의 높은 지진 재해 잠재성을 보인다.

단층이동률과 지진발생률의 관계에 대해

노명현^{1)*}

^{1)*}한국원자력안전기술원 구조부지평가실, mhnoh@kins.re.kr

On the Relationship between the Fault Slip Rate and Earthquake Occurrence Rate

Myunghyun Noh^{1)*}

어떤 지역의 지진의 발생률은 그 지역의 지진재해도에 결정적인 영향을 미치는 인자의 하나이다. 지진모멘트의 정의, $\mu AS = \dot{M}_0^T$ 는 지질학적 정보와 지진학적 정보를 결합하는 수단을 제공한다. 우변의 단층면적(A)과 이동률(S)을 지질학적 조사나 측량을 통해 결정할 수 있다면, 지진학적 관측으로부터 결정한 지진모멘트 총방출률(\dot{M}_0^T)의 적합성을 검토하는데 사용할 수 있다. 한편, 우리나라에서 지표지질조사를 통해 발견된 제4기 단층은 지진학적 정보가 없으므로 지질학적 정보로부터 지진모멘트 방출률을 추정할 수 있다. 지진학적으로 \dot{M}_0^T 를 계산하는 과정에서 지진발생률을 계산할 수 있다. 이때 주로 사용되는 관계식은 $\dot{M}_0^T = \int_{-\infty}^{m^u} \dot{n}(m)M_0(m)dm$ 이다. 여기에서 $\dot{n}(m)$ 과 $M_0(m)$ 은 각각 규모 m 인 지진의 발생률과 지진모멘트이며, m^u 은 해당 단층에서 발생할 수 있는 최대 지진의 규모이다. 이 식의 문제는 적분의 하한($-\infty$)이다. 물리적으로 $-\infty$ 의 규모가 정의되지도 않을 뿐만 아니라, 규모-빈도 관계식이 $-\infty$ 의 규모까지 성립하는지도 확인할 수 없다. 또한, 규모가 $-\infty$ 인 지진은 무한히 많이(∞) 발생하므로 수학적으로도 $\dot{n}(m)$ 을 정규화할 수 없다. 정규화 문제는 $\dot{n}(m)$ 대신 규모에 대한 확률밀도함수를 이용할 때 더욱 명확하게 나타난다. 이 논문에서는 이러한 문제에 대한 공개 토론을 위해 작성되었다. 다양한 검토의견을 기대한다.

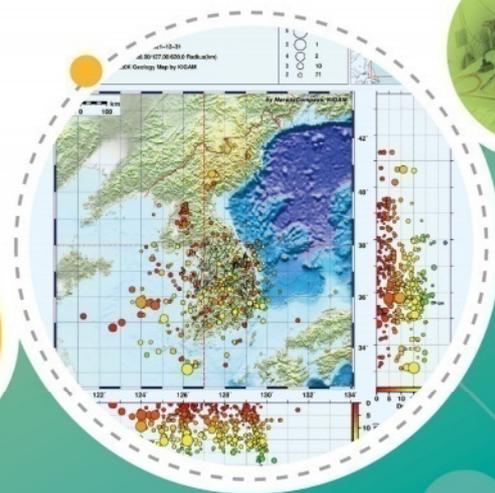
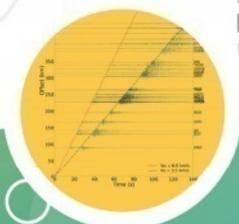
사사

이 연구는 원자력안전위원회의 재원으로 한국원자력안전재단의 지원을 받아 수행한 원자력안전연구사업의 연구결과입니다(No. 2205001).

일반세션 2-1

공학/실무

좌장: 전형구(경북대학교)



딥러닝 기반 GPR 자료해석 모델을 이용한 교량 바닥판 상태평가 작업 효율 향상

최병훈^{1)*}, 채휘영¹⁾, 장제훈¹⁾

^{1)*}(주)지오메카이엔지, bhoon1121@gmail.com

Efficiency Improvement of Bridge Deck Condition Assessment using Deep Learning-based GPR Data Analysis Model

Byunghoon Choi^{1)*}, Hwi-Young Chae¹⁾, and Je-Hun Jang¹⁾

교량 바닥판은 교통하중과 염화물 침투 등 다양한 유해환경에 직접 노출되어 손상 및 노후화가 진행되고 있으며, 이에 따라 유지보수와 안전관리가 필요한 실정이다. 국내에서는 교량 바닥판의 상태 평가를 위해 효율적인 탐사가 가능한 지표투과레이더(Ground Penetrating Radar, GPR) 장비를 활용하고 있다. 콘크리트 구조물 내의 철근 부식의 원인은 균열 및 초기결함으로부터 유입된 수분과 염화물에 밀접한 관련이 있으며, 이는 GPR 자료에서 진폭 감쇠에 영향을 미친다. 따라서 상부 철근으로부터 반사되어 돌아오는 신호의 진폭 세기를 측정하면 감쇠 정도에 따라 교량 바닥판의 상태를 평가할 수 있다. 해석 과정에는 전문가가 직접 상부 철근에 의해 나타난 쌍곡선(Hyperbola) 형태의 신호를 찾는 과정이 필요하며, 이는 많은 시간이 소요되는 작업이다. 기존에는 이러한 문제를 해결하기 위해 결정론적인 알고리즘 기법들이 사용되었지만, 잡음 특성에 민감하고 자료의 질에 따라 적용하기 어려운 문제가 있어 최근에는 딥러닝(Deep Learning) 기반의 기법들이 주로 활용되고 있다. 본 연구에서는 취득된 GPR 자료에서 쌍곡선 형태로 나타난 신호를 찾기 위해 합성곱 신경망(Convolutional Neural Network, CNN) 기반 모델을 사용한다. CNN 모델은 2차원의 GPR 자료로부터 쌍곡선 형태로 나타난 신호의 위치를 추정하여 교량 바닥판 상태평가 작업을 효율화시킨다. 특정 교량에서 취득된 자료로 학습된 모델은 지속적인 교량 유지관리 목적으로 유용하게 활용될 수 있으며, 다양한 교량에서 취득된 자료를 축적한다면 일반화된 성능을 가진 모델 학습을 기대할 수 있다.

상시미동 배열 탐사와 다중채널표면파 탐사를 활용한 전단파속도 주상도 추정

서환우¹⁾, 김병민^{1)*}

¹⁾*울산과학기술원 지구환경도시건설공학과

Estimation of shear wave velocity profiles using microtremor array measurements and multi-channel analysis of surface waves

Hwanwoo Seo¹⁾, and Byungmin Kim^{1)*}

전단파속도(Shear wave velocity; V_S)는 지반의 강성을 나타내는 중요한 변수이다. V_S 는 크로스홀 테스트, 다운홀 테스트, 부유식 음파검층 등과 같은 시추공 탐사와 상시미동 배열 탐사(Microtremor array measurements; MAM), 다중채널표면파 탐사(Multi-channel analysis of surface waves; MASW) 등의 비파괴 탄성파 탐사를 통해 획득할 수 있다. 시추공 탐사는 복잡한 역산과정 수행없이 신뢰성 높은 지반의 V_S 주상도를 획득할 수 있지만, 비용과 시간이 많이 소요되고 도심지 등 장소에 제약을 받을 수 있다. 반면 MAM과 MASW는 저비용과 저시간으로 장소에 큰 제약 없이 V_S 주상도를 얻을 수 있지만, 분산곡선 추출과 역산과정에서 분석가의 전문성이 요구된다. 이 연구에서는 포항시에 위치한 한동대학교와 송도숲에서 MAM과 MASW 탐사를 수행하여 깊이 100m 이상의 V_S 주상도를 획득하였다. MAM 탐사의 경우 14개의 Trillium compact 120s 지진계를 50m와 150m 직경의 원형으로 배치하고, 중앙에 1개의 지진계를 배치하여 상시미동을 측정하는 수동탐사(Passive test)를 수행하였다. MASW 탐사는 24개 수신기를 1m 간격으로 배열하였고, 해머와 쇠판을 통해 표면파를 발생시켜 주동탐사(Active test)를 수행하였다. High-resolution frequency-wavenumber method와 phase-shift method를 기반으로 분산 이미지를 획득하고, 각 탐사의 센서 간격을 고려하여 기본모드 분산곡선(Fundamental mode dispersion curve)을 추출하였다. Geopsy 프로그램 내 dinver를 통해 분산곡선과 수평/수직 스펙트럼 비 곡선에서 얻은 지반의 공진주파수, 시추공 데이터를 활용한 복합역산(Joint inversion)을 수행하였다. 한동대학교와 송도숲에서 각 깊이 136m와 110m까지 V_S 주상도를 획득하였다. 탐사 결과의 신뢰성을 평가하기 위해, 다운홀 테스트와 비교 검증하였으며, 두 탐사에서 유사한 결과를 보였다.

사사

이 연구는 한국수력원자력(주)에서 재원을 부담하여 “제 2022-기술-03호”에서 수행한 연구결과입니다. 이에 감사드립니다.

TSP 탐사의 지반 물성 분석 결과를 이용한 암반상태 및 함수대 예측

임경학^{1)*}, 채휘영¹⁾, 한경수¹⁾

^{1)*}(주)지오메카이엔지, khlim781@naver.com

Prediction of rock mass condition and water bearing zones using ground property analysis of results from TSP

Kyounghak Lim^{1)*}, Hwiyoung Chae¹⁾, and Kyeongsoo Han¹⁾

터널 설계를 위한 조사단계에서 조사지역의 지형적인 특성으로 인해 시추조사 및 물리탐사 등의 현장조사가 제한적으로 수행될 경우 정확하게 지반상태를 파악하는데 한계가 따른다. 이러한 지반상태의 불확실성을 해소하고, 정확한 지층특성을 파악하기 위하여 시공 중 조사가 적용되고 있으며, 지반상태에 따른 굴착방법 및 보강방법 등을 사전에 합리적으로 결정하여 경제성 및 안정성, 굴착효용성을 크게 향상 시킬 수 있다. 본 연구는 대표적인 시공 중 조사 방법인 터널 전방 예측 탄성파탐사(Tunnel Seismic Prediction, TSP)의 지반 물성 분석 결과(V_p , V_s , E_d , V_p/V_s , ν)를 이용하여 터널 막장면 전방의 암반상태 및 함수대를 예측하는 방법을 연구하였다. 먼저 암반상태 분석은 TSP 탐사의 탄성파속도(V_p , V_s) 및 동탄성계수(E_d)와 막장면 관찰(face mapping)의 RMR 결과와 상관성 분석을 수행하였다. 지반 물성(V_p , V_s , E_d)과 RMR 사이의 상관관계를 도출하고, 결정계수(coefficient of determination, R^2)를 비교하여 가장 상관성이 높은 지반 물성을 분석하였다. 연구지역 전체 구간에서 상관성이 양호한 지반 물성 분포를 도식화하고, RMR 변화에 따른 지반 물성의 변화 양상을 분석하였다. 또한 적용 지보패턴과 지반 물성 변화를 구간별로 분석하여 암반상태에 따른 RMR과 지반 물성 그리고 적용 지보패턴과의 관계를 분석하였다. 함수대 구간의 평가는 실제 지하수 유출로 인해 시공 중 문제가 발생한 터널 현장에서 TSP 탐사를 수행하여, 미 굴착 구간의 탄성파속도비(V_p/V_s)와 포아송비(ν)를 산정하였다. 이후 터널 굴진과 함께 수행된 막장면 관찰에서 구간별로 지하수 유출량을 확인하고, 앞서 산정한 탄성파속도비 및 포아송비와 비교하였다. 지하수 유출량 25 L/min 이상(막장면 관찰의 지하수 상태 “물방울 떨어짐”)을 터널 시공 과정에서 문제가 발생할 수 있는 함수대 구간으로 선정하고, 이 구간에서 탄성파속도비와 포아송비 분포 범위를 분석하였다. TSP 탐사의 지반 물성(V_p , V_s , E_d)과 막장면 관찰의 RMR을 상관성 분석한 결과, 동탄성계수가 가장 양호한 상관성을 보였으며, 터널 전체 구간에서 동탄성계수와 RMR 분포가 암반상태에 따라 매우 유사한 분포양상을 보이는 것으로 분석되었다. 또한 지하수 유출량이 25 L/min 이상인 구간에서 탄성파속도비는 약 2.0 이상, 포아송비는 약 0.3 이상의 값을 보이는 것으로 분석되었으며, 탄성파속도비와 포아송비 분포로부터 개략적인 함수대의 추정이 가능한 것으로 판단하였다.

전기비저항탐사 장비 개발 및 토양 오염 농도 추정 가능성 연구

안태균^{1)*}, 이희순¹⁾, 김성도¹⁾, 고지혜¹⁾, 최재영²⁾, 송서영²⁾, 이선재²⁾

^{1)*}(주)지오룩스, tgahn@geolux.co.kr

²⁾한국과학기술연구원

Development of Electrical Resistivity Exploration Equipment and Estimation Possibility Study of Concentration in Contaminated soil

Taegyuh Ahn^{1)*}, Heuisoon Lee¹⁾, Seungdo Kim¹⁾, Chihye Ko¹⁾, Jaeyoung Choi²⁾,
Seoyoung Song²⁾, and Sunjae Lee²⁾

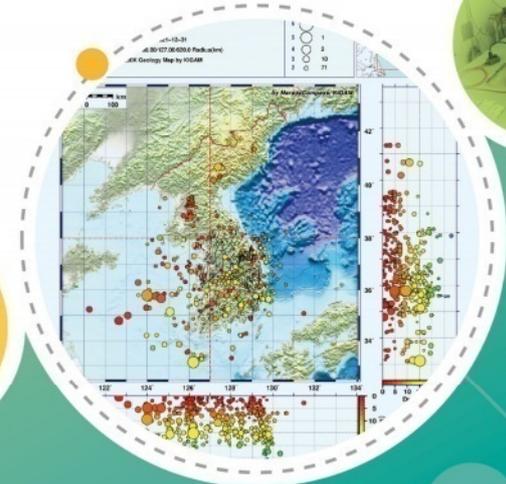
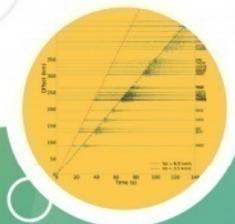
납으로 오염된 토양에 대한 연구는 중금속 오염의 대표적인 예로써 주요 관심사 중 하나이다. 납은 점토 광물 및 유기물과 복합체를 형성하여 토양에 존재할 수 있으며, 결합력은 pH, 유기물 함량 변화에 의존한다. 특히 사격장에서 사용되는 탄환은 납, 구리, 아연 및 안티몬 등을 포함한다. 이와 같은 중금속을 분석하기 위해 지구화학적 분석을 적용해왔다. 지구화학적 분석은 시료 채취 지점의 농도 결과를 얻을 수 있으나, 채취 지점과 지점 사이의 결측지에 대한 정보는 확인할 수 없다는 한계점이 존재한다. 따라서, 결측지에 대한 정보를 획득하기 위해 전기비저항탐사 기법을 적용하였다. 전기비저항탐사는 오염부지 및 사용자에게 최적화된 편리하고, 효율적이며, 고성능의 맞춤형 국산화 자체 개발 장비인 (주)지오룩스의 SmartRho M10을 활용하였다. 리시버 채널은 10ch로 동시 10개 자료 측정이 가능하다. 사용자는 간편한 터치 방식으로 시스템 작동이 가능하며, 현장에서 쌍극자 배열법에 대한 2차원 가단면도 결과를 스크린을 통해 확인할 수 있다. 기본 48개 전극을 사용할 수 있지만, 스위치 박스 연결을 통해 현장 적용 제약 없이 사용자가 원하는만큼 확장 가능하다. 또한 장비 내구성을 기반으로 특정 영역에서의 장기적·지속적인 전기비저항 모니터링도 가능하다.

따라서 SmartRho M10 자체 개발 장비를 활용하여 획득한 전기비저항탐사 값과 토양 샘플로부터 얻어진 오염 농도 사이에 유의미한 상관관계가 나타남을 확인할 수 있었다.

일반세션 2-2

지진/지구물리

좌장: 박은진(한국지질자원연구원)



Constraining Upper Mantle Seismic Anisotropy beneath the Oldest Pacific Seafloor from Shear-wave Splitting

Seung-Heon Choi^{1)*}, YoungHee Kim¹⁾, Hyunsun Kang²⁾, Hwaju Lee¹⁾, Takehi Isse³⁾, Hitoshi Kawakatsu³⁾, Sung-Joon Chang⁴⁾, Sang-Mook Lee¹⁾, Hajime Shiobara³⁾, Hisashi Utada³⁾, Nozomu Takeuchi³⁾, and Hiroko Sugioka⁵⁾

^{1)*}Seoul National University, spica6375@snu.ac.kr

²⁾University of Florida

³⁾Earthquake Research Institute, The University of Tokyo

⁴⁾Kangwon National University

⁵⁾Kobe University

해저면 지진계를 활용한 오래된 태평양판의 맨틀 비등방성 구조 규명

최승헌^{1)*}, 김영희¹⁾, 강현선²⁾, 이화주¹⁾, Takehi Isse³⁾, Hitoshi Kawakatsu³⁾, 장성준⁴⁾, 이상묵¹⁾, Hajime Shiobara³⁾, Hisashi Utada³⁾, Nozomu Takeuchi³⁾, and Hiroko Sugioka⁵⁾

In this study, we have applied shear-wave splitting method to resolve upper-mantle seismic anisotropy, which allow for inferences on the style of deformation and flow of mantle below the oldest part of the Pacific Plate (160–180 Ma) known as the Pacific Triangle. Based on the data recorded at 11 broadband ocean-bottom seismometers, total 195 measurements from teleseismic S phases (XKS, ScS, and direct S) are used to estimate fast polarization directions (FPDs) and delay times (DTs). In spite of the complicated splitting parameters showing deviations even at the same station, several main characteristics were revealed throughout the study region. Splitting parameters at two frequency bands (0.05–0.125 Hz, LF; 0.125–0.5 Hz, HF) show a distinct frequency dependence suggesting the presence of vertical heterogeneity in seismic anisotropic structures. While the dominant trend of FPDs in LF reveals a WNW-ESE or NW-SE orientation that aligns with the N73°W absolute plate motion (APM), FPDs in HF show a NE-SW orientation, perpendicular to the N40°W paleo-spreading direction. Moreover, stations showing high-ratio of null measurements in LF are located either on the Magellan Seamount Trail (MST) and northeast of MST, which corresponds to the regions that reveal pronounced slow-velocity anomaly at 100–300 km depths (Kang et al., 2023). This would imply potential mantle upwelling, or destructive interference as waves traverse multiple anisotropic layers. Based on our observation, we suggest that a drag-induced asthenospheric flow alone cannot explain the variation of splitting parameters; it might likely result from the complexity of the upper mantle.

