지반안전연구단 성과보고서

Ground Subsidence Research Organization Performance Report

2020. 3.



Ground subsidence research organization

지반안전연구단의 연구개발을 마치며...



국토교통과학기술진흥원 건설기술연구사업 지반안전연구단이 2015년 12월부터 4년 1개월간의 연구개발을 완료하고 종료하게 되었습니다.

연구 단장으로서 과거 연구단이 착수될 시점을 회상해 보면, 공사구간 및 도로에서 지반함몰 사고가 발생하여 사회적 이슈가 되었으며, 「지하안전관리에 관한 특별법」이 제정되어 시행을 앞두고 있었습니다. 특별법 시행초기에 발생될 수 있는 혼란을 줄이고 공사 현장 주변의 안전관리를 강화하고, 상하수도등 불안요소에 대한 선제적 관리에 중점을 두고 낙후된 일부 기술에 대하여 연구개발 사업이 시작 되었습니다.

사회이슈로 부각된 주제이고 국민의 관심도 높았기 때문에, 단기에 연구개발이 가능한 실용화과제 중심으로 가시적 성과를 도출하는데 집중하였으며, 타 연구개발 과제와 다르게 지반함몰 대응을 위한 정책제안도 도출하였으며, 특별법 시행령을 지원할 수 있는 기술 가이드라인도 제시하였습니다.

안전한 시공, 지반함몰 예방, 사고후 수습과 관련한 다양한 주제를 모두 다루어야 하는 연구 특성을 반영하고, 실질적으로 국민의 안전을 확보할 수 있도록 5개의 세부과제로 구성하고, 우선 순위 및 연구 연개를 고려하여 세부과제를 순차적으로 분리 공고하여 추진 하였습니다.

본 과제 연구진은 매년 1,2차례의 워크숍을 개최하여 연구내용 및 성과의 상호교류를 통해 기술개발을 촉진하였으며, 가능한 개발기술에 대한 자체 테스트 베



드를 거치도록 하여 연구 성과의 완성도를 높이도록 노력하였습니다. 그리고, 국토교통분야의 기술대전, 토론회등 에도 적극 참여하여 연구성과를 홍보하고 확산시키고자 하였습니다.

본 연구의 추진으로 R&D의 성과물이 사회문제를 해결할 수 있는 사례가 될 수 있다고 생각합니다. 학계와 연구자 중심의 연구주제 선정이 아니라 사회현안에 적극적으로 대응하므로서, 국가에 대한 신뢰도를 높일수 있는 계기가 될것으로 생각되며, 이러한 측면에서 본 연구는 큰 의미를 갖는다고 할 수 있습니다.

지난 연구기간동안 본 과제 연구진은 새로운 패러다임의 지반안전 기술을 개발하겠다는 사명감을 갖고 연구에 매진하여 국내외에서 인정받는 성과를 이룩해냈습니다. 본 과제의 연구성과가 앞으로의 국내외 기술발전의 밑거름이 되어 지속적으로 활용되기를 기대해봅니다. 연구기간 동안 국토교통부와 국토교통과학기술진흥원의 적극적인 지원에 감사드리며, 본 과제에 참여한 모든 연구진의 헌신적인 노력에 무한한 감사를 드립니다.

지반안전연구단장 **백 용**

Contents

05 연구단 소개

06 제 1 세부과제

26 제 2 세부과제

34 제 3 세부과제

46 제 4 세부과제

64 제 5 세부과제



연구단소개
Research Overview

도심시 굴착공사시 지반함몰 예방을 통한 안전한 도심지 생활환경 구축

지반함몰 예측 및 평가 기술, 해석 및 탐사기술, 굴착 및 보강기술 개발

1세부	2세부	3세부	4세부	5세부
위험성 예측 및 평가	지중 복합탐사 시스템	굴착면 차수 보강 기술	지반공동 긴급복구 기술	지반변위 최소화굴착 공법
지반함몰 위험성 예측 및 평가기술 개발, 지반함몰 예방 정책	지하공동, 매설물, 지반이완 복합탐사 기술개발	굴착면 차수용 재료 및 시공기술 개발	함몰발생 지반의 긴급복구 재료 및 시공기술 개발	변위제어형 벽체 조성 및 비개착 지하횡단공법 개발



굴착 공사에 따른 지반함몰 **예측·평가의 고도화,**
해석·탐사의 정교화, 굴착·보강기술의 효율화를 통한

지반함몰 최소화

Division 1

Development of techniques for prediction and evaluation of risks in ground subsidence

1세부
지반함몰 위험성 예측 및 평가기술 개발

RESEARCH PROJECTS OF **DIVISION 1**

- 굴착시공에 따른 지반변형 해석기법 개발을 통한 지반함몰 예측 및 대응방안 도출
  - 지중복합요소 적용 지반거동분석 의사결정체계 개발
  - 지반함몰 위험도 평가 가이드라인 및 대응방안 제시
- 모형실험을 이용한 지반함몰 발생 및 확장 매커니즘 평가 기법 개발
  - 축소모형실험 및 원심모형실험을 이용한 지반함몰 모사
  - 지하수 흐름 변화 및 지반굴착에 따른 지반의 함몰 메커니즘 규명
  - 지하수 흐름 변화 및 지반굴착에 따른 지반의 함몰 특성 평가 기술 정립
- 굴착에 의한 지하수 유출 및 지반변형 3D 모델 개발
  - 지반굴착에 의한 지하수 변동 예측모델 개발
  - 지반굴착에 의한 지반변형 예측모델 개발
  - 지반굴착에 의한 지하수-지반변형 복합모델 개발
  - 지질특성을 반영한 지하수 변동 및 지반변형 평가기술 개발
- 지하수를 고려한 지반함몰 대응 토류구조물 해석 모델 개발
  - 토류벽 벽체 변형 해석 프로토콜 개발
  - 입력인자별 개념 모델 민감도 분석
  - 지하수-지반변형 연계해석 가능 프로토콜 개발
  - 지하수-지반침하 상호작용 토류구조물 해석 프로그램 개발
- 굴착공사로 인한 지질특성별 지반함몰 위험성 평가 기술 개발
  - 지반함몰 위험성 영향인자 요소를 이용한 지반함몰 위험산정 시트(GSR) 개발
  - 현장 계측 및 분석을 통한 GSR 검증 및 보완
- 도심지 지반함몰 예방을 위한 관리방안 개발
  - 지반굴착 관련 지침 및 매뉴얼 개발
- 지질특성별 지반굴착 설계 및 시공 가이드라인 개발
  - 지질특성별 지반굴착 설계 및 시공 사례조사 및 분석
  - 지질특성별 지반굴착 가이드라인 개발
- 도심지 지반함몰 예방을 위한 정책연구
  - 도심지 지반함몰 예방을 위한 정책개선(안) 및 이행계획 수립

1세부 연구책임자

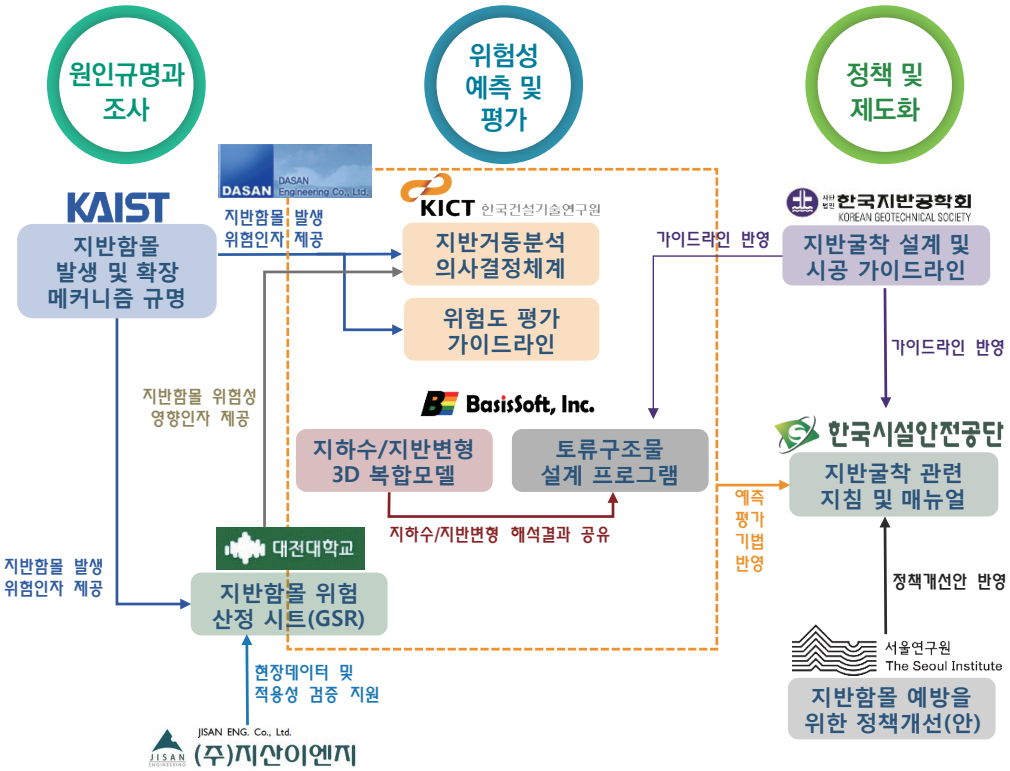


백 용
한국건설기술연구원 복합재난대응연구센터 센터장

1세부 조직도



1세부 연구내용



지중복합요소 적용 지반거동분석 의사결정체계 개발

1-A1



연구기관
한국건설기술연구원

연구책임자
백용
복합재난대응연구센터 센터장

총연구기간
2015.12.28 ~ 2020.01.31

참여연구원
백용 외 5명

RESEARCH PROJECTS OF 1-A1

연구목표

- 지중복합요소*가 고려된 지반거동분석 알고리즘을 탑재한 의사결정체계 개발

(* 지중복합요소 : 굴착유형, 공사유형, 심도, 지질구조, 보강공법 등)

연구내용 및 추진경과

1차년도
- 기존 지반거동 분석법 조사, 검토
- 설계사례, 연구논문 활용 기존 지반거동분석 조사, 검토
- 지반거동 의사결정체계의 목표성능 설정

2차년도
- 지반입도조건에 따른 지반함몰 영향도 분석
- 지반입도 분포조건에 따른 지반함몰 발생 가능성 평가도표 개발
- 지반거동분석 알고리즘(안) 도출
- 지반거동분석 알고리즘(안) 신뢰도 분석
- 수치해석을 통해 토립자 유동 가능성 검증

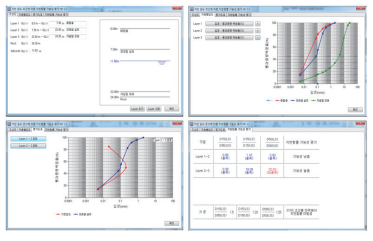
3차년도
- 국내 굴착공사 사례조사
- 수치해석을 통한 지반거동특성 분석
- 지반거동분석 의사결정체계(안) 개발
- 지반거동분석 의사결정체계(안) 신뢰도 분석

4차년도
- 지반굴착에 따른 지반함몰 발생 시나리오 개발
- 토립자 유동에 의한 지반함몰 가능성 예측모델 보강
- 수치해석을 통한 지반거동특성 분석 DB 업데이트
- 지반거동분석 의사결정체계 개선 및 S/W 개발

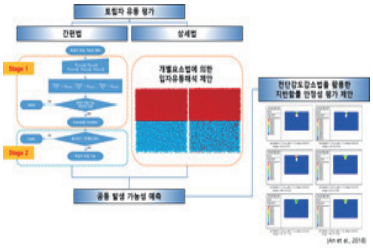
5차년도
- 인공신경망을 이용한 지반거동특성 예측 개선
- 지반거동분석 의사결정체계 검증

Development of decision making tool for ground behavior analysis

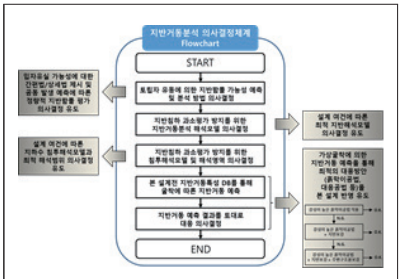
1-A1



지반입도조건에 따른
지반함몰 가능성 판단 프로그램



토립자 유동에 의한
지반함몰 가능성 예측 기법



지반함몰 예측 및 대응을 위한
의사결정체계 개념도



지중복합요소 적용
지반거동분석 의사결정체계 프로그램

기대성과 및 활용방안

- 굴착공사 시 발생되는 지반거동에 대한 예측과 더불어 설계시 간과되고 있는 지반침하 과소평가 문제에 대해 설계자의 합리적 의사결정 지원 프로그램
- 예비설계단계에서 굴착지반에 대한 지반거동특성 예측을 통해 본설계시 효과적인 지반거동 대응설계 지원
- 토립자 유동에 의한 지반함몰 예측 방법 제공

주요기술개발

- 비SCI 논문 (총 2건)
  - 지반입도조건에 따른 지반함몰 가능성 평가 및 수치해석적 검증 (2017, 지질공학)
  - 지반굴착 시 Mohr-Coulomb 모델 적합성에 관한 수치해석적 분석 (2020, 지질공학)

- 국내 및 국제 학술회의 발표 (총 8건)
  - 도심지 지반함몰 위험성 예측기술 개발을 위한 함몰사례 및 방법론 고찰 (2016, 대한지질공학회)
  - 지반함몰 방지를 위한 굴착기술 연구동향 및 Issue-Tree 분석을 통한 R&D Needs 도출(2016, 지질과학기술공동학술대회)
  - 도심지 지반함몰 방지를 위한 굴착기술개발 연구동향(2016, 대한지질공학회)
  - A Basic Study on the Prediction of Ground Subsidence by the effect of soil grain size - groundwater(2017, AOGS)
  - Review of ground subsidence risk prediction technique and the effect of soil grain size groundwater(2017, YSRM & NDRMGE)
  - 지반입도에 따른 지반함몰 가능성 평가 연구(2017, 日韓共同シンポジウム)
  - 지반함몰 가능성의 수치해석적 검증 연구(2017, 日韓共同シンポジウム)
  - 세종시 oo굴착공사 현장의 지반침하 현상에 대한 연구(2018, 대한지질공학회)

- 소프트웨어 등록 (총 3건)
  - 지반입도조건에 따른 지반함몰 가능성 평가 프로그램 ver 1.0 (2017, C-2017-011572)
  - 지반함몰 가능성 평가 및 침하량 검토 프로그램 (ver. 2.0) (2018, C-2018-005876)
  - THiNKHoLe(지반함몰 가능성 예측 및 지반거동 대응 의사결정체계) ver.1.0 (2019, C-2019-015576)

지반함몰 위험도 평가 가이드라인 및 대응방안

1-A2



연구기관
한국건설기술연구원

연구책임자
백용
복합재난대응연구센터 센터장

총연구기간
2015.12.28 ~ 2020.01.31

참여연구원
백용 외 5명

RESEARCH PROJECTS OF 1-A2

연구목표

- 지반굴착공사 위험도 평가 기법 제안
- 지반굴착공사 위험도 평가 가이드라인 제안

연구내용 및 추진경과

1차년도
- 지반굴착공사에서 고려해야할 주요 위험인자 도출
- 사고사례 분석, 전문가 설문조사 등을 통한 중요 위험요인 도출

2차년도
- 지반굴착공사 설계 및 시공단계별 위험사건 분류
- 위험사건 근거 위험경로별 Event Tree 구성
  (개착식 및 비개착식/설계 및 시공단계)

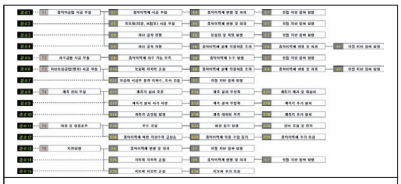
3차년도
- 지반굴착공사 위험경로별 발생확률 및 경제적 손실비용 평가
- 수정된 리커트 스케일 적용 위험경로별 4단계 위험등급 분류
  (관심, 주의, 경계, 심각)

4차년도
- 전문가 의견 수렴을 통한 주요 위험경로별 대응방안 제시
- 지반굴착공사 위험도 평가 가이드라인 제안
- 실무에서 활용 가능한 위험관리계획서 제안

5차년도
- 지반안전영향평가 수행현장 대상 위험도 평가 수행
- 정량적 및 정성적 위험발생확률 분석기법 적용 및 비교평가
  (몬테카를로 시뮬레이션, 계측분석기법)

Risk Assessment Method for Ground Excavation Construction

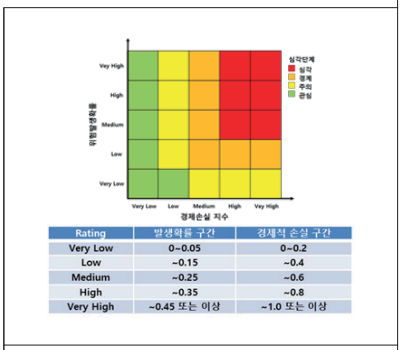
1-A2



지반굴착공사 위험시나리오 구성

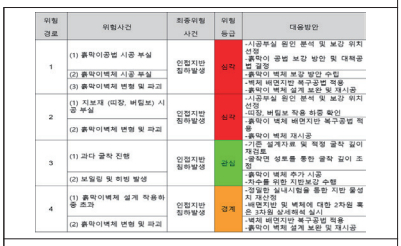


몬테카를로 시뮬레이션을 통한 위험 발생확률 도출

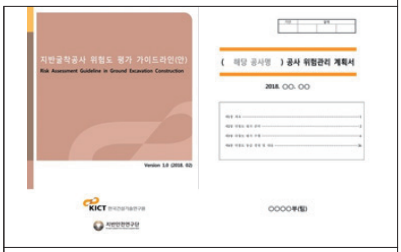


Rating	발생확률 구간	경제적 손실 구간
Very Low	0~0.05	0~0.2
Low	~0.15	~0.4
Medium	~0.25	~0.6
High	~0.35	~0.8
Very High	~0.45 또는 이상	~1.0 또는 이상

위험도 평가 매트릭스



위험등급 분류 및 대응방안 제시



지반굴착공사 위험도평가 가이드라인

기대성과 및 활용방안

- 지반굴착공사의 설계 및 시공과정에서 지반함몰을 유발하는 다양한 위험경로를 사전에 예측 및 평가
- 주요 위험경로를 등급화 하고, 위험등급별 대응방안 제시를 통해 발생 가능한 위험을 저감시켜 시공 안전성을 확보

주요기술개발

- 비SCI 논문 (총 2건)
  - 지반굴착공사 위험요소 도출 및 통계적 검정 방법을 통한 신뢰성 분석 (2017), 한국방재안전학회논문집
  - Evaluation of Cavity Exploration Technology to deal with Ground Subsidence in Urban Area(2017), Advances in Engineering Research
- 국제학술발표 (총 2건)
  - Risk Management for Grading by Risk Route in Ground-Excavation Work(2018), AEG 2018/IAEG XIII CONGRESS
  - Analysis of Occurrence Probability in Risk Event Scenario for Ground Subsidence Risk Assessment in Ground Excavation Construction(2018), 15th Annual Meeting AOGS 2018

지하수/지반변형 3D 통합해석 모델 개발

1-B1



연구기관
베이시스소프트

연구책임자
김병찬
기술연구소 연구소장

총연구기간
2015.12.28 ~ 2020.01.31

참여연구원
김병찬 외 7명

RESEARCH PROJECTS OF 1-B1

연구목표

- 지반굴착에 의한 지질특성별 지하수 변동 예측모델 개발
- 지반굴착에 의한 지반변형 예측모델 개발
- 지반굴착에 의한 지하수-지반변형 복합모델 개발
- 지질특성을 반영한 지하수 변동 및 지반변형 평가기술 개발

연구내용 및 추진경과

1차년도
- 포화/불포화 지반 3차원 지하수 유동해석 기법 개발
- 지반굴착에 따른 지하수 유출현상 해석기법 개발

2차년도
- 불포화 지반의 함수비 동적거동 해석모듈 개발
- 지반체적 변동 예측기법 개발
- 실내모형 실험결과와의 검증을 통한 모형의 검보정

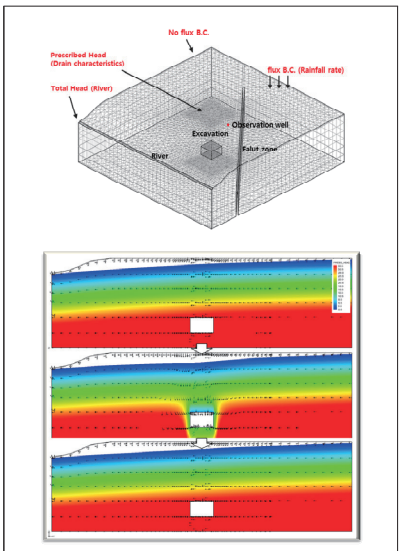
3차년도
- 지반굴착에 따른 지하수-지반변형을 연계한 융합해석 알고리즘 개발
- 장단기 지하수 변동 및 지반거동을 동시에 고려한 3차원 Coupling 복합모델 개발

4차년도
- 지질특성을 반영한 장단기 지하수 변동 평가기술 개발
- 굴착에 의한 대수층 변화에 따른 지반변형 평가기술 개발

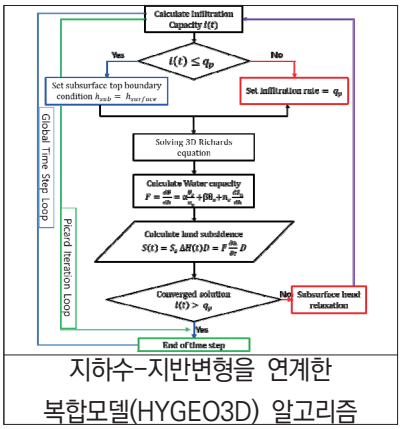
5차년도
- 지하수 변동 및 지반변형 기술 현장 적용성 평가

Development of 3D analysis model for groundwater flow and ground deformation

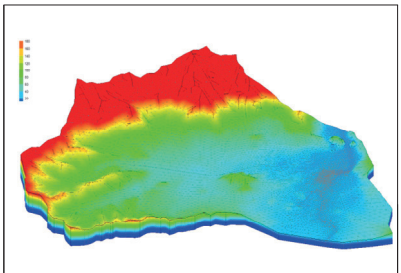
1-B1



굴착심도별/지하공동에 의한 지하수 거동 예측



지하수-지반변형을 연계한 복합모델(HYGEO3D) 알고리즘



지하수 변동 및 지반변형 기술 현장 적용성 평가

기대성과 및 활용방안

- 지하수와 지반거동을 동시에 고려하는 3차원 융합모델을 활용하여 굴착 시공시 지하수 및 지반변동의 예측 정확도를 향상시키고 설계에 효율적으로 반영 가능함
- 과제 종료후 연구개발 성과 기술이전을 통하여 지반안전평가, 방재 관련 시장에 제품을 출시하여 사업화 가능성

