

KICT  
2019-  
220-1

[부록]  
도심  
지하  
교통인프라  
건설  
및  
운영기술  
고도화  
개발  
기획

2019

한국건설기술연구원

보안 과제( ), 일반 과제( ○ ) / 공개( ○ ), 비공개( )

KICT2019-220-1

[부록] 도심 지하 교통 인프라 건설 및  
운영 기술 고도화 개발 기획 연구  
최종보고서

2019. 12.

주관연구기관 / 한국건설기술연구원

한국건설기술연구원



# 제 출 문

한국건설기술연구원장 귀하

이 보고서를 “지하 대심도 공간의 공공적 활용에 대한 정책 현안 조사 및 공공갈등 관리 방안 연구”의 부록(도심 지하 교통 인프라 건설 및 운영 기술 고도화 기획(원제 : 차세대 대심도 교통인프라 안전성 확보 기술 개발 기획)) 으로 제출합니다.

2019. 12.

주관연구기관명 : 한국건설기술연구원  
주관연구책임자 : 김창용



# 목 차

<b>1장</b>	<b>기술의 정의 및 필요성</b> .....	<b>1</b>
	1절. 기술의 정의 및 기획연구의 범위 .....	1
	1. 기술의 정의 .....	1
	2. 기획연구의 범위 .....	2
	3. 주요 용어 정의 .....	2
	2절. 과제추진 배경 및 필요성 .....	5
	1. 지하공간 이용 필요성 증대 및 관련 이슈 증가 .....	5
	2. 정책적 필요성 .....	10
	3. 기술적 필요성 .....	12
	4. 연구의 시급성 .....	14
<b>2장</b>	<b>국내·외 동향 및 환경분석</b> .....	<b>16</b>
	1절. 국내·외 정책 동향 .....	16
	1. 대심도 도로 관련 국내외 정책 동향 .....	16
	2절. 국내 동향 및 환경 .....	20
	1. SOC 관련 정부 예산 변화 .....	20
	2. 도로 부문의 정부 예산 변화 .....	22
	3. 연구인력 현황 .....	24
	4. 국내 R&D 투자 동향 .....	27
	5. 국내 동향 및 환경 소결 .....	28
	3절. 기술동향 분석 .....	29
	1. 분석의 개요 .....	29
	2. 특허 동향분석 .....	35
	3. 논문 동향분석 .....	55
	4절. 기술수요 및 예측조사 .....	73
	1. 기술수요조사 개요 .....	73
	5절. 기술개발 추진방향 정립 .....	80
	1. SWOT 분석 .....	80
	2. 사업의 중점 추진분야 도출 .....	81
	3. 연구개발 추진 방향 정립 .....	83

6절. 핵심기술 도출 ..... 84

**3장 연구개발과제 구성 및 추진전략 ..... 90**

1절. 비전 및 목표 ..... 90

- 1. 비전 및 목표 ..... 90
- 2. 설정근거 ..... 91
- 3. 단계별 목표 ..... 93

2절. 기술개발에 따른 미래상 ..... 94

- 1. 현황 및 미래상 ..... 94
- 2. 중점 추진분야 ..... 96

3절. 연구개발과제 구성 ..... 98

- 1. 후보 기술아이템 선정 ..... 98

4절. 기술로드맵 및 성과활용 방안 ..... 100

- 1. 기술로드맵 ..... 100
- 2. 성과 및 활용방안 ..... 102

5절. 연구수행체계 제안 ..... 102

6절. 기대효과 ..... 104

**4장 사전 타당성 검토 ..... 105**

1절. 기술적 타당성 ..... 105

- 1. 기술개발 계획의 적절성 ..... 105

2절. 정책적 타당성 ..... 109

- 1. 국가전략적 중요성 ..... 109
- 2. 상위 계획과의 부합성 ..... 110
- 3. 사업추진의지와 관련 기관 협조체계 ..... 111
- 4. 사업추진상의 위험요인 및 대응방안 ..... 112

3절. 경제적 타당성 ..... 113

- 1. 지하도로 이용의 증가 및 장점에 따른 경제성 ..... 113
- 2. 스마트기술을 이용한 계측 시스템 시장 규모 ..... 113
- 3. 기술 개발을 통한 경제적 효과 ..... 113

**5장** 인력투입 및 소요예산 산정 ..... 114

1절. 인력투입계획 ..... 114

1. 연차별 투입 연구인력 ..... 114

2. 상세 투입 연구인력 ..... 115

3. 총괄 소요예산 ..... 118



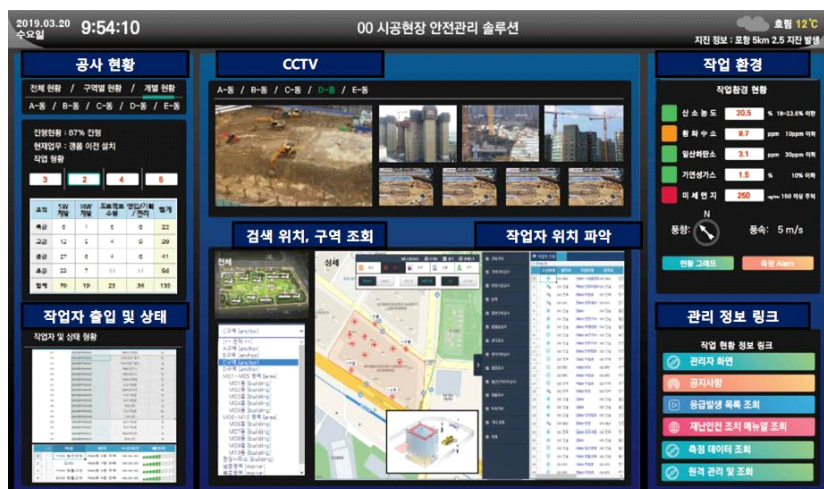
## 1장

## 기술의 정의 및 필요성

## 1절 기술의 정의 및 기획연구의 범위

## 1. 기술의 정의

- 본 기술은 도심 지하 교통 인프라의 경제적이고 안전한 건설 및 운영에 기여할 수 있는 전주기 통합 안전관리 솔루션을 개발하고, 수집된 정보를 실시간으로 공유하여 지하공간 이용에 따른 국민적 불안감을 해소하기 위한 시스템 구축'을 위한 것으로 정의함
- **도심 지하교통 인프라**는 도시하부 **지하에 굴착을 통해 구축하는 도로 교통노선**으로서 지상구조물 또는 지중 인접구조물에 영향을 미칠 우려가 있는 도로 인프라 시설로 정의함
- “도심 지하 교통 인프라 건설 및 운영 기술 고도화”는 지상 공간에 주택, 상가 및 인구 등이 많이 밀집해 있는 도시지역 하부의 지하도로 건설과 관련하여 구조물 건설 중 안정성 및 안전성을 증대할 수 있는 건설기술의 고도화, 도심도 지하공간 굴착의 지상부 영향(침하, 소음, 진동 등) 파악, 시공 및 운영 중 모니터링 기술 등 지하공간과 지상공간을 연계한 전주기 통합 안전관리 솔루션을 의미함
- 또한 전주기 통합 안전관리 솔루션을 통해서 수집되는 다양한 예측, 분석 및 실시간 모니터링 자료는 해당 사업에 대한 이해 당사자 누구나 쉽게 확인하고 공유할 수 있으며 위험요인은 선제적으로 알림을 제공하는 시스템 플랫폼을 구축하는 범위까지를 포함함



&lt;시스템 플랫폼 UI 예시&gt;

## 2. 기획연구의 범위

- 본 연구는 ‘도심 지하 교통 인프라 건설 및 운영 기술 고도화’를 위한 기획연구로, 지하 교통 인프라의 안전성 확보라는 목표 달성을 위해 구조물의 전주기 통합 안전관리 솔루션과 실시간 정보공유 시스템의 방법을 선정한 후 연구를 위한 RFP를 작성하는 것이 기획연구의 범위임
- 기획연구를 통해 설계, 시공, 운영 및 유지관리에 필요한 기술을 기획연구에서 선정하며, 선정된 안전성 확보 기술의 실용화를 위한 장비 및 시방서 개발 등을 본 연구에서 수행함
- 연구의 수행을 위해 첫째, 관련 기술 동향분석을 실시하고 둘째, 기술수요조사 및 세부과제 도출 후 셋째, 세부실행계획 및 실용화 방안을 설정하고, 최종적으로 보고서 및 과제공모를 위한 RFP 작성과 평가기준을 제시함

## 3. 주요 용어 정의

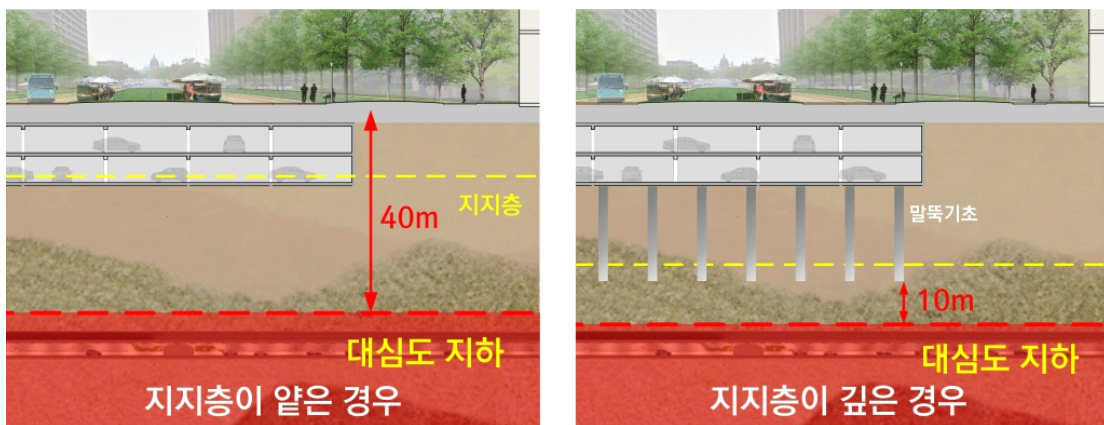
### (1) 지하공간

- ‘지하공간’은 구매, 휴식 등의 기능이 있는 지하의 생활공간으로서 이에는 여러 가지 시설들이 복합된 상태로 지하에서 연결되어 하나의 동일한 공간으로 인식되기 때문에 정의하기가 쉽지 않음.
- 또한 지하 생활공간 이외에도 도로/철도와 같은 교통 터널, 원유, 가스 등의 지하 에너지비축시설, 지하양수발전소, 도시의 원활한 기능 지원을 위한 각종 지하 공동구 시설 등도 지하공간에 포함되기 때문에 지하공간 활용의 범위는 매우 포괄적이라고 할 수 있음.
- 미국지하공간협회(AUA(American Underground Space Association)에서는 경제적 이용이 가능한 범위내에서 지표면 하부에 자연적으로 형성되었거나 또는 인위적으로 조성한 일정규모의 공간자원이며 이 공간자원내에 일정목적의 시설이 첨부될 경우에는 지하시설 또는 지하시설공간으로 규정하고 있음.
- 본 연구에서 언급하고자 하는 지하공간은 단순한 공간적 의미의 지상, 지하의 구분이 아니라 지표면 아래에 인간에 의해서 형성된 공간자원이라고 정의할 수 있으며 지하공간 개발에 따른 효과는 크게 다음과 같이 세 가지로 요약할 수 있음(Monnikhof et al., 1999)
  - 삶의 질 향상 : 도시 지상부의 과도한 교통량에 의한 소음 및 대기오염문제 등 발생은 주변지역 사람들의 삶의 질을 떨어뜨리는 요인임. 이러한 조건에서 지하공간의 개발에 의하여 지상공간의 부담이 분산된다면 삶의 질 향상에 기여가 가능함.

- 공간 이용의 효율성 제고 : 한정된 지상의 이용 가능한 면적 외에도 추가적 공간 확보가 가능하므로 제한된 공간을 최대한 활용할 수 있음. 즉, 지상공간의 추가 확보와 같은 효과를 얻을 수 있음.
- 도시 공간의 기능성 강화 : 다양한 기능의 결합을 시설물에 제공할 수 있기 때문에 공간 기능성을 강화시킬 수 있는 방법이 됨. 예를 들어 지상에는 판매시설, 지하에는 물류저장 및 주차시설 등을 건축하는 경우에 건축물의 기능적 효율을 극대화할 수 있게 됨.

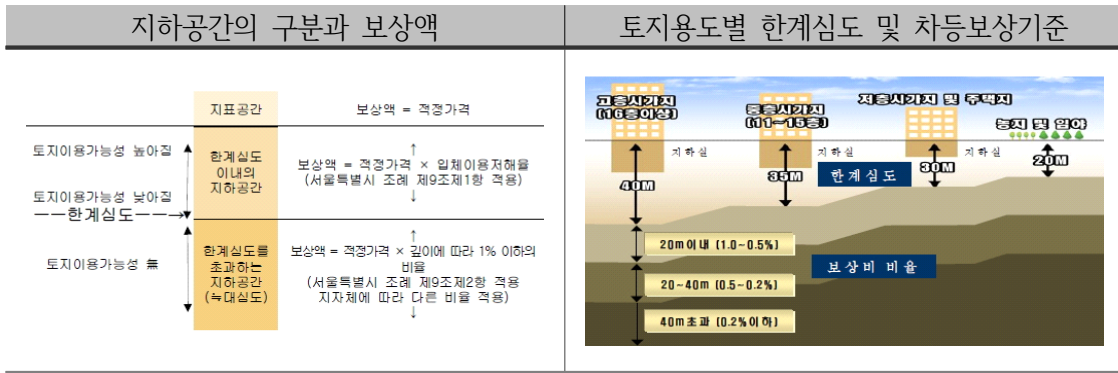
## (2) 대심도

- 지하공간은 인간에 의한 이용을 전제로 한 공간으로서 이론적으로는 지하로 무한히 확대될 수 있겠으나, 기술적 제약과 경제적 이용가능성은 깊이에 크게 영향을 받을 수밖에 없어, 깊이에 따라 천심도(淺深度), 중심도(中深度), 대심도(大深度)로 구분
- 또는 통상적인 이용가능성을 고려하여 일정 깊이 이상에 대하여 ‘한계심도’를 설정
- 국내에서는 40m이상의 지하공간을 대심도 지하공간으로 규정 또한 도심지에서 대심도의 정의는 용지보상 및 재산권 설정이 되어있지 않는 공간을 의미 (관련근거 : 철도건설을 위한 지하부분 토지사용 보상기준, 서울시 조례, 지하공간 공물화 법제 추진, 일본 등 해외사례 조사 결과)



<대심도 지하공간의 정의>

- 철도에 대한 부분은 “철도건설을 위한 지하부분 토지사용 보상기준(국토교통부 고시 제2014-104(2014.3, 제정), 제2017-161호(2017.3, 개정))을 통해서 기준 마련



<지하공간 구분에 따른 보상기준>

### (3) 지하도로

- 지하도로는 지상교통의 원활한 소통을 위하여 지하에 설치하는 도로이며 교차부의 교통흐름 개선을 위하여 입체교차를 목적으로 지하에 설치하는 지하차도(Underpass)는 제외
- 도시지역 지하도로란 고밀도화 된 도시에서 도시 재정비 및 교통량 제어를 목적으로 도시지역 하부를 통과하도록 지하공간에 건설되는 도로로 정의
- 지하도로는 선형개선을 통한 통행거리 단축, 지장물 우회 등의 이동성만을 목적으로 건설되는 터널 및 지하차도와는 다르게 도시지역 지상부의 주요 지점으로서의 접근성이 요구되며 지상도로의 보완 또는 대체 기능을 갖는 도로시설
- 도시지역 지하도로는 건설 목적, 위치 및 기능 등을 고려할 때 형태적으로 비슷한 터널과는 다른 특성을 가짐

**이동성 및 안전성 중요**

- 중·장거리 이상의 연장 필요
- 한계심도(限界深度) 이하에 건설

**진·출입로 설계**

- 기존 지상도로와의 연계
- 진·출입부 중단경사 고려

**취약구간 안전 확보**

- 분기부, 합류부, 교차로 등 존재
- 진·출입부 저토피고 구간

**수방재 및 배수체계 마련**

- 기하구조적 특성 : U자형 도로
- 공간적 특성 : 폐쇄된 지하구조

**장시간 대심도 지하공간 이용**

- 지하도로 이용자 안전 고려
- 환기, 방재 및 도로안전시설 등

**환경영향, 오염 및 주변 민원**

- 도시내 환기소, 환기탑 등 설치
- 주변지역 환경 및 민원 고려

<일반적인 터널 대비 지하도로의 주요 특성>

## 2절 과제추진 배경 및 필요성

### 1. 지하공간 이용 필요성 증대 및 관련 이슈 증가

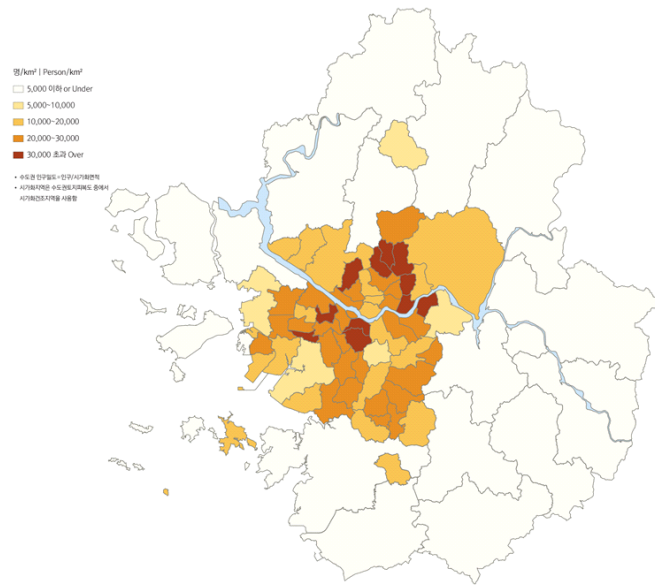
#### 가. 현대 도시화 문제에 기인한 지하공간 이용 필요성

- 국내뿐만 아니라 세계적으로 도시화는 가속되고 있으며 2008년 이래 세계 인구의 절반 이상이 도시에 거주하고 있음.
- UN 보고서(2007, 2013)에 따르면 2050년까지 모든 사람들의 70 %가 도시에 살 것이며 세계 인구는 세기의 전환기에 비해 두 배 이상 증가 할 것이라고 함.
- 우리나라와 같이 제한된 국토를 효율적으로 활용하고 공간활용을 극대화하기 위해서는 지하공간의 이용은 선택이 아닌 필수 일 수 있음
- 2015년 기준 우리나라의 수도권 인구는 2,527만명으로 전체 인구의 49.5% 차지하며 인구밀도는 509명/km<sup>2</sup>, 특히 서울시의 인구밀도는 16,364명/km<sup>2</sup> 임(통계청, 2016).
- 이는 세계적인 주요 대도시인 프랑스 파리(21,289명/km<sup>2</sup>) 일본 도쿄(14,386명/km<sup>2</sup>), 스페인 바르셀로나(15,639명/km<sup>2</sup>), 미국 뉴욕(10,951명/km<sup>2</sup>) 등과 비교하여도 파리 다음으로 인구밀도가 높은 도시임.
- 삶의 질 향상을 위한 다양한 인프라의 확충이 필요한 실정이지만 주요 도시들은 기존 시설 및 건축물의 고밀도화와 환경 친화적인 공간 조성 등을 목적으로 추가적인 지상공간 개발에 한계를 겪고 있음.
- 단편적인 예로 서울의 토지자원 현황(2010년 기준)을 살펴보면 총면적 605.25km<sup>2</sup> 중 개발 및 개발 가능지는 359.26km<sup>2</sup> 이며 기개발지는 319.12km<sup>2</sup>에 달해 전체 개발 가능한 부지 중 약 11.2% (40.13km<sup>2</sup>)만이 개발이 가능한 지역인 실정임.

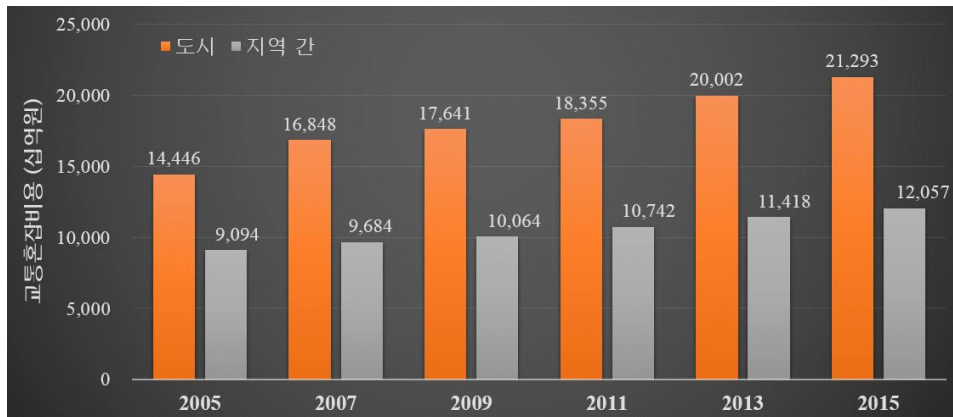
#### 나. 국내 도심지 도로 현황

- 수도권 인구는 2021년 전체 인구의 50%를 초과, 2029년 50.2%로 정점을 찍을 것으로 예측되며, 2015년 서울 및 6대 광역시의 교통혼잡비용은 약 21.3조원에 이르는 것으로 보고됨
- 도시지역은 지속적인 인구 및 교통량 증가로 인하여 심각한 교통 혼잡문제에 직면해 있으며 도시지역 지상공간 여건을 고려할 때, 지하 개발사업은 지속적으로 증가 예상
- 도시재생사업, 지역 불균형 해소 및 국민불편 해소에 기여하기 위한 지하도로 등 지하 교통인프라 구축 확대 필요성 증가

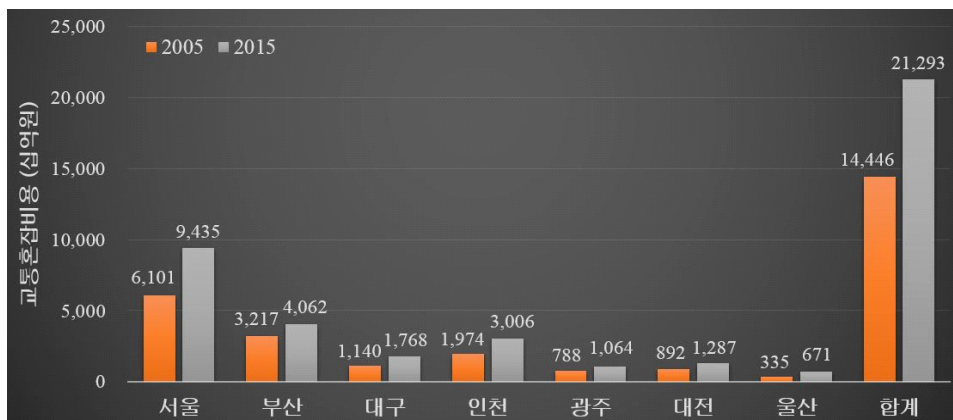
- 국내 지하도로 구축 및 관리 기술은 현재까지는 주로 시공과 관련된 기술 개발이나 제도 개선 측면에서만 접근, 운영 및 유지관리 측면의 연구는 미진함



<수도권 인구밀도, 통계청(2010)>

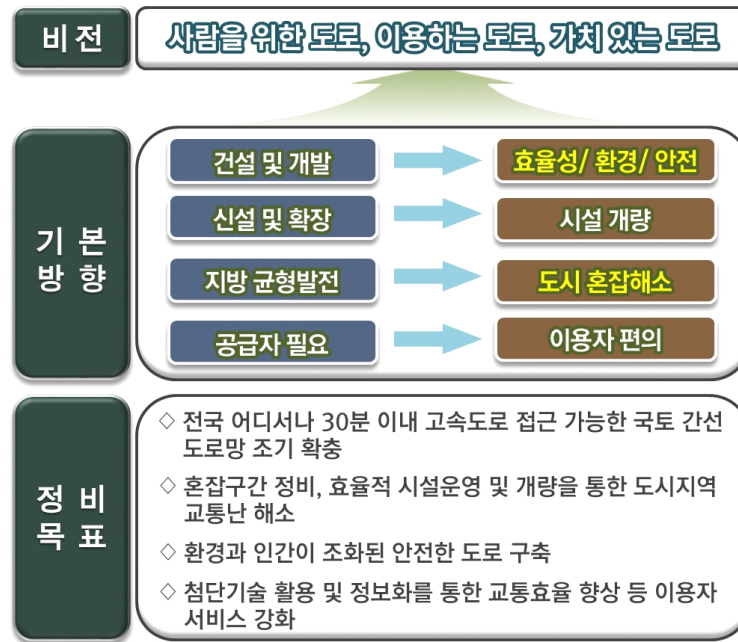


(a) 연도별 교통혼잡비용 변화



(b) 7대 도시의 교통혼잡비용 변화  
<2015년 교통혼잡비용 예측(한국교통연구원, 2014)>

- 국토교통부는 2011년 「제2차 도로정비기본계획(2011~2020)」을 수립하였으며 목표, 및 방향에 필요한 신규 인프라 구축이 요구되는 실정임



<제2차 도로정비기본계획(국토부, 2011)>

- 도시지역 인구와 교통량 증가 및 지상공간 여건을 고려할 때, 지하 개발사업은 지속적으로 증가가 예상되며 지하공간에 대한 정확한 지반조사 및 분석, 특수 조건 하에서의 구조물 설계·시공 기술 개발을 통해 도심 시공의 불확실성 해소 및 도심지 주거 밀집지역 등 지중 및 지상 연계 인프라의 안전성 확보 필요
- 도심 지하도로는 도시내 피해가 급격히 확산될 우려가 있는 시설물들이 밀집되어 있어, 화재발생은 대형 사고로 확산될 우려가 높으므로 기존의 사후 대응 체계의 화재안전기술뿐만 아니라 선제적 화재 대응 기술 필요

가. 지하공간 개발 관련 이슈 증가

- 국토교통부는 서울시내를 비롯한 주민들의 불안감(수도원 주민의 약 95%(경기개발원 조사보고서 '14.8월) 이상이 싱크홀 불안감을 느끼고 있음)을 해소하고자 2016년부터 본격적으로 지하공간 안전관리체계 구축사업을 시행 중에 있음
- 지난 2017년 국토교통부는 “도로공간의 입체적 활용을 통한 도시건설 활성화 방안”을 발표하면서 도로법 개정을 추진한 바 있음
- 하지만, 지하 개발사업(서울-광명 고속도로, GTX-A, 영동대로 지하화 등)의 안전성 확보 여부에 대한 국민들의 관심 및 민원 발생이 지속적으로 증가하고 있는 실정임

\* 서울-광명 고속도로 지하화에 따른 향동지구 주민 반발

### "갈수록 문도 안닫혀 불안 가중"...기우는 '터널 위' 아파트

기사입력 2019-02-18 06:03 기사원문 스크랩 본문듣기 · 설정

2,497 1,194

요약본 가

삼두아파트 주민들 "아파트가 쪼개지고 있다"  
아파트 땅 밑에서 '광'...고속도로 지하터널이 원인?

삼두 '원인 규명해야' vs 포스코 '자의적 업체선정은 안돼'  
안전진단 3년째 입장차만



<인천 삼두아파트 관련 기사(노컷뉴스, 2019.2.18.)>

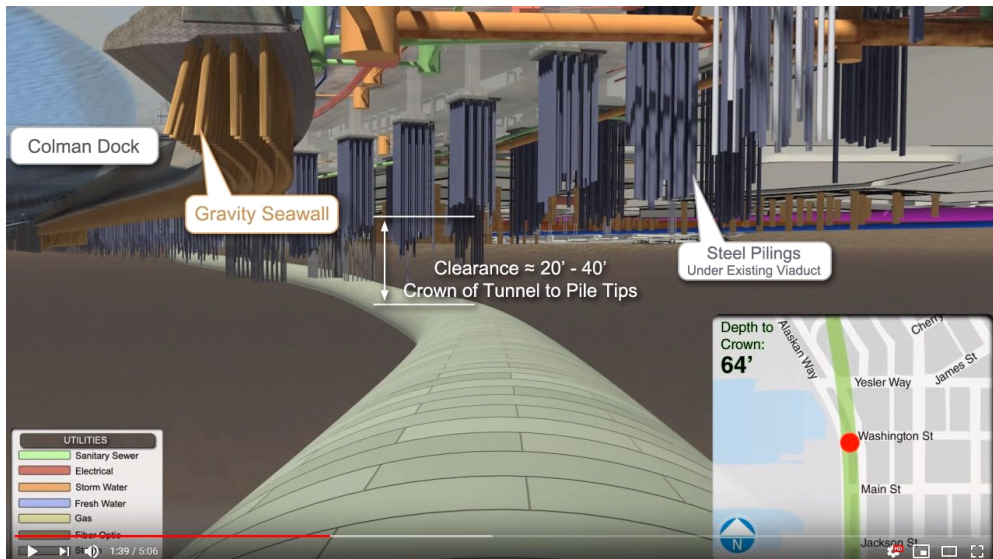
### '싱크홀 우려' 광명~서울 민자고속도로 장기표류 우려

2007년 사업시행자 선정 이후 11년째 지지부진  
주민들 "고속도로가 초중학교, 아파트 밑으로 지나가 위험해"  
세 번째 안정성 검토 후 착공일정 결정될 것으로 전망



<광명-서울 민자고속도로 관련 기사(뉴스핌, 2018.11.09.)>

- 해외에서도 다양한 지하공간을 이용한 인프라 개발 중에는 사업 초기에 주민들의 반대에 부딪혀 많은 난관에 봉착하며 추진에 애로를 겪은 바 있음
- 하지만 해외 주요 국가들은 도심지 프로젝트 추진 시 주변 주민들과의 지속적인 소통 및 정보공개로 통해 사업에 대한 이해도를 높이고 민원발생을 최소화 함



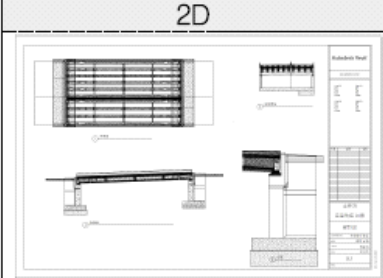
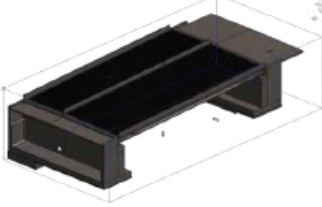
<미국 시애틀 SR99터널 지하공간 시뮬레이션 정보공개 예>

출처 : <http://www.wsdot.wa.gov/Projects/Viaduct/Library/Video>

- 도시지역 인구와 교통량 증가 및 지상공간 여건을 고려할 때, 지하 개발사업은 지속적으로 증가가 예상되며 지하공간에 대한 정확한 지반조사 및 분석, 특수 조건 하에서의 구조물 설계·시공 기술 개발을 통해 도심 시공의 불확실성 해소 및 도심지 주거 밀집지역 등 지중 및 지상 연계 인프라의 안전성 확보 필요
- 도심 지하도로는 도시 내 피해가 급격히 확산될 우려가 있는 시설물들이 밀집되어 있어, 화재발생은 대형 사고로 확산될 우려가 높으므로 기존의 사후 대응 체계의 화재안전기술뿐만 아니라 선제적 화재 대응 기술 필요
- 도시지역 지하공간을 활용한 교통인프라 구축 증가에 따라 주거 또는 상가 밀집 지역에서 발파공법에 의한 터널 굴착 시공사례도 증가하고 있으며 이와 관련된 민원도 증가하고 있는 실정임.
- 발파공사로 인한 피해 민원으로 상호간의 중재가 필요할 경우 중앙환경분쟁조정위원회의 재정은 대략 5~6개월 이상 소요, 법원소송도 그 이상 소요되는 경우가 대부분이므로 발파 소음 및 진동 등에 의한 민원 발생은 공사 중지 및 공사기간 증가로 이어져 막대한 경제적 손실로 귀결됨(임형묵과 김두환(2019)).
- 발파공해에 따른 구조물 및 인체에 대한 피해정도는 각각의 특성에 따라 감응도가 다르게 나타날 수 있으나 국내의 발파진동 및 소음 허용기준은 「소음진동관리법」과 「공공기관의 규제 기준」을 바탕으로 일률적으로 적용하고 있는 실정임.
- 따라서 사업 인근 지역의 주택 노후정도 등 구조물 특성과 인체의 특성을 고려하여 차등적용이 가능한 기준 정립과 함께 굴착 중 소음 및 진동에 대한 민원을 최소화 할 수 있는 기술개발이 요구됨.
- 터널굴착으로 인한 대규모 지하수 유출 시 지반조건에 따라 지반침하가 발생할 수 있으며 운영 중 지속적인 지하수 유출에 의해 지하수위가 지속적으로 저하되는 현상 등 지하수 유출, 수위저하 및 토사 유실에 따른 지반 침하 우려가 높음 실정임.
- 따라서 지하수 유출의 최소화 및 지하수위 저하 시 지하수위를 복원하는 기술개발을 통해 사업 추진 시 관련 지역 주민 또는 이해 당사자의 안전 문제에 대한 우려를 불식시키고 시공 및 운영 중 안정성 확보를 위한 대응방안을 마련할 필요가 있음.

#### 나. BIM, AI, AR/AR 등 4차 산업혁명 첨단기술 활용 필요

- 최근 토목 분야에 계획단계부터, 설계, 시공, 유지관리 단계까지 전체 생애주기 동안 발생하는 정보들을 표준적인 모델 데이터로 관리하는 프로세스인 BIM(Building Information Modelling)을 적용하기 위한 연구가 활발하게 진행중임

2D	3D													
		<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">BIM에 입력된 공사정보</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>코드</td> <td>F01-S012-E034</td> </tr> <tr> <td>물량</td> <td>133.05 m³</td> </tr> <tr> <td>재료</td> <td>콘크리트</td> </tr> <tr> <td>공정</td> <td>교량-교각</td> </tr> <tr> <td>공사비</td> <td>23,456,000원</td> </tr> </tbody> </table>	BIM에 입력된 공사정보		코드	F01-S012-E034	물량	133.05 m³	재료	콘크리트	공정	교량-교각	공사비	23,456,000원
BIM에 입력된 공사정보														
코드	F01-S012-E034													
물량	133.05 m³													
재료	콘크리트													
공정	교량-교각													
공사비	23,456,000원													
2D도면(평면)	3D모델(입체)+속성(공사정보)													

<기존 2D 방식과 3D 방식(BIM)의 차이점>

출처 : 공공건설분야 BIM 활성화 방안 연구, 2019

- BIM을 활용할 경우 3차원 토공모델을 이용하여 준설량을 검토하고 3차원 철근모델을 이용하여 복잡한 부분 및 비정형 구조물의 배근상세를 검토하는 등 불필요하게 소비되는 시간과 비용, 노력을 최소화하고 정보의 통합관리 및 공유가 가능한 장점이 있음
- 또한 시공단계별 시뮬레이션, 시공물량 산출, 공법 타당성 분석, 건설기계 자동화 시스템과의 연계 등을 통해 공기단축, 비용절감, 품질제고 등의 효과가 있음
- 이러한 추세에 따라 국토교통부는 BIM을 2020년까지 사회기반시설 건설공사의 20% 이상에 적용하겠다고 발표하였고 한국도로공사, 한국토지주택공사, 한국철도시설공단 등 다양한 공공기관에서는 BIM 로드맵을 발표함. 이에 지하 교통 인프라 분야에도 BIM을 기반으로 생산성 향상을 위해 다양한 연구 수행 필요
- 또한 4차 산업혁명 기술을 활용으로 기존 산업을 첨단화 하는 작업이 산업 전반에서 활발하게 진행되고 있는 바 빅데이터, AI, VR/AR, 디지털트윈(Digital Twin) 등을 기반으로 스마트 건설을 통한 데이터 관리 및 융합체계로의 시스템 변화를 통해 건설 생산성 및 안전성을 강화하기 위한 다양한 연구 필요

## 2. 정책적 필요성

### 가. 국정목표 및 국정과제 달성

- 5대 국정목표 중 ‘내 삶을 책임지는 국가’의 인프라 시설물의 안전성 확보와 연계
- 100대 국정과제 중 ‘안전사고 예방 및 재난 안전관리의 국가책임체제 구축’, ‘지속 가능한 국토환경 조성’, ‘미세먼지 걱정 없는 쾌적한 대기환경 조성’의 달성을 위한 건설안전 분야 필수 기술로 확보
- 신년기자회견 중 국민안전을 정부의 핵심국정목표로 삼고 체계적으로 관리하기 위한 상시적 대응 시스템의 일부로 개발 필요

#### 나. 4차산업혁명의 도래

- 인공지능(AI), 빅데이터(Big Data) 등 디지털 기술로 촉발되는 초연결기반의 지능화 혁명 시대 도래
- 대통령직속의 4차산업 혁명위원회를 설립하고, 운영을 위한 『4차산업혁명위원회의 설치 및 운영에 관한 규정』을 제정함
- 4차산업혁명의 근간이 되는 과학기술발전지원, 인공지능, ICT 등 핵심기술확보 및 기술혁신형 연구개발 성과창출 강화에 관한 사항에 대하여 심의 조정 역할 수행

#### 다. 제6차 건설기술진흥기본계획 추진 방향

- 제6차 기본계획의 추진 방향은 『Smart Construction 2025』으로, 2025년까지 BIM, AI 적용한 건설자동화 기술개발을 비전으로 하고 있음
- 주요 전략-Ⅰ으로는 4차산업혁명에 대응하는 기술개발·신산업 육성이고, 기술개발, 고부가 산업 육성, 건설 안전강화의 분야를 두고 있음

##### 〈제6차 기본계획의 추진 방향 주요 전략-Ⅰ〉

분야	중점 추진 과제
기술개발	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 스마트 건설기술을 통한 생산성 향상</li> <li>• 해외 수요 맞춤형 건설기술 개발</li> </ul>
고부가 산업 육성	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 분야간 융·복합을 통한 경쟁력 강화</li> <li>• 건설 Big Data 유동을 통한 신사업 육성</li> </ul>
건설 안전 강화	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 건설의 안전·환경 관리</li> </ul>

- 주요 전략-Ⅱ으로는 글로벌 시장 경쟁력 강화를 위한 제도 개선으로, 산업 개편 육성, 건설인력 교육, 기준제도 등의 분야를 두고 있음

##### 〈제6차 기본계획의 추진 방향 주요 전략-Ⅱ〉

분야	중점 추진 과제
산업 개편·육성	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Eng의 역량 강화 및 해외진출 지원</li> <li>• 국제 기준에 부합 하는 제도 구축</li> </ul>
건설인력·교육	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 글로벌기준에 맞는 경력 관리체계 구축</li> <li>• 국제경쟁력을 갖춘 기술인력 육성</li> </ul>
기준·제도	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 기술력 중심의 발주·심의 강화</li> </ul>

### 3. 기술적 필요성

#### 가. 안전 및 방재 측면

- 향후 계획되는 지하도로의 경우 도로 등 공공영역의 하부가 아닌 도심지 주거밀집 지역 등의 하부를 이용하게 되어 사유재산 및 국민의 안전을 확보 할 수 있어야 함
- 진동, 소음 등은 개인이 느끼는 편차가 큰 만큼 시공 및 운영 중 나타날 수 있는 문제점에 대한 선제적 대책 마련이 필요함
- 도심도에 위치하므로 대피, 화재 진압, 차량 견인, 환자 이송 등에 어려움이 있음. 특히, 터널 교통사고는 일반도로 사고보다 사상자수가 64% 많으며, 대형사고로 이어질 가능성이 높음
- 지하고속도로의 경우 유조차 등 대형차 진입에 따른 대형사고의 위험을 사전에 관리할 필요가 있음
- 도심 지하굴착에 대한 안전성 확보를 위해 ‘19 국토교통부 주요업무 추진계획(19.3)에 지하시설물 등 과학적·예방적 안전관리 체계 구축 반영 필요
- 작년 서울 상도동 유치원(18.9.6), 가산동 붕괴 사고(18.8.31) 등 다양한 크기의 도심지 굴착사고가 빈번하게 발생하므로 유사사고 재발방지를 위한 기술적인 개선방안을 “건설현장 굴착공사 안전대책(18.10.18)”에 따라 계층의 전문성확보와 제도화를 마련할 필요(국토부 건설기준과, 건설안전과 요구사항)가 있음
- 건설공사 중 위험징후를 적기에 감지하기 위해 건설현장의 계층계획, 기준을 구체화, 일원화하고, 관리기준도 정비하여 표준화하여야 함 (“건설현장 굴착공사 안전대책(18.10.18)” 중 추진대책)



<전주기 안전관리 통합 솔루션(예시)>

- 국내 발파진동의 허용기준은 건축물은 ‘건설기준코드, 국토교통부’의 터널설계기준을 적용하여 진동속도(Kine)를 사용하고 있으며, 인체의 경우, ‘소음·진동 규제법, 환경부’의 생활 소음·진동 규제기준을 적용하여 진동가속도레벨(dB(V))을 적용하고 있음.

