

수평굴착 기술을 활용한 도심지 지하붕괴 매몰지역의 긴급구호 방안에 관한 연구*

A Study on Rapid Rescue Alternative for Urban Collapse and Burial Areas Using Horizontal Drilling Technologies

Jin Woo Cho**, Soo Ho Chang***, Hak Seung Kim****, Ju Hyung Lee*****

Geotechnical Engineering Research Institute, Korea Institute of Civil Engineering and Building
Technology, Goyangdae-ro, Ilsanseo-gu, Goyang-si, Gyeonggi-do, 10223, Korea

Abstract

The overcrowding of the city has increased the number of underground facilities, such as subway, underpass, underground public spaces, and so forth. Moreover, a growing risk of collapse has been observed due to deterioration of the facilities. The deeper urban underground facilities were installed, the more limitations the traditional method using only traditional heavy equipments faced in rescuing isolated victims rapidly and safely. In this study, a rapid rescue technology based on horizontal drilling techniques was proposed to minimize the loss of human lives and properties resulting from collapse and burial accidents.

Key words: underground collapse, rapid rescue, horizontal drilling techniques

* 이 논문은 한국건설기술연구원 2015년도 주요사업 “시나리오 기반 인명구호용 수평굴착 및 안정화 기술 개발”
과제의 지원에 의해 연구되었음.

** Tel. +82-31-910-0780. Fax. +82-31-910-0561. E-mail. jinucho@kict.re.kr

*** Tel. +82-31-910-0661. Fax. +82-31-910-0561. E-mail. sooho@kict.re.kr

**** Tel. +82-31-910-0277. Fax. +82-31-910-0561. E-mail. zeckimhs@kict.re.kr

***** Corresponding author, Tel. +82-31-910-0563. Fax. +82-31-910-0561. E-mail. leejh73@kict.re.kr

Submission & Publication Process

Received: Aug. 5, 2015 / Revised: Sep. 7, 2015 / Accepted: Sep. 15, 2015

국문초록

도시 과밀화로 지하철, 지하도, 지하 공용 공간 등 도심지 내 지하시설물은 날로 증가되고 있으며, 노후화와 지하수위 저하에 따라 붕괴 위험이 점점 증가되고 있다. 또한, 도심지 지하시설물의 심부화로 인하여 재래식 중장비를 이용한 기존의 구호방식으로는 고립된 인명의 신속하고 안전한 구호에 한계가 있다. 본 연구에서 도심지 내 시설물의 붕괴 및 매몰사고 발생 시 인명과 재산피해를 최소화하기 위하여 수평굴착 기술을 바탕으로 한 긴급 구호 방안을 제안하였다.

주제어: 지하붕괴, 긴급구호, 수평굴착

I. 서론

과거 삼풍백화점 붕괴사고를 비롯한 각종 구조물 붕괴사고 사례들과 최근 세월호 참사에서 나타난 바와 같이, 국가적 재난 발생 시 초기 대응기술의 미확보는 대규모 인명 및 재산 피해를 야기할 수 있다. 또한 최근 연이은 대형 참사로 인한 안전에 대한 국민적 경각심 및 사회적 불안감 해소를 위하여 정부의 구체적이고 신속한 대책 마련이 필요하다. 특히, 붕괴 및 매몰 등으로 인한 인명피해 발생 시 신속한 해결방안이 마련되지 못할 경우 국민의 정부에 대한 신뢰 및 사회적 혼란은 매우 커질 수 있다.

산업화 및 도시 과밀화를 통해 시설물이 점점 대형화, 고층화되고 있으며, 대심도 굴착기술, 터널 굴착기술의 발전을 통해 지하철, 지하도로, 지하공간 등의 시설이 증가되고 있어 붕괴사고 시 엄청난 피해가 발생할 수 있다. 또한, 도심지 지하시설물의 노후화와 대심도화로 인하여 대규모 붕괴 위험이 높아지고 있다(KICT, 2014).

현재 도심지 지하구조물 붕괴에 대한 긴급구호 체계를 살펴보면 재래식 중장비와 인력을 활용하여 상부에서부터 붕괴된 구조물 잔해를 해체해 가며 인명을 구호하는 방법을 사용하고 있어 인명구호에 많은 시간이 소요되고 있다. 또한, 상부에서부터 인명을 구호하는 기존의 방법은 굴삭기, 크레인 등의 시공장비를 조합하여 재난 현장에 투입, 활용하고 있으나 장비의 무리한 진입으로 지반이나 구조물의 추가 붕괴를 야기할 수 있어 지하에 고립된 생존자들에게 2차 피해를 유발할 수 있다. 본 연구에서는 국내 지하붕괴 사례 분석 및 수평굴착기술을 활용한 인명구호용 생명선 설치 방안 검토를 통하여 도심지 지하붕괴 매몰지역의 긴급구호 개선 방안을 제시하고자 한다.