사사

This work was supported by the National Research Foundation of Korea (NRF) grant funded by the Korea government (MSIT) (2022R1A2C1003006 and 2022R1A5A1085103).

빙진 모니터링 시스템 개발과 남극 빙하에서의 적용

고지혜^{1)*}, 이희순¹⁾, 김성도¹⁾, 안태규¹⁾, 이주한²⁾, 정창현²⁾, 김형권²⁾, 윤동진²⁾

^{1)*}(주)지오룩스, kochir@geolux.co.kr

²⁾극지연구소 미래기술센터

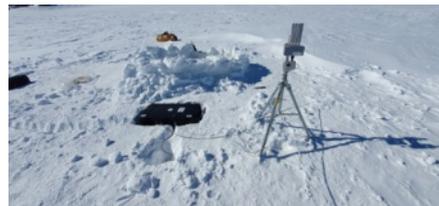
Development of Icequake monitoring system for Antarctic glaciers

Chihye Ko^{1)*}, Heuisoon Lee¹⁾, Seungdo Kim¹⁾, Taegy Ahn¹⁾, Joochan Lee²⁾, Changhyun Chung²⁾,
Hyoung-kwon Kim²⁾, and Dong-Jin Yoon²⁾

최근 급변하는 기후변화가 실제 다양한 분야에 영향을 미치며 이러한 변화 양상에 대한 모니터링이 요구되어지고 있는 실정이다. 특히 이러한 기후변화에 가장 큰 영향이 나타나는 곳이 극한지, 극지이다. 극지에서도 기후변화로 인하여 남극의 빙하의 규모 및 면적이 점차 줄어들고 있으며, 이러한 빙하의 용융으로 인하여 빙하에서의 지속적인 진동이 발생되기 때문에 이에대한 지속적인 모니터링이 요구되고 있다. (주)지오룩스에서는 빙하의 용융 및 균열 등으로 빙하 내부에서 발생하는 다양한 진동을 탐지하고 연구자들이 빙하 상부에 드론 또는 헬기등으로 쉽게 설치할 수 있는 빙하 지진 모니터링 장비 및 시스템을 개발하였다. 개발 시스템은 극한 환경에서도 지속적인 빙하의 진동을 측정할 수 있도록 내구성을 고려하여 개발되었다. MEMS 센서 기반의 3축 가속도 센서의 신호를 측정하여 기록하며, FTP를 통하여 서버로 전송하도록 개발하였다. 본 시스템은 현재 남극과 포항에 설치되어 운영중에 있으며 특히 포항에 설치되어있는 장비의 경우 고정설치되어 1년이상 모니터링 진행중에 있다. 개발 장비의 지속적인 모니터링 운영을 통해 확보된 진동 데이터는 향후 극지 환경 모니터링 및 기후 연구등에 좋은 자료를 제공할 수 있을 것으로 기대된다.



빙진 모니터링 센서(MEMS 기반)



현장 적용 모습

사사

이 연구는 해양수산부의 재원으로 해양수산과학기술진흥원의 지원을 받아 수행되었습니다.(과제번호 : KIMST 20210629)

Constraints on crustal seismic properties of the southern Korean Peninsula using Virtual Deep Seismic Sounding

Young Oh Son^{1)*}, YoungHee Kim¹⁾, and Chunquan Yu²⁾

^{1)*}Seoul National University, sonofson@snu.ac.kr

²⁾Southern University of Science and Technology

Virtual Deep Seismic Sounding을 활용한 한반도 남부 지각의 지진학적 성질 규명

손영오^{1)*}, 김영희¹⁾, Chunquan Yu²⁾

The southern Korean Peninsula (SKP) preserves complicated history of geologic events in the Northeast Asia, reflected by series of tectonic units trending NE-SW to NNE-SSW. Estimation of the average P-wave velocity (V_p), thickness (H) and P-to-S velocity ratio (κ) of the SKP crust can provide key information on its composition, isostasy, and state of thermal interaction with the upper mantle. In this study, we constrain these properties of the continental crust of the SKP by performing a joint analysis of Virtual Deep Seismic Sounding (VDSS) and P-wave receiver function (PRF). For VDSS, we inverted for H and V_p by fitting direct S and SsPmp recorded by 192 stations (107 broadband seismometers and 154 accelerometers) in SKP. The κ was then computed from differential arrivals of direct and multiple P-to-s conversions in the PRF, combined with V_p and H from VDSS.

Estimates of V_p , H, and κ range within ~ 6.0 – 6.7 km/s, ~ 23 – 34 km, and ~ 1.66 – 1.82 , respectively. Independent calculation of H and κ from H- κ stacking fed by variable V_p from VDSS shows similar trend overall, supporting the validity of obtained results. Crustal constituents inferred from the comparison of V_p and κ with those of rock samples indicate the prevalence of typical metamorphic rocks and granites, with decreasing silica content as it goes southeast. V_p over 6.4 km/s in the southern province of Yeongnam Massif and Gyeongsang Basin might reflect magmatic underplating induced by the subduction of Izanagi Plate in the Cretaceous. Similar value in the southwestern portion of Okcheon Belt seems to be the result of rifting in the Paleozoic, between Precambrian massifs. Shallow Moho (~ 23 – 25 km) along the eastern coast shows evidence for the opening of the East Sea. V_p in the Yeongnam Massif and Gyeongsang Basin shows similarity to North China Craton, while those are significantly lower in the Gyeonggi Massif at similar latitudes. This discrepancy, together with lower κ in the Gyeonggi Massif, implies its possible origin linked to South China Craton.

This work was supported by the National Research Foundation of Korea (NRF) grant funded by the Korea government (MSIT) (2022R1A2C1003006 and 2022R1A5A1085103).

Teleseismic constraints on the crustal structure beneath Gyeongju, S. Korea from high-density seismic array data

Minkyung Kim^{1)*}, Hobin Lim²⁾, YoungHee Kim¹⁾, Junkee Rhie¹⁾, Tae-Seob Kang³⁾,
Kwang-Hee Kim⁴⁾, and Jin-Han Ree⁵⁾

^{1)*}Seoul National University, shinyjade@snu.ac.kr

²⁾Korea Institute of Geoscience and Mineral Resources

³⁾Pukyong National University

⁴⁾Pusan National University

⁵⁾Korea University

고밀도 지진 관측망을 활용한 경주 지역 지각 구조 규명

김민경^{1)*}, 임호빈²⁾, 김영희¹⁾, 이준기¹⁾, 강태섭³⁾, 김광희⁴⁾, 이진한⁵⁾

The southeastern Korean Peninsula (SeKP) is known as one of the most seismically active regions in South Korea and experiencing complex tectonic processes influenced by the subduction of the paleo-Pacific Plate in the Cretaceous and the East Sea opening in the Cenozoic. The Gyeongju Hi-density Broadband Seismic Network (GHBSN) deployed in an area of 50 km by 50 km consists of 200 broadband stations that densely cover the region where aftershocks of the 2016 M_w 5.5 Gyeongju earthquake occurred. The GHBSN covers the Yangsan Fault (YSF) and the Ulsan Fault (USF) from west to east, encompassing the Gyeongsang basin to the west and the Miocene basin to the east with respect to the Yeonil tectonic line situated in close proximity to the USF.

We calculated the receiver functions using 647 teleseismic events in distance of 30° – 90° in 2018–2023 to retrieve detailed crustal structure and seismic properties. We observed two step-like changes in Moho depth; abrupt changes from 34 km to 28 km beneath the YSF and 28 km to 25 km beneath the USF, which could be related to the extensional basin formation in SeKP. The crustal P-to-S wave velocity ratio (V_p/V_s), a good proxy for rock types, is estimated as 1.78. Slightly higher V_p/V_s (>1.8) in the eastern side of the USF and the western side of the YSF could be affected by mafic crustal composition related to magmatic activities from the Cretaceous to Cenozoic. The P-to-S converted phase at Moho of the radial and tangential RFs shows systematic backazimuthal phase shift, indicating the presence of seismic anisotropy in terms of fast symmetric axis (FSA) and delay time (DT). Overall the FSA trend exhibits a clockwise rotation from west to east; $\sim 325^\circ$ of the FSA azimuth west of the YSF, shifting to $\sim 355^\circ$ between the YSF and the USF, and $>30^\circ$ east of the USF. Lastly, the average DT is 0.32 s corresponding to the degree of anisotropy of $\sim 4\%$. Our crustal anisotropy measurements suggest that the crust might have experienced deformation attributed to the East Sea opening in the Cenozoic.

This work was supported by the National Research Foundation of Korea (NRF) grant funded by the Korea government (MSIT) (2022R1A2C1003006 and 2022R1A5A1085103).

Investigation of Rupture Processes of Two 2021 Earthquake Sequences using Regional Lg wave in Gunsan Basin

Jun Yong Park^{1)*}, YoungHee Kim¹⁾, Won Young Kim²⁾, and Xuzhang Shen³⁾

^{1)*}Seoul National University, zip1900@snu.ac.kr

²⁾Columbia University

³⁾Sun Yat-Sen University

Lg 파를 이용한 2021 군산분지 지진 시퀀스의 파열 과정 분석

박준용^{1)*}, 김영희¹⁾, 김원영²⁾, Xuzhang Shen³⁾

Understanding the rupture processes and seismic scaling relations is important for earthquake source physics studies and hazard assessments. These relations can be influenced by factors such as complex structures and source radiation patterns, necessitating well-observed data. In the Korean Peninsula, the limitations of seismic observations have resulted in relatively few studies in the Yellow Sea region. In this study, we investigated distinct rupture processes and scaling relations in the Gunsan Basin of the Yellow Sea through two earthquake sequences with high station azimuthal coverage ($\sim 310^\circ$) at a regional distance (150 – 550 km).

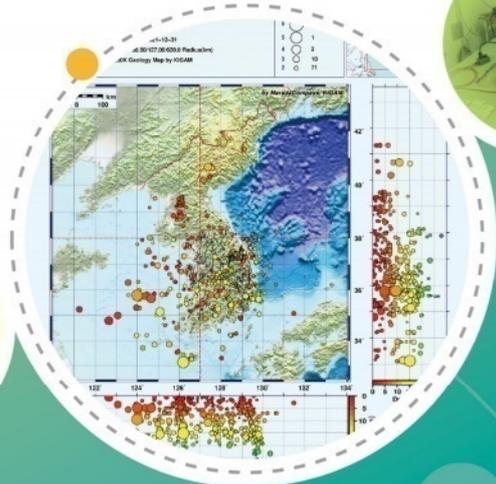
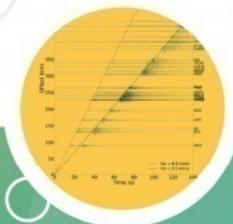
Two sequences occurred in the Gunsan Basin in January 18, 2021, and December 3, 2021, with Mw 4.7 and Mw 4.2 mainshocks, accompanied by five and two aftershocks, respectively. The focal mechanisms of both mainshocks indicated similar strike-slip faulting along steeply dipping nodal planes striking NW ($\sim 305^\circ$) and SW ($\sim 215^\circ$) at a depth of 10 km. The mainshock locations, determined using body waves, suggested a fault plane in the NW-SE direction, but the aftershock locations had high uncertainty due to a low signal-to-noise ratio. To address this problem, we performed epicentral relocation using cross-correlation of Lg waves, that are characterized by strong amplitude and travel through the continental crust beneath the Yellow Sea with a group velocity centered at 3.3 km/s. The results revealed a NW-SE trend fault along one of the nodal planes of the focal mechanism. Based on the relocation, Green's function analysis subsequently measured the corner frequencies of the two mainshocks. The corner frequency variation of the Mw 4.7 event indicated a bi-lateral or circular rupture with a higher stress drop, while the Mw 4.2 event exhibited a uni-lateral rupture strongly directed to the SE with a lower stress drop. These characteristics are also observed in displacement spectrum. Despite the two mainshocks' close proximity and similar focal mechanisms, our findings suggest that they have distinct rupture processes and ground motion variations.

This work was supported by the National Research Foundation of Korea (NRF) grant funded by the Korea government (MSIT) (2022R1A2C1003006 and 2022R1A5A1085103).

일반세션 3-1

물리탐사

좌장: 신영재(경상국립대학교)



시간 경과 탄성파 자료의 반복성 향상을 위한 기계 학습 모델의 불확실성 정량화 연구

이수진¹⁾, 신정균²⁾, 하지호²⁾, 전형구^{1)*}

¹⁾*경북대학교 지질학과, hgjun@knu.ac.kr

²⁾한국지질자원연구원 포항지질자원실증연구센터

A Study on Uncertainty Quantification of Machine Learning for Repeatability Enhancement of Time-lapse Seismic Data

Soojin Lee¹⁾, Jungkyun Shin²⁾, Jiho Ha²⁾, and Hyunggu Jun^{1)*}

지하 공간의 효율적이고 안전한 활용을 위해서 다양한 지구물리학적 탐사 방법들이 적용되고 있으며 그 중 시간 경과 탄성파 탐사가 현재 중요한 역할을 하고 있다. 시간 경과 탄성파 탐사는 동일한 위치에서 시간차를 두고 탄성파 탐사를 수행하는 것으로 시간에 따른 지하 매질의 변화가 없는 위치에서는 서로 간 동일한 값이, 지하 매질의 변화가 발생하는 곳에서는 변화에 의한 차이가 탄성파 자료에 나타나야 한다. 하지만 지하 매질의 변화 외에도 다양한 외부 요인에 의해 자료 간의 차이가 추가로 발생한다는 문제가 존재한다. 따라서 시간 경과 탄성파 자료의 신뢰도를 평가하기 위해서 자료 간 유사도인 ‘반복성’ 수치를 이용하며, 정확한 지층 모니터링에는 자료의 반복성 향상을 위한 자료 처리가 필수적이다. 최근 기계 학습을 이용한 탄성파 자료 처리 및 분석 연구가 수행되고 있으며, 시간 경과 탄성파 탐사 분야에도 기계 학습 방법이 적용되고 있다. 하지만 기계 학습 모델은 “블랙박스 문제” 등 기계 학습 자체의 특성으로 인한 불확실성이 존재한다. 이를 극복하기 위해 해석 가능한 딥러닝 구조 연구 분야에서는 기계 학습을 통해 예측된 결과의 불확실성을 자료 자체에 대한 불확실성(aleatoric uncertainty)과 기계 학습 모델에 대한 불확실성(epistemic uncertainty)으로 정의하여 정량화하는 연구가 수행되고 있다. 시간 경과 탄성파 자료는 취득 및 처리 단계에서 다양한 요인으로 인해 자료에 불확실성이 존재하며, 불완전한 모델 학습으로 인해 학습된 모델에도 불확실성이 존재한다. 따라서 모니터링 자료 처리와 해석 단계에서 자료와 모델의 불확실성을 고려해야 한다. 본 연구에서는 시간 경과 탄성파 자료의 반복성 향상을 위한 자료 처리 과정에 불확실성 지표를 도입하였으며, 학습에 적합한 성능을 가진 모델을 선정하여 불확실성 정량화 모델을 구축하였다. 구축된 모델을 현장 자료에 적용하여 자료 불확실성과 모델 불확실성을 분리하여 정량화하였으며, 시간 경과 탄성파 자료의 반복성 향상을 위한 자료 처리에 가이드 라인을 제시할 수 있음을 확인하였다.

사사

본 연구는 한국에너지기술평가원의 지원(No. 20226A10100030, 고성능 해양 CO2 저장 모니터링 기술개발) 및 한국연구재단의 지원(No. 2022R1I1A3066265, 지역대학우수과학자)을 받아 수행되었습니다.

이산화탄소 지중저장 프로젝트를 위한 DAS 기반 미소진동 위치 결정: 취득 파라미터 별 민감도 분석

조상인¹⁾, 최우창¹⁾, 편석준^{1)*}, 윤병준²⁾, 박권규²⁾, 이창현²⁾

¹⁾*인하대학교 에너지자원공학과, pyunsj@inha.ac.kr

²⁾한국지질자원연구원

DAS-based Microseismic Location Determination for CO₂ Sequestration Projects: Sensitivity Analysis of Acquisition Parameters

Sangin Cho¹⁾, Woochang Choi¹⁾, Sukjoon Pyun^{1)*}, Byoungjoon Yoon²⁾,
Kwon-Gyu Park²⁾, and Changhyun Lee²⁾

이산화탄소 지중 저장 프로젝트에서 미소진동 모니터링 기술은 안전관리뿐만 아니라 프로젝트의 성공에 중요한 역할을 한다. 이 연구에서는 국내 저류층 환경에서 이산화탄소 지중저장 모니터링 기술을 최적화하는데 필요한 지침을 제공하고자 한다. 이를 위해 DAS (Distributed Acoustic Sensing) 기술 사용을 가정하여 여러 취득 파라미터에 대한 위치결정 오차를 비교하고 각 파라미터에 대한 민감도를 분석하였다. 기본적으로 광섬유 센서는 축방향 성분만 취득 가능하기 때문에, 시추공 배열 취득 모사 시에는 합성된 자료 중 한 개 성분(수직 성분)만을 활용하였다. 지표 배열 취득 모사 시에는 격자 구조 배열을 활용할 것을 가정하여 합성자료 중 두 개 성분(수평 성분)을 활용하였다.

민감도 분석은 총 4개의 시나리오에 대해 수행하였다. 첫 번째와 두 번째 시나리오는 지표와 시추공에서 DAS 기록의 공간 샘플링 변수 선정을 위한 테스트이고, 세 번째 시나리오는 시추공 위치 결정을 위한 민감도 분석, 마지막 시나리오는 미소진동 이벤트 규모와 신호 대 잡음비(SNR)에 따른 이벤트 위치 결정 품질에 대한 분석이다. 민감도 분석 결과, 미소진동 이벤트의 위치결정은 주시 발체에 의한 오차에 매우 민감하며, 이는 SNR에 직접적으로 영향을 받음을 확인하였다. 따라서 모니터링 자료 취득 시 SNR을 가장 높일 수 있도록 저류층과 가까운 위치에 수신기 배열을 설치하는 것이 적절하다. 한편, 지표 수신 배열 시에는 비용과 자료 품질 간의 상관관계를 고려하여 최적의 수신 간격 및 개수를 결정해야 한다.

