

# 지하수 및 지반구조 영향 계측·평가·관리기술 개발 기획 최종보고서

2015. 6. 28.

주관연구기관 / 한국건설기술연구원  
위탁연구기관 / (주)날리지웍스

Infrastructure  
R&D Report

국 토 교 통 부  
국토교통과학기술진흥원



## 제출문

국토교통부장관(국토교통과학기술진흥원장) 귀하

이 보고서를 “안전한 지반굴착기술 및 지하수, 지반구조 영향 계측·평가·관리기술 개발 기획”에 관한 연구과제(세부과제 “지하수 및 지반구조영향 계측·평가·관리기술 개발 기획연구”)의 보고서로 제출합니다.

2015. 6. 28.

주관연구기관명 : 한국건설기술연구원

주관연구책임자 : 백 용 연구위원

연구원 : 정재형 연구위원

연구원 : 김창용 연구위원

연구원 : 정일문 연구위원

연구원 : 장선우 수석연구원

연구원 : 권오일 수석연구원

연구원 : 김우석 수석연구원

연구원 : 이철호 전임연구원

연구원 : 장 리 전임연구원

위탁연구기관명 : (주)날리지웍스

위탁연구책임자 : 류형근 본부장

연구원 : 손창수 책임컨설턴트

연구원 : 남범우 책임컨설턴트

연구원 : 안선영 책임컨설턴트

연구원 : 이정수 전임컨설턴트

연구원 : 김민섭 전임컨설턴트

연구원 : 정솔아 전임컨설턴트

## 보고서 요약서

과제고유번호	2014-연구 기획-	해당단계 연구기간	6개월	단계구분	1차/1단계
연구사업명	건설기술연구사업				
연구과제명	세부 과제명	안전한 지반굴착기술 및 지하수, 지반구조 영향 계측·평가·관리기술 개발 기획			
연구책임자	백 용	총연구기간 참여 연구원수	총 : 9 명 내부 : 8 명 외부 : 1 명	총연구비	정부 : 150,000천원 기업 : 0천원 계 : 150,000천원
연구기관명 및 소속부서명	한국건설기술연구원 지반연구소		참여기업명		
위 탁 연 구	연구기관명 : (주)날리지웍스		연구책임자 : 류 형 근		
요약				보고서면수	282
<p>- ‘지하수 및 지반구조 영향 계측·평가·관리 기술’과 관련한 핵심기술을 도출하기 위하여 총 4단계로 기획연구를 수행함</p> <p>1) 기술개발 동향 수요조사 실시, 2) 기술개발 전략 수립 및 연구내용 설정, 3) 연구개발과제 기획, 4) 핵심기술 도출 및 타당성 분석</p> <p>- 그 결과, 기술로드맵과 RFP를 도출하였으며, 도출된 핵심 기술은 다음과 같음</p> <p>1) 도심지 지역단위 지하수 평가 메커니즘 개발, 2) 시공중 지하수위 급변에 따른 지반변형 예측 및 방지기술 개발, 3) 지반침하에 따른 지반 위험도 평가 및 대책기술 개발, 4) 해외시장 진출형 저비용 &amp; 고신뢰성 도심지 지하수/지반침하 네트워크 시스템 개발</p>					
색인어 (각 5개 이상)	한글	지하수, 계측, 도심, 지반침하, 관리			
	영어	Ground Water, Measuring, Urban Area, Ground Subsidence, Control			

# 요 약 문

## I 제 목

지하수 및 지반구조영향 계측·평가·관리기술 개발 기획연구

## II 기술의 정의 및 필요성

### □ 기술의 정의

본 연구는 도심지에서의 지하수, 지반구조 영향 계측·평가·관리기술과 관련하여 핵심기술개발 과제를 도출하는 기획과제이다.

### □ 연구개발의 필요성

#### ○ 기술적 측면

최근 사회적인 관심이 증가하고 있는 도심지에서의 지반침하 및 합몰, 동공발생 등은 도심지의 지하수 거동과 밀접하게 연결되어 있어서, 기존의 도시 지역 지하수 관리 방식을 개선하고, 도시 하부 지질 및 지반구조물의 영향을 통합 평가하는 기술의 개발이 필요하다. 또한, 지하수로 인한 지반침하 재난·재해 사고는 인명손실의 위험까지 유발할 수 있으나, 지반구조물과 연관된 안전에 관한 연구는 전무하다. 기존의 계측망 관리는 센서노드 결함/고장 발생 등으로 데이터의 신뢰성이 의심받는 사례도 있어서, 단순 스캐닝이 아닌 상시 모니터링과 신속한 대처가 가능한 시스템의 개발이 요구되는 실정이다.

#### ○ 경제·산업적 측면

국가 재정부담 경감을 위해 경제적으로 노후 시설물의 성능·안전성을 유지함과 동시에 건설 시공 및 유지관리에서의 안전사고 예방기술 개발 지원이 필요하다. 국가적으로 도심지 지하 시설물에 대한 예방중심의 선제적 재난·재해 관리 및 신속 복구 시스템 구축을 추진 중에 있다. 특히, 국토교통부 [건설재해 선제대응 기술개발]를 통한 재해 발생률 15% 저감의 목표로 “재난·재해 대비 시설물 유지관리 및 건설안전 기술”분야 수행을 위한 상세 기술 개발이 요구되고 있다. 본 기획과제를 통해 도출된 연구 기획을 통해 효율적인 지하수 관리로 지하수와 연계된 도심지 붕괴사고를 예방 및 관리가 가능할 경우 해마다 수백억 이상의 비용 절감이 가능할 것으로 추정된다.

### ○ 사회·문화적 측면

2014년 12월 국토교통부가 발표한 싱크홀 예방을 위한 ‘지반침하 예방대책’에서 지하공간 통합지도 구축 및 서비스, 굴착 공사 현장 주변의 안전관리 강화, 불안요소에 대한 선제적 모니터링 및 관리, 지하공간 통합 안전관리 체계의 기반 조성 등이 제시되었으며 본 기획 연구의 기술 개발을 통해 지하수와 연계된 지반함몰 방지를 위한 안전관리 강화와 불안요소에 대한 선제적 모니터링 및 관리 기술이 개발될 것으로 기대하고 있다.

## III 국내외 동향 및 환경 분석

국내 지하수 모니터링 시장은 정부의 관련 법령제정아래 지하수법하에 국가지하수 관측망 확충, 먹는물 관리법아래 상업적 먹는샘물 환경영향평가를 위한 감시망 구축으로 해마다 증가하는 추세이며 자료획득 관측기와 이를 실시간으로 관리하는 자료수집부분에도 어느 정도 국산화가 이루어지고 있다. 하지만, 국외상업시장에 비해 규모가 미약하며 주로 지하수를 대체수자원 개발 및 이용 목적으로 관측이 이루어지고 있어 지반침하 같은 국가적 재난 대비 안전망 구축을 위한 관측망 구성 및 정밀한 자료획득에는 한계가 있다.

일반적으로 지하수 관련 관제 시스템에 적용하는 USN 관제 시스템을 도입하면 운영비용이 절약된다. 한 사례로 제주 USN기반 수질관리 시스템의 비용분석표를 관찰하면 USN 도입 이후 많은 비용이 79.2%의 비용 절감이 보고되고 있다. 그러나, 관측지역이 확장되고 관측정의 개수가 증가함에 따라 USN 관제시스템의 비용도 함께 증가하게 되므로 시스템의 운영비용을 최소화 하는 연구가 필요하다.

중국의 사례로 도심지 지하수를 그 대상으로 하는 [도시 지하수 개발 이용보호 관리규정]을 제정하여 중앙정부 및 지자체에서 직접 관리하고 있으며, 중앙정부의 환경보호법에는 국무원 행정주관부서를 만들어 환경 모니터링 제도를 실시하고 있다. 모니터링과 규범을 제정하여 중국내 수질오염 방지법에 의거한 환경 모니터링을 통한 지하수 환경의 상태를 파악하고 지하수 수질 보호 및 오염방지를 통한 국민의 건강 보장을 목표로 관련 기술표준을 제정하고 있다.

국내 터널에서 발생하는 유출지하수를 최소화하기 위하여 터널 공사기법을 선진화하고 있으나, 유출지하수에 의한 지하수 장애와 인근 하천의 건천화 기술 등에 대하여는 아직 이해가 부족한 실정이다.

또한, 기후변화 등으로 수문환경이 수시로 바뀌고 있어 지반의 미세한 불안정성이 과거보다 증가하고 있는 실정으로서 지반 변형에 대한 정량적 평가가 필요하며, 도시 지역 지하수 시스템 환경은 기존의 저심도 지하 공간에 비해서 대심도 지하 공간의 개발 및 활용에 보다 더욱 취약한 상태로, 유출지하수의 존재는 인근 오염원의 이동을 가속화 시키는 작용을 하고 있어 도시지역에 대한 종합적인 관리 시스템의 개발이 절실히 필요하다.

따라서, 국민 안전을 확보하는 측면에서 도시의 유효 자원인 지하수와 사회 인프라인 지반구조물의 체계적인 관리기술 확보를 통하여 사회 전반의 정서적 안정감을 향상시키고 동시에 재난 발생을 막아 지속적인 경제발전을 추구할 수 있도록 해야 한다. 그리고, 친환경적이고 복합기능을 가진 지하수 및 지반구조물 관리를 위한 계측기법의 개발을 통하여 국내외의 신흥시장을 창출하고, 나아가서 기술경쟁력 우위에 의한 수출 및 해외건설 수주에 기여할 것으로 기대된다.

## IV 연구개발과제 구성 및 추진전략

### □ 연구개발과제 구성

핵심과제	연구목표
도심지 지반굴착에 따른 지표수, 지하수 유동 및 물수지 평가기술 개발	‘도심지 광역 지하수 증장기적 평가 및 관리기술 개발’과 ‘지하수조물 주변 지하수 관리 및 계측기술 개발’
지하수와 지하구조물에 의한 지반변상분석 기법 개발	
건축물 및 지하구조물 주변 지하수 흐름 관리기법 개발	
지하수위 변화에 의한 도시지반 침하 측정기술 개발	
지하수 및 지반구조물 통합계측 및 관리 시스템 개발	

### □ 추진전략

연구수행은 핵심과제 및 연구목표를 기반으로 광역지하수 연구, 지하수와 연계된 지반의 단기변형, 장기 지반침하, 지하수/지반 침하 측정, 계측, 관리 기술 시스템 기술 개념을 중점 추진분야로 재설정하였다. 이를 토대로 ‘도심지 지역단위 지하수 평가 메커니즘 개발’, ‘시공중 지하수위 급변에 따른 지반변형 예측 및 방지기술개발’, ‘지반침하에 따른 지반 위험도 평가 및 대책기술 개발’, ‘해외시장 진출형 저비용&고신뢰성 도심지 지하수/지반침하 네트워크 시스템 개발’로 설정하여 효율적인 지하수 관리로 안전한 도시생활 확보방안을 마련하도록 계획하였다.

## V 사전타당성 검토

정책적 타당성 분석에서는, 국가전략의 중요성, 상위계획과의 부합성을 중점으로 분석하였다. 본 기획 연구는 국민의 안전을 최우선으로 하는 현 정부 정책 기조에 부합하며 최근 사회적인 이슈가 되었던 지하수와 연계된 지반함몰 문제에 기술적으로 대응함으로써 국민의 불안감을 해소시

키고 안전한 미래 도시 건설을 위한 기반 기술을 확보하는 차원에서 시기적절함을 보인다. 2014년 12월 국토교통부가 발표한 ‘지반침하 예방대책’에서 지하공간 통합지도 구축 및 서비스, 굴착공사 현장 주변의 안전관리 강화, 불안요소에 대한 선제적 모니터링 및 관리, 지하공간 통합 안전관리 체계의 기반 조성 등이 제시되었으며 본 연구단의 기술 개발을 통해 안전관리 강화와 불안요소에 대한 선제적 모니터링 및 관리 기술이 개발될 것으로 기대하고 있다. 또한, 본 연구는 정부 국정목표 및 국정과제, 과학기술기본계획, 건설기술진흥 기본계획 등의 현 정부 정책기조에 부합되는 주제를 다루고 있다.

기술적 타당성 분석 결과, 본 사업은 연구단 형태로 추진하는 것이 타당하다고 판단되며 추진조직의 구성에 대해 상세하게 기술하였으며, 세부과제별로 기대 성과물과 활용계획, 성과평가를 위한 성과지표를 제시하고 있다. 기술수준 및 성공가능성의 경우 국내외 논문, 특허, 시장, 기술동향 및 인프라 분석을 통해 분석이 이루어 졌으며, 선진국대비 인프라가 부족하여 정부의 적극적인 사업추진이 없다면, 연구성과 도출이 다소 어려울 것으로 판단된다.

경제적 타당성 분석에서는, 비용-편익 분석을 통해 기획연구에서 제시한 연구단 과제 성공 시 예상되는 사회적경제적 비용에 대한 분석을 수행하였다. 본 연구는 지하수관리 기술을 적용하여 도심지 굴착공사 중 붕괴사고 발생 저감을 통해 사회경제적인 피해액을 감소시킬 것으로 예측된다. 연구단의 소요 예산(총 5년 연구기간)은 정부출연금이 200억원, 민간부담금이 67억원 수준이며, 세부적인 소요예산에 대해서는 연구 추진단계에서 보다 구체화될 수 있을 것으로 판단된다.

# Contents

지하수 및 지반구조 영향 계측·평가·관리기술 개발 기획 최종보고서

## 1장. 개요

## 2장. 동향조사 및 환경분석

<b>1절. 기획 과제 정의 및 범위</b> .....	1
1. 기획 과제의 정의 및 필요성 .....	1
가. 기획 과제의 정의 .....	1
나. 과제 추진의 배경 및 필요성 .....	3
2. 기획 과제의 범위 .....	5
가. 도심지 광역 지하수 중·장기적 관리 및 계측기술 개발 기획 분야 .....	5
나. 지반구조물 주변 지하수 관리 및 계측 기술 개발 기획 분야 .....	6
3. 기술분류 .....	5
가. 도심지 광역 지하수 관리기술 분야 .....	5
나. 지반구조물 주변 지하수 관리기술 분야 .....	6
<b>1절. 국내외 정책동향</b> .....	7
1. 국외 정책동향 .....	7
2. 국내 정책동향 .....	9
<b>2절. 국내외 시장현황 및 전망</b> .....	11
<b>3절. 국내외 기술동향</b> .....	14
1. 국외 기술동향 .....	14
2. 국내 기술동향 .....	18
3. 특허분석 .....	29
가. 분석범위 .....	29
나. 분석기준 .....	29
다. 특허 검색식 및 검색 결과 .....	30
라. 특허 동향분석 .....	33
4. 논문분석 .....	46
가. 논문 조사방법 및 검색 결과 .....	46
나. 논문 동향분석 .....	46
<b>4절. 종합분석</b> .....	55
1. 국내외 정책동향분석 시사점 .....	55
2. 국내외 시장동향분석 시사점 .....	55
3. 국내외 기술동향분석 시사점 .....	55

3장. 기술수요 및  
수준·예측조사

<b>1절. 기술수요조사</b>	58
1. 개요	58
가. 기술수요조사의 목적	58
나. 기술수요조사의 절차	58
다. 기술수요조사 발송 및 응답개요	59
2. 기술수요조사 분석결과	59
가. 도심지 광역 지하수 관리기술분야	60
나. 지반구조물 주변 지하수 관리기술분야	61
<b>2절. 기술수준 및 예측조사</b>	62
1. 개요	62
가. 기술예측/수준조사의 목적	62
나. 기술예측/수준조사의 절차	62
다. 기술예측/수준조사 발송 및 응답개요	63
라. 기술예측/수준조사 항목 설정	64
2. 기술예측/수준조사 분석결과	67
가. 국내외 기술적 실현시기	67
나. 기술수준 및 기술격차	73
다. 기술성숙도(TRL)	88
라. 최고기술보유국	98
마. 기술기반(인프라) 성숙도	102
바. 기술획득 방식	109
사. 정부우선 시행방안	114
아. 기술수준-중요도 포트폴리오 분석	119
자. 기술격차-격차추세 포트폴리오 분석	122
차. 기술격차-기술수준 포트폴리오 분석	125
카. 기술기반성숙도-중요도 포트폴리오 분석	128

4장. 연구개발과제  
구성 및  
추진전략

<b>1절. SWOT/Issue-Tree 분석</b>	131
1. SWOT분석	131
가. 개요	131
나. 내외부 요인 분석	132
다. 포지션별 전략 수립	133
2. Issue-Tree 분석	134
가. 개요	134
나. 주요 정책·시장·기술 동향	134
다. 주요 이슈 및 R&D Needs	135

<b>2절. 비전 및 목표</b>	136
1. 비전	136
2. 목표	136
3. 중점추진분야	137
<b>3절. 연구개발과제 구성</b>	139
1. 후보과제 Pool 구성	139
가. 후보과제 Pool 구성 방법	139
나. 후보과제 Pool 중복성·유사성·위계 검토	139
다. 후보과제 Pool list	139
2. 후보과제 우선순위 평가	142
가. 개요	142
나. 후보과제 우선순위 평가결과	146
3. 연구개발 추진과제	148
가. (중점추진분야 1) 도심지 지역단위 지하수 평가 메커니즘 개발분야 추진과제	148
나. (중점추진분야 2) 시공중 지하수위 급변에 따른 지반변형 예측 및 방지기술 개발분야 추진 과제	149
다. (중점추진분야 3) 지반침하에 따른 지반 위험도 평가 및 대책 기술 개발 분야 추진과제	150
라. (중점추진분야 4) 해외시장 진출형 저비용 & 고신뢰성 도심지 지하수 /지반침하 네트워크 시스템 개발 분야 추진과제	151
<b>4절. 세부과제별 주요내용 및 추진전략</b>	152
1. (중점추진분야 1) 도심지 지역단위 지하수 평가 메커니즘 개발 분야 세부과제	152
가. 1세부과제	152
나. 2세부과제	153
다. 3세부과제	155
라. 4세부과제	157
2. (중점추진분야 2) 시공중 지하수위 급변에 따른 지반변형 예측 및 방지기술 개발분야 세부과제	159
가. 1세부과제	159
나. 2세부과제	161
다. 3세부과제	164
라. 4세부과제	166

3. (중점추진분야 3) 지반침하에 따른 지반 위험도 평가 및 대책 기술개발 분야 추진과제 .....	168
가. 1세부과제 .....	168
나. 2세부과제 .....	170
4. (중점추진분야 4) 해외시장 진출형 저비용&고신뢰성 도심지 지하수/ 지반침하 네트워크 시스템 개발 분야 추진과제 .....	172
가. 1세부과제 .....	172
나. 2세부과제 .....	176
다. 3세부과제 .....	179
<b>5절. 과제 간 연계관계 .....</b>	<b>182</b>
<b>6절. 과제별 연차별 기술로드맵 .....</b>	<b>183</b>
<b>7절. 성과의 활용방안 .....</b>	<b>184</b>
1. (중점추진분야 1) 도심지 지역단위 지하수 평가 메커니즘 개발 분야 .....	184
2. (중점추진분야 2) 시공중 지하수위 급변에 따른 지반변형 예측 및 방지기술 개발 분야 .....	186
3. (중점추진분야 3) 지반침하에 따른 지반 위험도 평가 및 대책기술 개발분야 .....	187
4. (중점추진분야 4) 해외시장 진출형 저비용&고신뢰성 도심지 지하수/지반침하 네트워크 시스템 개발 분야 .....	189
<b>8절. 연구수행체계 제안 .....</b>	<b>191</b>
1. 연구추진체계 정립 .....	191
2. 추진조직 .....	191
3. 추진체계 .....	192
<b>1절. 연구일정에 따른 인력계획 .....</b>	<b>193</b>
1. 전체사업 인력투입계획 .....	193
가. 연차별 투입 연구인력 .....	193

5장. 인력투입계획  
및 소요예산  
산정

나. 상세 투입연구인력 .....	194
2. 중점추진분야별 인력투입계획 .....	194
가. 중점추진분야 1 .....	194
나. 중점추진분야 2 .....	195
다. 중점추진분야 3 .....	196
라. 중점추진분야 4 .....	197
<b>2절. 소요예산 산정 .....</b>	<b>198</b>
1. 예산 산정방법 .....	198
2. 전체사업 소요예산 .....	199
가. 총괄 소요예산 .....	199
나. 예산 항목별 소요예산 .....	199
3. 중점추진분야별 소요예산 .....	200
가. 중점추진분야 1 .....	200
나. 중점추진분야 2 .....	200
다. 중점추진분야 3 .....	201
라. 중점추진분야 4 .....	201
4. 연구비 검토 결과 .....	202
가. 총괄예산 .....	202
나. 종합 검토결과 .....	202
<b>1절. 정책적 타당성 .....</b>	<b>203</b>
<b>2절. 기술적 타당성 .....</b>	<b>204</b>
<b>3절. 경제적 타당성 .....</b>	<b>207</b>
<b>1절. 과제 제안요구서(RFP) .....</b>	<b>211</b>
<b>2절. 평가기준 설정 .....</b>	<b>223</b>
1. 평가항목 .....	223
2. 가점 및 감점기준 .....	225

6장. 사전타당성  
검토

7장. 과제  
제안요구서  
작성 및  
평가기준 설정

# 그림목차

〈그림 1-1〉 기획연구의 비전과 예상목표 .....	1
〈그림 1-2〉 유형별 지반함몰 .....	2
〈그림 1-3〉 과제 추진 배경 및 필요성 .....	3
〈그림1-4〉 도심지 지하수에 의해 발생하는 지반구조물 영향 .....	4
〈그림 2-1〉 국내 수질 모니터링 시장 규모 .....	12
〈그림 2-2〉 국내 온, 습도 센서 시장규모 .....	13
〈그림 2-3〉 제주 지하수 수질관리 시스템 비용 분석표 .....	13
〈그림 2-4〉 국외 도심지 탐사기술 사례 .....	14
〈그림 2-5〉 도심지 개발에 따른 통합수자원 관리전략 .....	16
〈그림 2-6〉 최근의 도심 지하수의 모의 모델 구축 개념 .....	16
〈그림 2-7〉 관정내 실시간 측정용 계측기 .....	17
〈그림 2-8〉 실시간 지하수 모니터링 개념도 .....	18
〈그림 2-9〉 중국의 지하수 원격감시 시스템의 사용자 인터페이스 .....	18
〈그림 2-10〉 서울시의 지하 시설물 개발 현황 .....	20
〈그림 2-11〉 2차원 지하수 관측 자료를 제공하는 국가지하수정보지도 사례(서울시) .....	21
〈그림 2-12〉 3차원 지질특성 분포도 GEOCAD .....	22
〈그림 2-13〉 지하수 관리와 지하구조물과의 관계 .....	23
〈그림 2-14〉 층위 일체형 방사 수분센서 사례 (미국) .....	23
〈그림 2-15〉 지중구조물에 있어서 차수벽의 중요성 .....	24
〈그림 2-16〉 지하수관측망 관리시스템의 하드웨어 및 네트워크 사례 .....	25
〈그림 2-17〉 기존 GPR탐사 방법과 하수관 노후화로 인한 붕괴사고 .....	26
〈그림 2-18〉 사면붕괴 관리 사례 .....	28
〈그림 2-19〉 지하수 재해지질도 작성을 위한 조사예 .....	28
〈그림 2-20〉 지하수 재난용수 시스템 (일본) .....	28
〈그림 2-21〉 저류지를 통한 인공함양 .....	28
〈그림 2-22〉 지반구조물 파손 및 지하수 유입 조사 사례 .....	28
〈그림 2-23〉 지하매설물 파손과 지하수 영향에 의한 지반침하 .....	28

〈그림 2-24〉 연도별 전체 출원수 .....	34
〈그림 2-25〉 기술 수명주기 판단기준 .....	35
〈그림 2-26〉 전체 기술 수명 주기 .....	35
〈그림 2-27〉 국가별 기술 수명 주기 .....	36
〈그림 2-28〉 연도별 출원수 .....	37
〈그림 2-29〉 국가별 주요 출원인 .....	38
〈그림 2-30〉 연도별 출원수 .....	41
〈그림 2-31〉 국가별 주요 출원인 .....	42
〈그림 2-32〉 연도별 전체 논문 발행 건수 .....	46
〈그림 2-33〉 기술별 국내 논문 저자 .....	47
〈그림 2-34〉 기술별 국내 학술지 .....	48
〈그림 2-35〉 기술별 외국 논문 저자 .....	49
〈그림 2-36〉 기술별 외국 학술지 .....	49
〈그림 2-37〉 연도별 전체 논문 발행 건수 .....	50
〈그림 2-38〉 기술별 국내 논문 저자 .....	51
〈그림 2-39〉 기술별 국내 학술지 .....	52
〈그림 2-40〉 기술별 외국 논문 저자 .....	53
〈그림 2-41〉 기술별 외국 학술지 .....	54
〈그림 3-1〉 기술수요조사 진행 절차 .....	59
〈그림 3-2〉 기술예측/수준조사 추진 절차 .....	63
〈그림 3-3〉 지하수, 지반구조 영향 계측·평가·관리기술의 국내외 기술적 실현시기 .....	68
〈그림 3-4〉 지하수, 지반구조 영향 계측·평가·관리기술의 국내외 사회경제적 실현시기 .....	68
〈그림 3-5〉 도심지 광역 지하수 관리기술의 기술적 실현시기 .....	69
〈그림 3-6〉 도심지 광역 지하수 관리기술의 사회경제적 실현시기 .....	69
〈그림 3-7〉 지반구조물 주변 지하수 관리기술의 기술적 실현시기 .....	71
〈그림 3-8〉 지반구조물 주변 지하수 관리기술의 사회경제적 실현시기 .....	71
〈그림 3-9〉 국내 지하수 관리기술분야 대분류별 기술수준 및 기술격차 .....	73
〈그림 3-10〉 국내 지하수관리 기술분야 대분류별 기술격차 추세 .....	73
〈그림 3-11〉 도심지 광역 지하수 관리기술분야 중분류별 기술수준 및 기술격차 .....	74
〈그림 3-12〉 도심지 광역 지하수 관리기술분야 중분류별 기술격차 추세 .....	74

〈그림 3-13〉 도심지 광역적 지하 지반구조 및 지하 매설물 파악기법분야 소분류별 기술수준 및 기술격차 .....	75
〈그림 3-14〉 도심지 광역적 지하 지반구조 및 지하 매설물 파악기법분야 소분류별 기술격차 추세 .....	76
〈그림 3-15〉 도심지 지반굴착에 따른 지표수, 지하수 유동 및 물수지 평가 기술분야 소분류별 기술수준 및 기술격차 .....	77
〈그림 3-16〉 도심지 지반굴착에 따른 지표수, 지하수 유동 및 물수지 평가 기술분야 소분류별 기술격차 추세 .....	77
〈그림 3-17〉 도심지 지반함몰 예방을 위한 지하수 계측 및 모니터링 기법 기술분야 소분류별 기술수준 및 기술격차 .....	78
〈그림 3-18〉 도심지 지반함몰 예방을 위한 지하수 계측 및 모니터링 기법 기술분야 소분류별 기술격차 추세 .....	79
〈그림 3-19〉 재난/재해 대응 3차원 지하수 관리시스템 기술분야 소분류별 기술수준 및 기술격차 .....	79
〈그림 3-20〉 재난/재해 대응 3차원 지하수 관리시스템 기술분야 소분류별 기술격차 추세 .....	80
〈그림 3-21〉 지반구조물 주변 지하수 관리 기술분야 중분류별 기술수준 및 기술격차 .....	81
〈그림 3-22〉 지반구조물 주변 지하수 관리 기술분야 중분류별 기술격차 추세 .....	81
〈그림 3-23〉 지하수와 지하 구조물에 의한 지반 변상 분석기법분야 소분류별 기술수준 및 기술격차 .....	82
〈그림 3-24〉 지하수와 지하 구조물에 의한 지반 변상 분석기법분야 소분류별 기술격차 추세 .....	83
〈그림 3-25〉 건축물 및 지하구조물 주변 지하수 흐름 관리기법분야 소분류별 기술수준 및 기술격차 .....	84
〈그림 3-26〉 건축물 및 지하구조물 주변 지하수 흐름 관리기법분야 소분류별 기술격차 추세 .....	84
〈그림 3-27〉 지하수 및 지반구조물 통합 계측 및 관리효율 향상을 위한 신개념 시스템분야 소분류별 기술수준 및 기술격차 .....	85
〈그림 3-28〉 지하수 및 지반구조물 통합 계측 및 관리효율 향상을 위한 신개념 시스템분야 소분류별 기술격차 추세 .....	86
〈그림 3-29〉 지하수위 변화에 의한 도시지반 침하 측정 기술분야 소분류별 기술수준 및 기술격차 .....	87
〈그림 3-30〉 지하수위 변화에 의한 도시지반 침하 측정 기술분야 소분류별 기술격차 추세 .....	87
〈그림 3-31〉 지하수 관리기술의 대분류별 국내외 기술성숙도(TRL) .....	88
〈그림 3-32〉 도심지 광역 지하수 관리기술분야 중분류별 국내외 기술성숙도(TRL) .....	89
〈그림 3-33〉 도심지 광역적 지하 지반구조 및 지하 매설물 파악 기법분야 소분류별 국내외 기술성숙도(TRL) .....	90
〈그림 3-34〉 도심지 지반굴착에 따른 지표수, 지하수 유동 및 물수지 평가 기술분야 소분류별 국내외 기술성숙도(TRL) .....	91
〈그림 3-35〉 도심지 지반함몰 예방을 위한 지하수 계측 및 모니터링 기법분야 소분류별 국내외 기술성숙도(TRL) .....	92
〈그림 3-36〉 재난/재해 대응 3차원 지하수 관리시스템분야 소분류별 국내외 기술성숙도(TRL) .....	92

〈그림 3-37〉	지반구조물 주변 지하수 관리 기술분야 중분류별 국내외 기술성숙도(TRL)	93
〈그림 3-38〉	지하수와 지하 구조물에 의한 지반변상 분석기법 분야 소분류별 국내외 기술성숙도(TRL)	94
〈그림 3-39〉	건축물 및 지하구조물 주변 지하수 흐름 관리기법분야 소분류별 국내외 기술성숙도(TRL)	95
〈그림 3-40〉	지하수 및 지반구조물 통합 계측 및 관리 효율 향상을 위한 신개념 시스템분야 소분류별 국내외 기술성숙도(TRL)	96
〈그림 3-41〉	지하수위 변화에 의한 도시지반 침하 측정 기술분야 소분류별 국내외 기술성숙도(TRL)	97
〈그림 3-42〉	지하수 관리기술의 최고기술보유국 비중	98
〈그림 3-43〉	도심지 광역 지하수 관리기술분야 최고기술보유국 비	98
〈그림 3-44〉	지반구조물 주변 지하수 관리 기술 분야 최고기술보유국 비중	100
〈그림 3-45〉	지하수 관리기술의 대분류별 기술기반 성숙도	102
〈그림 3-46〉	도심지 광역 지하수관리 기술분야 중분류별 기술기반 성숙도	102
〈그림 3-47〉	도심지 광역적 지하 지반구조 및 지하 매설물 파악 기법분야 소분류별 기술기반 성숙도	103
〈그림 3-48〉	도심지 지반굴착에 따른 지표수, 지하수 유동 및 물수지 평가 기술분야 소분류별 기술기반 성숙도	104
〈그림 3-49〉	도심지 지반함몰 예방을 위한 지하수 계측 및 모니터링 기법분야 소분류별 기술기반 성숙도	104
〈그림 3-50〉	재난/재해 대응 3차원 지하수 관리시스템분야 소분류별 기술기반 성숙도	105
〈그림 3-51〉	지반구조물 주변 지하수 관리 기술분야 중분류별 기술기반 성숙도	106
〈그림 3-52〉	지하수와 지하 구조물에 의한 지반 변상 분석기법분야 소분류별 기술기반 성숙도	106
〈그림 3-53〉	건축물 및 지하구조물 주변 지하수 흐름 관리기법분야 소분류별 기술기반 성숙도	107
〈그림 3-54〉	지하수 및 지반구조물 통합 계측 및 관리 효율 향상을 위한 신개념 시스템분야 소분류별 기술기반 성숙도	108
〈그림 3-55〉	지하수위 변화에 의한 도시지반 침하 측정 기술분야 소분류별 기술기반 성숙도	108
〈그림 3-56〉	지하수, 지반구조 영향 계측·평가·관리기술분야 기술획득 방식 조사결과	109
〈그림 3-57〉	도심지 광역 지하수 관리기술분야 기술획득 방식 조사결과	110
〈그림 3-58〉	지반구조물 주변 지하수 관리기술분야 기술획득 방식 조사결과	112
〈그림 3-59〉	지하수, 지반구조 영향 계측·평가·관리기술 정부우선 시행방안 조사결과	114
〈그림 3-60〉	도심지 광역 지하수 관리기술분야 정부우선 시행방안 조사결과	115
〈그림 3-61〉	지반구조물 주변 지하수 관리기술분야 정부우선 시행방안 조사결과	117
〈그림 3-62〉	기술수준-중요도 포트폴리오	119
〈그림 3-63〉	도심지 광역 지하수 관리기술분야 기술수준-중요도 포트폴리오	120
〈그림 3-64〉	지반구조물 주변 지하수 관리기술분야 기술수준-중요도 포트폴리오	121