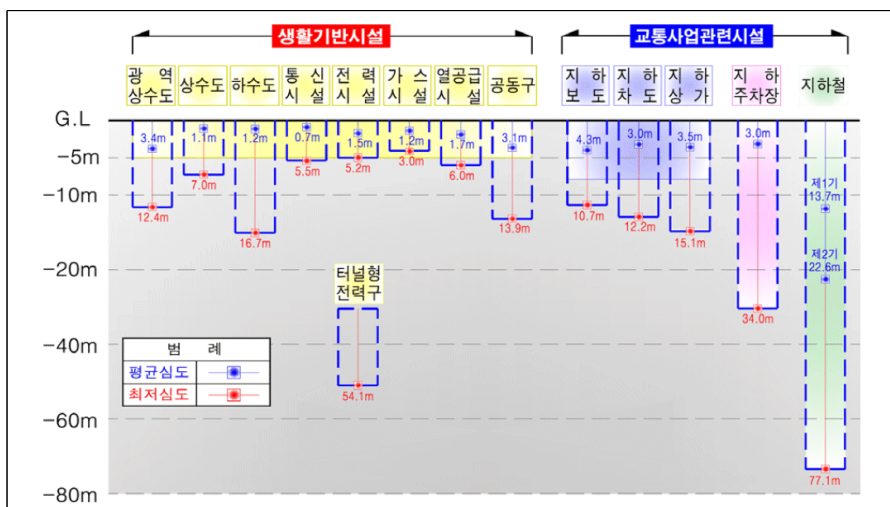
II. 국내 지하공간 현황 및 사고 사례 분석

국내 지하공간 개발에 대한 관심은 1970년대 서울지하철 건설 추진으로 시작되었으며, 1980년 중반

부터 지하주차장, 고속철도 터널, 지중선 터널, 지하발전소, 대형 쇼핑몰, 문화시설 등 본격적으로 지하공간 개발이 착수되었다.

<Figure 1>은 국내 지하시설물 설치심도 현황을 보여주고 있다. 5m 이내의 심도에는 인간의 활동이 없는 생활기반 시설(통신, 전력, 상수도 등)이 집중적으로 분포하고 있으며, 이러한 생활기반 시설은 구호대상 시설물은 아니지만 구호를 위한 굴착 작업에 큰 방해 요소로 작용할 수 있다. 지하보도, 차도, 상가, 주차장은 20m 내외의 구간에 분포되어 있다. 지하철의 경우 지중시설물 과밀화에 따라 1기 지하철(평균 13.7m)에 비해 2기 지하철(평균 22.6m)이 더 깊은 심도에 위치하고 있으며, 신설구간인 분당선 강남구청역의 경우 최대 심도 77.13m에 달한다. 현행 지하시설물의 설치 심도를 검토하였을 때 국내 도심지 지하에 위치한 지하철, 상가, 보도, 주차장 등의 유인기반시설은 대부분 지하 20m 미만의 심도에 분포되어 있어, 재난 시 구호를 위해서는 최소 20m 이하에서 수평굴착이 가능한 기술이 요구된다.

<Table 1>은 국내외 붕괴 및 매몰사고 사례를 보여주고 있다. 도심지 지하시설물의 대심도화 및 노후화로 인하여 대규모 붕괴 위험이 높아지고 있다. 삼풍백화점 붕괴사고의 경우 1,440명의 인명피해(사망 502명, 부상 937명, 실종 6명)와 막대한 재산피해(건물 1동, 차량 310대, 869개 업체 물품 파손)가 발생하였으며, 대구 상인동 지하철 건설현장 폭발사고의 경우 303명의 인명피해(사망 101명, 부상 202명)와 재산피해(건물 80여 채, 차량 150대 이상 파손)가 발생하였다. <Table 2>는 1993년부터 2009년까지 소방방재청 사고통계 자료를 가지고 정리한 국내 지하공간 사고현황을 나타내고 있다. 전체 21건 중 화재로 인한 사고가 17건으로 가장 많았고, 이어 화재, 붕괴, 가스(폭발), 침수 순으로 나타났다.