사사

본 연구는 산업통상자원부(MOTIE)와 한국에너지기술평가원(KETEP)의 지원을 받아 수행한 연구 과제입니다 (No. 20226A10100030).

시추공 분산형 음향 계측 자료의 공통모드 잡음 제거

정우돈^{1)*}, 윤채원¹⁾, 윤병준²⁾, 박권규²⁾

^{1)*}강원대학교 지구물리학과, woodon.jeong@kangwon.ac.kr

²⁾한국지질자원연구원 CO₂지중저장연구센터

Common-mode noise attenuation for distributed acoustic sensing vertical seismic profiling data

Woodon Jeong^{1)*}, Chaewon Yoon¹⁾, Byoungjoon Yoon²⁾, and Kwon Gyu Park²⁾

광섬유 케이블(Fiber-Optic Cable; FOC)을 이용한 분산형 음향 계측(distributed acoustic sensing; DAS)은 설치 용이성뿐만 아니라 탐사 비용 및 범위 측면에서 매우 큰 장점이 있어 탄성파 탐사 분야에서 많은 주목을 받고 있다. 분산형 음향 계측에 사용되는 광섬유 케이블은 매우 얇아 설치가 쉬울 뿐만 아니라 한 번 설치 시 반영구적인 사용이 가능하며 기존에 설치되어 있는 케이블을 재활용할 수 있어 저렴한 비용으로 짧은 시간에 넓은 범위를 높은 자료 밀도로 측정할 수 있다는 장점이 있다. 따라서 분산형 음향 계측은 자연 현상 및 자원 탐사, 미소지진 모니터링 등에 매우 활발하게 적용되고 있으며 탄성파 탐사의 새로운 형태로 주목받고 있다. 그러나 분산형 음향 계측 자료는 기존의 수신기 자료보다 잡음의 양이 많으며 그 종류가 다양하여 낮은 신호 대 잡음비를 갖는다. 또한 새로운 형태의 잡음으로 인해 기존의 탄성파 자료처리 기술 적용에 어려움이 발생한다. 본 연구는 분산형 음향 계측 자료의 특정 시간대의 모든 수신기 위치에 동일하게 나타나는 공통모드 잡음을 제거하는 방법을 제안한다. 공통모드 잡음은 수신기의 위치에 상관없이 공통의 특성을 나타내므로 자료를 구성하는 트레이스를 무작위로 재배열할 경우, 신호 요소들은 이상 잡음 및 무작위 잡음의 형태로 재배열이 되지만 공통모드 잡음은 기존의 특성을 그대로 유지하게 된다. 트레이스 무작위화가 적용된 자료에 시간-주파수 영역 필터링을 적용하여 공통모드 잡음을 추출할 수 있으며, 반복적인 작업을 수행하여 잡음의 일관성을 더욱 강화한다. 본 연구에서 제안하는 잡음 제거 방법의 견고함과 적용성을 평가하기 위해 인공 합성 자료 및 현장 자료가 사용되었으며, 시추공 분산형 음향 계측 자료에 대해 매우 효과적인 공통모드 잡음 제거 성능을 관찰할 수 있었다.

사사

이 연구는 2024년도 교육부의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받은 기초연구사업(No.2019R1A6A1A03033167) 및 산업통상자원부의 재원으로 한국원자력환경공단의 지원을 받은 고준위방폐물관리 학계 전문인력양성 대학지원 사업(과제번호: 202308470002)의 지원을 받아 수행되었습니다. 또한 과학기술정보통신부에서 지원한 한국지질자원연구원 기본사업인 “한반도 동남권 지진 단층 활동 평가를 위한 심부 복합지구물리 모니터링 시스템 구축”(GP2018-009)의 일환으로 수행되었습니다.

물리검층법 표준지침의 제안

황세호¹⁾, 최지훈¹⁾, 김명선²⁾, 신제현^{1)*}

^{1)*}한국지질자원연구원 지하수환경연구센터, jehyun@kigam.re.kr

²⁾한국지질자원연구원 심층처분환경연구센터

Proposal of Standard Guides for Geophysical Well Logs

Seho Hwang¹⁾, Jihun Choi¹⁾, Myung Sun Kim²⁾, and Jehyun Shin^{1)*}

물리검층법은 시추공을 이용하는 지구물리탐사법으로 탐사 대상 자체나 탐사 대상의 가장 가까운 거리에서 측정하며 지중 압력, 온도 등의 원위치 환경에서 속도, 밀도, 공극률, 전기비저항 등의 물성과 광학/초음파를 이용한 시추공 공벽의 영상화, 시추공 완결성 평가 등에 활용된다. 이와 같은 물리검층법은 지하수자원 조사, 해수침투/토양오염/광해방지조사, 광물자원/지열자원/CBM자원/골재자원 조사, 지하공간/터널/교량/연약지반/지반침하 조사, 자연/절취사면 안정성 평가, CCS저장소/방폐물처분부지 조사, 지질조사 등 시추공을 필요로 하는 조사에 적용되고 있다. 위에서 언급하는 다양한 조사와 평가에 적용하는 물리검층법은 계획/취득/자료처리/해석/보고서 작성 등의 과정에 따라 수행하는 것이 일반적이다. 물리검층법은 대부분의 지표 물리탐사법 원리를 시추공 내부에서 수행하고 방사선 선원을 이용하는 방사능검층, 시추공벽 영상화검층 등을 포함하고 있어 품질보증/품질관리의 범위가 방대하여 표준지침의 작성에도 어려움이 많다. 학회에서는 2002년에 물리탐사 실무지침, 2011년에 물리탐사길라잡이를 발간하여 이와 같은 어려움을 해소하고자 하였다. 미국 ASTM은 1980년부터 미국지질조사소(USGS) Keys의 주도로 물리검층 분야의 표준지침을 제안하였으며(최근 개정판 공개는 2024년 1월 5일), 국립환경과학원은 2023년도에 지하수 적용 물리검층 ISO/기술보고서(2001)의 한국어 번역을 수행하였다. 물리검층법 표준지침의 제안과 개정이 지속적으로 진행되는 것은 지표물리탐사법과 비교할 때, 측정환경이 시추공 내에 제한되고 적용하는 방법이 목적에 따라 전반적으로 명확하기 때문이다. 최근 먹는샘물개발, 방사성폐기물저장 등과 같이 인허가가 필요한 사업에서 조사 항목 중의 하나인 물리검층법에 관한 품질보증/품질관리 표준지침 개발은 향후 활용도가 높을 것으로 예상된다. 본 연구는 1995년 한국지질자원연구원에서 물리검층 전체 시스템이 국내에서 최초로 도입된 이후, 정부출연기관/정부투자기관/대학/전문서비스 회사 등에서 수행한 다양한 사례를 중심으로 품질보증/품질관리의 중요성, 표준지침의 작성 기준과 방향을 소개하고자 한다.

사사

이 연구는 환경부 재원으로 한국환경산업기술원의 "지중환경오염위해관리기술사업(RS-2023-00230833)", 한국지질자원연구원 기본사업인 "기후변화대응 대응량지하수 확보 및 최적활용 기술개발(24-3411), 심지층 개발과 활용을 위한 지하심부 특성평가 기술 개발(24-3414)" 지원으로 수행되었습니다.

시간영역 유도분극 탐사 감쇠곡선 자료의 시간 2차 미분 이용 역산

유희은¹⁾, 김빛나래²⁾, 남명진^{1,3)*}

¹⁾세종대학교 에너지자원공학과

²⁾Bureau de Recherches Géologiques et Minières

^{3)*}세종대학교 지구자원시스템공학과, nmj1203@gmail.com/nmj1203@sejong.ac.kr

Inversion of time-domain induced-polarization decay-curve data using second-order time derivative

Huieun Yu¹⁾, Bitnae Kim²⁾, and Myung Jin Nam^{1,3)*}

시간영역(time-domain, TD) 유도분극(induced polarization, IP) 탐사는 충전성 매질에서 발생하는 유도분극에 의한 과전압 측정한다. 기존의 TDIP 탐사 자료의 해석은, 송신 전류를 끊은 뒤 발생하는 과전압의 감쇠 곡선에서 겉보기 충전율을 얻은 뒤, 이를 역산하여 매질의 충전율 분포를 얻었다. 그러나 최근 장비의 발달로 많은 시간 채널 자료를 측정할 수 있게 되면서 감쇠 곡선을 보다 정확하게 측정할 수 있게 되어, 감쇠 곡선 자료를 직접 역산하여 매질의 IP 변수들을 파악하는 연구가 많이 진행되고 있다. 이 연구에서는 IP 변수를 얻기 위해 감쇠 곡선 자료의 역산을 보다 정확하게 수행하기 위한 방법을 연구하였다.

기존의 감쇠 곡선 역산에서는 1차 미분을 사용한 시간 제약 조건을 적용해서 짧은 시간 내 비선형적으로 변하는 감쇠곡선의 특성을 고려하지 못하는 한계가 있었기 때문에, 이 연구에서는 감쇠곡선의 시간에 따른 변화율을 고려하여 시간 제약 조건에 2차 미분을 적용하였다. 다만 2차 미분 시간 제약 조건을 모든 역산 블록에 적용하기보다는 IP 이상대가 평가된 블록에만 적용하고 IP 이상대가 없는 곳은 1차 미분을 적용하였다. 2차 시간 미분 제약을 고려하여 얻은 IP 이상대의 참 충전율 감쇠 곡선을 Cole-Cole 이완 모델에 적용하여 Cole-Cole 변수를 해석하였다. 수치 실험 결과, 1차 미분보다 2차 미분이 참 충전율 감쇠 곡선에 가까웠고, Cole-Cole 변수 또한 더 정확한 결과를 보였다.

사사

이 연구는 환경부의 재원으로 한국환경산업기술원의 지중환경 오염위해관리기술개발사업의 지원을 받아 수행되었습니다(RS-2023-00230833).

피복 단층조사를 위한 전기비저항탐사 적용 사례 연구

박삼규^{1)*}, 천영범²⁾, 최진혁²⁾, 신승욱¹⁾, 손정술¹⁾, 박계순¹⁾

^{1)*}한국지질자원연구원 광물자원연구본부, samgyu@kigam.re.kr

²⁾한국지질자원연구원 지질재해연구본부

A Case Study on the Application of Electrical Resistivity Survey for Investigating Buried Faults

Samgyu Park^{1)*}, Youngbeon Cheon²⁾, Jin-Hyuck Choi²⁾, Seung Wook Shin¹⁾,
Jeong-Sul Son¹⁾, and Gyesoon Park¹⁾

단층지역의 구조지질 및 고지진학 연구를 위하여 일반적으로 기존문헌분석, 영상/지형분석, 야외지질조사, 지구 물리탐사, 트렌치조사 순으로 실시되고 있다. 특히 최근의 경주 지진(2016년 9월 12일; MW=5.5)과 포항 지진(2017년 11월 15일; MW=5.4)이 발생되면서 활성단층 조사 필요성이 제기되어 전국토를 대상으로 활성단층 지도를 작성하기 위하여 조사 및 연구가 진행되고 있다. 활성단층조사에서 가장 중요한 것은 트렌치조사를 통해서 제4기(Quaternary)에 활동한 흔적을 발견하는 것이다. 이를 위해 기존자료로 해석한 단층지역을 대상으로 촬영한 LiDAR 영상으로 정밀한 단층선을 추정하고, 대부분 미고결 퇴적층으로 피복되어 있는 추정 단층선 상의 최적의 트렌치조사 위치를 선정하기 위하여 전기비저항탐사, GPR 등 지구물리탐사 기술을 활용하고 있다. 이 연구에서는 국내에서 피복 단층조사에 널리 활용되고 있는 전기비저항탐사의 현장 적용 사례를 수집하여 전극배열, 전극간격, 탐사심도와 지층의 전기비저항 분포 패턴 등 분석하고, 트렌치 단면과 비교하여 해석함으로써 그 유용성에 대해서 검토하였다. 또한 국내에서 2차원 전기비저항탐사가 널리 사용되고 있지만, 선형 지질구조를 가지고 있는 단층의 지질학적 특성을 고려할 때 3차원 전기비저항탐사의 적용이 보다 효용성이 클 것으로 판단하여 두 곳의 활성단층 현장에 3차원 전기비저항탐사를 적용했다. 그 결과 2차원 탐사보다 3차원 탐사가 현장 측정작업 및 해석 시간이 많이 소요되지만, 단층 파쇄대의 공간적 분포 및 단층대의 연장선을 정밀하게 추정하는데 유용함을 입증하였다.

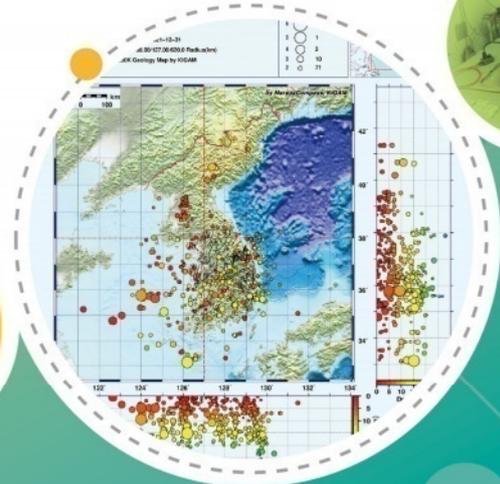
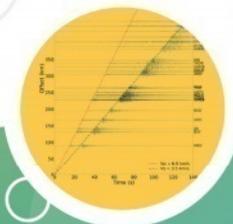
사사

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 수행되었다.

일반세션 3-2

국제공동연구

좌장: 정우근(한국해양대학교)



노르웨이 슬라이프너 프로젝트 모니터링 자료에 대한 탄성파-전자탐사 복합 해석 연구

박세은^{1)*}, 박준상²⁾, Malte Vöge²⁾, Alexey Stovas³⁾, 오주원^{1,4)}

^{1)*}전북대학교 환경에너지융합학과, 202150147@jbnu.ac.kr

²⁾Norwegian Geotechnical Institute, Geohazards and Dynamics

³⁾Norwegian University of Science and Technology, Department of Geoscience and Petroleum

⁴⁾전북대학교 토목/환경/자원·에너지공학부(자원에너지공학)

A Study of Joint Interpretation of Seismic-Electromagnetic monitoring data for Sleipner CCS project in Norway

Sea-Eun Park^{1)*}, Joonsang Park²⁾, Malte Vöge²⁾, Alexey Stovas³⁾, and Ju-Won Oh^{1,4)}

성공적인 이산화탄소 포집 및 저장(Carbon Capture and Storage, CCS)을 위해서는 부지 선정 단계부터 CO₂ 주입 후 모니터링 단계까지 지중저장부지의 지하 물성을 특성화하는 것이 중요하다. 이때, 단일 지구물리탐사 자료만을 활용하여 저장층을 특성화할 경우 기술별 물리적 신호 특성에 따른 정확도 및 신뢰도의 한계점이 존재하기 때문에, 이를 극복하기 위하여 두 가지 이상의 다양한 지구물리탐사 자료를 복합적으로 해석하는 것이 요구된다. 본 연구에서는 세계 최초 상업용 대규모 해양 CCS 프로젝트를 성공적으로 수행한 노르웨이 슬라이프너 CCS 부지에 대하여, 탄성파 탐사 자료와 인공송신원 전자탐사(Controlled-Source Electromagnetic, CSEM) 자료를 활용한 복합 해석 모니터링을 수행한다. 탄성파 탐사 자료는 지하 지층의 물성을 고해상도로 추정해낼 수 있고 전자탐사 자료는 지중 유체의 거동에 대한 정보를 제공할 수 있어, 저장층 내 CO₂ 거동을 모니터링하는 데에 두 자료를 복합적으로 해석할 경우 신뢰도 높은 결과를 획득할 수 있다. 본 연구에서는 탄성파탐사 자료로부터 획득한 P파 속도정보를 전기비저항 정보로 변환한 뒤, 이를 초기모델로 사용하여 CSEM 역산을 수행함으로써 탄성파-전자탐사 자료 복합 해석을 수행한다. 획득한 전기비저항 값을 웰로그 자료와 비교함으로써 정확성을 검증하고, 최종적으로 탄성파-전자탐사 복합 해석의 가능성을 검토한다. 이러한 복합 해석 모니터링 기술은 추후 국내에서 대염수층을 대상으로 하는 CCS 부지에서도 효과적으로 적용될 수 있을 것으로 기대한다.

사사

본 연구는 2023년 산업통상자원부의 재원으로 한국에너지기술평가원(KETEP)의 에너지 인력양성사업(지구물리탐사 및 모니터링 글로벌 혁신인재양성)과 한국지질자원연구원의 기본사업인 “3D 해저정밀영상화를 위한 복합 탄성파 탐사 및 실규모 고분해능 처리기술(GP2020-023)”의 지원을 수행한 연구과제입니다. 또한, 슬라이프너 지역의 탄성파 탐사자료를 제공해주신 Equinor에 감사드립니다.

캐나다 알버타주 이산화탄소 지중저장 부지의 4차원 탄성파 전파형역산 실증 연구

지형근^{1)*}, Kristopher A. Innanen²⁾, 박세은¹⁾, 오주원^{1,3)}

^{1)*}전북대학교 환경에너지융합학과, glDrms123@jbnu.ac.kr

²⁾University of Calgary, Department of Geoscience

³⁾전북대학교 토목/환경/자원·에너지공학부(자원에너지공학)

Application of 4D Seismic Full-Waveform Inversion at a Carbon Capture and Storage Site in Alberta, Canada

Hyeong-Geun Ji^{1)*}, Kristopher A. Innanen²⁾, Sea-Eun Park¹⁾, and Ju-Won Oh^{1,3)}

대기 중 온실가스 농도의 급격한 증가로 대규모의 온실가스를 감축할 수 있는 이산화탄소 지중저장(Carbon Capture and Storage, CCS) 기술이 주목받고 있다. 하지만 지중저장된 이산화탄소의 누출 위험 제거를 위한 모니터링 기술 확보가 필수적이며, 정확도 향상 및 검증에 위한 실증 연구프로젝트가 전 세계적으로 활발히 이루어지고 있다. 캐나다에서 시작된 CaMI (Containment and Monitoring Institute) 프로젝트는 파일럿 규모의 육상 CCS 실증 연구프로젝트로 캘거리대학의 CREWES (Consortium for Research in Elastic Wave Exploration Seismology) 연구팀이 주입 설계, 모니터링 자료 취득과 해석의 전 과정을 담당하며 운영하고 있다. 2022년 여름, 1차 모니터링 자료가 획득된 상황이었으며, 본 연구에서는 한국에너지기술평가원의 에너지인력양성사업을 통해 2023년 9월부터 2024년 3월까지 수행된 CREWES 연구팀과의 공동연구 결과를 소개하고자 한다.