〈그림 3-65〉 기술격차-격차추세 포트폴리오 .....	122
〈그림 3-66〉 도심지 광역 지하수 관리기술분야 기술격차-격차추세 포트폴리오 .....	123
〈그림 3-67〉 지반구조물 주변 지하수 관리기술분야 기술격차-격차추세 포트폴리오 .....	124
〈그림 3-68〉 기술격차-기술수준 포트폴리오 .....	125
〈그림 3-69〉 도심지 광역 지하수 관리기술분야 기술격차-기술수준 포트폴리오 .....	126
〈그림 3-70〉 지반구조물 주변 지하수 관리기술분야 기술격차-기술수준 포트폴리오 .....	127
〈그림 3-71〉 기술기반성숙도-중요도 포트폴리오 .....	128
〈그림 3-72〉 도심지 광역 지하수 관리기술분야 기술기반성숙도-중요도 포트폴리오 .....	129
〈그림 3-73〉 지반구조물 주변 지하수 관리기술분야 기술기반성숙도-중요도 포트폴리오 .....	130
〈그림 4-1〉 중점추진분야별 구성과제 도출 프로세스 .....	138
〈그림 4-2〉 우선순위 평가 진행 절차 .....	143
〈그림 4-3〉 세부 과제간 연관성 .....	182

# 표목차

[표 1-1] 지반함몰 발생의 인위적 요인 .....	2
[표 1-2] 도심지 광역 지하수 관리기술 분야 기술분류체계 .....	6
[표 1-3] 지반구조물 주변 지하수 관리기술 분야 기술분류체계 .....	6
[표 2-1] 특허 분석 범위 .....	29
[표 2-2] 특허분석을 위한 기술분류 .....	30
[표 2-3] 특허 유효검색건수 .....	33
[표 2-4] 국가별 주요 출원인 .....	39
[표 2-5] 기술별 주요 출원인 .....	40
[표 2-6] 국가별 주요 출원인 .....	43
[표 2-7] 기술별 주요 출원인 .....	45
[표 2-8] 논문 유효검색건수 .....	46
[표 3-1] 기술수요조사 발송 및 응답개요 .....	59
[표 3-2] 도심지 광역 지하수 관리기술분야 기술수요조사 제안기술 목록 .....	60
[표 3-3] 지반구조물 주변 지하수 관리기술분야 기술수요조사 제안기술 목록 .....	61
[표 3-4] 기술예측/수준조사 발송 및 응답개요 .....	63
[표 3-5] 기술예측/수준조사의 기술수준 평가 기준 .....	64
[표 3-6] 기술예측/수준조사의 기술격차추세 평가 기준 .....	64
[표 3-7] 기술예측/수준조사의 기술성숙도(TRL) 평가 기준 .....	65
[표 3-8] 기술예측/수준조사의 기술기반 성숙도 평가 기준 .....	65
[표 3-9] 기술예측/수준조사의 기술 핵심성 평가 기준 .....	66
[표 3-10] 기술예측/수준조사의 시급성 평가 기준 .....	66
[표 3-11] 기술예측/수준조사의 과학기술적 파급효과 평가 기준 .....	66
[표 3-12] 기술예측/수준조사의 기술획득방식 조사 항목 .....	67
[표 3-13] 기술예측/수준조사의 정부우선시행방안 조사 항목 .....	67
[표 3-14] 도심지 광역 지하수 관리 기술의 기술적·사회경제적 실현시기 .....	70
[표 3-15] 지반구조물 주변 지하수 관리기술의 기술적·사회경제적 실현시기 .....	72
[표 3-16] 도심지 개착식 지반굴착기술분야 소분류별 최고기술 보유국 비중 .....	99

[표 3-17] 지반구조물 주변 지하수 관리기술분야 소분류별 최고기술 보유국 비중 .....	101
[표 3-18] 지하수, 지반구조 영향 계측·평가·관리기술 대분류별 기술획득 방식 조사결과 .....	109
[표 3-19] 도심지 광역 지하수 관리기술분야 소분류별 기술획득 방식 조사결과 .....	111
[표 3-20] 지반구조물 주변 지하수 관리기술분야 소분류별 기술획득 방식 조사결과 .....	113
[표 3-21] 지하수, 지반구조 영향 계측·평가·관리기술 대분류별 정부우선 시행방안 조사결과 .....	114
[표 3-22] 도심지 광역 지하수 관리기술분야 소분류별 정부우선 시행방안 조사결과 .....	116
[표 3-23] 지반구조물 주변 지하수 관리기술분야 소분류별 정부우선 시행방안 조사결과 .....	118
[표 4-1] 후보과제 list .....	140
[표 4-2] 우선순위평가서 발송 및 응답개요 .....	144
[표 5-1] 기업부담금 출연기준 .....	199



## 1

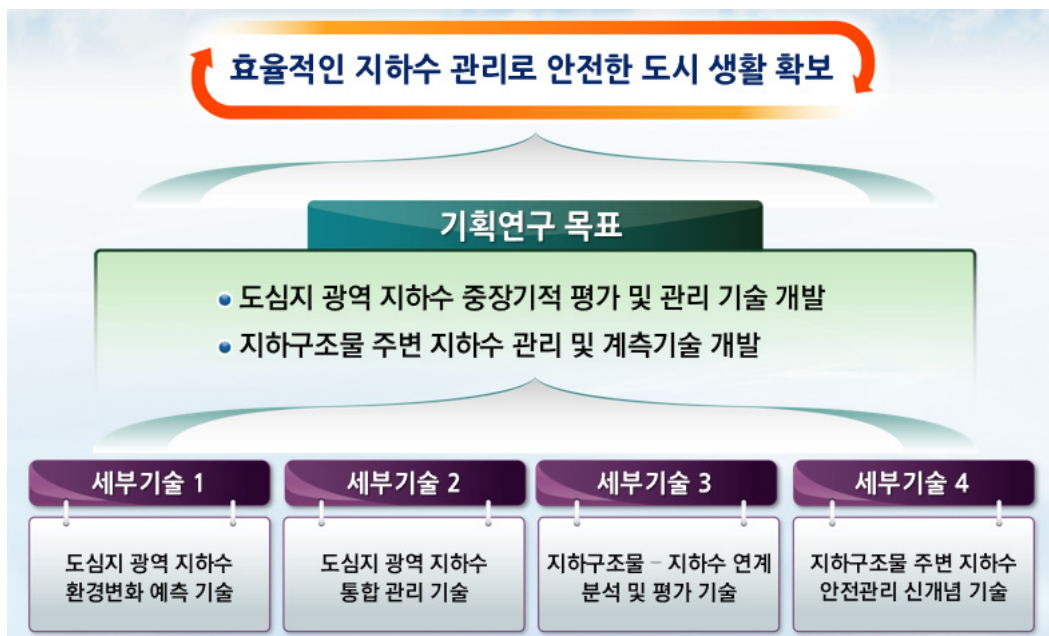
## 개요

## 1절 기획 과제 정의 및 범위

## 1. 기획 과제의 정의 및 필요성

## 가. 기획 과제의 정의

- 본 기획연구에서는 도심지에서의 지하수, 지반구조 영향 계측·평가·관리기술과 관련하여 핵심기술개발 과제를 도출하는 것이 목적임. 이와 관련 시장 및 기술 전망 분석을 통해 연구개발 목표, 개발내용, 추진전략 및 기술로드맵을 제시하고자 함. 이를 통해 도출된 비전과 예상내용은 다음과 같음



〈그림 1-1〉 본 기획연구의 비전과 예상목표

- 본 과제의 주요 키워드인 지반함몰의 정의는 “땅속의 흙, 암석 또는 지하수의 영향으로 지

표면이 주저앉는 현상”으로 “흙, 암석, 지하수 유실로 발생한 빈 공간이 상부의 무게를 견디지 못하고 주저앉는 현상”으로 정의되는 싱크홀(sinkhole)과는 대비되며, 지반함몰의 유형은 크게 자연적 요인(빈공간의 붕괴, 지반의 압축, 생화학적 침하 등)과 인위적 요인(굴착, 지반약화, 상하수도, 지하수 유출 등)으로 분류함

[표 1-1] 지반함몰 발생의 인위적 요인

굴착	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 굴착에 따른 충격, 지하수 유출 등으로 발생하며 지하수위 변화에 민감한 층적층에서 주로 발생</li> <li>· 다양한 크기의 침하가 발생하고 발생빈도는 중간수준</li> </ul>
지반약화	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 다짐이 부실한 지반이 압축되거나, 빗물·지하수 등에 침식되어 발생하며 넓은 면적에 낮은 깊이로 발생</li> <li>· 지하매설물 주변에서 주로 발생하고 발생빈도는 중간수준</li> </ul>
상하수도	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 상하수관의 누수로 토사가 유실되어 발생</li> <li>· 상하수관의 노후화나 굴착·매설공사에 따른 관로 파손이 주원인</li> <li>· 대부분 규모가 작고 발생빈도는 가장 높음</li> </ul>
지하수 유출	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 농업용수 등 과도한 지하수 배출로 가장 높음</li> <li>· 건축물, 지하철 등의 지하수 배출에 따른 침하는 아직 보고된 바 없음</li> <li>· 발생빈도는 낮음</li> </ul>



<그림 1-2> 유형별 지반함몰

## 나. 과제 추진의 배경 및 필요성

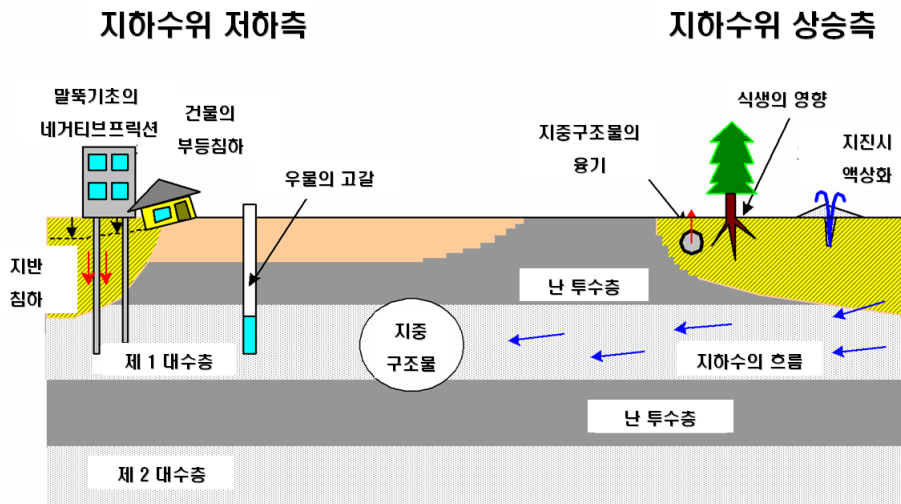
- 최근 사회적인 관심이 증가하고 있는 도심지에서의 지반침하 및 함몰, 동공발생 등은 도심지의 지하수 거동과 밀접하게 연결되어 있어서, 기존의 도시 지역 지하수 관리 방식을 개선하고, 도시 하부 지질 및 지반구조물의 영향을 통합 평가하는 기술을 개발함
- 서울 지하철 9호선 일부 공사구간 및 잠실 인근 도로에서 지반이 함몰되거나 지하공동이 발생하여, 시민들에게 불안감을 야기하는 사례가 빈번히 발생하는 등 사회적 이슈로 부각되고 있는 실정임
- 도심지가 고도화 되고 지하공간개발이 많이 수행하고 있는 현대사회에서 도심지 지하수와 연계된 지반구조의 변형을 초래하는 지반함몰이 많이 발생하고 있으며, 이에 대응하기 위한 도심지내 지하수 관리 및 지반변형 예측·방지 기술의 개발이 요구됨



〈그림 1-3〉 과제 추진 배경 및 필요성

- 지하수는 공공의 자산으로서 도심에서는 중수도, 민방위 용수, 도시 열섬제어, 환경관리 청소용수 등 다양하게 활용될 수 있으나, 효율적이고 과학적인 관리가 이루어지지 않는 경우에는 지반침하 및 함몰을 유발하거나, 도심의 복잡한 지하매설물에 영향을 주어 사회기반시설의 유지에 피해를 유발할 수 있음
- 특히, 우리나라와 같이 밀집도가 높은 대도시에서는 지하에 대규모 인프라 시설이 설치되어 있으며, 각종 라이프 라인, 지하철 및 지하차도 등의 교통시설도 복잡하게 얽혀있어서, 지하수의 영향으로 지반유동이 발생되면 복구 및 수습에 큰 피해가 발생할 수 있음
- 최근 사회문제로 쟁점화된 서울의 한강 주변에서 발생한 지반함몰은 지하수의 영향이 있는 것으로 추정되는 상황으로 체계화된 도심지 지하수 관리가 필요함을 알 수 있음

- 현재의 도심 광역지하수 관리는 지하수 관측공의 공내 수위 자료에 절대적으로 의존하고 있어서, 지하수 활용 및 재난 대비 관점의 기법 도입은 부족한 측면이 있으며, 다수의 지하수 관측망의 유지관리 비용이 지속적으로 상승하고 있어 어려움이 있음
- 지하수로 인한 지반침하 재난·재해 사고는 인명손실의 위험까지 유발할 수 있으나, 지반구조물과 연관된 안전에 관한 연구는 전무함. 기존의 계측망 관리는 센서노드 결함/고장 발생 등으로 데이터의 신뢰성이 의심받는 사례도 있어서, 단순 스캐닝이 아닌 상시 모니터링과 신속한 대처가 가능한 시스템의 개발이 요구됨



(그림1-4) 도심지 지하수에 의해 발생하는 지반구조물 영향(한국건설기술연구원, 2007)

- 기후변화 등으로 수문환경이 수시로 바뀌고 있어 지반의 미세한 불안전성이 과거보다 증가하고 있는 실정으로서 도심지 지반 변형에 대한 공공적인 관점에서의 정량적 평가가 필요함. 도심도 지하 공간의 개발이 활발하게 추진되는 상황에서 도시지역에 대한 종합적인 지하수 관리 기술 및 지침 개발이 필요함
- 국가 재정부담 경감을 위해 경제적으로 노후 시설물의 성능·안전성을 유지함과 동시에 건설 시공 및 유지관리에서의 안전사고 예방기술 개발 지원이 필요함. 국가적으로 도심지 지하 시설물에 대한 예방중심의 선제적 재난·재해 관리 및 신속 복구 시스템 구축을 추진 중에 있음. 특히, 국토교통부 [건설재해 선제대응 기술개발]를 통한 재해 발생률 15% 저감의 목표로 “재난·재해 대비 시설물 유지관리 및 건설안전 기술”분야 수행을 위한 상세 기술 개발이 요구됨

## 2. 기획 과제의 범위

- 본 기획연구에서는 관련 시장 및 기술 전망 분석을 통해 “도심지에서의 지하수, 지반구조 영향 계측·평가·관리기술 개발”의 연구개발 목표, 개발내용, 추진전략 및 관련 기술로드맵을 제시하는 것임
- 본 기획연구에서는 다음과 같이 실제 연구개발이 요구되는 기술들을 상세 분석하여 연구개발 전략을 제시하고자 함

### 가. 도심지 광역 지하수 관리기술 분야

- 도심지 광역적 지하 지반구조 및 지하 매설물 파악 기술
- 도심지 지반굴착에 따른 지표수, 지하수 유동 및 물수지 평가 기술
- 도심지 지반함몰 예방을 위한 지하수 계측 및 모니터링 기법
- 재난/재해 대응 3차원 지하수 관리시스템

### 나. 지반구조물 주변 지하수 관리기술 분야

- 지하수와 지하 구조물에 의한 지반 변상 분석기법
- 건축물 및 지하구조물 주변 지하수 흐름 관리기법
- 지하수 및 지반구조물 통합 계측 및 관리 효율 향상을 위한 신개념 시스템
- 지하수위 변화에 의한 도시지반 침하 측정 기술

## 3. 기술분류

- 기술분류는 본 기획과제의 범위를 기술별로 재분류하여 설정하였으며, 크게 2개의 대분류로 나누어, 각각 ‘도심지 광역 지하수 관리기술’과 ‘지반구조물 주변 지하수 관리기술’로 분류

### 가. 도심지 광역 지하수 관리기술 분야

- 4개의 중분류로 나누었으며, 각 분류는 다음과 같으며, 각 중분류마다 하위에 3~7개의 소분류가 있음
  - 도심지 광역적 지하 지반구조 및 지하 매설물 파악 기술
  - 도심지 지반굴착에 따른 지표수, 지하수 유동 및 물수지 평가 기술
  - 도심지 지반함몰 예방을 위한 지하수 계측 및 모니터링 기법
  - 재난/재해 대응 3차원 지하수 관리시스템

[표 1-2] 도심지 광역 지하수 관리기술 분야 기술분류체계

대분류	중분류	소분류
도심지 광역 지하수 관리 기술	도심지 광역적 지하 지반구조 및 지하 매설물 파악기법	광역적 지하 지반구조 및 지하매설물 탐지기법(지하탐지기술) SUE(Subsurface Utility Engineering)기법기반 도심지 지반구조 및 매설물 탐지 프레임 개발(지하탐지기술) 도심지 지하수 환경변화 예측을 위한 광역 3차원 지하 지반구조 작성 프로그램 (지반구조 모델링) 도심지역 천부지반 정밀 탐지를 위한 복합물리탐사와 소형시추장비 개발(지반탐사 기술) 노이즈 최소화 지반탐사를 통한 이상대 탐지 기법(지반탐사 기술) 지층별 수리지질특성치 분포 추정 및 해석기술(지질특성치 해석기술)
	도심지 지반굴착에 따른 지표수, 지하수 유동 및 물수지 평가 기술	대규모 지반굴착에 따른 지하수-지표수 상호작용 실시간 모니터링 및 분석기술(지반굴착에 따른 지하수 해석 기술) 대규모 지하개발이 지하수위 변동에 미치는 영향평가 기법연구(지하개발에 따른 지하수 영향평가기술) 도심지 지반굴착에 따른 지하수 유동 및 지하수-지반변상 분석 및 예측 (지하수-지반변형 통합해석기술) 도심지 지표-지하 통합 물수지 평가기술(도심지 통합 물수지 평가기술) 도심지 지하수 함양 및 배출 해석기술(도심지 수문성분 정량화 기술) 도심지 광역 지하수 환경변화 예측기술(지하수 유동과 오염물의 거동 예측기술) 도심지 통합 수문해석-지반침하 연계분석기술(통합 수문-지반침하 결합해석 기술) 도심지 최적 지하수 관측망 구성기법(지하수 관측망 관리 기술)
	도심지 지반함몰 예방을 위한 지하수 계측 및 모니터링 기법	첨단장비를 활용한 지하유출수 계측기법 개발(유출지하수량 계측) 지하수위 이상변동 모니터링 및 평가기법(도심지 이상 지하수위 평가 기법) 도심지하천-지하수 연계 모니터링 기법(하천-지하수 상호작용 모니터링 기술) 동공/싱크홀 사전징후 모니터링 첨단기법(지반안전 사전 모니터링 기술)
	재난/재해 대응 3차원 지하수 관리시스템	재난재해 대비 3차원 지하수 분포 및 매설물도 작성기법(지하수/매설물 분포도) 도심지 광역 지하수관리 3차원 최적영상구현 (지하수 분포 입체도) 지반구조 및 지하수 관련 시설 BIM기반 PC와 모바일 연동 양방향 모니터링 시스템(지반 및 지하수시설 실시간 모니터링)

나. 지반구조물 주변 지하수 관리기술 분야

- 4개의 중분류로 나누었으며, 각 분류는 다음과 같으며, 각 중분류마다 하위에 5~6개의 소분류가 있음
- 지하수와 지하 구조물에 의한 지반 변상 분석기법
- 건축물 및 지하구조물 주변 지하수 흐름 관리기법
- 지하수 및 지반구조물 통합 계측 및 관리 효율 향상을 위한 신개념 시스템
- 지하수위 변화에 의한 도시지반 침하 측정 기술

[표 1-3] 지반구조물 주변 지하수 관리기술 분야 기술분류체계

대분류	중분류	소분류
지반구조물 주변 지하수 관리 기술	지하수와 지하 구조물에 의한 지반 변상 분석기법	대형구조물 주변에서의 지질 유형별 지하수위 유지 기술개발 지질종류별 지하수에 의한 지반변상 분석기법 지하수와 지반변형을 동시에 고려한 모델 프로그램 개발 모형시험을 통한 지하수 및 지하구조물의 상관관계 규명 지하수 및 토사유출에 의한 주변지반 공동형성 원인분석 도심지 3차원 지하수 지도구축
	건축물 및 지하구조물 주변 지하수 흐름 관리기법	지하구조물 종류별 주변 지하수 흐름 안정화 공법 지반종류별 지하구조물 주변의 도심 함양시설 설치 관리 기술 지하수위 복원을 위한 지하수 압력 주입기법 지하구조물 및 굴착 차수 시스템의 건전도 평가 및 계측기법 지하수 관측공을 이용한 지하구조물 주변 관리기법 지하철 및 건축물의 지하수 유출수 관리 및 활용기법
	지하수 및 지반구조물 통합 계측 및 관리 효율 향상을 위한 신개념 시스템	신개념 지하수 측정 시스템 개발 도심지 저속 지하수 대응 유향-유속 동시측정 시스템 단일공 다지점 지하수 흐름 측정 시스템 구조물 주변 지하수 관측망 관리용 고안정성 통신데이터 장애관리 및 자동복구 시스템 굴착공사시 발생 지하수 유출량 실시간 측정 기술 도심지 지하수 함양량 측정 시스템 개발
	지하수위 변화에 의한 도시지반 침하 측정 기술	지중구조물 종류별 주변 지하수, 지반침하 통합 스마트 관리기술 IT기술을 이용한 굴착공사 주변 침하 및 붕괴대응 안전관리기술 침하 및 함몰예방을 위한 도심지 굴착공사 지하수 관리 및 계측 가이드 라인 개발 지하수위 변화에 따른 구조물 기초 건전도 평가기술 도로주행형 도시지반 침하 측정 및 관리 시스템 개발

## 2

## 동향조사 및 환경분석

## 1절 국내외 정책동향

## 1. 국외 정책동향

- 미국의 경우, 건설산업을 6대 전략산업으로 지정하고, 건설부문 공기 50% 단축, 유지관리 비용 50% 감소, 생산성과 안전성 30% 향상을 목표로 구체적인 전략 제시 및 획기적 투자 시행
  - 건설 통합 및 자동화, 재난·재해 연구, 지속가능한 인프라 재료 등의 기술분야에 R&D에 산 집중 투자
  - 「혁신, 교육 및 인프라 : '12년 예산상의 과학기술, STEM, 21세기 인프라」 주요 내용
  - 혁신 활성화 : 첨단기술 지식기반 경제에서 미국 주도권 강화 위해 비국방 R&D예산에 668억 달러 편성('10년 대비 41억 달러 증가, 국방R&D 812억 달러)
  - 과학적 선도분야 촉진 : 미국의 경제, 에너지, 기후, 환경 및 국가보안 관련 도전과제 해결을 위해 661억 달러 편성(2010년 대비 69억 달러 증가)
  - 인프라 투자 : 공공·민간분야의 혁신 촉진 및 새로운 산업 및 일자리 창출 활성화를 위한 기초적 역량 제공을 위해 30억 달러 투자 등
- 일본의 경우 '저탄소 사회구현'을 경제운용의 모토로 설정하는 등 건설환경 변화에 신속 대응
  - 지진 재해로부터 부흥·재생의 실현, 그린 이노베이션, 라이프 이노베이션과 기초연구 및 인재육성에 중점(신성장전략, 제4기 과학기술기본계획('11-'15) 등 수립)
  - 그린 이노베이션 분야 투자 확대 : ('09) 3,120억엔 → ('10) 3,857억엔 (20.5% 증가)
  - 「제4기 과학기술기본계획('11-'15)」 주요 내용은 과학기술정책이 지향해야 할 5대 국가 목표 제시

- 지진 재해로부터 부흥·재생을 이루어 지속적인 성장·발전 실현
  - 안전하고 풍부하고 질 높은 국민 생활을 실현하는 국가
  - 대규모 자연재해 등 지구규모 문제의 해결 선도
  - 국가 존립의 기반이 되는 핵심 과학기술 보유
  - 지식자산을 지속적으로 창출하여 과학기술 육성
- 유럽의 경우, FP7, 전략적 에너지기술 계획, 인텔리전트 에너지 프로그램(Intelligent Energy-Europe Programme), 유럽 2020 등 가장 적극적인 녹색성장 정책 추진
    - FP7(7th Framework Programme, '07- '13), 유럽 2020(스마트하고 지속가능하며 포괄적인 성장 전략)
    - (건설분야) FP7, ERA, ETP, 유럽 첨단기술연구공동체(EUREKA)을 통해 R&D 프로그램 추진
    - ECTP(European Construction Technology Platform, vision 2030)을 통해 도시주거 환경 개선, 지하공간 개발, 사회기반시설 네트워크, 문화유산, 삶의 질 향상, 신재료 개발 등을 진행
    - '14~'20 FP8(Horizon 2020) 주제별 협동 프로그램 총예산(7년간 800억 파운드)
  - 그 외, 중국의 경우, 제12차 5개년 계획('11~'15)에 서민주택 건설, 교통 인프라 증설, 친환경 에너지 인프라 증설 등이 포함되어 있으며, 친환경 첨단 산업을 집중 육성할 예정
    - 해외기업과의 M&A를 적극 추진하여 해외시장에서 중국기업의 경쟁력 제고
    - 「과학기술발전 제12차 5개년 계획('11~'15)」 주요 내용
    - 중대 과학기술 전문 프로젝트 실시 가속화 : 중대 과학기술 전문 프로젝트에 대한 집중 투자를 통해 일정기간내 핵심기술과 제품 개발로 국가목표 실현
      - 전략적 신흥산업 육성 및 발전 : 신흥산업 발전 위한 주요기술 및 범용기술 관련 연구 역량 집중 및 핵심 경쟁력 강화
      - 중점분야 핵심기술 발전을 통한 산업고도화 : 고부가가치 핵심·중요기술 개발 및 지적재산권 확보를 통해 산업고도화 및 민생 개선
      - 기초연구와 선도기술 연구 우선추진 : 독자기술개발 능력 및 장기적 과학기술 발전능력 제고를 위해 기초연구와 선도기술연구 강력 추진 등

## 2. 국내 정책동향

### □ 국토교통부

- 국토교통 연구개발사업의 중장기 투자 및 연구개발 방향 제시를 위한 창조경제 실현을 위한 국토교통 R&D 중장기전략 과 연계
- 국토교통 R&D 중장기전략('14~'23) 의 10대 중점프로젝트와 국토교통 연구개발사업 과 연계하여 비전 및 전략 가치 공유
- 국토교통기술을 통한 국민행복 및 글로벌 가치 창조를 위해 국토교통기술 4대 전략을 실현하기 위한 전략별 10대 중점프로젝트(Value Creator 2.0) 발굴
- 건설교통 R&D 중장기계획('13~'17) 및 국토교통 R&D 중장기 전략('14~'23) 에 따라 예산 편성
  - (건설부문) 시설물 안전 및 자연재해 대응 등 선제적 재난관리와 빅데이터 분야 등 미래 성장동력 R&D 확대
  - 재난·재해 대응 사회기반시설 안전성 확보 및 주거 등 사회문제 해결을 위한 증액 소요 반영
- 소관 도시계획, 시설물 설계, 시공 및 유지관리 기준 점검
- 싱크홀의 조기발견 및 싱크홀 발생시의 행동요령 등을 정립
- 국토교통부 관할의 국토지반정보시스템의 개선 및 활용방안 검토
- 시설물 유지관리를 체계화하여 싱크홀 대책검토
- 광역상수도 간선망 유지관리 체계 정비 검토
- 싱크홀을 예방하는 시설물 설계, 시공, 지반조사 및 유지관리 국가 기준 개선 및 개발연구
- 국토부 관할의 국토지반정보시스템의 개선 연구
- 시설물 유지관리 기법 개선 연구

### □ 미래창조부

- 과학기술 R&D를 통한 국민행복 증진 및 경제 재도약
- 기초자료 수집 및 원천기술 개발, 미래산업 원천기술 및 산업기반기술의 전략적 개발
- 싱크홀이 발생하는 지질, 지반 및 지하수에 대한 기초자료 축적 및 활용기법 개발
- 경제적인 싱크홀 탐사기법 도출

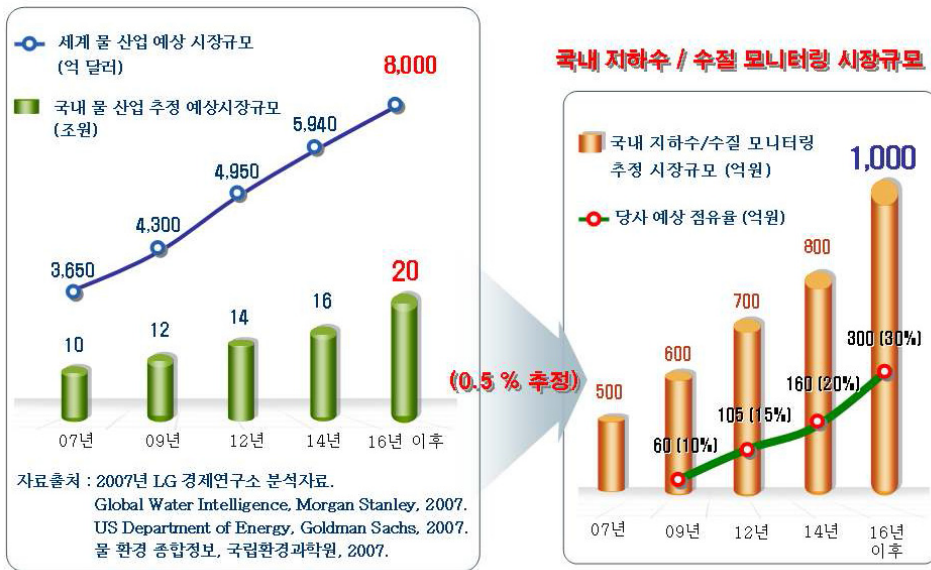
- 지장물이 많은 도시부에 적용 가능한 신개념 탐사기법의 도입
- 싱크홀 전조 증상 파악 및 해석 기법 개발
- 기존 구조물의 싱크홀 발생에 대한 긴급 보강기술 개발
- 장비, 제품 및 공법 개발
  - 신개념 싱크홀 탐사 장비 개발 (하드웨어 및 해석 기법)
  - 싱크홀에 강한 지중구조물(지하매설물 포함) 개발
  - 긴급 싱크홀 보강 공법 개발
- 국민안전처 및 행정자치부
  - 국민안전처 주관의 '재난법' 적용여부 검토
  - 대형 싱크홀 발생에 따른 재난대응체계 정비 검토
  - 중앙정부 차원의 예산 등 지원체계 검토
  - 지하시설물 점검을 위한 순찰 및 긴급점검 대책 수립(서울시, 부산시 등)
  - 서울시 지반정보통합관리 시스템을 기반으로 하는 위험지역 도출 및 선제적 대응 체계 검토(서울시)
  - 싱크홀 다수 발생에 따른 재난대응체계 및 제도 개선 연구
  - 중앙정부의 지원체계 연구
  - 지자체의 긴급점검 및 복구동원 체계 개선 연구
- 환경부
  - 상하수도 설치 및 유지관리 기준 점검 및 개정 연구 및 검토
  - 상하수도 노후실태 파악하여 종합대책 검토