<Figure 1> Installation depth status of underground facilities (Seoul Development Institute, 2010)

<Table 1> Cases of domestic and overseas collapse and burying accidents (National Emergency Management Agency, 2010)

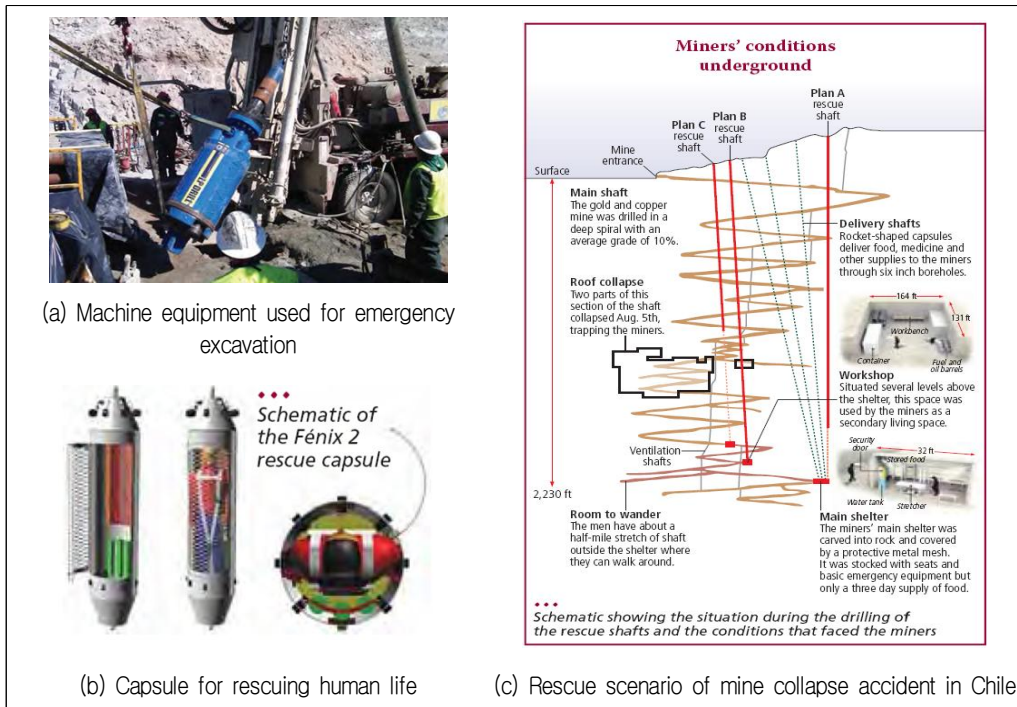
Disaster type	Year of occurrence	Place of accident	Cause of accident	Damage status
Collapse	1993	Train overturn in Gupo-dong, Buk-gu, Busan	The train was overturned due to the collapse of railroad track during the excavation works of underground tunnel crossing the railroad for underground line construction of KEPCO.	Fatalities: 78 people Injuries: 196 people
	1995	Sampoong Department Store in Seoul	The structure was collapsed due to faulty construction works and impractical design changes.	Fatalities: 502 people Injuries: 937 people (The last survivor was rescued in 17 days) Missing: 6 people
	1995	Subway construction site in Sangin-dong, Daegu	Explosions occurred and structure collapsed due to inflow of city gas caused by penetration of gas pipe while excavation work at new Daegu Department Store building construction site.	Fatalities: 101 people Injuries: 202 people
	2000	Subway construction site in Namsan-dong, Jung-gu, Daegu	Temporary facility was pushed by earth pressure and the ground was collapsed during excavation work.	Fatalities: 3 people Injury: 1 person
	2010	San Jose mine in Chile	The mid section of mine was collapsed due to explosions.	All 33 buried people rescued (Rescue period - 69 days)
	2014	Gold mine in Colombia	The ground was collapsed during drilling operation for mining	Fatalities: 3 people Missing: 30 people (All 30 people buried)
	2014	Coal mine in Turkey	Explosions occurred due to fire at the power distributor inside the coal mine.	Fatalities: 301 people dead Rescue: 122 people (Buried mine workers rescued) Escape: 363 people
Burying	2014	Umyeonsan mountain in Seocho-gu, Seoul	Landslide occurred due to localized heavy rain.	Fatalities: 16 people Injuries: 51 people (1 buried person rescued in 20 hours)
	2014	Badakshan, Afghanistan	Landslide occurred due to heavy rain and flood	Fatalities: approximately 2700 people Missing: over 2100 people