주요기술개발

- 비SCI 논문 (총 2건)
  - 지반굴착 시나리오 기반의 다공성 매질에 대한 3차원 유동해석모델 구축 (2017) 한국방재안전학회 논문집
  - 지반굴착에 따른 지반 안정성 평가 시 지하시설물이 지하수흐름에 미치는 영향 분석 (2018) 한국방재안전학회 논문집

- 국내 학술회의 발표 (총 6건)
  - 지하수 변동에 따른 지반침하 예측 기법 개발 (2018) 대한지질공학회 추계학술대회

- 지적재산권 (특허출원1건 / 특허등록1건)
  - 지하수위 변동에 따른 지반침하량 평가 방법 및 그 시스템 (2019.06)

- 지적재산권 (S/W 2건)
  - SEEFLOW3D ver.1 (포화-불포화 매질 3차원 지하수유동해석모형) (2017.01)
  - HYGEO3D ver.1 (다공성 매질의 3차원 지하수-지반변형 해석모형) (2018. 03)

지하수를 고려한 지반함몰 대응 토류구조물 해석모델 개발

1-B2



연구기관
베이시스소프트

연구책임자
김병찬
기술연구소 연구소장

총연구기간
2015.12.28 ~ 2020.01.31

참여연구원
김병찬 외 7명

RESEARCH PROJECTS OF 1-B2

연구목표

- 지하수 흐름에 의한 지반함몰 발생 및 확장 메커니즘 분석
- 지반굴착시 설계인자와 지반함몰과의 상관성 분석
- 지반함몰 발생 및 확장 메커니즘 규명

연구내용 및 추진경과

1차년도
- 국내·외 연구자 교류를 통한 제반 기술 습득
- 기존 해석 이론 조사

2차년도
- 기존 기술을 활용한 프로토콜 개발
- 모델 입력 인자 도출을 위한 현장자료 전처리
- 입력인자별 개념 모델 민감도 분석
- 토류구조물 공법별 부재 조사 및 부재 수치 모델 정립

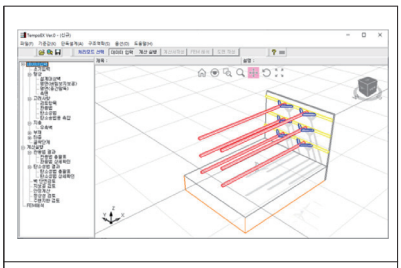
3차년도
- 지하수-지반변형 연계해석 가능 프로토콜 개발
- 지하수-지반침하 상호작용 토류구조물 예비 프로그램 개발
- 토류구조물 종류별 지하수 처리를 고려한 설계기법 제시

4차년도
- 토류 구조물 정밀 프로그램 개발
- 토류 구조물 해석 프로그램 적용 및 검증

5차년도
- 최적 설계 조건 비교 기능 추가 및 현장 적용성 평가
- 광역지하수 해석과 연계를 위한 통합플랫폼 개발

Analysis of Temporary Wall considering groundwater level fluctuation

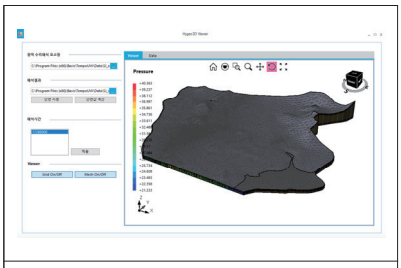
1-B2



토류벽 벽체 해석 프로그램

기대성과 및 활용방안

- 지하수 거동과 지반침하의 연계해석이 가능한 광역 3차원 지하수 해석결과를 토류벽 벽체 해석의 입력자료로 활용하여 지하수를 고려한 도심지 굴착구간 토류구조물 해석 프로그램
- 광역 3차원 지하수 해석결과를 통계적방법에 의해 리메싱하여 3차원 지반거동 해석 프로그램과 연계기능 제공
- 벽체별 결과 비교검토 기능을 통해 현장에 적합한 벽체 및 보강 공법 선정



광역지하수 해석결과
연동 인터페이스

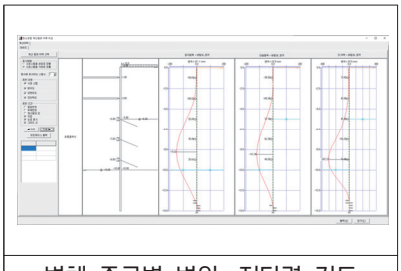
주요기술개발

- 비SCI 논문 (총 3건)
  - 소규모 지하공동 3차원 형상특성을 반영한 수치해석에 관한 연구 : (2018). Journal of Korean Tunneling and Underground Space Association

- 특허등록 (총 1건)
  - 광역지하수 거동해석결과를 활용한 토류벽 벽체 및 지반변형 해석의 연계를 위한 수치해석 기법

- 기술이전 및 기술실시 (총 1건)
  - 광역지하수 거동 해석 결과를 활용한 토류벽 벽체 및 지반변형 해석의 연계를 위한 수치해석 기법 (2020. 1).
    기술이전기업: ㈜라임랩

- 소프트웨어 등록 (총 3건)
  - 토류벽 벽체 해석프로그램 (TempoEx) (2019. 09)



벽체 종류별 변위, 전단력 검토

지반함몰 위험성 평가를 위한 지반함몰 위험산정 시트(GSR) 개발

1-C



연구기관
대전대학교

연구책임자
임명혁
대전대학교
건설안전방재공학과 교수

총연구기간
2015.12.28 ~ 2019.01.31

참여연구원
임명혁 외 6명

RESEARCH PROJECTS OF 1-C

연구목표

- 굴착공사로 인한 설계 및 시공 단계의 지반함몰 영향인자 도출, 정량화 및 등급화
- 굴착에 따른 지반위험 예측 시트(GSR) 개발
- 지반함몰 위험성을 현장 실무자가 평가할 수 있는 GSR 시트와 현장적용 보완을 통한 GSRp 및 GSRe 시트 개발

연구내용 및 추진경과

1차년도

- 개착식 굴착공사로 인한 지반함몰 위험성 요인 분석
- 지반함몰 발생 위험성 평가가 가능한 영향인자 및 실내 및 현장시험 종류 도출

2차년도

- 지반함몰 발생 영향인자의 지질특성별 현장조건별 제시
- 지반함몰 영향인자의 지반조건별 가중치 도출
- 지반함몰 위험성 산정을 위한 평가 흐름도 제시

3차년도

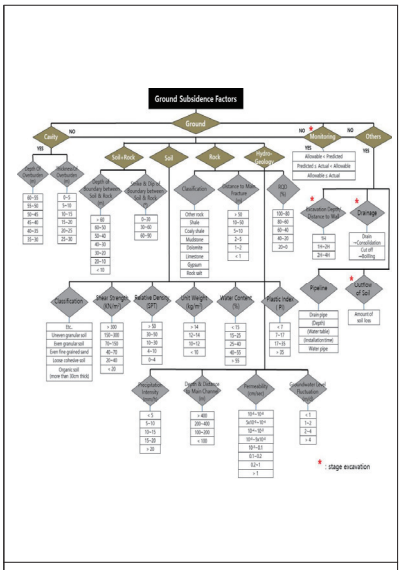
- 지반함몰 영향인자 분류 및 가중치 부여
- 지반함몰 영향인자별 정량화 및 등급화
- 지반함몰 위험산정(GSR) 시트 개발
- 현장 실무자가 평가가 가능한 GSR 시트 제시

4차년도

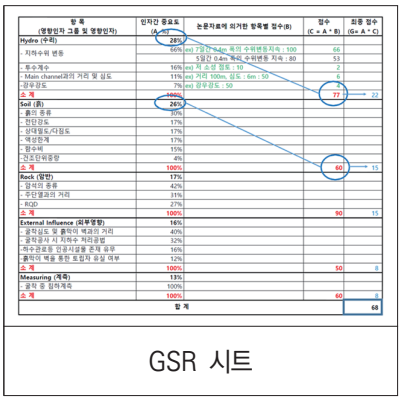
- GSR 시트 현장 적용 검토 및 보완
  - 설계 단계에서 적용 가능한 GSRp 시트 제시
  - 시공 단계에서 적용 가능한 GSRe 시트 제시

Ground Subsidence Risk Ratings for Pre-excavation and post-Excavation(GSRp and GSRe)

1-C



지반함몰 위험성 인자/평가 흐름도



GSR 시트



	GSR 점수 구간에 따른 위험도	등급
1	80~100	매우 안정
2	60~80	안정
3	40~60	보통
4	20~40	위험
5	0~20	매우 위험

GSR 최종 등급 점수

기대성과 및 활용방안

- 지반굴착으로 인한 설계 및 시공단계에서 발생 가능한 지반함몰 위험성의 사전 예측 및 평가 제시를 통해 공사 중 발생할 수 있는 리스크를 저감시켜 시공 안전성을 확보
- 개착식 지반굴착 현장뿐만 아니라 터널 및 비탈면 굴착으로 인한 지반위험 예측 및 평가 현장에 적용 가능
- 개발된 GSR 시트 관련 모바일 프로그램을 통한 기술 발전 가능
- GSR 시트의 설계 및 시공단계에서의 리스크 관리 가이드라인을 관련 지하안전특별법에 반영 가능
- 구축된 GSRp 및 GSRe 시트의 민간 설계 및 시공 현장에 기술이전 수행

주요기술개발

- 비SCI 논문 (총 7건)
  - 굴착 전 지반함몰 위험 예측을 위한 위험등급 분류
    The Journal of Engineering Geology
    pISSN : 1226-5268 eISSN : 2287-7169
    Vol. 28, No. 4, December, 2018, pp. 553-563

- 특허 출원 (총 1건)
  - 지반조건에 따른 굴착지반 위험 분류 방법
    10-2019-0005692, 2019. 1. 16.

- 기술이전 및 기술실시 (총 1건)
  - (2020. 1). GSR 시트의 굴착지반 현장 적용 기술

기술이전기업: ㈜재난안전기술

지반굴착 관련 지침 및 매뉴얼 개발

1-D



연구기관
한국시설안전공단

연구책임자
신창건
한국시설안전공단
안전진단본부 부장

총연구기간
2015.12.28 ~ 2019.01.31

참여연구원
신창건 외 12명

RESEARCH PROJECTS OF 1-D

연구목표

- 지반굴착 관련 지침(안) 마련
- 지반굴착 관련 매뉴얼(안) 마련

연구내용 및 추진경과

1차년도
- 지반침하 사례 및 원인 분석
- 선행연구자료 분석보고서 발간

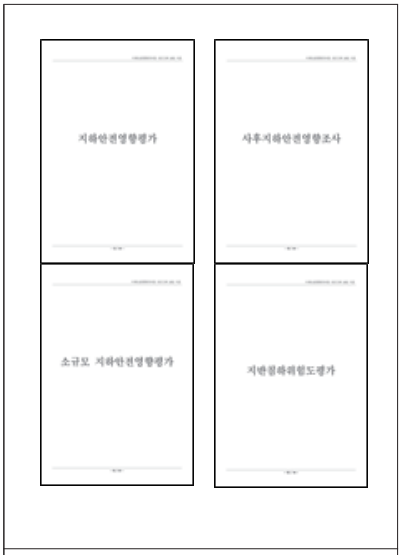
2차년도
- 지하안전영향평가, 소규모지하안전영향평가, 사후지하안전 영향조사, 지반침하위험도평가 지침 마련
- 2017.11.24, 국토교통부 고시

3차년도
- 지하안전영향평가, 소규모지하안전영향평가, 사후지하안전 영향조사, 지반침하위험도평가 매뉴얼 마련
- 2018.3.31, 한국시설안전공단 홈페이지 및 JIS(지하안전정보시스템) 등록

4차년도
- 지하안전영향평가, 소규모지하안전영향평가, 사후지하안전 영향조사, 지반침하위험도평가 지침 및 매뉴얼 보완
- JIS 사용자 매뉴얼 추가

A Study of Policy and its Applicability for Prevention of Ground Subsidence in Urban Area

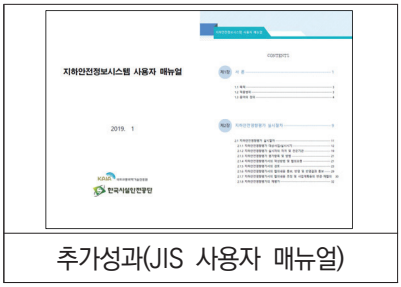
1-D



지하안전영향평가등 업무지침



지하안전영향평가등 매뉴얼



추가성과(JIS 사용자 매뉴얼)

기대성과 및 활용방안

- 업무지침 및 매뉴얼 개발을 통한 지하안전관리에 관한 특별법 조기 정착
- 지하안전영향평가 전문기관 교육자료로 활용을 통한 지하안전 전문가 양성
- 지하안전관리의 다양성을 수렴한 체계적인 관리시스템 운영으로 국가 지하안전관리 초석 기틀 마련
- 지하안전관리에 관한 특별법 제2조7호, 동법 제2조8호에 따른 지하개발사업자, 지하시설물관리자, 지하안전전문기관 종사자 등에게 업무절차를 알기 쉽게 제공함

주요기술개발

- 관보 고시
  - 국토교통부 고시 2017-588호(2017. 11. 24) : 지하안전관리 업무지침)

- 비SCI 논문 (총 5건)
  - 지반침하(함몰) 예방을 위한 지하안전관리에 관한 특별법 연구 등

- 홈페이지/시스템 등록을 통한 활용성 제고
  - 2018.3.31, 한국시설안전공단 홈페이지에 등록
  - 2018.6.30, JIS(지하안전관리 시스템)에 등록

- 추가성과
  - JIS 사용자 매뉴얼 개발

모형실험을 이용한 지반함몰 발생 및 확장 매커니즘 평가 기법 개발

1-E



연구기관
한국과학기술원

연구책임자
김동수
KAIST
건설 및 환경공학과 교수

총연구기간
2015.12.28 ~ 2019.01.31

참여연구원
김동수 외 12명

RESEARCH PROJECTS OF 1-E

연구목표

- 지하수 흐름에 의한 지반함몰 발생 및 확장 메커니즘 분석
- 지반굴착시 설계인자와 지반함몰과의 상관성 분석
- 지반함몰 발생 및 확장 메커니즘 규명

연구내용 및 추진경과

1차년도

- 국내외 지반함몰 사례조사 및 유형분류 DB 구축
- 유형별 지반함몰 원인 분석 보고서 작성

2차년도

- 지하수 흐름에 의한 지반함몰 평가 축소모형실험 수행
- 모형실험을 이용한 지하수로 인한 지반함몰 메커니즘 평가
  - 수직, 수평, 경사 등 지하수 흐름 차이에 따른 지반함몰 거동의 정량적 평가 및 분석

3차년도

- 지반굴착에 의한 지반함몰 평가 축소모형실험 수행
- 모형실험을 이용한 지반굴착 의한 지반함몰 메커니즘 평가
  - 지하공동 생성 및 확장 메커니즘 평가 및 지반굴착시 누수 현상 모사를 통한 지반함몰 확장 거동 평가

4차년도

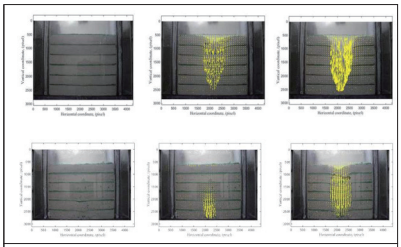
- 지반함몰 발생 및 확장 메커니즘 규명
- 회계분석을 통한 다양한 원인 인자별 지반함몰 발생 영향도 평가

Development of methods for assessment of ground subsidence mechanism using model test

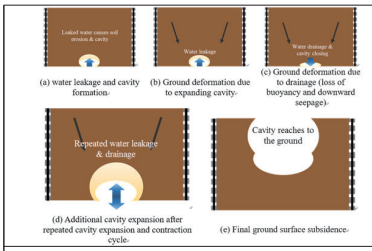
1-E



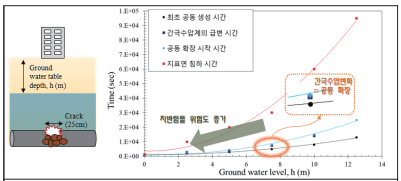
원심모형시험기 (KAIST)



다양한 영향인자별 지반함몰 거동 평가 모형 실험



지하공동 확장 및 함몰 발생 메커니즘 평가



영향인자에 따른 지반함몰 발생 및 공동 확장 시간

기대성과 및 활용방안

- 지반함몰 발생 및 확장 메커니즘을 이해함으로써 지반함몰 발생 및 피해 저감을 위한 지하 공간 설계법의 패러다임 전환 및 지반 안정성 평가 기술의 현장 적용성 증대
- 원심모형실험을 이용하여 현장 구속응력 재현을 통한 지반의 비선형성 거동이 반영된 해석을 수행함으로써 신뢰성 있는 지반함몰 메커니즘 평가 수행
- 다양한 환경 요인을 고려한 지반함몰 거동평가를 통하여 지반 안전성 평가를 위한 이론적 기틀을 확립하고 지하안전영향평가의 기준 수립에 대한 기술적 데이터 베이스 제공

주요기술개발

- SCI 논문 (총 2건)
  - Experimental Study of Ground Subsidence Mechanism Caused by Sewer Pipe Cracks (2018). Applied Sciences

- 비SCI 논문 (총 2건)
  - 다양한 조건에 따른 지반함몰과 지중공동 확장에 대한 실험적 연구 (2017). 대한지질공학회 논문집

- 국내 및 국제 학술회의 발표 (총 7건)
  - Experimental estimation of the mechanism of the ground subsidence by various groundwater flow (2017). 30th KKHTCNN symposium

- 지적재산권 (특허 1건)
  - 개착식 굴착으로 인한 지반함몰 메커니즘 평가를 위한 모형 실험 시스템 (2018. 10)

도심지 지반함몰 예방을 위한 정책연구

1-F



연구기관
서울연구원

연구책임자
이석민
안전환경연구실
연구위원

총연구기간
2015.12.28 ~ 2017.06.27

참여연구원
이석민 외 4명

RESEARCH PROJECTS OF 1-F

연구목표

- 도심지에서의 지반함몰 예방정책 사례검토 및 시사점 분석
- 지반함몰 예방을 위한 정책개선 및 이행계획 수립

연구내용 및 추진경과

1차년도

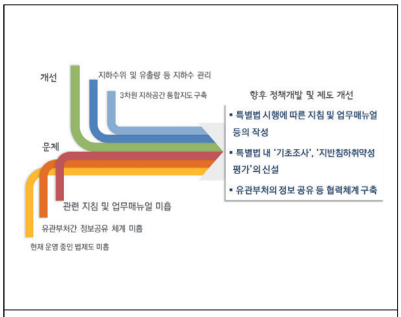
- 도심지에서의 지반함몰 유형 특성 분석
- 지반함몰 예방을 위한 중앙부처 및 지자체 예방사업 분석
- 국외의 지반함몰 예방정책 사례검토 및 시사점 도출
- 도심지 특성을 반영한 비구조적 지반재해 예방대책을 정립

2차년도

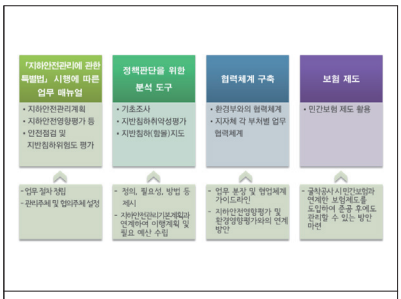
- 지반함몰 예방을 위한 정책개선 및 이행계획 수립
- 도심지 특성을 고려한 법제도 개선안 도출

A Study of Policy for Prevention of Ground Subsidence in Urban Area

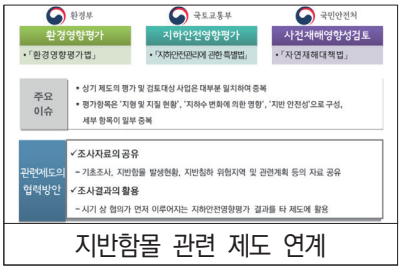
1-F



향후 정책개발 및 제도개선



지반함몰 정책 개선(안)



지반함몰 관련 제도 연계

기대성과 및 활용방안

- 지반함몰 정책의 현황을 분석하고 시사점을 도출하였으며, 현존하는 구조적, 기술적 중심의 정책을 기반으로 이를 아우를 수 있는 비구조적 정책을 수립
- 지반함몰 예방정책의 실효성을 높이고, 실행력을 확보하여 예방정책을 강화
- 향후 지하공간 개발시 지반재해를 고려한 정책의 기초자료로 활용

주요기술개발

- 비SCI 논문 (총 1건)
  - 도심지 지반함몰에 관한 예방정책 개선안 연구(2016), 서울도시연구논문집
- 정책제안 (총 4건)
  - 지반함몰 업무프로세스 개선
  - 지반함몰 유관기관 협력체계 구축
  - 「지하안전관리에 관한 특별법」개선
  - 지반함몰 예방정책 강화