본 연구에는 CaMI 실증부지에서 이산화탄소 주입 전후 3D VSP (Vertical Seismic Profile) 탐사를 통해 획득된 가속도계 자료를 이용하였으며, 각각의 자료에 대해 전파형역산을 통해 주입 층의 P파 속도를 추정하였다. 4차원 전파형역산을 통해 추정한 주입 전후 P파 속도 변화에서 이산화탄소의 거동 양상이 잘 드러남을 확인하였다. 본 연구는 CaMI 실증부지에서 수행된 최초의 3차원/4차원 탄성파 해석 연구로, 2차원 탄성파 역산과의 비교를 통해 3차원 탄성파 역산 기술의 우수성을 입증하였으며, 지속적인 공동연구를 통해 결과를 개선해나갈 계획이다.

사사

본 연구는 2023년 산업통상자원부의 재원으로 한국에너지기술평가원(KETEP)의 에너지 인력양성사업(지구물리탐사 및 모니터링 글로벌 혁신인재양성)과 한국지질자원연구원의 기본사업인 “3D 해저정밀영상화를 위한 복합 탄성파 탐사 및 실규모 고분해능 처리기술(GP2020-023)”의 지원을 수행한 연구과제입니다. 또한, CREWES의 스폰서, NSERC (Natural Science and Engineering Research Council of Canada)의 지원과(CRDPJ 543578-19), 자료 획득에 도움을 주신 Carbon Management Canada에 감사드립니다.

호주 오토웨이 프로젝트 4차원 시추공 모니터링 자료에 대한 탄성파 전파형역산 적용성 검토

조현욱^{1)*}, Roman Pevzner²⁾, 오주원^{1,3)}

^{1)*}전북대학교 환경에너지융합학과, gusdnr0293@jbnu.ac.kr

²⁾Curtin University, Centre for Exploration Geophysics

³⁾전북대학교 토목/환경/자원·에너지공학부(자원에너지공학)

Applicability of Acoustic Full-Waveform Inversion to 4D VSP monitoring data from Otway CCS project, Australia

Hyun-Wook Jo^{1)*}, Roman Pevzner²⁾, and Ju-Won Oh^{1,3)}

이산화탄소 지중저장(Carbon Capture Storage, CCS)은 기후 변화로 인한 위협을 완화하기 위한 필수 기술 중 하나로 주목받고 있다. 성공적인 CCS를 위해서는 이산화탄소의 주입 전후에 대한 탄성파 탐사자료의 차이를 분석하여 주입으로 인한 변화를 감지하는 시간경과 모니터링 기술 확보가 중요하며, 육상 염대수층 부지에 대해 가장 주목 받는 방법으로 시추공 내에 수신기를 설치하여 탐사자료의 반복성을 높이고 표면파의 영향을 최소화할 수 있는 시추공 탐사(Vertical Seismic Profiling, VSP)가 주목받고 있다. 호주의 오토웨이 CCS 파일럿 프로젝트는 2008년에 시작되어 약 13년간 운영되고 있으며, 현재 4단계 사업을 준비 중에 있다. 본 연구에서는 한국에너지기술평가원의 에너지인력양성사업을 통해 2023년 8월부터 2024년 3월까지 수행된 CRGC (Curtin Reservoir Geophysics Consortium) 연구팀과의 공동연구 결과를 소개하고자 한다. 본 연구에서는 오토웨이 3단계 사업에서 획득된 4차원 시추공 탄성파 탐사자료에 대해 주입 전 기준 탐사와 주입 후 모니터링 탐사 자료에 전파형역산(Full-Waveform Inversion, FWI)을 적용함으로써 지하 지층의 P파 속도 변화를 추정하였으며, 최종적으로 두 자료의 FWI 결과 차이를 통해 이산화탄소의 거동을 추정하고자 하였다. 본 연구에서 개발된 전파형역산 기반 시추공 탄성파 영상화 기술은 향후 국내에서 수행될 CCS 프로젝트, 사용후핵연료 심층처분 부지선정 연구에서도 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

사사

본 연구는 2023년 산업통상자원부의 재원으로 한국에너지기술평가원(KETEP)의 에너지 인력양성사업(지구물리탐사 및 모니터링 글로벌 혁신인재양성)의 지원을 받아 수행한 연구 과제입니다(RS-2023 -00249135). 또한, 한국지질자원연구원의 기본사업인 “3D 해저정밀영상화를 위한 복합 탄성파 탐사 및 실규모 고분해능 처리기술(GP2020-023)”의 지원과 산업통상자원부(MOTIE)와 한국에너지기술평가원(KETEP)의 지원을 받아 수행한 연구 과제입니다(No. 20212010200020). 또한 발표를 승인해주신 CRGC 컨소시엄의 스폰서에 감사드리며, 특히 오토웨이 프로젝트 3단계 탄성파 탐사자료를 제공해주신 CO2CRC에 감사드립니다.

유타 FORGE 지열발전 부지의 3차원 탄성파 전파형역산 실증 연구

정윤하^{1)*}, Nori Nakata^{2,3)}, 박세은¹⁾, 오주원^{1,4)}

^{1)*}전북대학교 환경에너지융합학과, juh1591@jbnu.ac.kr

²⁾Lawrence Berkeley National Laboratory, Earth and Environment Sciences Area

³⁾Massachusetts Institute of Technology, Department of Earth, Atmospheric and Planetary Sciences

⁴⁾전북대학교 토목/환경/자원·에너지공학부(자원에너지공학)

A Case Study of 3D Acoustic Full-Waveform Inversion at the Utah FORGE EGS site

Yun-Ha Jung^{1)*}, Nori Nakata^{2,3)}, Sea-Eun Park¹⁾, and Ju-Won Oh^{1,4)}

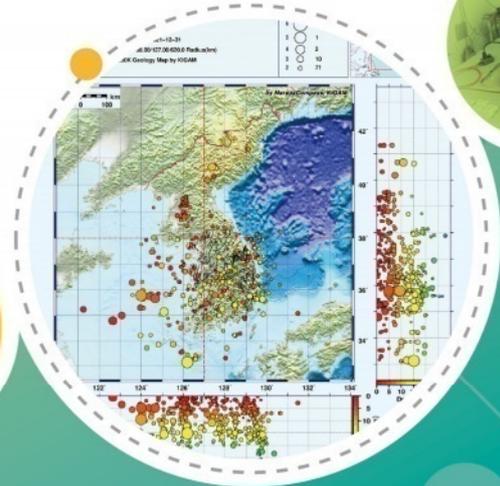
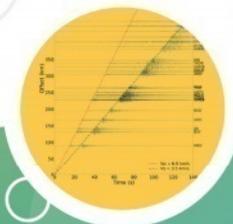
인공저류층 지열발전 시스템(Enhanced Geothermal System, EGS)을 안전하게 이용하기 위해서는 부지 선정부터 에너지 생산 이후까지 발전 부지의 속도 구조를 파악하는 것이 필수적이다. 전북대학교 지구물리컴퓨팅 연구실은 국내 육상 부지 특성화 기술 역량을 향상시키기 위하여, 한국에너지기술평가원의 에너지인력양성사업을 통해 2023년 9월부터 2024년 3월까지 유타 FORGE (Frontier Observatory for Research in Geothermal Energy) 프로젝트에 참여하고 있는 로렌스버클리국립연구소와 공동연구를 수행하였다. 본 연구에서는 미국 유타주에서 대규모로 EGS를 수행 중인 유타 FORGE 부지에 대하여, 3차원 탄성파탐사 자료를 활용한 전파형역산 실증연구를 수행하였다. 육상 탄성파 탐사 자료는 가까운 오프셋에서의 잡음이 강하게 나타나고, 신호대 잡음비가 낮다는 한계점이 존재하여, 이를 극복하기 위해 2단계에 걸친 속도 구조 영상화 전략을 수립하였다. 본 연구에서는 3차원 탄성파 주시 토 모그래피를 적용하여 속도 모델을 구축하고, 이를 초기모델로 사용하여 전파형역산을 수행함으로써 세부 속도 구조를 추정하고자 하였다. 획득한 속도 모델을 웰로그 자료와 비교하여 정확성을 검증하였으며, 기존에 공개된 유타 FORGE 부지의 3차원 속도 모델보다 더 정확성이 향상된 것을 확인하였다. 미국 로렌스버클리국립연구소와의 국제공동연구를 통해, 국내 전파형역산 기반 부지 특성화 기술을 EGS 방식의 지열발전 부지에 대해 실증함으로써, 본 연구가 포함지진 이후 형성된 지구물리탐사 기술에 대한 사회적 불안감을 해소하는데 기여하기 바란다.

사사

본 연구는 2023년 산업통상자원부의 재원으로 한국에너지기술평가원(KETEP)의 에너지 인력양성사업(지구물리탐사 및 모니터링 글로벌 혁신인재양성)과 한국지질자원연구원의 기본사업인 “3D 해저정밀영상화를 위한 복합 탄성파 탐사 및 실규모 고분해능 처리기술(GP2020-023)”의 지원을 수행한 연구과제입니다. 또한, 본 연구는 미국 에너지부, 재생에너지 및 에너지 효율성 사무국, 지열 기술 사무국의 재원으로 로렌스버클리국립연구소의 지원을 받아 수행한 연구 과제입니다(DE-AC02-05CH1123 1). 이 문서에 표현된 견해는 DOE나 미국 정부의 견해를 대변하는 것이 아님을 명시합니다.

특별세션: 포스터세션

좌장: 오주원(전북대학교)



The 2022 Goesan earthquake of the moment magnitude 3.8 along the buried fault in the central Korean Peninsula

Hobin Lim^{1)*}, Chang Soo Cho¹⁾, and Minkyung Son¹⁾

^{1)*}한국지질자원연구원 지진연구센터, HBL@kigam.re.kr

임호빈^{1)*}, 조창수¹⁾, 손민경¹⁾

On October 28, 2022, a moment magnitude (Mw) 3.8 earthquake occurred in Goesan, South Korea, typically characterized as a stable continental region. Herein, we analyze 42 earthquakes, including the Mw 3.8 earthquake, the largest foreshock (Mw 3.3), which preceded the mainshock by 17 s, and the largest aftershock (Mw 2.9). The primary aim of this study is to identify interactions among the seismic events. To this end, we utilized the permanent seismic networks with the closest station at 8.3 km from the epicenter, and the temporary network deployed eight hours after the mainshock's occurrence. Relocation results delineate that the mainshock occurred at the southeastern tip of the hypocenter distribution of three foreshocks, trending west-northwest-east-southeast. The aftershocks form an overall spatially diffused seismic pattern that propagates toward both ends of the inferred lineament in the downdip direction. The rupture directivity of the mainshock, along with waveform similarity across the mainshock and foreshocks, confirms the inferred geometry, corresponding well with the focal mechanisms of the mainshock and the largest foreshock. We demonstrate that the change in Coulomb failure stress (Δ CFS) by the largest foreshock was positive where the mainshock occurred and that the mainshock generated Δ CFS capable of triggering the propagation of the aftershocks.

Diverse fault geometry beneath the epicentral region of 29 November 2023 M_L 4.0 Gyeongju earthquake illuminated from decade-long seismicity

Min-Seong Seo^{1)*}, Sangwoo Han¹⁾, Won-Young Kim²⁾, and YoungHee Kim¹⁾

^{1)*}School of Earth and Environmental Sciences, Seoul National University, 36wnfgodfkd@snu.ac.kr

²⁾Lamont-Doherty Earth Observatory of Columbia University

2023년 11월 29일 규모 4.0 경주 지진 진앙지의 지하 단층 구조 복잡성

서민성^{1)*}, 한상우¹⁾, 김원영²⁾, 김영희¹⁾

On 29 November 2023, an earthquake with a magnitude of M_L 4.0 struck the eastern part of Gyeongju City, South Korea. The epicenter was east of the Ulsan Fault, where the mapped surface fault traces delineate a complex fault network. Besides, on 23 September 2014, an earthquake with a magnitude of M_L 3.5 occurred in apparently the same epicentral location as the recent event. These occurrences raise questions regarding whether (1) deep seismogenic faults share similar complexity as surface traces and (2) the two largest events ruptured the same fault or not. To address these questions, we determined precise locations and focal mechanisms of 65 events within a 3 km radius of the 2023 M_L 4.0 event epicenter, spanning nearly a decade, from September 2014 to November 2023.

Moment tensor inversion of the two largest events indicates that the 2014 event had a reverse faulting mechanism, whereas the 2023 event had a strike-slip faulting mechanism. The best-fit focal depths are ~13 km for the 2014 event and ~11 km for the 2023 event, indicating that the two events ruptured different faults with different faulting mechanisms. From the relocated seismicity, we identify three spatially separated clusters for which we successfully assign the causative fault geometry. The first cluster consists of foreshocks and aftershocks of the 2014 event, which lie along a shallow (~30°) east-dipping fault. The second cluster consists of a burst of small events that lasted for four months, which also lie along a shallow (~30°) east-dipping fault. The third cluster consists of the aftershocks of the 2023 event and small events that preceded the mainshock by two months. Although the locations are very similar, the preceding events likely occurred on the neighboring fault, whose dipping direction is opposite from that of the M_L 4.0 event. Our results reveal diverse subsurface fault geometry of the target source region, consisting of a mixture of low- and high- angle faults that reactivate as earthquakes with different focal mechanisms, including two $M > 3$ events in 2014 and 2023.

사사

This work was supported by the National Research Foundation of Korea(NRF) grant funded by the Korea government(MSIT) (No. 2022R1A5A1085103).

임시지진관측망을 활용한 2023년 규모 3.5 장수 지진의 여진 분포와 단층 기하 분석

조유성¹⁾, 김광희^{1)*}

¹⁾*부산대학교 지질환경과학과, kwanghee@pusan.ac.kr

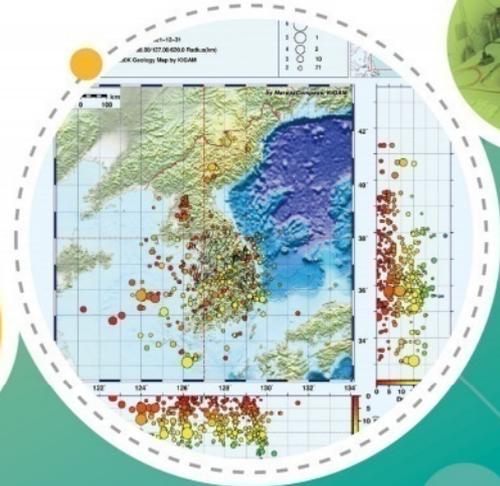
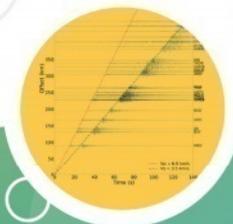
Aftershock distribution and fault geometry of 2023 ML 3.5 Jangsu earthquake using a temporary seismic array

Yuseong Cho¹⁾, and Kwang-Hee Kim^{1)*}

2023년 7월 29일 19시 7분 59초(KST) 전북 장수군 북쪽 17km 지역에서 규모 3.5의 본진과 1회의 여진이 발생하였다. 기상청의 보고에 따르면 계기지진을 관측한 1978년 이후 2023년 7월 29일까지 본진 반경 10km 내 24회의 지진이 발생했다. 본진 발생 이후 부산대학교 지구물리연구실에서는 본진 발생 약 5시간 후에 진앙 부근 6km 이내에 총 8개소의 단주기 임시지진관측망을 설치하였고 8월 23일까지 총 26일 동안 운영하였다. 26일의 기간 동안 임시지진관측망에 기록된 파형으로부터 PQL II 프로그램을 이용하여 기상청 발표의 약 72배에 해당하는 총 145회의 여진을 검출하였다. 이 중 지진 발생 8일 후인 8월 6일에는 관측된 여진의 약 45%에 해당하는 63회의 이벤트가 검출되었다. HYPOELLIPSE 프로그램(Lahr, 1999)을 활용하여 지진 위치를 결정하였다. 속도모델은 전지구속도모델(IASP91)을 한반도에 맞게 개량한 속도모델(Park, 2008)을 사용하였으며, 이 과정에서 4개 미만의 관측소에서 감지되거나 연구범위에 포함되지 않은 16회의 이벤트는 제외시켜 총 129회를 본 연구에 적용하였다. HASH 프로그램(Hardebeck and shearer, 2002)을 활용하여 규모 2.0 이상의 지진에 대해 단층면해를 결정하고, 본진과 임시지진관측망으로 분석한 여진에 대해 FOCMEC 프로그램(Snoke et al., 1984)을 활용하여 복합 단층면해를 결정하였다. 본 연구 결과, 본진 발생 지역의 단층면해는 하나의 북북동-남남서 방향의 주향이동단층 특성을 보이며, 진원의 깊이는 3 - 5km로 얕은 범위에 집중되어 있는 것으로 분석되었다.

포스터세션

좌장: 오주원(전북대학교)



2차원 전기비저항 탐사를 통한 북평분지의 지하구조 영상화와 분지구조 이해

김우현¹⁾, 최한진^{1)*}, 김광희¹⁾

¹⁾*부산대학교 지구환경시스템학부, explorist@pusan.ac.kr

Understanding the subsurface structure of Bukpyeong Basin through 2-D electrical resistivity survey

Woohyeon Kim¹⁾, Hanjin Choe^{1)*}, and Kwang-Hee Kim¹⁾

북평분지는 강원도 동해시와 삼척시 일대 동해안을 따라 발달한 제3기 퇴적분지이다. 2023년 5월, 동해시 동쪽 해상에서 규모 4.5의 지진이 발생하여 이 분지 내부 및 주변에 잠재적인 자연재해 가능성이 대두되고 있다. 이러한 자연재해의 영향을 유추하고 예방하기 위해서는 일반적으로 지표조사를 통한 지구조 분석이 필요하나, 한정된 노동, 그리고 연구지역의 산업화 및 도시화로 인한 지형 평탄화로 지표조사가 매우 어려운 상황이다. 따라서 우리는 이러한 한계를 극복하기 위해 지하구조의 특성 차이를 확인할 수 있는 전기비저항 탐사를 수행하여 2차원 영상화를 통해 분지의 기반암층과 미고결 퇴적층의 경계, 퇴적층의 두께 변화를 파악하였고 천부지하구조 조사에 있어서 타 배열법에 비해 높은 분해능을 보이는 쌍극자 배열법을 적용하였다. 기존에 수행된 전기비저항 탐사와 이번 조사에서 나타난 단층경계로 추정되는 두 지점을 연결하여 단층추정선을 표시한 결과 NW-SE 주향으로 나타났다. 상시미동 관측을 통한 수평/수직 스펙트럼 비율(Horizontal to Vertical Spectral Ratio, HVSR)과의 비교를 통해 단층추정선을 경계로 상반으로 보이는 동쪽지반의 북부에서 두꺼운 퇴적층이 관측되었고, 남부에서는 얇은 퇴적층과 함께 석회암 기반암이 관측되었다. 이 결과를 비추어 분지의 북쪽에서보다 남쪽에서 상대적으로 강한 응력이 작용하여 단층면을 경계로 상반의 회전이 일어난 것으로 여겨진다. 현재 자료의 부족으로 분지 전체의 지구조 해석이 불가능한 상황이며 향후 추가적인 지구물리자료를 획득하고 분석하여 포괄적인 분지의 형성기작에 대해 이해할 예정이다. 위 연구결과를 바탕으로 지구조 진화에 대한 더 깊은 이해를 제공하여 향후 재난재해의 대비를 위한 중요한 자료로 사용될 것으로 기대된다.