III. 수평굴착기술을 활용한 도심지 지하붕괴 매몰지역의 긴급구호 방안

1. 수평굴착기술을 활용한 인명구호 시나리오

앞서 언급한 바와 같이 도심지 지하붕괴 시 기존의 인명구호 체계는 굴삭기, 크레인 등의 재래식 중장비와 인력을 활용하여 상부에서부터 붕괴된 구조물 잔해를 해체해 가며 인명을 구호하는 방법을 사용하고 있어 인명구호에 많은 시간이 소요되고 있으며, 장비의 무리한 진입으로 지반이나 구조물의

추가 붕괴를 야기할 수 있다. 굴착기술을 활용한 매몰지역 인명구조의 대표적인 사례는 2010년 칠레의 San Jose 광구 광부 매몰사고로 33명의 광부를 2달간의 굴착을 통하여 구조하였다. 매몰지역 3개 지점에서 첨단 굴착장비를 활용하여 동시에 굴착작업을 수행하였으며, 식료, 식수, 산소 공급 등 초기대응 조치를 위한 1차 굴착(직경 300mm)과 인명구조를 위한 2차 굴착작업(직경 700mm)이 수행되었다.



<Figure 2> Equipment and Rescue scenario used in field rescue for mine collapse accident in Chile (Jennings, 2012)

칠레 탄광 붕괴사고에 사용되었던 첨단부 굴착기술은 토목 물리탐사, 석유 등 자원 개발, 지하수 및 온천개발의 목적으로 활발하게 기술이 적용되고 있으나, 타겟형 정밀제어 굴착이 아닌 단순 수직공 굴착기술로 수행되어 붕괴지역 상부에 존재하는 건물 잔해와 상하수도관, 통신관 등의 지하매설물을 고려할 때 도심지 지하붕괴 매몰지역에 적용하기에는 많은 문제점을 가지고 있다.

<Figure 3>은 본 연구에서 제안하고자 하는 수평굴착기술을 활용한 도심지 지하붕괴 매몰지역의 긴급구조 방안의 모식도를 보여주고 있다. 기존에는 중장비 및 인력을 이용하여 상부로부터 붕괴잔해를 해체해가는 인명구조 방식을 사용하고 있으나, 이러한 방식은 인명구조에 장시간이 소요되며 추가 붕괴의 우려를 가지고 있다. 이에 대한 대안으로 인접건물 및 수직구를 이용하여 매몰지점까지 수평 굴착이 가능하다면 보다 신속하고 안전한 인명구조 작업을 수행할 수 있을 것으로 판단된다.



(a) Previous relief method (Remove debris from the top using heavy equipment and manpower)



(b) Relief method using horizontal excavation (Use adjacent buildings and vertical holes)

<Figure 3> Outline of life relief using horizontal excavation technology

2. 긴급구호를 위한 수평굴착기술 요구사항 설정

<Table 3>은 긴급구호를 위한 수평굴착기술의 요구사항을 나타내고 있다. 굴착직경의 경우 구조대원들의 구조작업에 필요한 최소 작업반경인 900mm 이상으로 설정하였으며, 굴착연장은 도심지 인접 구조물간 최대 거리인 50m 이상으로 설정하였다. 굴착지반의 경우 도심지 심도 20m 이하의 경우 대부분 풍화암인 것을 고려하여 토사~암반에 대응할 수 있도록 설정하였으며, 굴착 후 매몰지점의 철근콘크리트 벽체를 굴착할 수 없는 점을 고려하여 도달기지 없이 벽체 앞까지 굴착 후 굴착장비를 다시 추진기지로 회수할 수 있게 설정하였다. 또한 인접건물 지하 및 수직구 투입을 위하여 장비 크기를 설정하였으며, 굴착 시 주변지반 및 매몰지역의 안정성에 영향을 최소화하기 위하여 저진동 공법을 우선적으로 설정하였다.