지질특성별 지반굴착 설계 및 시공 가이드라인 개발

1-G



연구기관
한국지반공학회

연구책임자
한유식
한국지반공학회
지반공학연구소 연구실장

총연구기간
2015.12.28 ~ 2019.01.31

참여연구원
한유식 외 3명

RESEARCH PROJECTS OF 1-G

연구목표

- 지반굴착 붕괴사례 조사 및 DB
- 개착식 지반굴착 가이드라인 개발
- 비개착식 지반굴착 가이드라인 개발

연구내용 및 추진경과

1차년도
- 국내외 지반굴착 붕괴사례 조사 및 DB 구축

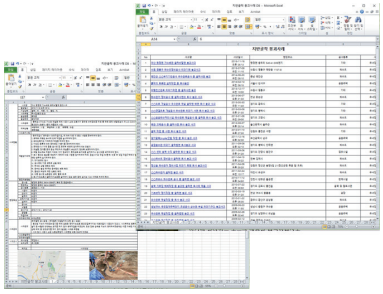
2차년도
- 국내외 개착식 지반굴착 설계기준 분석
- 개착식 지반굴착 설계 및 시공 사례 분석

3차년도
- 국내외 비개착식 지반굴착 설계 기준 분석
- 비개착식 지반굴착 설계 및 시공 사례 분석

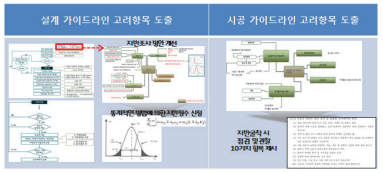
4차년도
- 개착식 지반굴착 설계 및 시공 가이드라인 개발
- 비개착식 지반굴착 설계 및 시공 가이드라인 개발

Ground Excavation Design and Construction Guidelines Classified by Ground Properties

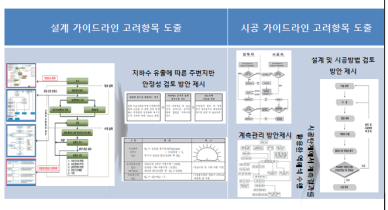
1-G



지반 붕괴사례 DB



개착식 지반굴착 설계 및 시공 순서



비개착식 지반굴착 설계 및 시공 순서

기대성과 및 활용방안

- 설계 및 시공단계에서 발생 가능한 리스크의 사전 예측 및 평가, 대책공법 제시를 통해 공사 중 발생할 수 있는 리스크를 저감시켜 시공 안전성을 확보
- 지반굴착 설계 및 시공단계에서의 가이드라인을 관련 국가 규준에 반영 가능

주요기술개발

- 비SCI 논문 (총 2건)
  - 선제적 지하안전관리체계 마련을 위한 지하안전관리에 관한 특별법의 발전방향 제시 (2018). 한국지반공학회논문집 등
- 학술발표 (총 4건)
  - 지반굴착에 따른 주변지반의 붕괴사례 연구 (2016). 한국지반공학회 봄학대회 등
- 가이드라인 (총 2건)
  - 개착식 지반굴착 설계 및 시공 가이드라인(2019. 1)
  - 비개착식 지반굴착 설계 및 시공 가이드라인(2019. 1)

Division2

Development of combined interpretation system for exploring of soil relaxation area (depth 10m or more) in urban ground excavation

2세부
굴착시 지반이완영역 탐사(심도 10m 이상)를 위한 복합탐사 해석 시스템 개발

RESEARCH PROJECTS OF **DIVISION 2**

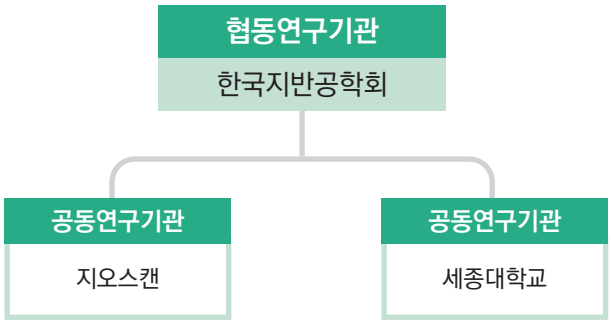
- 복합탐사결과와 지반물성간의 융·복합해석 기술 개발
  - 복합 물리탐사자료와 지반현상 및 지반물성 융합해석 기법 개발
  - GPR 주파수별 안테나 특성평가 기술 개발
  - 실시간 자동화 계측결과와 탐사자료간의 상호연관성 분석
- 탐사 심도와 해상도를 향상시키기 위한 복합탐사 해석 알고리즘 개발
  - 기존 개발 모델링 알고리듬 개선
  - 개별 탐사 탐사한계 분석
  - 탐사자료간 상호연관성 분석
  - 복합해석 전략개발/모니터링 가능성분석
- 탐사심도 20m가 확보된 복합탐사시스템 기술 개발
  - 복합탐사 및 고성능 측정장비 해석기술 개발
  - 실규모 굴착현장 테스트 및 계측 결과분석 기술 개발
  - 복합탐사 시스템 구축, 제작 및 현장실증

2세부 연구책임자

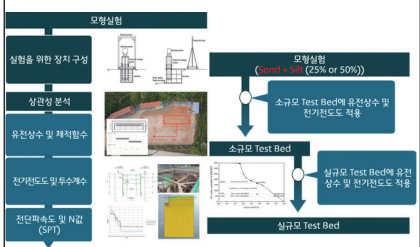
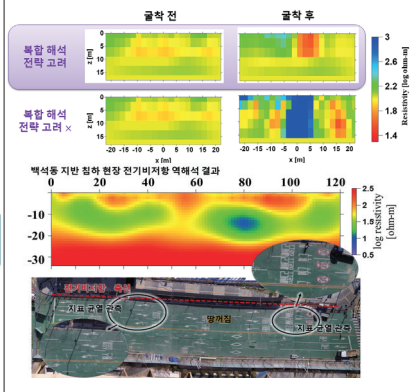
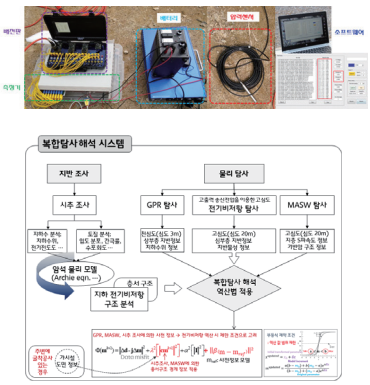


한유식
한국지반공학회 지반공학연구소 연구실장

2세부 조직도



2세부 연구내용

제1요소기술	제2요소기술	제3요소기술
복합탐사결과와 지반물성간의 융·복합해석 기술 개발	탐사 심도와 해상도를 향상시키기 위한 복합탐사 해석 알고리즘 개발	탐사심도 20m가 확보된 복합탐사 해석 시스템 개발
• 토질특성에 따른 전기적 특성 변화 • 지반특성에 따른 GPR 탐사 반응 • 현장계측 결과와 GPR 탐사자료의 연관성	• 개별 탐사법 민감도 • 복합 해석 전략 기술 제안 • 현장 적용을 통한 모니터링 가능성	• 소규모 T/B 및 개별탐사 기법 • 복합탐사 해석 시스템 설계 • 복합탐사 해석 소프트웨어 및 고출력 전기비저항 측정 장비 개발 • 복합탐사 해석 시스템 검증
		

복합탐사결과와 지반물성간의 융·복합 해석 기술 개발

2-A



연구기관
한국지반공학회

연구책임자
한유식
한국지반공학회
지반공학연구소 연구실장

총연구기간
2015.12.28 ~ 2020.01.31

참여연구원
한유식 외 3명

RESEARCH PROJECTS OF 2-A

연구목표

- 복합 물리탐사자료와 지반현상 및 지반물성 융합해석 기법 개발
- GPR 주파수별 안테나 특성평가 기술 개발
- 실시간 자동화 계측결과와 탐사자료간의 상호연관성 분석

연구내용 및 추진경과

1차년도
- 토질특성/개별탐사 상관관계분석을 통한 지반함몰 요소분석
- 토질특성별 전기적 특성 실험 및 GPR 탐사를 위한 모형토조 구축

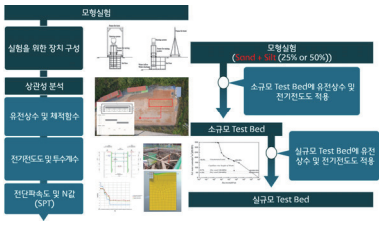
2차년도
- 소규모 Test Bed 구축(경기도 가평)
- 모래에 대한 전기적 특성실험
- 모형토조에서 GPR 반응 분석

3차년도
- 실규모 Test Bed 구축(개착식 굴착현장_경기도 이천)
- 실트에 대한 전기적 특성실험
- 소규모 Test Bed에서 GPR 주파수별 안테나 특성 분석

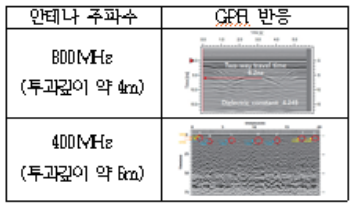
4차년도
- 혼합토(모래+실트)에 대한 전기적 특성실험
- 계측시스템과 탐사자료와의 연관성 분석
  - 지하수 계측결과와 GPR 탐사결과의 비교 분석

5차년도
- 토질특성별 전기적 특성 변화 분석
  - 모래, 실트, 혼합토(모래+실트)의 전기적 특성 변화 DB화
- GPR 탐사의 한계성 분석

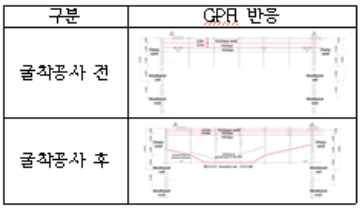
Technical Development on the Complex Analysis of Geotechnical Parameters and Complex Detect 2-A



토질특성에 따른 전기적 특성 변화 실험을 위한 전략



GPR 주파수별 안테나 특성



지하수 계측과 GPR 탐사의 연관성

기대성과 및 활용방안

- 물리탐사의 수치해석 접근시 지반특성에 따른 입력자료로 활용 가능하며 현장에서 물리탐사 전 신뢰성 높은 탐사계획 결과 도출 가능
- 천층부 지반상태 파악 지하매설물 탐사를 위한 적합한 GPR 주파수 안테나 선정 가능

주요기술개발

- 비SCI 논문 (총 5건)
  - 굴착의 안정성에 미치는 영향인자 분석을 위한 전자기적 유전상수와 체적함수비와의 상관관계 분석기법 연구(2016), 한국지구물리·물리탐사 학회 논문집 등

- 학술발표 (총 13건)
  - 지하공동 탐사를 위한 GPR 장비의 기술수준 고찰(2015), 2015 대한토목학회 정기학술대회 등

- 특허등록 (총 1건)
  - 상대밀도 조정 모형 실험 시스템 및 그 방법 (2017. 08). 특허청

탐사심도 20m가 확보된 복합탐사시스템 기술 개발

2-B



연구기관
주식회사 지오스캔

연구책임자
기정석
주식회사 지오스캔
대표이사

총연구기간
2015.12.28 ~ 2020.01.31

참여연구원
기정석 외 20명

RESEARCH PROJECTS OF 2-B

연구목표

- 복합탐사 및 고성능 측정장비 해석기술 개발
- 실규모 굴착현장 테스트 및 계측 결과분석 기술 개발
- 복합탐사 시스템 구축, 제작 및 현장실증

연구내용 및 추진경과

1차년도
- 개별 물리탐사 기법의 특성 및 개선된 탐사해석 기법 연구
- 소규모 Test Bed 구축(충청북도 음성)

2차년도
- 개별 물리탐사(GPR, MASW, 전기비저항탐사) 현장자료 획득 및 자료처리 기법 연구
- 복합탐사 해석 소프트웨어 설계 및 개발
- 전기비저항-지하수위 동시측정 장비 개발
- 시추조사를 통한 현장시험 및 지반물성특성 분석

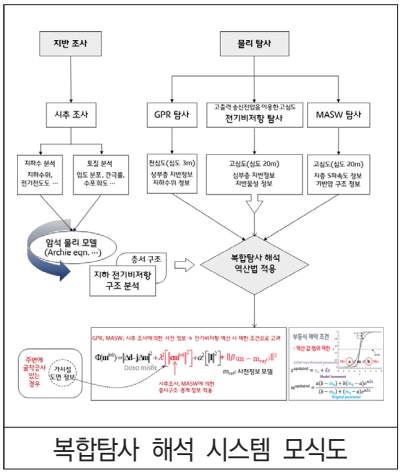
3차년도
- 복합탐사 해석 시스템 구축 및 개선
  - 소규모, 중규모, 실규모 T/B를 활용하여 복합해석 기술 개선
- 전기비저항-지하수위 동시측정 장비 개선

4차년도
- 복합탐사 해석 소프트웨어 검증
  - 실규모 TB 현장자료를 통한 실무적 유용성 검토
- 전기비저항-지하수위 동시측정 장비 검증
  - 실규모 TB 현장에서 실증을 통한 장비의 적용성 검증

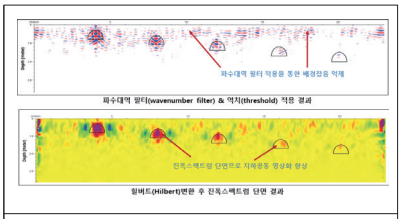
5차년도
- 복합탐사 해석 시스템 적용성 검증
  - 지반침하 현장자료를 통한 실무적 유용성 검토
- 복합탐사 해석 매뉴얼 작성

Development of Complex Detecting System Capable of Measuring 20m Depth

2-B



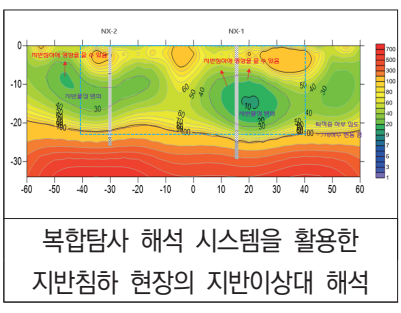
복합탐사 해석 시스템 모식도



자료처리 최적화를 위한
워크플로우 연구



고출력 전기비저항-지하수위
동시측정 장비



복합탐사 해석 시스템을 활용한
지반침하 현장의 지반이상대 해석

기대성과 및 활용방안

- 복합탐사 해석 시스템을 통해 지하굴착 현장에서 굴착영역과 흙막이 가시설 재료에 의한 전기적 노이즈를 최소화하고 굴착구간 주변의 토질물성 변화 신호를 극대화함으로써 굴착에 의한 이상대 및 지반이완영역 해석의 신뢰도를 높임
- 단일 물리탐사는 가탐심도와 해상도의 한계성이 있으므로 개발기술을 통해 지하굴착시 10m 내외에서 지반침하에 영향을 미칠 수 있는 지반이상대 해석에 적용
- 고출력 송신이 가능한 전기비저항-지하수위 동시측정장비 개발로 고심도 굴착현장 자료 측정 및 해석 기술 이전 수행

주요기술개발

- 비SCI 논문 (총 3건)
  - 진폭보전 탄성파 자료처리 적용 사례 기술 보고 (2017). 한국자원공학회논문집

- 국내 학술회의 발표 (총 7건)
  - 도로함몰 예방을 위한 물리탐사 기법 연구 (2017. 4). 2017 춘계과학기술공동학술대회

- 특허 출원 및 등록 (총 2건)
  - 지반상태 탐지 시스템 및 탐지 방법 (출원일 2016. 7, 등록일 2018. 6)

- 소프트웨어 등록 (총 2건)
  - 복합탐사해석프로그램 (Geophysical Combined Analysis)(2017. 7)

- 시제품 제작 (총 2건)
  - 전기비저항-지하수위 동시 측정장비 (2017. 6)

- 기술이전 (총 1건)
  - 전기비저항-지하수위 동시 측정 및 해석 굴착현장 적용 기술 (2019. 11), 기술이전기업: ㈜골든엔지니어링

탐사 심도와 해상도를 향상시키기 위한 복합탐사 해석 알고리즘 개발

2-C



연구기관
세종대학교

연구책임자
남명진
세종대학교
에너지자원공학과 부교수

총연구기간
2015.12.28 ~ 2020.01.31

참여연구원
남명진 외 15명

RESEARCH PROJECTS OF 2-C

연구목표

- 개별 탐사법 민감도 분석
- 복합 해석 전략 기술 제안
- TB 및 현장 적용을 통한 모니터링 가능성 분석

연구내용 및 추진경과

2차년도

- 지하공동/매설물 분포에 따른 GPR,표면파,전기비저항 모델링
- 지반환경/물성에 따른 각 탐사 방법 별 민감도 분석
- 개별 탐사 기법 탐사 한계 분석
- Test bed 현장 탐사 모델링

3차년도

- 지반환경/물성을 고려한 GPR, 표면파, 전기비저항 자료 해석 전략
- 복합 탐사 자료간 상호 연관성 및 민감도 분석
- 모델링 자료 대비 탐사 자료 한계 분석

4차년도

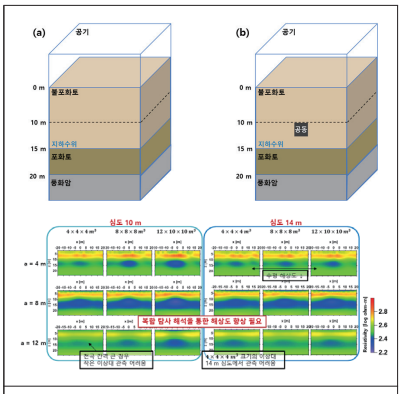
- 복합탐사 자료 복합해석 가능성 및 적용성 분석
- 복합해석 전략 개발
- 모니터링을 위한 GPR, 표면파, 전기비저항 반복성 영향 분석

5차년도

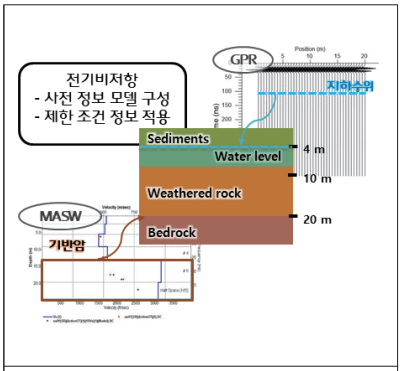
- 탐사 방법 별 모니터링 가능성 분석
- Test bed 모니터링 자료 분석

Development of resistivity inversion algorithm to enhance the exploration depth and resolution

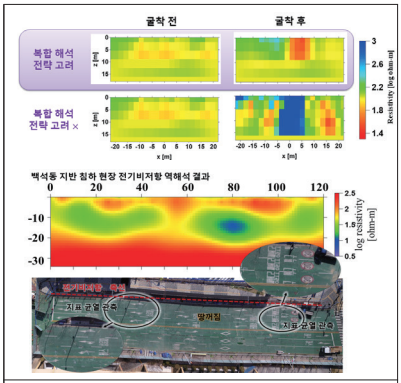
2-C



개별 물리탐사 방법 별
이완 영역 민감도 분석



복합탐사 자료 복합 해석 전략



굴착 현장 복합 물리탐사 자료 복합
해석을 통한 지반 이완 영역 해석

기대성과 및 활용방안

- 굴착 시 지반 이완 영역 탐사 시 개별 물리탐사 자료 해석 및 복합 해석 전략을 통해 지반 이완 영역 해석
- 복합 해석 전략 기법을 적용한 물리탐사 자료 해석을 통한 심도 약 20 m 까지의 지반 이완 영역 해석

주요기술개발

- 학술논문(SCI 포함) (총 7건)
  - 천부(약 10m) 연약 지반 탐지를 위한 전기비저항 역산 해상도 향상 전략 (2018), 대한지질공학회 논문집 등

- 학술발표 (총 30건)
  - A study on increasing resolution of inversion of resistivity data by considering underground structures interpreted from other geophysical data(2018), AGU Fall Meeting 2018 등

- 인력양성 (총 5명)
  - 석사 졸업생 5명 배출

Division3 Development of Waterproofing and Reinforcement Method for Urban Ground Excavation

3세부
지반 굴착시 차수성능 향상을 위한 보강기술 개발

RESEARCH PROJECTS OF **DIVISION 3**

- 구조적 성능 보강과 타설 시간을 고려한 차수용 박층 멤브레인 1성분 재료 개발
- 타설 시 분진을 최소화하는 차수용 박층 멤브레인 2성분 재료 개발
- 1성분 및 2성분용 차수용 박층 멤브레인 타설 장비 개발
- 차수용 박층 멤브레인 성능평가 기술 개발
- 지하구조물 및 가시설에 대한 방수 설계패턴(안) 제시
- 차수용 박층 멤브레인 설계/시공 매뉴얼 개발
- 지하구조물 및 가시설에 대한 현장적용 및 성능평가

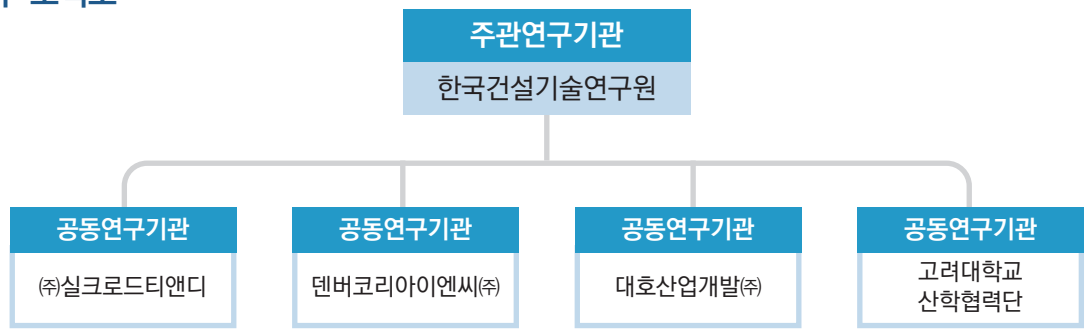
- 다중 동시주입용 펌프 시작품 개발
- 다중 동시주입에 의한 시공관리 모니터링 프로그램 개발
- 다중 동시주입에 의한 지반개량 영향범위 산정식 제안
- 다중 동시주입 공법 설계(안) 개발
- 다중 동시주입공법의 시방기준 및 유지관리 지침 개발
- 다중 동시주입용 무시멘트 고화제 재료 시작품 개발
- 무시멘트 고화제 현장 시험시공 및 상용화