- 진동규제기준의 적용단위 이원화로 인한 혼선, 설계시 거리별 진동레벨 적용의 어려움, 인체의 경우, 건축물보다 민감하고 주관적으로 개인차가 큼에 따라 민원발생 해결의 어려움 등의 문제점이 있음.
- 한편, 발파 굴착시 진동저감을 위해서는 진동제어 굴착(발파)공법 적용이 필요하지만 진동저감 효과가 클수록 공기 및 공사비가 증가되고, 진동제어 굴착공법을 적용하여도 진동허용치를 초과하는 구간이나 민원발생 소지가 많은 구간에 대해서는 무진동 굴착공법을 적용하고 있으나 공사비가 비싸고 공기가 늘어나는 단점이 있음.
- 도시지역 지하 교통인프라를 건설함에 있어 배수시스템을 결정하는 문제는 기존도로를 포함하여 그 하부의 각종 지중 구조물 및 더 깊은 심도에 건설되는 신규 지하 교통인프라의 장·단기적 안정성 및 경제성과 관련되는 문제임.
- 따라서, 기존 지하 구조물 및 지상 구조물 등 안정성 확보를 위해 공사중 또는 운영중인 배수형 터널의 지하수 유입 또는 배출량에 대한 기준 마련 필요하며 터널 주변지반 및 라이닝의 수리역학적 거동의 복합적 영향을 고려한 부분배수 혹은 제한배수 개념 도입을 통해 터널내 유입 지하수량을 조절할 수 있는 기술 개발 필요.
- 또한 터널 내 유입수를 효율적으로 재사용하기 위해 지하도로 등 지하교통 인프라 내부에서 유입수를 지반에 재주입하여 유입수 처리 비용을 절감하는 한편 지하수위를 회복함으로써 지반침하를 억제할 수 있는 기술 개발 필요(서울시 운용 중 지하구조물 지하수 유출량 56,709톤/일(2013년 기준)).

#### 나. 교통적 측면

- 지상도로의 인프라 건설 한계와 도로용량 초과는 지하도로의 필요성을 증가시키고 있으며, 이에 따라 지하도로와 지상도로의 교통흐름을 효율적·유기적으로 연계할 수 있는 인프라 설계 및 적합한 교통운영 기술이 필요함
- 또한 지하도로 건설에 따라 지상도로의 용량을 보완하고, 도시의 기본적인 기능인 이동성과 접근성을 강화할 뿐 아니라 안전한 도로환경 조성에 대한 인식이 강화되고 있는 상황임
- 한국교통연구원(2010) 연구에 따르면, 2013년 서울시 교통혼잡비용은 약 16조원으로 추정되며, 지하도로 건설 시 지상도로 교통량의 약 20.9%가 전환되어 궁극적으로 사회적 비용 절감을 통한 도시 경쟁력을 강화할 수 있다고 보고 있음
- 이에 지하공간내에서 지하도로간 연계(가·감속차로 시 이격거리 등)와 지상도로와의 접속부 처리를 위한 설계 기준 검토가 필요하고, 이를 통해 지하도로간 통행의 안전성을 확보해야 함
- 아울러, 지하도로의 교통수요가 공급을 초과하게 되는 상황에서 발생하는 지하공간내의 지·정체 발생을 사전에 예방하기 위한 기술적 검토가 필요함



<지하공간의 효율적 활용>

#### 다. 빅데이터, AI, BIM 등 디지털 기반 통합 플랫폼 측면

- 4차 산업혁명기술로 인해 건설산업의 밸류체인이 빠르게 변화하고 있으며, 해외 선진국은 생산성 향상을 목표로 Construction 2025(영국, '13), i-Construction(일본, '17), Construction 21 운동(싱가포르, '16) 등을 추진 중임
- 해외 트렌드는 디지털 기술 기반 스타트업의 급증, 공통플랫폼(Building Information Modelling, BIM) 활용, 건설현장의 자동화 기술 도입, 건설상품의 스마트상품으로 변화, 새로운 비즈니스 모델의 확산 등이며, 그 핵심은 디지털화, 자동화, 연결, 협업으로 정의할 수 있음
- 초지능, 초연결로 대변되는 4차 산업혁명 기술은 건설산업 및 서비스 부문에 다양한 변화를 가져올 것으로 예상되며, 건설기술의 융복합으로 인해 BIM, 인공지능, 빅데이터, IoT 등을 활용한 새로운 비즈니스 모델 발굴, 일자리 창출, 새로운 건설산업 생태계 조성이 가능함
- CB인사이트에 따르면 모바일, 클라우드 기술, 인공지능, VR/AR, BIM 기술 관련 창업기업이 증가하고 있고, 그중 가장 많은 스타트업이 탄생한 분야는 프로젝트 및 업무관리, 디지털 공정 관리, 입찰관리 등과 같은 '협력 소프트웨어(Collaboration software)'영역이라고 기술함
- 이는 향후 4차산업혁명이 리드하는 건설산업의 변화의 핵심은 데이터를 기반으로 한 디지털화 및 플랫폼 기술을 근간으로 협력, 융합기술이 근간이 될 것이라는 예측을 가능하게 함
- 때문에 입체형 지하 교통 인프라 확충을 위한 다양한 기술 개발시 대규모 계측정보를 기반으로 한 빅데이터 및 인공지능 분석, BIM 모델과의 연계를 통한 다양한 시뮬레이션 및 예측 기술 개발, 플랫폼을 활용한 데이터 공유 및 협업체계 마련 등이 필요함

### 4. 연구의 시급성

#### 가. 지하도로 등 지하 구조물 사용 계획의 빠른 증가

- 최근들어 도심지 지하하부 공간을 활용하는 지하도로 등의 계획이 증가하고 있고, 도심 인구증가현상이 가속화 되고 있어 지하도로 수요가 지속적으로 증가 할 것으로 예상됨

- 대심도 교통인프라 구축으로 인해 전체 교통네트워크의 정시성과 안전성을 확보하고 추가적으로 고속성과 편의성 증대 요구에 적절한 기술 개발이 필요

나. 해외 건설 공사의 수주 경쟁력 강화

- 해외 건설 공사에서의 안전성 향상에 따른 수익성을 확보하고, 건설의 품질 수준을 향상시켜 국내 건설회사의 수주 경쟁력에 도움이 될 수 있을 것으로 판단됨

다. 건설공사의 투명화

- 설계, 시공, 운영 및 유지관리에 이르는 전주기적 안전관리 통합 시스템 및 실시간 정보 공유 시스템을 통한 건설 공사의 투명화를 통한 안전성 증대 기대

## 2장

# 국내·외 동향 및 환경분석

### 1절 국내·외 정책 동향

#### 1. 지하 도로 관련 국내외 정책 동향

##### 가. 지하도로 국내 정책 동향

###### (1) 국토교통부 : 도시지역 지하도로 설계지침 및 보상제도 제정

- 기존 터널과 형태적으로 비슷하지만 고밀도화 된 도시의 재정비 및 교통량 제어를 목적으로 도심 하부를 통과하는 도로로 계획 및 설계를 수행하는데 필요한 일반적·기술적 지침을 정하여 이용자의 편익과 안전성 향상을 도모
- 도시지역 지하도로 계획 및 건설이 증가하고 있으나, 보상제도가 토지소유자의 높아진 권리의식에 부합하지 못하여 건설이 지체되고 있어 원활한 사업의 진행을 위한 법적 근거 마련을 위한 제도의 제정을 수행 중

###### (2) 국토교통부 : 수도권 광역 지하철도

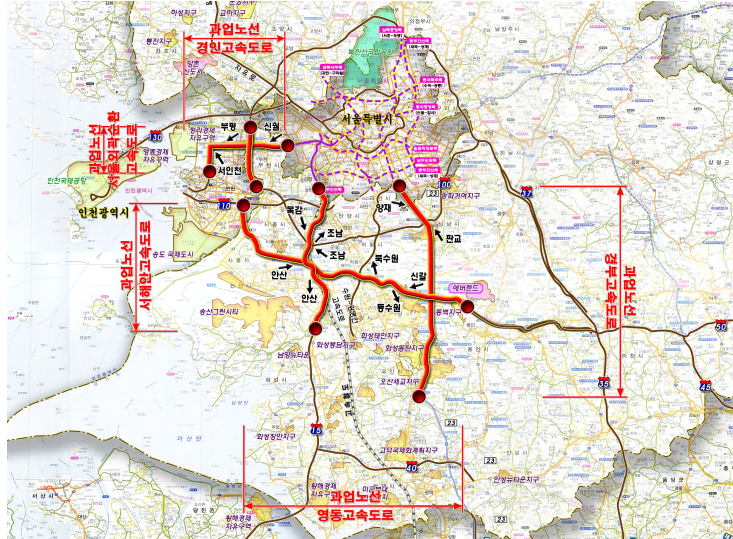
- 국토해양부와 경기도는 수도권의 급속한 성장 및 신도시 개발 등으로 인한 생활권 확대에 따른 수도권 장거리 통행수요에 대응하기 위해 3개 노선, 총 145.5km의 지하 대심도 철도로 계획된 수도권 광역급행철도(GTX)를 추진하고 있음
- 수도권 광역급행철도(GTX) 건설로 통행시간 단축, 도로혼잡 완화, 광역통행 수송분담률 변화를 예상하고 있음
- 현재 GTX-A노선은 2018년 신한은행 컨소시엄이 우선협상대상자로 선정되어 현재 실시설계가 진행중이며, GTX-C노선은 2018년 예비타당성조사를 통과하고 2021년 착공을 목표로 함

###### (3) 수도권 지하고속도로 관련 계획 및 정책

- 제4차 국토종합계획 수정계획(2006~2020)에서 제시한, 지역간 균형발전 및 네트워크형 인프라 구축을 위해서, 수도권역과 서울시를 연계하는 지하고속도로

구상안을 제안하였음

- 수도권지역 기존 고속도로망에 대한 도로용량을 증대시켜 교통 혼잡을 해소하기 위하여 수도권 지하고속도로구상계획안을 검토 하는 등 지하 교통망 구축을 위한 구체적인 시도가 진행되고 있는 상황임(한국도로공사, 2011)
- 수도권 지하고속도로 후보노선 총연장은 142.9km로, 경부, 경인, 서해안, 영동, 외곽순환선 등 LOS D 이하의 극심한 정체를 보이는 구간으로 선정함



<수도권 광역급행철도계획노선도>

(4) 부산시 지하도로망 계획안

- 부산시에서는 도시 지상부의 교통혼잡을 완화하고 도시 고속교통망을 확보하기 위하여 부산시 전역을 횡단하는 동서 4개축, 남북 1개축으로 구성되는 5개축의 86.6km 지하고속도로망을 제안함
- 첫 사업으로 만덕~센텀 구간을 BTO방식의 민간사업으로 2019년 착공할 계획임



<부산시 지하도로망 계획>

## 나. 지하도로 국외 정책 동향

### (1) France A86 West Beltway Tunnels

- 파리의 2차 외곽순환도로의 서부 missing link를 연결하기 위해 건설하였음
- 1) 시공 중 주변 환경과 거주 지역에 피해최소화, 2) 파리 주변 그린벨트의 보존, 3) 문화재 피해의 방지, 4) 지상교통정체의 완화 5) 온실가스 배출감소 등의 목적으로 지하도로가 제안되었음

### (2) 일본의 도심지 교통시설의 변천

- 환경문제, 용지문제 등에 따른 합의과정이 장기화되고 쉴드 TBM기술이 진보(1997년 동경만 횡단 해저터널 이후)했을 뿐만 아니라 여러 교차구조물의 피하기 위해 지하화로 변화하고 있음
- 일본의 경우 60~70년대 지상 고가도로를 주로 이용하였고, 70년대 후반 90년대 후반까지는 반지하 형태의 구조물 구축이 도심의 주류를 이루었으나, 현재는 주로 지하 터널을 교통시설의 주요 핵심 인프라로 활용하고 있음

### (3) 일본 동경 중앙환상선

- 동경 내부의 환상 도로 정비를 위해 계획된 노선으로 동경의 3개 환상순환고속도로와 9개 방사형 고속도로 중 가장 내부에 있는 환상선임

### (4) 스페인 마드리드 M30 프로젝트

- 스페인 수도 마드리드의 M10부터 M50까지의 5개 환상도로 중 1974년 완공되어 노후화되고 교통체증 및 사고위험이 심각한 M30도로에 대해 오염된 주변환경을 복원하고 M30의 교통량을 증대시키기 위해 지하화 추진됨
- 도로상부공간을 리모델링하고 도시하부로 대부분의 도로구간을 변경, 기존 지상공간을 녹색공원, 보도, 자전거도로, 주거단지 등으로 재개발함

### (5) 말레이시아 SMART 터널

- 말레이시아 쿠알라룸푸르 Klang강의 범람에 의한 홍수피해를 방지하고 늘어난 교통량에 대응하기 위해 계획된 터널로 홍수조절기능을 수반한 다목적 도로터널임

(6) 미국 보스턴 Big Dig(The Central Artery/Tunnel Project)

- '교통체증 없고 녹지 가득한' 도시로의 변신을 위해 도심을 관통하는 고속도로의 차로를 확장 및 지하화하여 공원과 녹지를 마련하는 것을 목적으로 추진되었음

(7) 미국 Alaskan Way Viaduct and Seawall Replacement Project)

- 미국 워싱턴주 시애틀의 노후화 되고 지진으로 인해 손상된 'Alaskan Way' 고가도로를 철거하고 지하도로를 건설한 프로젝트임

(8) 스웨덴 Sodra Laken Underground Motorway Product

- 1936년 제안된 스톡홀름의 RING ROAD 프로젝트 계획중 남부지역을 연결하는 프로젝트로서 계획되었음

(9) 싱가포르 KPE Road Tunnel

- 싱가포르 Kallang Paya Lebar 고속도로(KPE)의 남쪽 동해안 공원도로(ECP)에서 북동쪽 Tampines 고속도로(TPE)까지 연결되는 고속도로로서 총연장 12km 중 9km를 터널로 구성하여 계획된 터널임

## 2절 국내 동향 및 환경

### 1. SOC 관련 정부 예산 변화

- 정부 주도의 SOC 관련 건설 예산은 전반적으로 매년 6.8% 정도 감소가 예상되며, 항공, 공항, 물류 부문 등에는 새로운 건설 계획에 따라 예산 규모가 일부 확대될 가능성이 있으나 산업단지 개발은 큰 폭의 투자 축소가 예상됨
- 14년부터 19년 동안의 SOC 분야의 투자 계획을 살펴보면, 도로 부문에서 연평균 8.6%로 지속적인 건설 발주의 감소가 예상되어 신규 건설보다는 기존 노후 도로의 유지보수 부문의 예산 증액이 이어질 것으로 예측됨

- ✓ '16년 이후 SOC 분야 예산편성은 전반적으로 연평균 △6.8%씩 감소 예정
- ✓ 항공·공항, 물류 부문을 제외한 전반적으로 SOC 투자는 감소 예상
  - ※ 산업단지 부문이 가장 크게 축소(향후 5년 연평균 △18.6)되고 전반적으로 투자 축소 예정
  - ※ 다만, 동남권 신공항 건설이 계획 확정되면 이를 반영하여 예산규모는 다소 확대될 가능성 상존
- ✓ '15년 발전플랜트, GTX 등 대형 토목공사 발주가 대부분 완료, '16년 중에는 GTX 잔여 구간 발주 등 감소

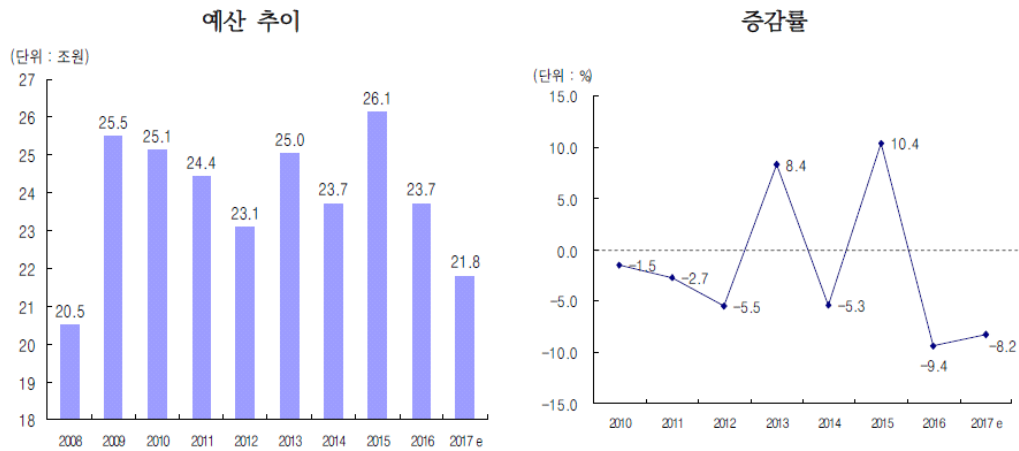
SOC 분야 투자계획(십억원)

	'14	'15	'16	'17	'18	'19	연평균(%)
합계	23,690	24,809	23,312	21,097	19,726	18,720	△6.8
교통 및 물류	18,894	20,295	19,433	17,589	16,493	15,732	△6.2
도로	8,470	9,085	8,372	7,366	6,809	6,346	△8.6
철도·도시철도	6,803	7,405	7,183	6,414	5,987	5,737	△6.2
해운·항만	1,505	1,664	1,718	1,599	1,474	1,443	△3.5
항공·공항	101	136	144	151	165	171	5.8
물류 등 기타	2,015	2,005	2,016	2,059	2,059	2,036	0.4
지역개발	4,796	4,512	3,880	3,508	3,233	2,988	△9.8
수자원	2,383	2,273	2,175	1,968	1,806	1,654	△7.6
지역 및 도시	1,514	1,349	1,075	1,029	985	942	△8.6
산업단지	899	890	630	512	443	391	△18.6

자료 : 기획재정부, "2015~2019 국가재정운용 계획"

### 〈SOC 분야 투자 현황〉

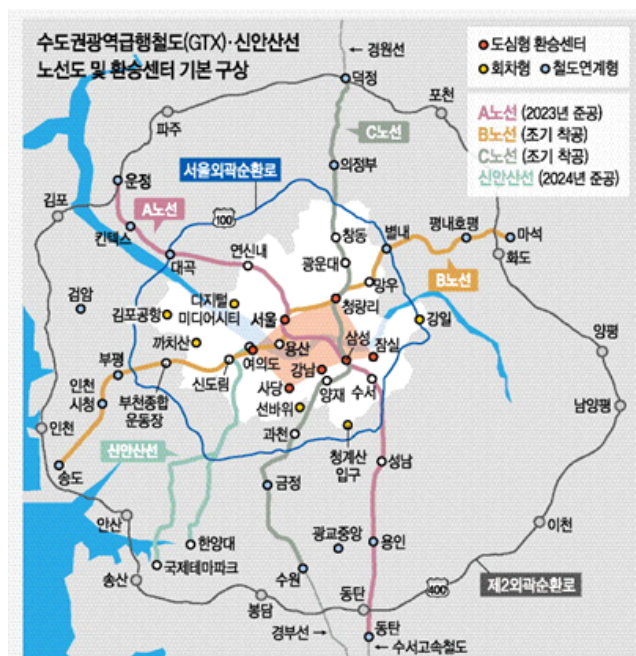
- 최근 10년 동안 정부의 SOC 부문에서 예산 추이에서도 전반적인 감소가 뚜렷하며, 특히 2015년 10.4%의 예산 증액 이후 매년 8~9% 이상으로 큰 폭의 예산 감소가 이어나가고 있는 실정임



주 : 2009년, 2013년, 2015년은 추가경정 예산이 포함된 금액임.  
 자료 : 기획재정부.

### 〈정부 SOC 예산 추이〉

- 최근 SOC 부문에 대한 예산이 줄고 있는 실정이나, 수도권 교통혼잡 등 인구의 50%가 밀집한 수도권의 특성을 감안한 광역교통 비전 등이 발표되면서 지하 교통 인프라에 대한 수요는 증가 될 것으로 예상됨
- 특히 대도시권 광역 교통위원회의 지난 10월 31일자 발표 중 '광역교통 비전 2030'의 내용에는 GTX, 환승센터, 지하도로 등 수도권 전체를 연결하는 지하 교통망 계획이 포함되어 있어 지하 교통 인프라 건설에 필요한 안전성 확보 기술의 개발이 필요 할 것으로 판단됨



〈대도시권 광역교통 비전2030〉

## 2. 도로 부문의 정부 예산 변화

- 이러한 SOC 부문의 정부 예산 감소에 따라 도로 건설에서도 시장 규모가 지속적으로 축소되는 경향이 뚜렷할 것으로 예상됨
- 이는 정부 SOC 예산의 세부 분야별 내용에서 볼 수 있듯이, 도로는 다른 물류 관련 시설물 건설 예산에 비해 연 평균 약 11.1%로 급격한 예산 감소가 이르고 있는 것으로 나타남

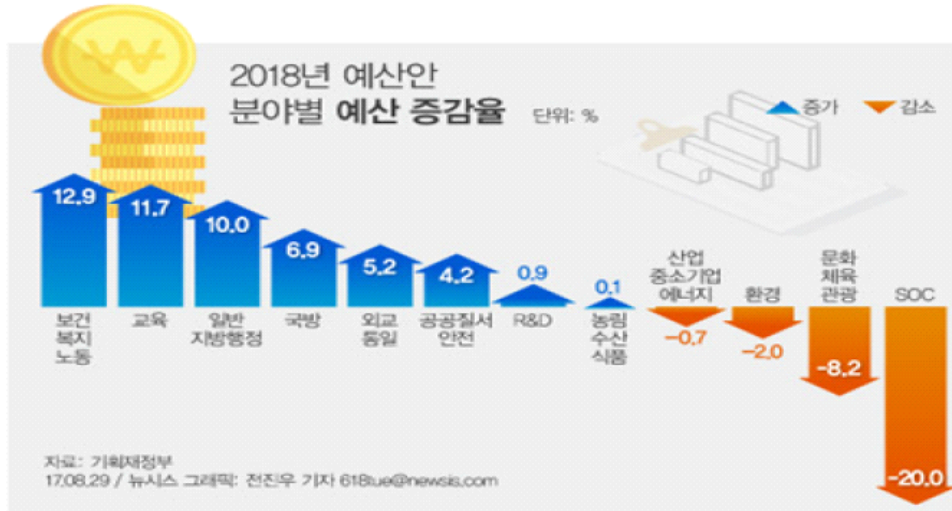
### 〈정부 SOC 예산의 세부 분야별 내용〉

(단위 : 억원, %)

구분	2010년 예산	2011년 예산	2012년 예산	2013년 예산 (추경 포함)	2014년 예산	2015년 예산 (추경포함)	2016년 예산_A	2017년 예산(안)_B	증감률 (B/A, %)
■ 도로	80,038	74,487	77,614	91,667	84,695	93,541	83,409	74,134	-11.1
■ 철도 (도시철도 포함)	53,512	54,055	61,141	69,913	68,032	81,578	74,646	68,041	-8.8
■ 항만·공항	19,283	17,012	17,056	16,121	16,060	18,524	19,645	17,417	-11.3
교통 SOC 계	152,833	145,555	155,811	177,701	168,787	193,643	177,700	159,592	-10.2
■ 수자원	51,076	50,182	29,020	23,694	23,830	24,655	21,496	18,612	-13.4
■ 물류, 지역 및 도시 등	47,198	48,669	46,095	45,638	44,279	43,161	37,758	39,418	4.4
기타 SOC 계	98,274	98,851	75,115	96,332	68,109	67,816	59,254	58,030	-2.1
총계	251,106	244,406	230,926	250,261	236,895	261,459	236,953	217,622	-8.2

자료 : 기획재정부.

- 2018년의 정부 예산에서도 SOC 부문은 가장 큰 폭의 감소율인 20%로서 관련 건설 산업의 축소와 더불어 재조정 등이 예상됨. 이는 SOC 부문이 건설에서 유지보수 시장으로 산업의 재조정과 업계의 변화가 이루지는 계기가 됨을 의미함



자료: 기획재정부, 뉴시스 신문기사 재인용

구분	2017년	2018년(안)	비고
도로	74,089	54,424	국도 건설(2.7조→1.8조)
철도 및 도시철도	71,437	47,143	일반철도 건설(4.4조→2.0조)
해운 및 항만	17,607	17,021	항만개발 및 관리(1.5조→1.3조)
수자원	18,108	16,762	하천관리 및 홍수예보(1.6조→1.5조)
지역 및 도시	12,028	15,536	도시정책(0.2조→0.5조)
물류, 항공 및 산단	28,086	26,272	산업단지(0.5조→0.3조)
<b>합계</b>	<b>221,354</b>	<b>177,159</b>	<b>전년대비 20% 감소</b>

자료: 기획재정부

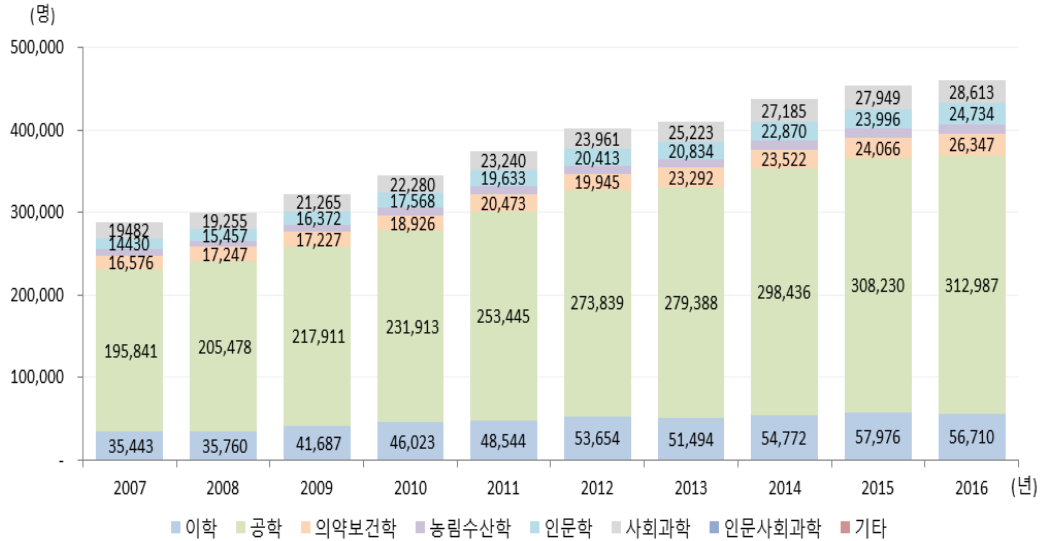
### 〈2018년 분야별 예산안〉

- 따라서 이러한 도로 건설 부문의 전반적인 정부 예산 감소에 따라 관련 산업의 체질 개선과 함께 건설 관련 효율성 제고를 위한 시공 장비의 자동화와 인력 효율화 등의 업계 노력과 관련 기술의 개발이 요구됨
- 이와 더불어 정부 예산의 효과적인 집행을 통한 도로 시설물의 수명 연장 등이 요구되고 있어 시공 품질관리 수준 향상을 위한 관련 기술 및 기준 등의 정비도 더욱 필요한 것으로 사료됨

<ul style="list-style-type: none"> <li>● 2018년 SOC분야 예산 <b>20.0%</b> 감소</li> <li>● 2017년 도로 분야 예산 <b>11.1%</b> 감소</li> </ul>	➔	<b>도심지 지하 교통 인프라 운영기술 고도화 필요</b>
--	---	--------------------------------------

### 3. 연구인력 현황

- 2016년 우리나라 공학 분야 전공자 수가 312,987명(67.9%)으로 가장 많음
- 과학기술 분야(이학, 공학, 의약보건학, 농림수산학) 전공자 비중은 전체의 88.4%



〈우리나라 전공별 연구원 수 추이〉

〈우리나라 전공별 연구원 수〉

(단위 : 명, %)

구분		2011	2012	2013	2014	2015	2016
이학	연구원 수	48,544	53,654	51,494	54,772	57,976	56,710
	비중	12.9	13.4	12.5	12.5	12.8	12.3
공학	연구원 수	253,445	273,839	279,388	298,436	308,230	312,987
	비중	67.6	68.2	68.1	68.2	68.0	67.9
의약 보건학	연구원 수	20,473	199,945	23,292	23,522	24,066	26,347
	비중	5.5	5.0	5.7	5.4	5.3	5.7
농림 수산학	연구원 수	9,841	9,912	10,102	10,662	11,045	11,378
	비중	2.6	2.5	2.5	2.4	2.4	2.5
인문학	연구원 수	19,633	20,413	20,834	22,870	23,996	24,734
	비중	5.2	5.1	5.1	5.2	5.3	5.4
사회 과학	연구원 수	23,240	23,961	25,223	27,185	27,949	28,613
	비중	6.2	6.0	6.1	6.2	6.2	6.2
총계	연구원 수	375,176	401,724	410,333	437,447	453,262	460,769
	비중	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0

\* 출처 : 2016년도 연구개발활동조사보고서, KISTEP, 2018.2.17.

- 국토건설·교통 분야 기준 10년간('09~'18년) R&D 참여 인력은 총 152,308명으로 '09년(14,398) 대비 '18년(16,779) 16.5% 증가함
- 그 중 본 사업의 선행사업 「건설기술연구사업」의 경우 참여연구원은 24,056명으로 총 참여 인력의 16.0%수준이며 철도기술연구사업(20.1%) 다음으로 많은 수준임

**〈국토건설·교통 분야 기준 10년간 사업별 참여 인력 수('09~'18)〉**

년도	'09	'10	'11	'12	'13	'14	'15	'16	'17	'18	합계
참여 인력 수	14,398	16,309	12,044	11,936	14,732	16,441	17,212	16,015	16,442	16,779	152,308

사업명	참여 인력 수	비율 (%)	사업명	참여 인력 수	비율 (%)
건설기술연구사업	24,056	15.8	항공안전기술개발사업	6,332	4.2
교통물류연구사업	17,409	11.4	국토공간정보연구사업	4,973	3.3
국토교통기술사업화지원	6,168	4.0	국토교통기술촉진연구사업	2518	1.7
국토교통기술지역특성화사업	5,685	3.7	무인비행체 안전지원 기술개발사업	364	0.2
국토교통기술촉진연구사업	11,625	7.6	국토교통기술촉진연구사업	11,625	7.6
도시건축연구사업	16,888	11.1	국가전략프로젝트	548	0.4
물관리연구사업	10,059	6.6	국토교통기술촉진연구사업	2518	1.7
주거환경연구사업	4,097	2.7	철도기술연구사업	30,216	19.8
플랜트연구사업	10,383	6.8	기타*	1899	1.2

- 10년간('09~'18) 국토건설·교통 분야 참여 인력 수는 연평균 1,964명으로 본 사업기간인 4년('20~'24)의 인력투입계획은 연평균 233명으로 연구수행을 위한 인력 인프라는 충분한 수준
- 동 사업에서 투입이 필요한 총 인원은 931명
- 책임급 인력은 161명, 선임급 인력은 140명이 소요되는 것으로 산정
- 중소·중견기업은 주로 연구원급, 일부 선·책임급으로 인력의 참여
- 대학, 출연연구기관 중심으로 선·책임급 인력의 참여

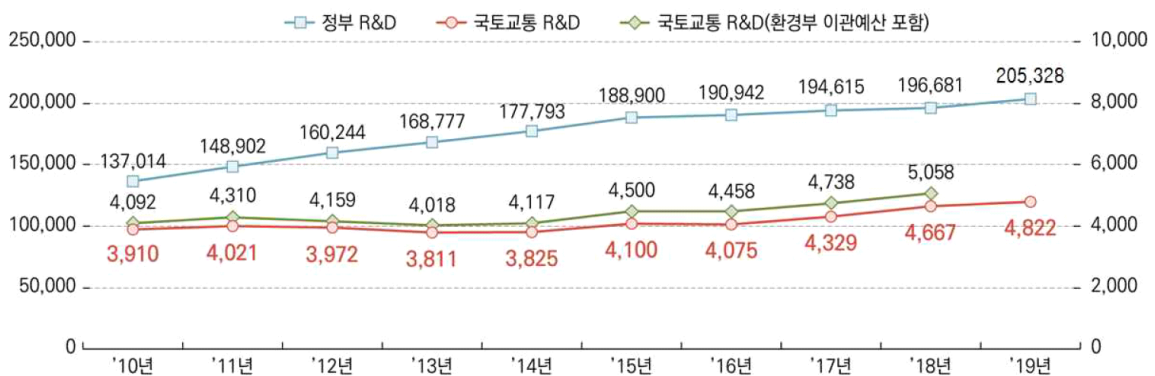
〈건설기술연구사업 10년간 사업별 참여 인력 수('09~'18)〉

년도	'09	'10	'11	'12	'13	'14	'15	'16	'17	'18	평균
참여 인력 수	3,420	2,282	2,162	2,428	1,289	1,762	2,005	1,764	1,220	1,312	1,964

- 조사된 통계데이터에 따르면 2016년 기준 국내 공학분야 전공자의 비율을 67.9%로 가장 높게 나타났고, 국토건설·교통 분야의 종사자들은 2018년 기준 16,779명으로 10년 전에 비해 16.5% 증가하여 지속적으로 전문 인력이 양성 중
- 건설기술연구사업의 최근 10년간 평균 참여인력이 1,964명인 점을 고려했을 때, 본 사업의 필요 전문 연구 인력은 그 중 11.9%로 인력인프라는 충분할 것으로 사료
- 따라서 본 사업에서 추진하고자 하는 입체화 된 도심지 지하 교통 인프라 확충을 위한 안전 감시 시스템 개발과 설계·시공 및 운영 고도화를 위한 핵심 기술 개발 관련 전문 인력은 충분한 수준임

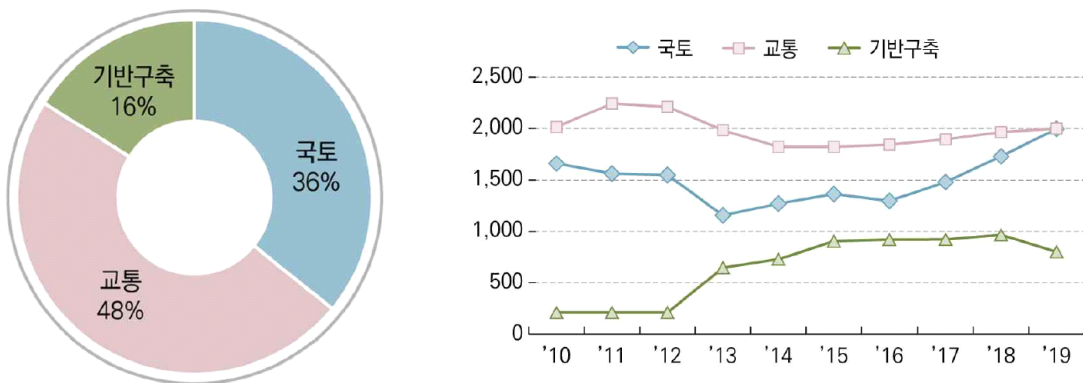
#### 4. 국내 R&D 투자 동향

- 국토교통 R&D 사업 예산은 최근 10년 동안 연평균 2.4%씩 증가
- 2019년도 국토교통 R&D 사업 예산은 4,822억원(전년대비 3.3% 증가)으로 정부 R&D 예산 20.5조원의 2.4%에 해당



〈최근 10년간 R&D 사업 예산 [단위 : 억원]〉

- 최근 10년간 교통(48%) 분야의 투자비중이 가장 높고 국토(36%), 기반구축(16%) 순으로 투자가 이루어짐



〈분야별 투자비중 및 분야별 투자 추이[단위 : 억원]〉

- 국토교통 R&D 사업 예산은 정부 R&D 예산의 2.4%이고 지난 10년간 연평균 2.4%씩 꾸준히 증가하고 있어 지속적인 연구 및 기술 개발이 이루지고 있음
- 최근 들어서는 국토 분야와 교통 분야에 집중적으로 투자되고 있어 추세임

## 5. 국내 동향 및 환경 소결

- 정부는 최근 10년 간 SOC 부문에서 2015년을 제외하고 매년 8~9% 이상으로 예산을 줄여가고 있고 그중에서도 도로 부분에서는 2017년에 전년도 대비 11.1%의 예산 감소가 나타났음
- 하지만 국토교통 R&D는 매년 약 5천억 규모로 지속적인 투자가 이루어지고 있고, 관련 분야 전문 연구 인력도 연평균 약 2천명으로 충분한 인프라가 확보된 실정임
- 따라서 정부의 SOC(도로) 분야 예산 감소에도 불구하고 국토교통 R&D 예산과 연구 인력 인프라를 활용하여 입체화 된 도심지 지하 교통 인프라 수요를 대비한 건설 및 운영기술의 고도화 추진 필요

### 3절 기술동향 분석

#### 1. 분석의 개요

- “차세대 대심도 지하도로 인프라 안정성 확보 기술<sup>1)</sup>” 과제 내용을 세부 주제에 따라 세부 기술로 분류하고, 각 세부 기술별 검색식을 작성하여 관련 선행기술을 조사함
- 본 보고서에서는 각 세부 기술분류(1차 및 2차 기술분류)별 특허동향(출원동향, 출원인 동향) 및 논문동향(발행동향, 발행기관 동향)을 조사함
- 각 세부 기술분류별 기술적 특징이 서로 다르기 때문에, 세부 기술분류별로 별도의 검색식을 작성하고 조사를 수행함

〈세부 주제별 기술분류〉

과제 내용	1차 기술분류	2차 기술분류
지반굴착 분야 (A)	Big Data 기반 대심도 지하공간 인프라 통합 설계 플랫폼 개발 (AA)	지하수위 관리 기술 (AAA)
		합리적 조사위치 결정 기술 (AAB)
		지하 굴착에 따른 영향 및 안정성 평가 기술 (AAC)
	ICBM 및 VR/AR 기술을 활용한 대심도 시공 중 안정성 확보 기술 (AB)	진동 및 소음 관리 기술 (ABA)
		대심도 시공 중 안정성 확보 기술 (ABB)
지하수 관리 안전 분야 (B)	AI기반 지하공간 스마트 환기 및 화재안전 기술 고도화 (BA)	위험차량 관리 기술 (BAA)
		대심도 지하공간 화재 안전 구축 및 관리 기술 (BAB)
	ICT 융복합을 통한 대심도 지하공간 자율주행 및 도로관리 지원 기술 (BB)	지하도로 주행환경 관리 기술 (BBA)
		대심도 지하도로 관리 기술 (BBB)

1) 기획과제 초기 제목이며, 기획을 거쳐 도출된 제목은 “도심 지하 교통 인프라 건설 및 운영 기술 고도화” 임

(1) 세부 기술분류별 검색식

- Big Data 기반 도심도 지하공간 인프라 통합 설계 플랫폼 개발(AA)