## 2절 국내외 시장현황 및 전망

- 미국, 일본 등 선진국에서 지하터널에서 발생하는 유출지하수를 감소시키기 위하여 실드공법에 의한 선진갱도 굴착, 선진갱도에서 발생하는 유출수의 차수를 위한 그라우팅공법 등의 기술은 이미 개발하였으나, 지하 터널에서 지하수 유출에 의한 지하수 고갈, 지반침하, 수질 악화 등의 지하수 장애방지에 관한 기술 개발은 부족한 상태임
- 국내 지반구조 탐사 기술은 주로 자원개발을 목적으로 이루어지고 있으며 2004년~2010년 동안 국외 시장이 80~130억불 규모인 반면 국내는 0.6~2억불규모로 저조한 실정(한국에너지기술평가원, www.ketp.re.kr에서 수정)이며 이중에서 주로 해외 탐사기기를 도입해 새로이 적용하는 방식이 대부분으로 현재 문제가 되고 있는 환경재해 안전 차원에서 이루어지기 위한 지반구조 탐사 자료 해석 기술시장은 미약한 것으로 추정됨
- 국내 지하수 모니터링은 국제수문개발계획(IHP)을 통해 1982년부터 2005년까지 물수지 분석을 목적으로 대표시험유역에서 지하수위 관측소가 운영됨. 하지만, 이 기간동안 경제개발과 더불어 무분별하게 지하수자원을 개발하여 지하수 고갈과 오염문제로 인해 정부는 깨끗한 지하수 자원을 인위적인 오염으로부터 보호하고 개발가능량 이내에서 개발하도록 하기 위해 지하수법과 먹는물관리법을 시행하고 1차, 2차 지하수관리 기본계획을 통해 전국 348개소에 국가지하수 관측망이 설치함. 이외에도 농촌지하수 관리 관측망 84개소, 해수침투 관측망 117개소가 운영(제3차 지하수관리기본계획, 2012)되었으며 상업적으로 지하수를 개발, 판매하고 있는 먹는샘물에 대해 먹는샘물 업체가 감시정을 운영하여 매월 해당 지자체에 보고하고, 해당지역 환경청에서 매5년마다 실시하는 먹는샘물 환경영향 평가에 이를 반영하도록 하고 있음
- 국내 지하수 모니터링 시장은 정부의 관련 법령제정아래 지하수법하에 국가지하수 관측망 확충, 먹는물 관리법아래 상업적 먹는샘물 환경영향평가를 위한 감시망 구축으로 해마다 증가하는 추세이며 자료획득 관측기와 이를 실시간으로 관리하는 자료수집부분에도 어느 정도 국산화가 이루어지고 있지만 국외상업시장에 비해 규모가 미약하며 주로 지하수를 대체수자원 개발 및 이용 목적으로 관측이 이루어지고 있어 지반침하 같은 국가적 재난 대비 안전망 구축을 위한 관측망 구성 및 정밀한 자료획득에는 한계가 있음
- 미래 전략산업으로 집중 육성하는 정부 계획에 따라 떠오르는 황금산업(BLUEGOLD)으로 비유되고 있는 물 산업 규모를 최근 발표한 LG 경제연구소에 의하면, 2007년 현재 물 산업의 세계시장 규모는 기관별로 차이가 있지만 세계적으로 약 3,000억 달러에 이르는 것으로 추산되고 있으며, 연평균 6% 내외의 성장을 통해 2012년에는 5,000억 달러의 시장이 형성될 것으로 관측되고 있음. 다가오는 2016년 이후에는 8,000억 달러를 육박하는 거대규모의 시장형성이 전망되며, 더불어 중국, 동남아시아, 중동, 아프리카 등 개도국 시장이 빠르게 성장하고 있음. 이러한 세계 물시장의 성장규모에 따라 국내 물 산업 추정 예상 시장규모를 정부의 '물 산업 육성 5개년 추진계획'과 연관하여 추정한다면, 2009년에는 12조원,

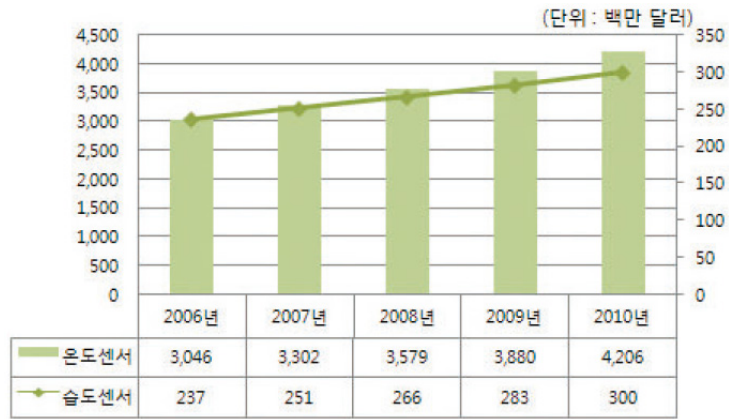
다가오는 2016년 이후에는 20조원으로 현재의 예상시장규모에 2배 이상의 거대 시장형성이 기대됨. 이러한 물 산업 시장규모에 따라 본 사업에서 추진되는 지하수 및 수질 모니터링분야의 세계 시장규모는 약 0.5 %로 추정한다면, 2012년 700억 달러, 2014년 800억 달러 그리고 2016년에는 1,000억 달러 규모로 지하수 및 수질 보전정책에 힘입어 급성장이 가능함(환경부,2009에서 발췌)

- 국내의 센서 기술을 선진국의 대략 70%(추정) 수준을 벗어나지 못하고 있음. 순수 개발 실적은 거의 전무하여 대부분의 토목용 계측기는 수입에 의존함. 2000년대에 들어서 개발 및 생산을 많이 하고는 있어 가격은 저렴해졌으나 정밀도나 내구성 측면에서 선진국(미국이나 일본 등) 수준에 이르지 못함. 특히, 자동화 시스템의 경우는 장기적으로 사용하는 제품이라 방수에 대한 내구성이 확보되어야 하나 아직 국내 기술수준이 미치지 못하고 있음
- 지하수 계측에 있어서 중요한 온·습도 센서 모듈의 경우 다품종 소량생산의 중소기업형 산업으로 초기 투자 규모를 기준으로 한 시장진입 장벽이 낮음. 품목별·적용분야별로 시장이 매우 세분화되어 있으며, 품목별로 요구되는 기술의 내용과 수준이 매우 다른 경우가 많아 업체들 간의 이질성이 큰 편임



〈그림 2-1〉 국내 수질 모니터링 시장 규모(환경부, 2009에서 발췌)

- 국내 센서산업은 수출 증가세가 두드러지고 있으나 여전히 대부분의 센서를 수입에 의존함. 중저급 기술의 센서는 중국 저가공세에 취약하고 미, 일, 유럽 등 센서기술 선진국은 산업보호 차원에서 센서기술 이전을 회피하고 있는 실정임. 특히, 반도체식 온·습도 복합 센서는 온, 습도 개별 센서의 90% 이상을 수입하여 조립에 의한 모듈로 제어시스템을 구성하고 있음



〈그림 2-2〉 국내 온, 습도 센서 시장규모 (기술평가정보유통시스템, 2008)

- 일반적으로 지하수 관련 관제 시스템에 적용하는 USN 관제 시스템을 도입하면 운영비용이 절약됨. 한 사례로 제주 USN기반 수질관리 시스템의 비용분석표를 관찰하면 USN 도입 이후 많은 비용이 79.2%의 비용 절감이 보고됨. 그러나 관측지역이 확장되고 관측정의 개수가 증가함에 따라 USN 관제시스템의 비용도 함께 증가하게 되므로 시스템의 운영비용을 최소화 하는 연구가 필요함

대분류	중분류	소분류	도입전	도입후	절감액	비고
인건비	문서작성 인건비	연간 관정 운전일지 작성비용	135	0	135	매일 1시간 소요
		진류염소 측정 및 확인	270	0	270	매일 2시간 소요
	연정점검 인건비	수자원본부 별별 점검	143	0	143	점검시간 2시간 소요
		수자원본부 반기점검	24	12	12	이동시간 2시간 소요
		연정관리자 매월점검	2,363	1,182	1,181	반기 1회 → 연 1회
		수시점검	2,684	0	2,684	매월 2회 → 1회 점검
소 계	5,619	1,193	4,426	360회/년 2.5시간 소요	78.8%	
경비	연정점검 유류비	수자원본부 별별 점검	34	0	34	관정당 이동거리 100KM
		수자원본부 반기점검	6	3	3	
		연정관리자 매월점검	739	369	370	관정당 이동거리 50KM
		수시점검	1,008	0	1,008	관정당 이동거리 100KM
	통신운영비	통신운영비	740	21	719	전용선(128K) 회선 과 USN/CDMA와의 비교
소 계	2,527	393	2,133		84.4% 절감	
재난 방지	낙뢰	수중모터캡트 소손	600	180	420	· 연 20회 발생-각 장비수리비 · 공사기간 동안 입자비용 · 소요인력 60명
		탱크토리 입자	30	9	21	
		탱크토리(← 수용가 이동 인건비)	163	49	114	
		기동제어함 소손	200	60	140	
		수위센서 소손	8	2	6	
	수중모터 과부하	수중모터캡트 소손	150	45	105	
	수위조절기 오작동	탄수발생으로 인한 불공금중단	30	9	21	
소 계	1,181	354	827		70% 절감	
합계		9,327	1,941	7,386		79.2%

〈그림 2-3〉 제주 지하수 수질관리 시스템 비용 분석표 (단위 백만/연)

- 다만, 시스템 개발 및 운영비용을 낮추게 되면 시스템의 신뢰성이나 데이터의 질적 수준이 저하될 가능성이 있음. 따라서 신뢰성 및 높은 질적 수준을 유지하면서도 개발, 설치 및 운영비용이 최소화 될 수 있는 관제시스템의 개발이 요구됨

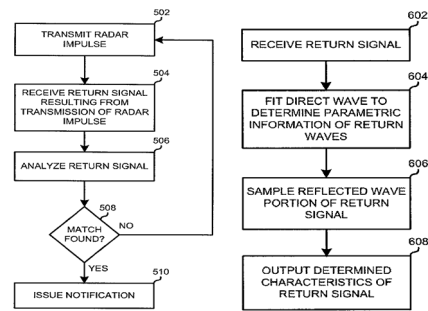
### 3절 국내외 기술동향

#### 1. 국외 기술동향

- 외국의 경우에도 유출지하수와 관련된 유사한 연구사례는 거의 없는 실정임. 단, 우리나라의 경우 선진 외국의 대도시와 달리 지하철의 깊이가 깊고 지층의 특성이 상이하므로 이에 대한 종합적인 접근이 필요함
- 특허청 보도 자료에서 소개한 미국의 3차원 지하투시이미지 레이저(GPIR) ‘CART 영상 시스템’이라는 명칭으로 상용화(2000년), 지하 1.8~3m 깊이 지하매설물 파악에 효과적인 장비개발이나 출원번호“US13536813”처럼 실시간으로 측정되는 반사파 자료를 분석하여 지하 이상유무 파악 기술과 같은 지하구조 파악기법 개발 등이 국산화 및 실용화 되어야 함



a) GPIR 탐사현장



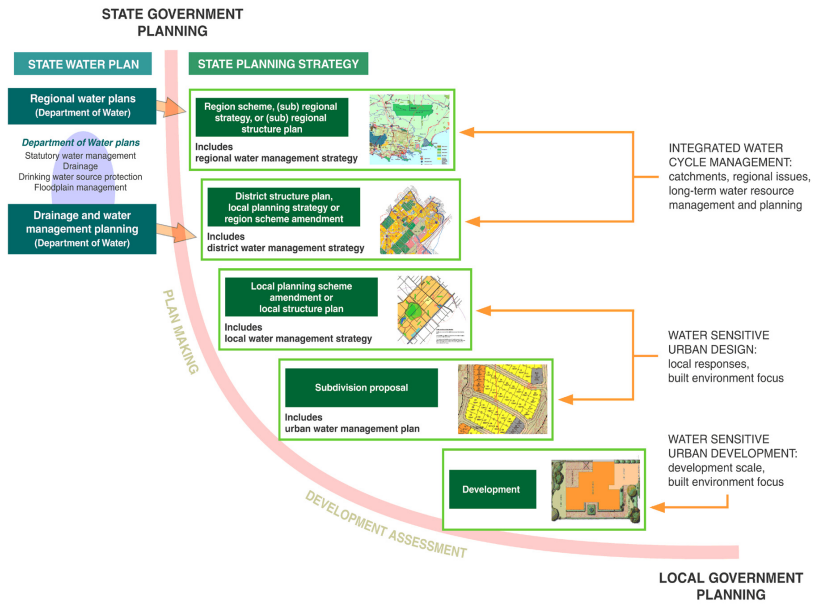
b) 출원번호“US13536813” 도면

〈그림 2-4〉 국외 도심지 탐사기술 사례 (www.kipo.go.kr 수정)

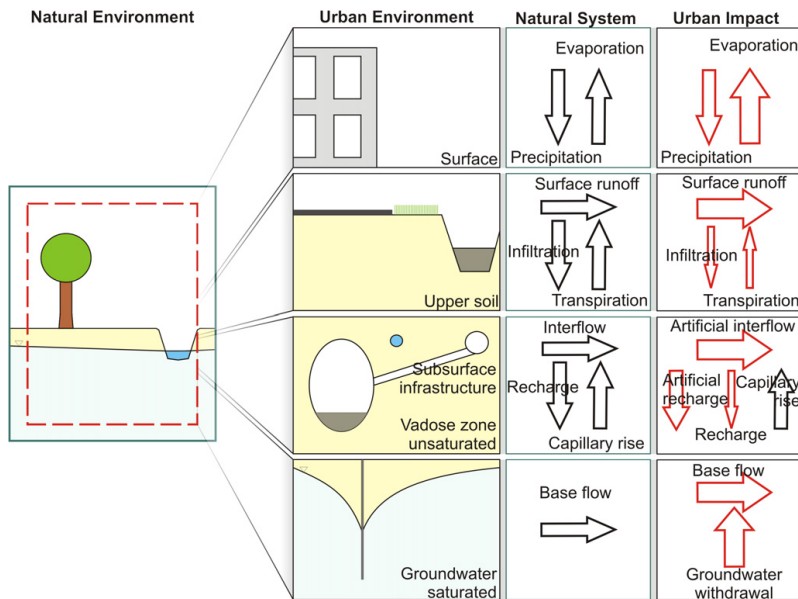
- Mossman R.W 등(1973)은 탄성과 탐사로 바이브로시즈를 이용하여 시카고 시의 고심도 터널공사에서 복잡한 하수관거시스템에서 우수가 넘쳐흐르는 것을 경감시키기 위해 확장 굴착공사시 천부암반층을 지도화하기 위해 수행되었음
- Kerim Mart nez 등(2011)은 탄성과 굴절법, 반사법, VSP법을 이용하여 코펜하겐 중심 지하철 공사현장에서 천부층을 이미지화 함
- Huawei Li 등(2012)은 중국 우한시의 복잡한 지하 관로 시스템의 관리와 유지를 위해 지하관로자료를 시각화하고 모델링함
- Riccardo Enrione 등(2014)은 이탈리아의 로마와 토리노 시의 전철구간에서 지하굴착시 고대유적과 이상체(자갈층, 성긴토양층, 시멘트 층 등)같은 위성요소를 파악하기 위하여 주요한 지질학적 위험성, 적절한 터널기초설계, 위험성평가 같은 지하굴착공사의 최적화된 설계를 위한 지구물리학적 기술(지오레이더, 지전기탐사, 탄성과 굴절법 토모그래피)과

MASW같은 지질공학적 분석을 복합적으로 수행함

- M.S. Gaber 등(1968)은 USGS에서 최초 깊은 심도의 지하수 관측정에 대해 설치되었던 각종 측정방법과 센서의 작동원리 등에 대해 설명하였음
- H. Allen Wehrman 등(1987)은 미국 일리노주 지하수 관측 모니터링의 지역 우선순위를 정하기 위한 방법을 설명하고 상업/산업활용에 의한 유해물질의 밀도, 공공용수를 공급을 위한 지하수 배출량, 사질대수층, 역질대수층, 얇은 기반암대수층의 개발가능량, 대수층의 오염취약성 등을 고려하여 일리노주 전체를 우선순위로 넘버링하고 이를 수치지도화 하였음
- O. S. Abu-Rizaiza 등(1989)은 사우디아라비아 제다 도시지역의 녹지 및 공원에서의 지하수위 상승과 지반침하를 추정하기 위해 110개의 지하수 관측망을 설정함
- David M. Nielsen 등(1991)은 지하수 모니터링과 관련된 미국의 주요 법령변천사와 모니터링에 필요한 관측정 개발에서 설치, 자료수집, 분석방법에 대한 여러 전문가의 의견을 정리하여 모니터링 현장의 지침서로 발간함
- Charles J. Taylor 등(2001)은 지하수 장기 모니터링 프로그램의 필수 요건과 원리를 설명하고 미국의 여러 도시를 들어 모니터링의 예를 보여줌
- Yuanhai Li 등(2004)은 지하수 개선 프로그램과 지하수 자료 품질의 손실없이 비용절감을 최대화 하기 위한 최적 지하수위 모니터링 network을 구축하기위해 유전자 알고리즘(GA)과 먹이와 개미굴사이의 최적경로를 찾아내는 개미집단최적화(ACO)기법을 결합하는 모니터링 관측공 선정기법을 소개함
- Marsh Lavenue 등(2007)은 미국 플로리다 주의 용수공급을 위한 지하수 모니터링 네트워크를 구축함에 있어 관측정의 중복과 불필요한 중복을 피하기 위해 최적화 기법(다목적 통계 민감도방법)을 개발하여 적용함
- 서호주 물관리부(2012)는 서호주정부의 Department of water에 의해 도시개발자들이 개발 전후로 도심지, 지역, 물관리 전략을 세울 때 필요사항을 결정하는데 도움을 주기 위하여 지표수와 지하수 시스템에 대한 모니터링 지침서로서 모니터링 항목 설정과 모니터링 프로그램 개발, 자료저장과 해석, 보고서 요건에 대한 의견이 들어 있으며 특히 지하수위 관측에 있어 충분히 지하수 반응이 수위에 나타날 수 있게 관측정 위치, 깊이, 스크린상태, 구경, 샘플링간격 등 자세한 사항을 제시하고 있으며, 수위, 수량부문은 개발 후 3년 이내 수문지질학적 상태변화로 인한 위험요소 발생유무 파악, 수질부문은 최대 10년 이상 파악할 것을 제안함



〈그림 2-5〉 도심지 개발에 따른 통합수자원 관리전략 (서호주정부, 2012)



〈그림 2-6〉 최근의 도심 지하수의 모의 모델 구축 개념(Schirmer et al. 2013)

- Yangxiao Zhoua 등(2013)은 중국 베이징 시의 통합적인 수자원 관리를 위해 기존 지하수 관측정의 관측네트워크를 개선하는 방법으로 지하수체계 구역을 지도화하여 GIS분석을 실시함
- Larson et al. (2001)은 미국 캘리포니아의 Los Banos-Kettleman 지역의 지반침하에 미치는 지하수의 영향을 살펴보았으며 최적화 이론과 지하수 유동 모델을 결합하는 방식으로 지반침하를 일으키지 않는 최적 지하수 개발에 대해 검토함

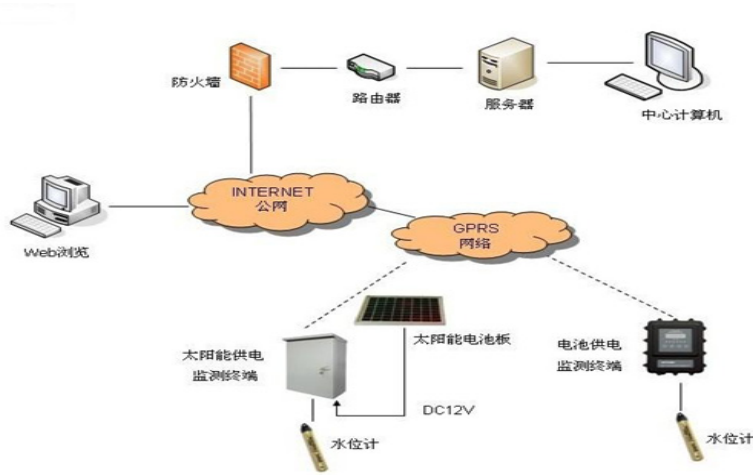
- Vazquez-Sune et al.(2005)는 스페인 바로셀로나의 도심시스템의 물수지를 설명하기 위해 포장된 도시에서는 직접적인 침투에 의한 함양은 줄어들 수 있으나 우수관로(pluvial soakaways) 인한 직접적인 함양 증가량으로 인해 감소 정도가 상쇄될 수 있음을 보여주는 한편, 불투수성의 도심 표면은 증발산의 급격한 감소를 초래해 결국 이용 가능한 수자원의 증가로 이어질 수 있다고 주장함
- Eping et al. (2008)은 터널 구간의 지하 고속도로 건설이 도심지하수에 영향을 미치는 것을 확인하여 공사가 진행되는 동안 지하수위가 상당히 강하하며 지하수 흐름의 변화를 야기한다는 것을 밝힘
- Jeppensen et al. (2011)은 덴마크 코펜하겐을 대상으로 1850년에서 2003년까지의 코펜하겐 유역 (976 km<sup>2</sup>)의 수문사이클을 모의하였으며, 포화대 뿐만 아니라 비포화대의 물수지, 상,하수 및 우수 관거 시스템 및 지하수 유동, 하천 간의 상호 영향을 조사하였음
- 중국의 경우는 도심지 지하수를 그 대상으로 하는 [도시 지하수 개발 이용보호관리규정(by the Ministry of Housing and Urban-Rural Development of the People's Republic of China (MOHURD) ]을 제정하여 중앙정부 및 지자체에서 직접 관리하고 있으며, 중앙정부의 환경보호법에는 국무원 행정 주관부서를 만들어 환경 모니터링 제도를 실시하며, 모니터링과 규범을 제정하여 중국내 수질오염 방지법에 의거한 환경 모니터링을 통한 지하수 환경의 상태를 파악하고 지하수 수질 보호 및 오염방지를 통한 국민의 건강 보장을 목표로 관련 기술표준을 제정하고 있음(the Ministry of Environmental Protection of the People's Republic of China)



现场安装示意图

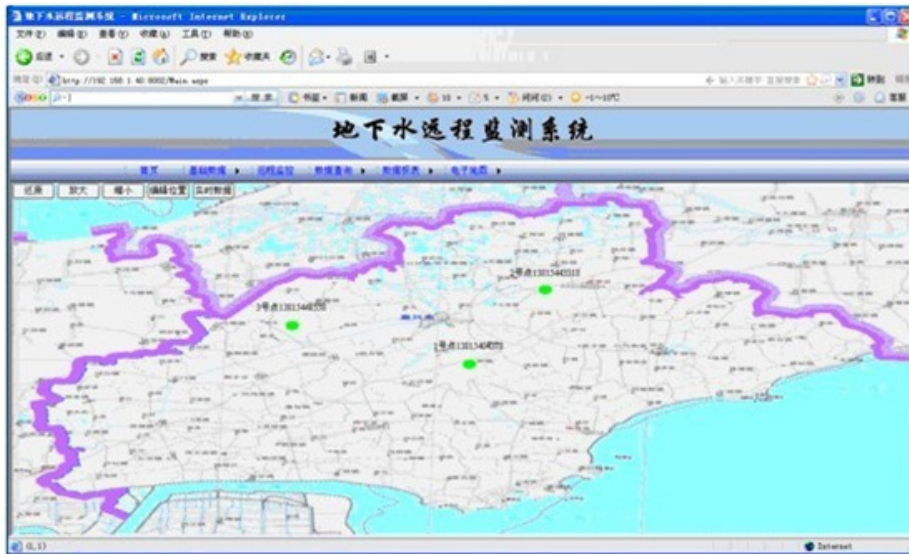
〈그림 2-7〉 관정내 실시간 측정용 계측기

- 특히, 상하이에서는 100개 이상의 함양정을 대상으로 네트워크화 하여 관리를 하고 있으며, GPRS(General Packet Radio Service)을 기반으로 실시간 지하수 모니터링 시스템을 구축하고 있음



〈그림 2-8〉 실시간 지하수 모니터링 개념도

- 이러한 시스템을 기반으로 도심지 지하수를 대상으로 하는 지하 수위, 온도, 전기 전도도 등의 데이터를 관제센터에서 확인할 수 있으며, 원격 감시 및 실시간 데이터 획득이 가능함

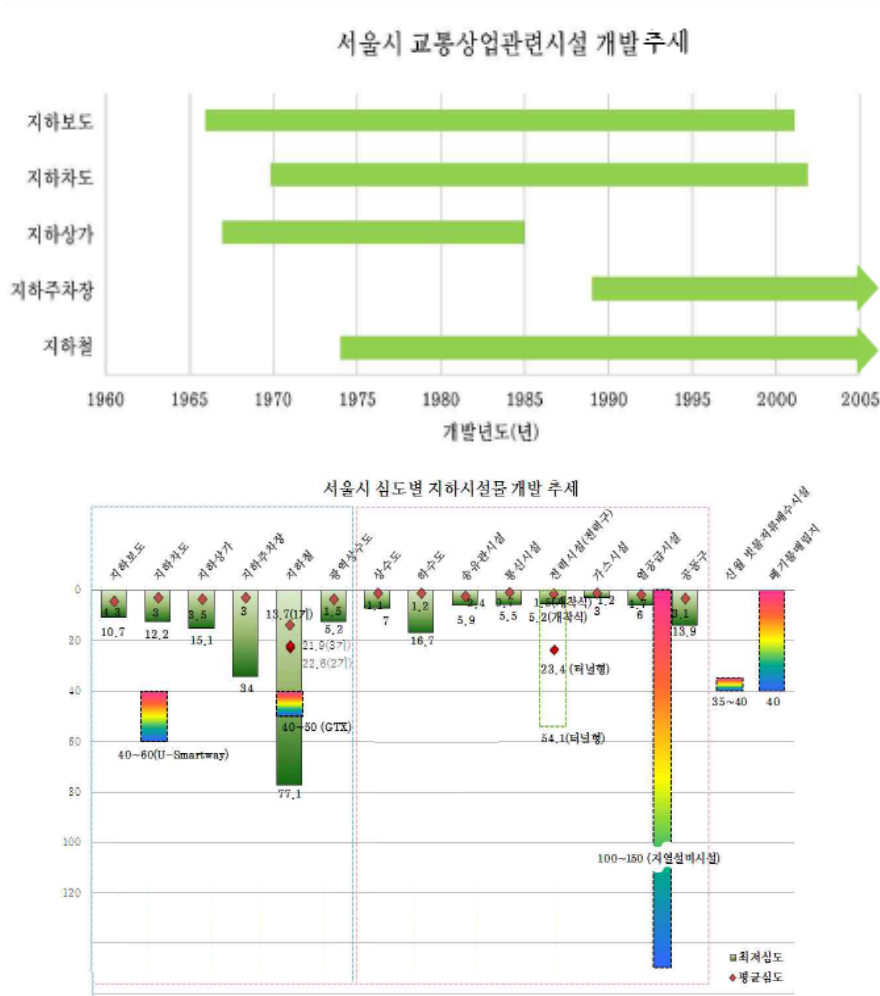


〈그림 2-9〉 중국의 지하수 원격감시 시스템의 사용자 인터페이스

## 2. 국내 기술동향

- 도심지역은 도시화에 따른 불투수성 지역의 증가, 지하철 및 통신구, 전력구 등에 의한 인위적인 지하수위의 강하 및 유출지하수 증가 등 다양한 인위적인 요인이 수문환경에 영향을 미치고 있어 도심지역에 대한 현장 계측 및 모델링, 실측 등을 통한 수문인자의 정확한 산정이 반드시 필요함

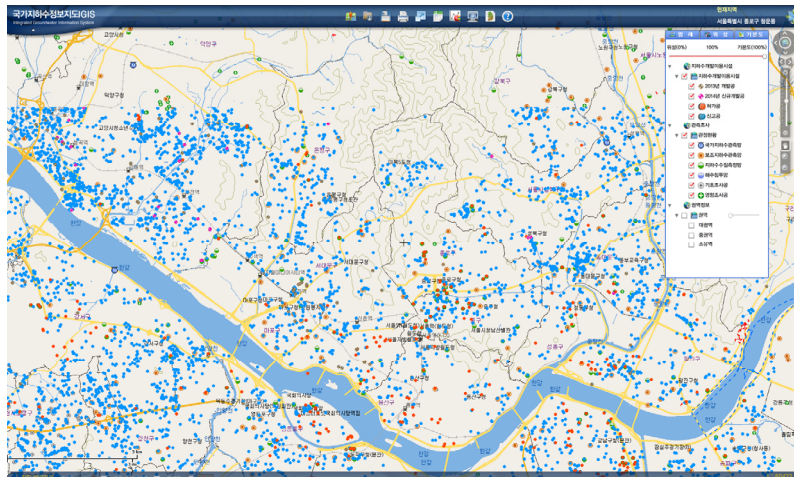
- 대도시의 지표피복 특성은 콘크리트 구조물로 구성되어 있으며, 생활하수 등으로 지하수 오염에 취약한 특징을 갖고 있으며, 아울러 지하철에서의 과다 양수 등은 오염원의 유동을 용이하게 하는 작용을 하므로 이에 대한 체계적인 대수층 취약성 평가를 토대로 도시지역 지하수 관리가 추진되어야 함
- 국내 터널에서 발생하는 유출지하수를 최소화하기 위하여 터널 공사기법을 선진화하고 있으나, 유출지하수에 의한 지하수 장애와 인근 하천의 건천화 기술 등에 대하여는 아직 이해가 부족한 실정임
- 20세기 후반부터 산업화와 인구증가로 인해 도시지역 지하공간의 개발 및 활용이 꾸준히 증가하는 추세이며, 이로 인해 도시지역 대형구조물에 영향을 미치는 지하수위 배출이 지속되고 있어 구조물 안전성에 대한 정밀한 평가가 요구됨
- 또한 최근에는 저탄소 녹색성장 측면에서 에너지 효율이 높은 대심도 지하 공간에 대한 수요가 급진적으로 증가하는 상황이며, 향후 대형 구조물의 설치시 지하수 영향에 의한 지반 변형이 설계 시공에 고려될 것으로 보임
- 최근에 기후변화 등으로 수문환경이 수시로 바뀌고 있어 지반의 미세한 불안전성이 과거보다 증가하고 있는 실정으로서 지반 변형에 대한 정량적 평가가 필요하며, 도시 지역 지하수 시스템 환경은 기존의 저심도 지하 공간에 비해서 대심도 지하 공간의 개발 및 활용에 보다 더욱 취약한 상태로, 유출지하수의 존재는 인근 오염원의 이동을 가속화 시키는 작용을 하고 있어 도시지역에 대한 종합적인 관리 시스템의 개발이 절실히 필요함
- 현재 국내의 경우 도시지역에는 심도별로 다양한 시설물이 설치되어 있어 자연적인 지하수의 흐름이 변형되는 경우가 일반적으로 존재하고 있음
  - 0~20m : 전기, 통신, 상하수도, 가수, 냉난방 등이 관로가 설치
  - 20~40m : 지하도로, 주차장, 상가, 지하철 등이 설치
  - 40m 이하 : 지하철, 주차장, 특수저장시설 등
- 이와 같은 지하 시설물의 설치심도, 규모 면에서 지속적으로 증가되어 왔으며, 최근에는 보다 다양한 유형의 지하 시설물이 지하에 설치되는 경향임. 현장 기술과 시스템 등은 실제 현장에서 적용한 사례가 거의 없으며 향후 국민의 생활안전과 관련하여 제도적 기반 위에서 지속 활용될 것으로 기대됨