3세부 연구책임자



장수호
한국건설기술연구원 건설산업진흥본부 선임연구위원

3세부 조직도



3세부 연구내용

제1요소기술	제2요소기술
차수용 박층 멤브레인 재료 및 시공기술	무시멘트 고화제와 다중 동시주입 펌프를 활용한 차수 보강 기술
• 차수용 박층 멤브레인 1성분 및 2성분 재료 • 차수용 박층 멤브레인 타설 장비 • 지하구조물에 대한 방수 설계패턴(안) • 차수용 박층 멤브레인 설계/시공 매뉴얼 • 지하구조물 및 가시설에 대한 현장적용 및 성능평가	• 다중 동시주입용 펌프 시작품 • 다중 동시주입에 의한 시공관리 모니터링 프로그램 • 다중 동시주입에 의한 지반개량 영향범위 산정식 • 다중 동시주입용 무시멘트 고화제 재료 • 무시멘트 고화제 현장 시험시공 및 상용화
	

차수용 박층 멤브레인 공법 개발

3-A



연구기관
한국건설기술연구원

연구책임자
장수호
건설산업진흥본부
선임연구위원

총연구기간
2015.12.28 ~ 2020.01.31

참여연구원
장수호 외 5명

RESEARCH PROJECTS OF 3-A

연구목표

- 차수용 박층 멤브레인의 방수 설계패턴/공법 개발
- 차수용 박층 멤브레인의 성능 평가 방안 제시
- 차수용 박층 멤브레인의 경제성, 시공성, 적용성 분석
- 차수용 박층 멤브레인의 현장 시험 시공

연구내용 및 추진경과

1차년도
- 차수용 박층 멤브레인 재료의 제반 성능평가 실험
- 차수용 박층 멤브레인의 지하구조물 방수 설계방안 연구
- 해외 광산 현장 2성분 시작품 적용 및 결과 분석

2차년도
- 차수용 박층 멤브레인 2차 배합 시제품의 성능 평가
- 차수용 박층 멤브레인 방수 설계패턴(안) 제시

3차년도
- 실물실험 등에 의한 차수용 박층 멤브레인 구조적 보강 검증
- 지하구조물 방수 설계패턴 검증 및 완성
- 지하구조물에 대한 현장 적용 및 결과 분석

4차년도
- 차수용 박층 멤브레인 시험시공 및 검증
- 차수용 박층 멤브레인의 설계 적용을 위한 해석적 방법 도출
- 지하 가시설물에 대한 현장 적용 및 결과 분석

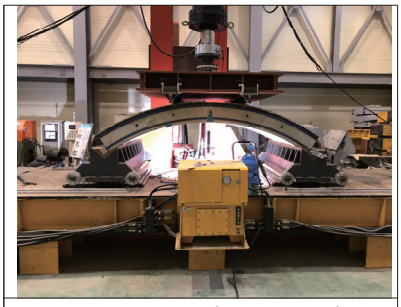
5차년도
- 차수용 박층 멤브레인 경제성 분석
- 차수용 박층 멤브레인 시공성, 안정성 및 적용성 분석
- 차수용 박층 멤브레인의 설계/시공 매뉴얼 작성

Development of Waterproofing Method for Urban Ground Excavation

3-A



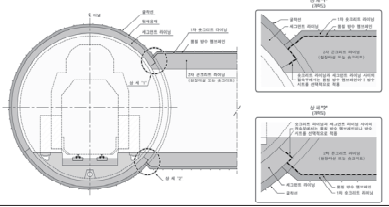
현장 적용 및 시공성 평가



재료 물성 평가(실대형 실험)

특성	성능기준		2성분 완성품	1성분 완성품
	출처	최소 성능기준		
부착강도	ITAtech(2013) EFNARC(2009)	0.5 MPa (재령 28일) 1.0 MPa (재령 28일)	평균 2.67 MPa	평균 3.71 MPa
인장강도	EFNARC(2009)	2 MPa (재령 7일)	평균 2.98 MPa	평균 6.07 MPa
파괴 시 신장율	EFNARC(2009)	> 10% (재령 7일)	평균 323.04%	평균 100%
수밀성	ITAtech(2013)	Zero penetration (28일@5 bar)	Zero penetration (28일@5 bar)	
난연성	ITAtech(2013)	Class E (EN ISO 11925-2)	Class E	
크랙브리징	ITAtech(2013) EFNARC(2009)	> 2.5 mm > 1.0 mm	9.1 ~24.4 mm > 2.5 mm	
화학적 저항성	EFNARC(2009) (EN 14414)	No visual sign of degradation Loss in mass < 5%	중량손실 없음	
리징 저항성	EFNARC(2009) (EN 14415)	No visual sign of degradation Loss in mass < 5%	중량손실 없음	

국제 성능기준에 따른 성능평가



지하구조물에 대한 설계 패턴 개발

기대성과 및 활용방안

- 차수용 박층 멤브레인 기술은 지식재산권화(특허 등)를 통해 기술을 보호하고 연구기간 중 '건설신기술' 신청을 추진
- 차수용 박층 멤브레인 기술을 참여기업(중소기업)으로 기술이전 추진을 통해 사업화 추진
- 구조물 형상 특성 상 종래의 방수 시공이 어려운 조건, 지하 대규모 시설, 노후 구조물 등 신시장을 창출하고 진출

주요기술개발

- SCI 논문 (총 1건)
  - 차수용 박층 멤브레인의 성능을 고려한 수치 모델링과 구조해석
- 비SCI 논문 (총 6건)
  - 차수용 박층 멤브레인 성능평가 결과 등
- 특허 등록 (총 2건)
  - 차수용 뿜칠 멤브레인 조성물 및 이의 제조방법 등
- 특허 출원 (총 2건)
  - 지하구조물의 방배수 방법 등
- 기술이전 (총 1건)
  - 성능평가 방법 및 시공 방법 등 기술이전
- 현장 적용 (총 4건)
  - 해외 광산 및 국내 지하공간 등

차수용 박층 멤브레인 재료 개발

3-B



연구기관
㈜실크로드티앤디

연구책임자
최명식
㈜실크로드티앤디
상무이사

총연구기간
2015.12.28 ~ 2020.01.31

참여연구원
최명식 외 6명

RESEARCH PROJECTS OF 3-B

연구목표

- 차수용 박층 멤브레인의 시작품 개발
- 차수용 박층 멤브레인 타설장비 검토 및 실용화
- 현장시험 시공을 통한 타설장비 및 재료의 성능 검증

연구내용 및 추진경과

1차년도

- 차수용 박층 멤브레인 재료의 주요 성분 결정 및 1차 배합
- 차수용 박층 멤브레인 재료에 적합한 타설 장비 검토
- 해외 광산 현장 2성분 시작품 적용

2차년도

- 차수용 박층 멤브레인 2차 배합 도출 및 성능 평가
- 차수용 박층 멤브레인 타설장비 구축 및 시공성 검증

3차년도

- 차수용 박층 멤브레인 최종 시작품 도출 및 성능 검증
- 시공성 검증을 위한 Mock-up 시험장 구축
- 지하구조물에 대한 현장 적용

4차년도

- 차수용 박층 멤브레인 시험시공 및 검증
- 차수용 박층 멤브레인의 구조적 성능 보강을 위한 배합 도출
- 지하 가시설물에 대한 현장 적용

5차년도

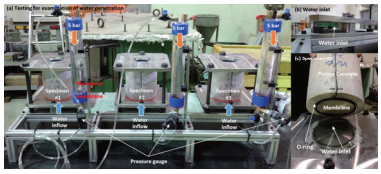
- 차수용 박층 멤브레인 시방서
- 차수용 박층 멤브레인 신기술 신청

Development of Waterproofing Material for Urban Ground Excavation

3-B



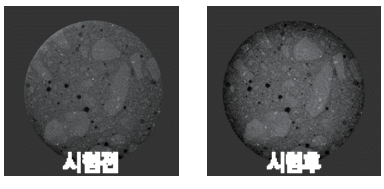
현장 적용 및 시공성 평가



차수 성능 확인을 위한 성능평가



지하대공간에 대한 현장 적용



장기간의 차수 성능 확인 시험

기대성과 및 활용방안

- 터널설계기준 반영을 통한 터널 등 지하구조물 적용
- 개발 기술의 해외 시장 진출에 필요한 글로벌 네트워크를 기 구축하고 있으므로 사업화를 통해 해외 진출 도모
- 유럽 위주의 일부 국가에서만 비공개로 보유하고 있는 차수용 뿜칠 방수 멤브레인 재료 및 공법 관련 원천기술 확보
- 연구개발한 성능평가 기준 및 설계 가이드라인을 기준에 반영

주요기술개발

- SCI 논문 (총 1건)
  - 차수용 박층 멤브레인의 성능을 고려한 수치 모델링 방법
- 비SCI 논문 (총 3건)
  - 차수용 박층 멤브레인 성능평가 결과 등

- 특허 등록 (총 4건)
  - 차수용 뿜칠 멤브레인 조성물 및 이의 제조방법 등

- 특허 출원 (총 1건)
  - 차수용 박층 멤브레인 조성물과 제조방법 등

- 신기술 신청 (총 1건)
  - 〈건설신기술〉 VAE폴리머와 시멘트화합물이 혼합된 조성물을 이용하여 지하구조물의 지보와 차수 성능을 향상시킨 뿜칠형 박층 멤브레인 공법

시공품질을 모니터링하는 다중 동시주입용 차수보강 그라우팅 공법개발

3-C



연구기관
덴버코리아이엔씨(주)

연구책임자
서석현
덴버코리아이엔씨(주)
기술연구소 상무

총연구기간
2017.02.20 ~ 2020.01.31

참여연구원
서석현 외 13명

RESEARCH PROJECTS OF 3-C

연구목표

- 시공성과 경제성을 향상시킨 다중동시주입펌프 개발
- 주입영향인자를 실시간 모니터링하는 시공관리모듈 개발
- 무시멘트와 다중동시용 펌프를 활용한 차수보강공법 기술 개발

연구내용 및 추진경과

2차년도

- 다중 동시주입용 펌프와 무시멘트 고화제 선행기술 분석
- 국내·외 시공관리 모니터링 기법 조사 및 분석
- 국내·외 저유동성 모르타르 그라우팅용 펌프조사 및 분석
- 국내·외 그라우팅 펌프 성능 평가법 조사 및 분석

3차년도

- 사업화을 위한 지적재산권 침해 조사 및 분석
- 무시멘트 고화제와 배합재료 특성을 고려한 펌프 시작품 제작
- 시공관리 모니터링 프로그램 개발
- 다중 동시주입용 펌프의 성능기준 정립 및 평가법(안) 제시
- 무시멘트 고화제를 사용하는 다중동시주입공법과 기존공법과의 비교검토

4차년도

- 다중동시주입펌프 및시공관리 모니터링 프로그램 모듈 시험시공 (점성토 지반) 및 검증
- 현장 시험시공을 통한 다중동시주입공법 및 무시멘트 고화제의 적용성 평가

5차년도

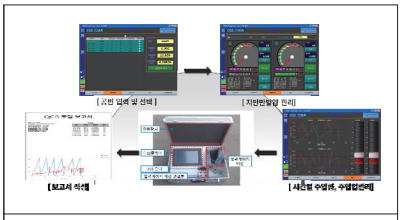
- 다중동시주입펌프 및시공관리 모니터링 프로그램 모듈 시험 시공 (사질토 지반) 및 검증
- 다중 동시주입공법의 원가계산서 및 경제성 분석

Development of Ground Waterproofing and Reinforcement Grouting Method for Multiple Simultaneous Injection to Monitoring System

3-C



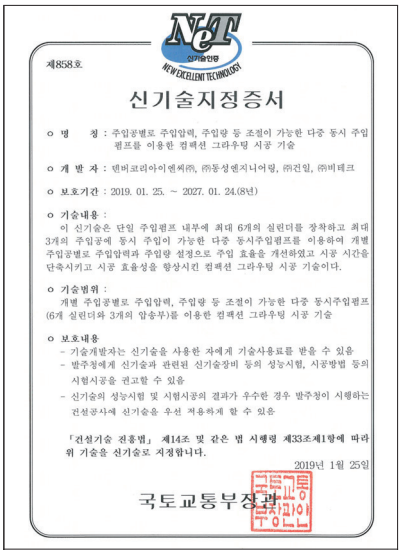
다중동시주입용 펌프



현장시공관리 시스템



원격 시공관리 모니터링 시스템



신기술 지정서

기대성과 및 활용방안

- 그라우팅 공법에 대한 우수성을 토목, 건축관련 학회지에 국내외 논문을 게재하여 다중동시주입용 그라우팅 공법을 홍보하여 최적의 그라우팅 공법으로 시장을 확대할 계획
- 신기술 인증으로 도로공사, 철도청, 해양수산청, 각 지자체, 국방부 등 국가기관 및 공공기관에 개발된 공법을 적극 홍보하여 설계와 시공에 반영 될 수 있도록 추진
- 대형건설사와 토목설계업체를 대상으로 턴키 공사나 SOC 민자사업 입찰에 참여하여 설계시 부터 개발된 그라우팅 공법이 설계와 시공에 반영될 수 있도록 추진

주요기술개발

- 신기술 등록(총 1건)
  - 건설신기술 제858호 주입공별로 주입압력, 주입량 등 조절이 가능한 다중동시 주입 펌프를 이용한 컴팩션 그라우팅 시공 기술(2019.01)

- 특허출원 및 등록(총 7건)
  - 신규한 형태의 혼화제를 포함하는 시멘트 또는 무시멘트계 고화제 및 그 제조방법 출원(2017.04), 등록(2018.07)
  - 컴팩션 그라우팅 실시간 통합 시공관리 모니터링 시스템 출원(2017.06)
  - 컴팩션 그라우팅 시공 관리 시스템 출원(2018.03)
  - 컴팩션 그라우팅 실시간 통합 시공관리 모니터링 시스템 출원(2018.06) 등록(2018.02)
  - 컴팩션 그라우팅 원격 시공관리 시스템 출원(2018.12)

- 비SCI 논문 및 학술발표(총 5건)
  - 현장시험과 공동팽창이론을 통한 CGS 공법의 적용성 평가 (2019.02) 한국지반환경공학회논문집
  - 그라우팅용 펌프의 특성에 대한 분석 (2017.10) 한국지반신소재학회
  - 시공품질을 모니털이 하는 다중 동시주입용 차수 지반보강 그라우팅공법 (2018.09) 한국지반신소재학회
  - 다중 동시주입 컴팩션 그라우팅 공법의 연약지반 적용 (2019.03) 한국지반공학회
  - A case study on the plan for soil reinforcement by TCS in south korea (2019.05) civil engineering and materials science

- 자체기술실시계약 (총 1건)

- 다중동시 주입 펌프를 이용한 컴팩션 그라우팅 공법

무시멘트 고화제의 지반개량 영향범위 산정 및 다중 동시주입 공법의 설계(안) 제시

3-D



연구기관
고려대학교

연구책임자
최항석
고려대학교
건축사회환경공학과 교수

총연구기간
2017.02.20 ~ 2019.01.31

참여연구원
최항석 외 11명

RESEARCH PROJECTS OF 3-D

연구목표

- 다중 동시주입 공법 개발을 위한 기술 기반 구축
- 다중 동시주입 공법에 따른 지반개량 영향범위 수치해석 모델 및 산정식 개발
- 무시멘트 고화제 개량 효과에 따른 다중 동시주입 공법 설계안 도출 및 표준화

연구내용 및 추진경과

2차년도

- 지반 개량범위 산정식 관련 국내·외 문헌 조사 및 분석
- 국내·외 그라우팅 공법 설계 관련 문헌 조사 및 분석
- 공팽창이론 적용가능성 검토 및 수치해석 모델 기반구축

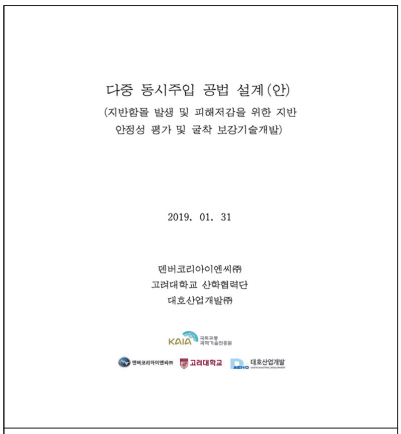
3차년도

- 지반개량 영향범위 수치해석 모델 개발
- 수치해석을 통한 지반개량 영향범위 산정식 개발

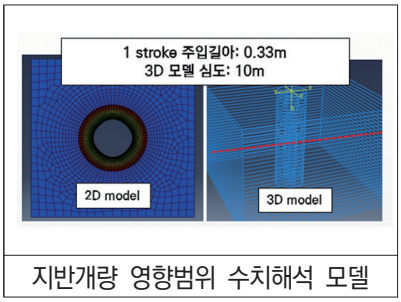
4차년도

- 지반개량 영향범위 산정식 검증
- 다중 동시주입 공법 설계(안) 제시

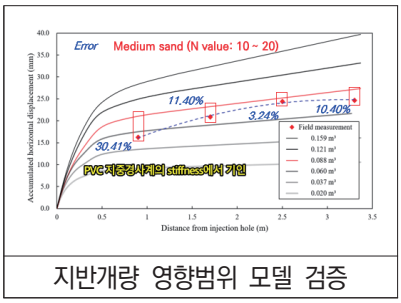
Suggestion of Ground Improvement Range and Design Manual for Multiple Simultaneous Injection Method Using Non-Cement Solidifying Agent 3-D



다중 동시주입 공법 설계(안)



지반개량 영향범위 수치해석 모델



지반개량 영향범위 모델 검증

기대성과 및 활용방안

- 경험식을 적용하기 어려운 지반에 수치해석 모델 및 산정식을 제시하여 저유동성 그라우팅과 주변 지반의 상호 거동을 예측
- 수치해석을 통한 최적화된 지반개량 영향범위 산정식을 통해 시공비 절감 및 신기술 개발에 기여
- 다중 동시주입 공법 적용 시 현장지반의 특성을 반영한 영향 범위의 산정 및 이를 바탕으로 한 공법 설계안 제시를 통해 각종 지반함몰 사고의 예방

주요기술개발

- SCI 논문 (총 2건)
  - Consideration of radial flow in nonlinear finite-strain self-weight consolidation of dredged soil (2020). Ocean Engineering

- 비SCI 논문 (총 2건)
  - 점성토 연약지반에서의 다중 동시주입 컴팩션 그라우팅 공법 적용성 연구 (2019). 대한토목학회논문집

압축강도 15 MPa급 무시멘트 고화제 개발 및 상용화

3-E



연구기관
대호산업개발(주)

연구책임자
김중연
대호산업개발(주
대표이사

총연구기간
2017.02.20 ~ 2020.01.31

참여연구원
김중연 외 3명

RESEARCH PROJECTS OF 3-E

연구목표

- 15MPa급의 무시멘트 고화제 개발
- 무시멘트 고화제의 성능 및 환경안정성 인증
- 무시멘트 고화제의 사업화

연구내용 및 추진경과

2차년도
- 무시멘트 고화제 기본배합설계 및 시제품제조
- 무시멘트 고화제 원료 분석

3차년도
- 목표 압축강도 15MPa를 만족하는 고화제 성능 확보
- 무시멘트 고화제의 환경 안정성 평가
- 주입 모르타르 슬럼프 및 재료분리 평가정수 확보

4차년도
- 개발 무시멘트 고화제의 현장적용
- 현장 적용 무시멘트 고화제의 성능 평가

5차년도
- 무시멘트 고화제의 사업화 및 매출 달성
- 무시멘트 고화제 생산관련 사내지침서 제정

Development and Commercialization of cementless agent with UCS 15 MPa Class

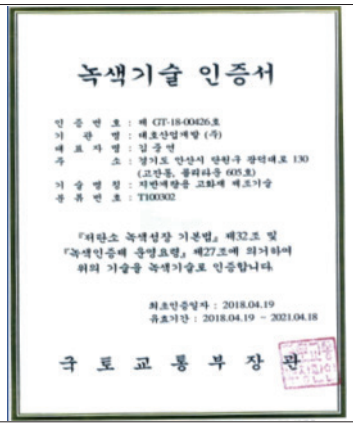
3-E



무시멘트 고화제 압축강도 성적서



무시멘트 고화재 현장적용 사진



무시멘트 고화제 녹색기술 인증서

기대성과 및 활용방안

- 시멘트 고화제 개발에 따라 산업폐기물·부산물 재활용, 시멘트 사용 불필요 등으로 지반 보강시 토양, 해수, 하천, 지하수 등을 오염시키지 않아 환경 오염 최소화

- 무시멘트 고화제를 기준으로 유·무기성 슬러지 고화제, 사면 보강용 고화제, 표층 고화제, 매입 말뚝 주입용 그라우트재, 구조물 배면을 뒷채움용 저강도 기포혼합 고화제 등 연관분야로 활용 확대

- 기존의 알칼리 활성화 슬래그(A.A.S.)와는 전혀 다른 매커니즘의 고화제 신기술을 상용화

주요기술개발

- 학술발표대회 논문 (총 1건)
  - 무신멘트고화제를 활용한 S.C.W 공시체의 강도특성 : 2017 가을학술대회 논문집ISSN : 1738-298X 제29권 2호 pp661-662

- 특허출원 및 등록 (총 2건)
  - 출원 : 연약지반 개량용 고화재 조성물
  - 등록 : 고화재원료의 입도조절을 위한 분쇄방법 및 상기 고화재 원료를 이용한 공법

- 인증취득 (총 2건)
  - 녹색기술인증 : GT-18-00426(국토교통부)
  - 환경표지인증 : 제 18869 호(한국환경산업기술원장)

- 사업화 (총 3건)
  - 부산 강서구 명지동 국제신도시 시엘 주차타워 신축공사 외 2건, 총 3억원 매출 달성

- 지침서 제정 (총 3건)
  - 무시멘트 고화제의 공정관리 규정, 원재료 인수검사, 제조 작업 표준 등을 제정, 무시멘트 고화제 생산의 가이드라인을 제시

Division4 Development of Groundsink Emergency Recovery Technology Using Filling Material

4세부
충전재료를 활용한 지반함몰 긴급복구 기술개발

RESEARCH PROJECTS OF **DIVISION 4**

- 지중공동 보강을 위한 무기질계 혼화재 개발
- 지반공동의 균질한 보강을 위한 수용성폴리머파우치 개발
- 지중공동 발생 및 보강 메커니즘 규명
- 지중공동 긴급복구 주입시스템 개발 및 시공성 평가
- Pilot Test-bed 기반의 실대형 현장 적용성 평가
- 지반함몰 긴급복구 대응 매뉴얼 구축