〈2차 기술분류별 키워드 조합 및 검색식〉

2차 기술분류	키워드 조합	검색식
지하수위 관리 기술 (AAA)	(지하수위관리 or 방배수설계) and 지하수	((((지하수위* ((지하수* 지중수* 암반수*) near3 (수위* 높이* 깊이*)) ((groundwater* ground-water* underground-water* "ground water" "underground water" ((underground* subsurface* subterranean*) near5 water*)) near10 (depth* level* leak* seepage* capacity* volume*))) and ((보존* 유지* 보존* preserve* conserve* keep* maintain* mainte*) or (관리* 관제* 감지* 감시* 관찰* 모니터링* 관측* 제어* 통제* sens* monitoring* manage* perceive* perception* observ* watch* control*))) or ((방배수* 방수* 배수* 방류* 퇴수* drain* waterproof* watertight* ((prevent* control*) near3 flood*)) and (설계* 설비* 모델링* 디자인* 구축* 장치* 장비* 시설* modeling* design* plan* facilit* equipment*))) and (지하수* 지중수* 암반수* groundwater* ground-water* underground-water* "ground water" "underground water" ((underground* subsurface* subterranean*) near5 water*))
합리적 조사위치 결정 기술 (AAB)	(지반조사 or InSAR) and 지하	((((지반* 땅* 지면* 지층* 지질* 지중* soil* ground* geological* subgrade*) near10 (탐사* 사탐* 분석* 탐지* 조사* 검사* 진단* 탐측* 체크* 검증* 테스트* explor* seek* analysis* analy* survey* investigat* research* check* inquir* verif* test*)) or (InSAR* "insar" "Interferometric Synthetic Arerture Radar" "간섭계 합성 개구 레이더" "위성레이더 간섭기법" (interferometric* near synthetic* near arerture* near radar*) ((간섭* near 합성*) near2 레이더*))) and (대심도* 지하* underground* under-ground* "under ground" 언더그라운드* basement* "DEEP DEPTH" subterranean*))
지하 굴착에 따른 영향 및 안정성 평가 기술 (AAC)	굴착 and 영향,안전 and 지하	((굴착* 굴삭* 굴토* 착굴* 시추* 땅파기* dig* excavat* boring*) and ((영향* 작용* 여파* influenc* effect* impact*) or (안전* safe* security* secure*) or (저해* 방해* 장애* 폐해* 간섭* hindrance* imped* disturb* hamper*))) and (대심도* 지하* underground* under-ground* "under ground" 언더그라운드* basement* "DEEP DEPTH" subterranean*))

- ICBM 및 VR/AR 기술을 활용한 대심도 시공 중 안정성 확보 기술(AB)

〈2차 기술분류별 키워드 조합 및 검색식〉

2차 기술분류	키워드 조합	검색식
진동 및 소음 관리 기술 (ABA)	(진동,소음관리 or 구조물변위) and 지하 and 시공	((((진동* 바이브* 떨림* vibrat* 울림* 흔들* shock* tremor* quake* shake* trembl*) or (소음* 노이즈* 시끄* 마찰음* 잡음* 굉음* nois* racket* din*)) and ((표준화* standardiz*) or (관리* 관제* 감시* 감시* 관찰* 모니터링* 관측* 제어* 통제* sens* monitoring* manage* perceive* perception* observ* watch* control*)) or ((구조물* 건축물* 건물* 빌딩* 구축물* 시설물* 건설물* 토목* 시설* structur* construc* building* facilit*) and (변위* 변형* 변동* 변화* displacement* chang* dislocat* movement* diastrophism*))) and (대심도* 지하* underground* under-ground* "under ground" 언더그라운드* basement* "DEEP DEPTH" subterr*) and (시공* 공사* 준공* 건설* 건축* construct* build*)
대심도 시공 중 안정성 확보 기술 (ABB)	진동저감 or 교란영역보강 or 선진보링 or 굴착손상도 or 계측단면표준화 or 계측빈도 or 원격의사결정 and 지하	((((진동* 바이브* 떨림* vibrat* 울림* 흔들* shock* tremor* quake* shake* trembl*) near3 (저감* 감쇄* 감소* 저하* 최소* reduc* dimin* decreas* small* minimum* lower*)) and ((굴착* 굴삭* 굴토* 착굴* 시추* 땅파기* dig* excavat* boring*) or ((교란* 간섭* 혼선* 혼동* disturb* throw* perturb* confus*) near3 (영역* 구역* 에어리* 존* 섹션* 섹터* 범위* 지역* 파트* zone* region* area* part* range* sector* section* district*)) near10 (보강* 강화* 보완* 보충* 개선* reinforc* enhanc* strength* strong* supplement* intension* improv*)) or (선진보링* pilot-boring* ((선진* 파일럿* pilot*) near (보링* boring*)) or ((굴착* 굴삭* 굴토* 착굴* 시추* 땅파기* dig* excavat* boring*) near5 (손상* 파손* 훼손* 파괴* 결함* 고장* damag* destroy* broke* crack* defect* harm* demoli* trouble*)) or ((계측* 측정* 측량* 검측* 검사* measur* detect* survey*) or ((계측* 측정* 측량* 검측* 검사* measur* detect* survey*) near2 (단면* 절단면* section* insection*) or (계측단면* "계측 단면*" "measuring section*" measuring-section*)) near5 (표준화* standardiz*)) or ((계측* 측정* 측량* 검측* 검사* measur* detect* survey*) near5 (빈도* 횟수* 빈수* frequenc* repeat*)) or ((원격* 원거리* 장거리* 리모트* 리모팅* 무선* 연동* "long distance*" long-distance* "long range*" remot* wireless*)) near10 (의사결정* 의사 결정" "decision making*" decision-making* (decis* near2 mak*)))) and (대심도* 지하* underground* under-ground* "under ground" 언더그라운드* basement* "DEEP DEPTH" subterr*)

- 시 기반 지하공간 스마트 환기 및 화재안전 기술 고도화(BA)

〈2차 기술분류별 키워드 조합 및 검색식〉

2차 기술분류	키워드 조합	검색식
위험차량 관리 기술 (BAA)	(위험차량관리 or 주행차량분석) and 지하	key:((((위험* 위험* 운송* 결함* 사고유발* "사고 유발" 사고원인* "사고 원인" 사고* danger* risk* hazard* menace* threat* flaw* defect* fault* "accidents causes" "accidents induc*" transport* accident* crash* smash-up* smashup* (smash* adj up*)) near5 (차량* 차* 자동차* 자가용* 트럭* 화물차* vehicle* car* automobile* truck* lorry*)) near10 (관리* 관제* 감지* 감시* 관찰* 모니터링* 관측* 제어* 통제* sens* monitoring* manage* perceive* perception* observ* watch* control*)) or (((주행* 운행* 운전* 진행* 통행* driv* run* operat*) near2 (차량* 차* 자동차* 자가용* 트럭* 화물차* 환경* 상황* 현황* vehicle* car* automobile* truck* lorry* environment* situat*)) near10 (분석* 평가* 검사* 파악* 체크* 확인* analysis* evaluat* check* understand* confirm*)) and (위험* 위험* 위기* 주의* danger* risk* hazard* menace* threat* fault* caution*)) and key_dsc:(대심도* 지하* underground* under-ground* "under ground" 언더그라운드* basement* "DEEP DEPTH" subterr*)
대심도 지하공간 화재 안전 구축 및 관리 기술 (BAB)	(화재설비 or 내연성내장제) and 지하공간	(((화재* 소방* 방재* 불* 소화* 진화* 파이어* fire* flame* blaze* conflagration* extinguish*) near10 ((관리* 관제* 감지* 감시* 관찰* 모니터링* 관측* 제어* 통제* sens* monitoring* manage* perceive* perception* observ* watch* control*) or (분석* 평가* 검사* 파악* 체크* 확인* analysis* evaluat* check* understand* confirm*)) or (설계* 설비* 모델링* 디자인* 구축* 장치* 장비* 시설* modeling* design* plan* facilit* equipment*)) or ((내연성* 내연* 난연* 불연* 고난연* 저발연* 난연성* 불연성* non-combust* (non* adj (bombust* flam*)) tolerance* inconbust* nonflamm* fireproof* (fire* near proof*)) near10 (내장재* 내장제* 건축재* 건축패널* 내장패널* 포장* "interior material" "interior panel" "building timber" packag*)) or ((환기기* 환기장치* "환기 장치" 공기순환기* 공기순환장치* "공기 순환장치" "공기 순환 장치" 공기정화기* "공기 정화장치" "공기 정화 장치" 공기청정기* "통풍 장치" 통풍장치* 환풍장치* ventilator* aerator* "air circulation" "air cleaner" "air purifier") near10 ((운전* 진행* 운행* 작동* 구동* 가동* driv* run* operat* work*) near3 (제어* 조절* 조종* 통제* 컨트롤* 조정* control* regulat* control hand*)) and ((지하도* 지하차도* 지하터널* tunnel* underpass* 지하로* "underground tunnel" "underground passage" subway*) or ((대심도* 지하* underground* under-ground* "under ground" 언더그라운드* basement* "DEEP DEPTH" subterr*) near5 (공간* 영역* 장소* space* area* region* territor* place* location* position*))

- ICT 융복합을 통한 도심도 지하공간 자율주행 및 도로관리 지원 기술(BB)

### 〈2차 기술분류별 키워드 조합 및 검색식〉

2차 기술분류	키워드 조합	검색식
지하도로 주행환경 관리 기술 (BBA)	주행환경관리 and 무인,자율 and 지하도	((주행* 운행* 운전* 진행* 통행* driv* run* operat* 차량* 차* 자동차* 자가용* 트럭* 화물차* vehicle* car* automobile* truck* lorry* 교통* 도로* traffic* 차도* 차로* street* road*) and (관리* 관제* 감지* 감시* 관찰* 모니터링* 관측* 제어* 통제* sens* monitoring* manage* perceive* perception* observ* watch* control*) and (자율* 오토* 자동* 무인* 전자동* auto* manless* unman* un-man* self-control* "self control")) and (지하도* 지하차도* 지하터널* tunnel* underpass* 지하로* "underground tunnel" "underground passage" subway*)
도심도 지하도로 관리 기술 (BBB)	(낙하물감지 or 공기질관리) and 지하도	((((낙하물* 장애물* "fallen object*" dropping* "falling object*" obstacle* obstruction* 방해물* hindrance* impediment*) near10 (관리* 관제* 감지* 감시* 관찰* 모니터링* 관측* sens* monitoring* manage* perceive* perception* observ* watch* 수거* 수집* 회수* 처리* collect* pickup* "pick up" gather*)) or ((공기* 공기질* 대기질* 유해물질* 실내오염* 먼지* 분진* 가스* air* "air quality" "hazardous articles" "room air" "indoor air" dust* "air environment" gas*) near10 (관리* 관제* 감지* 감시* 관찰* 모니터링* 관측* 제어* 통제* sens* monitoring* manage* perceive* perception* observ* watch* control*)))) and (지하도* 지하차도* 지하터널* tunnel* underpass* 지하로* "underground tunnel" "underground passage" subway*)

(2) 검색건수 및 유효건수

● 검색개요

〈검색 DB 및 검색범위〉

자료 구분	국가	검색 DB	검색구간	검색범위
특허	한국	WIPS ON	~2019.3. (검색일)	공개특허 및 등록특허
	미국			공개특허 및 등록특허
	일본			공개특허 및 등록특허
	유럽			공개특허 및 등록특허
논문	전체	SCOPUS	~2019.3. (검색일)	공개논문

● 검색건수 및 유효건수

〈기술분류별 검색건수 및 유효건수〉

기술 분류	특허										논문	
	검색건수					유효건수					검색 건수	유효 건수
	한국	미국	일본	유럽	합계	한국	미국	일본	유럽	합계		
AAA	980	321	1,209	83	2,593	284	132	322	29	767	5,551	1,869
AAB	280	231	448	60	1,019	107	44	154	24	329	18,871	3,735
AAC	526	688	1,727	160	3,101	154	146	511	23	834	8,310	2,659
ABA	437	446	659	532	2,074	192	129	341	171	833	1,974	489
ABB	140	281	207	72	700	47	166	133	36	382	1,609	393
BAA	132	117	26	42	317	80	32	14	18	144	217	59
BAB	271	207	322	98	898	216	47	266	57	586	2,474	645
BBA	187	659	423	456	1,725	113	105	249	101	568	5,333	1,377
BBB	152	705	524	347	1,728	92	48	177	54	371	7,424	1,521
합계	3,105	3,655	5,545	1,850	14,155	1,285	849	2,167	513	4,814	51,763	12,747

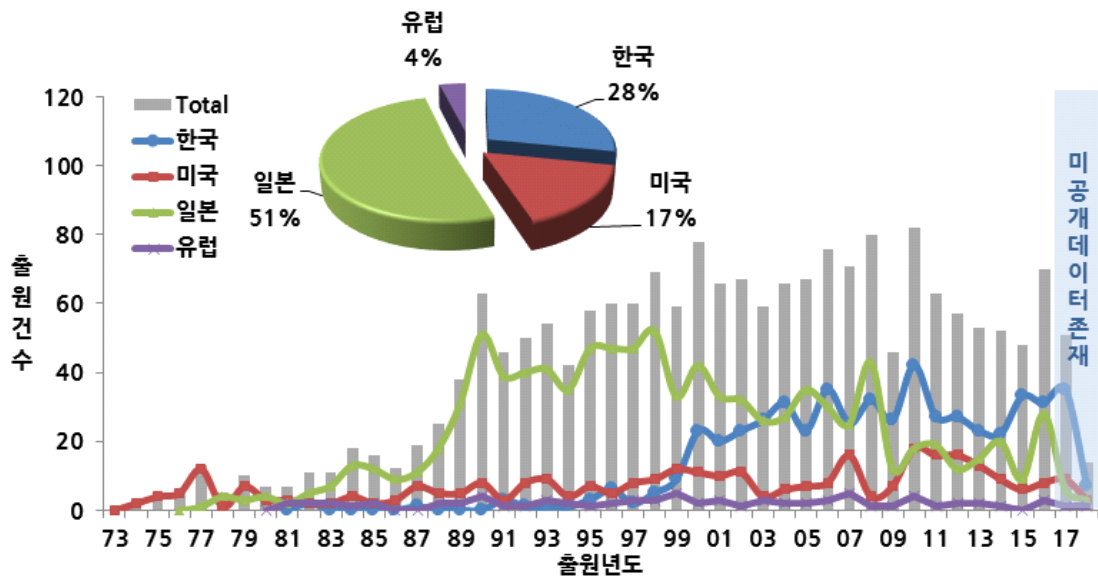
※ 검색건수 : 검색식에 따른 검색건수(Raw Data)

※ 유효건수 : 노이즈 제거 후 건수

## 2. 특허 동향분석

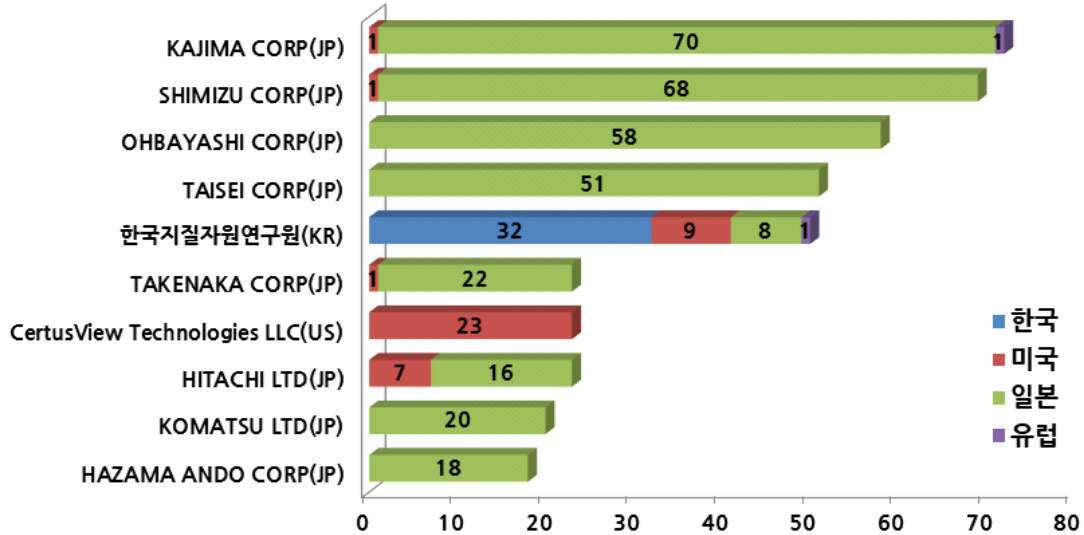
가. Big Data 기반 대심도 지하공간 인프라 통합 설계 플랫폼 개발(AA)

(1) 연도별 출원동향



- Big Data 기반 대심도 지하공간 인프라 통합 설계 플랫폼 개발(AA) 기술과 관련하여 특허 출원동향을 살펴보면, 전체적으로 일본 출원의 비중이 51%로 가장 높은 것으로 나타나고 있으며, 이어서 한국이 28%, 미국이 17%, 유럽이 4%의 점유율을 차지하고 있음
- 관련 특허의 출원은 미국에서 가장 먼저 시작되었으며, 1980년대 후반부터 1990년대 후반까지 일본의 출원이 급격히 증가하였다가 이후 최근까지 감소하고 있음. 한국의 경우, 1990년대 후반부터 출원이 증가하는 추세를 나타내고 있음

(2) 주요출원인 현황

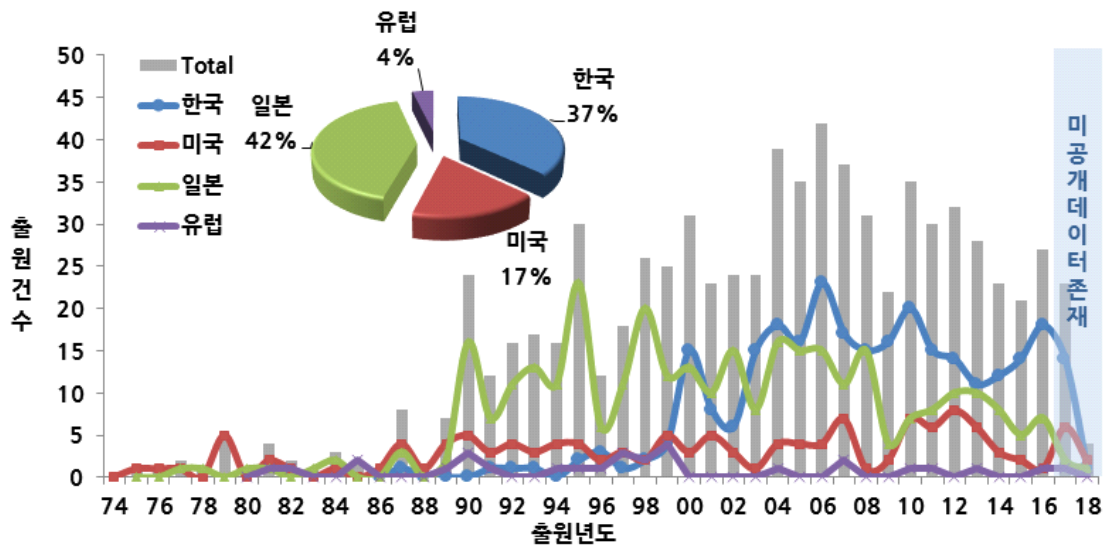


- Big Data 기반 도심도 지하공간 인프라 통합 설계 플랫폼 개발(AA) 기술과 관련하여 주요출원인을 살펴보면, 주로 일본 국적의 출원인이 상위 출원인으로 분포하고 있으며, 상위 출원인들은 자국의 출원에 집중하고 있는 것으로 나타나고 있음
- 관련 기술분야의 최다 출원인은 일본의 KAJIMA로 나타났으며, 이외에도 SHIMIZU, OHBAYASHI, TAISEI 등이 주요출원인으로 나타남
- 국내 출원인으로는 한국지질자원연구원이 상위 출원인에 포함된 것으로 나타남

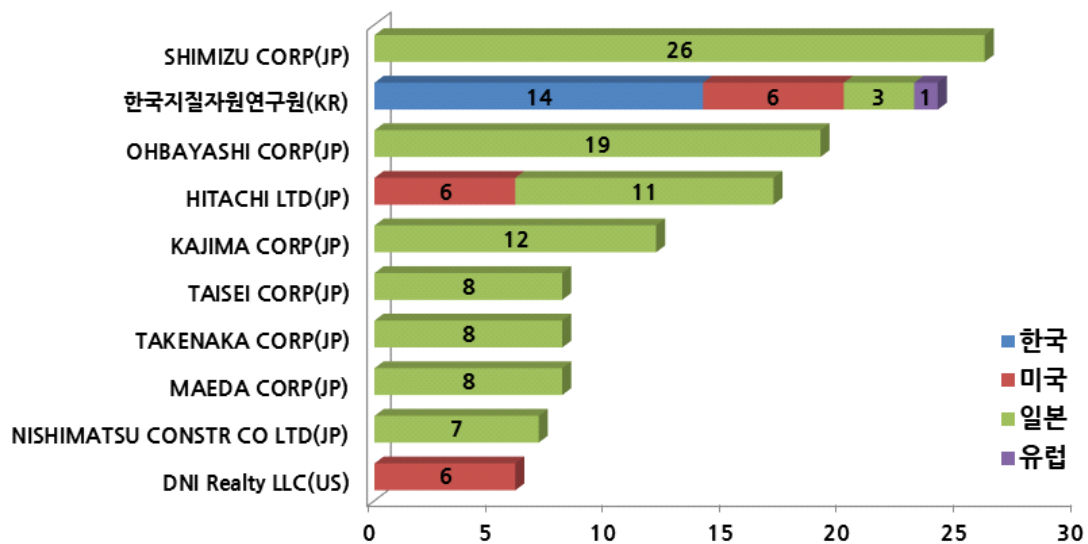
나. 지하수위 관리 기술(AAA)

(1) 연도별 출원동향

- 지하수위 관리 기술(AAA)과 관련하여 특허 출원동향을 살펴보면, 전체적으로 일본 출원의 비중이 42%로 가장 높은 것으로 나타나고 있으며, 이어서 한국이 37%, 미국이 17%, 유럽이 4%의 점유율을 차지하고 있음
- 관련 특허의 출원은 1990년대 초반에 급격히 증가하여 최근까지 지속적으로 출원되고 있음. 일본의 출원은 1980년대 후반부터 1990년에 후반에 걸쳐 증가하였다가 이후 감소하는 추세를 보이며, 한국의 경우 1990년대 후반부터 출원이 증가하는 추세를 나타내고 있음



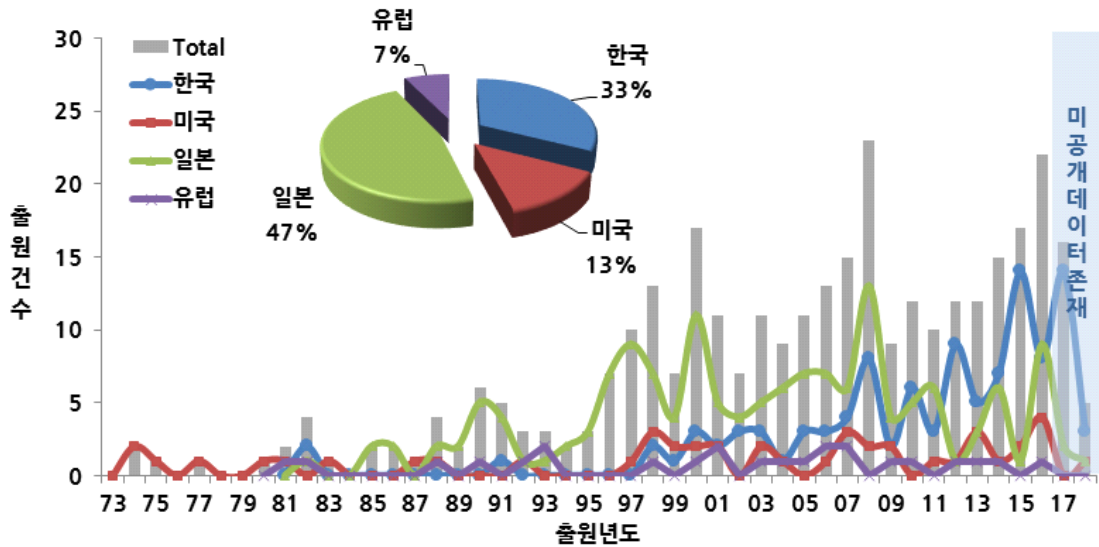
(2) 주요출원인 현황



- 지하수위 관리 기술(AAA)과 관련하여 주요출원인을 살펴보면, 주로 일본 국적의 출원인들이 상위 출원인에 분포하고 있으며, 대부분의 상위 출원인들은 자국의 출원에 집중하고 있는 것으로 나타나고 있음
- 관련 기술분야의 최다 출원인으로는 일본의 SHIMIZU로 나타났으며, 이외에도 한국지질자원연구원, OHBAYASHI, HITACHI 등이 주요출원인으로 나타남

다. 합리적 조사위치 결정 기술(AAB)

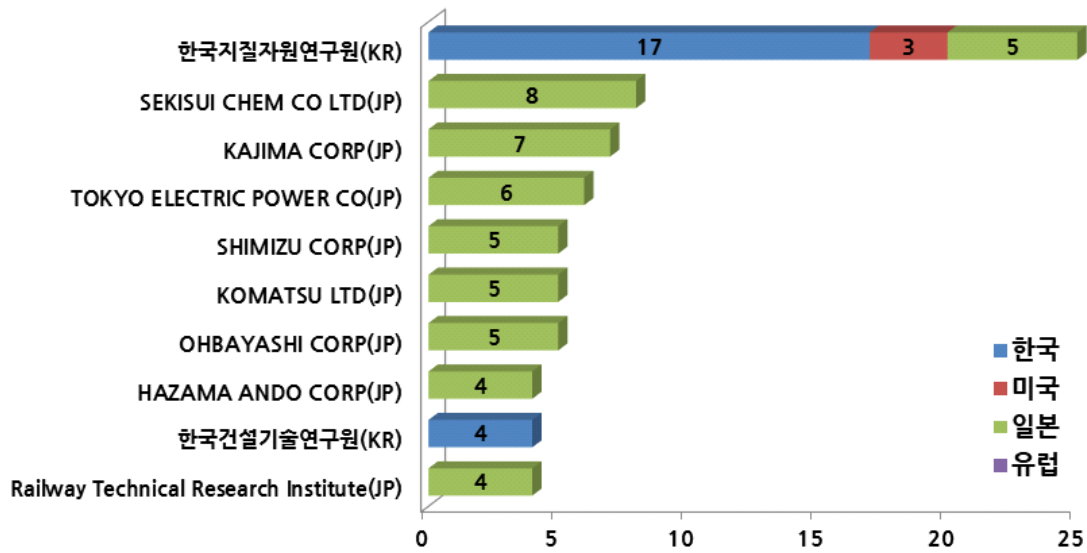
(1) 연도별 출원동향



- 합리적 조사위치 결정 기술(AAB)과 관련하여 특허 출원동향을 살펴보면, 전체적으로 일본 출원의 비중이 47%로 가장 높은 것으로 나타나고 있으며, 이어서 한국이 33%, 미국이 13%, 유럽이 7%의 점유율을 차지하고 있음
- 관련 특허의 출원은 미국에서 가장 먼저 시작되었으며, 1990년대 후반부터 출원이 증가하는 추세를 보이고 있음. 일본은 1990년대 중반부터 2000년대 후반까지 활발한 출원을 보이다가 최근 감소하고 있으며, 한국은 2000년대 중반부터 출원이 증가하는 추세를 나타내고 있음

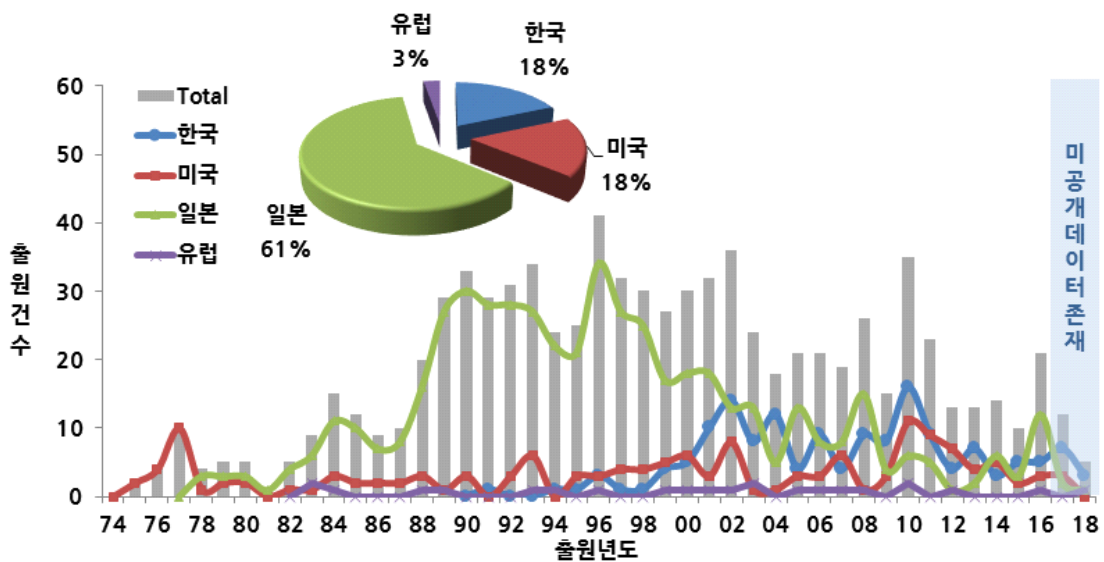
(2) 주요출원인 현황

- 합리적 조사위치 결정 기술(AAB)과 관련하여 주요출원인을 살펴보면, 주로 한국 및 일본 국적의 출원인들이 상위 출원인에 분포하고 있으며, 상위 출원인들은 자국의 출원에 집중하고 있는 것으로 나타나고 있음
- 관련 기술분야의 최다 출원인으로는 한국의 한국지질자원연구원으로 나타났으며, 이외에도 SEKISUI CHEM, KAJIMA, TOKYO ELECTRIC POWER 등이 주요출원인으로 나타남
- 국내 출원인으로는 한국지질자원연구원 외에 한국건설기술연구원이 상위 출원인에 포함된 것으로 나타남



라. 지하 굴착에 따른 영향 및 안정성 평가 기술(AAC)

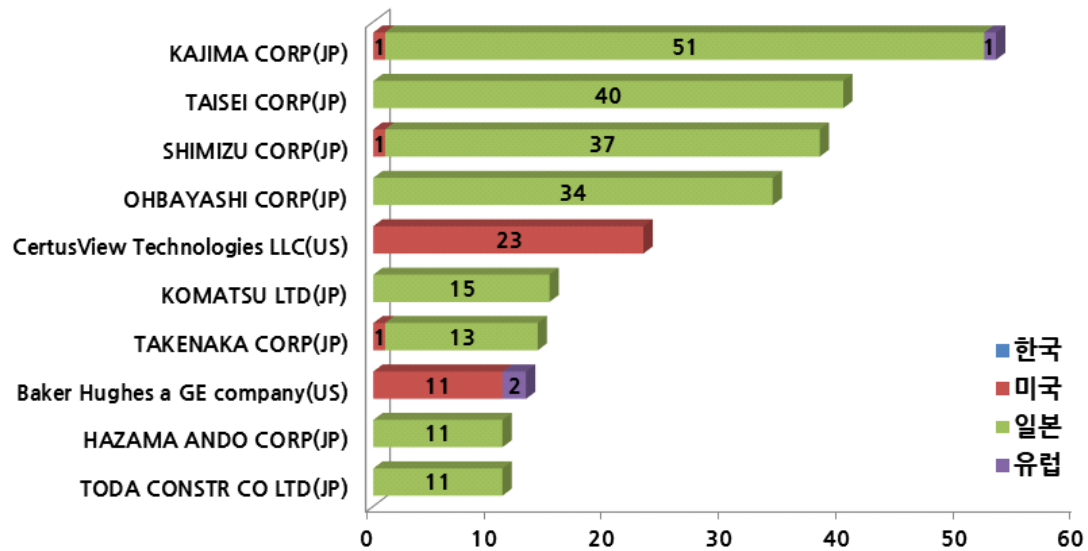
(1) 연도별 출원동향



- 지하 굴착에 따른 영향 및 안정성 평가 기술(AAC)과 관련하여 특히 출원동향을 살펴보면, 전체적으로 일본 출원의 비중이 61%로 가장 높은 것으로 나타나고 있으며, 이어서 한국과 미국이 각각 18%, 유럽이 3%의 점유율을 차지하고 있음

- 관련 특허의 출원은 미국에서 가장 먼저 시작되었으며, 1980년대 후반부터 1990년대 후반까지는 일본특허가 많이 출원되었으나 이후 감소하였음
- 한국의 경우 2000년대 초반부터 출원이 소폭 증가하다가 최근 감소하는 추세를 나타내고 있음

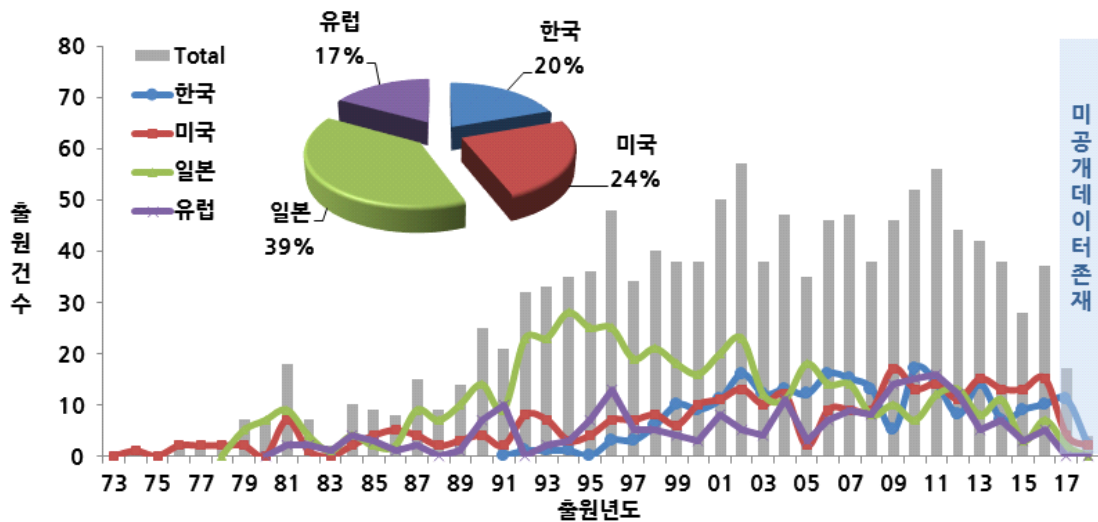
(2) 주요출원인 현황



- 지하 굴착에 따른 영향 및 안정성 평가 기술(AAC)과 관련하여 주요출원인을 살펴보면, 주로 일본 국적의 출원인들이 상위 출원인에 분포하고 있으며, 상위 출원인들은 자국의 출원에 집중하고 있는 것으로 나타나고 있음
- 관련 기술분야의 최다 출원인으로는 일본의 KAJIMA으로 나타났으며, 이외에도 TAISEI, SHIMIZU, OHBAYASHI 등이 주요출원인으로 나타남
- 주요출원인 중 다수는 건설 및 토목회사로 나타나고 있음

## 마. ICBM 및 VR/AR 기술을 활용한 대심도 시공 중 안정성 확보 기술(AB)

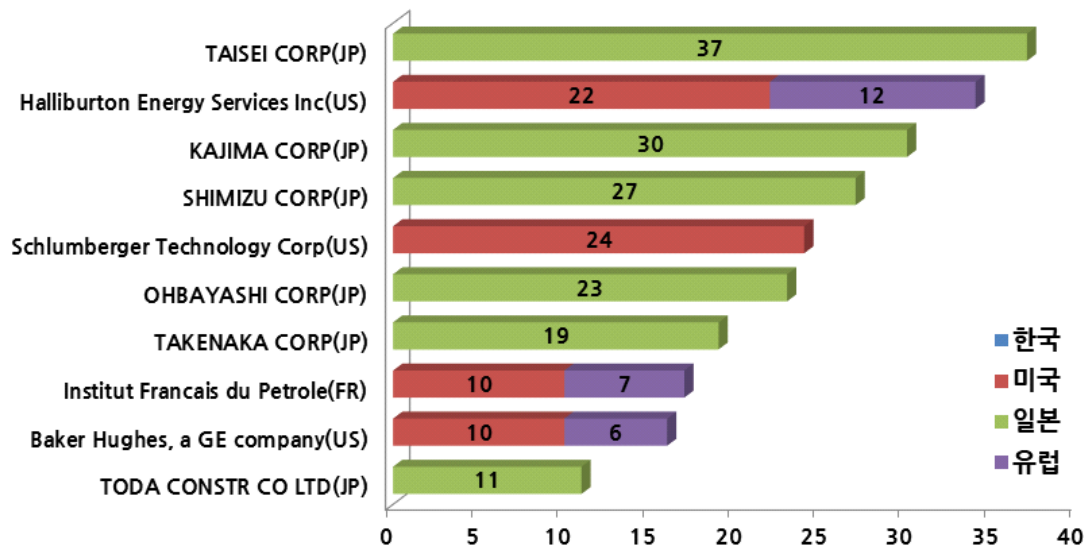
### (1) 연도별 출원동향



- ICBM 및 VR/AR 기술을 활용한 대심도 시공 중 안정성 확보 기술(AB)과 관련하여 특허 출원동향을 살펴보면, 전체적으로 일본 출원의 비중이 39%로 가장 높은 것으로 나타나고 있으며, 이어서 미국이 24%, 한국이 20%, 유럽이 17%의 점유율을 차지하고 있음
- 관련 특허의 출원은 미국에서 가장 먼저 시작되었으며, 1980년대 후반부터 출원이 증가하는 추세를 보이고 있음. 일본은 1980년대 후반부터 1990년대 후반까지 출원이 증가하다가 이후 감소하고 있으며, 한국 및 미국의 경우 1990년대 후반부터 출원이 증가하는 추세를 나타내고 있음

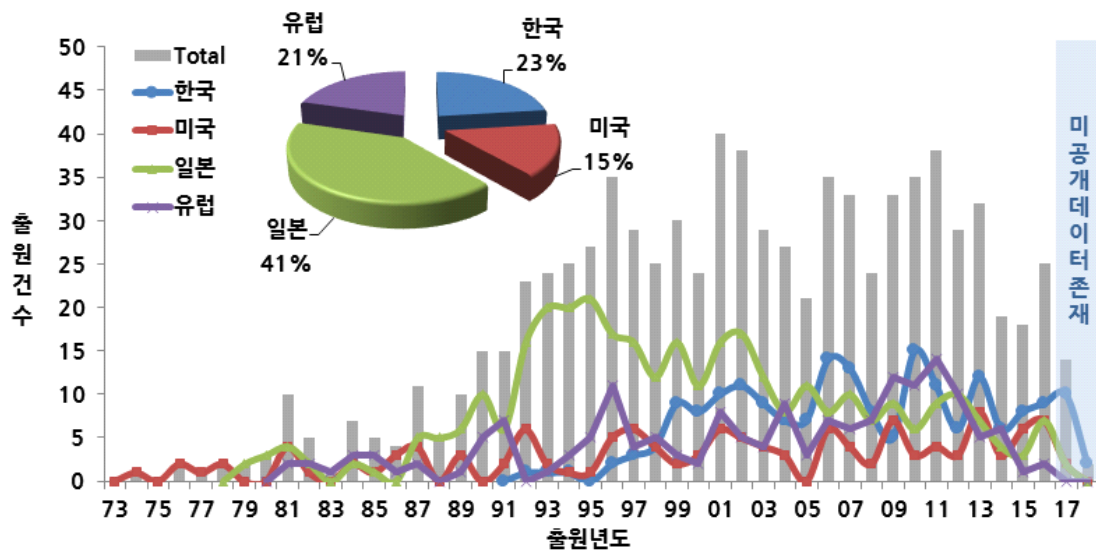
### (2) 주요출원인 현황

- ICBM 및 VR/AR 기술을 활용한 대심도 시공 중 안정성 확보 기술(AB)과 관련하여 주요출원인을 살펴보면, 주로 일본 및 미국 국적의 출원인들이 상위 출원인에 분포하고 있음
- 관련 기술분야의 최다 출원인으로는 일본의 TAISEI로 나타났으며, 이외에도 Halliburton Energy Services, KAJIMA, SHIMIZU 등이 주요출원인으로 나타남
- 일본 국적의 상위 출원인의 경우, 자국의 출원에 집중하고 있는 것으로 나타나고 있음