〈그림 2-10〉 서울시의 지하 시설물 개발 현황(현운정 외, 2014)

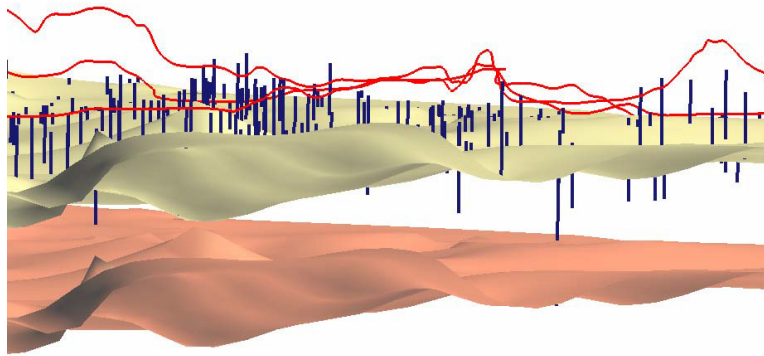
- 국내의 경우 도시지역의 대형 건축물 건설시 주변 지하수에 미치는 영향, 도시화에 따른 오염취약성, 지하수 유동의 변화 등에 대한 체계적인 평가 분석 기술은 미흡하며, 도시지역의 대형 건축물 건설시 주변 지하수에 미치는 영향이나 지하수로 인한 문제의 해결 방안 등에 대한 체계적인 평가 방안은 아직까지 마련된 바 없음
- 또한, 지하수 유출에 의한 지하수 수량 변화 및 지반변형의 통합적 예측 및 저감기술 개발 연구가 수행된 바 없음
- 도심지의 광역 지하수 흐름은 자연상태의 지하수 흐름과 다른 특성이 있음. 최근 도시화에 의한 도심 지하수 흐름은 함양을 측정하는 기술 개발에 관심이 모아지고 있으며, 도심 매설물에 의한 인공적인 함양 및 배출 관계가 아직 명확하게 밝혀지고 있지 않음. 특히 도심지 함양 예측, 하수 관거로 인한 지하수위 변화, 경계 조건 변화를 반영하는 연구는 여전히 그 가능성과 도전 과제들이 다수 남아있음

- 국내에서는 아직 시도되지 않은 방법이나 해외에서는 현존하는 모델을 일련적인 방법으로 결합하여 통합 모델링을 수행하는 방식이 대두되고 있으나 여전히 결과의 해석 수준은 초기 단계에 머무르고 있음. 고려되는 사항으로 포화대 및 비포화대의 물수지, 상·하수 및 우수 관거 시스템 및 지하수 유동, 하천 간의 상호 영향에 관한 요소를 꼽을 수 있음
- 지하수 유동 모델링 프로그램 내 지반 침하 및 대수층 수축에 관한 모의가 가능한 패키지에 대한 필요가 대두되고 있으며 최근 선진국을 중심으로 한 유명 프로그램들은 이와 관련한 패키지를 공급하기 시작함. 이를 사용하여 대수층의 수직적 붕괴에 의한 국지적 지반 침하 모의가 가능할 것으로 보이며 국내의 도심 지하수 환경 자료를 이용한 모의 및 분석이 가능할 것으로 판단함
- 국가지하수정보센터에서는 국가지하수관측망, 보조지하수관측망, 지하수수질측정망 및 해수침투관측망을 설치하고 수위 및 수질 자료를 지속적으로 관측하고 그 결과를 제공하고 있음. 일부 관측망이 국내 주요 도심에도 설치되어 있으나, 도심지하수는 일반 지하수관측보다 수직적인 지하수 공간정보가 필요하나 아직 설치/확보 단계에 이르지 못하였음



〈그림 2-11〉 2차원 지하수 관측 자료를 제공하는 국가지하수정보지도 사례 (서울시)

- 도심지내 3차원 지하수 공간정보를 구축하고 국가지하수정보망과 연계하여 도심지 재해에 대응할 수 있는 정보기반을 마련되어야 하며, 도심지 지하수위와 양수량, 지하철 유출수량, 상하수도 누수량, 하천유량, 지하수 함양량 등을 종합적으로 파악되어야 함
- 3차원 지하수공간정보를 이용하여 도심지 지표-지하 수문통합 평가 기술의 정밀함을 추구하고 상호 보완적인 feedback을 수용할 수 있도록 통합모델의 개발의 필요성이 있음



〈그림 2-12〉 3차원 지질특성 분포도 GEOCAD (Geoscience Australia)

- 지하수는 공공의 자산으로서 도심에서는 중수도, 민방위 용수, 도시 열섬제어, 환경관리 청소용수 등 다양하게 활용될 수 있으나, 효율적이고 과학적인 관리가 이루어지지 않는 경우에는 지중구조물과의 연관되어 지반함몰 등을 발생시키고 지반침하를 유발하거나, 도심의 복잡한 지하매설물에 영향을 주어 사회기반시설의 유지에 피해를 줄 수 있음
- 지하수위의 상승과 하강은 모두 지반구조물에 영향을 줄 수 있으며, 특히 국내와 같이 밀집도가 높은 대도시에서는 지하수의 영향으로 지반함몰 및 침하가 발생되면 피해가 커지므로, 사전 탐지 및 신속한 수습을 포함하는 관리 기술의 개선이 필요함
- 국내 지하수는 지하수관리기본계획(국토교통부, 2012)에 의거하여 전국에 걸쳐 수위 및 수질 관측망이 설치·운영되고 있으나 지역적 대표성을 가지기에 지하수공의 수량이 미흡한 수준임. 지하수의 관측자료는 자연적인 지하수의 변동을 관측하는데 집중되어 있어 특정 지하구조물에 의한 지하수의 장기적인 모니터링 관측망 설정에는 미비한 실정임
- 해외에서는 지하구조물 건설시 지하수에 의한 리스크 분석을 실시하고, 지하수의 관측망을 재설정하기도 하지만 국내에서는 국내 실정에 맞게 조정하여 반영하지 못하는 실정임
- 서울과 부산의 지하철은 가장 오래되어 노후화되어 있을 것으로 판단되며, 지하수의 영향으로 지하철 구조물에 영향이 발생되거나, 주변지반의 지반함몰이 발생할 수 있는 개연성이 있음. 지하수위와 함께 지하철 내부로의 유출수를 계측하여 지하수위와 유출량의 관계를 분석하고, 지반침하 계측 등을 활용하여 종합적인 접근이 필요하지만, 체계적인 접근이 이루어지지 않고 있는 상황임



〈그림 2-13〉 지하수 관리와 지하구조물과의 관계

- 국내에서는 친환경적인 물순환 등을 위하여 빗물침투시설과 같은 도심지 함양시설을 권장하고 있으나, 일부 지반에 있어서는 이러한 시설들이 지반함몰을 유발할 수 있음. 침투도랑, 빗물통, 보도 및 지면의 투수성 포장, 식생수로, 나무여과상자, 침투저류지등의 시설은 지하수 함양을 촉진시켜 광역적으로 지반침하를 예방하고 있으나, 지역적으로 국부적인 함몰을 유발할 수 있으므로 체계적인 접근과 함께 관련 기술을 개발하여야 함
- 지하수 관측망 관리를 인력에 의존하는 경우가 많아서, 다수의 지하수 관측망의 유지관리 비용이 지속적으로 상승하고 있음. 기존의 계측망 관리는 센서노드 결함/고장 발생 등으로 데이터의 신뢰성이 의심받는 사례도 있으며, 단순 스캐닝이 아닌 상시 모니터링과 신속한 대처가 가능한 시스템의 개발이 필요함
- 현재의 지하수공, 양수설비, 관측공의 상부시설, 지하수공내 상태진단 시설 및 지하수 수량 및 수질 모니터링에 대한 개선이 요구되고 있으며, IT기술, IOT기술 및 신개념의 센서 기술을 접목하는 기법개발이 필요한 상황임
- 국외의 사례에서는 구조물 주변에 수분센서를 사용하여 강우에 따른 지하수의 관계를 파악하고 지하구조물의 유지관리에 활용하고 있음. 일부 국내 업체에서 접촉형 센서가 개발되어 판매되고 있으나 층위별, 연속형 센서는 전무한 실정이며, 해외 방사형 제품은 가격이 약 500만원대의 고가로서 국산화 개발 등의 대책이 요구됨



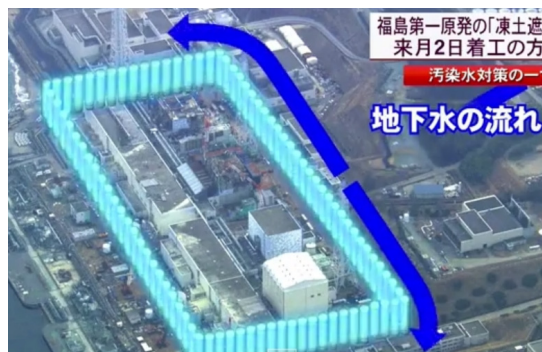
〈그림 2-14〉 층위 일체형 방사 수분센서 사례 (미국)

- 현재, 국가지하수 관측망 관리 시스템이 구축되어 Web상에서 구현되는 관측 상황판을 구축하고, 실시간 관측값 (수위, EC, 온도), SMS 전송 현황, 이상값 판단결과 및 관측정 설치 현황 및 관측소별 최근 점검정비 상태 (일자, 이상 유무 등)를 확인하여 전국의 관측소를 운영하고 있음
- 제주시의 경우에는 2005년부터 USN(Ubiquitous Sensor Network)을 이용한 수질관리 시스템을 추진하고 있으며, 상수원의 취수량과 수질, 기상, 환경 등의 수자원 관련 모니터링 및 관제시스템을 확충하는 사업을 추진 중에 있음. 지하수 수질 모니터링, 외부인 지하수 취수장 침입 탐지, 시설물 모니터링 및 원격 관리, 네트워크 구축 기능을 포함하고 있음
- 제주시의 시스템 운영 결과 USN 도입 이후 많은 비용이 79.2%의 비용 절감이 보고됨(염창열 외, 2008). 그러나 관측지역이 확장되고 관측정의 개수가 증가함에 따라 USN 관제시스템의 비용도 함께 증가하게 되므로 시스템의 운영비용을 최소화 하는 연구가 필요함. 다만, 시스템 개발 및 운영비용을 낮추게 되면 시스템의 신뢰성이나 데이터의 질적 수준이 저하될 가능성이 있으므로, 신뢰성 및 높은 질적 수준을 유지하면서도 개발, 설치 및 운용비용이 최소화 될 수 있는 관제시스템의 개발이 요구됨



a) 차수벽 국내 시공사례

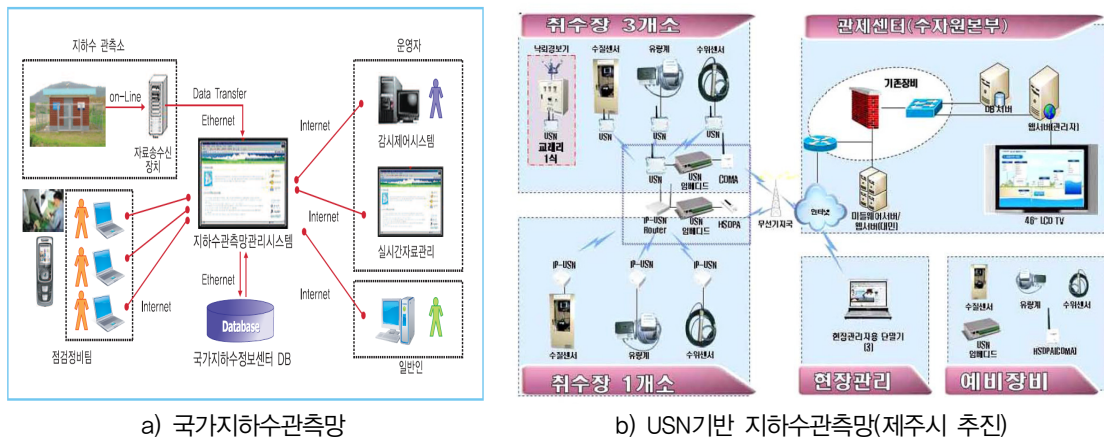
<http://cafe.naver.com/tomokin/367946>



b) 후쿠시마 원전 차수벽 사례 (일본)

**<그림 2-15> 지중구조물에 있어서 차수벽의 중요성**

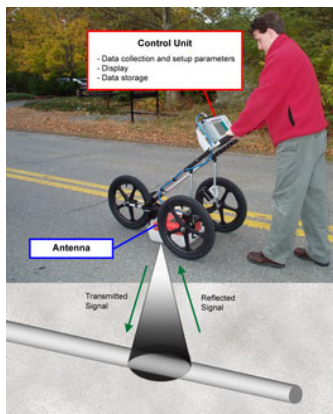
- 국내에서는 차수벽체에 대한 시공 품질 확인과 시공 후 유지관리 및 차수벽체의 보수공법의 정립이 부족한 실정이므로, 현장에서 용이하게 사용할 수 있는 차수벽 건전도 평가법이 제시되어야 하고, 운용의 효율화를 위해서 계측기법을 포함하는 종합적인 시스템의 개발이 요구됨
- 구조물의 지하수 차수 성능을 평가하는 기법은 검측공을 이용한 방법과 비검측공을 이용한 방법이 사용되고 있음. 검측공을 이용한 Crosshole Sonic Logging(CSL)기법은 1967년 프랑스에서 개발되었으며, 국내에서도 가장 많이 사용되고 있는 방법이지만, 다수의 도심지 구조물에 사용하기에는 공간, 시간 및 비용에 대한 어려움이 많기 때문에 신기술 및 신개념 관리 기법의 도입 등으로 개량이 필요한 실정임



〈그림 2-16〉 지하수관측망 관리시스템의 하드웨어 및 네트워크 사례

- 지하수 관측망 관리에 있어서 저비용으로 운영가능하고, 고신뢰성을 확보하는 시스템을 추구하기 위해서, 센서 등 부품 수급 등의 고려하여, Failure Mode and Effect Analysis, Fault Tree Analysis 등의 risk 분석을 실시하고 지하수 센서, 모듈 및 시스템의 취약점 및 발생 가능한 고장을 미리 분석하고 대응 가능한 운영전략 시스템을 연구하고 개발할 필요가 있음
- 차수벽은 지중구조물과 주변 지하수를 부분적 또는 완전하게 차단하는 주요한 구조물임. 일본 후쿠시마 원전의 사고 수습 공사에서 볼 수 있듯이 차수벽은 정밀하게 시공되어야 하고, 차수벽의 성능에 대하여 상세하게 검사하여야 실질적으로 주변 지반에 미치는 영향을 저감시킬 수 있음. 국내에서는 차수벽과 주변 지반과의 지지, 접촉상태 및 그라우팅구체의 구조적 결함을 파악할 수 있는 조사법과 충분한 기술력이 축적되지 않은 실정으로, 차수벽이 시공되었음에도 불구하고, 지하수 유출로 인한 배면지반의 공동(Cavity) 화 현상 발생 및 주변지반 침하를 유발하고 있음
- 지하수위 강하로 인한 지층 변화에 대한 연구는 외국에서도 일부만 수행되었으며, 대부분의 경우 수치 모델링에 초점을 맞추어 연구가 수행됨
- 국가지하수 관측망 관리 시스템의 구축: 전국의 320개소 지하수 관측소에 대한 운영 상태 상황관리를 위하여 Web상에서 구현되는 관측 상황판을 구축하고, 실시간 관측값 (수위, EC, 온도), SMS 전송 현황, 이상값 판단결과 및 관측정 설치 현황 및 관측소별 최근 점검 정비 상태 (일자, 이상 유무 등)를 확인하여 전국의 관측소 운영 관리 상태를 파악 가능하게 됨
- 관제업무는 지하수 관측자료 (지하수위, 수온, 전기전도도, 수질분석결과) 및 수문 자료를 이용하여 시계열 분석, 함양율 분석, 상관성분석, 수질경향성 분석, 등치선도 작성을 수행함
- 현재 지하수위는 지하수 보조관측망을 통해서, 매설물도는 설치 평면도로 구축되어 있음 (서울특별시 경우)

- 그러나 도시 이력이 오래된 곳에서는 abandon pipe 혹은 부접관들이 지하에 상존하고 있으며 이러한 지하매설물은 지하수위 하강, 혹은 굴착공사에 따른 지반변형으로 손상되어 관내로 지하수와 토사를 유입시켜 지반을 공동화 시킬 위험이 상존하고 있음
- 현재 국내의 기술 수준은 지상 GPR을 통하여 표기되지 않는 관을 찾고 있으나 관의 정확한 상태를 파악하여 대처하기엔 부족한 실정으로 로봇을 이용한 하수관거내 GPR 탐사 및 탄성과 탐사는 국내에서는 기술개발 사례가 없으며, 일본 및 캐나다 등지에서는 이미 기술개발이 완료되어 시험작동중 임
- 관거내 GPR 탐사는 전자기파 발신기 및 수신기가 장착된 로봇으로 관거의 파손, 균열 및 부식 등에 의한 관 두께 감소를 정량적으로 측정하여 관거 개량 또는 교체의 범위와 우선순위를 판정하기 위한 정보를 제공하고 있음



〈그림 2-17〉 기존 GPR탐사 방법과 하수관 노후화로 인한 붕괴사고

- 국외에서는 탄성과 탐사에서 지전기탐사나 GPR탐사를 병행하는 추세이지만 국내는 GPR 탐사나 전자기 탐사 위주로 이루어지고 있음
- 복잡한 도심지 지하구조파악을 위해 신호발생원의 출력을 높여 주변잡음을 줄이거나 직접 시추한 공내에 영상촬영이나 토모그래피법을 병행하여 다른 탐사법의 단점을 보완하는 추세임
- 지하매설물 파악시에는 탐사기법보다는 탐사방법의 절차를 보완하여 다양한 상황시 현장 대처 매뉴얼을 만들어 결측이나 오차부분을 감소시키는 경향임
- 배성호 등 (1996)은 GPR탐사의 기본원리와 국내적용 사례를 통해 그 적용성 및 한계를 논의한 바 있음
- 이현직 등(2002)은 기 제작된 지하시설물도의 정확도를 분석하여 오류유형을 구분하고, 현장실험을 통하여 탐사정확도와 위치측량 정확도를 향상시키고 공정개선으로 자료입력과정에서의 속성오류감소 방안을 마련함

- 안조범 등(2003)은 시추 및 전기비저항 자료를 동시에 비교가능한 프로그램을 개발하여 시추자료를 가시화하여 구조파악을 용이하게 한 바 있음
- 한공창 등(2003)은 인구밀집지역 지반안전 대책에 관한 연구로 도심지 연약 암반에 적합한 새로운 평가기법 및 프로그램 개발, 굴착에 따른 지반침하 예측모델개발, 도심지 지반조사에 적용할 수 있는 물리탐사 시스템 구축, 고출력, 고효율 전기비저항 탐사 장비 개발, GPR탐사와 자력탐사 측정 및 분석 시스템을 개선하여 지하 기반시설물의 3차원 영상화 기법 개발, 부산지역 황령산 일대 자연사면과 절취사면의 안정성 해석을 통해 부산 도심지 주변 황령산 일대 사면관리 시스템을 보완함
- 조성호 등(2010)은 도심지 지반조사에서 신뢰성 있는 성과를 도출하기 위하여 표면파기법(CapSASW)과 전기비저항기법(PDC-R)을 이종결합하여 새로운 HiRAS라는 기법을 정립함
- 조성호 등(2010a)은 전기비저항 시험을 도심지에서 수행하고자 할 때 대두되는 가장 큰 장애요인 중 하나인 전기잡음 문제를 최소화할 수 있는 유사직류 전기비저항 기법(Pseudo-DC Resistivity Survey, PDC-R)을 소개하고 교류 입력전원과 관련된 영향인자를 분석, 최적의 시험조건을 제시함
- 김재명 등(2010)은 서울시 지하시설물 중 하수, 전기, 가스배관의 GIS구축이 90%이상이지만 비금속 관로 비중이 높은 상수도 지하시설물의 성과율이 저조하여 이를 개선하기 위한 탐사방법 및 제도 개선안을 제시함
- 최정열 등(2013)은 지하 폐광도에 의한 지반침하 지역에서 전기비저항탐사와 시추공영상촬영을 통하여 지하공동의 분포 파악 및 지반 침하의 시간에 따른 변화량 측정을 수행함
- (현)서울시연구원(2000)은 서울시 지하수 사용량 증가에 따라 지하수의 양적, 질적 관리를 위해 서울시 지하수 정보의 GIS구축 및 관측망 자료의 유지, 관리, 전문가 시스템 활용 방안에 대해 논의함
- 건설교통부(2002)는 보조지하수관측망 설치 및 관리 지침으로 지하수 관측에 대한 일반적 사항, 보조 지하수 관측망 설치 및 운영관리 기준, 국가 지하수 관측망의 추진현황과 운영관리 계획, 수질측정망 등을 포함한 기타 관측시설의 현황과 활용 등으로 구성되어 있음
- 이진용 등(2002)은 도심지역 지하수 관리를 위해 신뢰성 있는 자료를 얻기 위해 관측센서의 주기적인 세척 및 보정이 필요하며 주기점검과 수시점검을 통해 센서의 작동불량, 고장에 신속히 대처할 수 있어야 한다고 제언함
- 박종철 등(2005)은 청계천유역 유지·보수를 위한 지하수 모니터링 자료 구축을 위해서는 기존의 지하수 관측망 이외 조사 및 목적에 맞도록 추가적인 관측망을 설치하여 장기적인 지하수 모델링이 필요하다고 제언함
- 김규범 등(2007)은 국가지하수 관측소의 실시간 관리체계 구축 및 운영에 대해 소개하면서 실시간 지하수 관측자료의 취득과 상황판 관리를 통한 즉각적인 분석체계의 구축으로 지하

수관측정에서의 결측 및 오측의 발생가능성을 떨어 뜨리게 되었으며 SMS 메시지송신에 의한 즉각적인 현장방문 점검으로 보다 양질의 관측데이터를 취득할 수 있게 함

- 우종태 등(2009)은 서울 지하철 5호선 약 57.9km구간내 60개소의 집수정을 약 6년동안 분기별로 조사한 결과를 바탕으로 터널내 지하수 유입량을 비교 연구함
- 정상용 등(2010, 2012)은 서울메트로가 제공한 자료를 바탕으로 서울시의 지하수이용량과 지하철 역사내로의 유출수를 추정하고 여기서 생겨날 수 있는 지하수 장애와 대책을 논의 하였으며 부산시 수영구의 지하수 오염 원인을 규명하기 위해 지질조사, 지하수위 및 수질 조사, 지하수이용량 조사, 하천수질조사, 지하철터널 유출수 조사 등을 통해 터널유출수로 인한 지하수위 저감이 해수 침입으로 이어짐을 밝힘
- Chae et al. (2008)은 서울 도심지역의 지하철 터널에 의한 지하수 유출수의 화학물질을 측정하고 도심 지하수의 오염을 진단하는 한편, 총 287 km에 이르는 지하철선로를 따라 심각한 지하수위 강화를 목격하였고 또한, 많은 폐공들의 존재를 확인하였음



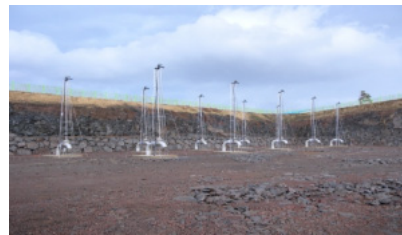
〈그림 2-18〉 사면붕괴 관리 사례  
(한국건설기술연구원)



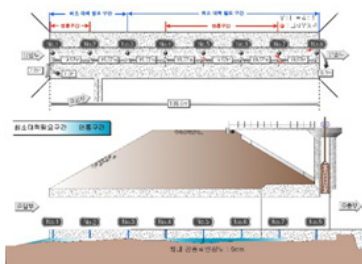
〈그림 2-19〉 지하수 재해지질도 작성을 위한 조사에



〈그림 2-20〉 지하수 재난용수 시스템 (일본)



〈그림 2-21〉 저류지를 통한 인공함양 (제주도, 환경일보)



〈그림 2-22〉 지반구조물 파손 및 지하수 유입 조사 사례



〈그림 2-23〉 지하매설물 파손과 지하수 영향에 의한 지반침하

### 3. 특허분석

- 도심지 광역 지하수 및 지반구조물 주변 지하수의 계측·평가·관리 기술 관련 특허 분석을 실시함
- 국내외 도심지 광역 지하수 및 지반구조물 주변 지하수의 계측·평가·관리 기술과 관련된 특허들을 분석하여 도심지 광역 지하수 및 지반구조물 주변 지하수의 계측·평가·관리 기술 개발의 과거-현재-미래의 방향, 추진전략 수립, 객관적인 관련 정보를 제공하고자 함

#### 가. 분석범위

- 검색엔진은 WIPSON, 톰슨 이노베이션, NDSL, 국토교통 창조경제 R&D포털, 한국특허정보원을 이용
- 본 분석에서는 출원일을 기준으로 2015년까지 한국, 미국, 일본 및 유럽에 출원(등록) 공개된 특허를 대상으로 검색엔진을 이용하여 검색한 공개특허(논문)를 분석 대상으로 함

[표 2-1] 특허 분석 범위

자료 구분	국 가	검색 DB	분석구간	검색범위
공개·등록특허 (공개·등록일 기준)	한국	WIPSON, Thomson Innovation, 국토교통 창조경제 R&D포털, 한국특허정보원, NDSL	~ 현재 (2015.4)	특허공개 및 등록 전체문서
	미국			특허공개 및 등록 전체문서
	일본			특허공개, 특허공개(공표), 특허공개(재공표) 전체문서
	유럽			EP-A(Applications) 및 EP-B(Granted) 전체문서

※ 분석구간: 한국, 미국, 일본, 유럽 - 2015(출원년도 기준)

#### 나. 분석기준

- 도심지 광역 지하수 및 지반구조물 주변 지하수의 중·장기적 계측·평가·관리기술에 대해 검색된 국내특허 및 해외특허에서 패밀리특허를 한국특허, 일본특허, 미국특허, 유럽특허 순으로 정리
- 공개공보와 등록공보가 중복된 경우 공개공보 삭제함
- 지하수와 관련이 적은 내용들은 노이즈로 제거하였으며, 본 과제를 도심지 광역 지하수 관리기술(A)과 지반구조물 주변 지하수 관리 기술(B)로 대분류를 분류하고, 이에 관한 특허만 남겨서 이를 중점적으로 분석함

- 본 과제외의 중분류인 도심지 광역적 지하 지반구조 및 지하 매설물 파악기술(AA), 도심지 지반굴착에 따른 지표수, 지하수 유동 및 물수지 평가 기술(AB), 도심지 지반함몰 예방을 위한 지하수 계측 및 모니터링 기술(AC), 재난/재해 대응 3차원 지하수 관리시스템(AD), 및 지하수와 지하 구조물에 의한 지반 변상 분석기술(BA), 건축물 및 지하구조물 주변 지하수 흐름 관리기술(BB), 지하수 및 지반구조물 통합 계측 및 관리 효율 향상을 위한 신개념 시스템(BC), 지하수위 변화에 의한 도시지반 침하 측정 기술(BD)을 포함하는 관련 특허들을 분석
- 본 분석에서는 과제의 RFP 제안서를 기초로 기술개발대상 범위 내에서 도심지 광역 지하수 관리기술(A)은 도심지 광역적 지하 지반구조 및 지하 매설물 파악기술(AA), 도심지 지반굴착에 따른 지표수, 지하수 유동 및 물수지 평가 기술(AB), 도심지 지반함몰 예방을 위한 지하수 계측 및 모니터링 기술(AC), 재난/재해 대응 3차원 지하수 관리시스템(AD)으로 세분화 하고, 지반구조물 주변 지하수 관리 기술(B)은 지하수와 지하 구조물에 의한 지반 변상 분석기술(BA), 건축물 및 지하구조물 주변 지하수 흐름 관리기술(BB), 지하수 및 지반구조물 통합 계측 및 관리 효율 향상을 위한 신개념 시스템(BC), 지하수위 변화에 의한 도시지반 침하 측정 기술(BD)로 세분화 하여 기술 분류를 확정함

[표 2-2] 특허분석을 위한 기술분류

대분류	중분류
도심지 광역 지하수 관리 기술 (A)	도심지 광역적 지하 지반구조 및 지하 매설물 파악기술 (AA)
	도심지 지반굴착에 따른 지표수, 지하수 유동 및 물수지 평가 기술 (AB)
	도심지 지반함몰 예방을 위한 지하수 계측 및 모니터링 기술 (AC)
	재난/재해 대응 3차원 지하수 관리시스템 (AD)
지반구조물 주변 지하수 관리 기술 (B)	지하수와 지하 구조물에 의한 지반 변상 분석기술 (BA)
	건축물 및 지하구조물 주변 지하수 흐름 관리기술 (BB)
	지하수 및 지반구조물 통합 계측 및 관리 효율 향상을 위한 신개념 시스템 (BC)
	지하수위 변화에 의한 도시지반 침하 측정 기술 (BD)

다. 특허 검색식 및 검색 결과

- 기술분류별 검색식 및 검색건수

대분류	중분류	검색식	검색 건수				
			한국	미국	일본	유럽	합계
도심지 광역 지하수 관리 기술 (A)	도심지 광역적 지하 지반구조 및 지하 매설물 파악기술 (AA)	(지하수* (서피스* 써피스* 언더그라운드* 그라운드* surface* ground* underground*) adj (워터* water*)) and ((매설* 매장* buried* (지반* 그라운드* groud) adj (구조* structure*)) and (탐지* 서베이* 써베이* 디텍트* 써치* 탐사* 모니터* 검측* detect* search* explor* 익스플로어* measur*	59	27	92	17	195