자기지도학습 기반 탄성파 트레이스 외삽 기술을 활용한 근거리 오프셋 영역 빠짐 외삽

박지호¹⁾, 최용규¹⁾, 설순지¹⁾, 변중무^{1)*}

^{1)*}한양대학교 자원환경공학과, jbyun@hanyang.ac.kr

Near-offset gap extrapolation using seismic trace extrapolation based on self-supervised learning

Jiho Park¹⁾, Yonggyu Choi¹⁾, Soon Jee Seol¹⁾, and Joongmoo Byun^{1)*}

해양 탄성파 탐사 수행 시에는 송수신 장비 배치의 제약으로 송신기로부터 약 300m 내외의 근거리 오프셋 영역까지의 트레이스들이 필연적으로 누락된 채로 자료가 취득된다. 이러한 근거리 오프셋 영역의 자료 부재는 SRME (Surface related multiple elimination)로 대표되는 다중반사파 제거에 어려움을 야기 시키고 특히 연안탐사와 같이 수심이 얇은 지역에서 취득된 자료에서 더 큰 문제가 되어 자료처리의 최종 단면인 구조보정의 질을 저하하게 된다. 이러한 근거리 오프셋 영역의 자료 부재를 해결하기 위해 다양한 선행연구들이 수행되었지만 추가적인 연구가 요구되고 있다. 따라서 이 연구에서는 이러한 근거리 오프셋 영역의 탄성파 자료를 효과적으로 복구하기 위하여 자기 지도학습(self-supervised learning) 기반의 탄성파 자료 외삽(seismic trace extrapolation) 방법을 제안하였다. 딥러닝(deep learning)의 관점에서 근거리 오프셋 영역의 자료 빠짐은 정답으로 활용할 자료 자체가 존재하지 않기 때문에 일반적인 지도학습(supervised learning) 기반의 알고리즘을 적용하기 어렵다. 따라서 이 연구에서는 정답자료 부재의 영향을 효과적으로 완화시키기 위하여 자기지도학습 개념을 도입한 두 단계로 구성된 새로운 접근 방법을 제안하였다. 또한 효과적으로 근거리 오프셋 영역의 특성을 훈련하기 위하여 자유 이용 저작물(public domain)로 공개되어 있는 합성 탄성파 자료를 이용한 탄성파 빅데이터셋(big dataset)을 구성하였다. 이를 활용하여 제안한 방법의 첫 번째 단계인 상류 작업(upstream task)를 통해 근거리 오프셋 영역의 특성을 훈련한 선행 학습 모델을 생성하고 이를 목표 자료로의 전이학습(transfer learning)을 통해서 하류 작업(downstream task)를 통해 최종 외삽 모델을 생성하였다. 제안한 방법은 합성 자료 실험을 통해 성능을 검증하였으며 현장 자료 적용을 통해 제안한 방법이 실제 현장자료에서도 적절한 외삽 성능을 보임을 확인하였다.

사사

이 연구는 2021년도 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구입니다. (No. 2021R1A2C2014315) 또한 2022년도 정부(교육부, 산업통상자원부)의 재원으로 K-CCUS 추진단의 지원을 받아 수행된 연구입니다. (KCCUS20220001, 온실가스감축 혁신인재양성사업).

소규모 초고해상 3D 탄성파 탐사를 활용한 시간 경과 영상화 적용성 연구

신정균^{1)*}, 하지호¹⁾, 전형구²⁾

^{1)*}한국지질자원연구원 포항지질자원실증연구센터, jkshin@kigam.re.kr

²⁾경북대학교 지질학과

Time-lapse Imaging Using a Portable Ultra-High Resolution 3D Seismic Survey

Jungkyun Shin^{1)*}, Jiho Ha¹⁾, and Hyunggu Jun²⁾

전통적인 자원개발 분야에서의 저류층 모니터링과 탄소 저장 분야에서의 이산화탄소 지층저장 모니터링 등 해저면 하부 지층 및 물성의 변화를 감지하고자 하는 시간 경과 탄성파 영상화 기술의 수요가 증가하고 있다. 한편, 육상과 인접한 연안 해역에서 천부 지층에 대한 시간 경과 탄성파 영상화 기법은 다방면으로 큰 잠재력을 가지고 있으나 소형화된 자료취득 기법을 활용한 모니터링 기술에 대한 실증 및 충분한 검토는 이루어지지 않았다. 본 연구에서는 연안 해역에서의 천부 지층 모니터링에 활용이 가능한 소규모의 초고해상 3D 탄성파 탐사 시스템을 소개하고 탄성파 반복성 등 모니터링 관점에서의 현장 적용성을 검토하였다. 우리는 40톤급 이하의 선박을 통해서 운영할 수 있는 탐사 시스템을 구성하고 육지와 인접(최소 거리 1.3 km)하고 낮은 수심(9.5 m ~ 25.2 m)을 가진 포항시 인근 해역에서 1년의 시차를 둔 자료취득을 수행하였다. 우리는 본 연구에서 전통적인 시간 영역 자료처리 워크플로우 및 4D 자료처리 기법을 적용하여 베이스라인 큐브와 모니터링 큐브를 도출하였으며 다양한 측면에서의 반복성 분석을 수행하였다. 본 연구를 통하여 다수의 엔지니어링 활동과 해양 지질학 연구가 이루어지는 연안에서 해저면 하부 천부 매질에 대한 모니터링에 소형화된 초고해상 3차원 탄성파 탐사 기법이 효율적으로 적용될 수 있음을 알 수 있다.

사사

본 연구는 한국지질자원연구원 주요사업인 ‘해저탐사선 운항안정화 및 연근해 탐사기술 개발 (24-3313)’과제의 일환으로 수행되었습니다. 또한, 본 연구는 한국에너지기술평가원의 지원(No. 20226A10100030, 고성능 해양 CO2 저장 모니터링 기술개발)을 받아 수행되었습니다.

유류 오염 부지에서의 전기비저항 및 유도분극 탐사를 활용한 정화 모니터링

송서영^{1)*}, 이선재¹⁾, 안태규²⁾, 고지혜²⁾, 최재영¹⁾, 이희순²⁾

^{1)*}한국과학기술연구원 지속가능환경연구단, sseoyoung90@kist.re.kr

²⁾(주)지오룩스

Remediation monitoring of an oil-contaminated site using electrical resistivity and induced polarization surveys

Seo Young Song^{1)*}, Sunjae Lee¹⁾, Taegy Ahn²⁾, Chihye Ko²⁾, Jaeyoung Choi¹⁾, and Heuisoon Lee²⁾

유류 오염은 토양과 지하수를 오염시켜 환경과 생태계에 악영향을 미치며 이를 방지하기 위한 정화 방법에 대한 다양한 연구가 수행되고 있다. 정화 방법은 오염 토양이나 지하수를 지중에서 처리하는 in-situ 방법과 지상에서 처리하는 ex-situ 방법으로 크게 나눌 수 있는데, 본 연구에서는 in-situ 방법으로 분류할 수 있는 차수재를 활용한 정화 시험 부지를 대상으로 물리탐사 모니터링을 수행하고 이를 해석하였다. 차수재는 지하수 흐름에 따라 이동하는 유류의 확산을 차단하는 방법으로 차수재 설치 이전부터 설치 이후까지 전기비저항 탐사와 유도분극 탐사를 수행하여 유류 오염의 변화를 물리탐사 방법을 활용하여 평가하였다. 유류 오염 부지는 경기도 동두천시의 캠프 모빌 미군 기지 내에 위치하고 있으며, 토양 및 지하수 시료를 통한 TPH 오염 농도 조사에서 나타난 주 오염 지역에서 차수재를 설치하였다. 약 4개월 동안의 지중 환경 변화를 평가하기 위해 차수재 설치 이후 2차례에 걸쳐 전기비저항과 유도분극 탐사를 수행하였다. 다양한 전극 간격에 대한 기초 탐사 수행 이후, 현장 특성과 예상 오염 심도를 고려하여 전극 간격을 설정하였고 총 5개의 측선에서 자료를 취득하였다. 취득한 자료를 기반으로 2차원 및 3차원 시간 경과 역산을 수행하여 유류 오염에 따른 전기비저항, 충전율 변화를 분석하여 정화 분야에서의 물리탐사 적용성을 평가하였다.

사사

이 연구는 환경부의 재원으로 한국환경산업기술원의 지중환경 오염·위해 관리기술 개발사업(RS-2023-00220588)의 지원을 받아 수행되었습니다.

군산분지 3차원 해저면 탄성파 탐사자료의 영상화

구승현^{1)*}, 박세은²⁾, 최서윤¹⁾, 조현욱²⁾, 김규중³⁾, 오주원^{1,2)}

^{1)*}전북대학교 토목/환경/자원·에너지공학부(자원에너지공학), choco4236@jbnu.ac.kr

²⁾전북대학교 환경에너지융합학과

³⁾AAT Co. Ltd.

3D Seismic Imaging for Ocean-Bottom Seismic Data from Gunsan Basin in South Korea

Seung-Hyeon Ku^{1)*}, Sea-Eun Park²⁾, Seo-Yun Choi¹⁾, Hyun-Wook Jo²⁾, Kyujung Kim³⁾, and Ju-Won Oh^{1,2)}

전 세계적으로 2050 탄소중립 달성을 위해 이산화탄소 지중저장(Carbon Capture and Storage, CCS) 기술의 중요성이 강조되고 있다. 우리나라 또한 2021년에 2050 탄소중립을 선언하며 CCS 프로젝트를 진행하기 위해 지층 특성과 저장 능력 평가를 토대로 군산분지를 유망한 CO₂ 지중저장 부지로 선정하게 되었다. 군산분지 내에 적합한 이산화탄소 저장층을 탐사하기 위하여 관련 연구가 수행되고 있으며, 2차원 스트리머 탐사자료, 3차원 해저면 탐사자료가 취득되었다.

본 연구에서는 군산분지 내 동소분지에서 취득한 3차원 해저면 탄성파 탐사자료에 대해 3차원 전파형역산(Full-Waveform Inversion, FWI)과 역시간 구조보정(Reverse-Time Migration, RTM)과 같은 최신 3차원 탄성파 영상화 기술의 적용성을 검토하고자 한다. 수진기 수가 적은 탐사자료의 한계점을 장점화하기 위하여, 상반성 원리를 이용해 공통 수진기 모음을 공통 송신원 모음처럼 사용함으로써, 계산량을 크게 감소시켰다. 또한 시간영역과 주파수영역에서의 3차원 탄성파 영상화 결과를 비교하며 지질구조 해석 결과를 교차검증하였으며, 2차원 스트리머 탐사자료에 대한 결과와 비교하여 추정된 지질구조의 정확성을 확인하였다.

사사

본 연구는 2022년도 정부(교육부, 산업통상자원부)의 재원으로 K-CCUS 추진단의 지원을 받아 수행된 연구입니다(KCCUS20220001, 온실가스감축 혁신인재양성사업). 또한 산업통상자원부(MOTIE)와 한국에너지기술평가원(KETEP)의 지원을 받아 수행한 연구과제입니다(No. 2021201020020).

해상풍력단지 부지 특성화를 위한 음향 전파형역산: 네덜란드 NOZ TNW 프로젝트에 대한 적용

박윤곤^{1)*}, 박세은²⁾, Guillaume Sauvin³⁾, Jean-Rémi Dujardin³⁾, 박준상³⁾,
Maarten Vanneste³⁾, 오주원^{1,2)}

^{1)*}전북대학교 토목/환경/자원·에너지공학부(자원에너지공학), ygp0917@naver.com

²⁾전북대학교 환경에너지융합학과

³⁾Norwegian Geotechnical Institute, Geohazards and Dynamics

Acoustic Full-Waveform Inversion for Offshore Wind Farm Site Characterization: Application to the Netherlands NOZ TNW Project

Yun-Gon Park^{1)*}, Sea-Eun Park²⁾, Guillaume Sauvin³⁾, Jean-Rémi Dujardin³⁾, Joonsang Park³⁾,
Maarten Vanneste³⁾, and Ju-Won Oh^{1,2)}

고정식/부유식 해상풍력단지는 탄소중립과 그린수소 생산을 위해 필요하며, 전라북도 새만금은 이를 위한 중심 지역이 되고 있다. 해상풍력단지 조성을 위해서는 해저지반의 안전성을 확보하기 위한 지구물리학적/지질공학적 부지특성화 연구가 필수적이다. 탄성과 탐사자료의 전파형역산 기술은 해저지반의 P파 속도를 제공함으로써, 지반 안전성에 대한 정보와 지질공학적 변수 추정을 위한 기초 정보를 제공할 수 있다는 장점이 있다. 하지만 천부 탄성과 탐사자료의 제한된 오프셋, 저주파수 성분의 부재, 강한 잡음으로 인해 전파형역산의 적용성을 향상시키기 위해서는 실증자료 확보, 충분한 연구 경험, 지질공학 전문가와의 긴밀한 소통이 필요하다. 본 연구는 전북대학교가 수행 중인 온실가스감축 혁신인재양성사업의 동계 학부생 장기파견 프로그램을 통해 수행되었으며, 이 과정에서 전북대학교 지구물리컴퓨팅 연구실은 해상풍력단지 부지특성화 경험이 풍부한 노르웨이 지반공학연구소(NGI)와 2024년 2월 MOU를 체결하면서 관련 연구를 시작하였다. 현재 북해지역 해상풍력단지 조성을 위한 네덜란드 NOZ TNW 프로젝트의 탄성과 탐사자료에 대한 전파형역산 기반 부지 안전성 연구를 시작한 상황이며, 본 연구에서는 지금까지의 연구현황과 성과를 소개하고자 한다.

사사

본 연구는 2023년도 정부(교육부, 산업통상자원부)의 재원으로 K-CCUS 추진단의 지원을 받아 수행된 연구입니다(KCCUS20220001, 온실가스감축 혁신인재양성사업). 또한 산업통상자원부(MOTIE)와 한국에너지기술평가원(KETEP)의 지원을 받아 수행한 연구과제입니다(No. 2021201020020). 또한 네덜란드 NOZ TNW 프로젝트의 탄성과 탐사자료를 제공해주신 NGI에 감사드립니다.

유타 FORGE 지열발전 부지 탄성파 속도 모델과 밀도 모델의 정확성 검토

이영주^{1)*}, 김정우²⁾, 정윤하¹⁾, 오주원^{1,3)}

^{1)*}전북대학교 환경에너지융합학과, iyju990312@jbn.ac.kr

²⁾University of Calgary, Department of Geomatics Engineering

³⁾전북대학교 토목/환경/자원·에너지공학부(자원에너지공학)

Accuracy Assessment of the Seismic Velocity Model and Density Model from Utah FORGE EGS Site

Young-Ju Lee^{1)*}, Jeong Woo Kim²⁾, Yun-Ha Jung¹⁾, and Ju-Won Oh^{1,3)}

2017년 11월 포항지진 이후, 육상 심부지층 부지 특성화 기술의 사회적 수용성이 크게 저하된 상황이며, 앞으로 중요해지고 있는 사용후핵연료 심층처분 부지 선정 연구를 위해서는 부지 특성화 기술의 정확성을 향상시키는 것이 필요하다. 따라서 다른 지구물리 자료와의 복합 해석을 통해 잡음 수준이 높은 육상 탐사자료의 해석 정확성을 향상시키는 것이 중요해지고 있다. 단일 물리탐사 자료에만 의존하여 지하의 물성을 해석할 경우 단일 물리적 신호의 특성에 따라 정확도와 신뢰도가 확보되지 않을 수 있어, 지하 물성 해석에 실패할 가능성이 존재한다. 중력탐사는 지하 지층의 수평적인 밀도 변화를 추정하는데 유리하며, 탄성파탐사는 지하 지층의 수직적인 물성 변화를 고해상도로 추정해낼 수 있어 정확한 부지 특성화를 위해 두 자료를 복합 해석할 경우 신뢰도가 높은 결과를 획득할 수 있으며, 두 방법은 모두 밀도라는 물성의 영향을 받기 때문에 가장 융합하기 쉬운 탐사법이다.

본 연구는 전북대학교가 수행 중인 온실가스감축 혁신인재양성사업의 동계 학부생 장기파견 프로그램을 통해 수행되었으며, 성공적인 지열발전 프로젝트로 평가받는 미국 유타 FORGE (Frontier Observatory for Research in Geothermal Energy) 부지의 중력탐사 자료와 탄성파탐사 자료를 활용한 밀도 모델과 속도 모델의 정확성 검토 연구를 수행하였다. 탄성파/중력탐사 자료로부터 획득한 속도/밀도 모델을 각각 경험식을 이용하여 밀도/속도 정보로 변환한 뒤, 교차검증을 수행하였다. 이를 통해 탄성파-중력탐사 자료의 복합 역산 가능성을 검토하였으며, 향후 국제 공동연구를 통해 실증자료에 대한 복합 역산기술의 실증 연구를 진행할 계획이다.

사사

본 연구는 2023년도 정부(교육부, 산업통상자원부)의 재원으로 K-CCUS 추진단의 지원을 받아 수행된 연구입니다(KCCUS20220001, 온실가스감축 혁신인재양성사업). 또한 산업통상자원부(MOTIE)와 한국에너지기술평가원(KETEP)의 지원을 받아 수행한 연구과제입니다(No. 2021201020020). 또한 유타 FORGE 지열발전 부지의 중력탐사, 탄성파탐사 자료를 제공해주신 유타 FORGE 컨소시엄에 감사드립니다.