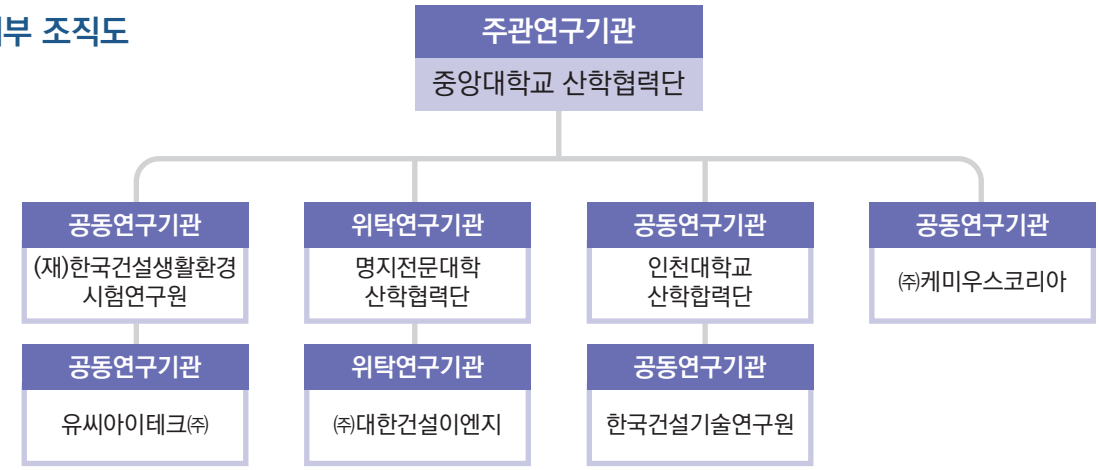
- 긴급복구 지반상태의 유지관리가 가능한 지반신소재(팽창재료) 개발
- 공동 복구 신소재 포켓 섬유 및 유지관리기술 개발
- 팽창재료가 포함된 신소재포켓 주입용 소형주입시스템 개발
- 능동적 다변형 지반신소재 포켓을 이용한 긴급복구 공법 개발
- 지반함몰 긴급복구용 팽창성 채움재 현장적용성 평가

4세부 연구책임자

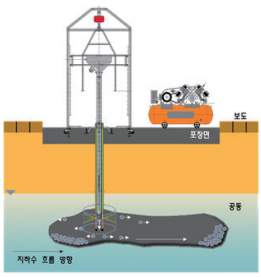
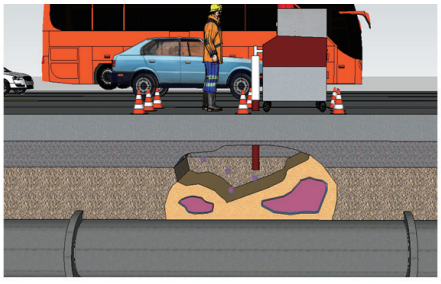


한중근
중앙대학교 사회기반시스템공학부 건설환경플랜트공학과 교수

4세부 조직도



4세부 연구내용

제1요소기술	제2요소기술
수용성 폴리머 파우치(WSPP)를 이용한 비개착식 지반공동 긴급복구 기술개발	능동적 다변형 지반신소재 포켓 및 팽창재료를 이용한 지반함몰 긴급복구 기술개발
• 지중공동 보강을 위한 무기질계 혼화재 개발 • 지반공동의 균질한 보강을 위한 수용성폴리머파우치 개발 • WSPP를 이용한 함몰지반 및 지중공동 비개착 주입기술 개발 • 지반보강효과 확인을 위한 지반함몰 발생 및 보강 메커니즘 규명 • 지중공동 긴급복구를 위한 재료, 설계, 시공 매뉴얼(안), 긴급복구 설계 S/W 제시	• 능동적 다변형 지반신소재포켓 및 팽창재료를 이용한 주입, 충전 후 지반압축보강기술 개발 • 채움재 시공후 발포재를 사용한 저다짐용 능동적 다변형 지반신소재포켓 및 주입시스템 개발 • 현장실증실험을 통한 규모에 따른 골재채움, 토목섬유 포설 및 발포재료 주입량 평가 • 채움재료에 따른 보강효과 검증 평가 • 재료가이드라인, 긴급복구, 유지관리 매뉴얼(안) 및 유지관리 어플리케이션 제작
	

수용성 폴리머 기반의 무기질계 혼화재를 이용한 비개착식 지반공동 긴급복구 기술개발

4-A



연구기관
중앙대학교

연구책임자
한중근
중앙대학교
사회기반시스템공학부
건설환경플랜트공학과
교수

총연구기간
2015.12.28 ~ 2020.01.31

참여연구원
한중근 외 40명

RESEARCH PROJECTS OF 4-A

연구목표

- 지반공동 긴급복구재료(수용성폴리머파우치, WSPP) 개발
- 긴급복구재료에 대한 지반 내 공동 주입기술 개발
- Pilot Test-bed 기반의 지반공동 긴급복구기술을 이용한 지반보강 효과에 대한 평가
- 지중공동 긴급복구 통합매뉴얼(재료, 설계, 시공) 및 설계S/W 개발

연구내용 및 추진경과

1차년도

- 수용성 폴리머 복합체 재료 선정
- 무기질계 혼화재 배합비 선정
- 시공성 평가기준 제시

2차년도

- 수용성폴리머파우치(WSPP) 안정성/품질 특성 평가
- 공동의 보강효과 확인을 위한 기본 메커니즘 규명
- 모형실험에 의한 지반 공동형상 및 이완영역 확인
- 모형실험을 위한 소형주입기 제작

3차년도

- 개발재료를 이용한 공동 충전 전/후에 대한 설계 및 위험도 평가인자도출
- 이완영역탐지기를 이용한 지중공동 주변지반 거동 분석
- Pilot Test-bed 부지 선정
- Pilot Test-bed를 위한 실물크기 주입기 제작
- 프로토타입의 긴급복구 설계 소프트웨어 개발

4차년도

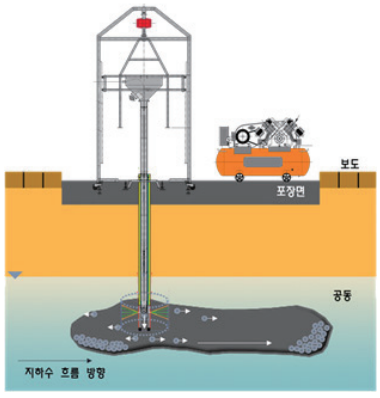
- Pilot Test-bed를 통한 현장적용성 평가
- 긴급복구 설계인자(8개) 제시
- 긴급복구 설계 소프트웨어 개발

5차년도

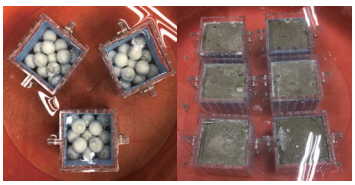
- 긴급복구 설계인자를 이용한 설계가이드라인(안) 제시
- WSPP를 이용한 지반공동 긴급복구 통합(재료, 설계, 시공) 매뉴얼(안) 제시
- SW 활용성 검토

Development of Trenchless Ground Cavity Rapid Reinforcing Technology using WSPP (Water-Soluble Polymer Pouch)

4-A



연구개발기술 개략도



WSPP
(Water-Soluble Polymer Pouch)



지중공동 긴급복구 매뉴얼(안)



긴급복구 설계 App(Android)

기대성과 및 활용방안

- 지반공동 긴급복구시 소요 작업공간 및 시간 감소를 통한 발생하는 사회적 비용 감소 및 예산절감
- 공동 보강 충전재료의 재료분리 방지를 통하여 균질하며 원지반 강도를 갖는 보강체 조성 가능
- 비전문가가 활용가능한 지중공동 긴급복구 설계App을 통한 신속한 지중공동 보강
- 긴급복구 대응체계를 통한 국민들의 지반함몰에 대한 불안요소 제거

주요기술개발

- SCI 논문 (총 6건)
  - PVP/LDPE 블렌드 및 실리카 복합화를 통한 수용성 폴리머의 기계적 물성강화 (2018), Polymer, Vol.42, No.1

- 비SCI 논문 (총 7건)
  - 지중 내 공동 확장에 따른 이완영역 확인을 위한 실험적 연구 (2017), 한국지반신소재학회

- 국내 및 국제 학술회의 발표 (총 32건)
  - 지반조건을 고려한 지반보강재료의 현장적용을 위한 실험적연구", KSCE 2019 CONVENTION CONFERENCE

- 특허 출원 및 등록 (총 3/1건)
  - 특허 출원 총 3건
    특허 등록 총 1건

- 소프트웨어 등록 (총 2건)
  - 안드로이드용 수용성폴리머파우치를 이용한 지반함몰 긴급복구 설계App ver.2 (2018.12)

- 인력양성 (총 6명)
  - 석사 배출 6명

지반공동 긴급복구를 위한 무기질계 혼화재 및 긴급복구 매뉴얼 개발

4-B



연구기관
한국건설생활환경시험연구원

연구책임자
유남재
한국건설생활환경시험연구원
강원지원 책임연구원

총연구기간
2015.12.28 ~ 2020.01.31

참여연구원
유남재 외 19명

RESEARCH PROJECTS OF 4-B

연구목표

- 긴급 복구를 위한 무기질계 혼화재의 성능 기준 정립 및 선정
- Pilot Test-bed 기반의 실대형 현장 적용성 평가
- 지반공동 긴급복구를 위한 무기질 혼화재 및 긴급복구 시공매뉴얼 작성

연구내용 및 추진경과

1차년도

- 무기질계 혼화재의 각각 재료의 특성을 조사 분석
- 긴급 복구를 위한 무기질계 혼화재의 성능 기준 정립 및 선정

2차년도

- 무기질계 혼화재의 물리적, 화학적, 역학적 특성 평가
- 무기질 혼화재의 품질특성 중 팽창에 따른 문제점을 최소화하기 위한 단계별 혼화재의 사용량을 확인하여 역학적특성, 물리적 및 환경적 특성을 만족하는 재료 개발

3차년도

- 개발된 수용성 폴리머 파우치 무기질계 혼화재의 역학적 특성 평가
- Pilot Test-bed 구축

4차년도

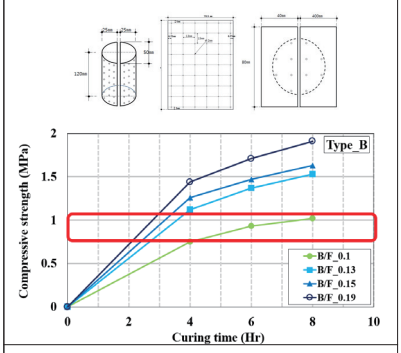
- Pilot Test-bed 성토 지반의 지지력 평가, 정하중 및 교통하중에 대한 이완 영역 확인 및 평가
- 지반 공동 충전재인 무기질 혼화재의 단기 및 장기 성능 검증

5차년도

- 긴급복구에 따른 합리적 시공 매뉴얼 제시
  - 충전재의 물리적, 역학적 특성을 분석하여 선정된 배합와 Test-bed에서 수행한 시험시공을 중심으로 시공 매뉴얼 작성
- 지반공동 긴급복구 가이드라인 작성

Development of inorganic admixture and manual for emergency restoration

4-B



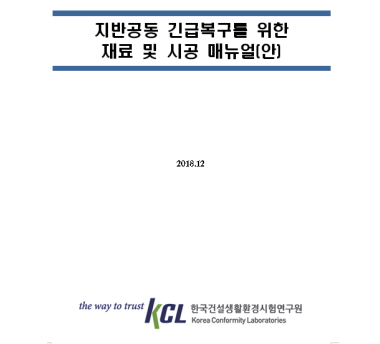
온도에 따른 무기질 혼화재 특성



Pilot-test bed 구축



Pilot-test bed 적용성 평가



긴급복구 매뉴얼 작성

기대성과 및 활용방안

- 지반공동 복구용 재료개발로 인하여, 다양한 구조물의 보수/보강용 복합재료개발에 대한 기반기술 마련
- 지반공동의 긴급복구를 위해 요구되는 시공구간의 범위 및 시간 축소로 공용성 제한요소를 최소화함에 따라, 간접적 감소와 예산절감 효과
- 다양한 구조물의 보수/보강용 복합재료개발에 요소기술로서 응용 및 적용
- 재료제조, 설계사 및 시공사의 긴급복구 사업뿐만 아니라, 연구개발기술 응용에 따른 효율적인 설계 및 시공방안 마련에 활용

주요기술개발

- 비SCI 논문 (총 1건)
  - 비개착식 지반공동 긴급복구를 위한 충전재료 개발에 관한 기초 연구 (2017), 한국지반신소재학회

- 비SCI 논문 (총 7건)
  - 지반함몰 주변지반의 강도를 고려한 충전재 개발에 위한 재료 재료의 배합비를 통한 실험적 연구(2016), 한국지반신소재학회
  - 지반공동 긴급보강을 위한 저강도 보강재 개발을 위한 기초연구(2016), 대한토목학회
  - 지반공동 긴급복구를 위한 충진재 개발 연구(2017), 한국지반신소재학회
  - 비개착 주입공법 지반공동 긴급복구용 충진재 개발 기초 연구(2017), 한국지반공학회
  - 지하수 온도조건에 따른 지반공동 긴급복구용 충전재 개발의 기초 연구 (2017), 한국지반신소재학회
  - 지반공동 충전 및 이완영역 확인을 위한 공동 조성 사례 (2018), 한국지반신소재학회
  - 무기질 혼화재를 이용한 비개착식 지반공동 충진 사례 연구 (2019), 한국지반신소재학회

능동적 다변형 지반 신소재 포켓을 이용한 긴급복구 공법 개발

4-C



연구기관
명지전문대학

연구책임자
유승경
명지전문대학
토목공학과 교수

총연구기간
2016.10.12 ~ 2020.01.31

참여연구원
유승경 외 4명

RESEARCH PROJECTS OF 4-C

연구목표

- 지반 내 공동 및 이완영역 생성 메커니즘 규명
- 유한요소 수치해석을 통해 긴급복구 설계인자를 활용한 어플리케이션 적용 및 가이드라인 제시

연구내용 및 추진경과

2차년도
- 모형실험 통한 지반 내 공동 생성 메커니즘 분석
- 수치해석 통한 지반 내 공동 생성 메커니즘 분석
- 지중 공동과 공동 주변 이완영역의 형상 및 규모 특성 분석

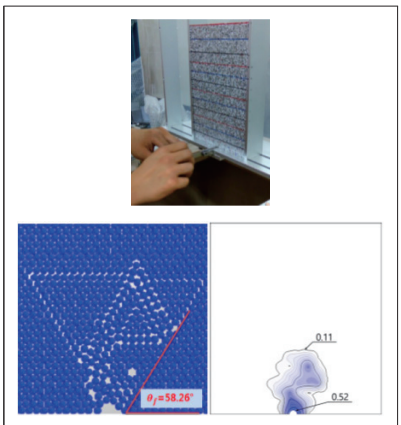
3차년도
- 실험을 통한 연구 개발재료 역학 특성 파악
- 공동 충전 전/후 지반 거동 수치해석 분석
- 지반함몰 긴급복구 설계인자 제시 및 분석

4차년도
- 지반함몰 긴급복구 설계인자 도출 및 분석
- 지반함몰 긴급복구 보강방법 제시
- 수치해석 통한 공동 및 침하량 상관관계 분석

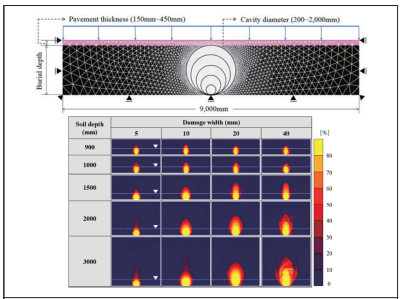
5차년도
- 긴급복구 설계 소프트웨어 DB 제시 및 구축
- 긴급복구 메뉴얼 제시

Development of Rapid restoration technology using Multi-deformable Geosynthetics Pocket

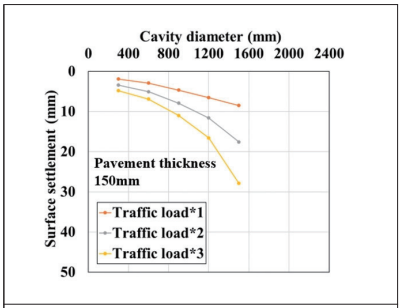
4-C



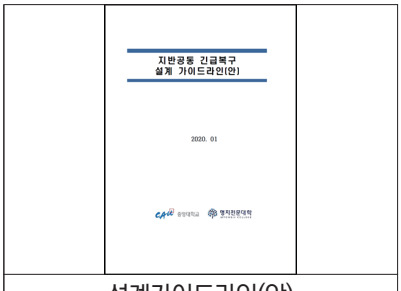
알루미늄 모형실험 및 DEM 수치해석



유한요소 수치해석(FEA)



공동규모와 지표침하량의 상관관계



설계가이드라인(안)

기대성과 및 활용방안

- 지중 공동 긴급복구 설계가이드라인을 통해 제시된 긴급복구 설계인자를 활용하여 지반공동보강 긴급도 판단 가능

- 연구결과를 토대로 구축한 DB를 토대로 개발된 긴급복구 소프트웨어를 활용하여 지반 내 공동이 발생된 지역에 대한 복구 정보를 신속, 정확하게 제공하여 시공 안전성 및 경제성 확보

주요기술개발

- 비SCI 논문 (총 4건)
  - 실내모형실험과 개별요소법을 이용한 지반 공동 및 이완영역 모사에 관한 연구 (2017). 한국지반신소재학회 논문집

  - 유한요소법을 이용한 지반 공동 및 이완영역 모사에 관한 연구 (2017). 한국지반신소재학회 논문집

  - 하수관거 파손폭과 토피고를 고려한 지중 공동 및 이완영역 발생 규모에 관한 수치해석적 연구 (2019). 한국지반공학회 논문집

  - 포장층 두께와 교통하중 크기를 고려한 공동 발생 지반의 안정성 분석에 관한 수치해석 (2019). 한국지반신소재학회 논문집

- 국내 및 국제 학술회의 발표 (총 15건)

  - A study on occurrence characteristics of cavity and relaxation zone according to damage scale of sewage pipe in underground (2018). 11th International Conference on Geosynthetics

팽창재료가 포함된 신소재포켓 주입용 소형 주입시스템 개발

4-D



연구기관
인천대학교

연구책임자
김동욱
인천대학교
건설환경공학과 교수

총연구기간
2017.02.20 ~ 2020.01.31

참여연구원
김동욱 외 13명

RESEARCH PROJECTS OF 4-D

연구목표

- 능동적 다변형 지반신소재 포켓 및 팽창재료를 이용한 지반 함몰 긴급복구 기술 개발
- 개발된 신소재 기반의 그라우팅 시공기술을 이용한 지반 비개착 공동 주입 기술 개발
- 개발재료 및 주입기술을 활용한 합리적인 긴급복구 설계 및 매뉴얼 구축

연구내용 및 추진경과

2차년도
- 개발된 지반신소재(팽창재료) 및 주입시스템 검증
- 실내모형 실험을 통한 재료적&장치적 검증

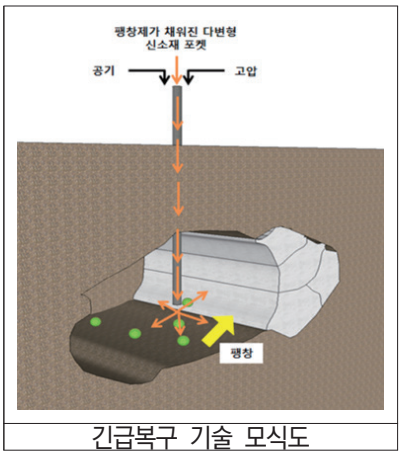
3차년도
- 개발된 지반신소재(팽창재료) 및 주입시스템 검증
- 다변형 지반신소재 포켓의 재료적 검증
- 주입 시스템 적용성 검증

4차년도
- 현장실증실험을 통한 검증 및 평가
- 지반신소재 포켓 및 주입장치의 현장 적용성 평가

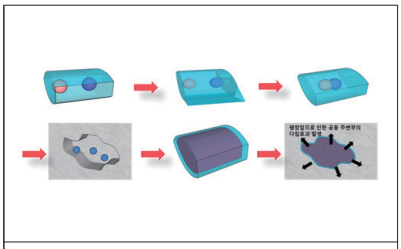
5차년도
- 통합 긴급복구 매뉴얼(안) 작성
  - 재료적 매뉴얼
  - 시공 매뉴얼 유지관리 매뉴얼
  - 검증기준안

Development of Small Injection System for Geosynthetics Pocket with Expanded Material

4-D

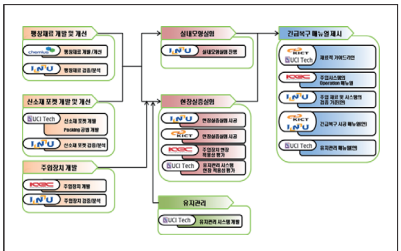


긴급복구 기술 모식도


팽창에 의한 다짐효과 발현과정



연구 개발 개요


조직구성 및 추진체계

기대성과 및 활용방안

- 지반신소재 복합재료에 대한 제작과 주입 기술 확보하여 관련기업의 기술력 확보 및 신성장동력으로 활용
- 지반공동 긴급보수보강 기술 및 긴급복구 매뉴얼 개발에 따른 시공능력 확보
- 지반공동 긴급복구용 재료개발을 통해 다양한 구조물의 보수/보강용 복합재료개발에 대한 기반기술 마련
- 지반공동 긴급복구를 위해 소요되는 최소 작업공간 및 시공시간 단축으로 사회적 비용 감소와 예산절감 효과
- 긴급복구 대응 체계 마련으로 국민들의 재난위험성에 대한 불안요소 제거

주요기술개발

- SCI 논문 (총 1건)
  - Numerical study of earth pressure reduction on rigid walls using EPS geoform inclusion(2018), Geosynthetics internationa