### 바. 진동 및 소음 관리 기술(ABA)

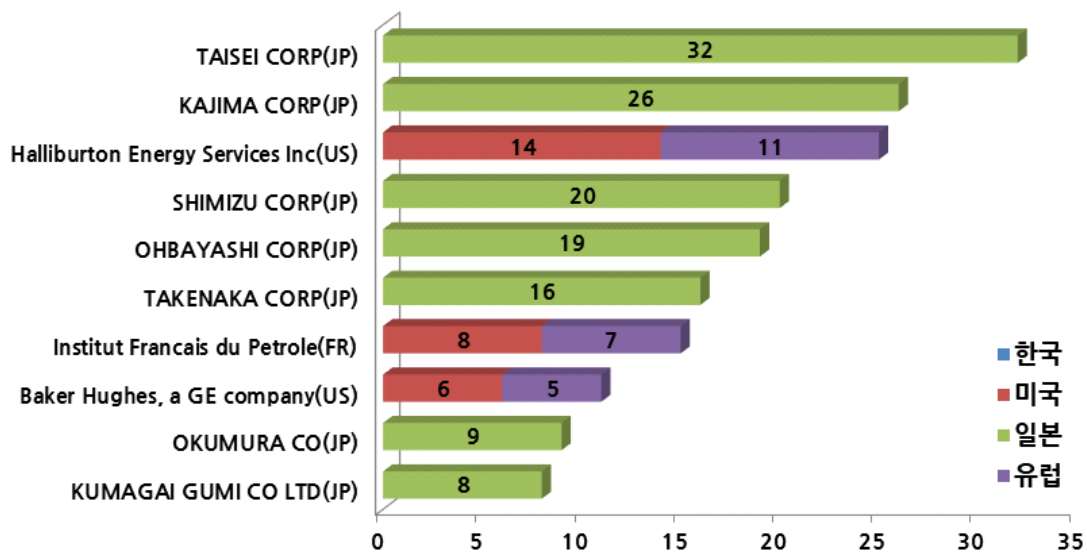
#### (1) 연도별 출원동향



- 진동 및 소음 관리 기술(ABA)과 관련하여 특히 출원동향을 살펴보면, 전체적으로 일본 출원의 비중이 41%로 가장 높은 것으로 나타나고 있으며, 이어서 한국이 23%, 유럽이 21%, 미국이 15%의 점유율을 차지하고 있음

- 관련 특허의 출원은 미국에서 가장 먼저 시작되었으며, 1980년대 후반부터 1990년대 후반까지는 일본특허가 많이 출원되었으나 이후 감소하는 추세임. 한국은 1990년대 후반부터 출원이 증가하는 추세이며, 유럽의 경우 1990년대 후반부터 출원이 증가하였으나 최근 감소하는 추세를 나타내고 있음

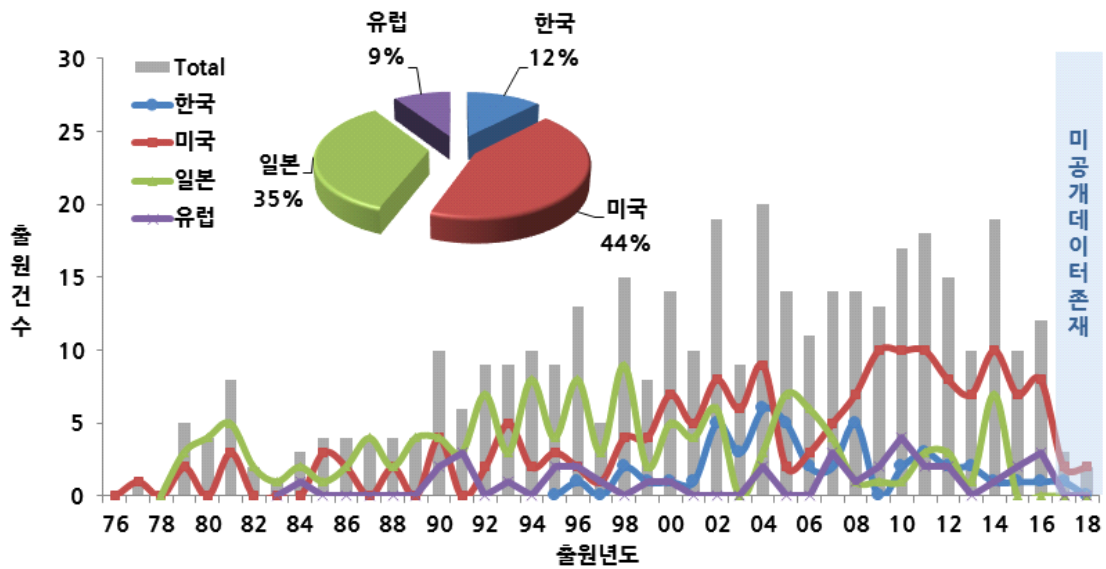
## (2) 주요출원인 현황



- 진동 및 소음 관리 기술(ABA)과 관련하여 주요출원인을 살펴보면, 주로 일본 및 미국 국적의 출원인들이 상위 출원인에 분포하고 있음
- 관련 기술분야의 최다 출원인으로는 일본의 TAISEI으로 나타났으며, 이외에도 KAJIMA, Halliburton Energy Services, SHIMIZU 등이 주요출원인으로 나타남
- 일본 국적의 상위 출원인의 경우, 자국의 출원에 집중하고 있는 것으로 나타나고 있음

사. 대심도 시공 중 안정성 확보 기술(ABB)

(1) 연도별 출원동향

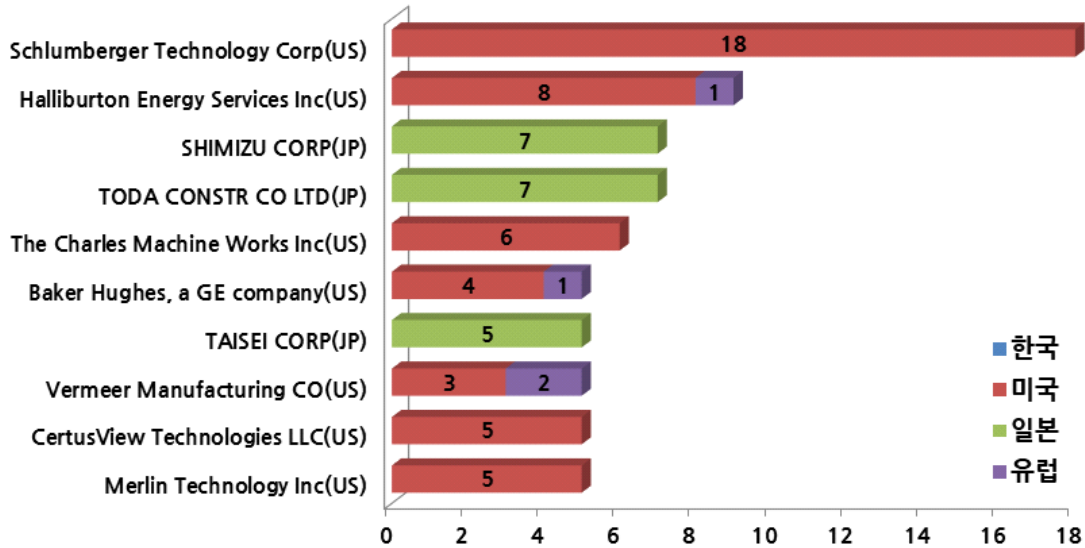


- 대심도 시공 중 안정성 확보 기술(ABB)과 관련하여 특허 출원동향을 살펴보면, 전체적으로 미국의 출원이 44%로 가장 높은 것으로 나타나고 있으며, 이어서 일본이 35%, 한국이 12%, 유럽이 9%의 점유율을 차지하고 있음
- 관련 특허의 출원은 1990년대 초반에 증가하여 지속적으로 출원이 증가되는 추세를 보임. 일본은 1980년대 후반부터 1990년에 후반에 걸쳐 출원이 증가하였다가 이후 감소하는 추세이며, 미국의 경우 1990년대 후반부터 출원이 증가하고 있음. 한국은 2000년대 초반 출원이 증가하였다가 최근 감소는 추세를 나타내고 있음

(2) 주요출원인 현황

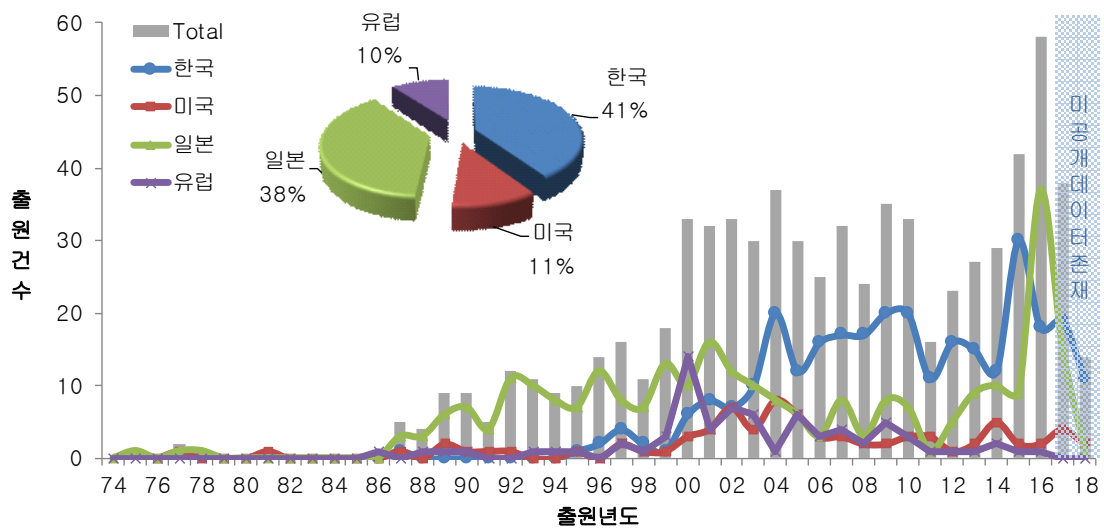
- 대심도 시공 중 안정성 확보 기술(ABB)과 관련하여 주요출원인을 살펴보면, 미국 및 일본 국적의 출원인들이 상위 출원인에 분포하고 있으며, 상위 출원인들은 자국의 출원에 집중하고 있는 것으로 나타나고 있음
- 관련 기술분야의 최다 출원인으로는 미국의 Schlumberger Technology 으로 나타났으며,

이외에도 Halliburton Energy Services, SHIMIZU, TODA Construction 등이 주요출원인으로 나타남



아. AI기반 지하공간 스마트 환기 및 화재안전 기술 고도화기술(BA)

(1) 연도별 출원동향

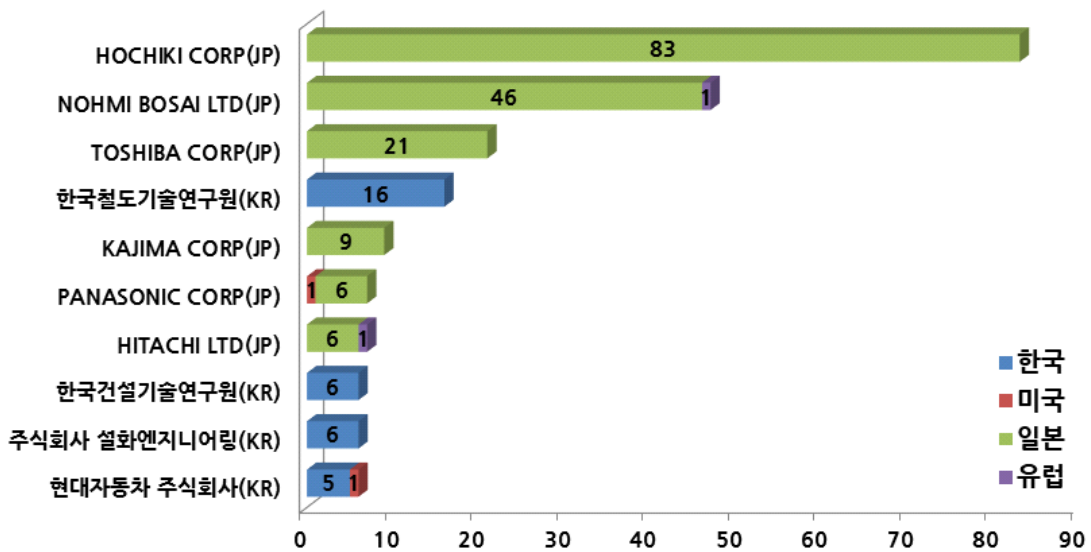


- 시기반 지하공간 스마트 환기 및 화재안전 기술 고도화(BA) 기술과 관련하여 특히 출원동향을

살펴보면, 전체적으로 한국 출원의 비중이 41%로 가장 높은 것으로 나타나고 있으며, 이어서 일본이 38%, 미국이 11%, 유럽이 10%의 점유율을 차지하고 있음

- 관련 특허의 출원은 1980년대 후반에 증가하여 지속적으로 출원이 증가되는 추세를 보임. 한국은 1990년대 후반부터 출원이 증가하고 있으며, 일본의 경우 1980년대부터 2000년대 초반까지 출원이 증가하다가 이후 감소하였으나, 최근 급격히 증가하는 추세를 나타내고 있음

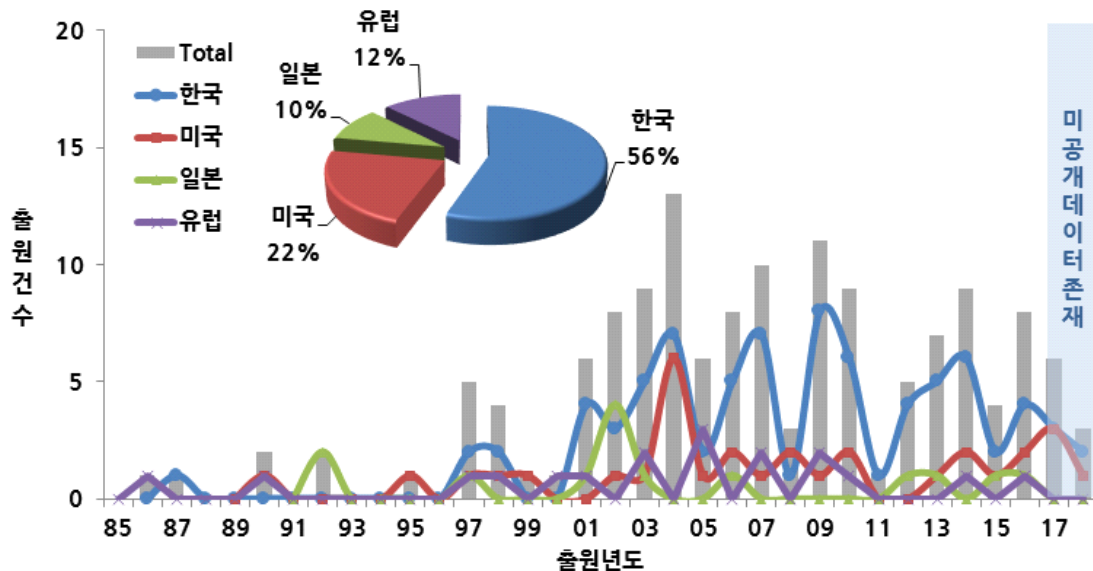
(2) 주요출원인 현황



- 시기별 지하공간 스마트 환기 및 화재안전 기술 고도화(BA) 기술과 관련하여 주요출원인을 살펴보면, 한국과 일본 국적의 출원인들이 상위 출원인에 분포하고 있으며, 상위 출원인들은 자국의 출원에 집중하고 있는 것으로 나타나고 있음
- 관련 기술분야의 최다 출원인으로는 일본의 HOCHIKI로 나타났으며, 이외에도 NOHMI BOSAI, TOSHIBA CORP, 한국철도기술연구원 등이 주요출원인으로 나타남
- 국내 출원인으로는 한국건설기술연구원, 주식회사 설화엔지니어링, 현대자동차 주식회사가 상위 출원인에 포함된 것으로 나타남

## 자. 위험차량 관리 기술(BAA)

### (1) 연도별 출원동향

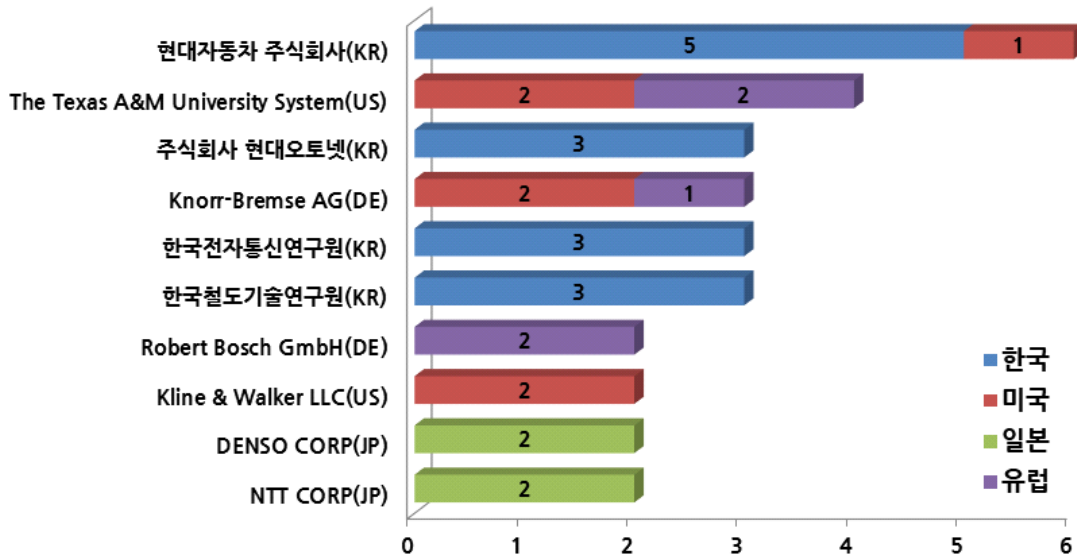


- 위험차량 관리 기술(BAA)과 관련하여 특허 출원동향을 살펴보면, 전체적으로 한국의 출원이 56%로 가장 높은 것으로 나타나고 있으며, 이어서 미국이 22%, 유럽이 12%, 일본이 10%의 점유율을 차지하고 있음
- 관련 특허의 출원은 2000년대 초반부터 출원이 증가하다가 이후 감소하는 추세를 보임. 한국은 2000년대 후반부터 출원이 증가하다가 이후 증감을 반복하고 있으며, 미국의 경우 2000년대 중반 출원이 증가했다가 이후 감소하는 추세를 나타내고 있음

### (2) 주요출원인 현황

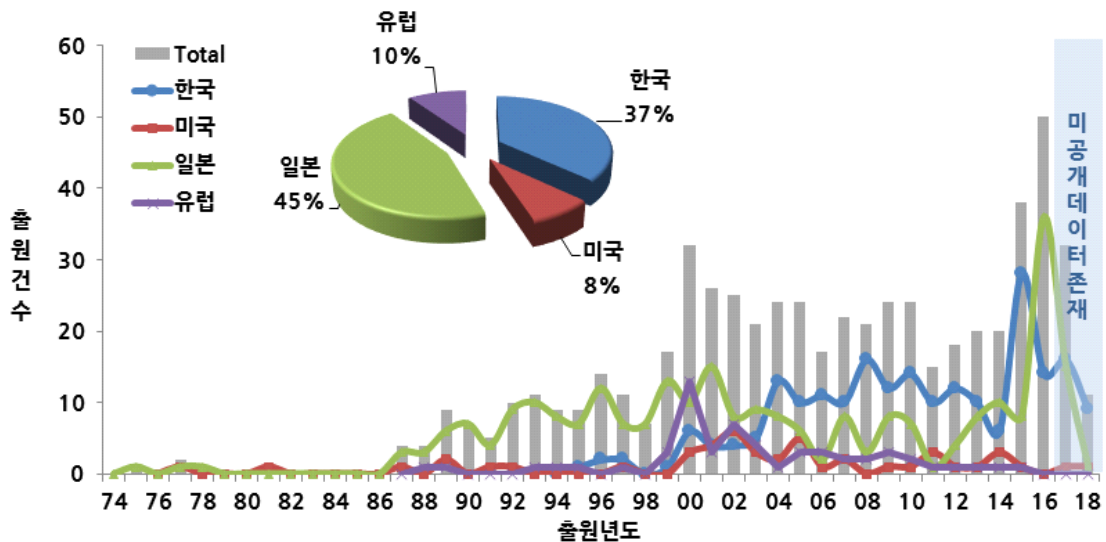
- 위험차량 관리 기술(BAA)과 관련하여 주요출원인을 살펴보면, 한국과 미국 국적의 출원인들이 상위 출원인에 분포하고 있음
- 관련 기술분야의 최다 출원인으로는 한국의 현대자동차 주식회사로 나타났으며, 이외에도 The Texas A&M University System, 주식회사 현대오토넷, Knorr-Bremse AG 등이 주요출원인으로 나타남

- 국내 출원인으로는 한국전자통신연구원, 한국철도기술연구원이 상위 출원인에 포함된 것으로 나타남



### 차. 대심도 지하공간 화재 안전 구축 및 관리 기술(BAB)

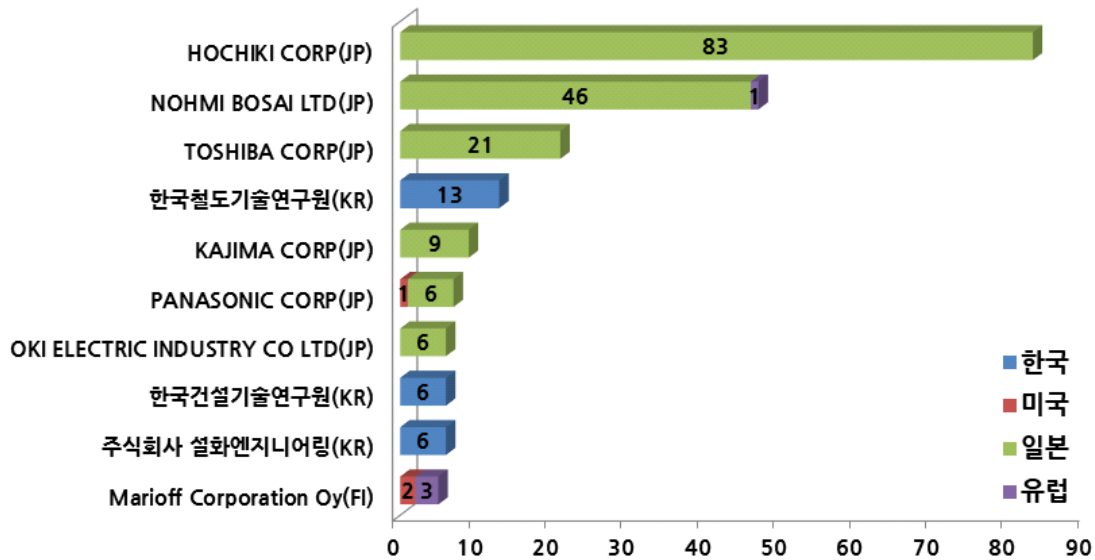
#### (1) 연도별 출원동향



- 대심도 지하공간 화재 안전 구축 및 관리 기술(BAB)과 관련하여 특히 출원동향을 살펴보면, 전체적으로 일본 출원의 비중이 45%로 가장 높은 것으로 나타나고 있으며, 이어서 한국이 37%, 유럽이 10%, 미국이 8%의 점유율을 차지하고 있음

- 관련 특허의 출원은 1980년대 후반부터 지속적으로 증가하는 추세를 보임. 일본은 1980년대 후반부터 출원이 증가하다가 이후 감소하였으나 최근 다시 증가세를 보이고 있으며, 한국의 경우 2000년대 초반부터 출원이 증가하는 추세를 나타내고 있음

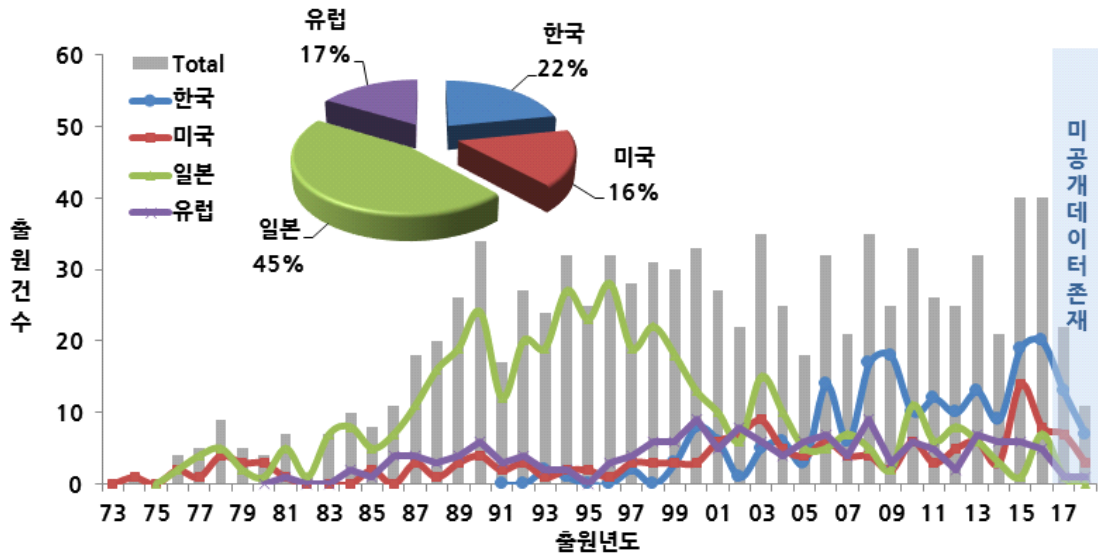
## (2) 주요출원인 현황



- 대심도 지하공간 화재 안전 구축 및 관리 기술(BAB)과 관련하여 주요출원인을 살펴보면, 일본과 한국 국적의 출원인들이 상위 출원인에 분포하고 있으며, 상위 출원인들은 자국의 출원에 집중하고 있는 것으로 나타나고 있음
- 관련 기술분야의 최다 출원인으로는 일본의 HOCHIKI 로 나타났으며, 이외에도 NOHMI BOSAI, TOSHIBA, 한국철도기술연구원 등이 주요출원인으로 나타남
- 국내 출원인으로는 한국건설기술연구원, 주식회사 설화엔지니어링이 상위 출원인에 포함된 것으로 나타남

카. ICT 융복합을 통한 도심도 지하공간 자율주행 및 도로관리 지원 기술(BB)

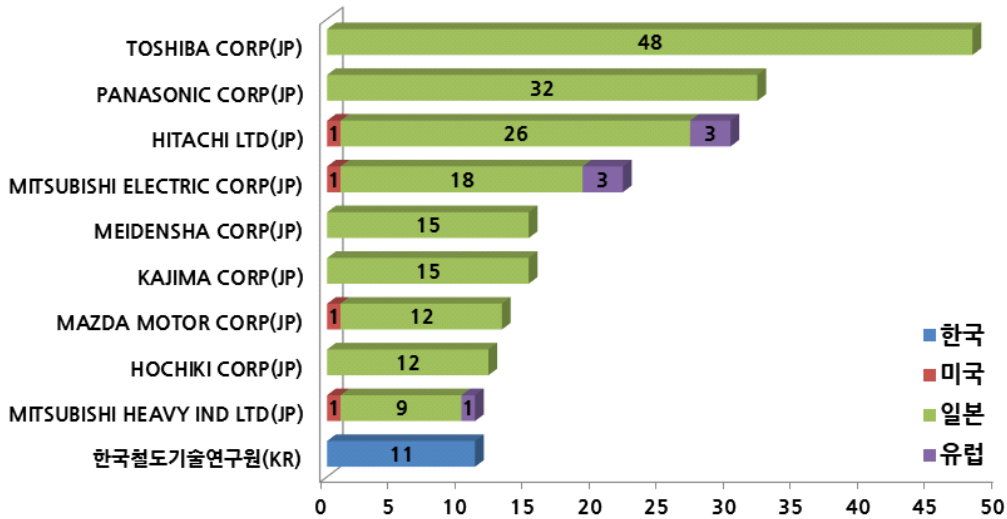
(1) 연도별 출원동향



- ICT 융복합을 통한 도심도 지하공간 자율주행 및 도로관리 지원 기술(BB)과 관련하여 특허 출원동향을 살펴보면, 전체적으로 일본 출원의 비중이 45%로 가장 높은 것으로 나타나고 있으며, 이어서 한국이 22%, 유럽이 17%, 미국이 16%의 점유율을 차지하고 있음
- 관련 특허의 출원은 1980년대 중반에 증가하여 최근까지 지속적인 출원을 유지하고 있음. 일본은 1980년대 중반에 출원이 급격히 증가하였으나 1990년대 후반부터 감소하는 추세이며, 한국의 경우 1990년대 후반부터 출원이 증가하는 추세를 나타내고 있음

(2) 주요출원인 현황

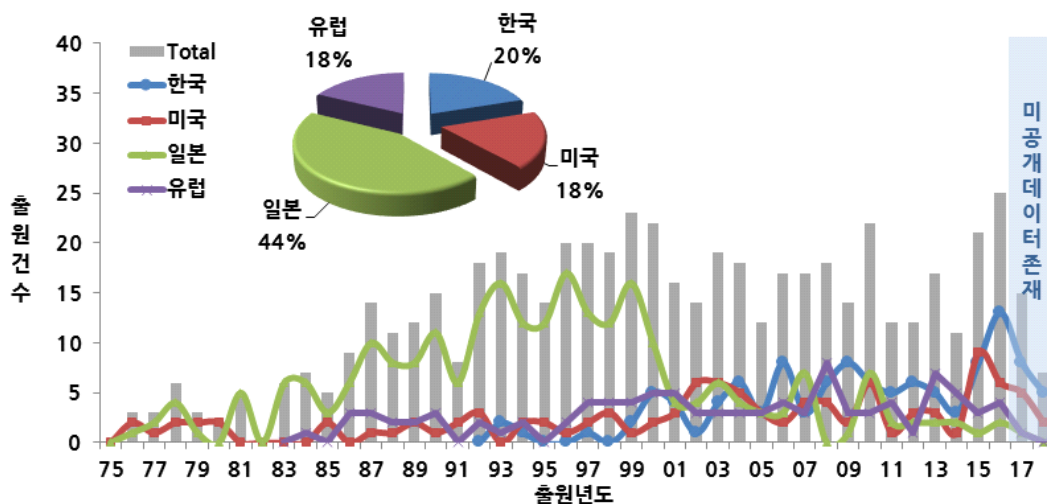
- ICT 융복합을 통한 도심도 지하공간 자율주행 및 도로관리 지원 기술(BB)과 관련하여 주요출원인을 살펴보면, 일본 국적의 출원인들이 상위 출원인에 분포하고 있으며, 상위 출원인들은 자국의 출원에 집중하고 있는 것으로 나타나고 있음
- 관련 기술분야의 최다 출원인으로는 일본의 TOSHIBA로 나타났으며, 이외에도 PANASONIC, HITACHI, MITSUBISHI ELECTRIC 등이 주요출원인으로 나타남
- 국내 출원인으로는 한국철도기술연구원이 상위 출원인에 포함된 것으로 나타남



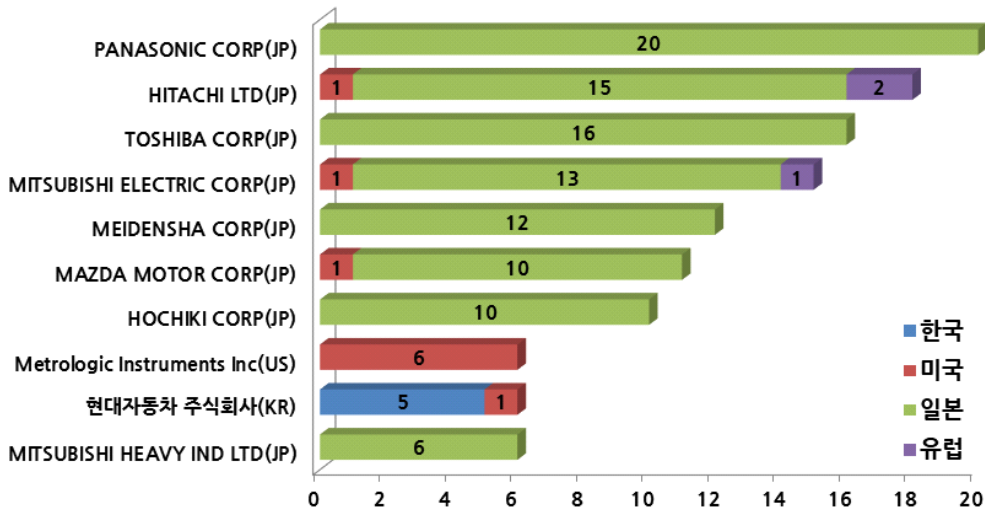
타. 지하도로 주행환경 관리 기술(BBA)

(1) 연도별 출원동향

- 지하도로 주행환경 관리 기술(BBA)과 관련하여 특허 출원동향을 살펴보면, 전체적으로 일본 출원의 비중이 44%로 가장 높은 것으로 나타나고 있으며, 이어서 한국이 20%, 미국과 유럽이 각각 18%의 점유율을 차지하고 있음
- 관련 특허의 출원은 1980년대 초반에 증가하다가 최근 감소하는 추세를 보임. 일본은 1980년대 초반부터 출원이 증가하다가 1990년대 후반부터 감소하고 있으며, 한국의 경우 1990년대 후반부터 출원이 증가하는 추세를 나타내고 있음



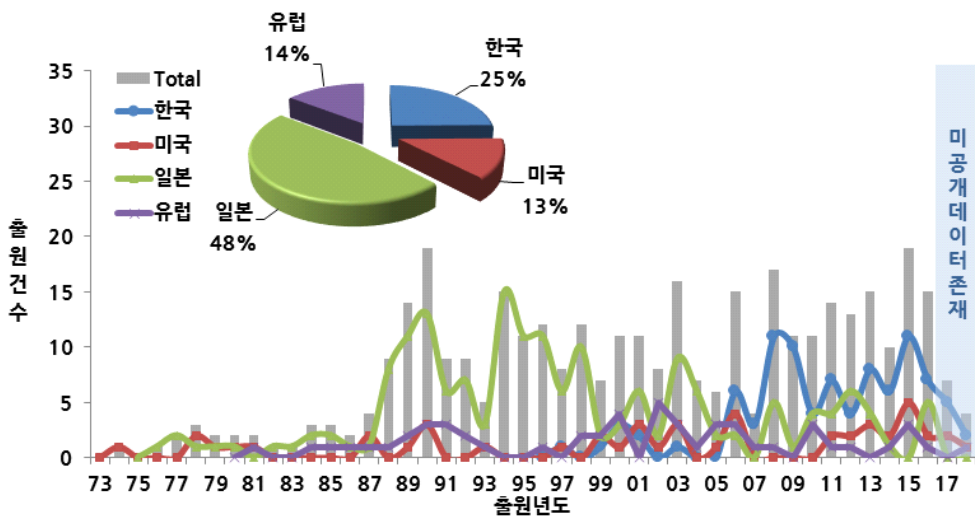
(2) 주요출원인 현황



- 지하도로 주행환경 관리 기술(BBA)과 관련하여 주요출원인을 살펴보면, 일본 국적의 출원인들이 상위 출원인에 분포하고 있으며, 상위 출원인들은 자국의 출원에 집중하고 있는 것으로 나타나고 있음
- 관련 기술분야의 최다 출원인으로는 일본의 PANASONIC으로 나타났으며, 이외에도 HITACHI, TOSHIBA, MITSUBISHI ELECTRIC 등이 주요출원인으로 나타남
- 국내 출원인으로는 현대자동차 주식회사가 상위 출원인에 포함된 것으로 나타남

파. 대심도 지하도로 관리 기술(BBB)

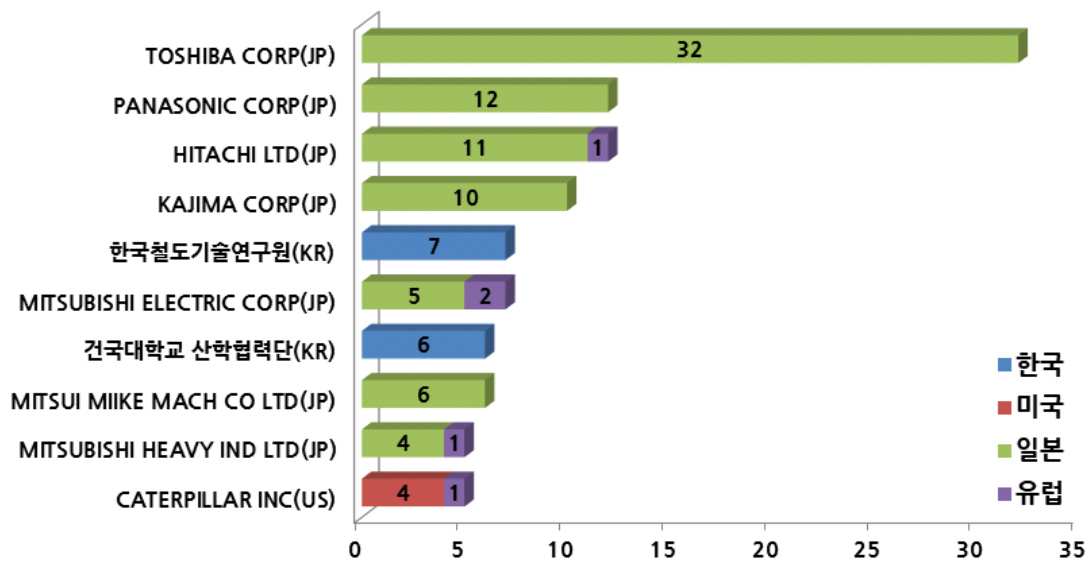
(1) 연도별 출원동향



- 대심도 지하도로 관리 기술(BBB)과 관련하여 특히 출원동향을 살펴보면, 전체적으로 일본 출원의 비중이 48%로 가장 높은 것으로 나타나고 있으며, 이어서 한국이 25%, 유럽이 14%, 미국이 13%의 점유율을 차지하고 있음
- 관련 특허의 출원은 1980년대 후반에 증가하다가 이후 감소하였으나, 2000년대 후반부터 증가하는 추세를 보임. 일본은 1980년대 후반부터 출원이 증가하다가 1990년대 후반부터 감소하고 있으며, 한국의 경우 2000년대 중반부터 출원이 증가하는 추세를 나타내고 있음

## (2) 주요출원인 현황

- 대심도 지하도로 관리 기술(BBB)과 관련하여 주요출원인을 살펴보면, 일본 국적의 출원인들이 상위 출원인에 분포하고 있으며, 상위 출원인들은 자국의 출원에 집중하고 있는 것으로 나타나고 있음
- 관련 기술분야의 최다 출원인으로는 일본의 TOSHIBA 로 나타났으며, 이외에도 PANASONIC, HITACHI, KAJIMA 등이 주요출원인으로 나타남
- 국내 출원인으로는 한국철도기술연구원, 건국대학교 산학협력단이 상위 출원인에 포함된 것으로 나타남