대분류	중분류	검색식	검색 건수				
			한국	미국	일본	유럽	합계
		계측* survey* investigat* inquir* probe* monitor* 파악* figure*)					
	도심지 지반굴착에 따른 지표수, 지하수 유동 및 물수지 평가 기술 (AB)	(지하수* (서피스* 써피스* 언더그라운드* 그라운드* surface* ground* underground*) adj (워터* water*)) and ((유동* 흐름* 플로우* flow* stream* 스트림*) (물수지* (워터* water*) adj (밸런스* 발란스* balance*)) adj (관측* 예측* 예보* 예상* 추정* 센서* 센싱* 감지* 검출* 측정* 탐지* 서베이* 서베이* 디텍트* 써치* 탐사* 모니터* 검측* 계측* 파악* observation* forecast* predict* estimat* presum* assum* infer* illat* sens* detect* measur* detect* search* measur* survey* investigat* inquir* probe* monitor* figure*) and (굴착* 터파기* 땅파기* excavat* dig*)	20	44	80	31	175
	기상변화에 대한 도로환경 관리 제어 기술 (AC)	(지하수* (서피스* 써피스* 언더그라운드* 그라운드* surface* ground* underground*) adj (워터* water*)) and (earth* 지반* 그라운드* groud*) and ((변화* 이변* 악화* 전환* 변경* 변화* 체인지* 바꾸* 바뀌* 함몰* 침하* 침강* 싱크* 싱크* 붕괴* change* variat* transit* shift* turn* aggravat* deteriorat* congest* collapse* sink* subsidence*) adj (관측* 예측* 예보* 예상* 추정* 센서* 센싱* 감지* 검출* 측정* 탐지* 서베이* 서베이* 디텍트* 써치* 탐사* 모니터* 검측* 계측* 파악* observation* forecast* predict* estimat* presum* assum* infer* illat* sens* detect* measur* detect* search* measur* survey* investigat* inquir* probe* monitor* figure*))	40	52	96	31	219
	재난/재해 대응 3차원 지하수 관리시스템 (AD)	(지하수* (서피스* 써피스* 언더그라운드* 그라운드* surface* ground* underground*) adj (워터* water*)) adj (관측* 예측* 예보* 예상* 추정* 센서* 센싱* 감지* 검출* 측정* 탐지* 서베이* 서베이* 디텍트* 써치* 탐사* 모니터* 검측* 계측* 파악* observation* forecast* predict* estimat* presum* assum* infer* illat* sens* detect* measur* detect* search* measur* survey* investigat* inquir* probe* monitor* figure*) and (홍수* flood* 재난* 재해* 민방위* disaster* calamity* catastrophe*)	62	42	72	20	196
지반구조물 주변 지하수 관리 기술 (B)	지하수와 지하 구조물에 의한 지반 변상 분석 기술 (BA)	(지하수* (서피스* 써피스* 언더그라운드* 그라운드* surface* ground* underground*) adj (워터* water*)) and (earth* 지반* 그라운드* groud*) and ((변상* 변화* 이변* 악화* 전환* 변경* 변화* 체인지* 바꾸* 바뀌* 함몰* 침하* 침강* 싱크* 싱크* 붕괴* change* variat* transit* shift* turn* aggravat* deteriorat* congest* collapse* sink* subsidence*) adj (관측* 예측* 예보* 예상* 추정* 센서* 센싱* 감지* 검출* 측정* 탐지* 서베이* 서베이* 디텍트* 써치* 탐사* 모니터* 검측* 계측* 파악* 분석* observation* forecast* predict* estimat*	35	120	202	57	414

대분류	중분류	검색식	검색 건수				
			한국	미국	일본	유럽	합계
		presum* assum* infer* illat* sens* detect* measur* detect* search* measur* survey* investigat* inquir* probe* monitor* figure* analysis* assay* analyz* ))					
	건축물 및 지하구조물 주변 지하수 흐름 관리 기술 (BB)	(지표수* 지하수* (서피스* 써피스* 언더그라운드* 그라운드* surface* ground* underground*) adj (워터* water*) and (유동* 흐름* 플로우* flow* stream* 스트림*)),key. and (관측* 예측* 예보* 예상* 추정* 센서* 센싱* 감지* 검출* 측정* 탐지* 서베이* 써베이* 디텍트* 써치* 탐사* 모니터* 검측* 계측* 파악* observation* forecast* predict* estimat* presum* assum* infer* illat* sens* detect* measur* detect* search* measur* survey* investigat* inquir* probe* monitor* figure*) and (지하철* 서브웨이* subway* 구조물* 스트럭처* 지하도* 방공호* (under* adj way*) (지반* 그라운드* ground*) adj (구조* 건축* 빌딩* 스트럭처* 스트럭처* build* structure*))	342	206	589	37	1,174
	지하수 및 지반구조물 통합 계측 및 관리 효율 향상을 위한 신개념 시스템 (BC)	(지표수* 지하수* (서피스* 써피스* 언더그라운드* 그라운드* surface* ground* underground*) adj (워터* water*)) adj (관측* 예측* 예보* 예상* 추정* 센서* 센싱* 감지* 검출* 측정* 탐지* 서베이* 써베이* 디텍트* 써치* 탐사* 모니터* 검측* 계측* 파악* observation* forecast* predict* estimat* presum* assum* infer* illat* sens* detect* measur* detect* search* measur* survey* investigat* inquir* probe* monitor* figure*) and (건물* 빌딩* 건축* structure* build* (지반* 그라운드* ground*) adj (구조* 건축* 빌딩* 스트럭처* 스트럭처* build* structure*))	107	109	110	54	380
	지하수위 변화에 의한 도시지반 침하 측정 기술 (BD)	(지표수* 지하수* (서피스* 써피스* 언더그라운드* 그라운드* surface* ground* underground*) adj (워터* water*)) and (지반* 그라운드* ground*) and ((변상* 변화* 이변* 악화* 전환* 변경* 변하* 체인지* 바꾸* 바뀌* 함몰* 침하* 침강* 싱크* 싱크* 붕괴* change* variat* transit* shift* turn* aggravat* deteriorat* congest* collapse* sink* subsidence*) adj (관측* 예측* 예보* 예상* 추정* 센서* 센싱* 감지* 검출* 측정* 탐지* 서베이* 써베이* 디텍트* 써치* 탐사* 모니터* 검측* 계측* 파악* 분석* observation* forecast* predict* estimat* presum* assum* infer* illat* sens* detect* measur* detect* search* measur* survey* investigat* inquir* probe* monitor* figure* analysis* assay* analyz* ))	59	178	76	52	365

## □ 특허 검색결과

- 노이즈 제거전 검색건수에 비하여 노이즈 제거후 검색건수가 기술분류별 검색식 및 검색건수가 50%가량 줄어들었음

[표 2-3] 특허 유효검색건수

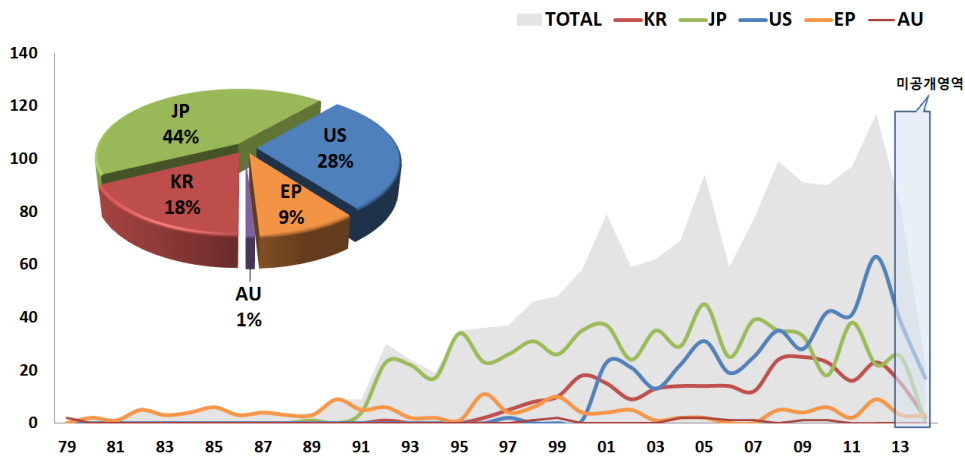
기술분류	한국	미국	일본	유럽	합계
AA	16	25	63	12	116
AB	27	35	74	23	159
AC	15	14	57	11	97
AD	45	10	49	7	111
BA	22	71	118	33	244
BB	57	57	152	17	283
BC	48	85	77	15	225
BD	33	39	142	22	236
합계	263	336	732	140	1,471

## 라. 특허 동향분석

## □ 연도별 전체 출원수 분석

- 지하수, 지반구조 영향 계측·평가·관리기술 분야와 관련하여 총 1,471건의 특허가 검색되었으며, 총 1,471건의 특허 중 도심지 광역 지하수 관리 기술(A) 483건, 지반구조물 주변 지하수 관리 기술(B)이 988건이 분석됨
- 도심지 광역 지하수 관리 기술(A)을 이용하여 지하수관련 데이터를 측정하고, 정밀 분석하여 분석된 데이터를 통해 지하수를 모니터링 하여 지하수의 도심 지하 매설물에 대한 영향, 도심 지하 공사를 위한 지하수 제어 기술 등이 발전되는 경향에 비추어 도심지 광역 지하수 관리 기술(A)과 지반구조물 주변 지하수 관리 기술(B)에 대한 연구는 서로 관련 기술로서 보완적인 모습을 보이면서 병행 발전할 것으로 판단됨
- 지하수, 지반구조 영향 계측·평가·관리기술 분야는 일본을 중심으로 지하수 관련 연구가 수행되기 시작하였으며 이에 따른 특허 출원이 병행하여 증가하기 시작한 것으로 보임
- 지하수, 지반구조 영향 계측·평가·관리기술 분야의 연도별 전체 특허동향을 살펴보면, 거시적인 관점에서 1991년부터 일본 출원건수의 높은 증가율의 영향으로 출원 건수가 증가하기 시작하여, 2014년 까지 하수, 지반구조 영향 계측·평가·관리기술 분야에 관련된 연구개발이 증가추세로 나타나고 있으며, 이는 세계적으로 도심 지하수 이용 및 제어의 필요성이 높아지고 있는 추세를 반영하고 있는 것으로 추측됨

- 호주의 경우, 전체 건수에서 1%로 호주 내 지하수, 지반구조 영향 계측·평가·관리기술 관련 출원은 미미하다고 판단되며, 대부분 일본 또는 미국 출원을 우선권으로 PCT출원 후 호주가 지정되어 호주에서만 출원된 특허는 없다고 판단됨
- 주요시장국 연도별 특허동향 그래프에서 2013년 이후 출원이 감소하는 것은 특허출원 후 1년 6개월이 경과되어 공개되는 특허제도의 특성상, 실제 출원이 이루어졌으나 미공개로 인해 특허분석 데이터 상에 포함되지 않음을 유의해야 함



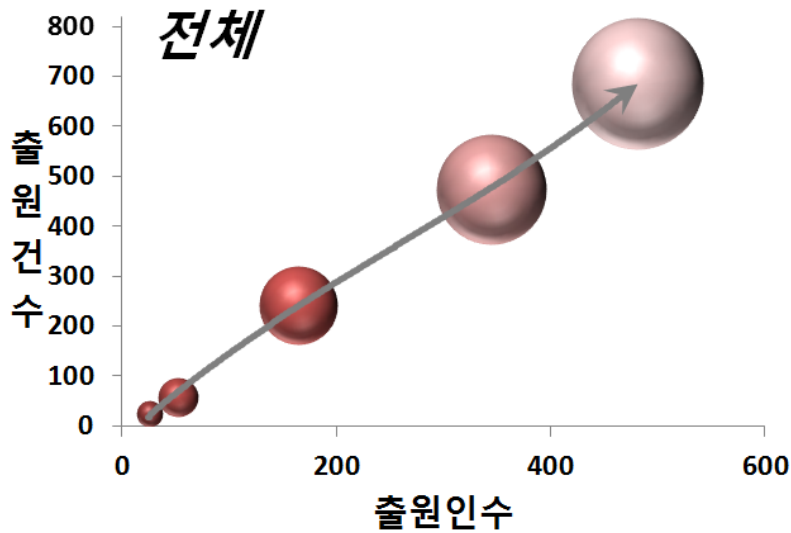
〈그림 2-24〉 연도별 전체 출원수

□ 기술수명주기 분석

- 본 그래프는 지하수, 지반구조 영향 계측·평가·관리기술 분야의 전체 및 해당 국가의 기술 위치를 포트폴리오로 나타낸 것으로 전체 출원 중 최근의 출원 동향을 5개의 구간으로 나누어 각각의 구간별 특허 출원인 수 및 출원 건수를 나타내어 특허 출원 동향을 통한 기술의 위치를 살펴볼 수 있음
- X축은 출원인 수(특허 자수)이고, Y축은 출원 건수(특허건수)이며, 각 구간은 1구간(1980년~1986년), 2구간(1987년~1992년), 3구간(1993년~1999년), 4구간(2000년~2006년), 5구간(2007년~2014년)으로 구분함
- 지하수, 지반구조 영향 계측·평가·관리기술 분야에 대해 전 세계 기술 위치를 포트폴리오로 분석해보면 1구간(1980년~1986년)부터 5구간(2000년~2006년)까지 출원 건수와 출원인 수가 계속 증가하는 성장 단계를 보이고 있어 지하수, 지반구조에 대한 연구 개발 및 이에 따른 특허 출원이 급격히 증가하는 추세로 분석되나, 좀 더 정확한 양상을 알기 위해서는 이후 출원 동향을 지속적으로 모니터링 해야 할 것임



〈그림 2-25〉 기술 수명주기 판단기준

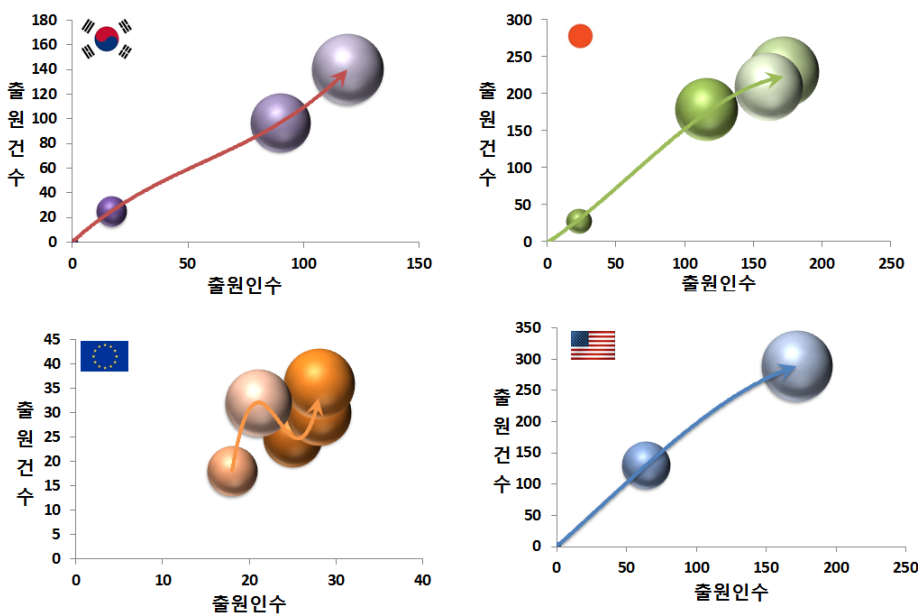


〈그림 2-26〉 전체 기술 수명 주기

- 이는 해당 기술의 주요 출원국인 일본과 미국의 영향이라고 판단되며, 일본의 경우 90년대 초반까지 출원 건수가 미비하다가 90년대 초반부터 급격히 증한 이후 꾸준히 증가하는 추세를 나내고, 미국의 경우 2000년부터 출원 건수 및 출원인 수가 급격히 증가하는 양상을 보여주고 이후 꾸준히 증가하는 추세를 나타내고 있음
- [한국] 포트폴리오로 나타낸 한국특허의 기술위치는 1구간(1987년~1990년)부터 2구간(1990년~1992년)까지는 출원 및 출원인이 전무한 상태에 있다가 3구간(1993년~1999년) 이후부터 5구간(2007년~2014년)까지 출원 건수와 출원인의 수가 계속 증가하는 발전기의 단계를 보이고 있어 최근 지반 및 지하수 분야에 대한 전 국민적인 관심, 관련기관 및 학술단체의 많은 관심과 연구개발 노력이 증가하고 있는 것으로 분석됨
- [미국] 포트폴리오로 나타낸 미국특허의 기술위치는 1구간(1987년~1990년)부터 3구간

(1993년~1999년)까지 출원 건수가 거의 없는 상태이다가 4구간(2000년~2006년)부터 증가율이 확연하게 증가 추세에 있는 것으로 나타나는 것으로 보아, 4구간(2000년~2006년)에 기술개발에 참여하는 연구주체가 늘어나 급격한 기술 개발이 이루어지는 발전단계로 분석되며, 이후부터 5구간(2007년~2014년)까지 출원건수와 출원인의 수가 더욱 증가하는 양상을 보이는 성장단계로 판단되어 앞으로도 이러한 추세는 계속될 것으로 전망됨

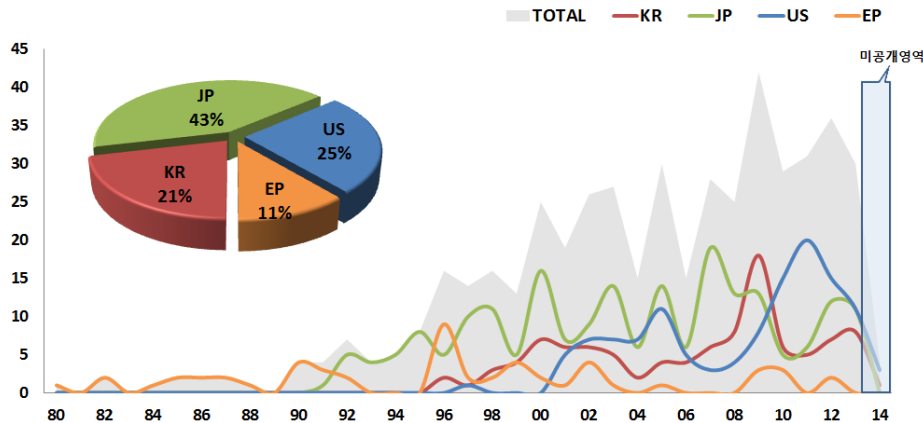
- [일본] 포트폴리오로 나타낸 일본특허의 기술위치는 1구간(1987년~1990년)까지 출원 건수가 거의 없는 상태이다가 2구간(1991년~1994년)부터 출원이 늘어나기 시작하다가 3구간(1993년~1999년)부터 4구간(2000년~2006년)까지 출원 건수와 출원인의 수가 큰 폭으로 증가하는 성장기의 단계를 보이고 있으며, 4구간(2000년~2006년)에서 5구간(2000년~2014년)까지는 출원인 수가 다소 감소한 상태에서 출원 건수의 유지를 보이고 있어 발전기 단계로 선회한 흐름을 보이고 있어 좀 더 정확한 양상을 알기 위해서는 이후 출원 동향을 지속적으로 모니터링 해야 할 것임
- [유럽] 포트폴리오로 나타낸 유럽특허의 기술위치는 1구간(1987년~1990년)부터 3구간(1993년~1999년)까지 다소 증가하는 양상을 보이고 있으며 4구간(2000년~2006년)에서 5구간(2000년~2014년)까지는 출원인 수가 다소 감소한 상태에서 출원 건수도 감소하는 양상을 보이고 있으나, 좀 더 정확한 양상을 알기 위해서는 이후 출원 동향을 지속적으로 모니터링 해야 할 것임
- 유럽출원은 상대적으로 분석대상 특허건수가 적어 큰 의미는 없다고 판단됨. 시장국 연도별 특허동향 그래프에서 2013년 이후 출원이 감소하는 것은 특허출원 후 1년 6개월이 경과되어 공개되는 특허제도의 특성상, 실제 출원이 이루어졌으나 미공개로 인해 특허 분석 데이터 상에 포함되지 않음을 유의해야 함



〈그림 2-27〉 국가별 기술 수명 주기

## □ 도심지 광역 지하수 관리 기술 출원 분석

## ○ 연도별 출원수 분석



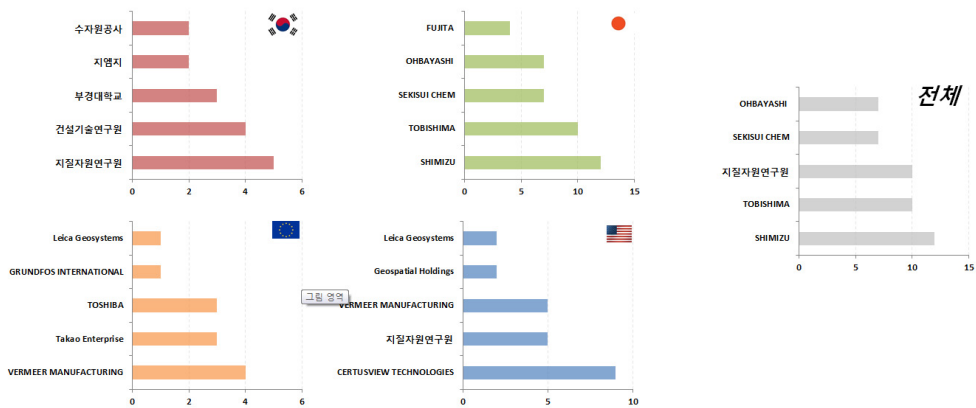
〈그림 2-28〉 연도별 출원수

- 도심지 광역 지하수 관리 기술의 연도별 전체 특허동향을 살펴보면, 거시적인 관점에서 1988년 까지는 유럽을 제외하고 출원 건수가 미미한 수준이었다가, 1989년 일본에서 출원이 늘어나기 시작하였고, 1995년 이후부터 출원 증감이 반복되면서 전체적으로 출원은 늘어나는 추세를 보이고 있는 것으로 나타남
- 국가별로 살펴보면, 한국특허[KIPO]는 1993년까지 출원이 거의 없는 상태를 유지하다가 1994년 부터 출원하여 출원 건수는 서서히 증가 하다가 2003년부터 2007년을 최고 점으로 급격히 증가하는 추세를 보이고 있으며, 특히 2005년부터 2007년에 출원 건수가 급증하는 추세를 나타내고 있음
- 일본특허[JPO]는 1990년대부터 2000년대 중반까지 증가와 감소를 반복하고 있으며, 1996년부터 2012년 사이에 걸쳐 출원건수의 증가와 감소가 집중되어 이 기술 분야에 대한 검증단계를 지난 것으로 판단되며, 이러한 검증단계는 현재까지도 지속될 것으로 추측되고 있음
- 미국특허[USPTO]는 1995년 이전까지는 출원건수가 전무한 상태이다가 1996년부터 출원건수가 보이기 시작하였고, 1999년부터 2004년까지 출원건수가 집중되어 있는 것으로 나타나다가 2006년에 출원이 줄었으나 2006년 부터 최근까지 출원건수가 급격히 늘어나고 있어 이 분야의 연구개발이 활발히 진행되고 있는 것으로 나타남
- 유럽특허[EPO]는 2008년대부터 출원 건수가 있었으나, 다른 국가들에 비해 출원건수 증가와 감소에 대한 등락의 차이가 크지 않으며, 출원건수도 많지 않은 것으로 나타나고 있고, 유럽특허만의 그래프를 참고하면, 1996년에 출원건수의 증가가 집중되다가 이후, 출원건수는 줄어들고 있는 것으로 나타남
- 나라별 출원 점유율 그래프를 보면, 일본이 43%로 가장 많은 출원을 하는 것으로 나타

났고, 그 뒤로 미국 25%, 한국 21%로 나타나고 있으며, 유럽은 11%로 다른 국가들에 비해 출원건수가 많지 않은 것으로 판단됨

- 나라별 출원 점유율 그래프에서 나타나듯이 도심지 광역 지하수 관리 기술에 대한 연구 개발은 일본에서 가장 왕성하게 진행되는 것을 알 수 있음
- 주요시장국 연도별 특허동향 그래프에서 2013년 이후 출원이 감소하는 것은 특허출원 후 1년 6개월이 경과되어 공개되는 특허제도의 특성상, 실제 출원이 이루어졌으나 미공개로 인해 특허분석 데이터 상에 포함되지 않음을 유의해야 함

○ 주요 출원인 분석



〈그림 2-29〉 국가별 주요 출원인

- [한국]의 주요출원인은 수자원 공사, 한국건설기술연구원(KICT), 한국지질자원연구원 과 같은 공공연구기관 및 부경대학교와 같은 교육기관을 중심으로 비교적 많은 특허활동을 하는 것으로 분석되며, 한국지질자원연구원은 “지하수 유출량 및 함양량을 연속 계측할 수 있는 유입출 측정 장치” 등에 대한 특허를 출원하였으며, 수자원공사는 “수압계 등의 지하수 모니터링 기술” 등에 대해서 출원하고 있는 것으로 나타남
- [일본]은 SHIMIZU가 가장 많은 출원건수를 나타내고 있으며 그 뒤로 TOBISHIMA가 많은 출원 건수를 나타내고 있고, SEKISUI CHEM, OHBAYASHI 등이 주요 출원을 하고 있으며, SHIMIZU는 “지하수 수질 측정 방법 및 지하수 수질 측정 장치”, “지하수 유동 측정 장치” 등의 기술에 대해서 출원하여 지하수 모니터링 기술 분야에 기술을 보유하고 있는 것으로 판단되고, TOBISHIMA도 “지하수 유동 측정 방법과 그 장치” 등과 같은 지하수 모니터링 기술에 대해서 연구 개발을 하고 있는 것으로 판단됨
- [미국]의 주요 출원인은 CERTUSVIEW TECHNOLOGIES, VERMEER MANUFACTURING 등의 미국 출원인과 한국지질자원연구원이 미국에 출원을 하고 있어 한국지질자원 연구원은 한국 출원 뿐만 아니라 국제 출원도 진행하고 있는 것으로 나타남

- 전체 상위 톱 5에는 한국지질자원연구원을 빼고 모두 일본국적의 출원인들이 출원을 주도하고 있으며, SHIMIZU는 지하수 관련 분야에서 가장 많은 출원건수를 보유하고 있어 지하수 관련 연구 개발을 가장 활발히 하는 것으로 나타남
- [유럽]출원은 한국, 미국, 일본에 비해 상대적으로 적은 것으로 나타나며, 주로 일본국적의 출원인들이 출원을 주도하고 있는 것으로 분석됨

#### ○ 국가별 주요 출원인 분석

- 도심지 광역 지하수 관리 기술분야에서는 한국지질자원연구원이 한국에 5건, 미국에 5건, 유럽에 1건을 출원한 것으로 나타나 가장 많은 국가에 출원한 것으로 나타남
- 미국의 VERMEER MANUFACTURING이 미국에서 5건, 유럽에서 4건을 출원하여 미국 및 유럽에서 출원한 것으로 나타남
- 도심지 광역 지하수 관리 기술분야 에서는 한국의 지질 자원 연구원, 미국의 VERMEER MANUFACTURING을 제외하고는 타국에 출원하는 경향은 적은 것으로 나타남
- 출원 건수는 일본의 SHIMIZU가 가장 많은 것으로 조사되어 일본의 SHIMIZU가 도심지 광역 지하수 관리 기술분야의 연구 개발이 가장 활발한 것으로 판단됨

[표 2-4] 국가별 주요 출원인

순위	한국		미국		일본		유럽	
	출원인명	건수	출원인명	건수	출원인명	건수	출원인명	건수
1	한국지질자원연구원	5	CERTUSVIEW TECHNOLOGIES	9	SHIMIZU	12	VERMEER MANUFACTURING	4
2	한국건설기술연구원	4	한국지질자원연구원	5	TOBISHIMA	10	Takao	3
3	부경대학교	3	VERMEER MANUFACTURING	5	SEKISUI CHEM	7	TOSHIBA	3
4	지엠지	2	Geospatial Holdings	2	OHBAYASH	7	GRUNDFOS INTERNATIONAL	1
5	수자원공사	2	U.S. Department of Agriculture	1	FUJITA	4	Leica Geosystems	1
6	유탐엔지니어링	2	WesternGeco	1	KAJIMA	4	KAJIMA CORPORATION	1
7	한국전기통신공사	2	JAPAN OIL, GAS AND METALS NATIONAL	1	HOKOKU	4	Lacy, Franklin R.	1
8	지엠지	2	CANON	1	SINFONIA	4	MARATHON OIL	1
9	에레드	1	이명식	1	TAKENAKA KOMUTEN	4	한국지질자원연구원	1
10	여운광	1	한국전기통신공사	1	NISHIMATSU CONSTR	3	김종천	1

○ 출원인별 기술별 출원수 분석

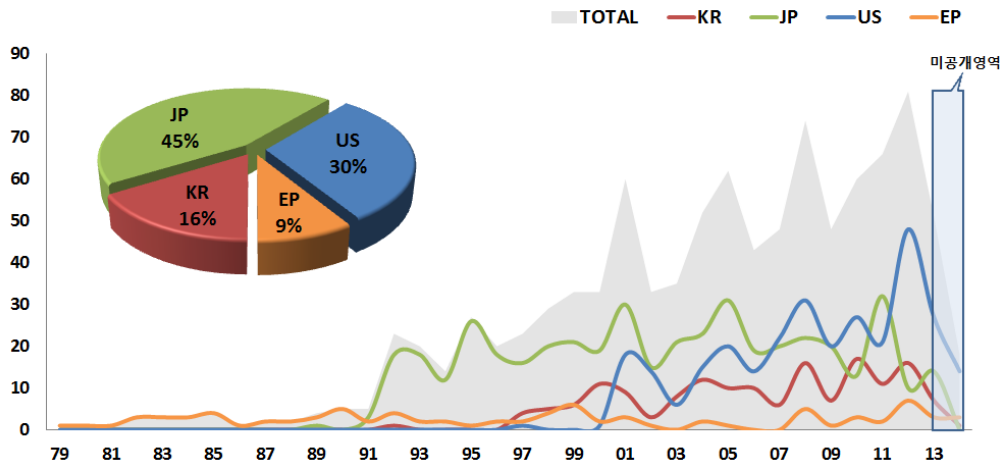
- 도심지 광역 지하수 관리 기술분야에서는 SHIMIZU가 도심지 광역적 지하 지반구조 및 지하 매설물 파악기법 분야(AA)에서 3건, 도심지 지반굴착에 따른 지표수, 지하수 유동 및 물수지 평가 기술 분야(AB)에서 3건, 도심지 지반함몰 예방을 위한 지하수 계측 및 모니터링 기법 분야(AC)에서 3건, 재난/재해 대응 3차원 지하수 관리시스템 분야(AD)에서 3건을 출원 한 것으로 나타나 가장 많은 국가에 출원한 것으로 나타남
- 미국의 VERMEER MANUFACTURING은 도심지 광역적 지하 지반구조 및 지하 매설물 파악기법 분야(AA)에서 9건을 출원하였음
- 출원 건수는 일본의 SEKISUI, SHIMIZU, TOSHIBA, FUJITA, HOKOKU 등의 일본 출원인이 비교적 많은 출원을 하는 것으로 조사되어 도심지 광역 지하수 관리 기술분야는 일본을 중심으로 연구 개발이 이루어지고 있는 것으로 판단됨

[표 2-5] 기술별 주요 출원인

순위	AA		AB		AC		AD	
	출원인명	건수	출원인명	건수	출원인명	건수	출원인명	건수
1	VERMEER MANUFACTURING	9	TOBISHIBA	10	FUJITA	4	SINFONIA TECHNOLOGY	4
2	CERTUSVIEW	4	S-Rain Control	4	HOKOKU	4	KriStar	3
3	SEKISUI	7	TOHO CHISUI	4	TAKENAKA KOMUTEN	3	SHIMIZU	3
4	지질자원연구원	6	Dionex	4	SHIMIZU	3	TAKAHASHI YUICHIRO	3
5	SHIMIZU	3	JAPAN ATOMIC ENERGY AGENCY	4	유탑엔지니어링	2	Mitsui Bussan Plant & Project	3
6	Geospatial Holdings	3	SHIMIZU	3	한국전기통신공사	2	수자원공사	2
7	Japan Oil, Gas and Metals National Corporation	3	CENTRAL RES INST OF ELECTRIC POWER	3	TAISEI	2	OHBAYASHI	2
8	지엠지	2	NATIONAL INSTITUTE OF ADVANCED INDUSTRIAL SCIENCE & TECHNOLOGY	3	SHIRAISHI	2	JAPAN WEATHER ASSOCIATION	2
9	Raymond E. Garvey, III	1	Takao Enterprise	3	KAJIMA	2	건설기술연구원	2
10	NORSAR	1	ダイオネックスコーポレーション	2	TOSHIBA	1	부경대학교	2