- 비SCI 논문 (총 5건)
  - 공동관리 등급에 따른 지반함몰 관리등급제에 대한 연구(2017), 한국지반신소재공학회 논문집
  - 공동 붕괴를 유발하는 영향인자 분석 및 기존 공동관리 시스템 평가(2018), 한국지반신소재공학회 논문집
  - 지하공동 및 이완영역 복구를 위한 팽창성 재료의 성능 평가(2018), 한국지반신소재공학회 논문집
  - 팽창성 재료를 이용한 지하공동 및 이완영역을 복구공법의 적합성 평가(2018), 한국지반신소재공학회 논문집
  - 팽창재료를 이용한 지하공동 비개착 복구공법에서 천공 개수 및 위치에 따른 복구 효율 분석(2019), 한국지반신소재공학회 논문집

- 국내외 학술발표 (총 11건)
  - 한국지반신소재학회 봄&가을 학술발표회
  - 한국지반공학회 봄 학술발표회
  - KGS Spring National conference
  - ICOCE 2019
- 인력양성 (총 8명)
  - 학사 : 6명
  - 석사 : 2명

긴급복구 지반상태의 유지관리가 가능한 지반신소재(팽창재료) 개발

4-E



연구기관
(주)케미우스코리아

연구책임자
채우리
(주)케미우스코리아
기술연구소 과장

총연구기간
2017.02.20 ~ 2018.03.31

참여연구원
채우리 외 8명

RESEARCH PROJECTS OF 4-E

연구목표

- 팽창성 채움재 재료의 장단점을 고려한 최적 재료 개발
- 긴급복구용 지반신소재(팽창재료) 개발

연구내용 및 추진경과

2차년도

- 팽창재료의 팽창성능(최소 25배) 발현 가능한 팽창재료 개발
- 지반공동환경을 고려하여 팽창 및 경화 시간 30분 이내를 만족하는 지반신소재 개발

3차년도

- 팽창성 채움재 재료의 장단점을 고려한 최적 재료 개발
- 긴급복구용 지반신소재(팽창재료) 개발

Development of expansion materials which are possible to implement rapid restoration minimizing maintenance effort

4-E



재료개발



모의 실험



팽창이 완료된 신소재 포켓

기대성과 및 활용방안

- 지반신소재 복합재료에 대한 제작과 주입 기술을 확보하여 관련 기업의 기술력 확보 및 신성장동력으로 활용
- 개발기술과 관련하여 산학연이 참여할 수 있는 후속 또는 지속연구 응용에 기반기술로서 활용이 가능
- 정부주도의 지반공동 복구사업에 관련기업의 참여 확대 가능
- 지반공동 긴급보수보강 기술 및 긴급복구 매뉴얼 개발에 따른 시공능력 확보
- 신속한 지반공동의 긴급 보수보강을 통한 시민의 불편해소 및 공동 확산을 통한 추가 함몰 등의 2차 피해 예방저감

주요기술개발

- 비SCI 논문 (총 1건)
  - 지반공동 긴급복구 재료의 팽창 및 강도특성에 관한 연구(2017). 한국지반신소재학회 논문집

충전재료를 활용한 지반함몰 긴급 복구 기술 개발

4-F



연구기관
UCI Tech(주)

연구책임자
김기성
유씨아이테크
대표이사

총연구기간
2017.02.20 ~ 2020.01.31

참여연구원
김기성 외 7명

RESEARCH PROJECTS OF 4-F

연구목표

- 능동적인 자가 다짐이 가능하고 제어된 압력으로 팽창성능을 발휘하는 다변형 지반신소재 포켓 개발
- 개발된 다변형 지반신소재 포켓의 비개착 공동 주입기술 개발
- 개발한 비개착 긴급복구기술의 지반보강 효과에 대한 평가 및 분석
- 긴급복구기술의 합리적인 시공 매뉴얼 개발

연구내용 및 추진경과

2차년도
- 신축형 다변형 지반신소재 포켓소재 개발
- 다변형 포켓 품질 특성 및 성능 평가/검증

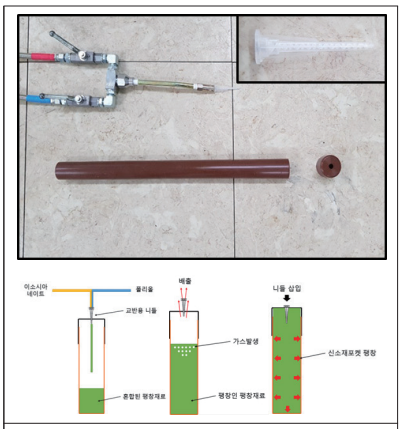
3차년도
- 팽창재료, 주입장치 특성을 고려한 최적 신소재포켓 개발
- 실내모형실험을 통한 공동복구 최적 다변형 지반신소재 시작품 연계 개발
- 탐사물질 도포 신소재 포켓으로 공동 복구 후 지중내 신소재 포켓 탐지기술 개발

4차년도
- 복구위치 표지 기술 활용 및 여타 표지 기술개발
- 표지기술을 이용한 모바일 활용 공동 유지관리 기술
- 모바일 기반 유지관리 매뉴얼 개발

5차년도
- 실시간 유지관리가 가능한 모바일 어플리케이션 개발
- 모바일 어플리케이션을 통한 시공표준(안) 제공

Development of the groundsink emergency recovery technology using filling material

4-F



제어와 탐지기능 강화된
신축형 신소재 보관재 개발

기대성과 및 활용방안

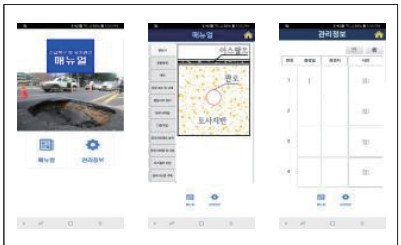
- 다양한 구조물의 보수보강용 지반신소재 복합재료 개발 관련 요소기술로 활용
- 지반신소재 복합재료에 대한 제작과 주입 기술 확보하여 관련기업의 기술력 확보 및 신성장동력으로 활용
- 개발기술과 관련하여 산학연이 참여할 수 있는 후속 또는 지속연구 응용에 기반기술로서 활용이 가능하며, 유기적인 공동 연구개발 체계 확립
- 재료의 제조사, 설계사, 시공사의 긴급복구 사업뿐만 아니라, 연구개발기술 응용에 따른 효율적인 설계 및 시공방안마련에 활용
- 지반공동 긴급보수보강 기술 및 긴급복구 매뉴얼 개발에 따른 시공능력 확보



긴급복구
모바일 기반 유지관리기술개발

주요기술개발

- 비SCI 논문 (총 3건)
  - 긴급복구용 팽창재료의 온도에 따른 물리적 특성 및 장기 안전성 평가(2018). 한국재난정보학회 논문집
  - 휠트레킹 시험을 통한 포켓형 지반공동 긴급복구 팽창재료의 소성변형 거동특성 평가(2018). 한국지반신소재학회 논문집
  - 평판재하시험을 이용한 공동 복구재료의 지지특성에 관한 현장실험(2018). 한국지반신소재학회 논문집
- 특허 출원·등록 (총 1건)
  - 신소재 포켓 섬유와 팽창제를 이용한 지반함몰 복구 공법 및 복구 공동 유지관리 방법(2019. 8)
- 소프트웨어 등록 (총 2건)
  - 지반함몰복구 유지관리 시스템(2019. 10)
  - 농업용 공공관정 프로그램(2020. 01)
- 국내학술발표 (총 2건)
  - 한국지반신소재학회 봄 학술발표회(2017)
  - 한국지반신소재학회 가을 학술발표회(2018)



긴급복구 시공 매뉴얼

공동 복구 신소재 포켓 섬유 및 유지관리 기술 개발

4-G



연구기관
㈜대한건설이엔지

연구책임자
홍기권
㈜대한건설이엔지
기술연구소 연구소장

총연구기간
2017.02.20 ~ 2019.01.31

참여연구원
홍기권 외 18명

RESEARCH PROJECTS OF 4-G

연구목표

- 다변형 지반신소재 포켓의 최적주입을 위한 주입장치 시스템 구축
- 다변형 지반신소재 포켓의 최적주입을 위한 주입장치 시스템의 시공성 평가 및 매뉴얼 제시

연구내용 및 추진경과

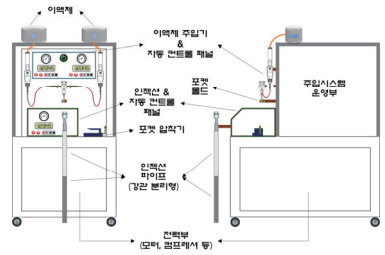
2차년도
- 소형 주입시스템 구축을 위한 요구사항 분석 및 도출
- 소형 주입기 구상 및 디자인 고안

3차년도
- 공동 내 주입재료의 충진율(%)에 따른 최적 주입압력 산정 및 주입성능 평가
- 다변형 지반신소재 포켓 주입용 주입시스템 개발
- 기성 지반신소재 포켓 및 현장제작 포켓 주입기능을 동시에 갖는 복합 주입시스템 제시

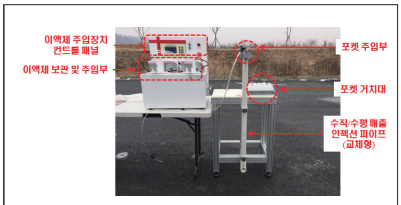
4차년도
- 주입시스템 현장적용성 평가
- 주입시스템 활용 매뉴얼 제시

Development of new material ground cavity recovery pocket fiber and maintenance technology

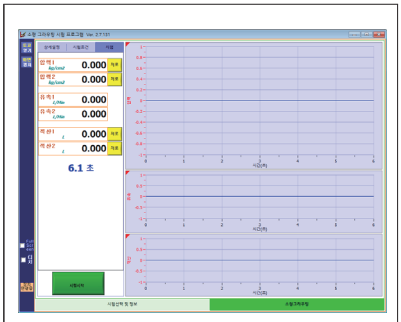
4-G



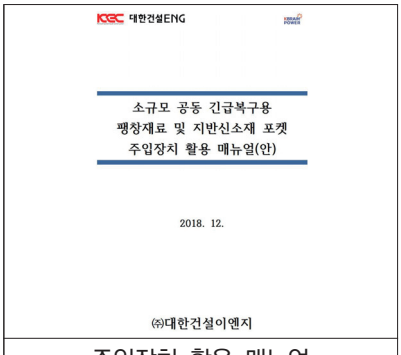
소형 주입시스템 제시



소형 주입시스템 구축



이액제 주입 조절 프로그램



주입장치 활용 매뉴얼

기대성과 및 활용방안

- 긴급보강이 요구되는 도심지 얕은 공동에 대한 보수보강 기술 적용 가능
- 기존의 공동 보수/보강공법의 기술적 한계를 극복한 주입장치 적용으로 인한 사회적 비용 최소화 가능
- 긴급복구 대응 체계 마련으로 국민들의 재난위험성에 대한 불안요소 제거
- 지반공동이 소규모로 산재해 있는 경우, 다중주입기술 기반 마련 및 다수의 소규모 공동 일체화 보강기술 확보 가능

주요기술개발

- 비SCI 논문 (총 1건)
  - 평판재하시험을 이용한 공동 복구재료의 지지특성에 관한 현장실험 (2018). 한국지반신소재학회논문집
- 국제 학술발표 (총 1건)
  - Field test on application of detecting materials for maintenance of the restored cavity (2018). 11th International Conference on Geosynthetics
- 국내 학술발표 (총 2건)
  - 소규모 지반공동 긴급복구 재료를 이용한 주입장치의 성능 평가 (2018). 2018 한국지반신소재학회 봄 학술발표회
- 특허 출원 및 등록 (총 2건)
  - 지반함몰부 복구장비 및 이를 이용한 지반함몰부 복구 공법 (2018.04.)
- 소프트웨어 등록 (총 1건)
  - 소규모 공동 긴급복구재료 주입장치의 이액제 주입조절 프로그램 (2019.12.)

지반 내 공동 긴급복구시 보강 메커니즘 규명 및 설계인자 도출

4-H



연구기관
한국건설기술연구원

연구책임자
이대영
한국건설기술연구원
인프라안전연구본부

총연구기간
2017.06.28 ~ 2019.01.31

참여연구원
이대영 외 2명

RESEARCH PROJECTS OF 4-H

연구목표

- 지반함몰 긴급복구용 팽창성 채움재 현장적용성 평가
- 긴급복구기술의 합리적인 시공 매뉴얼(안) 개발

연구내용 및 추진경과

3차년도

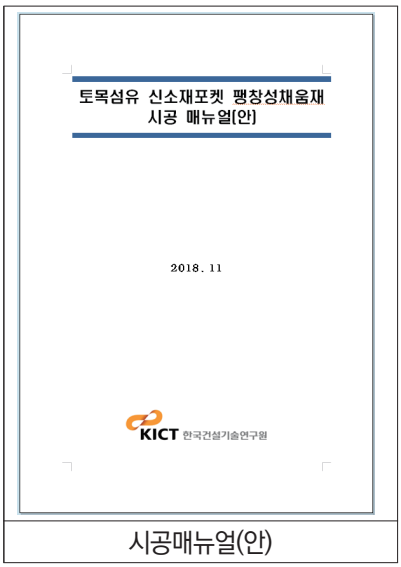
- 팽창성 채움재의 긴급공동채움 성능 검토
- 현장시험시공을 통한 팽창성 채움재의 채움성능, 다짐성능 및 시공성 평가

4차년도

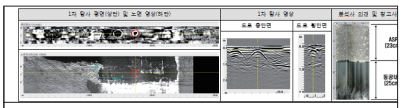
- 현장적용성 평가를 통한 팽창성 채움재 시공성능 검증
- 지반신소재 포켓 팽창성 채움재 시공매뉴얼(안)제시

Identification of reinforcement mechanism and design factors in cavity emergency recovery in the ground

4-H



시공매뉴얼(안)



현장시험 평가

기대성과 및 활용방안

- 지반공동이 소규모로 산재해 있는 경우, 다중주입기술 기반 마련 및 다수의 소규모 공동 일체화 보강기술 확보 가능
- 지반공동 긴급복구 시공방법 제안으로 시공시간 단축으로 사회적 비용감소와 예산절감 가능

주요기술개발

- SCI 논문 (총 1건)
  - Field and laboratory assessment of ground subsidence induced by underground cavity under the sewer pipe : Geotechnical and Engineering, vol. 16, No. 3, 2018

- 비SCI 논문 (총 1건)
  - CCTV 및 GPR을 이용한 하수관로 결함 및 지반함몰 위험성 평가 (2018). 한국지반신소재학회논문집

Division5

Development of ground deformation minimization method for deep and vertical excavation in urban area

5세부
대심도(30m이상) 및 도심지 수직굴착시 지반변위 최소화를 위한 굴착공법개발

RESEARCH PROJECTS OF **DIVISION 5**

- CS-H 벽체 대심도 굴착 현장의 최적설계를 위한 인공지능(AI) 기반의 거동 예측기법 개발
- AI 기반의 CS-H 벽체 적용 굴착 설계 통합 시스템 개발
- CS-H 벽체 시공 장비 개발 및 설계/시공 기술 개발
- CS-H 벽체 시공 장비 실개발 지원 및 시험운용을 통한 시공성 평가
- 시공 리스크 저감 및 관리 기술 기반 연구
- 스마트 계측관리 및 BIM 기반 공정관리 시스템 개발
- CS-H 벽체 개발을 위한 벽체 단면 특성 평가
- CS-H 벽체 간편해석 기법 개발
- 지반신소재 기반의 강화재 및 슬럼프치에 따른 CS-H 벽체 채움재 개발 및 특성 평가

- SEM 공법 개발 방향 검증 및 차세대 지하횡단 공법(SEM) 개발
- SEM 공법 설계요소 기술 개발
- SEM공법 성능평가 및 효과 정량화
- SEM 공법 장치 개발 및 제작
- 저토피 구간(3.5m)의 굴착시 이완영역에 대한 침하특성 평가
- 함체추진 시 SEM 파일 상호작용 평가
- 인공지능 기반 SEM 공법 위험도 모델 구축

5세부 연구책임자



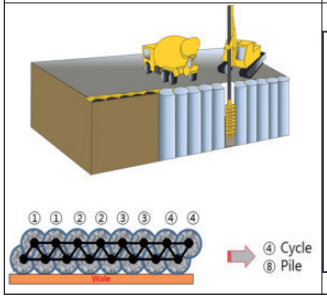
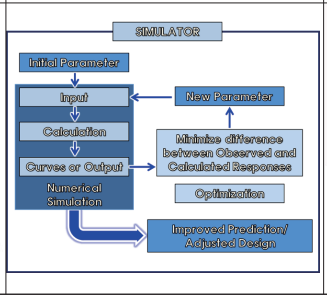
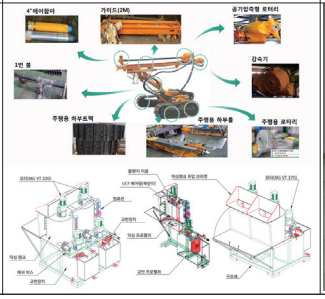
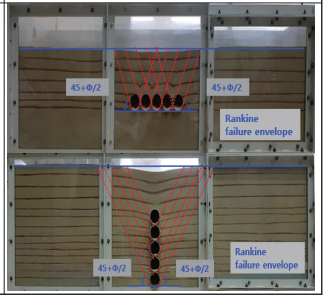
유충식
성균관대학교 건설환경공학부 교수

5세부 조직도

주관연구기관
성균관대학교 산학협력단

공동연구기관	공동연구기관	공동연구기관	공동연구기관	공동연구기관
㈜지구환경전문가그룹	㈜브니엘컨설턴트	동국대학교 산학협력단	한국생활환경 시험연구원	한국철도 기술연구원
공동연구기관	**공동연구기관**	**공동연구기관**	**공동연구기관**	
㈜특수건설	서울과기대 산학협력단	한국교통대 산학협력단	한양대학교 산학협력단	

5세부 연구내용

제1요소기술	제2요소기술	제3요소기술	제4요소기술
대심도 굴착용 CS-H 벽체 공법 개발 및 설계 요소기술 개발	CS-H 벽체 단면 구조성능 극대화 기술 및 BIM 기반의 공정관리 기술 개발	도심지 저토피 구간 굴착시 변위제한 대응형 지하횡단공법 개발	도심지 저토피 구간 지하횡단공사에 따른 위험도 평가 및 위험 수준별 대책 방안 개발
• 인공지능 기반의 CH-S 벽체 거동 예측 및 안정성 평가 시스템 개발 • CS-H 공법 개념 정립 및 설계/시공 개념 정립 • CS-H 공법 프로토타입 장비 및 시공법 개발 • CS-H 공법 설계/시공 지침 개발	• CS-H 벽체의 구조성능 최적화 단면 기술 • 스마트 계측관리 및 BIM 기반의 공정관리 시스템 개발 • CS-H 벽체의 구조 성능 및 품질 향상을 위한 채움재 개발	• SEM 공법 개발 방향 검증 및 차세대 지하횡단 공법(SEM) 개발 • SEM 공법 설계요소 기술 개발 • SEM 공법 장치 개발 • SEM공법 성능평가 및 효과 정량화	• 저토피 구간(3.5m)의 굴착시 이완영역에 대한 침하특성 평가 • 함체추진 시 SEM 파일 상호작용 평가 • 인공지능 기반 위험도 모델 및 현장시험법을 조합한 위험도 수준별 현장대응 지침 제안
			

CIP-SCW 복합 연직 지지벽체의 대심도 굴착 현장 적용을 위한 AI 기반의 핵심 설계 요소기술 개발 5-A



연구기관
성균관대학교

연구책임자
유충식
성균관대학교
건설환경공학부 교수

총연구기간
2017.02.20 ~ 2020.01.31

참여연구원
유충식 외 7명

RESEARCH PROJECTS OF 5-A

연구목표

- 해저터널 CS-H 벽체 조성공법 성능 평가 및 검증
- CS-H 벽체적용 굴착현장 AI 기반의 거동 예측 기술 개발
- 대심도 굴착현장 AI 기반의 통합 설계/해석 시스템 개발

연구내용 및 추진경과

2차년도

- CS-H 벽체 공법 시뮬레이션이 가능한 모형 장비 구축
- 기존 공법 대비 CS-H 벽체 조성공법 변위 억제 효과 검증

3차년도

- 인공지능 기반의 CS-H 적용 굴착 현장 거동예측 기술 개발
- CS-H 적용 굴착 현장 거동예측을 위한 ANN 엔진 개발
- ANN 기반의 CS-H 적용 굴착 현장 설계/안정성 검토 통합 시스템 개발 (SKKU_ExDesign)

4차년도

- ANN 학습 DB 확장을 통한 ANN 엔진 기능성 향상
- 현장 설계자료에 기반 최적설계 루틴 개발 및 시스템 적용
- 개발 시스템 안정화 및 신뢰도 평가

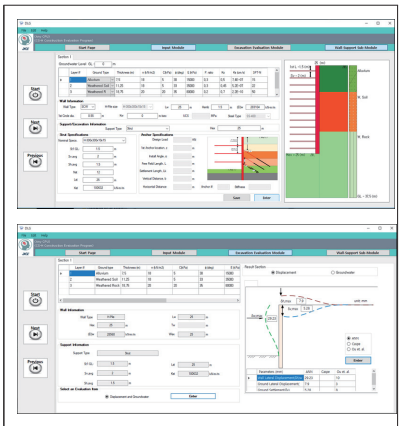
5차년도

- SKKU_ExDesign 현장 적용성 확보
  - 시험시공 현장 적용을 통한 개발 시스템 현장 적용성 검토
  - 안정성 검토 로직 신뢰성 향상

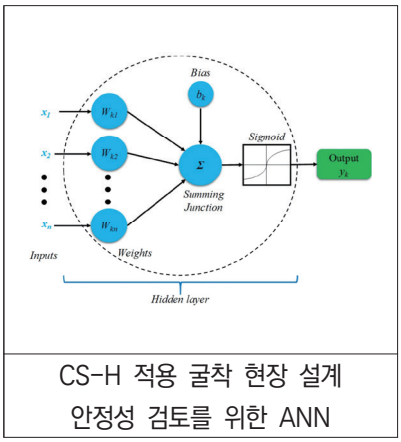
5세부과제

Development of AI-based Design and Analysis Core Technology for CIP-SCW Hybrid Excavation Wall