## 하. 특허동향 분석 결론

- 본 특허 동향을 분석하기 위해 14,155개의 특허를 검색하여 선별 작업을 통하여 4,814개의

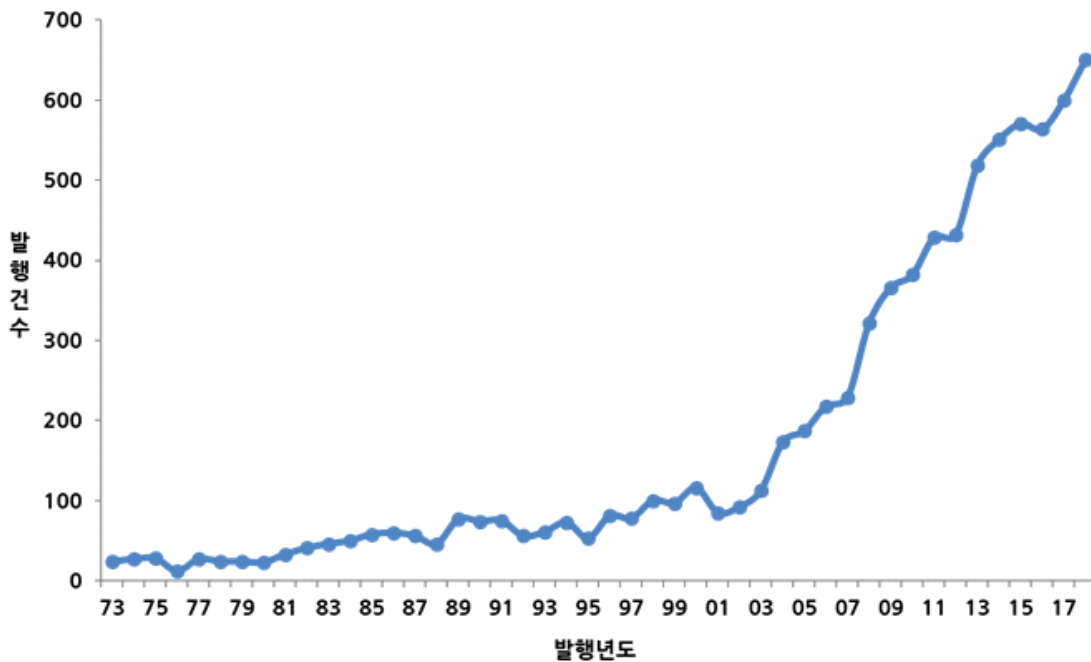
특허를 집중 분석함

- 분석을 위한 분류 체계는 4개의 1차 기술 분류와 13개의 2차 기술 분류로 구분하였고, 해당 기술 부문의 특허 보유 국가 및 출원인에 대한 동향을 분석함
- 1차 기술 분류 체계에서 시 기반 지하공간 스마트 환기 및 화재안전 기술 고도화 기술 분야에서는 한국이 가장 많은 특허를 보유하고 있으나 이를 제외하고 모든 분야에서 일본이 가장 많은 특허를 보유하고 있는 것으로 드러남
- 하지만 연도별 추이를 살펴보면 2000년도 이후로 한국의 출원이 증가하는 점을 감안했을 때, 새로운 기술에 대한 연구와 개발이 투자가 진행되고 있는 것으로 나타남

### 3. 논문 동향분석

#### 가. Big Data 기반 도심도 지하공간 인프라 통합 설계 플랫폼 개발(AA)

##### (1) 연도별 논문 발행동향

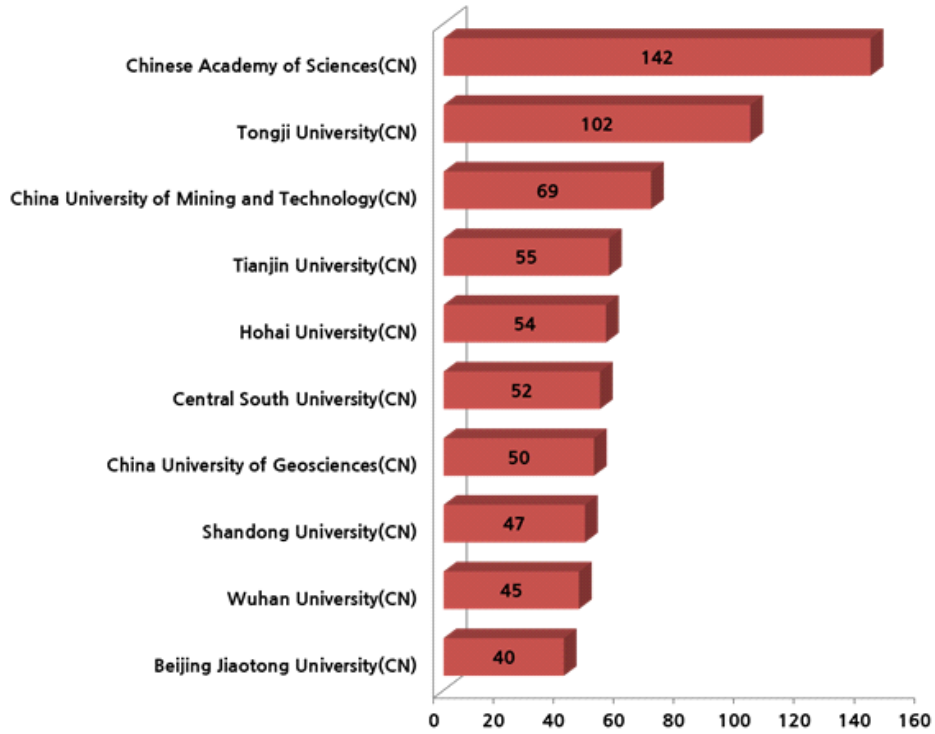


- Big Data 기반 도심도 지하공간 인프라 통합 설계 플랫폼 개발(AA) 기술과 관련하여 논문 발행동향을 살펴보면, 전체적으로 현재까지 꾸준히 논문 발행이 증가하는 것으로 나타나며, 특히 2000년대 중반 이후, 관련 기술의 논문 발행건수가 급증하고 있는 것으로 나타남

##### (2) 주요발행기관 현황

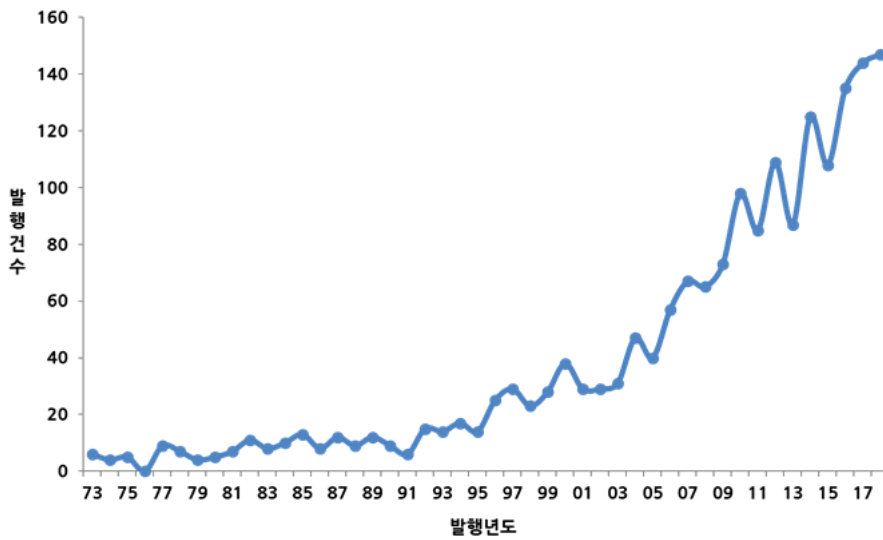
- Big Data 기반 도심도 지하공간 인프라 통합 설계 플랫폼 개발(AA) 기술과 관련하여 주요발행기관을 살펴보면, 전체적으로 중국의 기관들이 압도적으로 활발하게 논문을 발행하고 있는 것으로 나타남
- 관련 기술분야의 최다 논문 발행기관은 중국의 Chinese Academy of Sciences(중국과학원)인

것으로 나타남



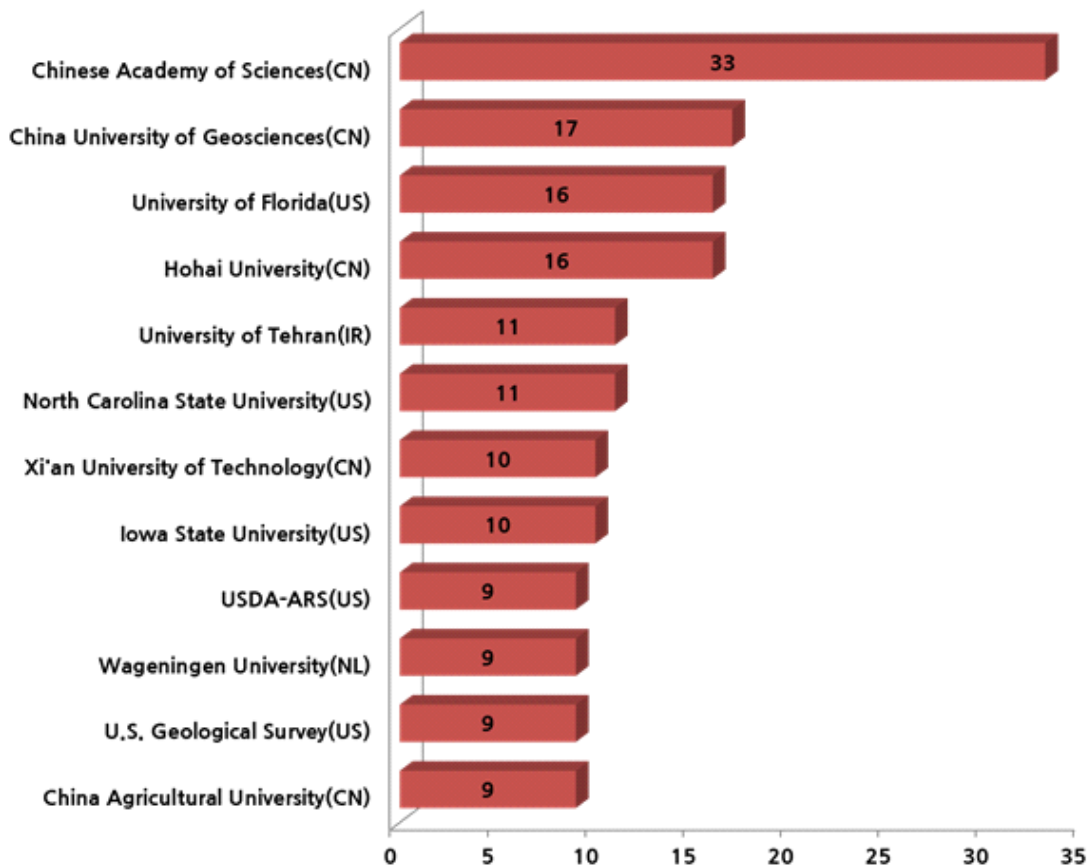
나. 지하수위 관리 기술(AAA)

(1) 연도별 논문 발행동향



- 지하수위 관리 기술(AAA)과 관련하여 논문 발행동향을 살펴보면, 전체적으로 현재까지 꾸준히 논문 발행이 증가하는 것으로 나타나며, 특히 1990년대 중반 이후, 관련 기술의 논문 발행건수가 지속적으로 급증하고 있는 것으로 나타남

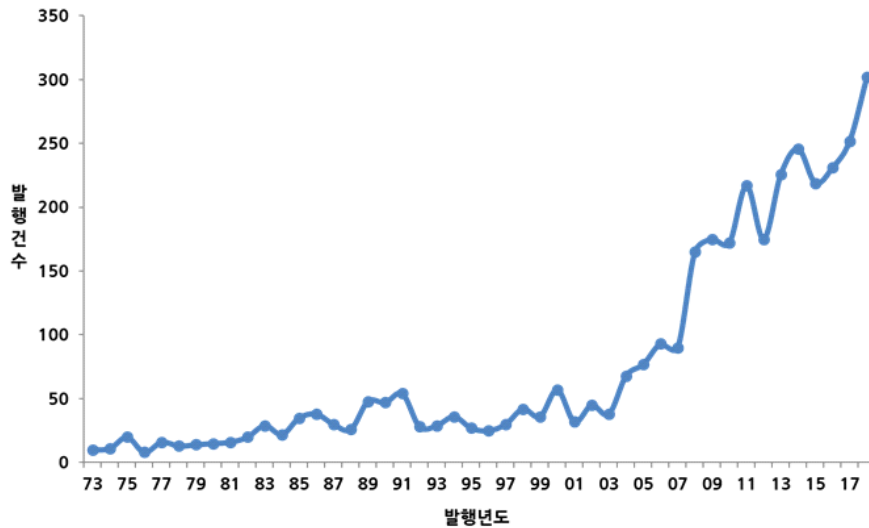
## (2) 주요발행기관 현황



- 지하수위 관리 기술(AAA)과 관련하여 주요발행기관을 살펴보면, 주로 중국의 기관들이 상위에 분포하고 있으나, 중국 외에도, 미국, 네덜란드 등의 기관들도 다수의 논문을 발행한 것으로 나타나고 있음
- 관련 기술분야의 최다 논문 발행기관은 중국의 Chinese Academy of Sciences(중국과학원)인 것으로 나타남

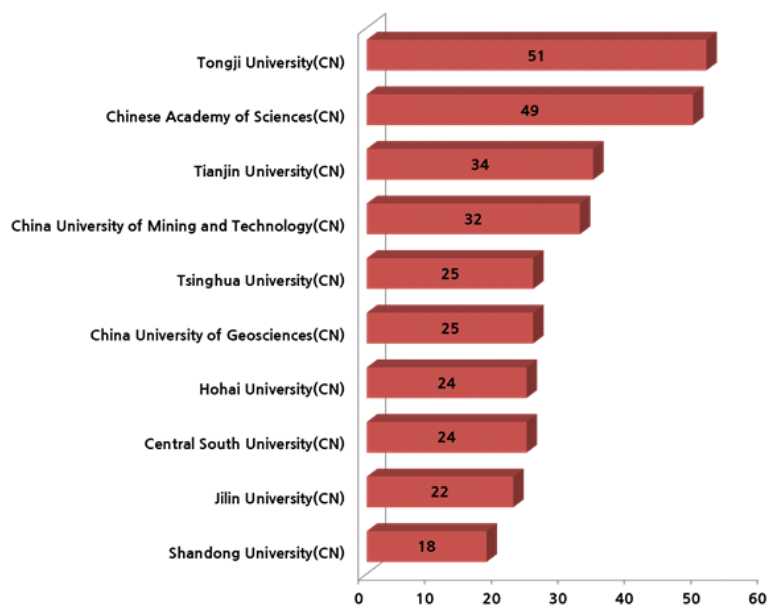
다. 합리적 조사위치 결정 기술(AAB)

(1) 연도별 논문 발행동향



- 합리적 조사위치 결정 기술(AAB)과 관련하여 논문 발행동향을 살펴보면, 전체적으로 현재까지 꾸준히 논문 발행이 증가하는 것으로 나타나며, 특히 2000년대 중후반 이후, 관련 기술의 논문 발행건수가 급증하고 있는 것으로 나타남

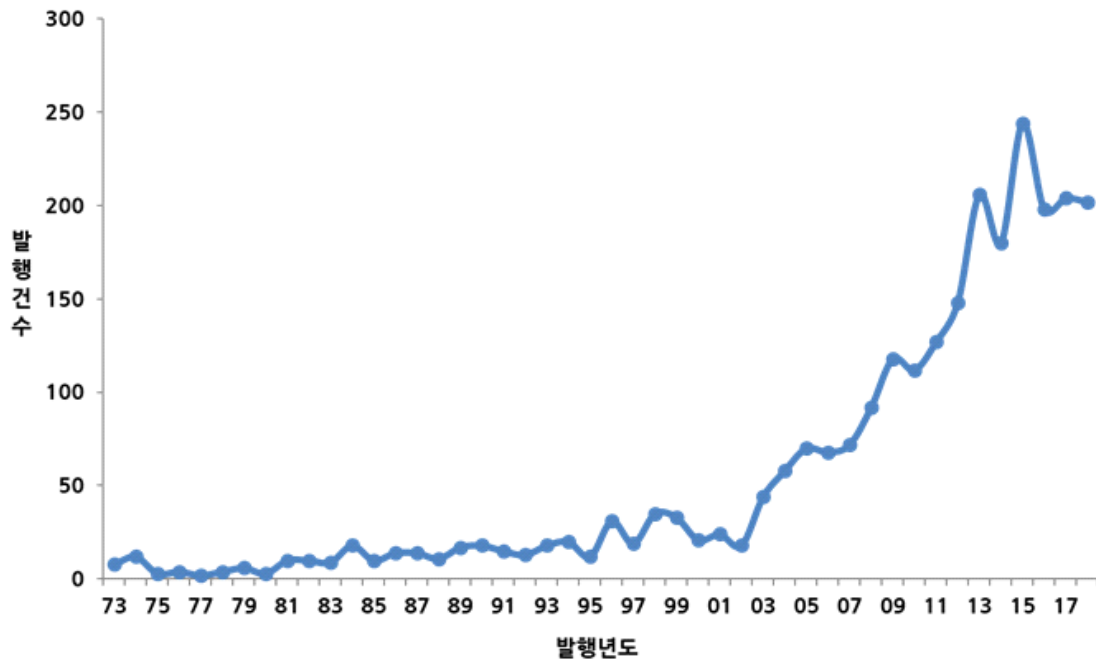
(2) 주요발행기관 현황



- 합리적 조사위치 결정 기술(AAB)과 관련하여 주요발행기관을 살펴보면, 전체적으로 중국의 기관들이 압도적으로 활발하게 논문을 발행하고 있는 것으로 나타남
- 관련 기술분야의 최다 논문 발행기관은 중국의 Chinese Academy of Sciences(중국과학원)인 것으로 나타남

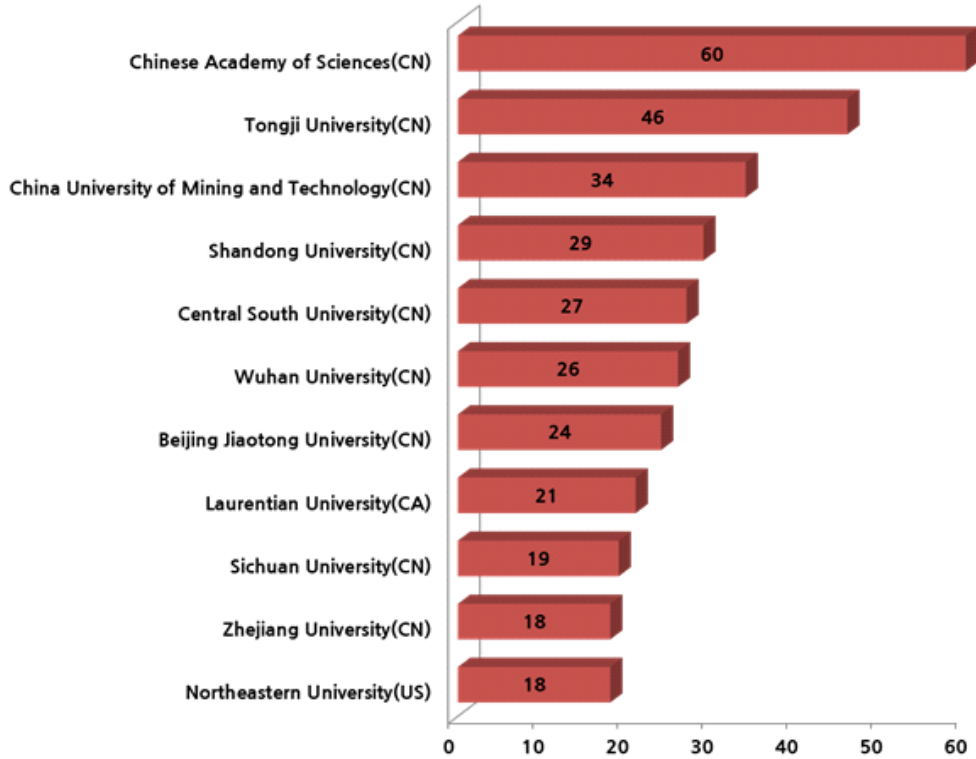
#### 라. 지하 굴착에 따른 영향 및 안정성 평가 기술(AAC)

##### (1) 연도별 논문 발행동향



- 지하 굴착에 따른 영향 및 안정성 평가 기술(AAC)과 관련하여 논문 발행동향을 살펴보면, 전체적으로 현재까지 꾸준히 논문 발행이 증가하는 것으로 나타나며, 특히 2000년대 초반 이후, 관련 기술의 논문 발행건수가 급증하고 있는 것으로 나타나나, 최근 다소 주춤한 것으로 예상됨

(2) 주요발행기관 현황



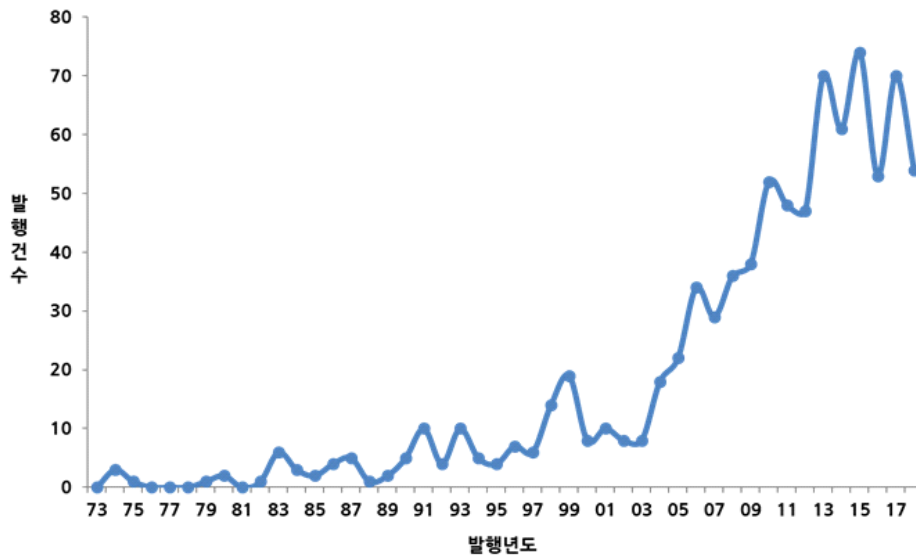
- 지하 굴착에 따른 영향 및 안정성 평가 기술(AAC)과 관련하여 주요발행기관을 살펴보면, 주로 중국의 기관들이 상위에 분포하고 있으나, 중국 외에도, 캐나다, 미국 등의 기관들도 다수의 논문을 발행한 것으로 나타나고 있음
- 관련 기술분야의 최다 논문 발행기관은 중국의 Chinese Academy of Sciences(중국과학원)인 것으로 나타남

마. ICBM 및 VR/AR 기술을 활용한 대심도 시공 중 안정성 확보 기술(AB)

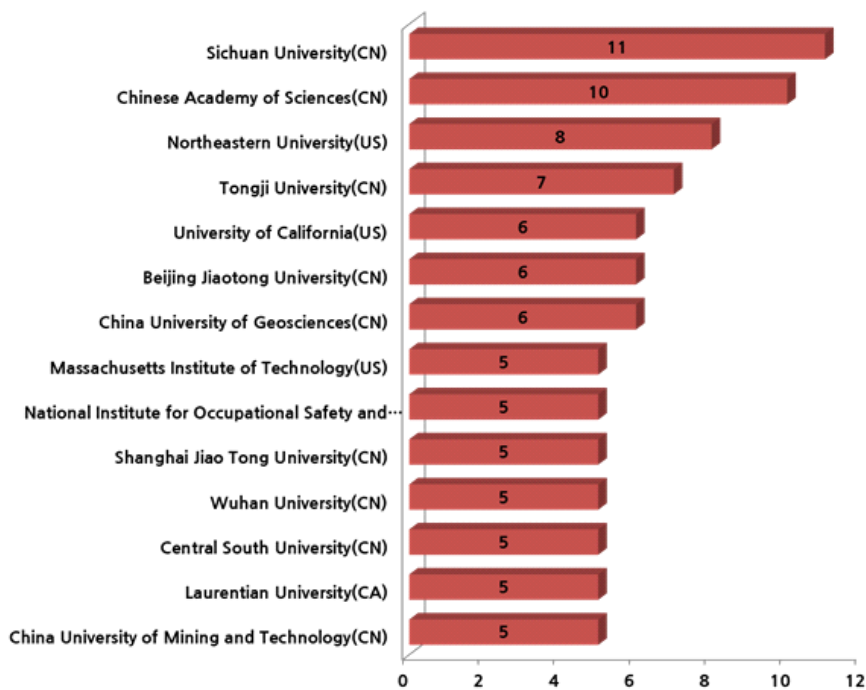
(1) 연도별 논문 발행동향

- ICBM 및 VR/AR 기술을 활용한 대심도 시공 중 안정성 확보 기술(AB)과 관련하여 논문 발행동향을 살펴보면, 전체적으로 현재까지 꾸준히 논문 발행이 증가하는 것으로 나타나며,

특히 2000년대 초반 이후, 관련 기술의 논문 발행건수가 급증하고 있는 것으로 나타남



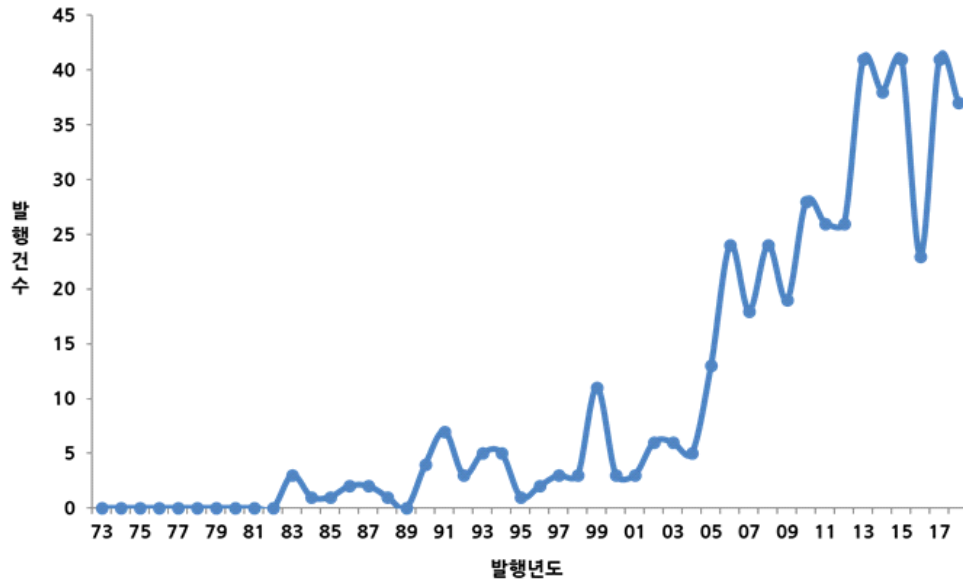
## (2) 주요발행기관 현황



- ICBM 및 VR/AR 기술을 활용한 대심도 시공 중 안정성 확보 기술(AB)과 관련하여 주요발행기관을 살펴보면, 주로 중국의 기관들이 상위에 분포하고 있으나, 중국 외에도, 미국, 캐나다 등의 기관들도 다수의 논문을 발행한 것으로 나타나고 있음
- 관련 기술분야의 최다 논문 발행기관은 중국의 Sichuan University(쓰촨대학)인 것으로 나타남

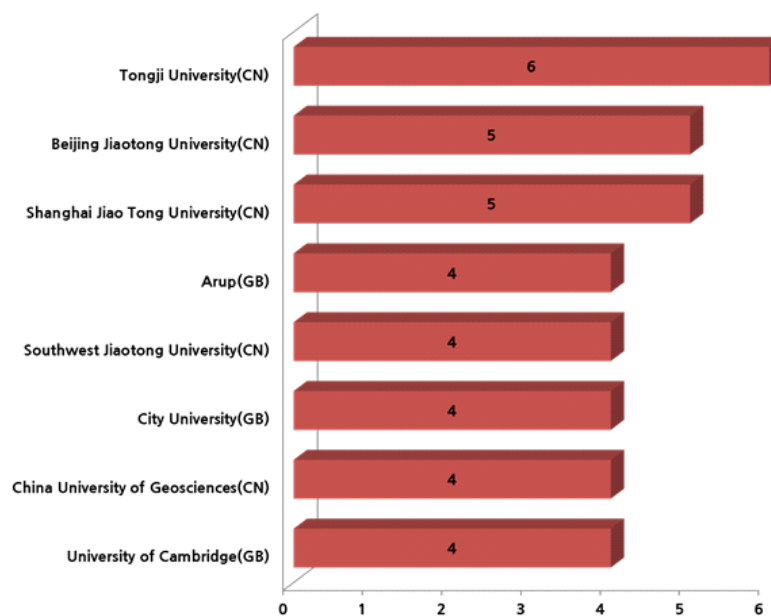
바. 진동 및 소음 관리 기술(ABA)

(1) 연도별 논문 발행동향



- 진동 및 소음 관리 기술(ABA)과 관련하여 논문 발행동향을 살펴보면, 전체적으로 현재까지 꾸준히 논문 발행이 증가하는 것으로 나타나며, 특히 2000년대 중반 이후, 관련 기술의 논문 발행건수가 급증하고 있는 것으로 나타남

2) 주요발행기관 현황

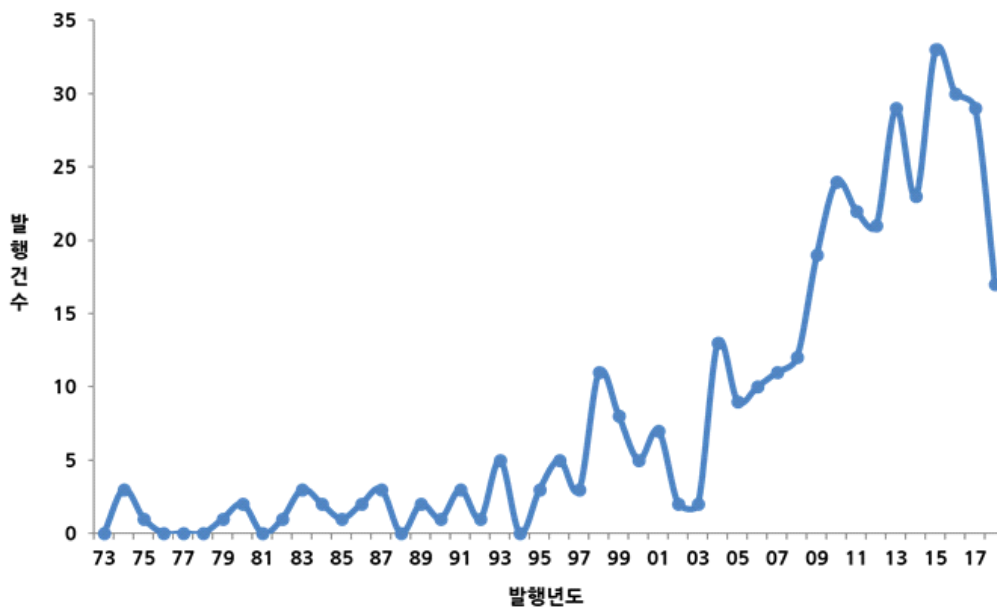


- 진동 및 소음 관리 기술(ABA)과 관련하여 주요발행기관을 살펴보면, 주로 중국의 기관들이 상위에 분포하고 있으나, 중국 외에도, 영국 등의 기관들도 다수의 논문을 발행한 것으로 나타나고 있음
- 관련 기술분야의 최다 논문 발행기관은 중국의 Tongji University(통지대학)인 것으로 나타나며, 영국 기관으로는 영국의 건축물 엔지니어링 업체인 Arup 등에서 논문을 발행함

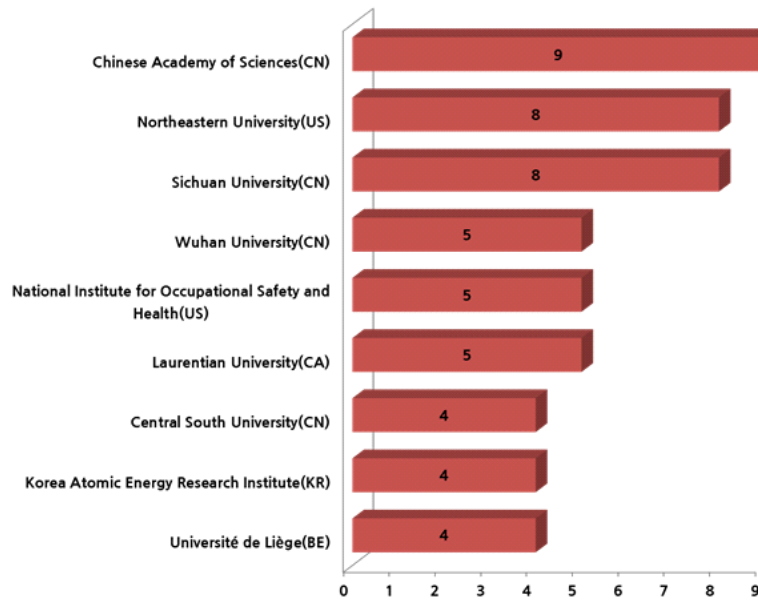
#### 사. 대심도 시공 중 안정성 확보 기술(ABB)

##### (1) 연도별 논문 발행동향

- 대심도 시공 중 안정성 확보 기술(ABB)과 관련하여 논문 발행동향을 살펴보면, 전체적으로 현재까지 꾸준히 논문 발행이 증가하는 것으로 나타나며, 특히 2000년대 초중반 이후, 관련 기술의 논문 발행건수가 급증하고 있는 것으로 나타나나, 최근 관련 기술의 논문 발행이 다소 주춤한 것으로 예상됨



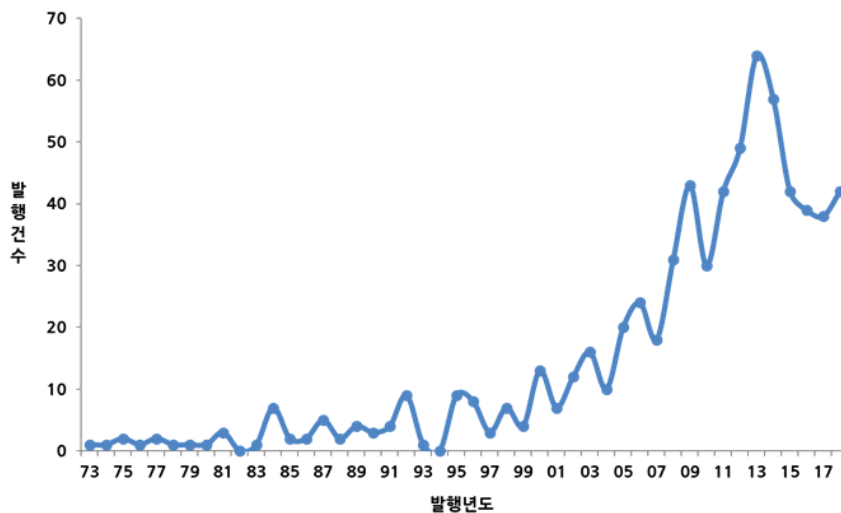
(2) 주요발행기관 현황



- 대심도 시공 중 안정성 확보 기술(ABB)과 관련하여 주요발행기관을 살펴보면, 주로 중국의 기관들이 상위에 분포하고 있으나, 중국 외에도, 미국, 캐나다, 한국, 벨기에 등의 기관들도 다수의 논문을 발행한 것으로 나타나고 있음
- 관련 기술분야의 최다 논문 발행기관은 중국의 Chinese Academy of Sciences(중국과학원)인 것으로 나타나며, 한국에서는 원자력연구원에서 논문을 발행한 것으로 나타남

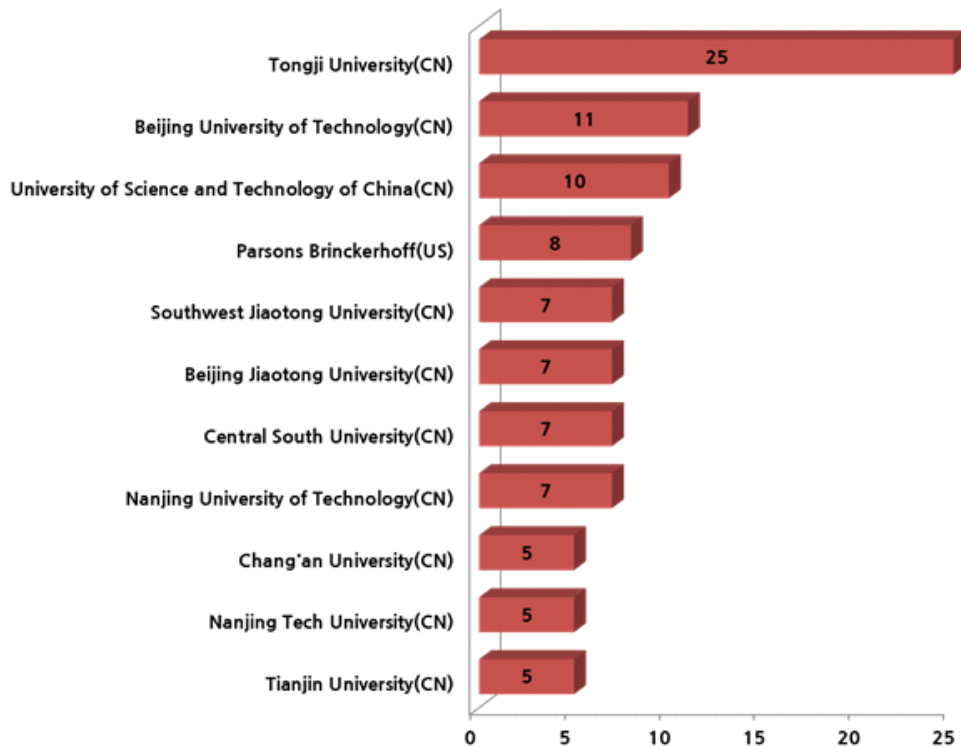
아. 시기별 지하공간 스마트 환기 및 화재안전 기술 고도화(BA)

(1) 연도별 논문 발행동향



- 시 기반 지하공간 스마트 환기 및 화재안전 기술 고도화(BA) 기술과 관련하여 논문 발행동향을 살펴보면, 전체적으로 현재까지 꾸준히 논문 발행이 증가하는 것으로 나타나며, 특히 2000년대 초반부터, 관련 기술의 논문 발행건수가 급증하여 2010년대 초반에 논문 발행이 가장 활발하였던 것으로 예상됨

## (2) 주요발행기관 현황

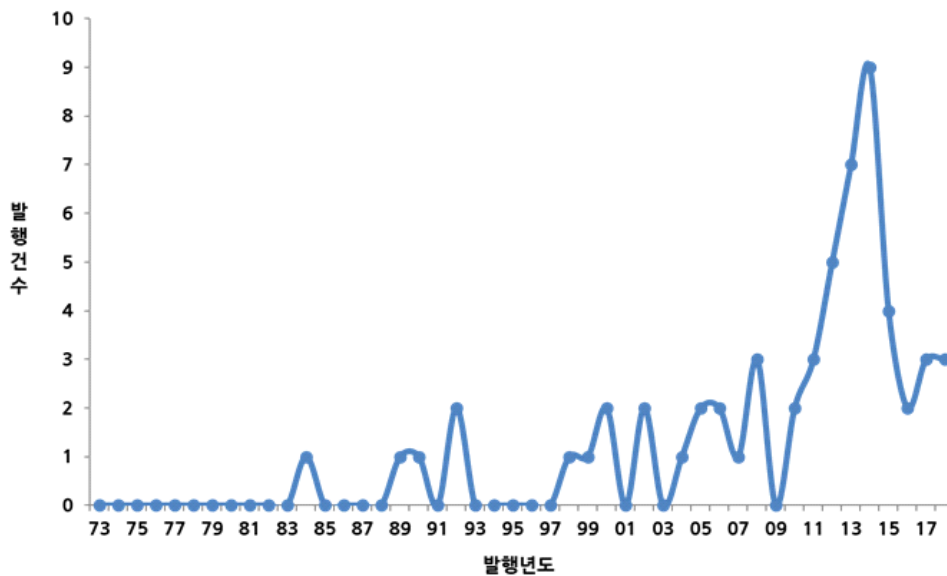


- 시 기반 지하공간 스마트 환기 및 화재안전 기술 고도화(BA) 기술과 관련하여 주요발행기관을 살펴보면, 주로 중국의 기관들이 상위에 분포하고 있으나, 중국 외에도, 미국 등의 기관들도 다수의 논문을 발행한 것으로 나타나고 있음
- 관련 기술분야의 최다 논문 발행기관은 중국의 Tongji University(통지대학)인 것으로 나타남