## □ 지반구조물 주변 지하수 관리 기술 출원 분석

## ○ 연도별 출원수 분석

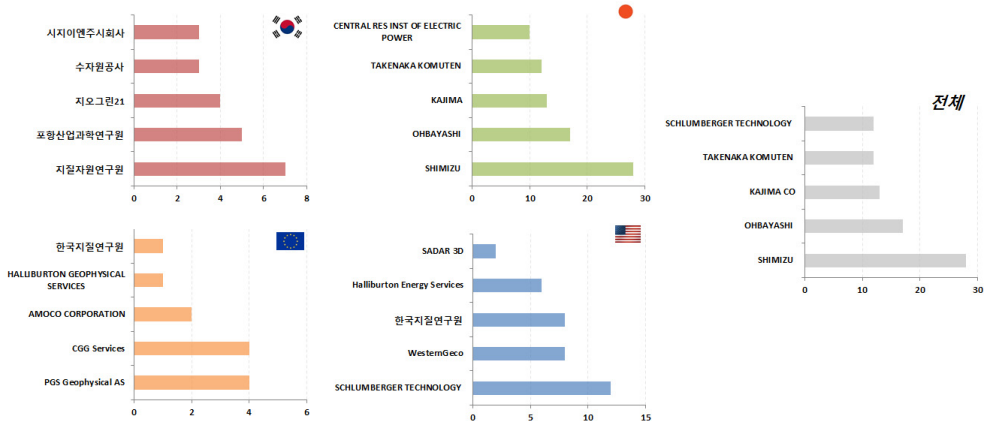


〈그림 2-30〉 연도별 출원수

- 지반구조물 주변 지하수 관리 기술 분야의 연도별 전체 특허동향을 살펴보면, 거시적인 관점에서 1990년 이전까지는 유럽을 제외하고는 출원 건수는 전무하다가, 1990년 이후 일본의 출원 건수가 급격히 증가하는 등 한국, 미국의 출원 증감이 반복하는 추세를 보이고 있어, 전체적으로는 출원 건수가 증가하는 경향을 보이는 것으로 나타남
- 국가별로 살펴보면, 한국특허[KIPO]는 1991년까지 출원이 거의 없는 상태를 반복하다가 1992년에 출원을 하였고 이후 1996년부터 출원수가 증가하는 것을 보이고 있으며, 2008년에 최고 출원 건수를 보이며 증감을 반복하고 있고, 전체 적으로는 출원 건수는 증가하는 추세를 보임
- 일본특허[JPO]는 1989년대부터 출원건수를 보이기 시작해서 1991년부터 출원건수가 급격히 증가하는 것으로 나타나고 있으며, 2005년에 최고점을 보이며 현재까지 증감이 계속되고 있는 것으로 나타나고 있고, 현재까지 증가와 감소를 반복하고 있어 지반구조물 주변 지하수 관리 기술 분야에 대한 검증단계를 지난 것으로 판단되며, 이러한 검증 단계는 현재까지도 지속되고 있는 것으로 나타남
- 미국특허[USPTO]는 2000년 이전까지는 출원건수가 거의 없는 상태로 지속되다가 2001년부터 출원 건수가 급격히 증가하다가 2012년 최고 점을 찍으며 증가와 반복을 하고 있으며, 전체적으로 증가추세를 보이며 최근까지 증감을 반복하며 검증하는 단계를 보이고 있는 것으로 나타남
- 유럽특허[EPO]는 다른 국가들에 비해 출원건수 증가와 감소에 대한 등락의 차이가 크지 않으며, 출원건수도 많지 않은 것으로 나타나고 있지만, 유럽특허만의 그래프를 참고하면, 1981년부터 출원건수를 보이고 있어 지반구조물 주변 지하수 관리 기술 분야에 대한 연구는 가장먼저 이루어 진 것으로 판단됨

- 나라별 출원 점유율 그래프를 보면, 일본이 45%로 가장 많은 출원을 하는 것으로 나타났고, 그 뒤로 미국 30%, 한국 16%로 나타나고 있으며, 유럽은 9%로 다른 국가들에 비해 출원건수가 많지 않은 것으로 판단됨
- 나라별 출원 점유율 그래프에서 나타나듯이 도심지 광역 지하수 관리 기술에 대한 연구 개발은 일본에서 가장 왕성하게 진행되는 것을 알 수 있음
- 한편, 주요시장국 연도별 특허동향 그래프에서 2013년 이후 출원이 감소하는 것은 특허출원 후 1년 6개월이 경과되어 공개되는 특허제도의 특성상, 실제 출원이 이루어졌으나 미공개로 인해 특허분석 데이터 상에 포함되지 않음을 유의해야 함

○ 주요 출원인 분석



〈그림 2-31〉 국가별 주요 출원인

- [한국]의 주요 출원인은 한국지질자원연구원, 포항산업과학연구원 같은 공공연구기관을 중심으로 연구 개발 및 특허 출원이 진행되는 것으로 분석되며, 한국지질자원연구원은 “광산지리정보시스템을 이용한 지반침하 위험도 평가 시스템” 등에 대한 특허를 출원하였으며, 지반의 침하여부를 판단하기 위한 “진동철선식 수압간극계” 등을 출원하고 있는 것으로 나타남
- [일본]은 SHIMIZU가 가장 많은 출원건수를 나타내고 있으며 그 뒤로 OHYAYASHI가 많은 출원 건수를 나타내고 있고, KAJIMA, CENTRAL RES INST OF ELECTRIC POWER 등이 주요 출원을 하고 있으며, SHIMIZU는 “개량 지반 재료 및 봉당 바닥의 침하 방지 구조” 등의 기술에 대해서 출원하여 지반 침하 방지 관련분야에 기술을 보유하고 있는 것으로 판단되고, OHYAYASHI도 “지반 침하 대책 구조, 지반 침하 대책 방법” 등과 같은 기술에 대해서 연구 개발을 하고 있는 것으로 판단됨
- [미국]의 주요출원인은 SCHLUMBERGER TECHNOLOGY, WesternGeco 등의 미국 출원인과 한국지질자원연구원이 미국에 출원을 하고 있어 한국지질자원연구원은 한국 출원뿐만 아니라 국제 출원도 진행하고 있는 것으로 나타남

- 전체 상위 톱 5에는 한국의 한국지질자원연구원을 빼고 모두 일본국적의 출원인들이 출원을 주도하고 있으며, SHIMIZU는 지반구조물 주변 지하수 관리 기술 분야에서 가장 많은 출원건수를 보유하고 있어 지하수 관련 지반침하 분야의 연구 개발을 가장 활발히 하는 것으로 나타남
- [유럽]출원은 한국, 미국, 일본에 비해 상대적으로 적은 것으로 나타나며, 주로 일본국적의 출원인들이 출원을 주도하고 있는 것으로 분석됨

#### ○ 국가별 주요 출원인 분석

- 지반구조물 주변 지하수 관리 기술분야에서는 한국지질자원연구원이 한국에 7건, 미국에 8건, 유럽에 1건을 출원한 것으로 나타나 가장 많은 국가에 출원한 것으로 나타남
- 일본의 SHIMIZU는 자국에서 28건을 출원한 것으로 조사되어 가장 많은 출원을 한 것으로 파악되며, 일본 이외의 국가에서는 출원을 하지 않는 것으로 조사됨
- 미국의 SCHLUMBERGER는 자국에서 12건을 출원하여 미국내에서 가장 많은 출원을 한 것으로 조사되었고, 미국 이외의 국가에서는 출원하지 않는 것으로 조사됨
- 출원 건수는 일본의 SHIMIZU, TOAGOSEI, KAJIMA 등이 많은 것으로 조사되어 일본의 내에서 지반구조물 주변 지하수 관리 기술의 연구 개발은 활발히 진행되고 있으나 일본 이외의 나라로 출원은 하지 않는 것으로 조사됨

[표 2-6] 국가별 주요 출원인

순위	한국		미국		일본		유럽	
	출원인명	건수	출원인명	건수	출원인명	건수	출원인명	건수
1	한국지질자원연구원	7	SCHLUMBERGER	12	SHIMIZU	28	PGS Geophysical A	4
2	포항산업과학연구원	5	WesternGeco	8	TOAGOSEI	17	CGG Services	3
3	지오그린21	4	한국지질자원연구원	8	KAJIMA	13	AMOCO	2
4	수자원공사	3	Halliburton Energy Services	6	KISO JIBAN CONSULTANTS	13	HALLIBURTON GEOPHYSICAL SERVICES	2
5	지엠지	3	SADAR 3D	2	TAKENAKA KOMUTEN	12	한국지질자원연구원	1
6	수자원공사	3	CGG SERVICES	2	CENTRAL RES INST OF ELECTRIC POWER	10	STANLEY WORKS	1
7	시지이엔씨	3	Halliburton Energy Services	2	FUJITA	9	Serata, Shosei	1
8	농업기반공사	2	HiFi Engineering	2	NISHIMATSU CONSTR	9	SELTRUST ENGINEERING	1
9	강산	2	EXXONMOBIL UPSTREAM RESEARCH	2	OHBAYASH	9	TEXACO DEVELOPMENT	1
10	과학기술원	2	REM SCIENTIFIC ENTERPRISE	2	RAILWAY TECHNICAL RESEARCH INSTITUTE	7	Kushida, Yoshio	1

## ○ 출원인별 기술별 출원수 분석

- 지반구조물 주변 지하수 관리 기술분야에서는 일본의 SHIMIZU가 지하수와 지하 구조물에 의한 지반 변상 분석 기술 분야(BA)에서 5건, 건축물 및 지하구조물 주변 지하수 흐름 관리 기술 분야(BB)에서 8건, 지하수 및 지반구조물 통합 계측 및 관리 효율 향상을 위한 신개념 시스템 분야(BC)에서 6건, 지하수위 변화에 의한 도시지반 침하 측정 기술 분야(BD)에서 9건을 출원하여 지반구조물 주변 지하수 관리 기술분야 전반에 걸쳐 연구 개발을 수행하고 이에따라 출원을 하는 것으로 판단됨
- 일본의 CENTRAL RES INST OF ELECTRIC POWER은 지하수와 지하 구조물에 의한 지반 변상 분석 기술 분야(BA)에서 3건, 건축물 및 지하구조물 주변 지하수 흐름 관리 기술 분야(BB)에서 3건, 지하수위 변화에 의한 도시지반 침하 측정 기술 분야(BD)에서 4건을 출원하여 SHIMIZU 다음으로 지반구조물 주변 지하수 관리 기술분야 전반에 걸쳐 연구 개발을 수행하고 이에따라 출원을 하는 것으로 판단됨
- 일본의 TOAGOSEI는 지하수와 지하 구조물에 의한 지반 변상 분석 기술 분야(BA)에서 4건, 건축물 및 지하구조물 주변 지하수 흐름 관리 기술 분야(BB)에서 5건, 지하수위 변화에 의한 도시지반 침하 측정 기술 분야(BD)에서 8건을 출원하여 지반구조물 주변 지하수 관리 기술분야 전반에 걸쳐 연구 개발을 수행하고 이에따라 출원을 하는 것으로 판단됨
- 한국지질자원연구원은 건축물 및 지하구조물 주변 지하수 흐름 관리 기술 분야(BB)에서 5건, 지하수위 변화에 의한 도시지반 침하 측정 기술 분야(BD)에서 2건을 출원한 것으로 나타남
- 미국의 SCHLUMBERGER는 건축물 및 지하구조물 주변 지하수 흐름 관리 기술 분야(BB)에서 5건, 지하수위 변화에 의한 도시지반 침하 측정 기술 분야(BD)에서 7건을 출원한 것으로 나타남
- 지반구조물 주변 지하수 관리 기술분야에서는 일본 기업의 연구 개발이 주를 이루고 있는 것으로 조사되어 지반구조물 주변 지하수 관리 기술은 이분이 주도 하는 것으로 판단됨

[표 2-7] 기술별 주요 출원인

순위	BA		BB		BC		BD	
	출원인명	건수	출원인명	건수	출원인명	건수	출원인명	건수
1	SHIMIZU	5	SHIMIZU	8	SHIMIZU	6	SHIMIZU	9
2	SCHLUMBERGER	5	한국지질자원연구원	5	SCHLUMBERGER	7	TOAGOSEI	8
3	CGG Services	5	TAKENAKA KOMUTEN	5	HOKOKU	4	KAJIMA	5
4	Halliburton Energy Services	5	TOAGOSEI	5	PGS Geophysical AS	4	NISHIMATSU CONSTR	5
5	Jason Geosystems	4	KAJIMA	4	OYO	4	RAILWAY TECHNICAL RESEARCH INSTITUTE	4
6	TOAGOSEI	4	지오그린21	4	BioSonics		CENTRAL RES INST OF ELECTRIC POWER	4
7	RAILWAY TECHNICAL RESEARCH INSTITUTE	3	CENTRAL RES INST OF ELECTRIC POWER	3	WesternGeco	3	HOKOKU	3
8	KAJIMA	3	FUJITA	3	HITACHI PLANT TECHNOLOGIES	3	한국지질자원연구원	2
9	CENTRAL RES INST OF ELECTRIC POWER	3	TAKENAKA KOMUTEN	3	시지이엔주회사	3	MARUYAMA KOGYO	2
10	HOKOKU	2	농업기반공사	2	Willowstick Technologies	2	KYOKADO	2

## 4. 논문분석

### 가. 논문 조사방법 및 검색 결과

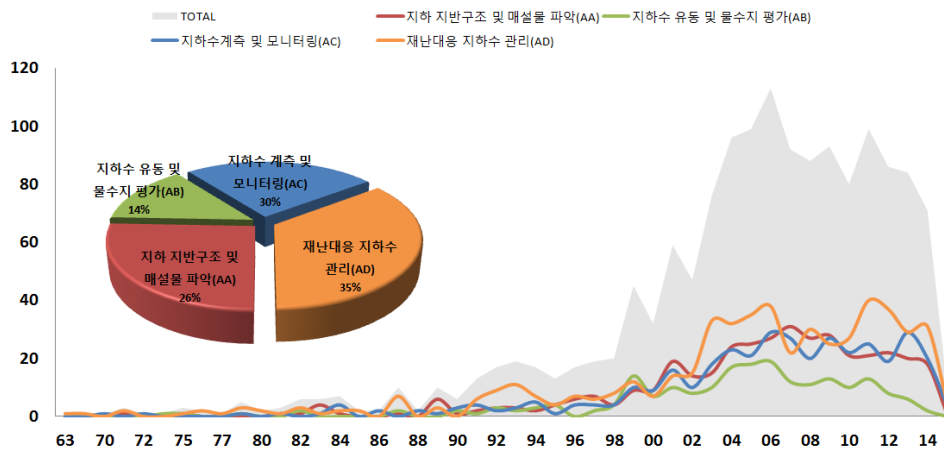
- 도심지 광역 지하수 및 지반구조물 주변 지하수의 계측·평가·관리 기술 관련 논문분석을 실시함
- 국내외 도심지 광역 지하수 및 지반구조물 주변 지하수의 계측·평가·관리 기술과 관련된 논문들을 분석하여 도심지 광역 지하수 및 지반구조물 주변 지하수의 계측·평가·관리 기술 개발의 과거-현재-미래의 방향, 추진전략 수립, 객관적인 관련 정보를 제공하고자 함
- 논문의 분석 범위, 기준, 기술분류 및 검색식은 특허분석과 동일한 조건
- 논문검색결과 노이즈 제거후 유효검색건수는 총 3,412건으로 도출됨

[표 2-8] 논문 유효검색건수

기술분류	AA	AB	AC	AD	BA	BB	BC	BD	합계
합계	349	206	373	522	683	362	516	401	3,412

### 나. 논문 동향분석

- 도심지 광역 지하수 관리기술 분야 논문분석
  - 연도별 전체 논문 발행 건수 분석

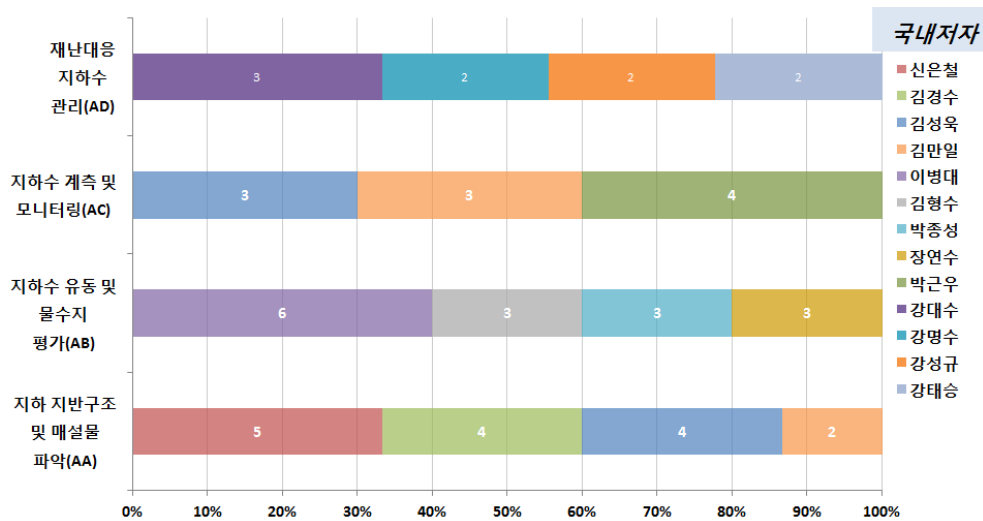


<그림 2-32> 연도별 전체 논문 발행 건수

- 지하수, 지반구조 영향 계측·평가·관리기술 분야는 특허문헌뿐만 아니라 논문 자료를 통한 경향도 의미가 있을 거라 판단되어, 주요 논문을 통하여 대체적인 기술흐름과 연구를 파악함

- 논문 검색은 국토교통 창조경제 R&D포털 및 NDSL를 이용하였으며, 특허와 동일한 검색키워드를 사용하여 각 중분류별로 검색을 진행함
- 도심지 광역 지하수 관리 기술 분야에 대한 논문의 발행연도별 동향을 보면, 거시적인 관점에서 1990년 이전까지는 논문 발표가 미비 하였다가 1991년 이후부터 지속적으로 증가세에 있다가, 2006년까지 논문 발표량이 급증하고 있다가, 현재는 논문 발표가 줄어드는 추세를 보이거나, 전체적인 흐름상 지하수, 지반구조 영향 계측·평가·관리기술 분야의 연구 개발은 최근 10년 동안 확연히 늘어나고 있는 추세로 분석됨
- 연도 구간별 세부기술 동향을 살펴보면 4개 중분류 분야에서, 재난대응 지하수 관리 기술(AD)이 35%로 가장 높은 비율을 차지하고, 그 뒤로 지하수 계측 및 모니터링 기술(AC)이 30%, 지하 지반구조 및 매설물 파악 기술(AA)이 26%, 지하수 유동 물수지 평가 기술(AB)이 14%로 각각 나타나고 있음
- 지하수 유동 물수지 평가 기술(AB) 분야를 제외하고 재난대응 지하수 관리 기술(AD) 분야, 지하수 계측 및 모니터링 기술(AC) 분야, 지하 지반구조 및 매설물 파악 기술(AA)분야는 연구 개발이 비교적 유사한 비율로 진행되고 있는 것으로 판단됨

○ 국내 저자 분석



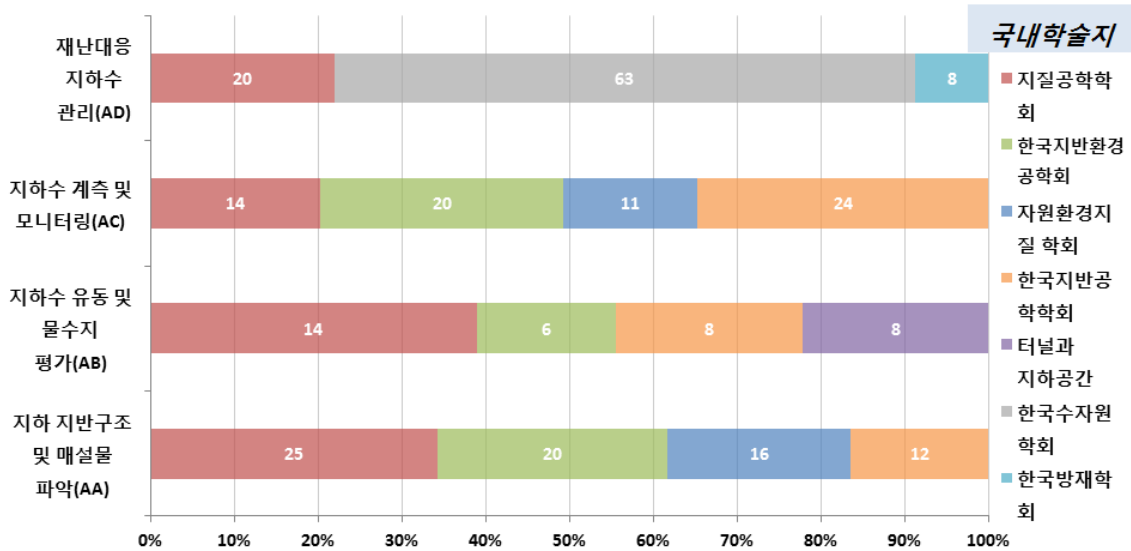
〈그림 2-33〉 기술별 국내 논문 저자

- 본 도심지 광역 지하수 관리 기술 분야 국내 저널의 주요저자를 조사함
- 국내저널 주요 연구자는 신은철(인천대학교 건설환경 공학과)이, “해안매립지반의 도시철도 시공에 따른 구조물 침하 특성 분석”을 한국토목섬유학회 논문집에 수록하는 등 지하 지반구조 매설물 파악 기술(AA)분야에서 가장 많은 연구 개발을 하는 것으로 조사되었고, 지하수 유동 및 물수지 평가 기술(AB)분야에서는 이병대(한국지질자원연구원

원 지하수지열연구부)가 주요 저자이고, “도수로터널 굴착에 따른 주변 지역의 지하수 위 변동과 단열구조의 관련성 연구”를 지질공학 논문집에 수록하는 등 가장 많은 연구 개발을 하는 저자로 조사됨

- 지하수 계측 및 모니터링 기술(AC)에서는 박근우, 김만우 등이 주요 연구 활동을 하는 것으로 나타났고, 재난대응 지하수 관리 기술(AD) 분야에서는 강대수, 강명수 등이 주요 연구 활동을 하는 것으로 나타남

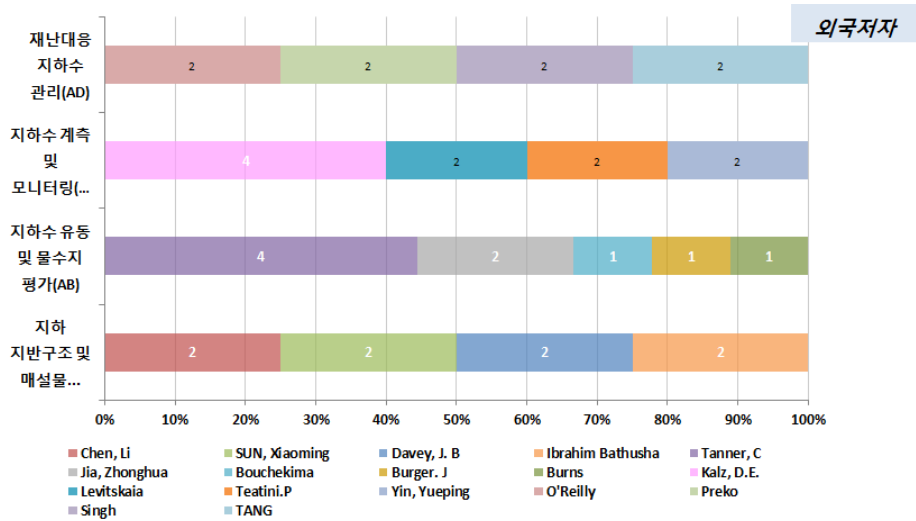
○ 국내 학술지 분석



〈그림 2-34〉 기술별 국내 학술지

- 본 도심지 광역 지하수 관리 기술 분야에서 주요 논문이 게재된 국내 학술지를 검토함.
- 지질공학학회에는 지하 지반구조 매설물 파악 기술(AA)분야의 25건, 지하수 유동 및 물수지 평가 기술(AB) 분야의 14건, 지하수 계측 및 모니터링 기술(AC) 분야의 14건, 재난대응 지하수 관리 기술(AD) 분야의 20건을 각각 게재하여 도심지 광역 지하수 관리 기술 분야의 가장 많은 논문이 게재되는 것으로 조사됨
- 지반환경공학회에는 지하 지반구조 매설물 파악 기술(AA)분야의 20건, 지하수 유동 및 물수지 평가 기술(AB) 분야의 6건, 지하수 계측 및 모니터링 기술(AC) 분야의 20건이 게재된 것으로 조사되어, 지질공학 학회 다음으로 많은 논문이 게재되는 것으로 조사됨
- 그 외에도 자원환경지질학회, 지반공학회, 터널과 지하공간, 수자원학회 등에 도심지 광역 지하수 관리 기술 분야의 논문이 게재된 것으로 조사됨

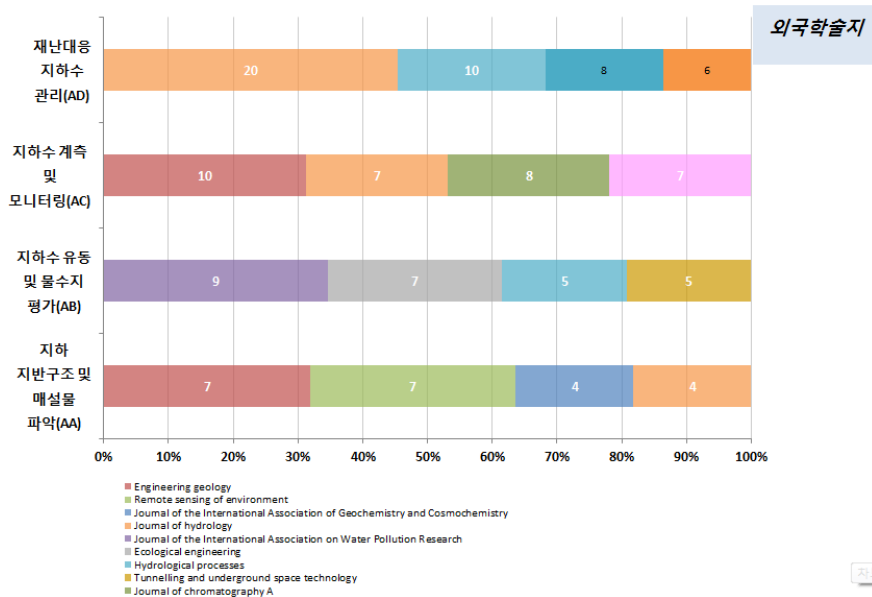
○ 외국저자 분석



〈그림 2-35〉 기술별 외국 논문 저자

- 본 도십지 광역 지하수 관리 기술 분야에서 주요 논문이 게재된 외국 학술지 저자를 검토함
- 외국저널의 주요 저자로는 Tanner, C가 지하수 유동 및 물수지 평가 기술(AB)에서 논문을 발표하고, Kalz, D.E.가 지하수 계측 및 모니터링 기술(AC) 분야에서 논문을 발표한 것으로 조사되어 본 도십지 광역 지하수 관리 기술 분야에서 연구개발을 하는 것으로 조사됨
- Chen, Li, Ibrahim Bathusha 등이 지하 지반구조 매설물 파악 기술(AA) 분야의 논문을 발표한 것으로 조사되었고, O'Reilly, Preko 등이 재난대응 지하수 관리 기술(AD) 분야의 논문을 발표한 것으로 조사됨

○ 외국 학술지 분석

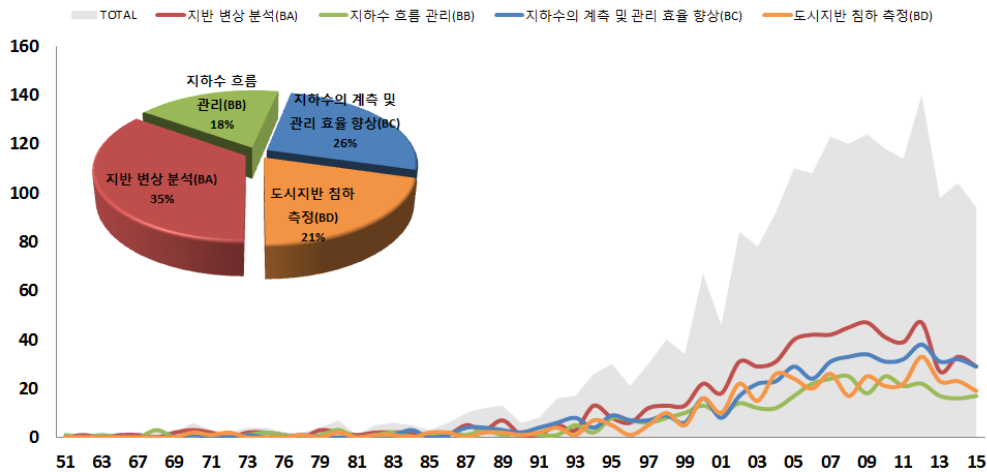


〈그림 2-36〉 기술별 외국 학술지

- 본 도심지 광역 지하수 관리 기술 분야에서 주요 논문이 게재된 외국 학술지를 검토함
- Journal of hydrology에 지반구조 매설물 파악 기술(AA)분야의 4건, 지하수 계측 및 모니터링 기술(AC) 분야의 7건, 재난대응 지하수 관리 기술(AD) 분야의 20건이 게재되어 가장 많은 논문이 게재된 것으로 조사되었고, Engineering geology에 기술(AA)분야에의 7건, 지하수 계측 및 모니터링 기술(AC) 분야의 10건이 게재된 것으로 조사됨
- 이외에도 Tunnelling and underground space technology등의 학술지에 주요 논문이 게재된 것으로 조사됨