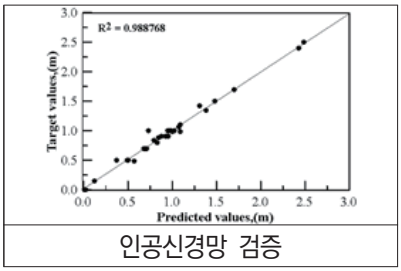
5-A



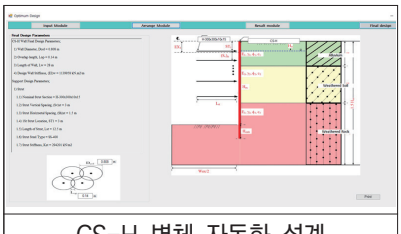
SKKU_ExDesign



CS-H 적용 굴착 현장 설계 안정성 검토를 위한 ANN



인공신경망 검증



CS-H 벽체 자동화 설계

기대성과 및 활용방안

- 지반-지하수 상호작용을 고려할 수 있는 응력-간극수압 연계해석 모델링 기법을 통해 대심도 굴착굴착설계/해석의 신뢰도 향상 가능
- 개발된 인공신경망 기반의 CS-H 공법을 포함한 도심지 굴착 현장 안정성 검토 기술은 보다 과학적인 굴착 설계/시공을 가능하게 하여 지반함몰 위험도를 저감시키는데 활용 가능
- 설계결과/계측결과/수치해석 결과를 토대로 학습된 인공신경망이 인터페이스된 대심도 굴착 현장 설계/해석 프로그램은 CS-H 벽체 공법 및 기존 굴착 벽체의 과학적인 설계/시공에 활용 가능

주요기술개발

- SCI 논문 (총 2건)
  - Effect of construction sequence on three-arch tunnel behavior Numerical investigation (2018). Geomechanics and Engineering
  - Laboratory investigation of the behavior of a geosynthetic encased stone column in sand under cyclic loading (2020). Geotextiles and geomembranes
- 비SCI 논문 (총 2건)
  - Evaluation on the Performance of Deep Excavation by Using PIV Technique (2017). 한국지반신소재학회논문집
  - 지반 굴착시 지하수위가 벽체에 미치는 영향분석 (2018). 한국지반신소재학회논문집
- 특허 출원 (총 1건)
  - 대심도 및 도심지 수직굴착시 지반변위 최소화를 위한 흙막이 벽체 시공공법 (2020. 1). 공동 출원기관: 성균관대학교, ㈜지구환경전문가그룹, ㈜브니엘컨설턴트, 동국대학교 산학협력단, 엘티삼보(주)
- 소프트웨어 등록 (총 1건)
  - SKKU-ExDesign (인공신경망 기반의 굴착 설계 해석 및 현장기반 설계제안 프로그램) (2019. 11)

대심도 수직굴착시 지반함몰 리스크 최소화 CIP-SCW 복합 연직 지지벽체 조성공법 개발 5-B



연구기관
㈜지구환경전문가그룹

연구책임자
한상재
㈜지구환경전문가그룹
대표이사

총연구기간
2017.02.20 ~ 2020.01.31

참여연구원
한상재 외 17명

RESEARCH PROJECTS OF 5-B

연구목표

- CS-H벽체 공법 개념 정립
- CS-H벽체 시공장비 개발 및 설계/시공 기술 개발
- 시공장비 실개발 지원 및 시험운용을 통한 시공성 평가
- 시험시공결과 평가/검증 및 현장 확대를 위한 방안 수립

연구내용 및 추진경과

2차년도

- CS-H 벽체 시공을 위한 장비 구축 개념 정립
  - CS-H공법 개념/요구사항(CIP공법 대비 휨강성 증가, 시공공정 단축 및 시공장비 개념 정립
- CS-H 벽체 시공을 위한 시공 개념 정립
  - 축력 유도, 수직도 유지, 코너부(곡선부) 정밀시공 장치 및 기법 제시
  - 축소모형 제작 및 운용시험을 통한 CS-H 벽체의 성능평가

3차년도

- CS-H 벽체 개념을 고려한 4축 2열 엇갈림 시공 장비 개발
  - 4축 2열 엇갈림 축소모형장비 개발 및 실대형 중공오거 적용안 제시
- CS-H 벽체 설계법 정립
  - 설계기준서, 전문 시방서 및 지보조건별 표준단면 제작
- 개발공법의 대심도 굴착 현장 시험시공 계획 수립

4차년도

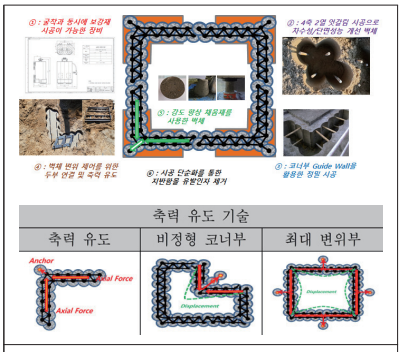
- CS-H 벽체 시공 장비 개발 지원 및 현장 적용
- 시험운용을 통한 시공성 평가
  - CIP공법 대비 시공단계 최소 2단계 축소, 두부 구속시 변위저감효과 및 공사비 감소 검증

5차년도

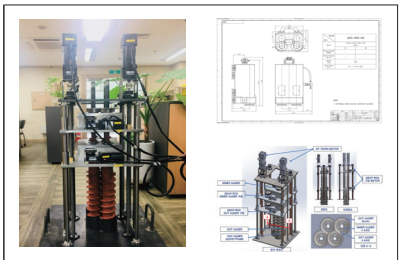
- 시험시공 결과 평가 및 검증
  - CIP공법 대비 변위저감효과 및 공사비 감소 검증
    표준품셈을 반영한 공사비 산정방법 제시(전문가 검증)
  - 굴착시 지반함몰 평가방법 제시(상관식 2개)
- 시공 지침 및 매뉴얼 작성
  - 시공매뉴얼, 설계기준서, 시방서, 표준단면도 및 내역서 제작

Development of Construction Equipment and Methods for CIP-SCW Hybrid Vertical Wall

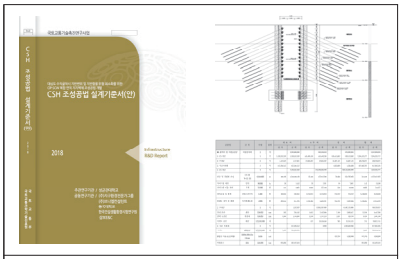
5-B



CS-H벽체 조성공법 및 개발기술의 개념



CS-H벽체 조성공법 시공장비



설계기준서, 표준도면 및 내역서



현장 시험시공

기대성과 및 활용방안

- CS-H공법 맞춤형 설계기준서, 표준단면, 시방서, 시공매뉴얼, 내역서(표준품셈)을 CS-H 벽체 조성공법 설계/시공 패키지로 공급하여 본 공법의 실용화 및 장비 개발에 활용 가능하며, 대심도 굴착 벽체의 선진 설계 기술력 확보 가능
- 기존 주열식 벽체의 문제점을 극복할 수 있는 핵심/원천 기술 (변위제어기술)로서 실용화를 통해 안전하고 경제적인 굴착 벽체 시공 가능

- 정형(수평), 비정형 단면(코너부)에 대한 보강기술(벽체 추가 개량 및 가이드 프레임 적용)의 개발로 고품질, 정밀시공의 기술력 확보 가능

주요기술개발

- 국내등재 논문 (총 2건)
  - 시멘트혼합처리공법이 적용된 지반의 수치해석 방법에 관한 연구(2018). 한국지반신소재학회논문집

- 학술발표 (총 6건)
  - CS-H벽체 축소모형실험을 통한 변위저감 효과 검증 사례 연구 (2019. 03). 한국지반신소재학회

- 특허출원 (총 1건)
  - 4축 오거장치 및 이를 이용한 연직벽체 시공방법 (2017. 06)

- 기타 (총 2건)
  - CS-H 조성공법 설계기준서 (2018)
  - CS-H 조성공법 시방서 (2018)

CS-H 벽체 시공 리스크 최소화를 위한 BIM 기반 공정 및 계측관리 기술 개발

5-C



연구기관
㈜브니엘컨설턴트

연구책임자
강인규
㈜브니엘컨설턴트
대표이사

총연구기간
2017.02.20 ~ 2020.01.31

참여연구원
강인규 외 42명

RESEARCH PROJECTS OF 5-C

연구목표

- 시공 리스크 저감 및 관리 기술 기반 연구
- 스마트 계측관리 및 BIM 기반 공정관리 시스템 개발
- 공정/계측관리 시스템 적용성 평가 및 실용화

연구내용 및 추진경과

2차년도

- 국내·외 주열식 벽체 적용 대심도 굴착 현장의 벽체 시공 및 리스크 관리 방안 사례조사
- 주열식 벽체 시공 요인별 시공 리스크 분석
- 대심도 굴착 현장 시공 리스크 레지스트리 구축 방안 분석
- 국외 대심도 굴착 현장 시공 리스크 평가 및 분석을 통한 시공관리 사례조사

3차년도

- 계측자료를 바탕으로 단계별 굴착에 따른 지반의 강성변화를 고려한 역해석 모듈 구축
- CS-H 벽체 맞춤형 계측 관리 시스템 개발
- 계측 시스템 연계 CS-H 벽체 시공 리스크 최소화 방안 수립

4차년도

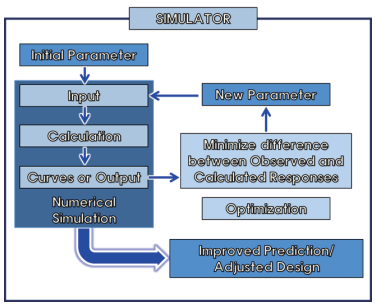
- CS-H 벽체 시공을 위한 계측 시스템 연계 맞춤형 공정 관리 시스템 개발
- 대심도 굴착현장 적용을 통한 개발 시스템의 검증 및 보완

5차년도

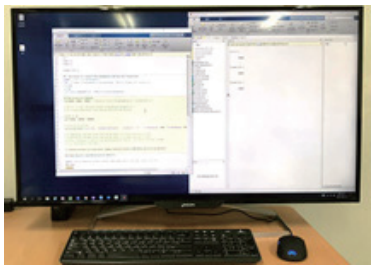
- 시험시공 현장 적용결과를 분석하여 개발 시스템의 검증 및 보완
- CS-H 벽체 시공 공정관리 및 계측관리 매뉴얼 작성 및 현장 적용성 검토

BIM-Based Construction and Monitoring Management Technology to Minimize Construction Risk of CS-H Walls

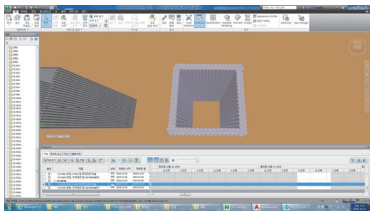
5-C



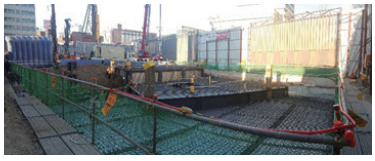
강성변화 추적 알고리즘



스마트 계측관리 시스템



BIM 기반 공정관리 시스템



개발 시스템 현장 적용성 평가

기대성과 및 활용방안

- 시공 중 계측자료를 토대로 대심도 지하굴착시 굴착지반의 강성변화를 반영하여 벽체의 거동을 정밀하게 예측함으로써 다양한 가설 흙막이 벽체의 계측관리 및 거동예측 가능
- CS-H 벽체 맞춤형 BIM 기반의 공정 관리 시스템은 BIM 기술을 도입하여 대심도 단계별 굴착 과정에 대한 시공관리에 활용
- 대심도 굴착공사에 있어 계측관리 및 시공관리를 통합하여 건설 현장의 안전관리 선진화 기대

주요기술개발

- 국내 학술회의 발표 (총 5건)
  - 2017 한국지반신소재학회 봄 학술발표회
  - 2017 한국지반신소재학회 가을 학술발표회
  - 2018 한국지반신소재학회 가을 학술발표회
  - 2018 한국지반공학회 가을 학술발표회
  - 2019 한국지반신소재학회 가을 학술발표회

- 소프트웨어 등록 (총 2건)
  - 지반변형 적응형 지반물성값 역해석 프로그램 (2017. 04)
  - 굴착공정별 배면지반 침하 계측관리를 위한 프로그램 (2018. 01)

CS-H 벽체 단면의 구조/차수성능 극대화 기술 개발

5-D



연구기관
동국대학교

연구책임자
김범주
동국대학교
건설환경공학과 교수

총연구기간
2017.02.20 ~ 2020.01.31

참여연구원
김범주 외 3명

RESEARCH PROJECTS OF 5-D

연구목표

- CS-H 벽체 개발을 위한 벽체 단면 특성 평가
- 모형실험을 통한 CS-H 벽체의 구조 및 차수 성능 평가
- CS-H 벽체의 간편해석 기법 개발

연구내용 및 추진경과

2차년도

- 수치해석을 통한 CS-H벽체의 단면 형태에 따른 성능 분석
- CS-H 벽체 개발을 위한 최적 벽체 단면 도출

3차년도

- 모형실험을 통한 CS-H 벽체의 구조 성능 평가
- 모형실험을 통한 CS-H 벽체의 차수 성능 평가

4차년도

- CS-H 벽체 단면 간편해석 기법 개발
  - 이론적 방법을 통한 CS-H 벽체의 단면조건에 따른 구조성능 분석
  - 회귀분석을 통한 CS-H 벽체 단면의 휨 강성 간편 산정식 개발

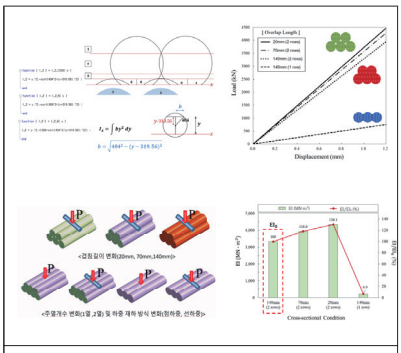
5차년도

- CS-H 벽체 간편해석기법을 이용한 등가 물성치 결정
- 수치해석을 이용한 CS-H 벽체 간편해석기법 검증
- 시험시공을 통한 CS-H 벽체 간편해석기법 현장 적용성 검토

5세부과제

Development of Cross-sectional and Waterproofing Capacity Maximization Technology of CS-H Wall

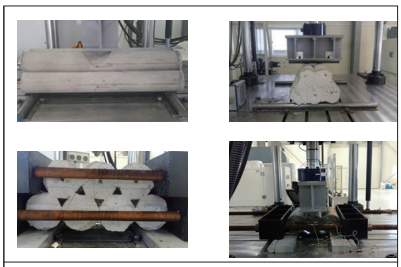
5-D



CS-H벽체의 단면 형태에 따른 성능 분석

기대성과 및 활용방안

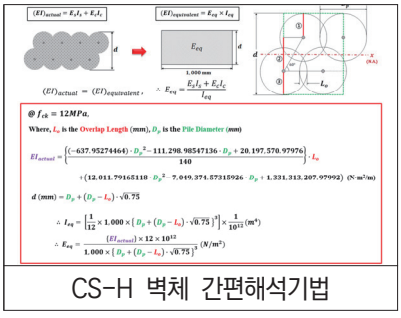
- CS-H 벽체 단면의 최적 설계를 통한 CS-H 벽체 조성 공법의 경제성 극대화
- CS-H 벽체의 단면 최적화 기술을 기존 주열식 말뚝 배치 및 지반보강을 위한 제트그라우팅 패턴 최적화 등 타 공법(분야)에 적용함으로써 긍정적 파급효과 기대
- CS-H 벽체 단면 간편해석 기법을 탑재한 설계 프로그램 개발 및 기술이전



CS-H 벽체 단면 성능 시험

주요기술개발

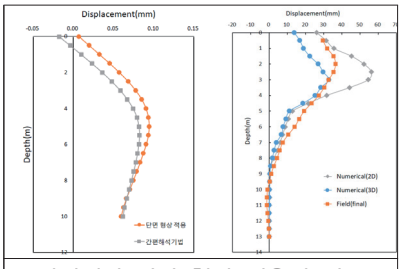
- 비SCI 논문 (총 2건)
  - 대심도 굴착면 지지를 위한 2열 겹침말뚝의 휨 강성에 관한 연구 (2018.03). 한국지반신소재학회논문집
  - 2열 겹침주열말뚝의 휨 강성 산정식 유도 (2018.12). 한국지반신소재학회논문집



CS-H 벽체 간편해석기법

- 학술발표 (총 8건)
  - CS-H 벽체 단면 등가변환식 개발 (2019. 09). 한국지반공학회 외 7건

- 특허출원 (총 1건)
  - 대심도 및 도심지 수직굴착시 지반변위 최소화를 위한 흙막이 벽체 시공공법 (2020. 1). 공동 출원기관: 성균관대학교, ㈜지구환경전문가그룹, ㈜브니엘컨설턴트, 동국대학교 산학협력단, 엘티삼보(주)



간편해석 기법 현장 적용성 검증

CS-H 벽체 구조성능 및 품질 극대화를 위한 채움재 개발

5-E



연구기관
한국건설생활환경시험연구원

연구책임자
유남재
한국건설생활환경시험연구원
강원지원 책임연구원

총연구기간
2017.02.20 ~ 2018.03.31

참여연구원
유남재 외 15명

RESEARCH PROJECTS OF 5-E

연구목표

- CS-H 벽체의 구조 성능 및 품질 향상을 위한 채움재 개발
- 벽체 채움재 품질 및 성능 극대화 기반 연구
- CS-H 벽체 공법 맞춤형 채움재의 공학적 특성 평가

연구내용 및 추진경과

2차년도

- 지반신소재를 이용한 채움재 품질 및 성능 향상 기반 연구
- 지반신소재 첨가시 채움재 강도 및 슬럼프 특성 평가

3차년도

- 맞춤형 채움재로 제작된 실대형 몰드를 이용한 재료 특성 평가
- 지반신소재 적용시 CS-H 벽체의 최적 혼입율 검증
- 실내실험 및 실대형 실험을 통한 채움재 품질 확보를 위한 최종 혼입률 제시
- CS-H 벽체의 재료 배합 관점에서의 품질 극대화 방안 수립

Development of filler material to maximize CS-H wall structure performance and quality

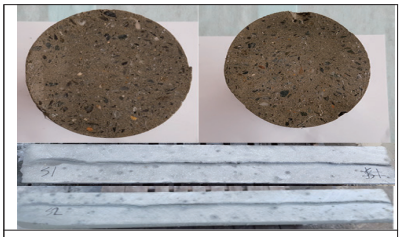
5-E



지반신소재 첨가시 슬럼프 특성 평가



CS-H 벽체 공학적 특성 평가



최적 혼입율 검증



실대형 공시체 재료 특성 평가

기대성과 및 활용방안

- CS-H 벽체의 구조성능 및 품질의 극대화를 가능하게 함으로써 대심도 굴착 현장의 안정성 극대화를 통한 국민들로부터 대심도 굴착 현장의 지반함몰의 위험성에 불식 해소 가능
- 지반신소재를 이용한 채움재 성능향상은 터널의 콘크리트 라이닝 혹은 CIP 파일 성능 향상 기술, 폐기물 매립지 차수벽체 시공기술, 그리고 저층 구조물의 기초조성 공법으로 활용 가능

주요기술개발

- 비SCI 논문 (총 2건)
  - 강섬유를 이용한 CS-H 벽체의 성능 평가에 관한 연구(2017). 한국지반신소재학회논문집
  - 섬유보강재를 이용한 흙막이 벽체 재료의 공학적 특성평가 (2019). 한국지반신소재학회논문집

- 학술발표회 논문 (총 5건)
  - CS- H 벽체 개발을 위한 지반 신소재 선정에 관한 연구(2017). 한국지반신소재학회
  - 토목섬유를 이용한 섬유보강콘크리트의 현황(2017). 한국지반신소재학회
  - CS- H 벽체 조성을 위한 슬래그의 지반 신소재 활용성 검토(2017). 한국지반신소재학회
  - 대심도 굴착을 위한 CS- H 벽체 개발에 관한 기초 연구(2017). 한국지반공학회
  - 신소재 활용을 위한 CS-H 벽체 개발을 위한 기초적 연구(2018). 한국지반신소재학회

도심지 저토피 구간 굴착시 변위제한 대응형 지하횡단공법 개발

5-F



연구기관
한국철도기술연구원

연구책임자
김현기
첨단인프라연구팀
책임연구원

총연구기간
2017.02.20 ~ 2020.01.31

참여연구원
김현기 외 12명

RESEARCH PROJECTS OF 5-F

연구목표

- 도심지 도로, 철도, 라이프라인 등 다양한 인프라와 근접하여 시공되는 비개착 공법에서 발생하는 1) 침하를 최소화하고, 2) 안정성을 향상하며, 3) 시공속도 증가로 경제성을 확보하는 새로운 개념의 비개착 공법(Super Equilibrium Method ; SEM)을 개발
- SEM-1 : 중소구경강관과 그라우팅, 굴착면 가압판, 마찰력 저감장치를 이용한 비개착공법
- SEM-2 : 회수 가능한 강관과 굴착면 경사 최적화를 이용한 비개착공법

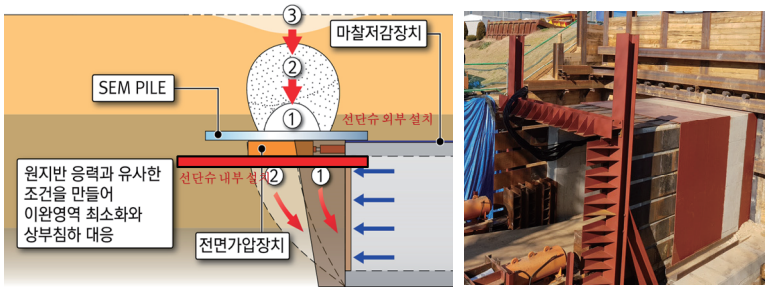
연구내용 및 추진경과

2차년도
- 비개착공법 연구개발방향 정의, 모델 및 수치해석을 이용한 구성기술 정량화 사전 평가
- 실내시험을 통한 비개착공법 성능평가

3차년도
- SEM 공법의 설계기법 검토 및 수치해석을 통한 안정성 평가
- 축소모형실험 및 실대형실험을 통한 비개착공법 성능평가

4차년도
- SEM 공법 이론적 배경 및 설계기법 개발 : 종횡방향 안정성 평가, 굴착면 안정성 평가 등
- 새로운 개념의 공법(SEM-2) 신규 개발 진행