자. 위험차량 관리 기술(BAA)

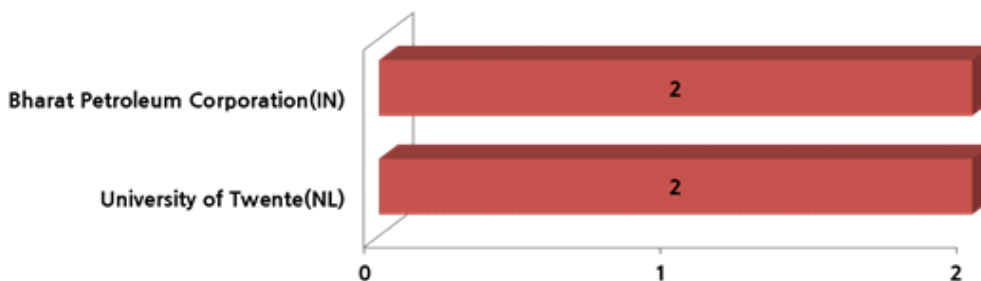
(1) 연도별 논문 발행동향

- 위험차량 관리 기술(BAA)과 관련하여 논문 발행동향을 살펴보면, 다른 기술 분야에 비해 논문 발행건수가 상대적으로 적기는 하나, 2010년대 이후, 관련 논문의 발행건수가 증가한 것으로 나타남



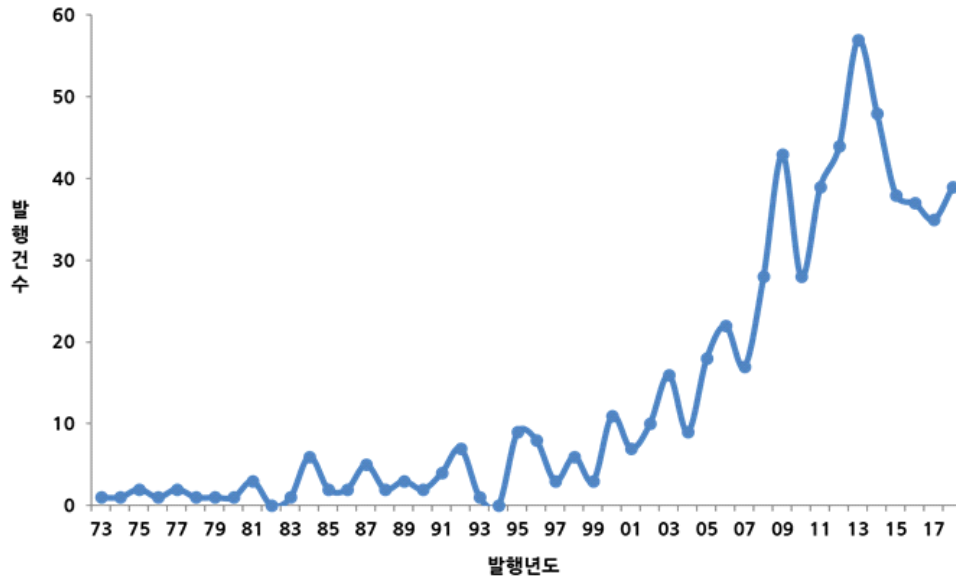
(2) 주요발행기관 현황

- 위험차량 관리 기술(BAA)과 관련하여 주요발행기관을 살펴보면, 전체적으로 건수가 많지 않아 압도적이라고 할 수 있는 논문 발행기관은 나타나지 않으나, 관련 기술분야에서 인도의 Bharat Petroleum Corporation(인도석유공사), 네덜란드의 University of Twente에서 논문을 발행한 것으로 나타남



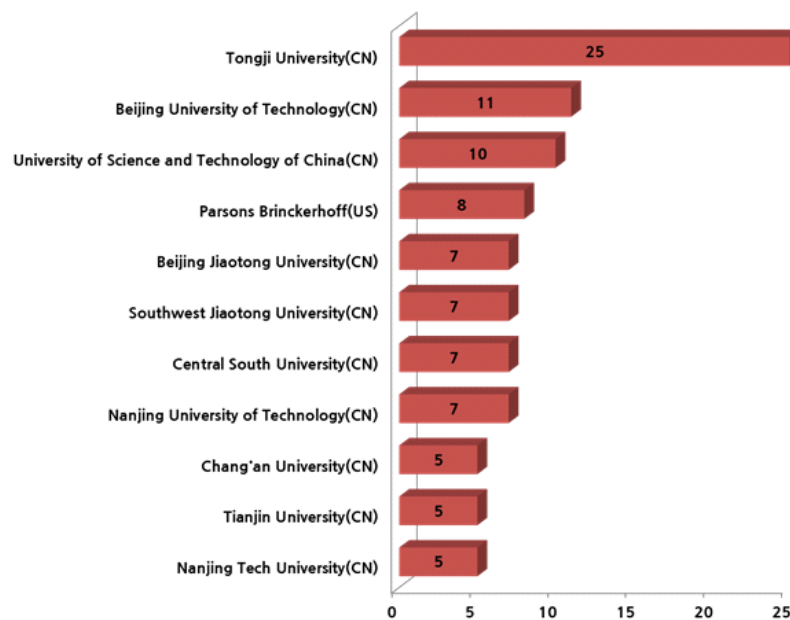
## 차. 대심도 지하공간 화재 안전 구축 및 관리 기술(BAB)

### (1) 연도별 논문 발행동향



- 대심도 지하공간 화재 안전 구축 및 관리 기술(BAB)과 관련하여 논문 발행동향을 살펴보면, 다른 기술 분야에 비해 많은 건수는 아니나, 2000년대 초반부터 논문 발행건수가 꾸준히 증가하고 있는 것으로 나타남

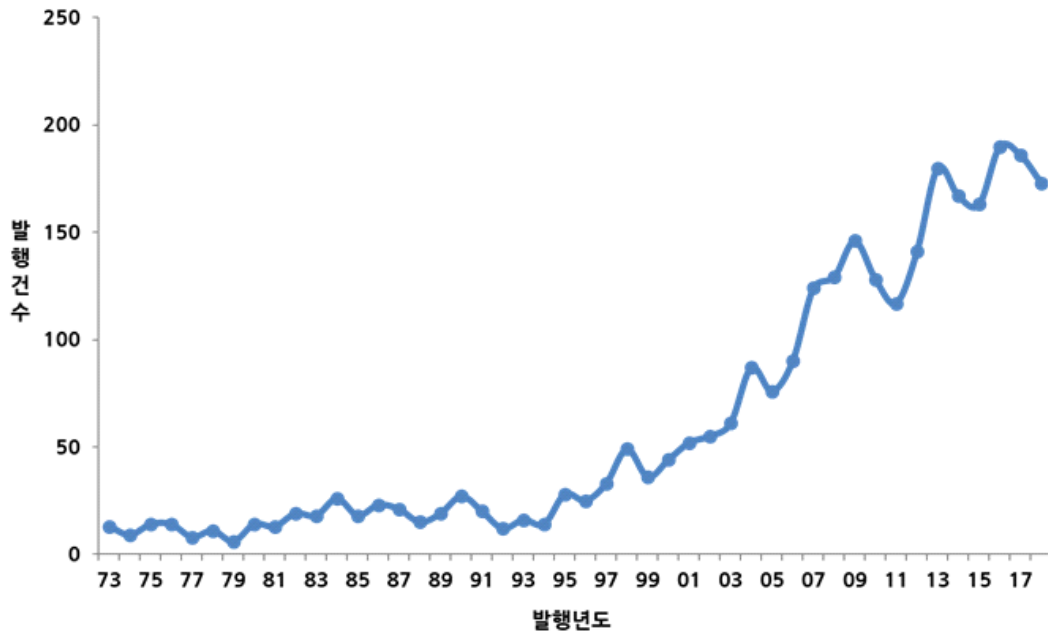
### (2) 주요발행기관 현황



- 대심도 지하공간 화재 안전 구축 및 관리 기술(BAB)과 관련하여 주요발행기관을 살펴보면, 주로 중국의 기관들이 상위에 분포하고 있으나, 중국 외에도, 미국 등의 기관들도 다수의 논문을 발행한 것으로 나타나고 있음
- 관련 기술분야의 최다 논문 발행기관은 중국의 Tongji University(통지대학)인 것으로 나타남

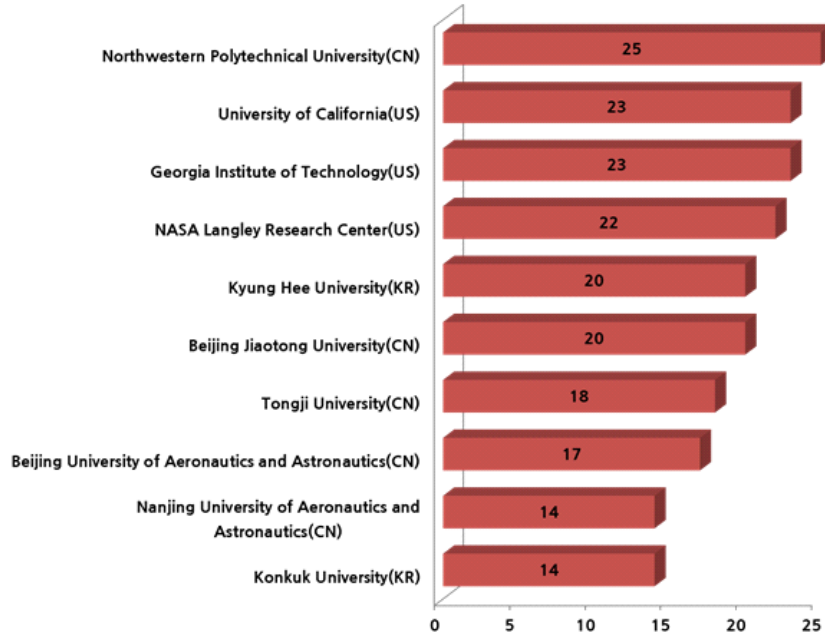
#### 카. 융복합을 통한 대심도 지하공간 자율주행 및 도로관리 지원 기술(BB)

##### (1) 연도별 논문 발행동향



- ICT 융복합을 통한 대심도 지하공간 자율주행 및 도로관리 지원 기술(BB)과 관련하여 논문 발행동향을 살펴보면, 전체적으로 현재까지 꾸준히 논문 발행이 증가하는 것으로 나타나며, 특히 1990년대 후반부터, 관련 기술의 논문 발행건수가 지속적으로 급증하고 있는 것으로 나타남

## (2) 주요발행기관 현황

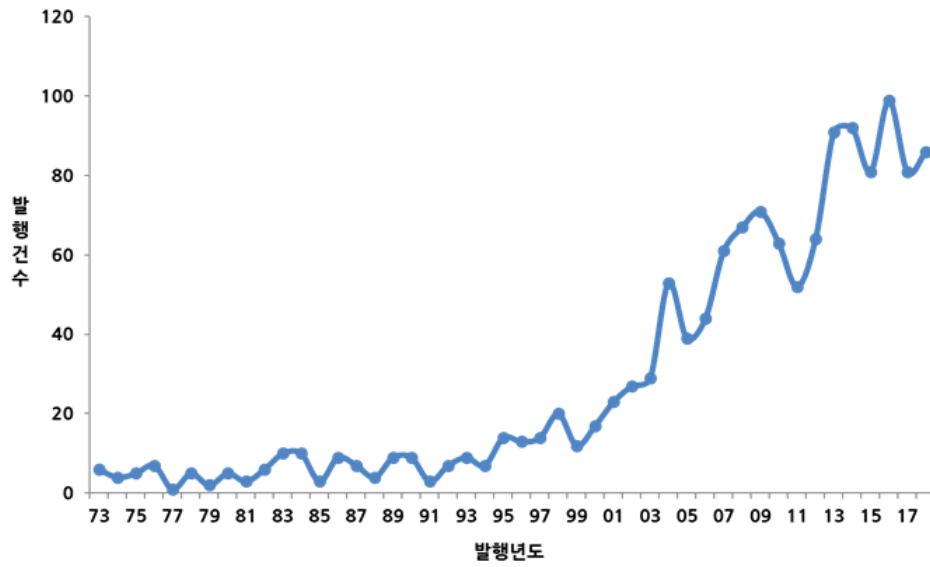


- ICT 융복합을 통한 도심도 지하공간 자율주행 및 도로관리 지원 기술(BB)과 관련하여 주요발행기관을 살펴보면, 주로 중국의 기관들이 상위에 분포하고 있으나, 중국 외에도, 미국, 한국 등의 기관들도 다수의 논문을 발행한 것으로 나타나고 있음
- 관련 기술분야의 최다 논문 발행기관은 중국의 Northwestern Polytechnical University(서북공업대)인 것으로 나타나며, 한국에서는 경희대, 건국대 등에서 관련 기술의 논문을 발행한 것으로 나타남

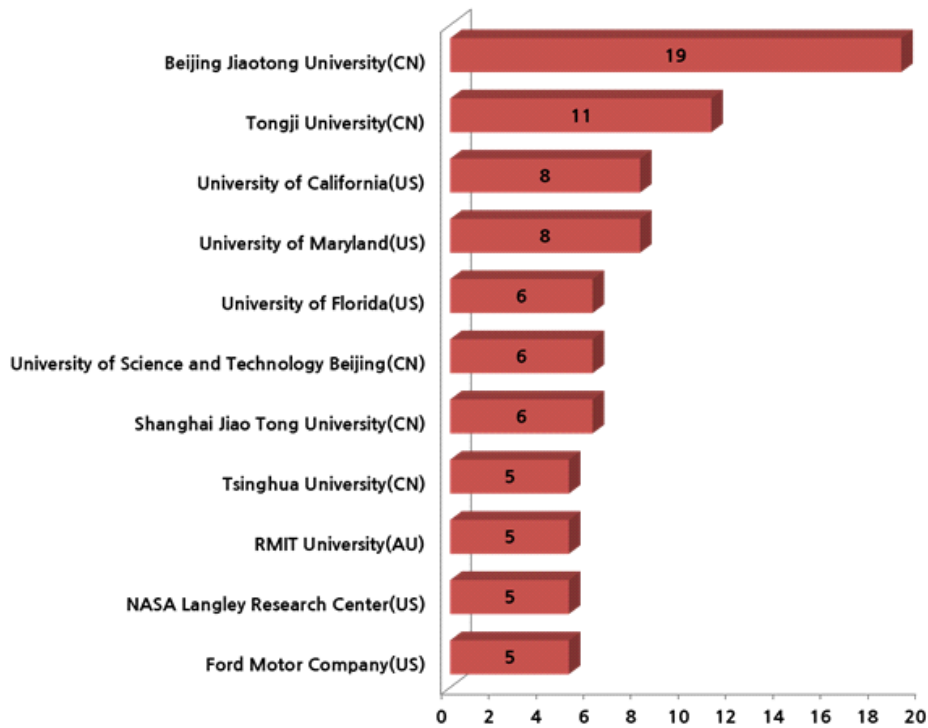
## 타. 지하도로 주행환경 관리 기술(BBA)

## (1) 연도별 논문 발행동향

- 지하도로 주행환경 관리 기술(BBA)과 관련하여 논문 발행동향을 살펴보면, 전체적으로 현재까지 꾸준히 논문 발행이 증가하는 것으로 나타나며, 특히 2000년대 초반부터, 관련 기술의 논문 발행건수가 지속적으로 급증하고 있는 것으로 나타남



(2) 주요발행기관 현황

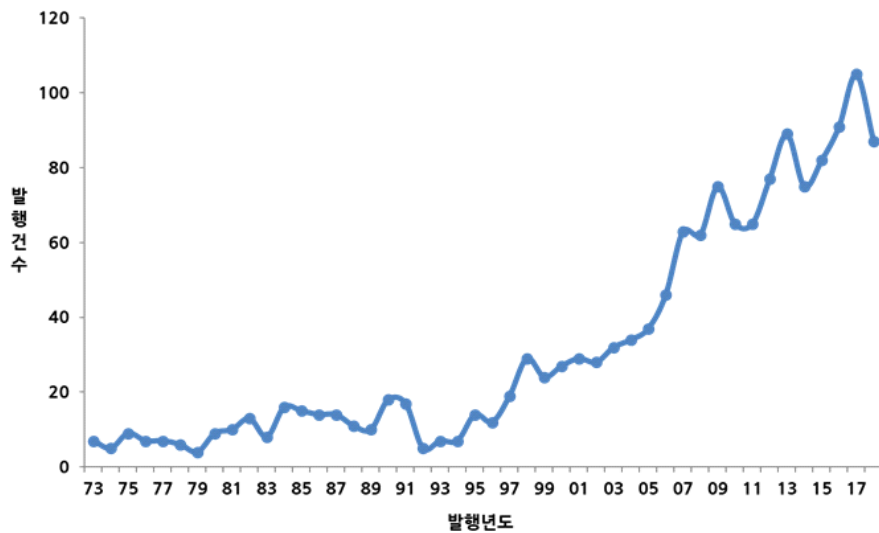


- 지하도로 주행환경 관리 기술(BBA)과 관련하여 주요발행기관을 살펴보면, 주로 중국의 기관들이 상위에 분포하고 있으나, 중국 외에도, 미국, 오스트레일리아 등의 기관들도 다수의 논문을 발행한 것으로 나타나고 있음

- 관련 기술분야의 최다 논문 발행기관은 중국의 Beijing Jiaotong University(북경교통대학)인 것으로 나타남

#### 파. 대심도 지하도로 관리 기술(BBB)

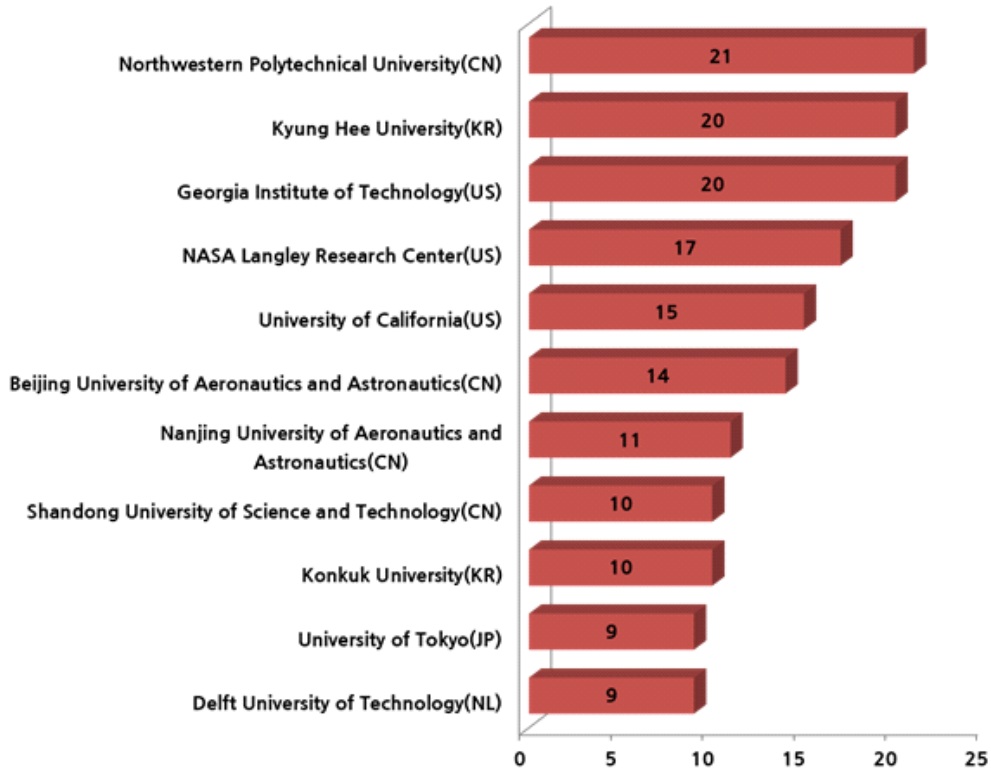
##### (1) 연도별 논문 발행동향



- 대심도 지하도로 관리 기술(BBB)과 관련하여 특히 출원동향을 살펴보면, 전체적으로 현재까지 꾸준히 논문 발행이 증가하는 것으로 나타나며, 특히 1990년대 후반부터, 관련 기술의 논문 발행건수가 지속적으로 급증하고 있는 것으로 나타남

##### 2) 주요발행기관 현황

- 대심도 지하도로 관리 기술(BBB)과 관련하여 주요발행기관을 살펴보면, 주로 중국의 기관들이 상위에 분포하고 있으나, 중국 외에도, 한국, 미국, 일본, 네덜란드 등의 기관들도 다수의 논문을 발행한 것으로 나타나고 있음
- 관련 기술분야의 최다 논문 발행기관은 중국의 Northwestern Polytechnical University(서북공업대)인 것으로 나타나며, 한국에서는 경희대, 건국대 등에서 관련 기술의 논문을 발행한 것으로 나타남



#### 하. 논문동향 분석 결론

- 본 논문 동향을 분석하기 위해 51,763개의 논문을 검색하였고, 그 중 12,747개를 선별하여 집중 분석 수행
- 앞선 특허 동향 분석과 동일한 분류체계를 가지고 분석한 결과, 모든 분야에서 중국이 가장 많은 수의 논문을 보유하고 있으며 그 수 또한 최근까지 계속 증가하고 있음
- 그 중에서도 중국과학원과 통지대학이 가장 많은 논문을 제출하고 있는 것으로 나타나 본 사업과 관련 선행 연구가 활발하게 이루어지고 있음

## 4절 기술수요 및 예측조사

### 1. 기술수요조사 개요

#### 가. 기술수요조사의 목적 및 내용

- **차세대 대심도 교통인프라 안전성 확보 기술<sup>2)</sup>**의 경쟁력 증진 및 실용화 추진을 위해 산·학·연의 기술수요를 적극적으로 파악하여 유망한 후보과제를 발굴하기 위한 기초자료 수집
- 본 기획연구의 목적에 맞도록 다음과 같이 4가지 분야로 구성하여 기술수요조사 실시
  - 대심도 지하공간 인프라 통합 설계 플랫폼 개발
  - 대심도 시공 중 안전성 확보 기술
  - 지하공간 스마트 환기 및 화재안전 기술 고도화
  - 대심도 지하공간 자율주행 및 도로관리 지원 기술
- (기술수요조사 주요 항목) 제안기술의 목표, 기술개발 목표와 내용, 소요예산 등으로 구성되며 다음과 같음

#### “차세대 대심도 지하도로 인프라 안정성 확보 기술 개발 기획” 과제 기술수요조사서

안녕하십니까?

한국건설기술연구원 지반연구소의 김창용입니다.  
 저희 한국건설기술연구원은 연구원 자체 기획사업으로 “차세대 대심도 지하도로 인프라 안정성 확보 기술 개발” 기획 과제를 수행 중에 있습니다. 본 과제에서는 최근 사회적으로 관심을 받고 있는 도심지에 건설 예정인 대심도 지하도로가 미치는 영향을 최소화하기 위해 ICBM 기반 지반분석, 설계 시공 및 운영에 대한 전주기적 통합 솔루션 기술 개발의 시안에 대하여 기술개발 추진 전략을 수립하고 있으며, 이를 위하여 ① Big Data 기반 대심도 지하공간 인프라 통합 설계 플랫폼 개발, ②ICBM 및 VR/AR 기술을 활용한 대심도 시공 중 안정성 확보 기술, ③AI기반 지하공간 스마트 환기 및 화재안전 기술 고도화, ④ICT 융복합을 통한 대심도 지하공간 자율주행 및 도로관리 지원 기술 등 4개 기술분야로 구분하여 기획을 추진하고 있습니다.

한국건설기술연구원에서는 기획연구에 대하여 전문가위원의 기획연구진을 구성하고, 연구진간 협의를 통하여 기획대상 기술분류체계를 정의하였습니다.

이에 관련 전문가 분들을 대상으로 본 설문지를 통한 기술수요조사를 실시하여 “차세대 대심도 지하도로 인프라 안정성 확보 기술 개발”분야의 다양한 기술니즈 및 유망과제를 도출하여 기술기획 연구를 합리적으로 수행하고자 하오니, 전문가 여러분의 많은 참여를 부탁드립니다.

본 조사내용은 기획과제와 관련된 기술니즈를 파악하는 목적 이외에는 사용되지 않을 것임을 약속드립니다.  
 감사합니다.

2019. 3. 5

한국건설기술연구원  
 차세대인프라연구센터장 김 창 용

조사담당자 : 한국건설기술연구원 황성필 수석연구원  
 OFFICE 030) 910-0774  
 C.P: 010) 2026-6690  
 E-Mail: hsp@kictre.kr

#### 기술수요조사서

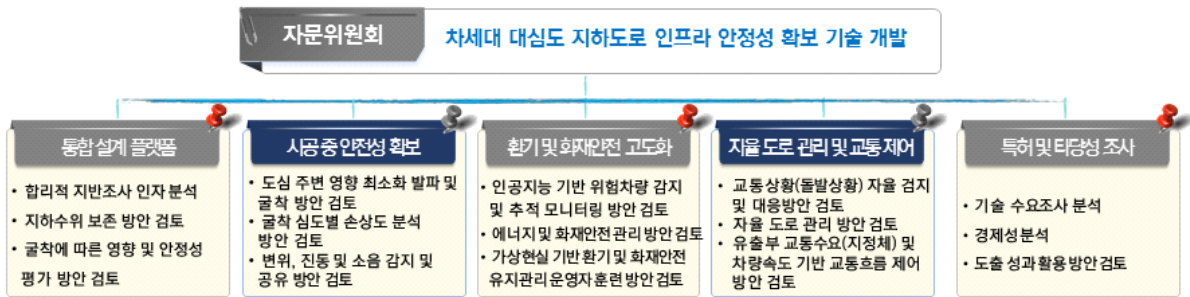
PART I. 인적사항			
성 명			
소속기관/ 부서		직위	
전화번호	office: CP:.	E-Mail	
PART II. 제안 기술 개요			
제안 기술(과제명)			
기술분류체계	※ [별첨] 제안 기술이이템에 해당되는 기술분류체계 코드 및 분류명을 작성해 주십시오.		
연구목표			
연구개발내용	○ ○ ○		
소요예산(가정)			

#### <기술수요조사서>

2) 기획과제 초기 제목이며, 기획을 거쳐 도출된 제목은 “도심 지하 교통 인프라 건설 및 운영 기술 고도화” 임

나. 기술수요조사 절차

- (기술수요조사 설계) 다음 그림과 같이 통합 설계 플랫폼, 시공중 안전성 확보, 환기 및 화재안전 고도화, 자율도로 관리 및 교통제어, 특히 및 타당성 분석의 5개 분야에 대한 산·학·연의 전문가들을 대상으로 구성
- 자문위원회는 20인, 5개의 분과는 각 5명으로 구성



〈기술수요조사를 위한 전문가위원회 구성〉

- (기술수요조사 실시) 학회 등 전문가 집단을 대상으로 기술수요조사서 양식 배포 후 약 2주간 회수
- (기술수요조사서 분석) ① 기술수요조사 응답현황에 대한 분석 실시, ② 기술수요조사의 제안된 기술에 대한 기술분류체계와의 매칭을 통한 분석
- (기술수요조사서 활용) ① 기술분류체계 및 연구동향에 대한 분석 수정/보완, ② 기술예측조사를 위한 예측기술명 도출에 활용, ③ 기획연구에서의 중점분야 선정 및 후보과제 선정을 위한 기초자료로 활용

다. 기술수요조사 활용 세부 내용

- 기술수요조사결과를 활용한 본 기획연구에서 제시한 기술분류체계 및 연구동향, 환경분석의 수정/보완
- 정부 R&D 및 지하도로 정책과의 적합성을 반영할 수 있는 기술예측조사를 위한 예측기술명 도출에 활용
- 기획연구 및 본 연구에서 수행할 필요가 있는 중점 연구분야 선정 및 수행과제 선정에 활용
- 내·외부 전문가, 담당부처 관계자 등의 의견수렴 절차를 거쳐 중점분야별 후보기술 발굴의 기초자료로 활용

- 기술개발 우선순위를 파악하고 기술개발과제간의 효율적인 자원배분 방안을 마련하기 위한 사전 조사에 해당함

#### 가. 기술수요조사 발송 및 응답 결과

- 기술수요조사 대상은 기획 참여연구원, 자문위원, 외부전문가(한국 터널 지하공간 학회)를 대상으로 메일 발송을 통해 조사를 실시하였으며, 기술수요조사 주요 수행내용은 다음 표와 같음

#### 〈기술수요조사 주요 수행내용〉

구분	내 용
조사기간	2019년 2월 13일(수) ~ 3월 22일(금)
조사대상	- 조사대상 : 자문위원, 외부전문가(한국 터널 지하공간 학회)
조사방법	- 이메일을 통한 설문조사
응답자 수	- 49명 응답
기술수요조사 응답 건수	- Big Data 기반 대심도 지하공간 인프라 통합 설계 플랫폼 개발 : 16 건 - ICBM 및 VR/AR 기술을 활용한 대심도 시공 중 안정성 확보 기술 : 9 건 - AI기반 지하공간 스마트 환기 및 화재안전 기술 고도화 : 9 건 - ICT 융복합을 통한 대심도 지하공간 자율주행 및 도로관리 지원 기술 : 15 건

#### 나. 기술수요조사 결과 분류

- 회신된 기술수요조사서를 중점분야별/연구수행기관별로 조사 응답 현황을 분석하였으며, 그 결과는 다음 표와 같음

#### 〈중점분야별/연구수행기관별 기술수요조사 결과〉

구분		중점분야				계
		설계분야	시공분야	방재분야	교통분야	
연구 수행 기관	기업	8	3	5	2	18
	대학	4	2	-	-	6
	연구기관	4	4	4	13	25
	기타(협회)	-	-	-	-	-
	계	16	9	9	15	49

다. 중점분야별 기술수요조사 제안과제명 및 연구내용 분류

- 중점분야별 기술수요조사 제안과제명 및 연구내용은 다음과 같음

대분류	중분류	소분류	기술수요조사 제안 과제명
Big Data 기반 대심도 지하 공간 인프라 통합 설계 플랫폼 개발	지하수위 관리 기술	지하수위 보존 지하공간 구축 기술	셸드TBM의 비배수 시공 기술
			도심지 수직굴착 및 지하수를 고려한 비개착공법
			대심도 지하구조물 시공 시 지하수위 복원 기술 개발
			지하수위 보존형 배수시스템
			대심도 도로건설시 허용 가능한 최저 기준 지하수위 분석 및 싱글헬터널과 차수그라우팅, 수벽시스템 적용성에 대한 연구
			대심도 지하도로 유출수 재주입을 통한 지하수위 관리 시스템 구축
			지하수위 보존형 배수시스템 및 장치개발
	합리적 조사위치 결정 기술	지상 및 지중 구조물을 고려한 합리적 조사 위치 결정 기술	대심도 지하공간 개발을 위한 현장조사위치 결정 기술 개발
	지하 굴착에 따른 영향 및 안전성 평가 기술	굴착 조건에 대한 지상부 영향도 평가 및 시뮬레이션 기술	도로 IC 및 JCT 특수구간 내 침하예측 및 상부구조물 손상평가 프로그램 개발
			대심도 지하굴착에 따른 지상부 위험도 평가 및 시뮬레이션 기술 개발
			굴착단계에 따른 인접구조물의 안전 및 손상여부 등에 대한 VR/AR 방법을 이용한 점검 및 예측 시뮬레이션 기술 개발에 관한 연구
		지하 대심도 인프라 통합 안전 관리 기술	
Big Data 기반 지하 대심도 인프라 통합 안전 관리 기술			
대심도 지하공간 인프라 빅데이터 처리 시스템 개발			
		AR 및 디지털 트윈 기반의 지하 대심도 시설물 모니터링 기술	

대분류	중분류	소분류	기술수요조사 제안 과제명
ICBM 및 VR/AR 기술을 활용한 대심도 시공 중 안정성 확보 기술	진동 및 소음 관리 기술	시공 및 운영 중 진동 및 소음 측정 및 지상부 영향도 분석 기술	광섬유 기반 스마트 신경망 센서를 활용한 지하구조물 상태 감시 기술 개발
			시공 및 운용중 진동 및 소음 관제를 위한 저전력 MEMS 무선 네트워크 시스템
			가상현실 기반의 지하대심도 소음 시뮬레 이션 기술
		표준화 구축 및 위험 예보 기술	대심도 지하 인프라 구축 및 운영에 따른 영향 실시간 공유 시스템
	대심도 시공 중 안정성 확보 기술	주변 영향 최소화 발파 및 교란영역 조기 보강 기술	주변 암반손상 최소화를 위한 발파공법 및 교란영역 조기보강 방법에 대한 연구
			도심지 지하도로 시공성 및 안정성 향상이 가능한 초미립 속경 그라우트재 강관다단 그라우팅 공법 개발
			친환경, 고성능 무진동 암반굴착 시공기술 개발
			선대구경 장비를 이용한 터널전방 지반상 태 파악 및 발파진동 저감기술 개발
		굴착 심도별 손상도 분석 기술 표준화 계측 및 원격 의사 결정 기술	대심도 굴착지반의 3차원 변위 및 변형 분석 기술
			안전·신뢰성 향상을 위한 도심 지하공간 건설 및 활용 관련 제도개선 및 활성화 방안 연구

대분류	중분류	소분류	기술수요조사 제안 과제명	
시 기반 지하공 간 스마트 환기 및 화재안 전 기술 고도화	위험차량 관리 기술	위험차량 감지 및 추적 모니터링 기술	위험차량 감지 및 추적 모니터링 시스템 기술 개발	
	대심도 지하공간 화재 안전 구축 및 관리 기술	지하 대공간 정량적 화재 평가 기술	Big Data 기반 대심도 지하도로 정량적 화재안전 평가 및 성능위주화재안전 설계 기술	
		지하 대공간 화재 안전 관리 기술		가상현실(VR) 기반 대심도 지하도로 환기/화재안전 유지관리 운영자 훈련 SW 및 시뮬레이터 개발
				스마트 대심도 지하도로 관리를 위한 에너지 및 화재안전 관리 시스템
				터널 환기구 구조물 최적화 설계 및 시공 방안 연구
				대심도 지하도로 제연설비 성능평가방법 개발
				대심도 지하공간 방재 및 방호 복합 Shelter 구축기술 개발
				시 기반 대심도 지하공간 화재(재난) 예방 및 조기경보시스템 구축
				내연성 내장재 기술

대분류	중분류	소분류	기술수요조사 제안 과제명
ICT 융복합 을 통한 대심도 지하공 간 자율주 행 및 도로관 리 지원 기술	지하도로 주행환경 관리 기술	자율주행 환경 구축 기술	무인차 기반 대심도 도로 낙하물 수거 시스템 개발
			도로선형 설계 기술
			자율 및 비자율 차 이동성 및 주행 안전성 향상 기술
		교통상황 자율 검지 모니터링 기술	대심도 지하공간 최적 시환경 향상 기술
			음향-레이더-영상 융복합 센서 기반 터널 교통상황(돌발상황) 모니터링 기술
			대심도 지하도로 자율 교통류 모니터링 및 운영 개발(유출입부 지정체)
			딥러닝 영상처리 기반 터널 이동객체 돌발상황/화재 실시간 감지 기술 및 GIS기반 종합 관제 시스템 개발
	대심도 지하도로 교통 안전 확보 기술 개발		
	딥러닝을 이용한 대심도 지하도로 인프라기반 교통상황 영상 자율검지 시스템 개발		
	교통 시뮬레이션 기반 교통류 안전성 평가 기술		
	대심도 지하도로 관리 기술	자율 도로 관리 기술	터널내 분기구 설계 및 운영 기술
			대심도 유지·관리를 위한 계측 장비 및 통합형 관리 솔루션 개발 기술
			지하도로 교통수요 예측 및 도로용량 산정 기술
			지하도로 접속부 처리 기술 개발 (접속부 유형정의, 처리방안)
		지하 공기질 관리 기술	지하 터널 형식별 미세먼지 저감 최적화 방안

## 5절 기술개발 추진방향 정립

### 1. SWOT 분석

- 국내외 동향 및 환경분석 결과를 바탕으로 연구개발과제의 구성 및 추진전략을 도출하기 위한 사전 분석으로 SWOT 분석 실시

#### 〈SWOT분석〉

	강점(S)	약점(W)
내부 환경 분석	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 국내 IT관련 기술 수준이 높음</li> <li>○ 국제적 인적 네트워크 구성 가능</li> <li>○ 국가차원의 경쟁력 요구 증대로 연구기획 확대</li> <li>○ 다양한 지하 교통인프라 건설사업 추진이 활발하여 성과물 실증에 유리</li> <li>○ 장대터널 및 도심지 터널(지하철) 등 설계 및 시공</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 도심지 지하 터널 건설 경험 부족</li> <li>○ 해당분야 고급 전문인력 부족</li> <li>○ 지하교통시스템 건설 및 운용과 관련된 제도, 정책, 기준 등이 부재</li> <li>○ 정보 공개에 대한 건설사와 주민간의 의견 상충 우려</li> </ul>
	기회(O)	위험(T)
외부 환경 분석	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 국내외 지하 교통인프라 수요 증대</li> <li>○ 현재가 관련기술 연구개발 최적기</li> <li>○ 도심지 지하 교통인프라 건설에 대한 국민적 관심 및 우려 해소 필요</li> <li>○ 도심 지하공간 활용을 위한 정부 차원의 제도적 기반 마련</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 강력한 사업 추진 체계 결여</li> <li>○ 노하우가 부족한 상황에서 시행착오 우려</li> <li>○ 도심 지하 교통시설의 안전과 방재에 대한 의견 상충</li> </ul>

- 각 포지션별 전략 수립을 위해 SO/WO/ST/WT 전략을 다음과 같이 수립함

#### 〈SO/WO/ST/WT 분석〉

SO 전략	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 수준급의 IT기반 기술을 융합한 정보공개 시스템을 개발하여, 국내 도심 지하 교통인프라에 적용</li> <li>○ 추진되고 있는 지하 교통 인프라 구축망 프로젝트에 성과물을 적용 가능</li> </ul>	WO 전략	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 시장성이 부족한 정보 공개 기술을 정부 지원 R&amp;D 사업으로 개발하여 도심 지하 교통 인프라에 활용</li> </ul>
ST 전략	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 전문인력 풀 등 인프라를 활용한 세계 선도기술 개발을 통해 확대가 예상되는 세계시장 경쟁에서 기술우위 확보 가능</li> </ul>	WT 전략	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 미비한 국내 법제도 및 기준 등을 제안하여, 지하 관련 기술개발의 기반을 마련하고, 선진 기술력 국내 잠식에 대비</li> </ul>