초동주시 기반 재생성된 파동장을 이용한 다중 스케일 완전파형역산

정서제¹⁾, 이다운²⁾, 신성렬²⁾, 정우근^{2)*}

¹⁾국립한국해양대학교 해양과학기술융합학과

^{2)*}국립한국해양대학교 에너지자원공학과, wkchung@kmou.ac.kr

Multi-scale Full Waveform Inversion Using Regenerated Wavefield Based on First-arrival travelttime

Seoje Jeong¹⁾, Dawoon Lee²⁾, Sungryul Shin²⁾, and Wookeen Chung^{2)*}

완전파형역산(Full waveform inversion, FWI)은 관측 자료와 모델링 자료 간의 잔차를 줄여 나감으로써 지하 물성 정보를 도출하는 기법이다(Tarantola, 1984). 그러나 완전파형역산은 저주파수 성분의 부재와 부정확한 초기 모델로 인한 Cycle-skipping 문제 등의 어려움이 존재한다. 이를 해결하기 위해 반사파 토모그래피(Operto et al., 2004), 라플라스 영역 완전파형역산(Shin and Cha, 2008) 등이 사용되어 왔으나, 이러한 방법은 암염돔 구조와 같은 복잡한 속도 모델에서는 장파장 속도모델을 얻으므로 완전파형역산 결과의 해상도가 낮다(Ha ans Shin, 2013). 본 연구에서는 장파장 속도 모델을 구축하여 완전파형역산 결과의 정확성을 높이기 위해 라플라스 변환을 통해 얻어진 초동 주시와 진폭을 통해 재생성된 파동장을 활용하여 다중 스케일에서의 완전파형역산 알고리즘을 제안하였다. 제안된 알고리즘을 검증하기 위해 초동주시와 진폭을 통해 재생성된 파동장으로 목적 함수를 정의하고 수치예제를 통해 제안된 알고리즘을 검증하였다. 수치실험 결과, 제안된 알고리즘을 적용하여 해상도가 개선된 장파장 속도모델을 도출하였으며, 본 연구결과를 초기 속도모델로써 활용하여 고해상도의 속도모델을 얻을 수 있을 것으로 판단된다.

사사

이 연구는 2023년도 해양수산부 재원으로 해양수산과학기술진흥원의 지원과(RS-2023-00259633), 정부의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행되었습니다(No. 20182510102470).

자력이상도와 다중빔음향측심 지형자료를 이용한 서필리핀분지의 진화 연구

신현욱¹⁾, 최한진^{1)*}

¹⁾*부산대학교 지질환경과학과, explorist@pusan.ac.kr

Exploring the Opening Style of the West Philippine Basin by Understanding Marine Magnetic Anomaly and Multibeam Bathymetry

Hyeonuk Shin¹⁾, and Hanjin Choe^{1)*}

서필리핀분지는 필리핀판 서편에 위치한 거대한 배호분지(back-arc basin)이다. 서필리핀분지의 중앙에 존재하는 E-W 주향의 화석확장축(fossil spreading center)인 중앙분지단층(Central Basin Fault)을 중심으로 분지의 북쪽은 일본의 배타적 경제수역(EEZ)안에 있어 많은 연구가 되었지만 분지의 남쪽은 공해상에 위치 해있어 많은 연구가 이뤄지지 않았다. 우리는 전세계의 다양한 데이터센터와 2022년 9월 산학연 연구선공동활용사업을 통해 획득한 다중빔음향측심 자료를 이용하여 심해언덕(Abyssal hill)과 비변환불연속(Non Transform Discontinuity)의 주향 변화 분석을 토대로 중앙분지단층 기준 남쪽과 북쪽의 해저지형이 대칭을 이루고 있으며 확장과정에서 회전이 존재했음을 밝혀냈다. 그러나 해당 논문에서 제시한 분지진화 재구성모형은 서필리핀분지 내부에서의 상대적 관점에서의 확장과정만 설명할 수 있고, 주변 판 그리고 맨틀 플룸(mantle plume)의 유기적인 상호작용은 고려하지 않은 모형라는 한계가 존재한다. 우리는 이러한 한계점을 극복하기 위해 해저지형자료와 인공위성 중력이상, 그리고 양성자세차자력계와 선상삼성분자력계로 획득한 자료를 일본 JAMSTEC-DARWIN, 미국 NOAA-NCEI, 유럽 SEADATANET 등 전세계의 다양한 데이터센터로부터 제공받아 기존에 많은 가설이 난립했던 분지의 진화과정을 재조명하였다. 또한 이를 바탕으로 주변 판과의 관계와 분지 자체의 회전을 고려한 절대적 관점에서의 분지진화 재구성모형을 제작하여 서필리핀분지의 진화과정이 한반도 및 주변 지형변화에 미치는 영향을 연구하고자 한다.

불규칙한 지표 경계에서의 음향파 모델링을 위한 유한차분법 비교

강호진¹⁾, 최우창¹⁾, 박윤희²⁾, 편석준^{1)*}

^{1)*}인하대학교 에너지자원공학과, pyunsj@inha.ac.kr

²⁾한국해양과학기술원

Comparison of Finite Difference Methods for Acoustic Wave Modeling at Irregular Boundaries

Hojin Kang¹⁾, Woochang Choi¹⁾, Yunhui Park²⁾, and Sukjoon Pyun^{1)*}

유한차분법은 파동장 합성을 위해 사용되는 주요 기법으로 단순한 계산식과 높은 계산 효율을 가진다. 하지만 표준적인 유한차분법은 균일한 격자 구조를 사용하여 물성 정보를 표현하고 파동장을 계산하기 때문에 곡면 혹은 경사 등의 불규칙한 경계면을 모사하는 것에 한계가 있다. 이는 모델링 결과에서 인공적인 회절파 등의 수치적인 오차로 나타날 수 있다. 이 연구에서는 곡면을 계단 모양의 격자로 근사하여 계산하는 가장 기본적인 유한차분법과 경계면 모양에 따라 변형된 격자점 위치를 고려한 수정된 유한차분법, 그리고 불규칙한 경계 구조를 모사하기 위해 고안된 임베디드 경계법(embedded boundary method)을 이용한 유한차분법을 비교하였다. 수정된 유한차분법은 균일한 격자 구조로 만들어진 경계와 불규칙한 곡면형 경계 사이의 거리를 고려한 가중치를 활용하여 모델링을 수행한다. 임의의 시간에서 합성된 파동장을 도시하여 기존의 유한차분법, 거리 기반 가중치를 이용한 개선된 유한차분법과 임베디드 경계법의 인공적인 회절파 제거 효과를 비교해 보았다. 기존의 유한차분법은 불규칙한 경계에서 인공적인 회절파가 발생했으며, 거리 기반 가중치를 이용한 수정된 유한차분법은 인공적인 회절파를 일부 제거했지만, 그 효과가 미미했다. 임베디드 경계법은 세 가지 유한차분법 중 불규칙한 경계에 의한 인공적인 회절파를 가장 효과적으로 제거하는 것을 확인할 수 있었다.

배수지 증설을 위한 탄성파 굴절법 탐사 적용

이창우¹⁾, 이용재²⁾, 조경서²⁾, 김원기^{1)*}

^{1)*}충북대학교 지구환경과학과, konekee@chungbuk.ac.kr

²⁾(주)아시아지오

Application of Seismic Refraction Survey for Service Reservoir Expansion

Changwoo Lee¹⁾, Youngjae Lee²⁾, Kyoungseo Cho²⁾, and Won-Ki Kim^{1)*}

일반적인 배수지는 정수된 깨끗한 물을 여러 지역에 안정적으로 제공하기 위한 목적을 가지고 있으며, 인구 증가, 농업 및 산업용수 수요 증가와 기후변화에 의한 강수량 변화 등의 이유로 인해 증설이 요구되기도 한다. 배수지 증설을 위해서는 증설하고자 하는 지역의 지하속도구조와 같은 지반 특성을 파악하여 배수지 증설에 적절한 특성을 가지고 있는지를 우선으로 판단해야 한다. 본 연구에서는 경기도 화성시 남양읍 남양리에 위치한 남양 5배수지의 증설을 위해 증설 후보지의 지반 특성을 파악하고자 탄성파 굴절법탐사를 수행하였다. 총 7개의 측선을 설정하여 탐사를 수행하였으며, 각 측선에는 최대 24개의 지오폰을 5.0 m 간격으로 설치하였다. 송신원은 해머를 이용하여 측선당 최대 7지점의 송신점을 갖도록 탐사를 수행하였다. 자료처리는 탄성파 신호의 관측 주행시간과 모델링된 신호의 주행시간의 차이가 최소가 되도록 지하 속도모델을 개선하는 탄성파 굴절법 토모그래피를 적용하였다. 획득한 자료로부터 직접파의 속도와 양단주시로부터 얻은 구간별 속도를 도출하여 토모그래피를 위한 초기 속도모델을 설정하여 탄성파 굴절법 토모그래피 적용하였고, 탐사지역의 지하 속도구조를 효과적으로 도출하였다. 따라서, 본 연구에서 적용한 탄성파 굴절법 탐사와 자료처리방법은 남양 5배수지의 증설에 필요한 후보지의 지하 속도구조를 효과적으로 제공함으로써 향후 배수지 증설사업에 많은 도움이 될 것으로 판단된다.

사사

연구는 해양수산부 재원으로 해양수산과학기술진흥원(No. RS-2023-00259633)과 2023학년도 충북대학교 학술연구지원사업의 연구비 지원을 받아 수행되었습니다.

딥러닝 기반 자료해석 모델 학습을 위한 교량 바닥판에서의 GPR 탐사 수치모델링

최병훈^{1)*}, 채휘영¹⁾, 장제훈¹⁾, 유경원²⁾

^{1)*}(주)지오메카이엔지, bhoon1121@gmail.com

²⁾인하대학교 에너지자원공학과

Numerical Modeling of GPR Survey on Bridge Deck for Training Deep Learning-based Data Analysis Models

Byunghoon Choi^{1)*}, Hwi-Young Chae¹⁾, Je-Hun Jang¹⁾, and Gyeongwon Ryu²⁾

국내에서는 각종 콘크리트 구조물이 노후화되면서 효과적인 보수·보강을 통한 안전관리가 필요한 실정이다. 특히, 교량의 주요 부재인 콘크리트 바닥판의 경우 교통하중, 우수 및 염화물의 침투 등 열악한 환경조건에 직접 노출되어 지속적인 열화 현상이 발생하고 있다. 기존 조사 방법인 육안점검, 코어채취 등은 바닥판 전체에 대한 조사가 제한적이며, 열화 현상이 진행되었다 하더라도 아스팔트 포장의 표면 파손으로 이어지기 전까지 탐지가 어려운 문제가 있다. 따라서 기존 조사 방법의 단점을 보완하고 효율적인 조사를 수행하기 위해 지표투과레이더(Ground Penetrating Radar, GPR) 장비가 주로 사용된다. GPR 자료에서 교량 바닥판 상태평가를 위해서는 상부 철근에 의해 나타난 신호의 진폭 감쇠와 피복 두께를 해석하는 과정이 필요하다. 최근에는 해석에 필요한 비용을 단축하고 객관화된 결과를 얻기 위해 딥러닝(Deep Learning) 기반의 모델을 활용하는 연구들이 지속되고 있다. 본 연구에서는 딥러닝 기반 자료해석 모델 학습에 필요한 교량 바닥판에서의 GPR 탐사 자료를 모사했다. 연장 8m의 교량 모형을 가정하였으며, 아스팔트는 4~5, 콘크리트는 10~12 범위의 상대유전율 값을 사용했다. 교량 모형에서의 변수는 아스팔트의 두께, 상부 철근의 개수와 심도이며 다양한 구조의 교량 모형을 제작했다. 수치모델링에 필요한 중심 주파수, A-scan 간격, 안테나 간격 등은 실제 현장 탐사 조건과 동일하게 설정했다. 모사된 합성자료는 별도의 라벨링(Labeling) 과정을 필요로 하지 않는 장점이 있으며 학습된 모델은 특성에 따라 현장자료 해석 목적으로 사용할 수 있다. 또한 현장자료를 이용한 전이학습(Transfer Learning)을 가정했을 때 초기 가중치 학습에 사용할 수 있고, 정답 라벨을 이용해 자료해석 모델 성능 평가 방법 연구 등에 활용할 수 있다.

여기진폭 기법을 활용한 장파장 속도모델 도출

이다운¹⁾, 정서제²⁾, 정우근^{1)*}

^{1)*}국립한국해양대학교 에너지자원공학과, wkchung@kmou.ac.kr

²⁾국립한국해양대학교 해양과학기술융합학과

Deriving Long-Wavelength Velocity Models Using Excitation Amplitude

Dawoon Lee¹⁾, Seo Je Jeong²⁾, and Wookeun Chugn^{1)*}

파동방정식 기반 탄성파 영상화 기법 중 완전파형역산은 지하매질의 물성과 구조를 추정하는데 있어 활발히 이용되고 있지만, 정확한 지하매질의 정보를 추정함에 있어 초기속도 모델 선정, 비선형 문제, 상당한 계산비용과 같은 여러 어려움이 존재한다. 이 연구에서는 완전파형역산의 초기속도 모델 선정 문제와 계산비용에 대한 문제를 해결하기 위한 대안으로써, 직접 포락선 역산과 여기진폭 기법을 이용하는 방법을 제안하였다. 직접 포락선 역산은 관측자료의 포락선에 포함된 저주파수 성분을 활용하여 장파장 속도모델을 도출하기 위해 이용된 기법으로써, 완전파형역산을 위해 요구되는 음원 파동장의 포락선을 이용하여 수행된다. 하지만, 직접 포락선 역산은 전방향 모델링에서 음원 파동장을 메모리 및 디스크에 저장한 후 음원 파동장의 포락선을 계산하기 때문에 이러한 음원 파동장을 저장하는 과정에서 상당한 메모리 비용을 요구함으로써 직접 포락선 역산 방법은 대규모 구조 및 3차원 모델에 적용하는데 있어 한계가 존재한다. 이와 같은 계산 비용의 한계를 극복하기 위해 이 연구에서는 여기진폭 기법을 도입하였다. 여기진폭 기법은 각 모델 격자에서 가장 에너지가 높은 진폭과 그 도착 시점을 이용하여 음원 파동장을 재구성하는 기법으로써, 최근 탄성파 영상화를 위한 다양한 연구에서 활용되고 있다. 여기진폭 기법을 활용한 장파장 속도모델 도출 기법을 인공합성 자료에 적용한 결과 효율적으로 장파장 속도모델을 도출할 수 있음을 확인하였고, 현장자료에 적용한 결과 장파장 속도모델을 얻을 수 있음을 확인하였다.

사사

이 연구는 2024년도 정부(교육부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업(No. RS-2023-00247755) 및 해양수산부 재원으로 해양수산과학기술진흥원의 지원(No. RS-2023-00259633)을 받아 수행되었습니다.

전기비저항탐사를 이용한 바이오리액터형 매립지의 침출수 주입 모니터링

김원기^{1)*}, 이철희²⁾, 이창우¹⁾, 김영규³⁾, 최원영³⁾

^{1)*}충북대학교 지구환경과학과, konekee@chungbuk.ac.kr

²⁾(주)아시아지오

³⁾한국종합기술

Leachate Injection Monitoring for Bioreactor Landfill using Electrical Resistivity Survey

Won-Ki Kim^{1)*}, Chul Hee Lee²⁾, Changwoo Lee¹⁾, Young-Kyu Kim³⁾, and Won-Young Choi³⁾

쓰레기 매립에 의한 토양오염과 같은 매립지 주변의 환경오염을 예방하는 방법으로 매립지 침출수를 재주입하여 매립된 쓰레기의 안정을 촉진하는 바이오리액터(bioreactor) 공법이 많은 매립지에 적용되고 있다. 바이오리액터 공법을 효과적으로 적용하고 검증하기 위해서는 재주입 침출수의 분포 양상 및 거동 특성과 같은 정보를 효과적으로 파악해야 한다. 본 연구에서는 수도권 매립지에서 재주입된 침출수의 분포 특성을 모니터링하기 위해 전기비저항탐사를 수행하였다. 전극 배열은 2차원 탐사에 효과적인 쌍극자 배열을 사용하였으며, 시간에 따른 침출수 특성 변화를 파악하기 위해 2013년 8월부터 2014년 8월까지 5차례의 탐사를 수행하여 전기비저항 분포 단면들을 획득하였다. 탐사 결과를 보면, 침출수 재주입에 따른 전기비저항 변화는 침출수 주입정 부근에서 가장 크게 확인되었으며, 시간이 지남에 따라 재주입된 침출수에 의한 저비저항대가 수평 및 수직 방향으로 확장되는 것을 확인하였다(그림 1). 분석 결과로부터 재주입되는 침출수는 매립지에 안정적으로 주입되어 바이오리액터 공법이 잘 적용되고 있음을 파악할 수 있었다. 따라서, 전기비저항탐사는 바이오리액터 공법의 안정적인 적용을 위한 효과적인 침출수 거동 모니터링 기법으로 활용될 수 있을 것으로 판단된다.

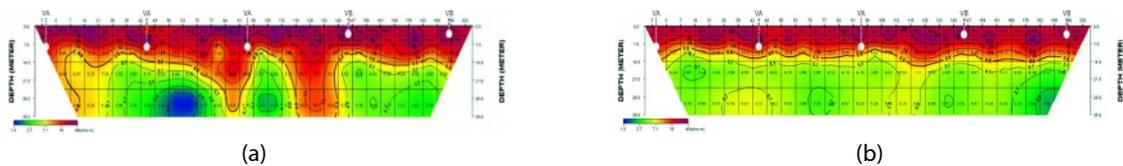


그림 1. 침출수 (a) 주입 초기와 (b) 주입 후기의 전기비저항 분포.

사사

이 연구는 해양수산부 재원으로 해양수산과학기술진흥원(No. RS-2023-00259633)과 2023학년도 충북대학교 학술연구지원사업의 연구비 지원을 받아 수행되었습니다. 또한 연구자료를 활용할 수 있게 협조해 주신 한국종합기술에 감사를 전합니다.