#### □ 지반구조물 주변 지하수 관리기술 분야 논문분석

##### ○ 연도별 전체 논문 발행 건수 분석

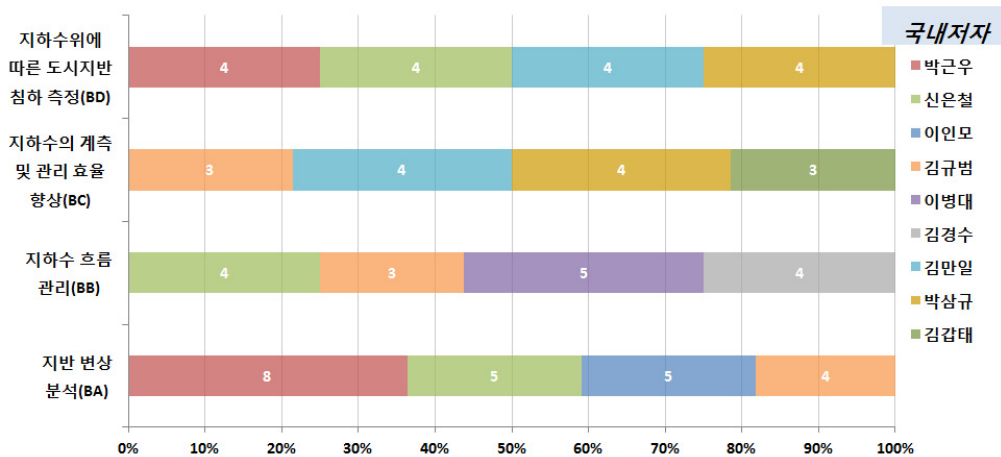


〈그림 2-37〉 연도별 전체 논문 발행 건수

- 지반구조물 주변 지하수 관리 기술 분야는 특허문헌뿐만 아니라 논문 자료를 통한 경향도 의미가 있을 거라 판단되어, 주요 논문을 통하여 대체적인 기술흐름과 연구를 파악함
- 논문 검색은 국토교통 창조경제 R&D포털 및 NDSL를 이용하였으며, 특허와 동일한 검색키워드를 사용하여 각 중분류별로 검색을 진행함
- 지반구조물 주변 지하수 관리 기술에 대한 논문의 발행연도별 동향을 보면, 거시적인 관점에서 1985년 이전까지는 논문 발표가 미비 하였다가 1991년 이후부터 논문 발표가 증가되는 경향을 보이고 있다, 1997년부터 2007년까지 논문 발표가 급증하는 것으로 보아 이 시기에 지반구조물 주변 지하수 관리 기술 분야에 대한 연구 개발이 매우 활발하게 진행된 것으로 판단됨
- 2012년의 최고 정점 이후 현재는 논문 발표가 줄어드는 추세를 보이나, 전체적인 흐름상 지반구조물 주변 지하수 관리 기술 분야의 연구 개발은 최근 10년 동안 확연히 늘어나고 있는 추세로 분석됨

- 연도 구간별 세부기술 동향을 살펴보면 4개 중분류 분야에서, 지하수와 지하 구조물에 의한 지반 변상 분석 기술(BA)이 35%로 가장 높은 비율을 차지하고, 그 뒤로 지하수 및 지반구조물 통합 계측 및 관리 효율 향상을 위한 신개념 시스템(BC)이 30%, 지하수 위 변화에 의한 도시 지반 침하 측정기술(BD)이 24%, 건축물 및 지하구조물 주변 지하수 흐름 관리기술(BB)이 18% 각각 나타나고 있음
- 지반 변상 분석 기술(BA)과 하수 및 지반구조물 통합 계측 및 관리 효율 향상을 위한 신개념 시스템(BC)에 대한 연구 개발이 가장 활발한 것으로 나타나고 있으며, 건축물 및 지하구조물 주변 지하수 흐름 관리기술(BB) 및 지하수위 변화에 의한 도시 지반 침하 측정기술(BD)에 대한 연구 개발은 상대적으로 적은 것으로 나타남

○ 국내 저자 분석

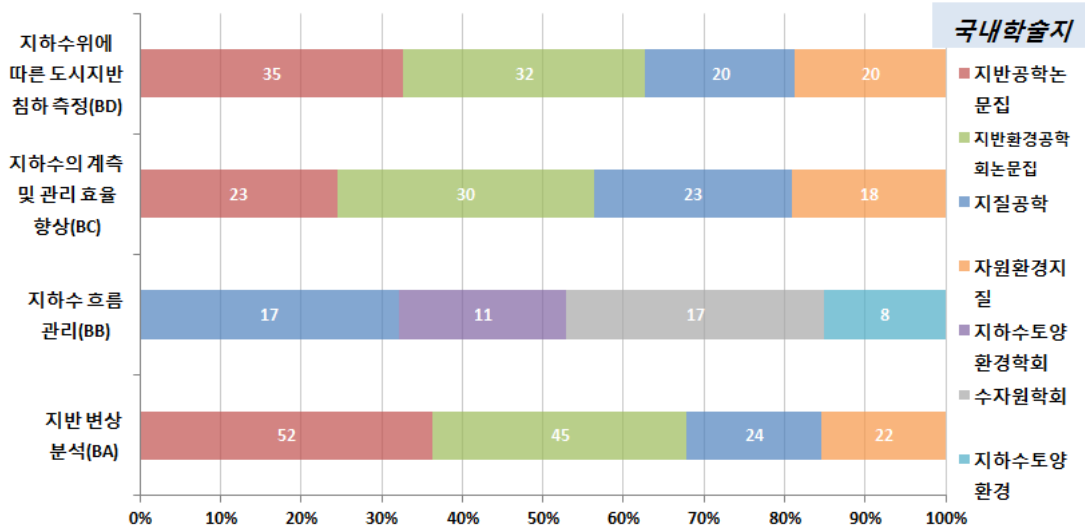


〈그림 2-38〉 기술별 국내 논문 저자

- 본 지반구조물 주변 지하수 관리 기술 분야 국내 저널의 주요저자를 조사함
- 국내저널 주요 연구자는, 박근우(삼양에코너지 연구소)가 “유출지하수열원 지열히트펌프의 냉난방성능”을 한국신재생에너지학회지에 발표하는 등 지하수와 지하 구조물에 의한 지반 변상 분석 기술(BA) 분야 및 지하수위 변화에 의한 도시지반 침하 측정 기술(BD)분야의 논문을 발표함
- 이인모(한국과학기술원 토목공학과)는 “산사태 위험도 추정을 위한 지하수위 변동의 추계론적 수치 해석”을 대한 토질공학회에 게재 하는 등 지하수와 지하 구조물에 의한 지반 변상 분석 기술(BA) 분야의 논문을 발표하는 것으로 조사됨
- 건축물 및 지하구조물 주변 지하수 흐름 관리기술(BB)분야 에서는 신은철, 김규범 등이 주요 연구 활동을 하는 것으로 나타났고, 지하수 및 지반구조물 통합 계측 및 관리 효율 향상을 위한 신개념 시스템(BC)에서는 김만일, 박삼규 등이 주요 연구 활동을 하

는 것으로 나타났고, 지하수위 변화에 따른 도시지반 침하 측정(BD) 분야에서는 강대수, 강명수 등이 주요 연구 활동을 하는 것으로 나타남

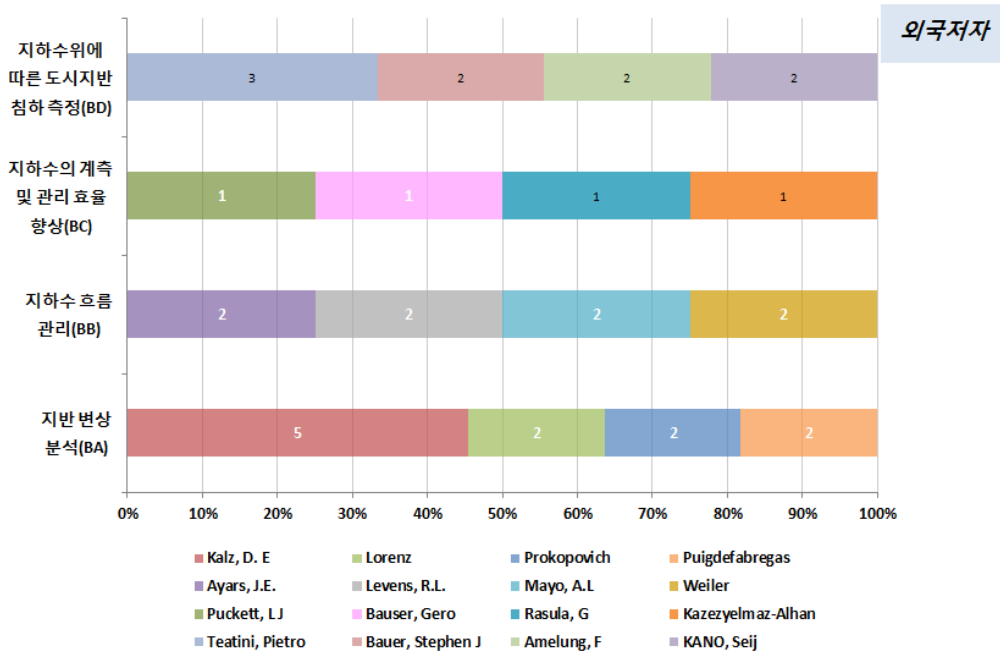
○ 국내 학술지 분석



〈그림 2-39〉 기술별 국내 학술지

- 지반공학 논문집에는 지하수와 지하 구조물에 의한 지반 변상 분석 기술(BA) 분야의 52건, 지하수 및 지반구조물 통합 계측 및 관리 효율 향상을 위한 신개념 시스템(BC)의 23건, 지하수위 변화에 따른 도시지반 침하 측정(BD) 분야의 23건을 각각 게재하여 지반공학회에 가장 많은 논문이 게재되는 것으로 조사됨
- 지반환경공학회 논문집에는 지반공학 논문집에는 지하수와 지하 구조물에 의한 지반 변상 분석 기술(BA) 분야의 45건, 지하수 및 지반구조물 통합 계측 및 관리 효율 향상을 위한 신개념 시스템(BC)의 30건, 지하수위 변화에 따른 도시지반 침하 측정(BD) 분야의 32건을 각각 게재된 것으로 조사되어, 지반공학회와 유사한 양의 논문이 게재되는 것으로 조사됨
- 그 외에도 지하수토양환경학회, 한국수자원학회, 지하수환경 학회 등에 지반구조물 주변 지하수 관리 기술 분야의 논문이 게재된 것으로 조사됨

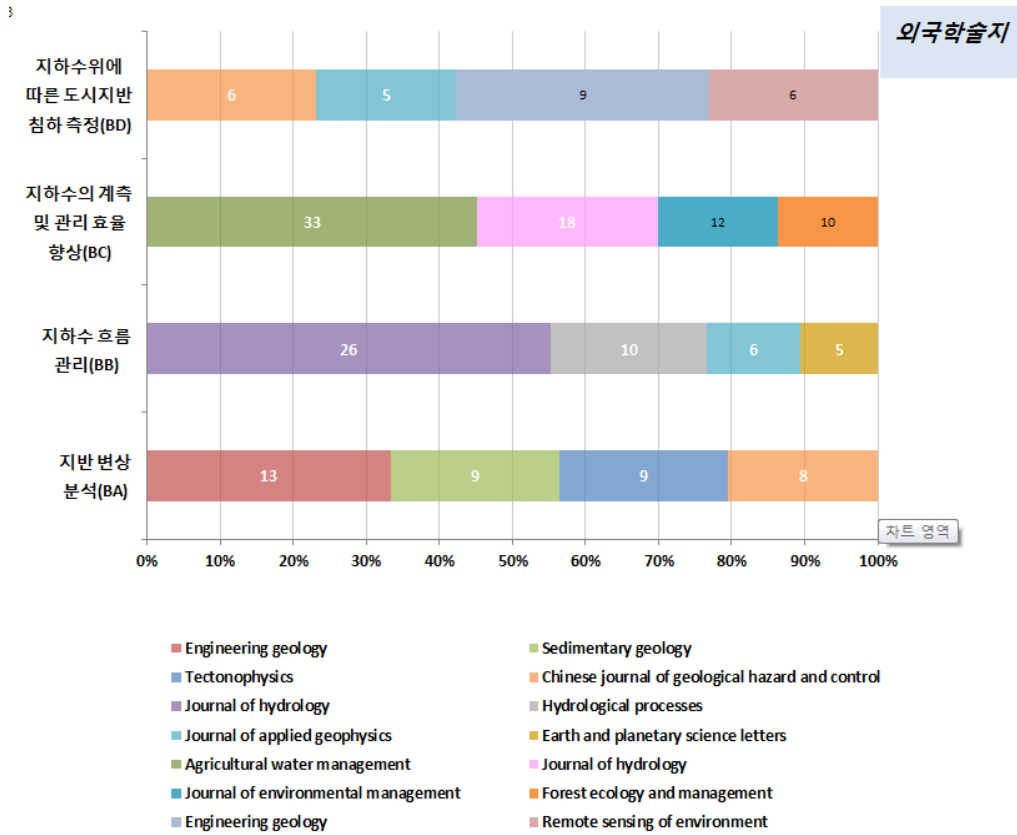
○ 외국저자 분석



〈그림 2-40〉 기술별 외국 논문 저자

- 본 지반구조물 주변 지하수 관리 기술 분야에서 주요 논문이 게재된 외국 학술지 저자를 검토함
- 외국저널의 주요 저자로는 Kalz, D.E., Lorenz, Prokopovich 등이 지하수와 지하 구조물에 의한 지반 변상 분석 기술(BA) 분야에서 논문을 발표하고, Ayars, J.E., Levens, R.L. 등이 건축물 및 지하구조물 주변 지하수 흐름 관리기술(BB)분야에서 논문을 발표한 것으로 조사되어 본 지반구조물 주변 지하수 관리 기술 분야에서 연구개발을 하는 것으로 조사됨
- Puckett, L, Bauser, Gero 등이 지하수와 지하 구조물에 의한 지반 변상 분석 기술(BA) 분야의 논문을 발표한 것으로 조사되었고, KANO, Seij, Teatini, Pietro 등이 지하수위 변화에 따른 도시지반 침하 측정(BD) 분야의 논문을 발표한 것으로 조사됨

○ 외국 학술지 분석



〈그림 2-41〉 기술별 외국 학술지

- 본 도십지 광역 지하수 관리 기술 분야에서 주요 논문이 게재된 외국 학술지를 검토함
- 지하수와 지하 구조물에 의한 지반 변상 분석 기술(BA)분야의 논문은 Engineering geology에 13건, Sedimentary geology에 9 건 등이 게재됨
- 건축물 및 지하구조물 주변 지하수 흐름 관리기술(BB)분야의 논문은 Journal of hydrology에 33건, Hydrological processes에 10건 등이 게재된 것으로 조사됨
- 지하수 및 지반구조물 통합 계측 및 관리 효율 향상을 위한 신개념 시스템(BC)분야의 논문은 Agricultural water management Journal of applied geophysics에 33건이 게재된 것으로 조사됨
- 이외에도 Earth and planetary science letters, Sedimentary geology 등의 학술지에 주요 논문이 게재된 것으로 조사됨

## 4절 종합분석

## 1. 국내외 정책동향분석 시사점

- 해외 정책동향을 살펴보면, 미국의 경우 사회적 필요성은 높지만 성공가능성이 매우 불확실하여 민간이 담당하기 어려운 분야에 대한 정부R&D 역할 강화하고 있으며(미국), 안전·안심사회, 누구나 활기차게 생활하는 사회, 국제경쟁력을 지지하는 활력있는 사회, 환경과 조화되는 사회를 추구하고 있으며(일본), 질적 성장 가속화와 지속가능한 성장의 경제적 측면에 과학기술분야 적용(중국)을 하고 있음
- 국민 안전을 확보하는 측면에서 도시의 유효 자원인 지하수와 사회 인프라인 지반구조물의 체계적인 관리기술 확보를 통하여 사회 전반의 정서적 안정감을 향상시키고 동시에 재난 발생을 막아 지속적인 경제발전을 추구할 수 있도록 함

## 2. 국내외 시장동향분석 시사점

- 2014년 우리나라 국도 유지관리비의 경우 약 7,500억원이며, 이중 구조물 관련 유지관리비의 경우 1/2 수준인 3,500억원 정도이며, 일본의 1/3 정도의 건설시장을 가지고 있는 우리나라의 경우 2009년 일본의 상하수도 유지관리비 약 1조 2천억원 대비 연간 약 4,000억원의 유지관리비를 상하수도에 사용할 것으로 추정되어 연간 약 7,000억원 정도의 구조물 및 상하수도 유지관리예산을 효율적으로 사용할 수 있게 함
- 기술개발을 통하여 사회 전반의 정서적 안정감을 향상시키고 동시에 재난 발생을 막음으로써 지속적인 경제발전을 추구할 수 있도록 함
- 최근 산업의 발전에 따라 도심지의 대형 건축구조물이나 지하철 공사 등 대규모 지하굴착 작업이 수반되는 공사가 급격히 증가함

## 3. 국내외 기술동향분석 시사점

- 친환경적이고 복합기능을 가진 지하수 및 지반구조물 관리를 위한 계측기법의 개발을 통하여 국내외의 신흥시장을 창출하고, 나아가서 기술경쟁력 우위에 의한 수출 및 해외건설 수주에 기여할 것으로 기대됨
- 이러한 지반굴착에 있어서 가장 이슈가 되는 것은 지하수 유출로 인한 배면지반의 공동(Cavity)화 현상 발생 및 주변지반의 균열과 침하 등을 유발되고, 더 나아가 주변 지하수

의 영향에 대한 검토가 대두되고 있음. 이를 저감하고자 학계 및 업계에서 각종 지반 보강 공법 및 차수 공법이 개발되고 있음. 그러나 이에 대한 적절한 검토 방법 및 기준이 마련되지 않아 시공자의 경험적 판단 및 양심에 맡기는 수준임

- 지반굴착시 지하수 유출 방지를 위해 시공하는 차수그라우팅 벽체에 대해 우리나라의 지반 특성을 고려한 차수그라우팅 벽체와 주변 지반과의 지지, 접촉상태 및 그라우팅구체의 구조적 결함을 파악할 수 있는 조사법과 차수그라우팅 벽체의 건전도 평가 기술은 거의 전무하며, 차수그라우팅 벽체의 건전도 평가 기술을 국내에 적용 가능한 기술력으로 개발하고 이를 사회 전반의 건설 기준으로 도입하기 위해서는 민간주도의 투자로는 어려움 있음. 보다 안전한 사회 기반 마련을 위해 정부 주도의 기술 및 기준 마련이 수행되어야함
- 우리나라의 USN 관제 시스템에 필요한 부품 공급업체들의 기술적 및 경영적 영세한 상황임. 또한 저비용 고품질 및 고신뢰성 USN 모듈 및 통신기술은 이전에 개발된 적이 없는 첨단기술로서 동 기술을 보유한 국내기업이 없으므로 정부의 지원이 필요함. 이러한 제품을 개발하여 사업화 완성시 선진국 제품과 경쟁이 가능하므로 내수 및 수출도 가능할 것으로 사료됨
- 국외에서 주로 도시개발로 인한 지표수와 지하수의 통합관리의 중요성이 국내외적으로 강조되기 시작하면서 다양한 형태의 조사 및 분석기법, 지침서가 소개 되었지만, 주로 환경오염을 사전에 막고 안전한 물 공급을 위한 목적으로 기술개발이 이루어 졌으며 국내에서는 현재 나타나고 있는 대규모 도시개발로 인한 지하수 및 주변 저수지 수위저하, 국부적인 지반침하에 의한 피해 가능성을 줄이고 이를 사전에 예방하기 위한 장기관측과 분석기법 기술개발은 시도된 적이 없음
- 지하수, 지반구조 영향 계측·평가·관리기술 분야의 연도별 전체 특허동향을 살펴보면, 거시적인 관점에서 1991년부터 일본 출원건수의 높은 증가율의 영향으로 출원 건수가 증가하기 시작하여, 2014년 까지 하수, 지반구조 영향 계측·평가·관리기술 분야에 관련된 연구개발이 증가추세로 나타나고 있으며, 이는 세계적으로 도심 지하수 이용 및 제어의 필요성이 높아지고 있는 추세를 반영하고 있는 것으로 추측됨
- 지하수, 지반구조 영향 계측·평가·관리기술 분야에 대해 전 세계 기술 위치를 포트폴리오로 분석해보면 1980년~1986년부터 2000년~2006년까지 출원 건수와 출원인 수가 계속 증가하는 성장 단계를 보이고 있어 지하수, 지반구조에 대한 연구 개발 및 이에 따른 특허 출원이 급격히 증가하는 추세로 분석되나, 좀 더 정확한 양상을 알기 위해서는 이후 출원 동향을 지속적으로 모니터링 해야 할 것임
- 도심지 광역 지하수 관리 기술의 연도별 전체 특허동향을 살펴보면, 거시적인 관점에서 1988년 까지는 유럽을 제외하고 출원 건수가 미미한 수준이었다가, 1989년 일본에서 출원이 늘어나기 시작하였고, 1995년 이후부터 출원 증감이 반복되면서 전체적으로 출원은 늘어나는 추세를 보이고 있는 것으로 나타남

- 지반구조물 주변 지하수 관리 기술 분야의 연도별 전체 특허동향을 살펴보면, 거시적인 관점에서 1990년 이전까지는 유럽을 제외하고는 출원 건수는 전무하다가, 1990년 이후 일본의 출원 건수가 급격히 증가하는 등 한국, 미국의 출원 증감이 반복하는 추세를 보이고 있어, 전체적으로는 출원 건수가 증가하는 경향을 보이는 것으로 나타남
- 지하수, 지반구조 영향 계측·평가·관리기술에 대한 논문의 발행연도별 동향을 보면, 거시적인 관점에서 1990년 이전까지는 논문 발표가 미비 하였다가 1991년 이후부터 지속적으로 증가세에 있다가, 2006년까지 논문 발표량이 급증하고 있다가, 현재는 논문 발표가 줄어드는 추세를 보이거나, 전체적인 흐름상 지하수, 지반구조 영향 계측·평가·관리기술 분야의 연구 개발은 최근 10년 동안 확연히 늘어나고 있는 추세로 분석됨
- 연도 구간별 세부기술 동향을 살펴보면 4개 중분류 분야에서, 재난대응 지하수 관리 기술(AD)이 35%로 가장 높은 비율을 차지하고, 그 뒤로 지하수 계측 및 모니터링 기술(AC)이 30%, 지하 지반구조 및 매설물 파악 기술(AA)이 26%, 지하수 유동 물수지 평가 기술(AB)이 14%로 각각 나타나고 있음
- 지반구조물 주변 지하수 관리 기술 분야의 연도별 전체 특허동향을 살펴보면, 거시적인 관점에서 1990년 이전까지는 유럽을 제외하고는 출원 건수는 전무하다가, 1990년 이후 일본의 출원 건수가 급격히 증가하는 등 한국, 미국의 출원 증감이 반복하는 추세를 보이고 있어, 전체적으로는 출원 건수가 증가하는 경향을 보이는 것으로 나타남
- 지반구조물 주변 지하수 관리 기술에 대한 논문의 발행연도별 동향을 보면, 거시적인 관점에서 1985년 이전까지는 논문 발표가 미비 하였다가 1991년 이후부터 논문 발표가 증가되는 경향을 보이고 있다가, 1997년부터 2007년까지 논문 발표가 급증하는 것으로 보아 이 시기에 지반구조물 주변 지하수 관리 기술 분야에 대한 연구 개발이 매우 활발하게 진행된 것으로 판단됨
- 지하수와 지하 구조물에 의한 지반 변상 분석 기술(BA)이 35%로 가장 높은 비율을 차지하고, 그 뒤로 지하수 및 지반구조물 통합 계측 및 관리 효율 향상을 위한 신개념 시스템(BC)이 30%, 지하수위 변화에 의한 도시 지반 침하 측정기술(BD)이 24%, 건축물 및 지하구조물 주변 지하수 흐름 관리기술(BB)이 18% 각각 나타나고 있음
- 도심지 광역 지하수 및 지반구조물 주변 지하수의 계측·평가·관리 기술 관련 분야는 최근 사회문제로 쟁점 화되어 사회적 이슈로 부각되고 있는 실정이고, 현재까지 도심지 광역지하수에 대한 관리는 지하수 관측공의 공내 수위 자료에 절대적으로 의존하고 있는 실정으로, 지하수의 다목적 활용 및 재난 대비 관점에서의 관리를 위한 국내 기술력은 매우 미흡한 수준이며, 새로운 시장창출의 가능성으로 기술발전의 성장세를 지속 유지할 필요가 있는 것으로 전망되며, 도심지 광역 지하수 관리기술(A)을 이용하여 도심지 광역 지하수를 정밀 분석하고, 지반구조물 주변 지하수 관리 기술(B)에 적용하여 도심지 지반 침하를 방지 할 수 있는 것으로 판단됨

## 3

## 기술수요 및 수준·예측조사

## 1절 기술수요조사

## 1. 개요

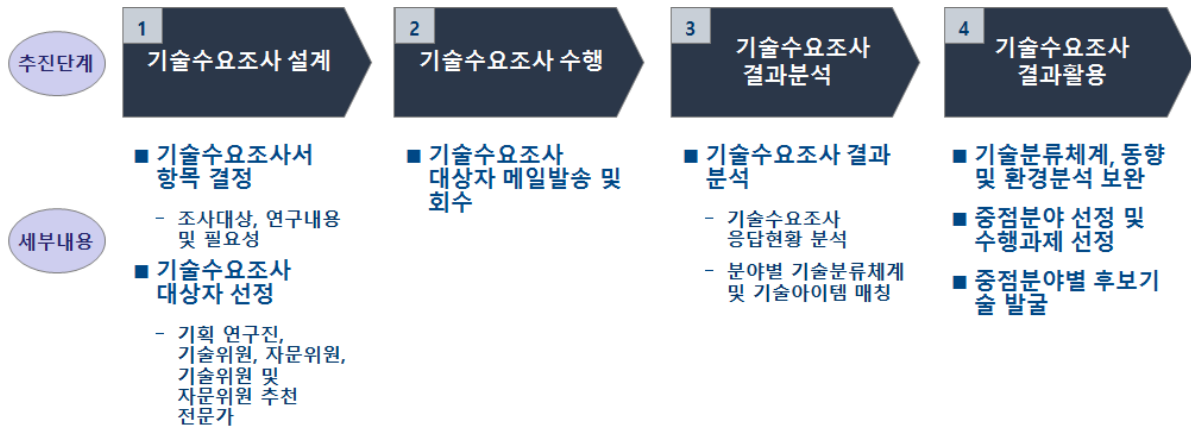
## 가. 기술수요조사의 목적

- 기술수요조사는 도심지 지반침하와 연계된 지하수 관리를 위해 기술개발이 필요한 기술아이템 도출을 목적으로 함
- 산·학·연 전문가를 대상으로 도심지의 지하수 관리를 위해 기술개발이 필요한 기술아이템에 대한 기술수요를 조사함
- 기술수요조사는 기술개발 우선순위를 파악하고 기술개발 과제간의 효율적인 자원배분 방안을 마련하기 위한 사전 조사에 해당됨
  - ※ 도심지 지하수 관리 기술의 분류체계를 제시하고 수요조사를 실시하였으며, 기술분류체계 상 연구개발 아이템이 많이 제안된 기술분야는 기술개발 니즈가 높은 기술분야로 볼 수 있음
  - ※ 연구개발 아이템이 제안되지 않은 기술분야는 기술개발 니즈가 없는 기술분야로 볼 수 있음

## 나. 기술수요조사의 절차

- 기술수요조사는 기술수요조사 설계, 기술수요조사 수행, 기술수요조사 결과분석, 기술수요조사 결과 활용 순으로 추진함
- 기술수요조사 설계단계에서는 기술수요조사서 항목을 결정하고 기술수요조사 대상자를 설정함
- 기술수요조사 수행단계에서는 기술수요조사 대상자에게 조사서를 발송하고 회신함
- 기술수요조사 결과분석단계에선 기술분류체계와 회신된 기술아이템을 매칭하고, 응답 현황 및 기술분류체계별 기술수요를 분석함

- 기술수요조사 결과활용단계에서는 회신 조사서 내용으로 기술분류체계, 동향 및 환경분석 내용을 보완하고, 기술아이템은 후보과제로 구성하여 향후 중점분야 선정 및 수행과제 선정에 활용함



〈그림 3-1〉 기술수요조사 진행 절차

다. 기술수요조사 발송 및 응답개요

- 기술수요조사는 내부 연구진 및 외부 전문가위원회를 대상으로 메일을 발송하여 조사함.