## 2. 사업의 중점 추진분야 도출

- 대내외 환경분석을 통한 핵심 이슈 및 문제 도출

PEST 분석	핵심 이슈	문제
<p>[정책 P]</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>■ 해외를 비롯하여 국내에서도 지하 교통인프라, 지하 교통 허브 등 지하공간 개발 관련 정책 추진 중</li> <li>■ 정부의 대중교통이용 활성화 및 여객수송분담률 증대정책에도 불구하고 대중교통 분담률은 정체 또는 감소</li> <li>■ BAU 대비 2020년 30%, 2030년 37% 감축에 대한 정책적 목표 수립</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ 지하공간 이용 필요성 증대</li> <li>■ 미래 사회환경적 변화 대응 교통인프라 수요 증가</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ 도심 지상공간 개발 한계(포화)</li> <li>■ 현재 수준의 SOC 투자로는 교통 정체 개선한계</li> </ul>
<p>[경제 E]</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>■ 도로 SOC 투자를 경기 부양 수단이 아닌 경제 효율성을 높이는 수단으로 활용 필요</li> <li>■ 현재 SOC 투자를 통해서도 주요도시의 교통체증 문제에 대한 근본적인 해결에 한계</li> <li>■ 지하도로 사업 추진 시 환기설비 관련 비용 및 민원 부담 증가</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ 온실가스 감축목표 달성을 위한 도로교통분야 노력 필요</li> <li>■ 수도권 출·퇴근 시간 증가에 따른 삶의 질 저하</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ 국가 보조금 지급에 의한 자율차 보급에 많은 예산 소요</li> <li>■ 수요자 대비 광역교통 인프라 부족</li> </ul>
<p>[사회 S]</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>■ 교통정체는 출·퇴근 근로자들의 삶의 질 저하와 직결(OECD국가 평균 통근시간의 약 3배가 넘는 수준)</li> <li>■ 인구의 광역적 확산과 4차산업 관련 일자리 도심 집중 등 사회구조 변화</li> <li>■ 도시화에 대응하기 위하여 공간 활용을 극대화하는 메가시티 구축 예상</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ 안전하고 쾌적한 교통인프라 요구 증대</li> <li>■ 도심지 발파 및 지하수 유출 문제 해결 필요</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ 기존 지하도로 시공 중 안전, 환기소 설치 등 문제</li> <li>■ 발파로 인한 민원 및 지하수 유출에 따른 지반침하</li> </ul>
<p>[기술 T]</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>■ 최근 세계 각국은 미래 선도형 인프라 기술 등의 연구개발에 집중</li> <li>■ 국민의 기대에 부응하는 도시 인프라 및 주거 환경 개선 기술개발 필요</li> <li>■ 도심도 공간 개발에 따른 발파 영향 및 지하수 유출 문제 해결 필요</li> <li>■ 지하 인프라 증가에 따른 지하-지상, 지하-지하 인프라간 연계 시설물 구축기술 확보 필요</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ 4차 산업혁명 융복합을 통한 교통·물류 인프라 건설 필요 증가</li> <li>■ 지하인프라 증가에 따른 연계성 강화 필요</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ 완전 자율차 운행까지 많은 장애요인 존재</li> <li>■ 지하 구조물의 진출입 시설물 구축 기술 부족</li> </ul>

● PEST분석을 통한 중점추진분야 도출

구분	추진방향	중점분야
<p><b>활성화 전략</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 기술 경쟁력, 선행 연구기술을 바탕으로 입체형 지하 교통 인프라 안전 모니터링 시스템 개발</li> <li>• 도심 공간의 입체적 활용 및 안전성 확보를 위한 기술 기반 마련</li> <li>• 타 교통인프라와 연계가 가능한 허브 인프라 구축기술 확보로 이용자 편의성 증대</li> </ul>	<p>입체형 지하 교통인프라 확충을 위한 안전 감시시스템</p> <p>입체 지하인프라 설계·시공 및 운영 고도화</p> <p>테스트베드</p>
<p><b>보완 전략</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 기술 검증을 위한 테스트베드 계획 수립</li> <li>• 타 기술과의 융·복합을 통해 건설기술 관련 신시장 개척 및 새로운 비즈니스 모델 수립</li> <li>• 지하수, 발파 등 지하 인프라 개발에 민감한 이슈의 안전성 확보를 통한 민원 최소화 및 사업 활성화</li> </ul>	
<p><b>차별화 전략</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 지하 인프라 구축 시 안전성 확보로 국민 불안감 해소 및 신뢰성 확보</li> <li>• 첨단 기술과의 융복합을 통해 건설현장의 안전확보 기술 개발 추진</li> <li>• 세계적 수준의 기반기술을 바탕으로 해외 선도기업과의 기술격차 최소화</li> </ul>	
<p><b>약점극복 전략</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 국내 중소기업 등이 보유한 IT 기술 접목을 통해 시스템 엔지니어링 기술 개발</li> <li>• 건설현장의 데이터 수집/관리를 통해 디지털 인프라 운영 및 서비스 제공</li> <li>• 건설현장 정보 관리를 통한 투명하고 안전한 지하 인프라 현장 구축</li> </ul>	

### 3. 연구개발 추진 방향 정립

- 도심지 지하 교통 인프라 구축을 위해 투명한 관리시스템 필요
- 도심지 주거 밀집 지역 등 상부 복잡한 구조물에 대한 안전성 확보를 위한 진동, 침하, 소음 저감 기술의 고도화 필요
- 실시간적 정보 전달 및 위험 알림을 위한 모니터링 시스템 고도화 필요
- 현재 QA의 신뢰도가 낮으며, 하자발생 시 원인규명에 대한 객관적 시스템 부재, 이에 시공 전반에 대한 정보 관리가 필요
- 지하 인프라의 효율적 관리를 위해 설계-시공-유지관리 시스템의 통합 필요
- 융복합 기술 활용 건설관리 통합 운영시스템을 위한 요소 기술 개발 필요

## 6절 핵심기술 도출

### 가. 핵심기술 도출 개요

#### (1) 목적

- 기술의 실현시기, 기술수준 등 기술특성의 변화속도 등을 평가하여 본 기획의 기술개발 추진전략을 수립하기 위한 기초자료로 활용함

#### (2) 핵심기술 도출 절차

- 기술수요조사를 바탕으로 국내외 사례 및 전문가 의견을 수렴하여 1차 핵심 현안 기술을 도출함
- 자문위원회 운영을 통한 핵심 현안 기술 최종(안) 도출



### 나. 도심지 대심도 지하 교통터널과 관련 국내외 R&D 동향

- 현재까지 국내의 터널 관련 R&D는 거의 산악지역의 도로·철도 터널에 국한됨
- 도심지 터널 관련 연구는 “지하공동구 내진설계기준 연구”와 “토류벽의 굴착단계별 거동예보 시스템 개발” 등에 불과하며, 더욱이 이들 연구들은 본 전략과제인 대단면·장대 도심지 터널에 적용하기에는 한계가 있음
- 서울 등을 비롯한 대도시의 지하철 설계·시공 경험과 기술을 가지고 있으나, 본 대심도 지하 교통터널과 종래의 지하철 구조는 개념과 기술 측면에서 상당한 차이가 있음
- 가장 중요한 핵심기술 가운데 하나인 터널 기계화굴착공법의 경우에도 “급속 터널

기계화시공을 위한 최적 굴착설계 모델 개발” 연구 (2004~2007)를 통해 과거 100% 의존하였던 TBM (Tunnel Boring Machine) 커터헤드 설계기술을 선진기술 대비 70% 수준으로 향상시키는데 기여하였으나, 균질한 암반 조건에만 적용이 가능한 것으로서 도심지에서 빈번하게 나타나는 복합지반 대응 기술은 여전히 전무한 상황임

- 하지만 SMART 터널 Observation Expert System 개발” 연구 (2003~2005) 등과 같이 정보화 기반의 터널 설계·계측 기술은 향후 대도시 지하 고속화 교통터널의 경우에도 활용될 수 있는 선행 기술로 고려됨. 단, IT기술이 급격히 발전하고 있는 바 최신 기술을 접목한 정보화 설계·계측 기술은 꾸준히 진행되어야 할 분야이다.

#### 다. 도심지 지하 교통터널 관련 기술 발전 전망

- 전문가 대면조사 결과, 도심지 지하 교통인프라의 중요도는 지상 인프라의 대체 및 보완을 위해 매우 중요하다고 판단됨
- 또한 도심지 지하 교통인프라의 핵심기술은 선진국 대비 60% 수준에 불과한 것으로 나타남
- 특히, 도심지의 주거 밀집 지역 등을 통과하는 경우 주민들이 공사의 현황 등을 직접 확인할 수 있는 방법이 없어 불안감 및 불신이 조성될 수 있음
- 대도시의 교통난 해소를 위해 지하 고속화 도로 등을 건설하는 바 2차선 이상의 광폭터널에 대한 기술수요가 있을 것으로 기대할 수 있다. 2차선 이상의 광폭터널을 시공하기 위해서는 초대단면 쉴드 TBM의 적용과 함께 초대단면 복층터널의 설계·시공 기술, 보다 강화된 지하공간 안전관리 기술 ed에 대한 연구개발이 이루어질 것으로 예상할 수 있으며, 광폭터널의 경우에도 운행 중 안전을 위해서 소형차 전용도로로 운영되는 것이 타당할 것임
- 터널 건설과 지상공간과의 연계를 위한 대단면·대심도 수직구 기술 및 도심지 개착식 터널 건설기술은 현재에도 상당한 기술이 확보되어 있다고 할 수 있다. 하지만 쾌적한 도시 생활공간 유지, 시공 중 교통흐름의 저해 최소화, 주변 환경에 대한 피해 최소화 등에 대한 관심과 요구가 증대되면서 친환경적이고 경제적인 건설기술의 발전이 지속적으로 요구될 것임
- 지하공간에서의 안전을 확보할 수 있는 환기·방재 기술의 확보가 우선시되어야 하며, 주변 환경과 기존 구조물과의 피해를 최소화할 수 있는 첨단 건설기술도 개발되어야 함

라. 핵심기술 도출 배경

(1) 제목 도출

- 최초 기존 지상 도로 및 지하 구조물 하부를 사용하는 교통 인프라의 안전성을 확보하기 위한 기술 개발을 위해 “차세대 도심도 교통인프라 안전성 확보 기술 개발”로 수요 조사를 시작
- 주요 현안들과 개발 인근 주민들의 의견 등을 수렴하였고, 자문위원회를 운영하여 도심지의 기존 지상·지하 구조물에 피해를 주지 않는 지하 교통 인프라 구축 기술 개발을 위해 현재 기술의 고도화 및 새로운 기술의 개발을 위해 “도심 지하 교통 인프라 건설 및 운영 기술 고도화”로 도출

(2) 대·중분류 도출

대분류	중분류		대분류	중분류
Big Data 기반 대심도 지하 공간 인프라 통합 설계 플랫폼 개발	지하수위 관리 기술	⇒	지하 교통 인프라 확충을 위한 안전 감시 시스템	지하 교통인프라 건설을 위한 조사 및 모니터링 기술 고도화
	합리적 조사위치 결정 기술			지하 교통 인프라로 인한 안전 영향 평가 및 분석 기술
	지하 굴착에 따른 영향 및 안전성 평가 기술			지하 교통 인프라 통합 안전 모니터링 플랫폼
진동 및 소음 관리 기술	지하 교통 인프라 구축 안전기반 수립 및 제도			
ICBM 및 VR/AR 기술을 활용한 도심도 시공 중 안정성 확보 기술	대심도 시공 중 안정성 확보 기술	⇒	지하 교통 인프라 설계·시공 및 운영 고도화 핵심기술	지하 교통 인프라 안전 시공 및 운영을 위한 지하수 관리 기술
	위험차량 관리 기술			도심지 기존 시설물 진동영향 최소화 굴착기술
대심도 지하공간 화재 안전 구축 및 관리 기술	지하도로 주행환경 관리 기술	⇒		지하 공간 스마트 환기 및 화재 안전 기술 고도화
지하도로 화재 안전 구축 및 관리 기술	대심도 지하도로 관리 기술		위험 차량 추적 관리 기술	
ICT 융복합을 통한 도심도 지하공간 자율주행 및 도로관리 지원 기술	지하도로 화재 안전 구축 및 관리 기술	⇒	지하 공간 자율주행 및 도로관리 자동화 기술 고도화	지하 공간 화재 안전 구축 및 관리 기술
	대심도 지하도로 관리 기술			지하 공간 주행환경 관리 기술
				지하 공간 도로관리 및 유지관리 자동화 기술

(3) 소분류 도출



마. 핵심기술 최종(안)

- 설계·시공에 관련된 기술은 1단계로, 운영·유지관리 관련 기술은 2단계로 분류하였으며, 지하 교통 인프라 구축에 시급하게 필요한 1단계 설계·시공 기술은 다음과 같음

대분류	중분류	소분류	수요조사 기술명
지하 교통 인프라 확충을 위한 안전 감시 시스템	지하 교통인프라 건설을 위한 조사 및 모니터링 기술 고도화	조사 및 계측 최적화	대심도 지하공간 개발을 위한 현장조사위치 결정 기술 개발
			도심지 지반굴착 계측표준화 최적 설계 기술
		계측 시스템 고도화	시공 및 운용중 진동 및 소음 관제를 위한 저전력 MEMS 무선 네트워크 시스템
			도심지 지반 굴착공사를 위한 계측시스템 고도화
	지하 교통 인프라로 인한 안전 영향 평가 및 분석 기술	위험도 및 상태 평가	GSR 기법을 이용한 대심도 다공성 지반의 위험성 예측 기술
			도로 IC 및 JCT 특수구간 내 침하예측 및 상부구조물 손상평가 프로그램 개발
		영향도 및 위험도 영향평가	대심도 지하굴착에 따른 지상부 위험도 평가 및 시뮬레이션 기술 개발
			굴착단계에 따른 인접구조물의 안전 및 손상여부 등에 대한 VR/AR 방법을 이용한 점검 및 예측 시뮬레이션 기술 개발에 관한 연구
			대심도 굴착지반의 3차원 변위 및 변형 분석 기술
	지하 교통 인프라 통합 안전 모니터링 플랫폼	Big Data 분석 기법	AR 및 디지털 트윈 기반의 지하 대심도 시설물 모니터링 기술
			Big Data 기반 지하 대심도 인프라 통합 안전 관리 기술
			대심도 지하공간 인프라 빅데이터 처리 시스템 개발
		통합 안전 모니터링 플랫폼	가상현실 기반의 지하대심도 소음 시뮬레이션 기술
대심도 지하 인프라 구축 및 운영에 따른 영향 실시간 공유 시스템			
지하 교통 인프라 구축 안전기반 수립 및 제도	안전 확보를 위한 제도	안전·신뢰성 향상을 위한 도심 지하공간 건설 및 활용 관련 제도개선 및 활성화 방안 연구	

대분류	중분류	소분류	수요조사 기술명
지하 교통 인프라 설계·시공 및 운영 고도화 핵심기술	지하 교통 인프라 안전 시공 및 운영을 위한 지하수 관리 기술	지하수위 복원 기술	대심도 지하구조물 시공 시 지하수위 복원기술 개발
			대심도 지하도로 유출수 재주입을 통한 지하수위 관리 시스템 구축
			지하수위 보존형 배수시스템 및 장치개발
		차수 보강 기술	지하수위 보존형 배수시스템
			대심도 도로건설시 허용 가능한 최저 기준지하수위 분석 및 싱글셴터널과 차수그라우팅, 수벽시스템 적용성에 대한 연구
	도심지 기존 시설물 진동영향 최소화 굴착기술	굴착 기술 고도화	주변 암반손상 최소화를 위한 발파공법 및 교란영역 조기보강 방법에 대한 연구
			친환경, 고성능 무진동 암반굴착 시공기술 개발
		선대구경 장비를 이용한 터널전방 지반상태 파악 및 발파진동 저감기술 개발	
	안전한 지하 교통 인프라 연결부 설계 및 교통운영 기술	보강 기술 고도화	도심지 지하도로 시공성 및 안정성 향상이 가능한 초미립 속경 그라우트재 강관다단그라우팅 공법 개발
		지하공간 도로 설계	지하도로 교통수요 예측 및 도로용량 산정 기술
지하도로 접속부 처리 기술 개발 (접속부 유형정의, 처리 방안)			
	지하공간 도로 위험도 평가	교통 시뮬레이션 기반 교통류 안전성 평가 기술	

### 3장

## 연구개발과제 구성 및 추진전략

### 1절 비전 및 목표

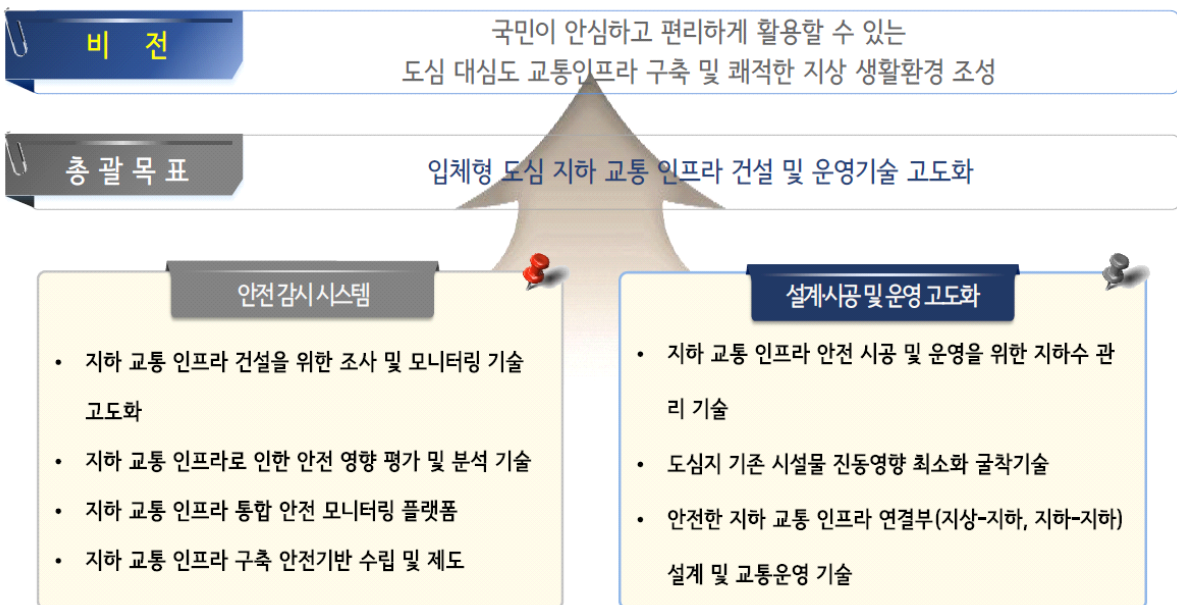
#### 1. 비전 및 목표

##### 가. 비전

- 국민이 안심하고 편리하게 활용할 수 있는 도심 대심도 교통인프라 구축 및 쾌적한 지상 생활환경 조성

##### 나. 목표

- 총괄 목표 : 입체형 도심 지하 교통 인프라 건설 및 운영기술 고도화
- 세부 목표
  - 1세부 : 지하 교통 인프라 확충을 위한 안전 감시 시스템 개발
  - 2세부 : 지하 교통 인프라 설계·시공 및 운영 고도화 핵심 기술 개발



## 2. 설정근거

### 가. 비전 설정 근거

- 본 연구의 비전은 “국민이 안심하고 편리하게 활용할 수 있는 도심 대심도 교통인프라 구축 및 쾌적한 지상 생활환경 조성”로, 전세계적으로 이슈가 되고 있는 4차산업 혁명 기술의 접목을 통해 국내 대심도 교통인프라 기술의 발전 및 해외 진출 활성화를 유도하기 위함. 본 비전은 문재인 정부 국정 운영 5개년 계획의 내 삶을 책임지는 국가 중 전략3에 해당되는 “안전사고 예방 및 재난 안전관리의 국가 책임체계 구축” 그리고 국토교통과학기술 연구 개발 종합계획의 전략 1 “4차산업혁명 대응 혁신 성장동력 육성”과 그 맥을 같이함

### 나. 목표 설정 근거

#### ● 1세부

- 도심지 지하 교통인프라 구축에 대한 국민의 불안감 해소를 위하여 건설(시공) 단계에서의 조사·모니터링 시스템 고도화 및 최적화, 건설(시공) 전 지상·지하 위험도 및 상태평가 기술, 그리고 Big Data 분석이 가능한 지하 건설 정보 통합 안전 모니터링 시스템 개발을 목표로 설정함
- 도심지 지상·지중 구조물을 고려하여 광역적·국지적 분석을 통한 최적 조사위치를 결정하고 IoT 기반으로 계측 기술을 고도화·최적화·표준화하며, 지하굴착(지층 특성 및 심도 등 조건 고려)에 대한 지상부 위험도 평가 및 시뮬레이션 기술 개발, 대심도 지하공간 Big Data 분석 기법 개발을 통하여 건설 단계 통합 안전 모니터링 시스템을 개발하는 것을 의미하고, 궁극적으로 도심지 대심도 시공 시 정보 공개 및 VR/AR 체험을 통해 국민의 불안감을 해소하고자 함

#### ● 2세부

- 도심 지하 공간의 건설 안전 기술 확보를 위한 굴착 및 보강 기술 고도화, 지하수위 안전 관리 기술 개발 적용으로 대규모 지하굴착 관련 안전사고 30% 저감 및 시공 중 안전성 확보
- ICBM 기반의 융합기술을 활용하여 지하 교통 인프라 운영 및 관리 시스템을 개발하여 ‘경험’ 의존 에서 ‘정보’ 기반 기술로 패러다임을 전환하고자 함
- 지상과 지하, 지하와 지하 인프라간의 연결부에 대한 설계 및 지하도로 운영에 적합한 교통기술을 개발하는 것을 개념적 목표로 설정함
- 도시지역 지속적인 인구<sup>1)</sup> 및 교통량 증가로 인하여 심각한 교통 혼잡문제<sup>2)</sup>에 직면해 있으며 이에 대한 해결방안으로 대심도 지하도로 사업\* 추진 활발

- 1) 수도권 인구는 2021년에는 전체 인구의 50% 초과, 2029년 50.2%로 정점을 찍을 것으로 예측 (통계청, 2014)
  - 2) 2015년 서울 및 6대 광역시의 교통혼잡비용은 약 21.3조원에 이르는 것으로 보고 (한국교통연구원, 2014)
  - \* (서울) 제물포터널, 서부간선 지하도로 시공 중, (부산) 만덕~센텀 도시고속도로 (경기) 경인고속도로 지하화, 광명~서울 고속도로 지하화 등 다수 사업 추진 중
- 도시지역 지상공간 여건을 고려할 때, 지하 대심도 개발사업은 지속적으로 증가 예상, 연계 지하 및 지상인프라 안전성에 대한 국민적 관심 및 우려 해소 필요



< 지상-지하, 지하-지하 연계 설계 및 시공 중 안정성 확보 기술 >

### 3. 단계별 목표


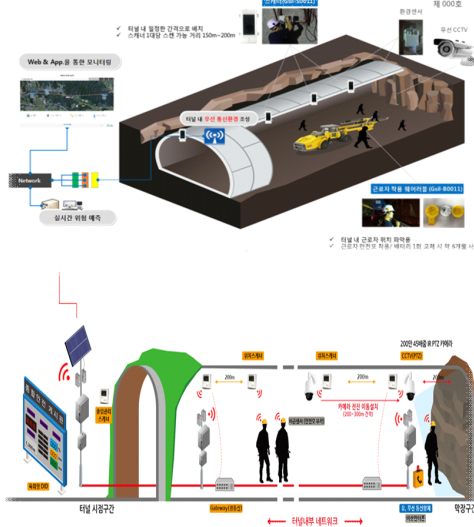
- 1단계, 기술개발단계 (2020년)
  - 1세부 : 도심지 지상·하부 구조물 영향 최소화를 위한 IoT 기반 계측 기술 최적화 및 위험도 상태 평가 시뮬레이션 기술개발
  - 2세부 : 도심 지하 교통 인프라 건설 안전 확보 기술 체계 및 활용 기술 개발
  
- 2단계, 기술실용화단계 (2021~2022년)
  - 1세부 : 건설 단계 Big Data 분석 기법 및 도심도 지하 건설 정보 통합 모니터링 시스템 개발
  - 2세부 : 지하 교통 인프라 건설 안전 요소 기술 개발 및 시험 적용을 통한 검증
  
- 3단계, 기술확대단계 (2023년~)
  - 1세부 : 도심도 지하 건설 정보 통합 모니터링 시스템의 적용을 통한 검증 및 실용화 추진을 통한 확대 보급
  - 2세부 : 지하 건설 안전 기술 및 교통 운영 기술의 현장 시범사업 확대 및 개발 성과 실용화

## 2절 기술개발에 따른 미래상


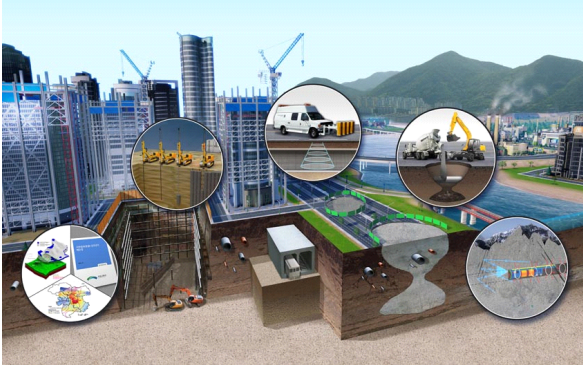
### 1. 현황 및 미래상

- 향후 기술개발에 따라 구현될 본 과제에 따른 미래의 이미지를 기술성능 관점에서 현재(As-Is)와 미래 (To-Be)로 구분하여 제시함

가. 1세부 : 지하 교통 인프라 확충을 위한 안전 감시 시스템 개발

AS-IS	TO-BE
	
<p>건설 단계 계측 및 영향평가 제한적 접근</p>	<p>IoT 기반 계측 및 위험도 평가가 상호연계된 건설 정보 오픈 플랫폼 모듈</p>
<ul style="list-style-type: none"> <li>최저가발주로 인한 저가의 불량한 계측센서 양산 문제, 비전문가에 의한 계측관리와 수동계측 관리로 인한 문제, 계측기 설치방법·위치의 문제 등 왜곡된 건설계측시스템을 극복하고 계측 결과의 신뢰성을 확보할 수 있는 선진기법의 계측기술이 요구</li> <li>도시지역 지상공간 여건을 고려할 때, 지하 대심도 개발사업은 지속적으로 증가 예상, 연계 지하 및 지상인프라 안전성에 대하여 국민의 불안감 증폭</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li><b>[조사·계측 고도화]</b> IoT 기술을 활용한 계측 자동화 시스템으로 사고 징후를 포착하여 사고를 미연에 방지하고, 플랫폼을 통해 계측자료를 공개하기 위한 표준화방안을 마련하여 계측결과의 신뢰성 확보</li> <li><b>[상태·위험도 평가]</b> 위험도 평가 및 시뮬레이션 기술 개발을 통해 굴착 시 도심 지상·하부 안전성 예측 및 구조적 영향 최소화</li> <li><b>[Big Data 처리·분석]</b> IoT 및 클라우드 기반의 조사 및 시공 중 계측 자료 전송·저장을 통해 데이터 취득 및 분석을 통한 통합 안전 관리</li> <li><b>[건설 정보 통합 모니터링]</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>건설 단계 정보 통합 모니터링 시스템 개발을 통해 도심 지하 교통 인프라에 대한 국민 불안감 해소</li> </ul> </li> </ul>

나. 2세부 : 지하 교통 인프라 설계·시공 및 운영 고도화 핵심 기술 개발

AS-IS	TO-BE
	
<p>굴착 및 발파진동으로 인한 구조물 안전성 확보 미흡</p>	<p>도심지 지하 대심도 도로 인프라 구축에 대한 국민의 불안감 해소가 가능한 시공 안정성 확보</p>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• 도심 지하 교통 인프라 건설의 필요성, 사업 추진 현황 등을 고려할 때 설계 및 시공 안정성 확보를 위한 기술 개발 시급</li> <li>• 도심지 지하구조물 건설에 따른 지하수위 강하로 인한 지반침하 및 주변 시설물의 부등침하</li> <li>• 지하 교통인프라의 연결부 설계 기술 및 정체 해소를 위한 교통 운영 기술 부재</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>[굴착 및 보강 기술]</b> 굴착 및 보강기술 고도화에 따른 지하굴착안전관리체계를 구축, 지하굴착 관련 안전사고 30% 저감 및 시공 중 안전성 확보</li> <li>• <b>[지하수]</b> 도심지 지하 교통 인프라 구축 시 지하수 유출 방지 및 복원기술 개발</li> <li>• <b>[교통]</b> 지하 교통 인프라의 지상·지하 연계를 위한 연결부 설계 및 유출부 등 교통정체 해소를 위한 교통 운영 기술 개발</li> </ul>

## 2. 중점 추진분야

### 가. 중점추진분야 내용

(1) 중점추진분야 (1세부) : 지하 교통 인프라 확충을 위한 안전 감시 시스템 개발

<p>개요</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 도심 지하공간 건설 관련 현장조사, 계측 센서, 장비 및 시스템, 계측표준화 등 조사 및 계측 관련 기술과 시스템의 최적화 및 고도화</li> <li>• 도심 지하공간 지상·하부 구조물과 지반의 위험성 예측, 상태 평가, 시뮬레이션 기술 개발</li> <li>• 도심 지하공간 건설 계측 및 평가 정보를 바탕으로 Big Data 분석 기법을 활용하여 건설 단계 안전 모니터링 시스템 개발</li> </ul>
<p>배경</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 계측기와 설치 상의 문제점으로 과거 약 20년전 수동 센서보다 저급한 방식의 센서들이 최저가발주 건설시장의 논리에 맞게 변질되어 토착화되어 있으며 계측결과에 대한 불신 팽배</li> <li>• 도심 지하공간에 대한 위험성 예측 및 상태 분석, 특수 조건 하에서의 지하 구조물 설계·시공 기술 개발을 통해 도심 시공의 불확실성 해소 및 국민들이 살고 있는 지역(아파트, 학교 등, 주거시설 포함)안전성 확보 필요</li> <li>• 도시지역 지상공간 여건을 고려할 때, 지하 대심도 개발사업은 지속적으로 증가 예상, 연계 지하 및 지상인프라 안전성에 대하여 국민의 불안감 증폭</li> </ul>
<p>목표</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• IoT 기반 계측 최적화 및 고도화</li> <li>• 위험도 및 상태 평가</li> <li>• Big Data 분석 및 안전 모니터링 시스템 개발</li> </ul>
<p>주요내용</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 입체화된 지하 인프라 조건을 고려한 시공 전 최적 지반조사 기술</li> <li>• 지하-지상, 지하-지하 구조물 상호 연계 모니터링 기법</li> <li>• 도심 지하 조건을 고려한 모니터링 센서 검증 표준화</li> <li>• 지하 인프라의 입체화된 조건을 고려한 자동화 모니터링 기술 고도화 및 계측 설계 기준(안)</li> <li>• AI를 활용한 침하 및 구조물 상호 영향 예측 분석 기술</li> <li>• 지하 교통 인프라 위험도 기준 연구</li> <li>• 노선, 공법, 지질 등 조건에 따른 영향도 예측 및 위험도 영향 평가(Risk Rating)를 통한 지반 Risk Index</li> <li>• 가상현실, BIM 등을 활용한 지하 인프라 전체의 상호 영향 연계 모니터링 가시화 시뮬레이션 기술</li> <li>• 입체화 된 지하 교통 인프라 전주기 데이터 분석·예측·경보 통합 관리 시스템</li> <li>• 지하 교통 인프라 안전 확보를 위한 R&amp;D 전략수립 및 법·제도·매뉴얼</li> </ul>

## (2) 중점추진분야 (2세부) : 지하 교통 인프라 설계·시공 및 운영 고도화 핵심기술개발

개요	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 도심주변 영향 최소화 발파 및 굴착 기술 개발</li> <li>• 대심도 지하구조물 시공 시 지하수위 관리 기술 개발</li> <li>• 지하 인프라 연결부 설계 및 교통운영 기술 개발</li> </ul>
배경	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 도시지역은 지속적인 인구<sup>1)</sup> 및 교통량 증가로 인하여 심각한 교통 혼잡문제<sup>2)</sup>에 직면해 있으며 이에 대한 해결방안으로 대심도 지하도로 사업 추진 활발       <ul style="list-style-type: none"> <li><sup>1)</sup> 수도권 인구는 2021년에는 전체 인구의 50% 초과, 2029년 50.2%로 정점을 찍을 것으로 예측 (통계청, 2014)</li> <li><sup>2)</sup> 2015년 서울 및 6대 광역시의 교통혼잡비용은 약 21.3조원에 이르는 것으로 보고 (한국교통연구원, 2017)</li> </ul> </li> <li>• 도시지역 지상공간 여건을 고려할 때, 지하 대심도 개발사업은 지속적으로 증가 예상, 연계 지하 및 지상인프라 안전성에 대한 국민적 관심 및 우려 증가       <ul style="list-style-type: none"> <li>- 지하 인프라 건설이 지상에 미치는 영향을 지하 심도, 지반 조건, 시공 방법 및 공사 기간 종과 운영 중 조건에 따라 분석하여 국민의 불안감 해소 필요</li> <li>- 도시 지역의 대심도 지하공간 개발을 위한 대심도 지반조사 기술이 미비하며, 접근의 제한성과 특수한 환경을 고려한 기술 개발 필요</li> </ul> </li> </ul>
목표	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 대심도 건설 안전 기술 확보를 위한 굴착 및 보강 기술 고도화, 지하수위 안전관리 기술 개발 적용으로 대규모 지하굴착 안전사고 30% 저감 및 시공 중 안전성 확보</li> <li>• 향후 지하 교통 인프라의 지속적 건설로 인한 지상-지하, 지하-지하 연결부의 설계 기술 및 유출입부 교통 정체 해소를 위한 교통운영 기술 확보</li> </ul>
주요내용	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 입체화 된 지하 교통 인프라 조건을 고려한 지하수 보존 및 관리기술</li> <li>• 지하교통 인프라 지하수 유입 제어 및 지하수위 보존형 배수공법</li> <li>• 발파진동 크기별 건축물 및 인체영향 (피해)평가 기술</li> <li>• 지반조건, 지하 시설물 굴착크기 및 진동크기별 제어발파(진동저감공법) 최적화 기술</li> <li>• 지하 교통 인프라 건설을 위한 고성능 무진동 암반굴착 시공기술</li> <li>• 발파진동·소음 3D 모니터링 및 시뮬레이션 기술</li> <li>• 지하 교통 인프라-지상부 유·출입부 설계 및 교통 운영 기술</li> <li>• 지하 교통 인프라간 연계를 위한 설계 기술 (연결로, 최적이격거리 등)</li> </ul>

### 3절 연구개발과제 구성

#### 1. 후보 기술아이템 선정

- 연구의 비전 및 목표를 달성하기 위한 중점추진분야를 선정하였으며, 선정된 중점추진분야를 실현하기 위한 구체적인 연구개발 기술이 도출되어야 함
- 국내·외 환경분석 및 동향조사결과, 기술수요조사 및 예측조사, 기획연구진 및 자문회의를 거쳐 도출된 후보기술 아이টে에 대해 중점추진 분야를 중심으로 1차 상관관계 매핑(mapping)을 실시함
- 1차 매핑결과를 바탕으로 후보 기술아이템의 수준 및 위계를 재조정하고 목표달성을 위한 28개 후보 기술 아이টে을 선정하였음
- 선정된 후보 기술아이টে에 대해 연구의 성격이 유사하거나 목표 달성을 위한 상관관계가 높은 과제를 중규모 과제로 재분류하였으며, 이를 다시 중점추진분야/세부 추진분야/후보기술 아이টে으로 분류함

#### 〈기술개발 세부내용 후보군〉

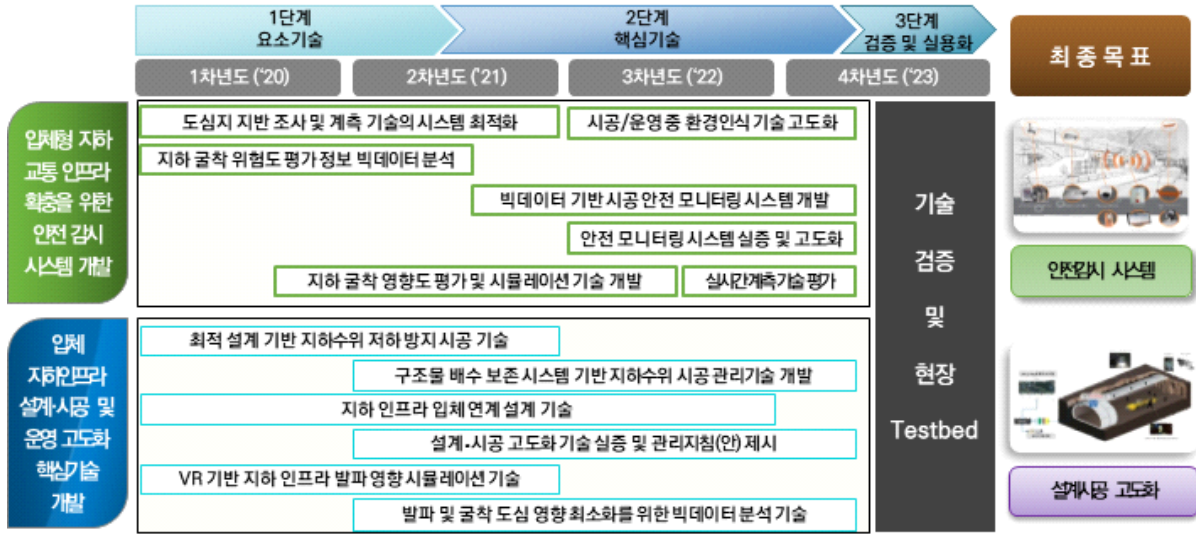
구분	과제명
중점추진분야 1	지하 교통 인프라 확충을 위한 안전 감시 시스템 개발
1-1 세부과제	지하 교통 인프라 건설을 위한 조사 및 모니터링 기술 고도화
1구성기술	[조사 및 계측 최적화] - 입체화된 지하 인프라 조건을 고려한 시공 전 최적 지반조사 기술
2구성기술	[계측 시스템 고도화] - 지하-지상, 지하-지하 구조물 상호 연계 모니터링 기법 - 도심 지하 조건을 고려한 모니터링 센서 검증 표준화 - 지하 인프라의 입체화된 조건을 고려한 자동화 모니터링 기술 고도화 및 계측 설계 기준(안)
1-2 세부과제	지하 교통 인프라로 인한 안전 영향 평가 및 분석 기술
1구성기술	[위험도 및 상태 평가] - AI를 활용한 침하 및 구조물 상호 영향 예측 분석 기술 - 지하 교통 인프라 위험도 기준 연구 - 노선, 공법, 지질 등 조건에 따른 영향도 예측 및 위험도 영향 평가(Risk Rating)를 통한 지반 Risk Index

구분		과제명
1-3 세부과제		지하 교통 인프라 통합 안전 모니터링 플랫폼 개발
	1구성기술	[Big Data 분석 기법] - 가상현실, BIM 등을 활용한 지하 인프라 전체의 상호 영향 연계 모니터링 가시화 시뮬레이션 기술
	2구성기술	[건설 단계 안전 모니터링 시스템 개발] - 입체화 된 지하 교통 인프라 전주기 데이터 분석·예측·경보 통합 관리 시스템
1-4 세부과제		지하 교통 인프라 구축 안전기반 수립 및 제도 연구
	1구성기술	[제도 연구] - 지하 교통 인프라 안전 확보를 위한 R&D 전략수립 및 법·제도·매뉴얼
중점추진분야 2		지하 교통 인프라 설계·시공 및 운영 고도화 핵심기술 개발
2-1 세부과제		지하 교통 인프라 시공 및 운영 중 지하수 환경·안전 관리 기술
	1구성기술	[지하수위 복원 기술] - 입체화 된 지하 교통 인프라 조건을 고려한 지하수 보존 및 관리기술
	2구성기술	[차수 보강 기술] - 지하교통 인프라 지하수 유입 제어 및 지하수위 보존형 배수공법
2-2 세부과제		도심지 기존 시설물 진동 영향 최소화 굴착 기술
	1구성기술	[굴착 기술 고도화] - 발파진동 크기별 건축물 및 인체영향 (피해)평가 기술 - 지반조건, 지하 시설물 굴착크기 및 진동크기별 제어발파(진동저감공법) 최적화 기술 - 지하 교통 인프라 건설을 위한 고성능 무진동 암반굴착 시공기술
	2구성기술	[굴착 시뮬레이션] 발파진동·소음 3D 모니터링 및 시뮬레이션 기술
2-3 세부과제		안전한 지하 인프라 연결부 설계 및 교통운영 기술
	1구성기술	[지하공간 도로설계] - 지하도로 교통수요 예측 및 도로용량 산정 기술 - 지하도로 접속부 처리 기술 개발 (접속부 유형정의, 처리방안)
	2구성기술	[지하공간 도로 위험도 평가] - 교통 시뮬레이션 기반 교통류 안전성 평가 기술