울릉분지 진화구조 규명을 위한 동해 고해상도 해양자력이상도 제작

최성규¹⁾, 최한진^{1)*}

¹⁾*부산대학교 지구환경시스템학부 지질환경과학전공, explorist@pusan.ac.kr

Compilation of the High-Resolution Marine Magnetic Anomaly Map to Decipher the Tectonic Evolution of Ulleung Basin

Seonggyu Choi¹⁾, and Hanjin Choe^{1)*}

동해는 유라시아 대륙과 두 해판(태평양해판, 필리핀해판)의 활발한 섭입으로 인한 해구후퇴로 배호분지(울릉분지, 일본분지, 야마토분지)가 확장되며 형성된 바다이다. 이 배호분지 중 일본분지는 완전한 확장이 일어나 자기이상이 강하게 나타나는 반면, 다른 두 배호분지는 확장 동안 두꺼운 대륙지각이 늘어나는 연성확장으로 뚜렷한 선형 자력이상이나 나타나지 않는 것으로 여겨지고 있다. 울릉분지는 동해 서남쪽, 한반도 동부와 맞닿아 있는 배호분지로 동해의 확장과정을 이해하는데 매우 중요한 지역이다. 지금까지는 분지의 확장과 관련된 뚜렷한 자기이상이 관찰되지 않아 두꺼운 대륙지각으로부터 단순전단(simple shear)으로 인한 확장으로 형성되었다는 주장이 지배적이었다. 우리는 울릉분지 내부 자력이상의 존재 유무를 확인하여 분지의 형성과 진화과정을 밝히기 위해 국립해양조사원에서 획득한 해양자력탐사 자료와 일본해양자료센터(Nippon Oceanography Data Center, NODC), 미국립환경정보센터(National Centers for Environmental Information, NCEI)에서 얻은 총 551개의 항차자료들을 취합하여 고해상도 해양자기이상도를 제작하였다. 각각의 자료들이 수집된 환경과 시기가 다르기 때문에 항차 간 그리고 측선 간의 발생한 측정 오차를 최소화하기 위해 최소자승법을 이용한 교차점 보정법을 수행하였다. 그 결과, 울릉분지 중심부에서 해양지각의 확장으로 여겨지는 ENE-WSW주향의 선형자력이상 분포를 확인하였다. 이 선형자력이상은 20~30 nT의 약한 강도로 나타나고 있으며 이는 분지 확장 동안 마그마 활동이 해수에 노출된 후 만들어진 티탄자철석이 두꺼운 퇴적층에 의해 열소자(thermal demagnetization)되어 자성이 약하게 나타났거나, 또는 확장과정 중 발생한 마그마 활동이 해수에 노출되지 않고 천천히 식는 과정에서 입자 크기가 커진 상태로 결정화된 자철석이 약한 자성을 유지하며 위와 같은 결과가 나타난 것으로 여겨진다. 향후 지자기 이상과 음향기반암, 탄성파 속도구조모형, 그리고 중력자료를 바탕으로 한 지구조 수치모형을 제작하여 분석하고, 이를 바탕으로 울릉분지의 진화과정에 대한 진보된 해석을 제시할 예정이다. 또한, 해당 연구결과는 진화과정에 따른 지각구조 물성변화가 한반도 자연재해 발생에 미치는 영향을 이해하는데 기여할 것으로 기대된다.

지구물리자료 기반 모래확률지도를 이용한 포항지역의 2차원 액상화 가능성 평가

이아인¹⁾, 오석훈^{2)*}, 권형석³⁾

¹⁾강원대학교 에너지·인프라융합학과

^{2)*}강원대학교 에너지자원공학과, gimul@kangwon.ac.kr

³⁾강원대학교 지구자원연구소

Assessment of 2D liquefaction potential using probability of sand from geophysical data in Pohang, South Korea

Ain Lee¹⁾, Seokhoon Oh^{2)*}, and Hyoung-Seok Kwon³⁾

2017년 포항 지진으로 인해 발생한 토사 분출 현상으로 인해 국내에서 액상화 연구의 필요성이 대두되었지만, 액상화 평가에 주로 사용되는 지반조사는 피해 지역을 묘사하는데 공간적 연속성에 한계가 존재한다. 이를 극복하기 위해 본 연구에서는 다채널 주파수 표면파 탐사(Multichannel Analysis of Surface Wave, MASW), 전기비저항탐사(Electrical Resistivity Tomography, ERT), 시추자료 등 세 가지 자료를 이용하여 넓은 면적을 평가할 수 있는 통합 분석 방법을 제안한다. 기존 MASW 기반 액상화 가능 지수(Liquefaction potential index, LPI)는 시추조사로만 얻을 수 있는 토양 특성들을 고려하는데 한계가 있어 지반조사 기반 LPI와 차이가 발생했다. 이러한 차이를 해소하기 위해 위 세 가지 자료를 통합하여 액상화가 주로 발생하는 느슨한 포화 사질토 지반을 특성화하였다. 수집된 자료에 다항식 근사법을 적용하여 토양 분류를 수행하고, 예측된 토양 매개변수(Soil parameter, S)를 실제 토양 분류 결과와 비교하여 2차원 모래 확률 지도를 생성하였다. MASW 기반 LPI와 모래 확률의 통합된 결과를 시각적으로 쉽게 해석할 수 있도록 CMY color mapping을 적용하였다. 2D CMY 단면을 통해 LPI와 모래 확률이 모두 높은 지역을 식별할 수 있었으며, 최종적으로 액상화 발생 가능성이 높은 지역을 예측할 수 있었다. 이 확률론적 프레임워크를 검증하기 위해 실제 토사 분출이 관측된 지역에서 계산된 지반조사 기반 LPI와 비교하였다. 그 결과, BH-2, BH-3 지역에서 모래 확률을 통합시킨 결과가 지반조사 기반 LPI와 더 일치하는 것으로 나타났으며, BH-1 지역은 실제 토사 분출이 발생한 지점의 지표면 부근에서 액상화 가능층이 두껍게 분포하고 있어 지반조사 기반 LPI 보다 공간적인 예측능이 높은 것을 확인하였다. 이를 통해 액상화 평가 시 모래 확률의 적용성을 제안할 수 있으며, 기존 MASW 기반 LPI에서 토양 특성을 고려하지 못해 발생할 수 있는 과대 해석 문제를 해소할 수 있음을 나타낸다.

사사

이 연구는 2024년도 정부(원자력안전위원회)의 재원으로 사용후핵연료관리핵심기술개발사업단 및 한국원자력안전재단의 지원을 받아 수행된 연구사업임(RS-2021-KN066110).

복합지구물리탐사를 통한 곡강단층 주변 및 주변해역의 해저활성지구조 연구

정경서¹⁾, 최한진^{1)*}, 박요섭²⁾

^{1)*}부산대학교 지질환경과학과, explorist@pusan.ac.kr

²⁾한국해양과학기술원 수중로봇복합실증센터

Understanding Submarine Active Tectonic Structures around the Gokgang Fault through Integrated Geophysical Surveys

Gyeongseo Jeong¹⁾, Hanjin Choe^{1)*}, and Yosup Park²⁾

한반도 동남부는 우리나라에서 지구조 응력변화가 가장 크게 일어나고 있는 지역으로 다수의 제 3기, 4기 단층대가 분포하고 있다. 이 단층대를 따라 주요 국가산업기반시설 및 인구가 밀집되어 있어 자연재해로 인한 재산 및 인명 피해를 예방하기 위해 지구조 변화와 단층 운동의 파악이 중요하게 여겨지는 곳이다. 특히, 2016년 경주지진, 2017년 포항지진으로 인해 더 이상 지진의 안전지대로 간주되지 않아 불안감이 증가하고 있으며, 이에 따라 포항분지 내 단층에 대한 활발한 연구가 수행되고 있다. 하지만 포항분지 내 발달하는 곡강단층과 같은 퇴적동시성 정단층이 지표상에서 확인되지 않았고 이들의 운동학적, 기하학적 특성에 관해 자세한 보고가 부족하다. 또한 흥해지역의 영일신항만 주변 해저지형에 대해서는 아직 육상에 비해 많은 연구가 이루어지지 않아서 곡강단층 주변해역의 해저활성지구조에 대한 이해가 부족한 실정이다. 이에 본 연구에서는 육상 디지털 고도 수치모형(DEM) 자료와 고해상도 다중빔음향측심을 이용한 해저지형자료를 비교해 해당지역의 지형구조를 분석하였다. 그 결과, 연구지역의 해저지형구조에서 수 많은 절리구조를 포함한 단층구조를 확인하였고, 해저 지구(graben)구조의 주향이 포항지역 내 육지에서 발견된 곡강단층의 주향과 잘 일치하는 것을 보아 단층이 육상에서부터 해저면까지 이어졌을 가능성을 확인할 수 있다. 하지만 해저지형자료의 분석만으로 해저활성지구조를 명확히 규명하기엔 한계가 있기 때문에 추가적인 지구물리탐사 연구가 필요하다. 따라서 우리는 해당지역에서 드론을 활용한 자력탐사를 수행하여 단층의 구조 변화에 따른 지자기이상을 확인함으로써 한반도 동남부 활성단층 일대의 지하구조를 이해하는데 기여할 수 있을 것으로 기대된다.

이산화탄소 지중저장 프로젝트를 위한 DAS 기반 미소진동 위치 결정: 합성자료 모델링

조상인¹⁾, 최우창¹⁾, 편석준^{1)*}

¹⁾*인하대학교 에너지자원공학과, pyunsj@inha.ac.kr

DAS-based Microseismic Location Determination for CO₂ Sequestration Project: Synthetic Data Modeling

Sangin Cho¹⁾, Woochang Choi¹⁾, and Sukjoon Pyun^{1)*}

광섬유를 활용하여 응력변화를 측정하는 DAS (Distributed Acoustic Sensing) 기술은 고온의 심부환경이나 폭이 좁은 관정 등 접근이 어려운 탐사지역에서 활용이 가능하고 반영구적으로 사용할 수 있어 모니터링에 매우 유용하다. 이러한 장점 덕분에 이산화탄소 지중저장 프로젝트의 성공적인 수행을 위한 기술로서 DAS를 이용한 미소진동 모니터링 기술이 여러 프로젝트에서 활용되고 있다. DAS를 이용한 미소진동 모니터링 기술의 성능을 극대화하기 위해서는 국내 지질 환경을 가정한 저장소 모델로부터 발생하는 이벤트의 위치 결정을 위한 미소진동 신호 취득 파라미터에 대한 최적화가 필요하다. 이 연구에서는 이를 위해 취득 파라미터 별 민감도 분석을 위한 미소진동 합성자료 생성 과정을 제시한다. 특히, 국내 지질 환경을 고려하기 위해 동해 가스전 고래V 광구 구조를 반영한 속도 모델을 생성하고, 해당 광구 내 저류층 심도에 해당하는 깊이를 이벤트 발생 지점으로 설정하였다. 실제 이산화탄소 주입으로 발생하는 이벤트를 모사하기 위해, 해외 CCS 모니터링 프로젝트에서 취득된 미소진동 이벤트의 모멘트 텐서를 적용한 후 엇격자 유한 차분법을 이용한 3차원 탄성과 파동 방정식 모델링을 통해 미소진동 자료를 합성하였다. 현장자료와 유사한 자료를 만들기 위해 신호 대 잡음비를 고려한 무작위 잡음을 추가하였다. 생성한 합성자료를 이벤트 위치 결정을 위한 상용 소프트웨어에서 곧바로 활용 가능하도록 가공하는 인터페이스 모듈을 개발하였다. 이러한 과정을 통해 DAS를 활용하여 취득된 미소진동 이벤트 신호를 모사하여 취득 파라미터 관련 실험을 수행할 수 있으며, 이는 CCS 실증 단계에서 참고할 수 있는 지침을 제공할 수 있을 것으로 기대한다.

사사

본 연구는 산업통상자원부(MOTIE)와 한국에너지기술평가원(KETEP)의 지원을 받아 수행한 연구 과제입니다.
(No. 20226A10100030)

2024 봄 학술대회 준비위원

- 준비위원장: 김영석(부회장/공주대학교)
- 준비총괄: 임형래(학술위원장/부산대학교), 신제현(교육위원장/한국지질자원연구원),
이주한(총무위원장/극지연구소), 윤종열(재무위원장/(주)테라이지)
- 준비위원: 강승구(극지연구소), 박계순(한국지질자원연구원), 송석구(한국지질자원연구원)
신영재(경상국립대학교), 엄주영(경북대학교), 전형구(경북대학교),
정우근(한국해양대학교), 편석준(인하대학교)

본 논문집에 수록된 모든 논문은 그 내용에 대한 편집위원회의 심의를 거치지 않았습니다.
본 논문집에 수록된 논문을 인용하는 경우, 다음과 같이 출처를 밝히기를 권장합니다.

인용 예:

Hong, K._D., 2024, A study on geophysics and geophysical exploration, Proc. of the 2024 Spring KSEG Conf., Korean Soc. Earth Expl. Geophys., Korea Inst. Geosci. and Min. Res.(KNU), Mar. 27-29, 2024.

2024 봄 학술대회

KSEG 2024 Spring Conference

발행 : 한국지구물리·물리탐사학회
주소 : (34168) 대전시 유성구 대학로 31, 한진오피스텔 1804호
전화 : 042-826-1804
팩스 : 042-826-1809
전자우편 : kseg@seg.or.kr
홈페이지 : <https://www.seg.or.kr>

KSEG 2024 봄 학술대회 초록집

후원/협찬 기관

• 경북대학교



경북대학교

<http://www.knu.ac.kr>

• 극지연구소



<https://www.kopri.re.kr>

• 극지연구소
미래기술센터



<https://www.kopri.re.kr>

• 한국지질자원연구원



<http://www.kigam.re.kr>

• 오션테크(주)



<http://www.oceantech.co.kr>

• CCUS인력양성사업단



<https://sanhak.kongju.ac.kr>

• 보민글로벌 주식회사



<https://bominglobal.com>

• 씨앤에치아이앤씨(주)



<http://www.candh.co.kr>



KSEG 2024 봄 학술대회 초록집

후원/협찬 기관

• (주)어스이엔지



<http://eartheng.co.kr>

• (주)에이에이티



<http://www.aatech.co.kr>

• (주)지오룩스



<http://www.geolux.co.kr>

• (주)지오메카이엔지



<http://www.gmeng.co.kr>

• (주)지오뷰



<http://www.geoview.co.kr>

• 코탐(주)



<http://www.kotam.co.kr>

• (주)테라이지



<http://www.terraeg.com>

• (주)한세지반엔지니어링



<http://www.hansegeo.com>

• (주)휴먼앤어스



<http://www.hande.biz>



미래기술센터



극지연구소 미래기술센터에서는
내륙 심부 빙하 시추 지역 조사 및 빙저호 탐사 등
미래 극지 연구를 위한 극지 연구장비 개발 및 극지 현장 탐사를 수행하고 있습니다.

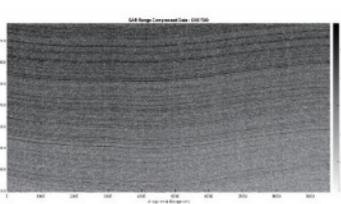
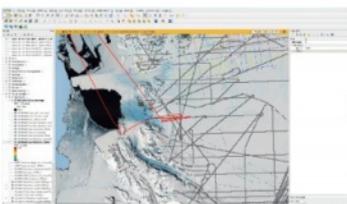
남극내륙 연구거점 구축 및 기지후보지 선정을 위한 남극내륙 빙원탐사

■ 광역 항공탐사기술 개발 및 데이터 수집

- 다중 주파수 빙하레이더 항공기 통합 설치 및 운영
- 극지 현장 빙하레이더 운용 및 자료처리 기술 개발
- 연구 후보지 빙상 및 빙저 3차원 지형도 제작

■ 무인 항공탐사기술 개발 및 데이터 수집

- 무인 수직 이착륙(VTOL) 플랫폼 극지 현장 실증 및 개선
- 무인 항공 플랫폼을 활용한 탐사기술 개발
- 공동연구 수행을 위한 무인 항공 탐사자료 수집



Ocean Science and Geophysical Technology

Ocean Equipment / Underwater system / System Integration



Sercel
Seal 428

12 KM LONG



Oceantech
5m급 중대형 USV



ZLS Corporation
Gravity meter



Marine Magnetics
Gradiometer



SIG
Sparker

Seoul : Ocean Building, 57, Haengjusanseong-ro 144beon-gil, Deogyang-gu, Goyang-si,
Gyeonggi-do, Republic of Korea

TEL: 031-995-9000 / FAX: 031-970-1459

Busan : #601, Baeksong Officetel, 457, Jwadongsunhwan-ro, Haeundae-gu, Busan, Republic of Korea

TEL: 051-742-9040 / FAX: 051-742-9036

2014

CCS 기초트랙 (2014-2018)

“학부중심의 기초인력양성”

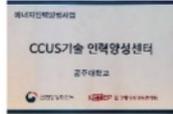
주관기관 : 공주대학교

참여학과 : 지질환경과학과
화학공학부

2015

참여기관 : (주)어스이엔지,
지오텍컨설파트(주),
씨앤비산업(주)

2016



녹색성장을 위한 CCUS 기술 전문인력양성 추진내용

CCS 클러스터: CO₂ 저장소 선정, 모니터링, 저장용량 평가, 안정성 및 효율성에 특화된 클러스터

공주대 지질환경과학과

- CO₂ 저장소 선정, 모니터링 및 평가 운영에 특화된 교육과정 및 연구역량
- 풍부한 R&D 경험: '포항분지 중규모 해상 CO₂ 지중 저장 실증 프로젝트' '대규모 CCS 통합실증 및 CCU 상용화 기반구축 사업'
- 인력양성 사업운영 경험: 이산화탄소 포집 및 저장기술 인력양성 기초 트랙, CCUS기술 인력양성 고급트랙

서울대 에너지자원공학과

- CO₂ 거동특성분석, 저장용량 평가, 저장 안정성 및 효율성, 수송안정성 평가에 특화된 교육과정 및 연구역량
- 풍부한 R&D 경험: '포항분지 중규모 해상 CO₂ 지중 저장 실증 프로젝트', '저류층 내 CO₂ 안정성 평가 및 모니터링 기법 연구', '해양 지중 CO₂ 거동 지구물리 모니터링 기법 연구', '해양 지중 CO₂ 주입에 따른 지반 특성 변화 및 안정성 모델링' 등



포집 해양플랜트

CCS 모사실증 테스트베드

2017

CCUS 고급트랙 (2017-2021)

“산업체 수요에 부응하는 고급인력 양성”