<Table 3> Requirements for horizontal excavation technology


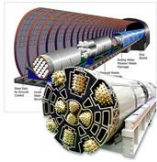

Item	Requirements	Details
Diameter	Over 900mm	- Mine accident in Chile (700mm) - Considered the work space of rescue experts
Extension	Over 50m	- Distance to the adjacent structure in downtown area : Up to 50m
Excavation ground	Soil~bedrock	- below -20m at downtown area: Weathered rock
Arrival base	Return to the advance base after excavation	- Reinforced concrete wall on collapsed area: Removed by rescue expert manpower
Size of equipment	h=2.1~2.4m	- Considered the access to the underground parking lot of the building and operating radius
Influence to the surrounding area	Low vibration	- Minimize ground vibration

3. 긴급구호를 위한 수평굴착기술 적용성 검토

<Table 4>는 긴급구호를 위한 수평굴착기술의 적용성 평가 결과를 나타내고 있다. 추진공법의 경우 대표적인 비개착공법으로 지반굴착과 동시에 관을 압입시키는 공법으로 토사지반에서는 오거굴착, 암반구간에서는 인력굴착을 통하여 지반조건에 대응이 가능하다는 장점이 있다. 그러나 암반구간에서 인력굴착으로 인하여 굴착속도가 현저하게 떨어진다는 단점이 있어 대상토질이 주로 토사지반인 경우에 적합한 것으로 평가되었다. 세미셴드공법의 경우 타 비개착굴착 또는 기계굴착 공법 대비 굴착속도가 빠르다는 장점이 있으나 장비의 이동, 설치, 초기굴진을 위한 반력대 설치 등에 상당한 시간이 소요되는 단점이 있어, 주로 경암지역이 있을 경우 적용가능할 것으로 판단된다. 마지막으로 수평천공 T4의 경우 굴착속도 및 장비의 이동 설치면에서 매우 뛰어난 적용성을 나타내고 있으나, 굴착 시 진동으로 인한 주변 지반 및 매물공동의 안정성에 영향을 고려해야 할 것으로 판단된다.

최적의 수평굴착기술은 해당지역의 토질, 지하수위 등의 지질학적 리스크, 주변환경 피해, 관련 법규 등의 사회적 리스크, 시공 지체 요인 등의 시공 중 리스크, 장비 성능 등의 장비 관련 리스크 등을 종합적으로 평가하여 도출될 수 있을 것이다. 확률론적 위험도 분석방법의 접목을 통한 민감도 분석 및 가중치 부여를 통하여 리스크를 최소화할 수 있는 수평굴착기술을 선정해야 할 것이다. 최적의 장비/공법 조합을 선정하기 위한 결정인자들은 지반조건, 굴착속도, 굴착개시 소요시간, 굴착면의 자립성, 작업공간의 규모, 주변지장물의 영향, 지하수위의 위치 등으로 구분할 수 있다. 또한 인접건물을 활용함에 있어 건물의 안정성, 사유재산 활용 가능성, 유관기관과의 협조 등 법적·제도적 판단을 고려한 종합적인 의사결정이 이루어져야 할 것이다.

<Table 4> Review of Applicability of horizontal excavation technology

Classification	Jacking method (steel pipe injection)	Semi-Shield method (Micro-tunneling)	Horizontal Directional Drilling (T4)
Photo			
Diameter (mm)	400~1,400	300~1,200	400~1,200
Excavation speed (m/day)			
Bedrock (Hard rock)	0.5~1	5~20	20~30
Bedrock (Weathered rock)	2~5	10~30	20~30
Soil	10~20	10~30	20~30
Cobble Stone	2~5	10~25	20~30
Advantage	-Possible to support the excavation part by steel pipes -Possible to respond flexibly according to ground conditions	-Fast excavation speed -Secure safety by following steel pipes	-Fast excavation speed -Possible to move and install equipment fast
Disadvantage	-The excavation speed is reduced when bedrock appears	-It takes a long time to move and install equipment -Scarcity in equipment	-Surrounding ground disturbance due to vibration -Less construction record of large diameter (1,000mm)

IV. 결론

도심지 지하시설물의 노후화와 대심도화로 인하여 대규모 붕괴 위험이 높아지고 있는 시점에서 본 연구에서는 국내 지하붕괴 사례 분석을 통한 개선된 도심지 지하붕괴 매몰지역의 긴급구호 개선 방안을 제시하였다. 본 연구에서 제시한 새로운 개념이 국민의 인명과 재산을 보호하는데 기여할 것으로 기대하며 추후 우리나라 긴급구호 기술의 패러다임을 변화시키는데 단초가 될 수 있을 것으로 생각한다.

1. 국내 도심지 지하에 위치한 지하철, 상가, 보도, 주차장 등의 유인기반시설은 대부분 지하 20m 미만의 심도에 분포되어 있어, 재난 시 구호를 위해서는 최소 20m 이하에서 수평굴착이 가능한 기술이 요구된다.