## 4절 기술로드맵 및 성과활용 방안


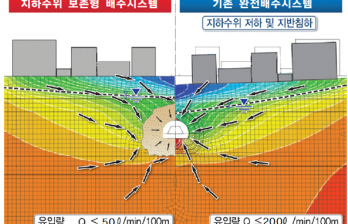
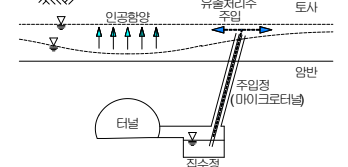
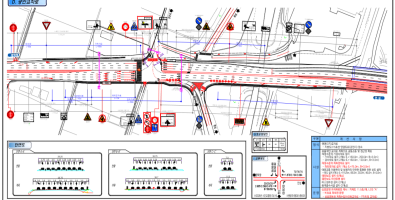
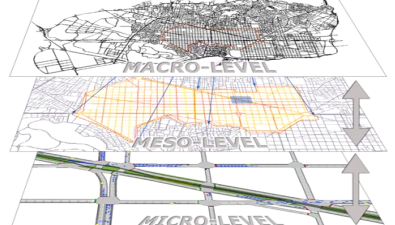
### 1. 기술로드맵

#### 가. 총괄 기술 로드맵(작성중)



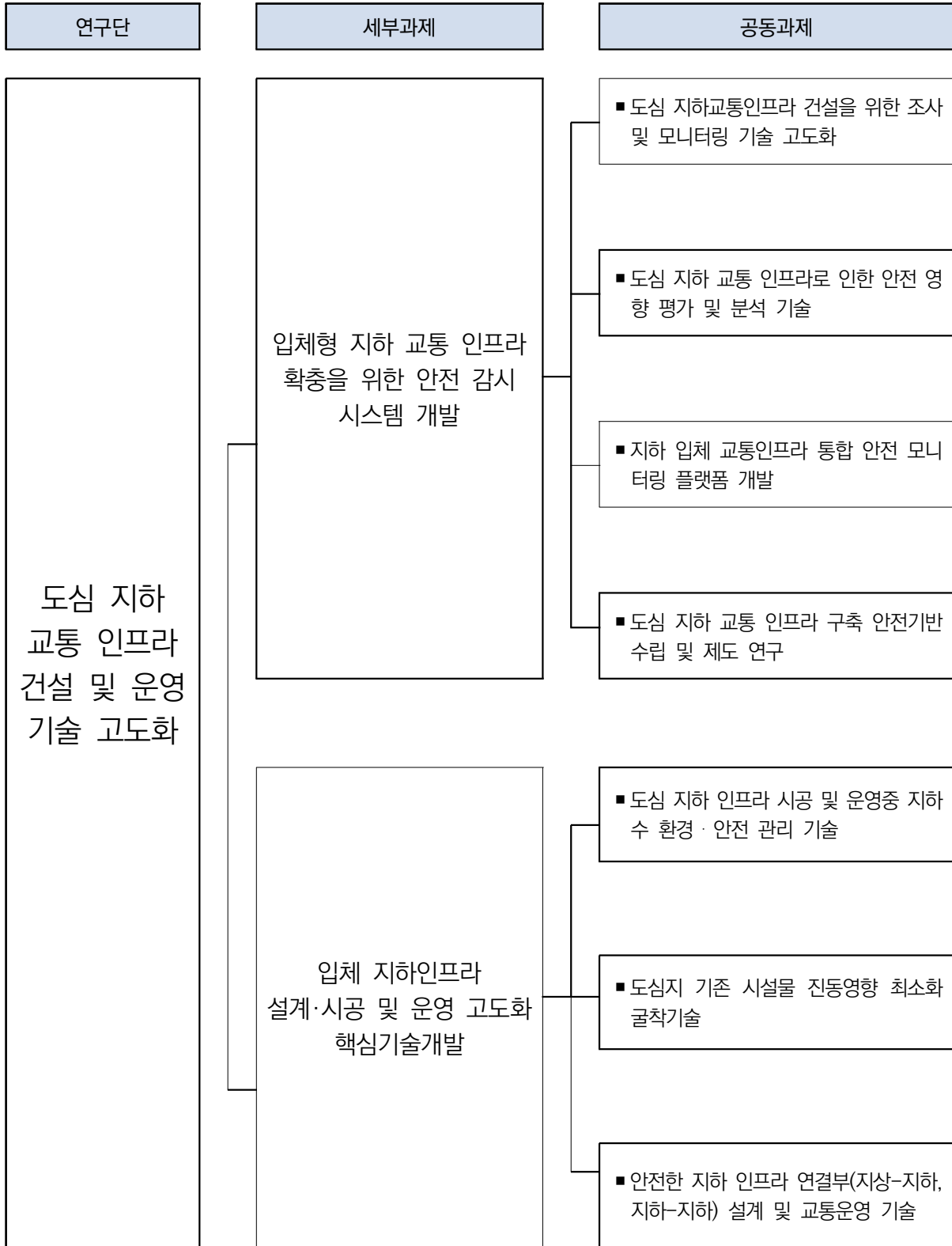
### 2. 성과 및 활용방안

핵심성과명	성과 활용 방안	성과품 예시																																																											
(1-1-1) • 입체 지하인프라 고려 최적 지반조사 기술	<ul style="list-style-type: none"> <li>지상부 및 지하 개발공간의 지반 위험성 예측 분석을 위한 Index 제공</li> <li>상세설계 및 정밀 지반조사를 위한 최적 조사위치 선정에 활용</li> <li>시공후 유지관리를 위한 DB 제공</li> <li>수요처 : 지자체 및 시공사</li> </ul>	<table border="1"> <thead> <tr> <th rowspan="2">항 목</th> <th colspan="5">등급</th> </tr> <tr> <th>1</th> <th>2</th> <th>3</th> <th>4</th> <th>5</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>출력도 종류</td> <td>지역연속면 (Sheet File)</td> <td>평면서면</td> <td>복합공명</td> <td>GIP · SCW</td> <td>H-File+ 토출판</td> </tr> <tr> <td>지반분류</td> <td>불균등조립</td> <td>균등조립</td> <td>세립질모래</td> <td>연약예립</td> <td>유기질토</td> </tr> <tr> <td>상대밀도 (안정도)</td> <td>매우조밀 (매우견고)</td> <td>조밀 (견고)</td> <td>보통조밀 (보통견고)</td> <td>느슨 (연약)</td> <td>매우느슨 (매우연약)</td> </tr> <tr> <td>지하수 유출</td> <td>건조</td> <td>습윤</td> <td>젖음</td> <td>소량유출</td> <td>심량유출</td> </tr> <tr> <td>백제면위</td> <td>안정(H/500)</td> <td>수렴</td> <td>초과수렴</td> <td>주위(H/300)</td> <td>위험(H/200)</td> </tr> <tr> <td>백제면위</td> <td>안정(H/500)</td> <td>수렴</td> <td>초과수렴</td> <td>주위(H/300)</td> <td>위험(H/200)</td> </tr> <tr> <td>지하수 변동</td> <td>심도안정</td> <td>H&lt;0.2(m/day)</td> <td>H&lt;0.5(m/day)</td> <td>0.5&lt;H&lt;1(m/day)</td> <td>1(m/day)&gt;H</td> </tr> <tr> <td>위험도 평가 (평균)</td> <td>매우양호</td> <td>양호</td> <td>보통</td> <td>나쁨</td> <td>매우나쁨</td> </tr> </tbody> </table>	항 목	등급					1	2	3	4	5	출력도 종류	지역연속면 (Sheet File)	평면서면	복합공명	GIP · SCW	H-File+ 토출판	지반분류	불균등조립	균등조립	세립질모래	연약예립	유기질토	상대밀도 (안정도)	매우조밀 (매우견고)	조밀 (견고)	보통조밀 (보통견고)	느슨 (연약)	매우느슨 (매우연약)	지하수 유출	건조	습윤	젖음	소량유출	심량유출	백제면위	안정(H/500)	수렴	초과수렴	주위(H/300)	위험(H/200)	백제면위	안정(H/500)	수렴	초과수렴	주위(H/300)	위험(H/200)	지하수 변동	심도안정	H<0.2(m/day)	H<0.5(m/day)	0.5<H<1(m/day)	1(m/day)>H	위험도 평가 (평균)	매우양호	양호	보통	나쁨	매우나쁨
항 목	등급																																																												
	1	2	3	4	5																																																								
출력도 종류	지역연속면 (Sheet File)	평면서면	복합공명	GIP · SCW	H-File+ 토출판																																																								
지반분류	불균등조립	균등조립	세립질모래	연약예립	유기질토																																																								
상대밀도 (안정도)	매우조밀 (매우견고)	조밀 (견고)	보통조밀 (보통견고)	느슨 (연약)	매우느슨 (매우연약)																																																								
지하수 유출	건조	습윤	젖음	소량유출	심량유출																																																								
백제면위	안정(H/500)	수렴	초과수렴	주위(H/300)	위험(H/200)																																																								
백제면위	안정(H/500)	수렴	초과수렴	주위(H/300)	위험(H/200)																																																								
지하수 변동	심도안정	H<0.2(m/day)	H<0.5(m/day)	0.5<H<1(m/day)	1(m/day)>H																																																								
위험도 평가 (평균)	매우양호	양호	보통	나쁨	매우나쁨																																																								
(1-1-2) • 지하 인프라의 입체화된 조건을 고려한 자동화 모니터링 기술	<ul style="list-style-type: none"> <li>도심 지하구조물 건설공사 전반</li> <li>수요처 : 지자체</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>5G시스템을 이용한 실시간 스마트 계측 장치</li> <li>IoT기반 지반구조물 계측 자동 운영 플랫폼</li> </ul>																																																											
(1-3-1) • 빅데이터 기반 안전 모니터링 기술	<ul style="list-style-type: none"> <li>테스트베드를 선정하고 계측센서를 설치한 후 취득된 빅데이터를 기반으로 시설물 통합 안전 모니터링에 활용</li> <li>계측된 정보와 3D 모델 데이터의 연동을 통해 디지털 트윈 핵심 기술로 활용</li> </ul>																																																												

핵심성과명	성과 활용 방안	성과품 예시
(1-3-2) • 지하교통 인프라 안전 모니터링 시스템	• 지하대심도 발파진동, 소음 등 다양한 시뮬레이션을 통한 민원 대응 기술로 활용 • 지하 교통 인프라 구축 및 운영에 따른 시설 통합 모니터링 기술로 활용	
(2-1-1) • 지하수위 보존형 터널 배수시스템	• 지역별 도심현황을 고려한 지하수위 및 지하구조물 내 유입량 관리기준 제공 • 지하수위 보존형 터널배수시스템 적용을 통해 지하수 변동에 의해 유발되는 지반침하를 방지하고 도심 주민 안전 확보	
(2-1-2) • 지하 교통인프라 유입 지하수의 지반 재주입 공법 및 지하수위 관리 기술	• 지하 교통인프라에 유입되는 지하수의 지반내 재주입을 통한 지하수위 복원 및 Big Data를 활용한 지하수위 관리시스템 구축	
(2-2-1) • 발파진동 크기별 건축물 및 인체 영향 지표(진동 속도-진동레벨-영향/피해정도)	• 건축물/인체에 미치는 영향을 발파진동 크기에 따라 직관적으로 확인 가능하므로 도시지역 지하 인프라 설계 및 시공을 위한 기준 수립에 활용	
(2-2-2) • 발파진동크기별 제어 발파공법 및 무진동 굴착공법 최적화 매뉴얼	• 진동 크기별 제어발파공법 매뉴얼을 통하여 민원 발생 사전예방 및 현장여건에 적합한 경제적인 진동제어굴착(발파)공법 적용 • 친환경 고효율 무진동 굴착공법개발을 통하여 다양한 단면형상, 크기, 지반조건 변화가 많은 지하 입체 구조물 터널 굴착에 활용	
(2-3-1) • 지하도로를 위한 최적 설계 가이드라인	• 수요처 : 중앙정부, 지자체, 민간설계업체, 학교 • 국가지침에 반영	
(2-3-2) • 지하도로를 안전성 평가 방법론 정립	• 수요처 : 중앙정부, 지자체, 민간건설업체, 학교 • 표준 평가 절차 배포	

## 5절 연구수행체계 제안

- 연구추진체계는 1개의 연구단, 2개의 세부과제, 7개의 세세부과제로 구성하였음



- 테스트베드 종합 운영 계획

- 연구단 운영을 효율적으로 수행하고, 개발기술의 실용화를 적극추진하며, 연구성과의 유기적인 상관관계를 명확하게 하기 위해 테스트베드 종합 운영계획을 수립
- 각 세부에서 개발된 기술은 3세부의 통합플랫폼으로 구축되어 유기적으로 서로 연계되어 동시에 적용될 수 있는 것으로, 연구성과의 검증을 위한 현장 적용이 상당히 중요할 것으로 판단됨

- 국제공동연구 방안

- 개발예정기술의 완성도를 높이고, 세계 최선도 기술에 대해 국내 자체 연구개발에 따른 연구개발 리스크를 줄이고, 개발 기술의 해외 진출방안을 확보하기 위해 세세부 주제에 따라 필요 시 국제 공동연구 추진 방안 제시
- 1-2 세세부 개발 기술 중 중력탐사 기법을 활용한 다공성 지반의 위험성을 분석하는 기술의 경우 해외에서 많이 진행되고 있는 기술로 국제 연구를 통한 기술력 확보가 필요할 것으로 판단됨

## 6절 기대효과

- 도심지하 계측설계 및 시공 발주체계 개선, 계측신뢰도 향상을 위한 설계표준화 및 계측기 검교정 인증제도 수립과 발파진동 허용기준에 대한 합리적인 개선 연구 등 지하공간 건설 및 활용관련 제도 개선을 통한 안전사고 최소화 및 민원최소화 기대
- 지하 교통 인프라 구성시 4차 산업혁명 핵심 기술 적용을 통한 교통 인프라 전주기 데이터 분석이 가능하여 지하 인프라 전체의 상호 영향 시뮬레이션을 통한 최적의 의사결정 지원 가능
- 지하 교통 인프라 건설시 발파진동, 소음 등을 사전에 가상현실 환경 내에서 시뮬레이션하여 민원을 최소화하고 시공시 실시간 모니터링을 통한 안정성 및 신뢰성 확보 가능
- 지하 교통 인프라 전주기 통합 안전관리 플랫폼 구축을 통한 전주기 데이터 통합관리 체계 확보 및 핵심기술 민간기업 기술 이전 가능
- 스마트 계측 장비를 활용해 취득된 빅데이터를 기반으로 지하 교통 인프라 구축을 위해 필요한 다양한 의사결정 지원 기능 개발 가능
- 비배수형 지하 교통 인프라 구축을 위한 대단면 TBM 공법의 적용이 국내에서 단기간에 정착되기 어려운 점을 고려할 때 지하수위 보존형 배수시스템을 활용하여 도심도 지하공간 복합 인프라 건설에 대한 안정성 확보 및 사업 추진 신뢰성 증대에 기여
- 도심도 지하공간 건설 조건을 고려한 분석적 터널공법을 개발하여 적용함으로써, 기존의 경험적 터널공법을 적용하는 경우 발생가능한 지반침하 안정성에 대한 신뢰도 저하 문제를 해결하고, 향후, 성능평가 기반 노후인프라 관리에 필요한 지하구조물 성능목표 제공 가능
- 지하교통인프라 내부 유입수 처리 비용 및 수질관리기준 충족을 위한 별도의 처리시설 유지비용 등 최소화를 통해 인프라 유지관리비용 절감
- 진동크기별 건축물/인체 영향 분석과 진동크기별 진동저감공법 최적화를 통하여 실용성이 내포된 정량적이며 일관된 굴착 설계 및 시공이 가능
- 친환경 고효율 무진동 굴착기술 개발로 국내 및 해외 도심지 터널건설현장(정거장 구간, NATM 구간, TBM 구간내 단면변화구간이나 횡행시공구간 등) 시장 확보 가능
- 지하도로건설을 통해 전체 도로망에 미치는 지·정체 영향을 감소시켜 국민의 이동성을 획기적으로 향상할 수 있을 것으로 기대됨
- 도로용량(또는 교통처리량)을 증대하여, 매년 증가하는 도시부 지역의 교통혼잡비용을 낮추어 결과적으로는 국가의 사회비용이 감소할 것임

## 4장

## 사전 타당성 검토

## 1절 기술적 타당성

## 1. 기술개발 계획의 적절성

## 가. 사업목표와 내용의 구체성

- “도심 지하 교통 인프라 건설 및 운영 기술 고도화 연구단”의 총괄목표를 정량적이며 구체적으로 제시함

## (1) 연구비전 설정의 구체성

- 본 연구의 비전은 “국민이 안심하고 편리하게 활용할 수 있는 도심 대심도 교통인프라 구축 및 쾌적한 지상 생활환경 조성”으로, 제 6차 건설기술진흥기본계획 (국토교통부, 2018)의 핵심방향인 ‘Smart Construction 2025’에서 2025년까지 BIM, AI 등을 적용한 건설자동화 기술 개발과 부합하며, 현 문재인 정부에서 신설된 대통령 직속 4차산업혁명위원회의 정책목표와도 부합됨. 또한, 국내 건설산업이 해외진출할 때 경쟁력 향상에 도움이 될수 있도록 미래형 교통인프라 건설을 위해 제시

## (2) 연구목표 설정의 구체성

- 본 연구의 목표는 “입체형 도심 지하 교통 인프라 건설 및 운영기술 고도화”으로 대심도에 건설되는 교통인프라의 설계, 시공, 운영의 전주기에 걸친 상태를 공개하여 안전성을 확인할 수 있다는 점에서 적절하게 제시됨

## (3) 연구내용 설정의 구체성

- 2개의 세부과제의 연구내용은 동 연구단의 총괄목표 달성을 위해 적절하게 구성되었음
  - 1세부는 입체형 지하 교통 인프라 확충을 위한 안전 감시 시스템 개발을 위해 4개의 세세부과제를 구성함
  - 2세부는 입체 지하인프라 설계·시공 및 운영 고도화 핵심기술개발을 위한 기술 고도화를 위해

3개의 세세부과제를 구성함

- 각 세부과제는 세부과제를 구성하는 기술을 명확히 제시하고 각 구성기술별 내용을 구체적으로 기술함

## 나. 사업추진 전략의 적절성

### (1) 사업추진전략의 구체성 및 도출근거

- 동 연구단은 정책, 시장, 기술동향 조사, 논문/특허분석, 기술수요조사를 통하여 주요 이슈와 이를 해결하기 위한 주요 기술아이템을 도출함
- 또한 연구개발과제의 추진방향 정립을 위해 SWOT분석과 중점분야 분석을 실시하고 다음과 같은 연구개발 추진 전략을 수립함

#### ① 입체형 지하 교통 인프라 확충을 위한 안전 감시 시스템 개발

- 도심 지하교통인프라 건설을 위한 조사 및 모니터링 기술 고도화
- 도심 지하 교통 인프라로 인한 안전 영향 평가 및 분석 기술
- 지하 입체 교통인프라 통합 안전 모니터링 시스템 개발
- 도심 지하 교통 인프라 구축 안전기반 수립 및 제도 연구

#### ② 입체 지하인프라 설계·시공 및 운영 고도화 핵심기술개발을 위한 기술 고도화

- 도심 지하 인프라 시공 및 운영중 지하수 환경·안전 관리 기술
- 도심지 기존 시설물 진동영향 최소화 굴착기술
- 안전한 지하 인프라 연결부(지상-지하, 지하-지하) 설계 및 교통운영 기술

- 국내 대심도 교통인프라의 안전성 확보를 위해 정기적인 자문회의를 통한 현안 문제의 도출 및 이의 해결방안에 대해 중점적으로 기획을 추진함

### (2) 사업추진체계의 적절성

- 동 연구단은 산학연 전문가로 구성된 기획위원회를 통하여 총괄목표 및 세부목표를 수립하고 이를 달성하기 위한 2개의 세부과제와 7개의 세세부과제로 구성된 140억 원 규모의 사업 특성을 고려하여 연구단 형태로 추진하는 것이 타당하다고 판단됨
- 본 사업의 연구비는 약 133억 원으로 국토교통과학기술진흥원의 연구수행 형태 구분 중

정부출연금 기준의 연구단<sup>3)</sup> 연구수행 형태구분에 만족함

- 연구단 추진조직의 구성에 대해 상세하게 기술함
  - 동 연구단은 실용화 기술, 제도 개선 등 다양한 성격의 연구를 총괄해야 하므로 산·학·연·관간의 유연한 조직체계 및 객관적 관리가 가능한 연구기관 및 총괄 책임자가 필요함
  - 개발 기술의 최종 보유주체가 세부과제 기술의 최종 보유 주체가 되도록 연구기관을 구성하고 핵심기술 개발단계부터 적극 참여하도록 유도
  - 연구추진 시 주관, 협동, 위탁기관 및 참여기업은 실용적인 성과물을 개발하고 이를 현장에서 활용할 수 있도록 연구추진체계를 구성해야 함
  - 연구진들의 풍부한 연구경험과 역량을 극대화 할 수 있도록 출연(연), 대학, 관련 민간 기업체를 기술개발주체로 구성하였음
  - 개발 기술은 발주처, 시공사, 감리 등 품질관리 주체의 요구를 동시에 충족시킬 수 있도록 전략적으로 구성
  - 기술경쟁력 분석을 통하여 과제관련 국내외 기술인프라 현황과 관련 연구 개발과제 수행현황을 조사할 계획
  - 과제와 관련하여 역량을 보유한 기관과의 협력 및 차별화 방안을 모색
  - 연구단 차원에서의 국내 학회 및 자문그룹과의 협력체계를 제안하여 효율적인 연구추진체계를 구축하고 연구단 중심의 기술개발 추진형태를 설정하고자 함
  - 연구계획서 부터 달성이 가능한 성과목표 및 성과지표를 제안·유도하고 연구 진행 중 성과목표의 달성 및 관리방안을 정립하고 주기적인 성과모니터링을 실시하여 단기간 내에 실증적인 연구가 되도록 함
  - 성과물의 실용화를 위해 기술실시 대상 기업을 명확히 결정하고 대상 기술이 실용화가 가능한 수준으로 성과물이 도출되도록 상시 관리체계 수립
  - 본 연구단의 추진체계에 대하여 보다 세부적인 추진계획을 수립하는 것이 필요하며, 향후 본 연구단을 수행하는 총괄 주체가 세부적인 추진체계를 수행할 것으로 기대됨

3) 연구단 규모 : 50억원 이상~300억원 미만

#### 다. 기술개발 로드맵의 우수성

- 구성기술의 연관관계를 도식화하여 표현하여 구체성이 높음
- 기술개발 로드맵은 사업화에 기초한 단계별 목표를 설정하고, 내실 있는 목표 달성을 위해 기술의 개선과 검증이 가능하도록 구성하였음
- 각각 세세부별 기술개발 내용이 유기적으로 결합되어 시너지 효과를 발휘할 수 있도록 구성하였음
- 기술개발 로드맵을 통하여 세세부의 구성기술별 요소기술개발계획을 나타냈으며 요소기술간 선후관계를 명확하게 제시함
- 국내에서 최초로 개발되는 건설 정보 오픈 플랫폼의 성공적인 개발을 위해, 플랫폼 기반 기술-서비스-현장을 연계하는 통합적 관점의 연구 로드맵을 작성함

## 2절 정책적 타당성

### 1. 국가전략적 중요성

- 최근 정부는 대규모 지하개발 사업 추진을 발표하면서, 특히 도심지에서의 철도 및 구 조물 증축을 대량으로 계획함에 따라 지하공간 굴착에 따른 안전 문제의 발생 우려를 감소시키기 위한 지반/지하의 안전 기술의 중요성이 부각되고 있음
- 수도권 전역을 1시간 내에 연결할 수 있는 수도권광역 급행철도 GTX 사업, 서울시의 강변북로 지하화를 통한 도시기반시설 입체화 사업, 2021년까지 완공하는 '영동대로 지하 통합환승시스템 구축 및 지하공간개발 기본구상' 등 대규모 지하공간 개발 계획이 추진중임
- 이에 도심지에서는 구조물의 증개축, 철거, 굴착, 매설, 유지보수 등이 반복적으로 수행되고 있으며, 복잡한 지반지하구조물과 그 주변에서 발생하는 다양한 문제를 해결할 수 있는 기술 개발 요구 가 증대되는 상황임
- 서울을 비롯한 대도시의 인프라시설물은 대부분 1970~80년대에 계획 및 건설되었으므로 최근에는 준공 후 30년 이상 지난 인프라시설물의 노후화가 매우 빠르게 진행되고 있어 지반/지하 인프라의 유지관리에 대한 중요성이 부각되고 있음
- 1970년대에 건설된 시설물의 성능은 현재 시점에서 사용자 눈높이에 크게 미달되고 안전 기준도 준수하지 못하고 있는 경우가 많아 노후 인프라시설물은 사고 발생 개연성이 높고 국민의 안전을 위협하는 상황임
- 국토교통부는 2019년까지 5개 부처, 14개 법령, 4개 시스템으로 분산되어 있는 15종의 지하정보 를 통합하는 지하공간통합지도를 3차원 형태로 제작하고 있으나, 지하공간통합지도를 활용한 지하시설물 유지관리에 대한 준비는 부족한 실정임
- 특히 이상기후, 도시 밀집 및 노후화 등으로 두개 이상의 재난이 복합적으로 발생하는 새로운 형태 의 지반/지하공간 안전관련 복합재난이 발생하기 시작하여 지반/지하 안전 기술도 새로운 유형의 복합재난에 대비하기 위한 기술개발이 필요한 상황임
- 우리나라의 산재사고 사망율은 OECD 가입국 중 최하위 수준으로, 이중 국내 건설산업 산재사고 사망률도 타 산업 분야에 비해 매우 높은 수준이며, 이중 지반/지하 붕괴와 관련있는 사고는 전체 건설현장의 약 30%에 해당함
- 한국의 산재사고 사망률(십만인률)370은 7.3으로 OECD 29개국의 평균인 2.6보다 약 2.8배 높음
- 고용노동부 통계에 따르면 '14년 건설안전 산재사고 사망률(만인률)371은 전체 산업대비 1.4배 수준이며 전체 산업 사망자의 약 26.3%를 차지함

- 2001~2015년 건설안전정보시스템(372)에 집계된 사고 사례 중 지반/지하 붕괴와 직접적 연관이 있는 사고사례는 전체 건설현장 사고의 약 30% 해당함

## 2. 상위 계획과의 부합성

- 문재인 정부에서는 대한민국 경제의 미래 먹거리를 위해 대통령 직속기관으로 『4차산업혁신 위원회』를 신설하여 각 분과별로 업무를 추진하고 있음. 이와 관련하여 2018정부 업무 보고 중에는 『4차산업혁명과 혁신 성장』이라는 주제를 선정하였음. 보고 내용 중 국토교통부에서는 새로운 성장동력을 만들어가기 위해 건설자동화 기술 개발의 착수 등을 비롯한 ICBMS(IoT, Cloud, BigData, Mobile, Security)를 활용한 기술 개발을 계획하고 있음
- 2016년 1월 7일 제정된 ‘지하안전관리에 관한 특별법’을 근거로 하며, 동 법률에서는 국토교통부로 지하안전에 관한 연구개발 사업을 하도록 명시하고 있음
- 지하를 안전하게 개발하고 이용하기 위한 안전관리체계를 확립함으로써 지반침하로 인한 위해 방지 및 공공 안전 확보를 위해 ‘지하안전관리에 관한 특별법’이 제정됨 2016년 9월 8일 「지하안전관리에 관한 특별법 시행령」 제정(안) 입법예고를 통해 「지하안전관리에 관한 특별법」에 위임된 사항과 그 시행에 관한 사항을 제시하고 있음 동 특별법에서는 지하안전관리 기본계획의 수립, 지하개발의 안전관리, 지하안전영향평가, 지하시설물 및 주변지반의 안전관리, 지하공단통합지도의 제작 등에 대해 규정하고 있음
- 특히 동 특별법의 2장 지하안전관리 기본계획 수립 제13조에서는 지하안전에 관한 기술 및 기준에 관한 연구개발사업에 대해 규정하고 있음
- 해당 부분에는 ‘국토교통부장관이 대통령령으로 정하는 기관 또는 단체와 협약을 체결하여 지하 안전에 관한 기술 및 기준에 관한 연구 및 개발사업’을 포함하고 있어 정부차원에서 “지반/지하안전관리”와 관련한 체계적인 연구사업 지원이 필요함

제2장 지하안전관리 기본계획 수립 등

제13조(지하안전에 관한 기술 및 기준에 관한 연구개발사업)

제1항 국토교통부장관은 대통령령으로 정하는 기관 또는 단체와 협약을 체결하여 **지하안전에 관한 기술 및 기준에 관한 연구개발사업**을 할 수 있다.

제2항 제1항에 따른 연구개발사업에 필요한 경비는 정부 또는 정부 외의 자의 출연금이나 그 밖의 기업 기술개발비로 충당한다.

제3항 제1항에 따른 협약의 체결방법과 제2항에 따른 출연금 등의 지급 사용 및 관리에 필요한 사항은 대통령령으로 정한다.

- 따라서 우리나라 실정에 적합한 지반/지하안전 확보를 위해서는 관련 법 강화와 더불어 관련 기술 개발을 위한 체계적인 연구사업 로드맵 구축을 통해 “지반/지하 안전기술”과 관련한 “지반굴착”, “지하구조물”, “지하시설물”, “지하수 및 지표수” 등의 지반/지하구조물 안전에

관한 기획, 설계, 시 공, 유지관리, 법제 등을 위한 장기연구 사업 프로그램 제시가 필요함

- 이와 같은 정부정책, 법안마련 그리고 장기연구사업 제시의 필요성 등과 연계하여 국토교통부에서는 제6차 건설기술진흥 기본계획('18~'22)을 수립하여 공포하였고 이 기본계획에 따르면, BIM·인공지능 등을 활용하여 건설자동화 기술 개발을 2025년까지 수행하는 등 4차 산업 혁명에 대응하는 스마트 건설기술 개발을 발표하였음
- 본 연구의 건설단계에서의 모니터링 기술 고도화를 통해 통합관제 플랫폼 모듈을 개발하는 것으로 향후 스마트 건설기술 개발사업에서 완성될 통합 플랫폼의 일부로 활용이 될 수 있음
- 2020년 1월 1일부터 시행하는 「지속가능한 기반시설 관리 기본법(2018.12.31.)」에서는 기반시설의 체계적인 유지관리와 성능개선을 통하여 국민이 보다 안전하고 편리하게 기반시설을 활용할 수 있도록 함을 목적으로 하고 있음.
- 본 연구는 대심도 지하인프라 교통 기반시설의 효율적인 유지관리를 위해 조사·설계·시공에서부터 각종 정보를 수집 및 분석하여 운용 및 유지관리에 활용하고자 하는 차원에서 정책방향과 일치하고 있음

### 3. 사업추진의지와 관련 기관 협조체계

- 최근 서울 동작구 상도동 유치원 붕괴사고('18.9), 가산동 오피스텔 신축공사장 지반붕괴 균열도심지 굴착공사 붕괴사고 등 도심지 굴착공사 중 사고가 빈번한 가운데 정부·지자체에서는 대책마련을 위해 노력하고 있음
- 국토교통부에서는 굴착공사 안전확보를 위해 「건설현장 굴착공사 안전대책(2018.10.18.)」을 발표하고 과학기술정보통신부 등 정부부처와 모든 관련 기관에 알리고 조치·이행중에 있음
- 본 연구는 대심도 지하공간 시공중 계측고도화, 정보공유·공개 플랫폼 개발, 건설시 지하수변화에 따른 주변환경영향 최소화 등을 목적으로 하고 있어 국토교통부에서 굴착공사 안전확보를 위해 「건설현장 굴착공사 안전대책(2018.10.18.)」의 이행방안 중 하나가 될 수 있음.
- 특히 「건설현장 굴착공사 안전대책(2018.10.18.)」에서는 도심지 굴착공사의 계획·허가 단계부터 시공, 사고·대응단계 등 전단계에 충실한 계획수립하고 관리를 강화하는 동시에 관련 제도를 개선할 것을 강조함
- 본 연구사업은 도심지 대심도 지하 건설에 초점이 맞춰져 있으므로 국토교통부를 비롯하여 서울시 등 주요 지자체의 건설사업 전반에 활용이 가능하며, 안전을 적극적으로 도모하여 민원발생을 최소화하는 것이므로 긴밀한 협조체계 유지가 가능할 것으로 판단됨
- 또한 본 연구는 국토교통R&D 예비타당성 조사 사업인 스마트건설, 지하시설물 유지관리, 스마트시티 등의 다수 사업과의 연계가 가능하며, 서울시, 도로공사, 철도시설공단 등의

관리주체와 협조를 통한 시범사업실시, 검증 평가등의 수행을 통해 완성도가 매우 높아질 수 있을 것으로 판단됨

#### 4. 사업추진상의 위험요인 및 대응방안

- 민원발생의 소지가 많은 도심지 지하공간을 대상으로 하므로 국민들에게 실질적인 안전체감을 할 수 있고 국민들도 상시 접근할 수 있는 시스템을 성과로 도출하는 것이 관건임
- 연구과정에서도 지자체와의 긴밀한 협조체재를 유지하면서 연구과정 및 결과의 홍보와 국민체험을 할 수 있는 상시 전시관내지는 홍보관을 마련도 고려 필요
- 민관, 산학연 협의체 구성을 통해 홍보하고 국민 니즈를 파악하는 것도 중요
- 객관적인 평가 및 해외시장 진출도 고려를 위해 해외의 관련 기관과의 협조/협약 체결, 기술자문 계획을 수립
- 기존에 없던 시설 또는 시스템을 유지관리하기 위해서는 상설기구와 더불어 적절한 예산배정이 필요할 수 있으므로 국가적인 차원의 지원이 절실
- 새로운 기법의 현장 적용은 매우 어려움이 현실임. 그렇지만 국토교통부 등 발주기관과 적극 협력하여, 관련 기준(시방서 및 설계기준)을 개정하고, 관련 설계도서의 개정 그리고 교육을 통해 실용화를 마련할 예정임

### 3절 경제적 타당성

#### 1. 지하도로 이용의 증가 및 장점에 따른 경제성

- 서울시에 4개의 지하 도로 노선망을 구축할 경우, 이에 대한 비용편익비 1.25, 순현재가치 2,736억원, 내부수익률 17.4%로 예상(“서울시 지하도로건설 타당성 조사(서울시, 1992)”)
- 8개의 지하도로 구축에 따른 경제적 파급효과는 도로교통량 19%감소, 지상부 통행속도 5~6km 향상, 교통혼잡비용 1조원 정도 절감효과가 있을 것으로 예상(“지하공간 종합기본계획 수립(서울시, 2006)”)
- 대기환경 측면에서는 대기오염 배출량 약 16% 저감 효과가 있으며 이는 1500만 m<sup>2</sup>의 산림을 조성하는 효과(“지하공간 종합기본계획 수립(서울시, 2006)”)

#### 2. 스마트기술을 이용한 계측 시스템 시장 규모

- 세계 스마트시티 시장 규모는 2017년 약 9천억 달러를 넘어설 것으로 전망하고 있으며(GBI Research), 2020년까지 1조 5천억 달러 규모로 예상(Frost & Sullivan)
- 특히, 지하구조물 계측 시스템과 밀접한 관련을 가지는 IoT 시장의 경우 2017년 약 676억 달러 규모로, 연평균 시장성장률은 16.6% 수준이 유지될 것으로 전망됨

#### 3. 기술 개발을 통한 경제적 효과

- 도심 지하 교통인프라 전주기 기술 고도화를 통한 기존대비 안전사고율 20% 이상 감소, 발파 진동 50% 저감
- 지하수 안전관리 기술 고도화를 통한 안정성 확보 및 지하 교통 인프라 지하수 처리비용 50% 절감\*

\*서울시 운용 중 지하구조물 지하수 유출량 56,709톤/일(2013년 기준), 서울시 유출지하수 하수도 사용요금은 300원/m<sup>3</sup>(서울특별시 하수도 사용조례)

5장

인력투입 및 소요예산 산정

1절 인력투입계획

1. 연차별 투입 연구인력

(단위 : 명)

세부과제		1차년	2차년	3차년	4차년	합계
총괄		37	107	116	110	370
1세부	1-1	7	20	20	21	68
	1-2	6	13	14	13	46
	1-3	6	12	13	11	42
	1-4	4	11	11	13	39
	소계	23	56	58	58	195
2세부	2-1	4	19	23	20	66
	2-2	4	18	17	16	55
	2-3	6	14	18	16	54
	소계	14	51	58	52	175

## 2. 상세 투입 연구인력

### 가. 1세부 - 대심도 교통인프라 건설 정보 오픈 플랫폼 모듈 개발

- 1-1세세부 - 도심 지하교통인프라 건설을 위한 조사 및 모니터링 기술 고도화

분류	총 개발인력(명)					비고
	1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	계	
책임연구원 (교수급)	1	3	3	3	10	
연구원	2	6	6	7	21	
연구보조원	2	6	6	6	20	
보조원	2	5	5	5	17	
합계	7	20	20	21	68	

- 1-2세세부 - 도심 지하 교통 인프라로 인한 안전 영향 평가 및 분석 기술

분류	총 개발인력(명)					비고
	1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	계	
책임연구원 (교수급)	1	2	2	2	7	
연구원	3	4	4	4	15	
연구보조원	1	3	4	3	11	
보조원	1	4	4	4	13	
합계	6	13	14	13	46	

- 1-3세세부 - 지하 입체 교통인프라 통합 안전 모니터링 플랫폼 개발

분류	총 개발인력(명)					비고
	1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	계	
책임연구원 (교수급)	1	2	2	2	7	
연구원	3	2	4	3	12	
연구보조원	1	4	3	3	11	
보조원	1	4	4	3	12	
합계	6	12	13	11	42	

● 1-4세세부 - 도심 지하 교통 인프라 구축 안전기반 수립 및 제도 연구

분류	총 개발인력(명)					비고
	1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	계	
책임연구원 (교수급)	1	1	1	1	4	
연구원	1	4	4	4	13	
연구보조원	1	2	2	2	7	
보조원	1	4	4	6	15	
합계	4	11	11	13	39	

나. 2세부 - 도심도 건설 안전 확보 기술

● 2-1세세부 - 도심 지하 인프라 시공 및 운영중 지하수 환경·안전 관리 기술

분류	총 개발인력(명)					비고
	1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	계	
책임연구원 (교수급)	1	2	2	2	7	
연구원	1	6	8	7	22	
연구보조원	1	6	6	5	18	
보조원	1	5	7	6	19	
합계	4	19	23	20	66	

● 2-2세세부 - 도심지 기존 시설물 진동영향 최소화 굴착기술

분류	총 개발인력(명)					비고
	1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	계	
책임연구원 (교수급)	1	2	2	2	7	
연구원	1	6	6	6	19	
연구보조원	1	6	6	5	18	
보조원	1	4	3	3	11	
합계	4	18	17	16	55	

- 2-3세세부 - 지하 인프라 연결부(지상-지하, 지하-지하) 설계 및 교통운영 기술

분류	총 개발인력(명)					비고
	1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	계	
책임연구원 (교수급)	1	1	1	1	4	
연구원	1	6	8	6	21	
연구보조원	2	4	6	6	18	
보조원	2	3	3	3	11	
합계	6	14	18	16	54	

### 3. 총괄 소요예산

- 총 사업비 178.9억원, 정부출연금 133.3억원, 민간부담금 45.6억원

(단위 : 백만원)

과제	1차년		2차년		3차년		4차년		합계	
	정부	민간	정부	민간	정부	민간	정부	민간	정부	민간
연구단 총괄	480	190	4,444	1,510	4,310	1,470	4,100	1,390	13,334	4,560
1세부	215	90	2,409	810	2,290	790	2,290	780	7,204	2,470
1-1	80	30	780	260	760	260	520	180	2,140	730
1-2	70	30	760	260	700	240	570	190	2,100	720
1-3	65	30	780	260	730	250	1,000	340	2,575	880
1-4	-	-	89	30	100	40	200	70	389	140
2세부	265	100	2,035	700	2,020	680	1,810	610	6,130	2,090
2-1	110	40	1,000	340	950	320	1,020	340	3,080	1,040
2-2	50	20	400	140	420	140	460	160	1,330	460
2-3	105	40	635	220	650	220	330	110	1,720	590