주관기관 : 공주대학교

참여학과 : 지질환경과학과
화학공학부

2018

참여기관 : (주) 대영이엔씨,
(주) 지오그린21,
(주) 지오레이다, (주) 테라이지,
씨앤비산업(주), 퓨리텍

2019

2020



CCU 클러스터: 온실가스의 고부가가치를 위한 생물학적 및 화학적 전환, 소재기술 개발에 특화된 클러스터

서강대 화공생명공학과

- 생물학적, 화학적 전환 촉매 및 공정 분야에 특화된 교육과정 및 연구역량
- 풍부한 R&D 경험: C1 리파이너리 사업, CO₂ 회수 및 재활용을 위한 하이브리드 분리막 등
- 인력양성 사업운영 경험: 바이오 융합 특성화 사업, 고효율 에너지 나노소재공정 고급트랙, CX가스 전환을 통한 에너지화 및 화학제품 생산 연계 핵심기술 고급트랙

성균관대 화학공학부

- 촉매화학 및 전기화학적인 전환 공정에 특화된 교육과정 및 연구역량
- 풍부한 R&D 경험: 합성가스 및 폐이산화탄소를 활용한 합성 연료 제조공정, 최적화 기법을 이용한 CO₂ 직접자원화 공정 개발 등
- 23명의 교수진으로 소재, 부품, 장비, 응용 등 요소기술 관련 전문성



온실가스 전환용 나노촉매 평가장치

플라즈마 반응을 단일관 반응기

온실가스 촉매 및 표면반응 분석장치

2021

CCUS 고도화 (2021-2025)

“CCUS분야에 고도화된 전문인력 양성”

주관기관 : 한국CCUS 추진단

참여대학 : 공주대학교
서울대학교
서강대학교
성균관대학교

2022

참여기관 : 지오텍컨설파트(주), (주) 어스이엔지,
(주) 대영이엔씨, (주) 테라이지,
경기방재연구소, (주) 엘켄텍,
(주) 씨이텍, (주) 콘웰,
월드시스템

2023

2024

2025



CCUS 인프라 데이터베이스

CCUS 기술 교류 시스템

교차교육 환경 구축

클러스터 기술교류 및 고도화

검인증/국가적무표준 체계연구

- CCUS추진단이 CCUS 관련 연구 및 정책판단의 일원화된 창구 역할로 CCUS 생태계 조성의 중심이 되는데 기여
- 다학제 교육 및 수요기술 중심의 연구팀 구성 노후유 축적
- 전문인력 및 연구인프라의 적시 공급 환경 구성
- 기술교류 및 고도화를 통해 지중저장 상용화 사업 및 활용상용화 사업에 활용
- 검인증 프로그램의 체계적인 운영 시스템 확립
- 국가 직무능력표준체계 분류 연구를 통한 취업처 - 취업처 매칭에 기여

ABEM Terrameter LS 2

대형 컬러모니터를 채택하여 사용자가 직관적으로 조작하기 쉬우며, 측정값을 실시간 단면으로 확인할 수 있습니다.

최상급 출력(250W)의 Terrameter LS2는 지질조사, 지하수, 광물자원 및 환경분야에서 고해상도 결과를 제공하며, 다양한 원격제어 기능과 모니터링 시스템을 탑재한 혁신적 전기비저항탐사장비로 평가받고 있습니다.

지구물리탐사 전문가는 물론 비전공자까지 쉽게 조작 가능한 Terrameter LS2는 고출력/고속 자동전기비저항탐사장비로 다양한 현장에서 최상의 결과를 보여줍니다.



MIRA Compact HDR

MIRA(Mala 3D Imaging Radar Array) HDR Technology와 실시간 샘플링 기술이 접목된 MIRA Compact는 가장 높은 채널간 밀도로 설계되어 최고 수준의 해상도와 고속탐사를 지원합니다.

MIRA Compact는 500MHz의 중심 주파수를 사용하며 10채널 (채널간격 6.5cm)로 구성되고, 전체 Array의 Tx-Rx 조합으로 최대 30 채널 데이터를 동시에 수집할 수 있습니다.

모든 종류의 위치정보 시스템을 완벽하게 통합하여 (RTK GPS, Total Station 등) 다양한 분야에서 실시간 정밀측위 탐사를 수행할 수 있습니다.





Geo Blog

Chaser XR

The all-in-one and one-for-all GPR solution for subsurface profiling.



80MHz

1500MHz

Chaser XR

1 UNIT < 5 kg

Extending the power of **EsT technology** to geophysical surveying.

IDS GeoRadar: The leader in multi-frequency and multi-channel Ground Penetrating Radar

www.idsgeoradar.com www.candh.co.kr

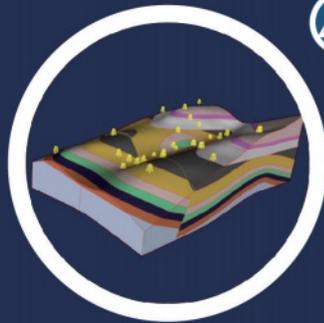


Earth EnG

(주)어스이엔지 Earth EnG Co.,Ltd



Deep Borehole Seismometer
심부 시추공 지진계

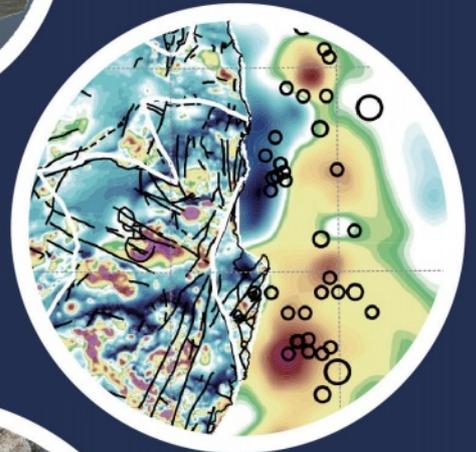


3D Geo Modelling
3차원 지오 모델링



Tunnel Digital Face Mapping
터널 디지털 페이스 맵핑

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



Advanced
Aquatic & Marine
Technology

www.aatech.co.kr

Marine Geophysical Survey

- OBN Seismic Survey
- OBCS Micro-Seismic Monitoring
- Multi-Beam Echo-Sounding Survey
- Side-Scan Sonar Survey
- High-Resolution Seismic Survey

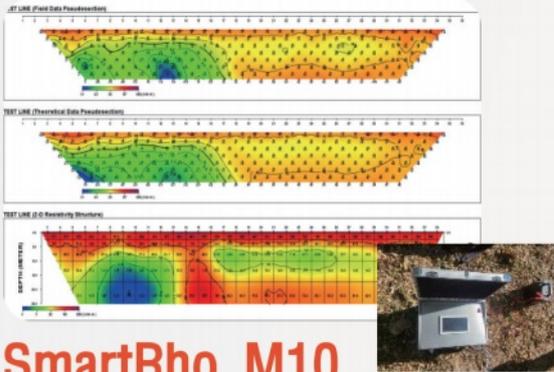
Data Processing

- 3D OBN Seismic Data Processing
- Seismic Data Conditioning
- Seismic-Well Integration
- Time-Lapse 4D Seismic Processing
- Seismic Interferometry

Development Products

- OBN (Ocean Bottom Node)
- OBCS (Ocean Bottom Cabled System)
- 3GBM (Third Generation Borehole Magnetometer)
- HDTM (Handy Deep Towing Magnetometer)
- Acoustic Communication Modem
- Acoustic Release
- Heat Flow Measurement System

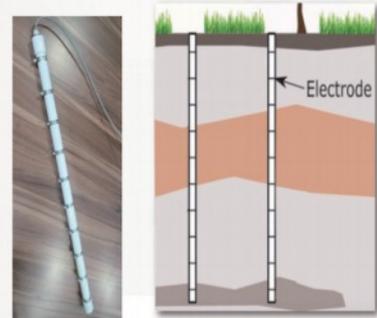
사용자 맞춤형 국산화 장비개발 전문 기업



SmartRho M10

전기비저항 탐사/모니터링 시스템

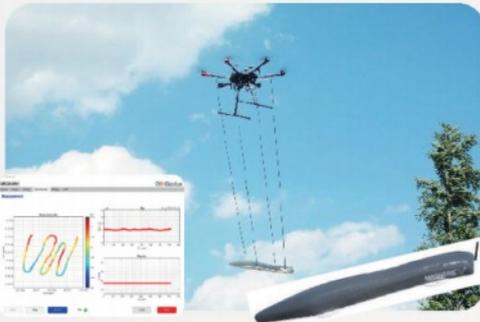
장기적·지속적인 전기비저항 측정 가능
기존 외산 장비와 유사한 성능 보유



지중복합센서

커스터마이징 가능한 지중 멀티 센서

사용자 니즈에 맞춘 다양한 센서의 조합
다양한 크기, 규격 용도에 맞춤형 설계



MAGHAWK

드론 자력탐사 시스템

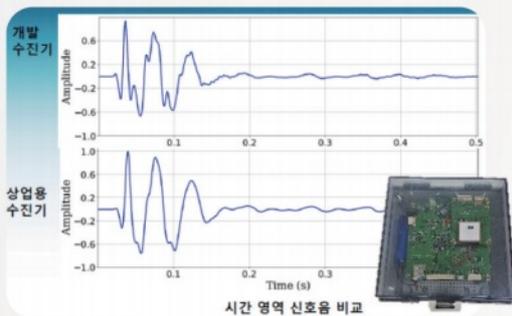
접근이 어려운 지역의 효율적 탐사 가능
저렴한 탐사비용으로 높은 운용 효과



GeoConsole

태블릿 기반 현장 자력탐사 사용자 시스템

실시간 탐사자료 무선 송수신 및 시각화
팀 간 탐사자료 공유 및 프로세싱 가능



무선 탄성파탐사 수신기

지오폰을 탑재한 무선 탄성파탐사 수신기

무선 방식으로 현장 사용자 편의성 증대
선진형 외산 수신기 성능과 유사한 신뢰도

**“사용자 맞춤형
국산화 장비 개발 및
커스터마이징”**

- ◇ (05806) 서울특별시 송파구 문정로 19, 3층 306호 (문정동, 프라도빌딩)
- ◇ Tel : 02 - 497 - 3308 , Fax : 02 - 497 - 3309
- ◇ E-mail : tgahn@geolux.co.kr / Web : www.geolux.co.kr



“인간과 환경의 아름다운 공존을 추구하는 최신기술 선도기업”

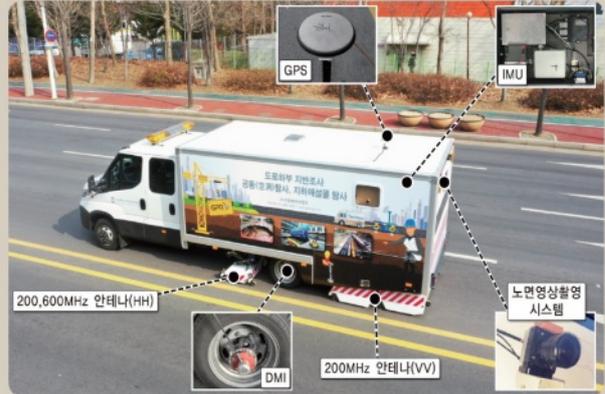
터널 전방 예측 탐사 (3D TSP)

- 발파식(NATM), 비발파식(Shield TBM) 송신원 적용
- 예측범위: 터널토피(H)의 0.5H 주변과 전방



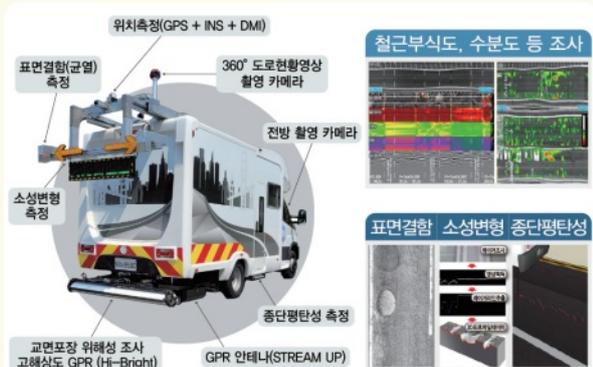
3D GPR 탐사

- 도로 및 보도하부 공동조사
- 지하매설물 탐사, 지하안전영향평가



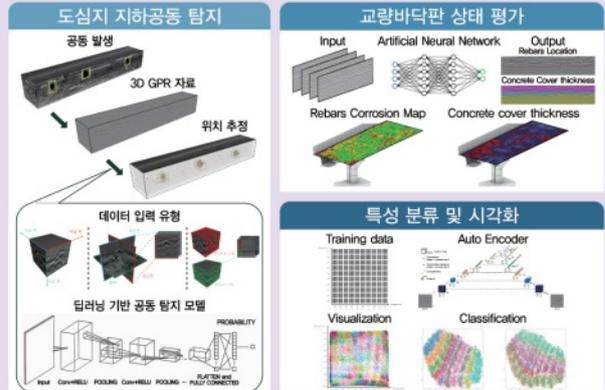
도로 포장상태 평가

- 노면 3D 형상 측정/종단 평탄성 측정
- 교면포장 위해요인 조사(Hi Bright)



인공지능(AI) 기반 자료처리 및 해석

- 딥러닝 기반 GPR 자료 해석
- 머신러닝 기반 자료 분석 및 시각화



GEOSVIEW

해상풍력 Total Survey



재생에너지 3020
(해상풍력단지 89개소 추진 중)
지오뷰가 함께 갑니다.



2023 동해안 부유식해상풍력단지, COP/CIP(덴마크)
2022 동해안 부유식해상풍력단지, Equinor(노르웨이)
2021 완도-제주간 해저전력케이블, LS Cable
2020 필리핀 해저전력케이블, NGCP(필리핀)

지오뷰는
기술을 사지 않습니다.
기술을 만들어 갑니다.

*We don't buy the technology.
We develop them ourselves.*



해양탐사 전문선박 GEOVIEW DP-1호(11,731톤)
국내 민간기업 최대규모 전문탐사선

지오뷰가 추구하는 최고의 가치는
객관적인 해양 정보 제공입니다.

2021 백만불수출의 탐 수상

(주)지오뷰 www.geoview.co.kr 051)294-1603

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

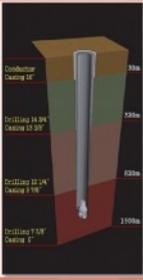
코탐은 스웨덴 RADAR TEAM의 국내 독점 판매처 입니다.

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



GeoTech Engineering

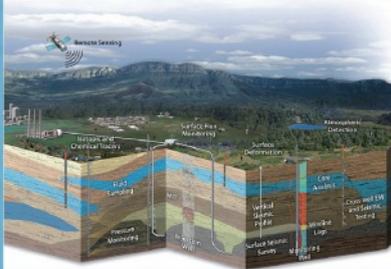
정밀 지반조사 및 현장시험
방재 조사 / 계측
지진계 설치




CCS 기술
지하공동조사 기술
대심도 모니터링시스템 설계 및 완결



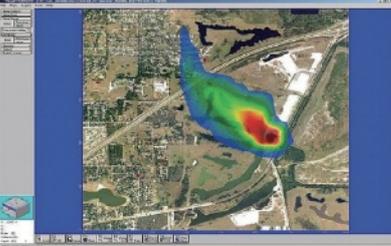
GeoTech R&D



수리특성 시험
지하수 영향분석
지반안정성 모니터링



GeoTech Environment



광물자원 탐사
광체 및 매장량 평가
탐광시추



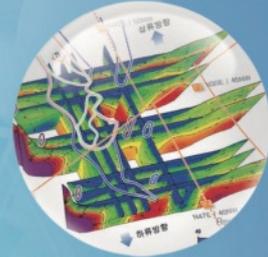
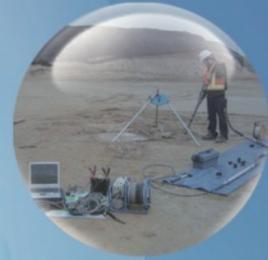
GeoTech Resources



(주) 테라이지

서울시 강서구 양천로 583, 우림블루나인비즈니스센터 B동 404,405호
TEL. 02)2658-1431 FAX. 02)2658-1440
[Http://www.terraeg.com](http://www.terraeg.com)

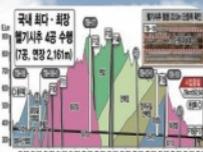
인류와 자연의 미래를 개척하는 지반컨설팅 전문기업



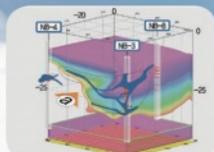
- 턴키 / 대안 경쟁설계 지반조사
- 해상 / 산악지 / 연약지반 / 특수환경 지반조사(SEP/Pontoon Barge 보유)
- 지구물리탐사 / 정밀 지표지질조사
- 각종 현장시험 및 공내검층
- 지진관측장비 시추공사 / 조사
- 다수의 해외 프로젝트 경험 보유



서울-세종고속도로 건설공사
(한국도로공사)



이천-문경 철도건설사업
(한국철도시설공단)



단양수중보 건설공사
(수자원공사)



2017년 지진관측장비 설치용
시추공사(기상청)



과테말라 항만기본계획 수립용역
(해양수산부)



포항 액상화 지역 위험도 분석
(국립재난안전연구원)



Lithium



Nickel



Palladium

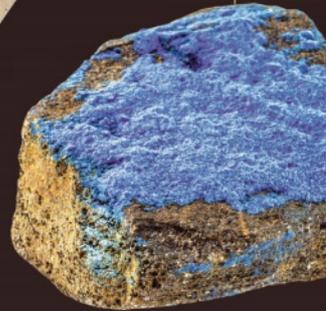


Graphite

Korea Institute of Geoscience and Mineral Resources



Cobalt



KIGAM

대한민국 과학기술 분야의 국가대표

핵심광물 생산국 KOREA, 우주자원부국 KOREA,
대한민국 과학기술 국가대표, KIGAM이 앞장섭니다.

2024 봄 학술대회 후원/협찬 기관



경북대학교

경북대학교



극지연구소

극지연구소



극지연구소 미래기술센터



한국지질자원연구원

한국지질자원연구원



오션테크(주)



공주대학교 CCUS 인력양성사업단



보민글로벌 주식회사



씨앤에치아이앤씨(주)



(주)어스이엔지



(주)에이에이티



(주)지오룩스



GeoMecca Engineering
토질 · 지질 분야의 최신기술 선도기업

(주)지오메카이엔지



(주)지오뷰



코탐(주)



(주)테라이지



(주)한세지반엔지니어링



(주)휴먼앤어스