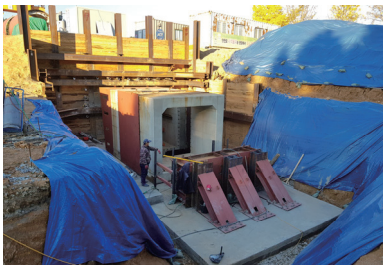
5차년도
- 비개착공법 현장시험 및 성능평가를 통한 효과 정량화
- SEM-2 공법의 실내시험 및 현장시험을 통한 성능평가



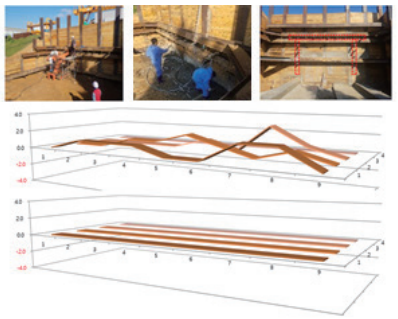
〈SEM 공법 개념〉

A Non-Open Cut Underpass Method to Minimize Displacement of Ground Surface near Urban Infra-structures

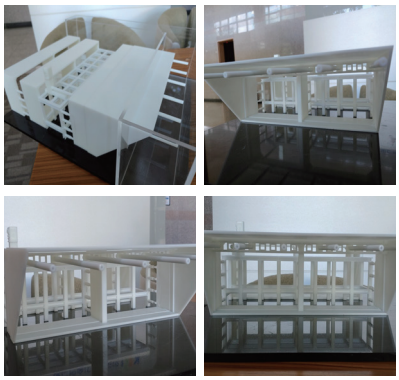
5-F



현장시험 전경



성능평가(침하저감효과)



SEM 공법 홍보용 목업

기대성과 및 활용방안

- 중소구경강관을 적용하여 기존 공법(중대구경)의 이완영역을 대폭 감소시켜 침하 20% 이상 최소화
- 굴착면 전방에 대한 사전 보강재 설치와 1) 굴착면 가압판, 2) 굴착면의 최적경사 형성 등 기술 개발로 침하 안정성 확보
- 마찰저감 플레이트 개발로 견인잭 25% 저감 : 시공속도 20% 향상을 통한 경제성 확보
- 사업화 방안
  - 사업화 모형(BM)을 통한 수익 창출을 검토하고, 2020년 SEM공법 기계화 시공 공종 보완 및 수립
  - 개발공법 단계별 적용 확대로 수주범위 50% 이상 목표

항목	SEM	NTR	FJ	메사쉴드
공사 기간	180day	240day	210day	225day
	100%	133%	117%	125%
공사비	472백만원	618백만원	638백만원	486백만원
	100%	131%	135%	103%

주요기술개발

- 국외 논문(2건)
  - Failure evaluation method for a slope monitoring system(2018), International Journal of TRANSPORT, Vol. 2, No. 3
  - A method to estimate failure surfaces of a slope using variation of ground inclination(2017), Railway engineering, Vol. 3, No. 4
- 국외 SCI 논문(1건)
  - Assessment of settlement profile caused by underground box structure installation with an artificial neural network model(2018), Journal of the TRB, Vol, 2672, No. 52
- 국내 논문(2건)
  - 수치해석에 의한 비개착 공법(SEM)의 최적 설계단면 결정(2018), 도시철도학회논문집, Vol. 6, No. 3
  - 회수가능한 강관과 굴착면 경사변화를 이용한 비개착굴착공법 설계법(2019), 한국지반신소재학회지, No. 18, Vol. 4
- 특허 출원(2건)
  - 회수가능한 수평파일과 굴착면의 경사도를 이용한 비개착 공법(제10-2019-0049928호)
  - CEL 해석기법을 이용한 비개착 공법 해석 방법(제10-2019-0069370호)

차세대 지하횡단공법(SEM)의 장치 개발

5-G



연구기관
(주)특수건설

연구책임자
김형규
(주)특수건설
기술연구소 소장

총연구기간
2017.02.20 ~ 2020.01.31

참여연구원
김형규 외 8명

RESEARCH PROJECTS OF 5-G

연구목표

- 굴착 지반의 이완과 굴착 상부지반의 초기 침하 억제가 가능한 SEM 공법 장치 개발
- SEM공법 장치의 메커니즘 규명 및 조합성능 평가

연구내용 및 추진경과

2차년도
- SEM공법 장치 구성 및 예측 Model 개발, 설계
- SEM공법 축소모험용실험용 장치 제작

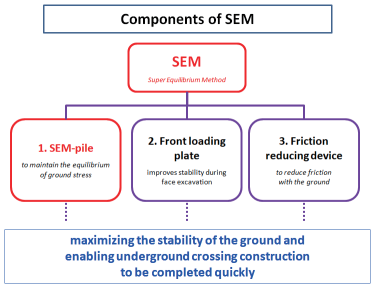
3차년도
- 실대형실험용 장치개발 및 (개선)제작
- SEM파일 성능 최적화 기술개발 및 적용성 검토
- 그라우팅 성능 요구사양 정의

4차년도
- 현장시험용 장치개발 및 (개선)제작
- SEM Test Bed 부지조성 및 현장시험
- 현장시험시공을 통한 개발 장치의 메커니즘 및 성능검증

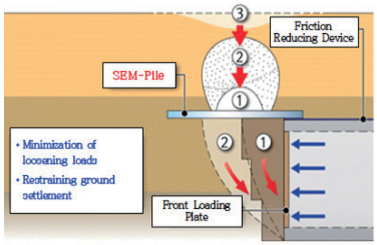
5차년도
- SEM Test Bed 철거 및 부지복원
- SEM장치의 조합성능 및 효과분석
- SEM공법 및 장치설계 등 사양 정의
- 공법 설계 및 시공 관련 기술자료, 안전관리메뉴얼 등

Device Development of Advanced underpass construction method(SEM)

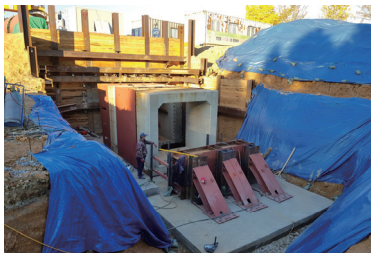
5-G



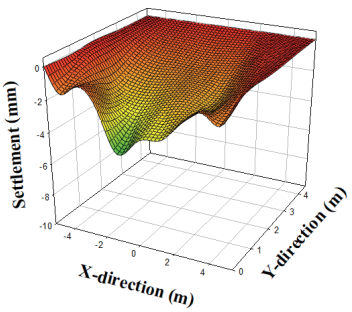
SEM 응력대응 개념



SEM공법의 장치구성



SEM Test Bed



SEM공법 지표변위영향 저감

기대성과 및 활용방안

- 시공속도 20% 이상 향상 및 지반과 상부 구조물의 안전 조기확보
- 기존 중구경 강관을 이용하여 진행하던 기존 비개착 공법의 한계점을 극복하여 이완영역을 20% 저감
- 안정성 향상과 동시에 약 20% 수준의 공사비 절감
  - 사업화 모형(BM)을 통한 수익 창출
  - 2020년 SEM공법 기계화 시공 공종 보완 및 수립
  - 개발공법의 단계별 적용확대로 향후 수주범위 50% 이상 목표

주요기술개발

- 비 SCI 논문 (총 1건)
  - SEM파일의 이완하중 산정방법별 이완하중량 비교 연구
- 특허 등록 (총 2건)
  - 비개착 구조물 시공을 위한 강관 다단 그라우팅 및 이를 이용한 구조물 시공방법
  - 비개착 구조물 시공을 위한 마찰저감 장치 및 이를 이용한 비개착 구조물 시공방법
- 사양서 작성 (총 1건)
  - SEM공법 사양서 : 설계편
  - SEM공법 사양서 : 시공편
  - SEM공법 사양서 : (부록)안전관리계획서

지하횡단 공사에 따른 지반변형특성 평가 및 SEM 공법 수치해석 기법 개발

5-H



연구기관
서울과학기술대학교

연구책임자
조국환
서울과학기술대학교
철도건설공학과 교수

총연구기간
2017.02.20 ~ 2020.01.31

참여연구원
조국환 외 12명

RESEARCH PROJECTS OF 5-H

연구목표

- 저토피 구간(3.5m) 굴착시 지반 이완영역에 대한 침하특성 평가
- SEM공법의 수치해석 구현을 통한 시공단계별 지반거동 분석
- 최적 SEM공법의 수치해석 방법 및 해석기법 정량화

연구내용 및 추진경과

2차년도

- 지반이완영역에 따른 침하특성 자료조사
- 지반이완영역 거동 분석을 위한 토조 및 강관 제작

3차년도

- 모형실험을 통한 지반이완영역 거동 분석
  - 강관 압입 방향별(횡·종방향) 지반이완 거동형태 검토
  - 압입개수 증가에 따른 지반거동 수렴형태 분석

4차년도

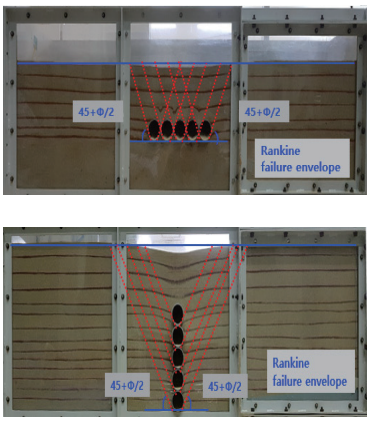
- SEM 공법 정의를 위한 CASE별 수치해석 검토 및 분석
  - 모형실험에 따른 수치해석적 구현시 신뢰성 검토
  - 수치해석을 통한 관경비(H/D)에 따른 지표침하 비교·분석

5차년도

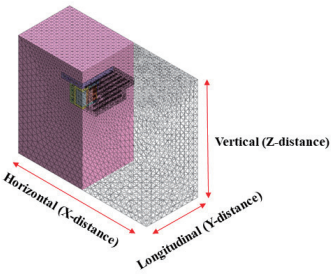
- 최적 SEM공법의 수치해석적 검토 및 정량화
  - SEM공법 시공단계별수치해석(강관압입 방향별, 압입개수별, 박스구조물 추진길이 등) 구현
  - 최적 SEM공법의 수치해석 방법 및 해석기법 정량화

Evaluation of Ground Deformation Characteristics for Underground Box Structure and Development of SEM Analysis

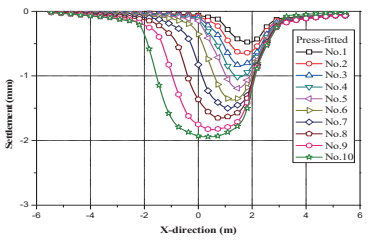
5-H



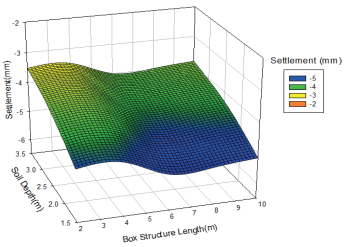
강관압입시 복합 지반거동 분석



수치해석적 모델 구성



시공단계별 지반거동 비교



SEM공법 해석기법 정량화

기대성과 및 활용방안

- 지반손실의 근본적인 원인 및 시공단계별 지반변형특성을 파악하여 도심지 저토피고 구간에 SEM공법 적용시 지반이완 범위 및 최대 침하량 등을 예측하여 조기 침하피해 발생 방지

- 소구경 강관다단 그라우팅 등을 개선한 SEM 파일과 선단슈 압입, 박스 견인 등의 조합을 통해 지반 이완 및 변위 등을 고려한 해석기법으로 지하공간의 활용도 향상

주요기술개발

- 비SCI 논문 (총 1건)
  - Study on Applicability of Shale as an Embankment Material in Railway Roadbed Using Slake Durability Test (2018). 한국철도학회논문집

- 국내 및 국제 학술회의 발표 (총 5건)
  - Complex Behavior Characteristics of the Ground Under Multi-Pressed in Pipes for Non-Open Cut Construction by Laboratory Tests(2017). 11th International Conference on Building Design, Civil, Materials and Transportation Engineering
  - 비개착공법 적용시 발생하는 지반변형특성에 관한 3차원 수치해석 (2019). 한국지반신소재학회 추계학술발표회

도심지 저토피구간 지하횡단공사에 따른 위험도 평가

5-I



연구기관
한국교통대학교

연구책임자
오정호
한국교통대학교
철도인프라시스템공학과 교수

총연구기간
2017.02.20 ~ 2019.01.31

참여연구원
오정호 외 3명

RESEARCH PROJECTS OF 5-I

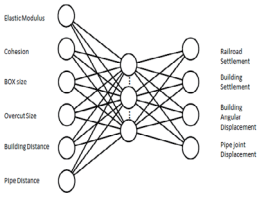
연구목표

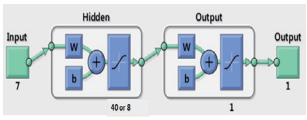
- 다양한 인자를 고려한 SEM 공법 시공 시 침하특성 예측 모델 및 변위제한 기준 개발
- 비파괴 및 지지력 시험을 활용한 위험도 평가기법 개발
- 위험도 수준별 현장대응 매뉴얼 개발

연구내용 및 추진경과

2차년도

- 모형시험 및 수치해석 수행을 통한 위험도 예측 모델 개발
- 비파괴 및 지지력 시험 활용 위험도 평가기법 개발



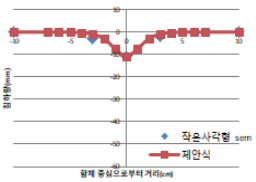


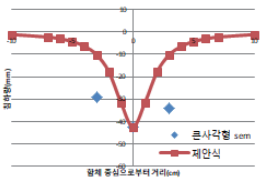
3차년도

- SEM 공법 시공 시 위험도 평가를 위한 수치해석 수행
- 수치해석 결과를 활용한 인공지능기법 기반 위험도 모델 수립
- 실내모형토조실험 수행을 통한 위험도 모델 제한적 검증
- 실대형시험 수행을 통한 비파괴 및 지지력 시험 활용한 위험도 평가기법 제안



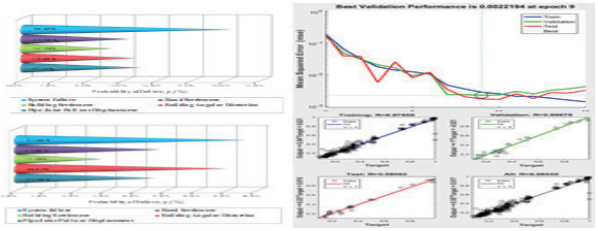
<측면부>





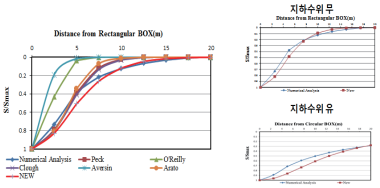
4차년도

- 실내 및 실대형시험 수행을 통한 위험도 평가 모델 보완
- 인공지능 기반 위험도 모델 및 현장시험법을 조합한 위험도 수준별 현장대응 지침 제안

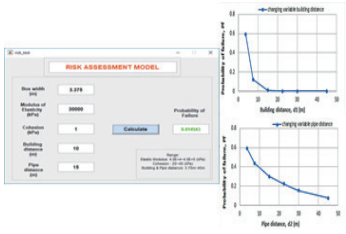


Assessment of Risk Potential Due to Underground Box Structure Installation in Shallow Depth

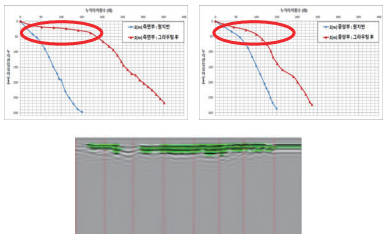
5-I



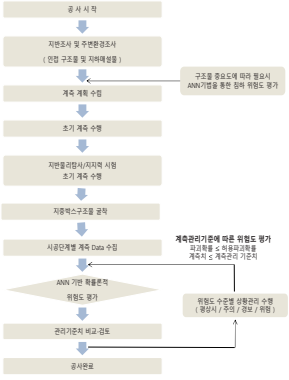
다양한 인자를 고려한 위험도
모델 S/Smax 그래프 비교 분석



ANN기법을 활용한 위험도 모델



현장시험법을 활용한 위험도 평가



시공중 위험도 평가방안(안)

기대성과 및 활용방안

- 도심지 저토피 구간 지하횡단공사에 따른 지반의 위험도 평가 및 위험도 수준별 효율적인 시공관리 가능
- 도심지 저토피 구간 지하횡단공사시 시공중, 유지관리 단계에서 지반의 위험도 수준 평가 및 위험도 수준별 대책 매뉴얼로 활용

주요기술개발

- SCI 논문 (총 2건)
  - Assessment of Settlement Profile Due to Underground Box Structure Installation Using An Artificial Neural Network Model (2018). Journal of the Transportation Research Board
  - Assessment of Risk Potential Due to Underground Box Structure Installation Employing ANN Model And Field Experimental Approaches (2020). Journal of Performance of Constructed Facilities.
- 비SCI 논문 (총 1건)
  - 실내실험 및 수치해석을 통한 도심지 저토피구간 비개착 지중구조물 굴착에 따른 침하 형상 예측에 대한 연구 (2019). 한국철도학회논문집

함체추진과 전면 가압판 지반손실에 따른 SEM 파일 상호작용평가

5-J



연구기관
한양대학교

연구책임자
유한규
한양대학교
건설환경공학과 교수

총연구기간
2017.02.20 ~ 2019.01.31

참여연구원
유한규 외 7명

RESEARCH PROJECTS OF 5-J

연구목표

- 함체추진에 따른 SEM 파일 및 지반의 상호작용 평가
- 가압판 후퇴에 따른 SEM 파일 및 지반의 상호작용 평가

연구내용 및 추진경과

3차년도

- 축소모형실험 장치 개발
- 모형실험을 통한 함체 추진에 따른 SEM 파일 거동 분석

거동 분석

- 1단 터널 SEM 파일 거동 분석
- 1단(2단크기) 터널 SEM 파일 거동 분석
- 1단(2단크기 터널(선단슈 제외) SEM 파일 거동 분석

- 모형실험을 통한 가압판 후퇴에 따른 SEM 파일 거동 분석

거동 분석

- 1단 터널 SEM 파일 거동 분석
- 1단(2단크기) 터널 SEM 파일 거동 분석
- 1단(2단크기 터널(선단슈 제외) SEM 파일 거동 분석

2단 터널 중 중간 SEM 파일 거동 분석



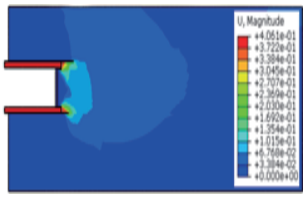


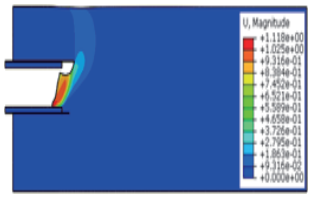
4차년도

- 수치해석을 통한 함체 추진과 가압판 후퇴에 떠른 SEM 파일

거동 분석

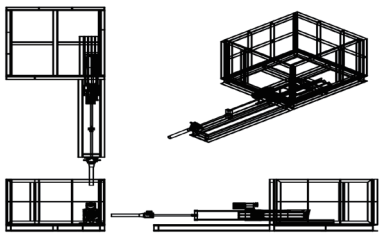
- 토피고 3.5m에서의 거동 분석
- 토피고 2.5m에서의 거동 분석
- 토피고 1.5m에서의 거동 분석



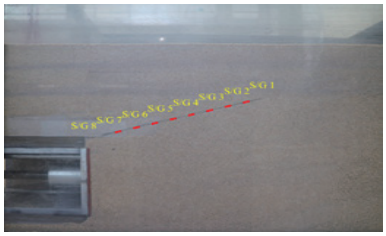


Evaluation of SEM Pile Interaction Due to Box Forwarding and Ground Loss of Pressure Device

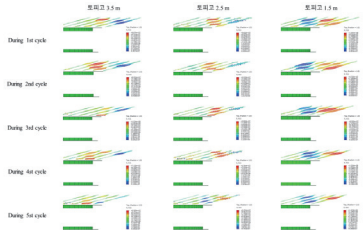
5-J



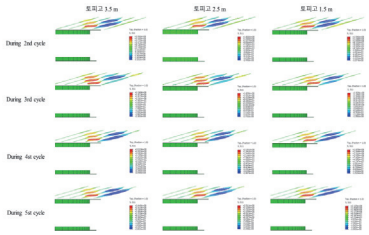
축소모형실험 장치 설계도



축소모형실험에서의
SEM 파일



함체추진에 따른 파일의 응력



가압판 후퇴에 따른 파일의 응력

기대성과 및 활용방안

- SEM 공법을 이용한 비개착 터널 시공과정에서 발생할 수 있는 SEM 파일과 지반의 변화를 예측가능
- 함체 추진 및 가압판 후퇴에 따른 SEM 파일의 거동을 예측하여 SEM 파일의 설계시 적용가능

주요기술개발

- SCI 논문 (총 2건)
  - Impact of Shear Zone on Rockburst in the Deep Neelum-Jehlum Hydropower Tunnel: A Numerical Modeling Approach (2018). Energies
  - An Empirical Approach for Tunnel Support Design through Q and RMi Systems in Fractured Rock Mass (2018), Applied Sciences

- 비SCI 논문 (총 1건)
  - 굴착으로 인한 응력전이효과를 고려한 터널의 지반이완하중 평가 (2018). 한국터널지하공간학회논문집