2. 굴착기술을 활용한 매몰지역 인명구호의 대표적인 사례는 2010년 칠레의 San Jose 광구 매몰사고 사례를 들 수 있으나, 이 방법은 단순 수직공 굴착기술로서 붕괴지역 상부에 존재하는 건물 잔해와 상하수도관, 통신관 등의 지하매설물을 고려할 때 도심지 지하붕괴 매몰지역에 적용하기에는 많은 문제점을 가지고 있다.

3. 수평굴착 기술 분석을 통하여 토사지반인 경우 추진공법, 경암지역인 경우 세미셴드 공법, 복합지반인 경우 T4를 이용한 수평천공공법의 적용성이 뛰어날 것으로 판단된다.
4. 최적의 수평굴착기술은 지반조건, 굴착속도, 굴착개시 소요시간, 굴착면의 자립성, 작업공간의 규모, 주변지장물의 영향, 지하수위의 위치, 건물의 안정성, 사유재산 활용 가능성, 유관기관과의 협조 등 법적·제도적 판단 등을 종합적으로 고려하여 리스크를 최소화할 수 있는 방법을 선정해야 할 것이다.

References

- Seoul Development Institute. 2010. A Study on the Safety System Planning Strategy of Underground Space in Seoul.
- National Emergency Management Agency. 2010. Statistics and Data of Fire and Disaster Management
- KICT(Korea Institute of CIVIL ENGINEERING and BUILDING TECHNOLOGY). 2014. Development fo Technology for Life Detection and Rapid Rescue in Disaster Area of Urban Underground Collapse. Planning Study. KICT 2014-209.
- Jennings,m. 2012. Diamond Drilling Plays Its Part in Chilemine Rescue. *Diamond Tooling Journal*. 4(1): 13-18.

Korean References translated from the English

- 서울시정개발연구원. 2010. 서울시 지하공간의 안전체계 구축방안.
- 소방방재청. 2010. 소방방재 주요통계 및 자료.
- 한국건설기술연구원. 2014. 도심지 지하붕괴 매몰지역 인명탐지 및 긴급구호 기술 개발 기획. 한국 건설기술연구원 기획보고서. 건기연 2014-209.

조진우: 중앙대학교 토목공학과 박사과정에 재학중이며, 현재 한국건설기술연구원의 수석연구원으로 재직 중이다. 지반환경 및 지반방재가 주요 연구분야이며, 현재 기관 주요사업인 “시나리오 기반 인명구호용 수평굴착 및 안정화 기술 개발(2015. 1~ 2017. 12)” 과제책임자를 수행중이다. 주요 논문으로는 “제방 누수 모니터링을 위한 이동식 TDR 센서의 적용성 평가(2014)”, “매설심도에 따른 가스배관의 응력 변형 특성(2013)” 등이 있다 (jinucho@kict.re.kr).

장수호: 서울대학교 지구환경시스템공학부에서 공학박사 학위를 받았으며(2002년 8월), 현재 한국건설기술연구원의 연구위원으로 재직 중이다. 터널 및 지하공간이 주요 연구분야이며, 특히 기계화 시공기술, 지하공간 건설기술,

암반 구조물의 설계·시공기술, 터널 방재 등과 관련된 연구를 다수 수행하였다. 주요 논문으로는 “국산 커터헤드를 장착한 직경 3.6m 토압식 쉴드TBM의 제작과 현장적용성 분석(2015)”, “화재곡선과 PET섬유 혼입량에 따른 고강도 세그먼트 콘크리트의 화재저항성 평가에 대한 연구(2014)” 등이 있다(sooho@kict.re.kr).

김학승: 국민대학교 건설시스템공학부에서 박사학위를 받았으며, 현재 한국건설기술연구원 지반연구소 박사후연구원으로 재직 중이다. 관심 분야는 기초공학 및 재난 대응이다(zeckimhs@kict.re.kr).

이주형: 서울대학교 건설환경공학부에서 공학박사 학위를 받았으며, 현재 한국건설기술연구원의 연구위원으로 재직 중이다. 기초공학 및 해양 지반공학이 주요 연구분야이며, 현재 우리 연구원 주요사업인 “도심지 지하붕괴 매몰지역 인명탐지 및 긴급구호 기술 개발(2015. 1 ~ 2017. 12)” 과제의 총괄 연구책임자를 맡고 있다. 주요 논문으로는 “GFRP 석션파일 시험설치 및 성능검증(2014)”, “부유식 해상구조물의 계류를 위한 사질토 지반의 석션파일 설계(2014)” 등이 있다(leejh73@kict.re.kr).