[표 3-1] 기술수요조사 발송 및 응답개요

구분	내용
조사기간	2015년 1월 12일 ~ 2월 9일(4주간)
조사대상	내부 연구진 및 외부 전문가 위원회
조사방법	이메일을 통한 설문조사
응답자 수	총 46명(산 : 22명, 학 : 17명, 연 : 7명)
기술수요조사 응답건수	59건

※ 외부 전문가위원회는 정부 및 유관기관, 관련 협회, 대기업 건설사, 설계사 등에 재직중인 전문가를 그 대상으로 함

2. 기술수요조사 분석결과

- 제안받은 기술아이템은 총 59건이며, 기술분야별로 구분할 경우 지반구조물 주변 지하수 관리기술분야에서 가장 많은 35건의 기술아이템을 제안받음
- 도심지 광역 지하수 관리 기술분야에서는 총 24건의 기술아이템을 제안받았으며, 세부적으로는 도심지 지반함몰 예방을 위한 지하수 계측 및 모니터링 기법분야에서 가장 많은 10건의 기술아이템을 제안받음

- 지반구조물 주변 지하수 관리기술분야에서는 총 35건의 기술아이템을 제안받았으며, 세부적으로는 건축물 및 지하구조물 주변 지하수 흐름 관리기법분야에서 가장 많은 12건의 기술아이템을 제안받음

**가. 도심지 광역 지하수 관리기술분야**

- 도심지 광역 지하수 관리기술분야에서는 총 24개 기술아이템을 제안받았으며, 기타 탐사 기술분야는 제안기술이 없음

[표 3-2] 도심지 광역 지하수 관리기술분야 기술수요조사 제안기술 목록

중분류	제안기술
도심지 광역적 지하 지반구조 및 지하매설물 파악기법	광역적 지하 지반구조 및 지하매설물 탐지기법
	도심지 터널 및 지반굴착에 따른 지하공동조사장비 개발 및 Test-bed 기반 구축
	레이저센서를 이용한 지반 함몰 및 지하공동 3-D 예측기술 개발
	SUE(Subsurface Utility Engineering)기법을 활용한 도심지 지반 구조 및 지하매설물 파악을 위한 프레임 개발
	도심지 지하수 환경변화 예측을 위한 광역적 3차원 지하 지반구조 작성 프로그램 및 적용 기술
	도심지역 천부지반 정밀 탐지를 위한 복합물리탐사와 소형시추장비 개발
도심지 지반굴착에 따른 지표수·지하수 유동 및 물수지 평가기술	도심지 대규모 지반굴착에 따른 지하수-지표수 경계면 상호작용 실시간 모니터링 및 분석기술 개발
	대규모 지하개발이 지하수위 변동에 미치는 영향평가기법 연구
	도심지 지반굴착에 따른 지하수 유동 및 지하수-지반 변상 분석 및 예측(3차원Ground water Modeling 수치해석)
	도심지역의 지하수 및 지질변화 평가 예측 모델 개발
도심지 지반함몰 예방을 위한 지하수 계측 및 모니터링 기법	도심지 지하수 유동 및 수위변화 통합 관리 시스템 개발
	지하수 동수경사 급변지점 탐지를 위한 지하수 계측 및 모니터링기법 개발
	도심지 지반굴착에 따른 지하수 유동 및 지하수-지반 변상 분석 및 예측(모형 실험을 통한 정량적 해석 및 보강 공법)
	지하수위 모니터링을 통한 지반함몰 예측시스템 개발 기술
	도심지역 지하수의 모니터링 시스템 및 이상변동 분석기술 개발
	진동감지 기능이 포함된 지하수 관측장비와 지표 투과형 센서를 활용한 지하수 및 지반특성 계측 시스템
	자가 치유 혼화재 기반의 지하 공동 보수/보강 기술개발
	지반굴착 등 인위적인 지하수 교란에 의해 발생하는 지반함몰의 예고 시스템(alert system) 및 대책 개발에 관한 연구
	동공/싱크홀 사전 징후 모니터링 첨단 기법
도심지 지반함몰 예방을 위한 지하수 계측 및 모니터링 기법(디지털지도작성)	
재난/ 재해 대응 3차원 지하수 관리시스템	재난 재해 대비 3차원 지하수분포 및 매설물도 작성기법
	지하 이상징후 탐지를 위한 지하수 관측시스템 개발
	도심지 광역 지하수 관리 3차원 최적 영상 구현
	지반구조 및 지하수 관련 시설에 대한 생애주기(Lifecycle)별 관리를 위한 3차원 BIM기반 PC와 모바일 연동 양방향 모니터링 및 실시간 대응시스템 구축

나. 지반구조물 주변 지하수 관리기술분야

□ 지반구조물 주변 지하수 관리기술분야에서는 총 35개 기술을 제안받음

[표 3-3] 지반구조물 주변 지하수 관리기술분야 기술수요조사 제안기술 목록

중분류	제안기술
지하수와 지하구조물에 의한 지반변상 분석기법	지반굴착 및 지하수 개발에 의한 지하수 유동 및 지반변형의 통합적 예측 및 정량적 평가 도심지 지반 굴착에 따른 지하수 유동 및 지하수-지반변상 분석 및 예측2(실내 모형실험 및 토사유출 거동 분석,3차원 해석)
	지반굴착시 토사유출에 의한 주변지반 공동형성 및 공동진전에 대한 메카니즘 분석과 위험도 평가 및 관리기술
	지반굴착시 체적손실과 지하수 유출에 따른 주변지반 침하특성 분석과 인접 구조물 손상도 평가기술 개발
	지하수 변동에 따른 지하구조물 및 인접구조물 변상 예측 시뮬레이션 기술
	지하수 흐름에 의한 지반변상 분석기법 개발
건축물 및 지하구조물 주변 지하수 흐름 관리기법	지하구조물 굴착 및 시공에 따른 지하수 유동 및 영향분석 관리기법
	피압대수층 부지 내 건축물 및 지하구조물 기초지반의 지하수두 변동폭 제어기술
	지하수 동수경사 급변지점에서의 지반함몰 예방기법 연구
	구조물 주변 지하수 흐름 관리를 위한 스마트 수두 계측 관리 시스템
	지하철 터널 유출수량 평가 및 분석 예측기술
	지하구조물 타입에 따른 지하수 관리기술 개발
	지반굴착에 따른 도시하천 건천화 취약성 평가기술개발
	지하구조물에 따른 지하수 흐름장애에 의한 지반거동예측 기술 및 배수 기법개발(지반과 수리의 융합 연구 과제)
	DFN 기반의 지하구조물과 연계된 지하수 흐름 해석기술 개발
	복수공법(recharge method)의 설계 및 시공 연구
주열식 강관 흠막이법 이용 복수(recharge well)공법개발	
도심지 지하수위 변화 대응 안전한 굴착 공사 시스템 개발	
지하수 및 지반구조물 통합계측 및 관리 효율 향상을 위한 신개념 시스템	지반구조물 지하수 유출과 연계된 3차원 절리구조 입체 영상화 연구
	굴착주변 지반내부의 영상화 및 손상도 해석 기술 개발
	지하수 계측 및 관리 효율 향상을 위한 지하수 유속, 유향 측정 장비 고도화
	도심지 지반함몰 예상지역의 통합관리 체계 구축
	굴착공사시 발생 지하수 유출량 실시간 측정 기술
	도심지 대규모 지하개발에 의한 지하수 영향 예측 및 지하 구조물 안정성 평가 기술개발
	지하수 흐름에 따른 미세입자 유동에 따른 지반변상 파악기법
	고신뢰성 지하 센서 네트워크 설계 및 구현기술
분포형 광섬유 센서(BOTDA)를 이용한 지하수 및 지반구조물에 대한 통합 실시간 모니터링 시스템 기술 개발	
지하수위 변화에 의한 도시지반 침하 측정기술	도심지 대규모 지하 개발에 의한 지하수 영향 예측 및 지하 구조물 안정성 평가 기술개발
	지하 구조물 주변 지하수위 단기 변동성과 안전관리
	지반구조물 주변 지하수 관리기술
	분포형광섬유 센싱 기술을 활용한 지반거동 및 지하수 관리기법
	적외선 열화상 카메라를 이용한 굴착공사 현장의 안전 모니터링 기술
	지하수위 변화에 의한 도시지반 침하측정기술
지층 특성을 고려한 지반 침하방지를 위한 지하수위 변동 및 영향 반경 관리기법 개발	
도심지 지하수위 변화대응 안전한 굴착공사 시스템 개발	

## 2절 기술수준 및 예측조사

### 1. 개요

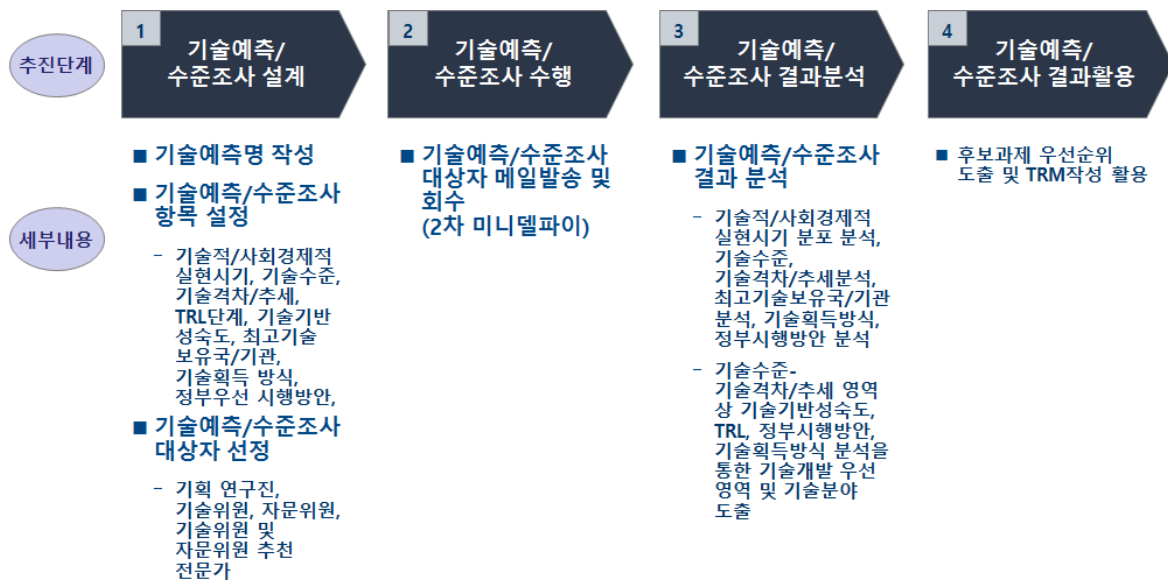
#### 가. 기술예측/수준조사의 목적

- 기술예측/수준조사는 도심지의 기반침하와 연계된 지하수 관리 기술의 실현시기, 기술수준 등 기술특성의 변화속도를 정량적으로 평가하여 과제우선 순위 평가를 위한 기초자료로 활용을 목적으로 함
- 산·학·연 전문가를 대상으로 도심지의 지하수 관리 기술의 실현시기, 기술수준, TRL단계, 중요도 등을 위해 기술개발이 필요한 기술아이템에 대한 기술수요를 조사함
- 기술예측/수준조사는 도심지의 지하수 관리 기술의 기술혁신 동향을 예측하여 이를 토대로 효과적인 R&D계획을 수립하고 합리적인 의사결정 방안을 마련하기 위한 조사임
  - 연구개발 사업 계획과 전략 수립에 활용하기 위한 적합한 자료와 다양한 예측방법을 사용하여 미래의 기술변화에 관한 필요한 정보를 수집함
    - 현재 기술의 수준을 살펴봄으로써 기술변화를 예측하고, 이를 기반으로 기술개발의 방향과 목표를 설정함

#### 나. 기술예측/수준조사의 절차

- 기술예측/수준조사는 기술예측/수준조사 설계, 기술예측/수준조사 수행, 기술예측/수준조사 결과분석, 기술예측/수준조사 결과 활용 순으로 추진함
- 기술예측/수준조사 설계단계에서는 기술예측/수준조사서 항목을 결정하고 기술예측/수준조사 대상자를 설정함
  - 조사항목은 기술예측/수준조사를 수행한 선행연구의 기술예측/수준조사항목을 검토하여 기술개발 추진방향 설정에 시사점을 줄 수 있는 항목으로 구성함
    - 세부 기술분야별 최고기술보유국과 국내의 기술적/사회경제적 기술실현시기, 최고기술 보유국 대비 국내 기술수준, 기술격차, 격차년도, TRL, 인프라 성숙도, 기술적 중요도, 기술획득방식, 정부우선시행방안 등을 조사항목으로 설정함
- 기술예측/수준조사 수행단계에서는 기술예측/수준조사 대상자에게 조사서를 발송하고 회신함
  - 기술예측/수준조사는 2Round에 걸친 Mini-델파이 방법을 활용함

- 응답자별로 본인의 1Round 응답결과와 전체 조사대상자 응답 통계자료를 함께 제공하여 조사항목별로 전문가의 합의를 유도함
- 2Round 응답결과 중 양 극단값을 평가한 조사자의 응답결과를 배제한 값의 평균치를 최종 결과값으로 설정함
- 기술예측/수준조사 결과분석단계에선 기술분류체계별 조사결과를 분석하고, 기술수준-중요도, 기술격차-격차추세, 기술격차-기술수준, 기술기반 성숙도-중요도의 포트폴리오 분석을 통해 기술개발 추진전략을 설정함
- 기술예측/수준조사 결과활용단계에서는 분석결과를 기반으로 한 사업추진방향 설정, 후보과제 우선순위 도출, TRM작성 등에 활용함



〈그림 3-2〉 기술예측/수준조사 추진 절차

다. 기술예측/수준조사 발송 및 응답개요

- 기술수요조사는 전문가 자문위원회를 대상으로 메일을 발송하여 조사함

[표 3-4] 기술예측/수준조사 발송 및 응답개요

구분	내용
조사기간	1차 조사기간 : 2015년 2월 16일 ~ 3월 2일(2주간) 2차 조사기간 : 2015년 3월 4일 ~ 3월 11일(1주간)
조사대상	전문가 자문위원회
조사방법	이메일을 통한 설문조사
응답자 수	총 19명(산 : 5명, 학 : 8명, 연 : 6명)

라. 기술예측/수준조사 항목 설정

(1) 기술 실현시기

- ‘기술적 실현시기’는 해당기술의 기술적인 문제가 해결되어 기술이 적용된 최초의 시작품 등이 실험실 수준에서 완료되는 예상시점(Single Point Time)임
- ‘사회경제적 실현시기’는 해당기술의 경제성이 확보되어 기술을 적용한 제품 등이 상업화 되거나 해당기술이 사회적으로 널리 활용되는 예상시점(Single Point Time)임

(2) 국내 기술수준 및 기술격차

- ‘국내 기술수준’은 `15년 현재 시점에서 해당기술의 최고기술보유국 대비 국내 기술수준임
  - 기술수준의 평가 기준은 다음과 같음

[표 3-5] 기술예측/수준조사의 기술수준 평가 기준

기술수준	설명
100%	독보적 세계 최고
81% ~ 99%	기술 분야를 선도
61% ~ 80%	선진기술의 모방개량이 가능
41% ~ 60%	선진기술의 도입적용이 가능
1% ~ 40%	연구개발능력이 취약
0%	우리나라에서 관련 연구가 전혀 진행되고 있지 않음

- ‘기술격차’는 국내 기술수준이 세계최고기술에 도달하기까지 소요되는 시간(단위:년)임
- ‘기술격차추세’는 세계 최고기술과 국내 기술수준 격차가 어떻게 변화하고 있는지를 나타내는 지표로 5점척도로 평가함
  - 기술격차추세의 평가 기준은 다음과 같음

[표 3-6] 기술예측/수준조사의 기술격차추세 평가 기준

구분	설명
5	최고기술과 기술격차가 “빠르게 확대 중”
4	최고기술과 기술격차가 “확대 중”
3	최고기술과 기술격차가 “유지되고 있음”
2	최고기술과 기술격차가 “축소 중”
1	최고기술과 기술격차가 “빠르게 축소 중”

## (3) 기술성숙도(TRL)

- ‘기술성숙도(TRL)’는 해당기술의 국내외 기술성숙도를 나타내는 지표임
- 기술성숙도(TRL)의 평가 기준은 다음과 같음

[표 3-7] 기술예측/수준조사의 기술성숙도(TRL) 평가 기준

기술성숙도 단계	설명
1단계	기초이론/실험 등 기초연구가 시작되고 응용연구로 전환되기 시작하는 단계
2단계	실용목적의 아이디어, 특허 등 개념이 정립되는 단계
3단계	실험실 규모의 기본성능평가가 수행되는 단계
4단계	실험실 규모의 핵심성능평가가 수행되는 단계
5단계	확정된 시스템의 시작품 제작 및 성능평가가 수행되는 단계
6단계	파일럿 규모의 시작품 제작 및 성능평가가 수행되는 단계
7단계	신뢰성 평가 및 수요기업 평가가 이뤄지는 단계
8단계	시제품 제작 및 신기술 검증/인증/표준화가 수행되는 단계
9단계	사업화가 완료된 단계

## (4) 최고기술 보유국

- ‘최고기술보유기관’은 `15년 현재 시점에서 해당기술의 최고기술을 보유한 국가임

## (5) 기술기반 성숙도

- ‘기술기반 성숙도’는 해당 기술과 관련된 국내 산업/기술 연구인력, 장비 등 인프라 수준을 나타내는 지표로 5점 척도로 제시함
- 기술기반 성숙도의 평가 기준은 다음과 같음

[표 3-8] 기술예측/수준조사의 기술기반 성숙도 평가 기준

구분	설명
5	세계선도 연구인력 및 장비 등 확보
4	최고기술보유국과 동등한 수준
3	최고기술보유국보다 낮지만 자체연구개발 수행가능 인력 장비 확보
2	국내 관련 연구인력, 장비가 매우적어 해외협력연구가 필요한 수준
1	국내 관련 연구인력, 장비 인프라 전무

(6) 기술적 중요도

- ‘기술 핵심성’은 해당기술이 ‘지하수, 지반구조 영향 계측·평가·관리기술’내에서 차지하는 상대적인 중요도를 나타내는 지표로 5점 척도로 제시함
- 기술 핵심성의 평가 기준은 다음과 같음

[표 3-9] 기술예측/수준조사의 기술 핵심성 평가 기준

구분	설명
5	해당기술이 ‘지하수, 지반구조 영향 계측·평가·관리기술’내에서 차지하는 상대적인 중요도가 매우 높음
4	해당기술이 ‘지하수, 지반구조 영향 계측·평가·관리기술’내에서 차지하는 상대적인 중요도가 높음
3	해당기술이 ‘지하수, 지반구조 영향 계측·평가·관리기술’내에서 차지하는 상대적인 중요도가 보통임
2	해당기술이 ‘지하수, 지반구조 영향 계측·평가·관리기술’내에서 차지하는 상대적인 중요도가 낮음
1	해당기술이 ‘지하수, 지반구조 영향 계측·평가·관리기술’내에서 차지하는 상대적인 중요도가 매우 낮음

- ‘시급성’은 해당 기술이 적정 수준을 구현해야 하는 시기를 고려하여 기술개발이 시급한 정도를 나타내는 지표로 5점 척도로 제시함
- 시급성의 평가 기준은 다음과 같음

[표 3-10] 기술예측/수준조사의 시급성 평가 기준

구분	설명
5	적정수준 구현시기를 고려 시 기술개발이 매우 시급함
4	적정수준 구현시기를 고려 시 기술개발이 시급함
3	적정수준 구현시기를 고려 시 기술개발이 시급한 정도가 보통임
2	적정수준 구현시기를 고려 시 기술개발이 시급하지 않음
1	적정수준 구현시기를 고려 시 기술개발이 전혀 시급하지 않음

- ‘과학기술적 파급효과’는 해당 기술이 타 요소기술 개발에 미치는 영향력을 나타내는 지표로 5점 척도로 제시함
- 과학기술적 파급효과의 평가 기준은 다음과 같음

[표 3-11] 기술예측/수준조사의 과학기술적 파급효과 평가 기준

구분	설명
5	타 요소기술 개발에 미치는 영향력이 매우 높음
4	타 요소기술 개발에 미치는 영향력이 높음
3	타 요소기술 개발에 미치는 영향력이 보통임
2	타 요소기술 개발에 미치는 영향력이 낮음
1	타 요소기술 개발에 미치는 영향력이 매우 낮음

## (7) 기술획득방식

- ‘기술획득방식’은 해당 기술의 기술개발을 위해 적합한 연구 주체를 나타냄
- 기술획득방식은 아래 4개 항목 중 하나를 선택하여 조사함

[표 3-12] 기술예측/수준조사의 기술획득방식 조사 항목

구분	설명	
자체 개발	민간	기술이 사업에 직접 적용될 수 있거나 민간의 역량이 우수하여 민간이 주도하는 것이 바람직함
	정부	기술의 공공성이 강하거나 민간의 역량이 부족하고 기초 단계 연구개발이 필요하여 정부출연연구소 또는 기관을 중심으로 정부가 주도하는 것이 바람직함
	공동	정부와 민간이 매칭펀드 또는 역할분담을 통하여 공동으로 개발을 추진하는 것이 바람직함
기술도입 및 국제공동연구	국내 개발 역량이 미흡하거나 해외 우수 기술의 도입을 통하여 비용을 크게 절감할 수 있어 독자적 개발보다는 국제공동개발 또는 해외 기술을 도입하는 것이 바람직함	

## (8) 정부우선시행방안

- ‘정부우선시행방안’은 해당 기술의 기술적 실현을 위해 정부가 우선적으로 시행해야 할 정책을 의미함
- 정부우선시행방안은 아래 5개 항목의 중요도 비중을 조사함

[표 3-13] 기술예측/수준조사의 정부우선시행방안 조사 항목

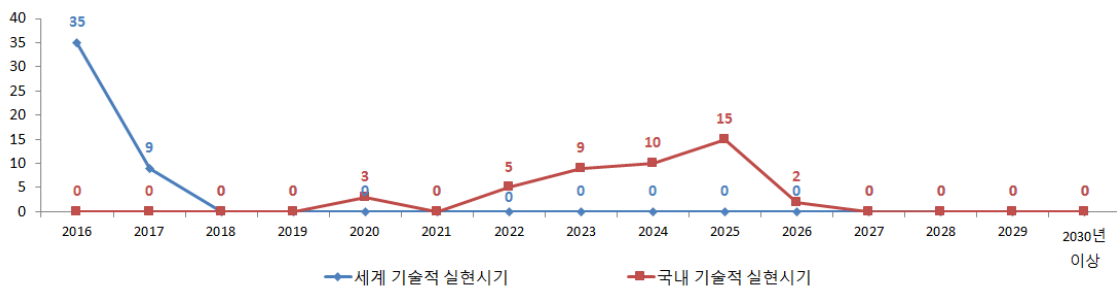
구분	설명
인력양성	해당기술에 인력이 절실히 부족하여 인력양성을 위한 정책적 지원 필요
협력교류 활성화	기술의 성격상 다학제적 연구 또는 산학연 및 국제공동연구가 필요하며 협력교류 활성화를 위한 정책적 지원 필요
인프라구축	기술 개발을 위해 설비투자 등의 인프라구축이 필요
연구비확대	기술 개발을 위해 연구개발비 확대 및 신규 투자가 필요
제도개선	규제 완화/정책 수립/법규 제정/표준화 지원 등 연구개발을 촉진하기 위한 제도의 수립 또는 개선이 필요

## 2. 기술예측/수준조사 분석결과

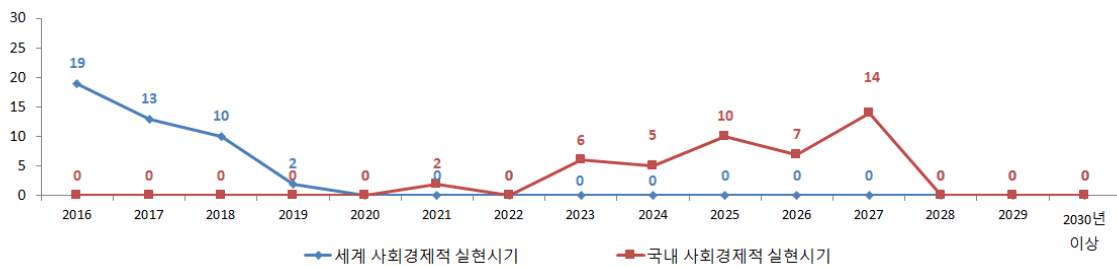
## 가. 국내외 기술적 실현시기

- 해외 최고기술보유국의 지하수, 지반구조 영향 예측·평가·관리기술은 국내보다 7~9년 이상 앞서 실현될 것으로 전망됨
- 해외 최고기술보유국에서는 '17년까지 지하수, 지반구조 영향 예측·평가·관리기술이 모두 기술적으로 실현될 것으로 전망됨

- 해외 최고기술보유국은 '16년에 기술적 실현시기가 집중되어 있음
- 국내는 '26년까지 지하수, 지반구조 영향 계측·평가·관리기술이 모두 기술적으로 실현될 것으로 전망됨
- 국내는 '23~'25년에 기술적 실현시기가 집중되어 있음
- 해외 최고기술보유국은 '18년까지 지하수, 지반구조 영향 계측·평가·관리기술이 모두 사회경제적으로 실현될 것으로 전망됨
- 해외 최고기술보유국은 '16~'18년에 사회경제적 실현시기가 집중되어 있음
- 국내는 '27년까지 지하수, 지반구조 영향 계측·평가·관리기술이 모두 사회경제적으로 실현될 것으로 전망됨
- 국내는 '23~'27년에 사회경제적 실현시기가 집중되어 있음
- 지하수, 지반구조 영향 계측·평가·관리기술의 기술적 실현 이후 사회경제적 실현까지 국내 해외 모두 1~2년이 소요될 것으로 전망됨



〈그림 3-3〉 지하수, 지반구조 영향 계측·평가·관리기술의 국내외 기술적 실현시기

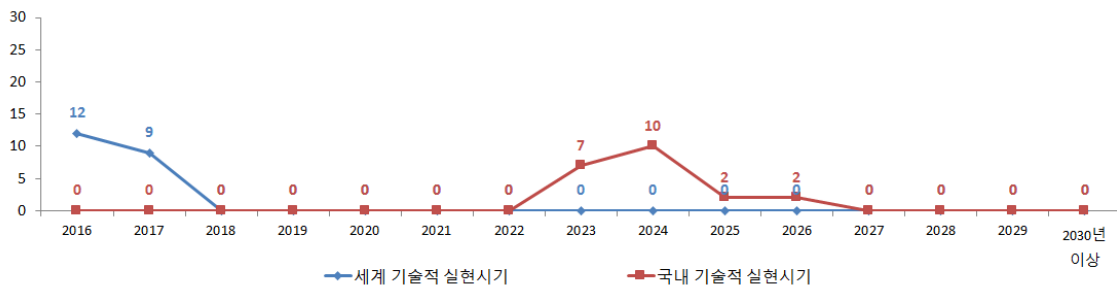


〈그림 3-4〉 지하수, 지반구조 영향 계측·평가·관리기술의 국내외 사회경제적 실현시기

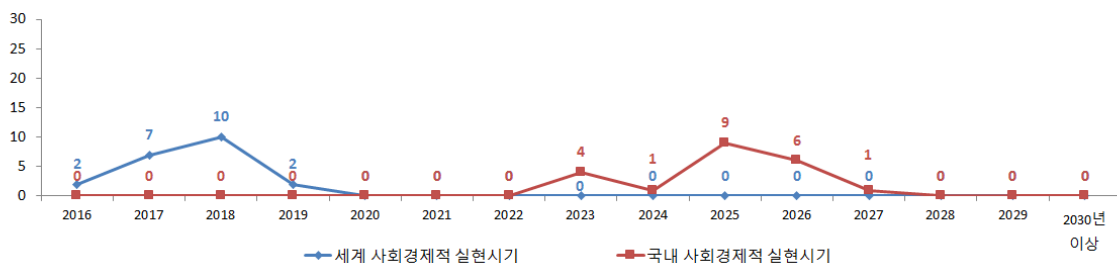
(1) 도심지 광역 지하수 관리기술

- 해외 최고기술보유국의 도심지 광역 지하수 관리기술은 국내보다 7~9년 이상 앞서 실현될 것으로 전망됨

- 해외 최고기술보유국은 '17년까지 도심지 광역 지하수 관리기술이 모두 기술적으로 실현될 것으로 전망됨
  - 해외 최고기술보유국의 도심지 광역 지하수 관리기술의 기술적 실현은 '16, '17년에 집중될 것으로 예측됨
- 국내는 '26년까지 도심지 광역 지하수 관리기술이 모두 기술적으로 실현될 것으로 전망됨
  - 국내 도심지 광역 지하수 관리기술의 기술적 실현은 '23, '24년에 집중될 것으로 예측됨
- 해외는 '19년까지 도심지 광역 지하수 관리기술이 모두 사회경제적으로 실현될 것으로 전망됨
  - 해외 도심지 광역 지하수 관리기술의 사회경제적 실현은 '17, '18년에 집중될 것으로 예측됨
- 국내는 '27년까지 도심지 광역 지하수 관리기술이 모두 사회경제적으로 실현될 것으로 전망됨
  - 국내 도심지 광역 지하수 관리기술의 사회경제적 실현은 '25, '26년에 집중될 것으로 예측됨
- 도심지 광역 지하수 관리기술의 기술적 실현 후 사회경제적 실현까지 국내외 모두 0~2년이 소요될 것으로 전망됨



〈그림 3-5〉 도심지 광역 지하수 관리기술의 기술적 실현시기



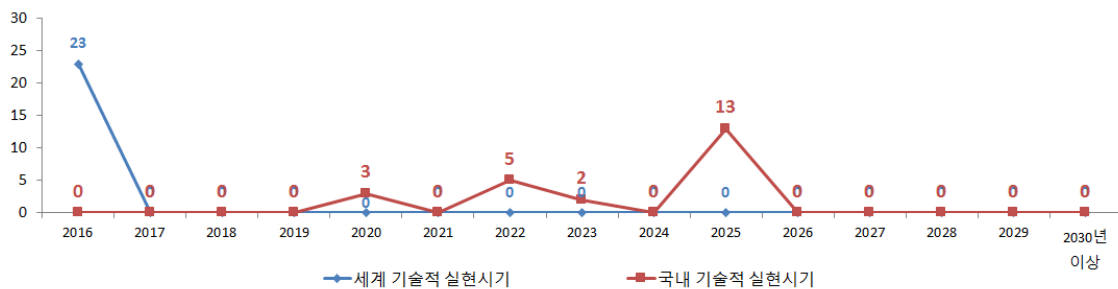
〈그림 3-6〉 도심지 광역 지하수 관리기술의 사회경제적 실현시기

[표 3-14] 도심지 광역 지하수 관리 기술의 기술적·사회경제적 실현시기

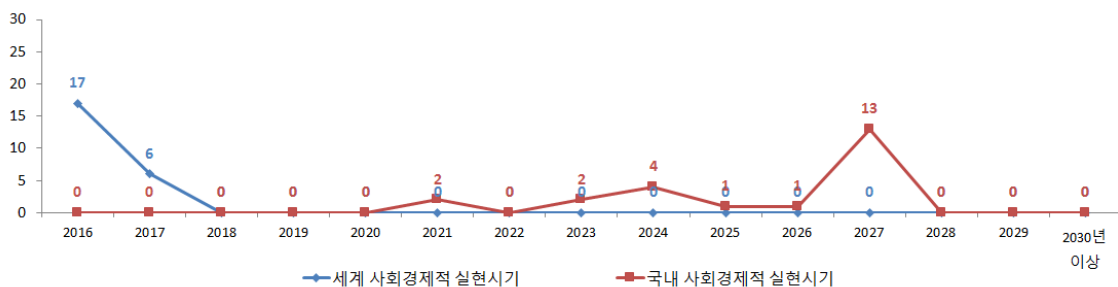
중분류	기술분류체계 소분류	기술적 실현시기		사회경제적 실현시기	
		세계	국내	세계	국내
도심지 광역적 지하 지반 구조 및 지하 매설물 파악기법	광역적 지하지반구조 및 지하매설물 탐지 기법	17	25	18	26
	SUE(Subsurface Utility Engineering)기 법기반 도심지 지반구조 및 매설물 탐지프 레임 개발	17	24	18	26
	도심지 지하수 환경변화예측을 위한 광역 3차원 지하지반구조 작성 프로그램	17	24	17	25
	도심지역 천부 지반 정밀 탐지를 위한 복 합물리탐사와 소형 시추장비 개발	17	25	17	27
	노이즈 최소화 지반탐사를 통한 이상대 탐 지기법	17	24	18	26
	지층별 수리지질특성치 분포 추정 및 해석 기술	17	24	18	26
도심지 지반굴착에 따른 지표수, 지하수 유동 및 물수지 평가 기술	대규모 지반굴착에 따른 지하수-지표수 상호작용 실시간 모니터링 및 분석기술	16	23	17	24
	대규모 지하개발이 지하수위 변동에 미치는 영향평가 기법연구	16	23	17	25
	도심지 지반굴착에 따른 지하수 유동 및 지하수-지반변상분석 및 예측	17	23	19	26
	도심지 지표-지하 통합 물수지 평가기술	16	24	18	25
	도심지 지하수 함양 및 배출해석 기술	16	23	18	25
	도심지 광역 지하수 환경변화 예측기술	16	23	18	25
	도심지 통합 수문해석-지반침하 연계 분석기술	17	26	18	26
도심지 지반함몰 예방을 위한 지하수 계측 및 모니터링 기법	도심지 최적 지하수 관측망 구성 기법	16	24	16	25
	첨단장비를 활용한 지하유출수 계측 기법 개발	16	24	19	25
	지하수위 이상 변동 모니터링 및 평가기법	16	24	17	25
	도심하천-지하수연계 모니터링기법	16	24	18	23
	동공/싱크홀 사전 징후 모니터링 첨단기법	17	26	18	25
재난/재해 대응 3차원 지하수 관리시스템	재난재해 대비 3차원 지하수 분포 및 매설 물도 작성기법	16	23	16	23
	도심지 광역 지하수관리 3차원 최적 영상 구현	16	23	17	23
	지반구조 및 지하수 관련시설 BIM기반 PC 와 모바일 연동 양방향 모니터링 시스템	16	24	17	23

(2) 지반구조물 주변 지하수 관리기술

- 최고기술보유국의 지반구조물 주변 지하수 관리기술은 국내보다 4~9년 이상 앞서 실현될 것으로 전망됨
  - 해외 최고기술보유국은 '16년까지 지반구조물 주변 지하수 관리기술이 모두 기술적으로 실현될 것으로 전망됨
    - 해외 지반구조물 주변 지하수 관리기술의 기술적 실현은 '16년에 집중될 것으로 예측됨
  - 국내는 '25년까지 지반구조물 주변 지하수 관리기술이 모두 기술적으로 실현될 것으로 전망됨
    - 국내 지반구조물 주변 지하수 관리기술의 기술적 실현은 '25년에 집중될 것으로 예측됨
  - 해외는 '17년까지 지반구조물 주변 지하수 관리기술이 모두 사회경제적으로 실현될 것으로 전망됨
    - 해외 지반구조물 주변 지하수 관리기술의 사회경제적 실현은 '16~17년에 집중될 것으로 예측됨
  - 국내는 '27년까지 지반구조물 주변 지하수 관리기술이 모두 사회경제적으로 실현될 것으로 전망됨
    - 국내 지반구조물 주변 지하수 관리기술의 사회경제적 실현은 '27년에 집중될 것으로 예측됨
- 지반구조물 주변 지하수 관리기술의 기술적 실현 후 사회경제적 실현까지 국외는 0~1년, 국내는 0~2년이 소요될 것으로 전망됨



〈그림 3-7〉 지반구조물 주변 지하수 관리기술의 기술적 실현시기



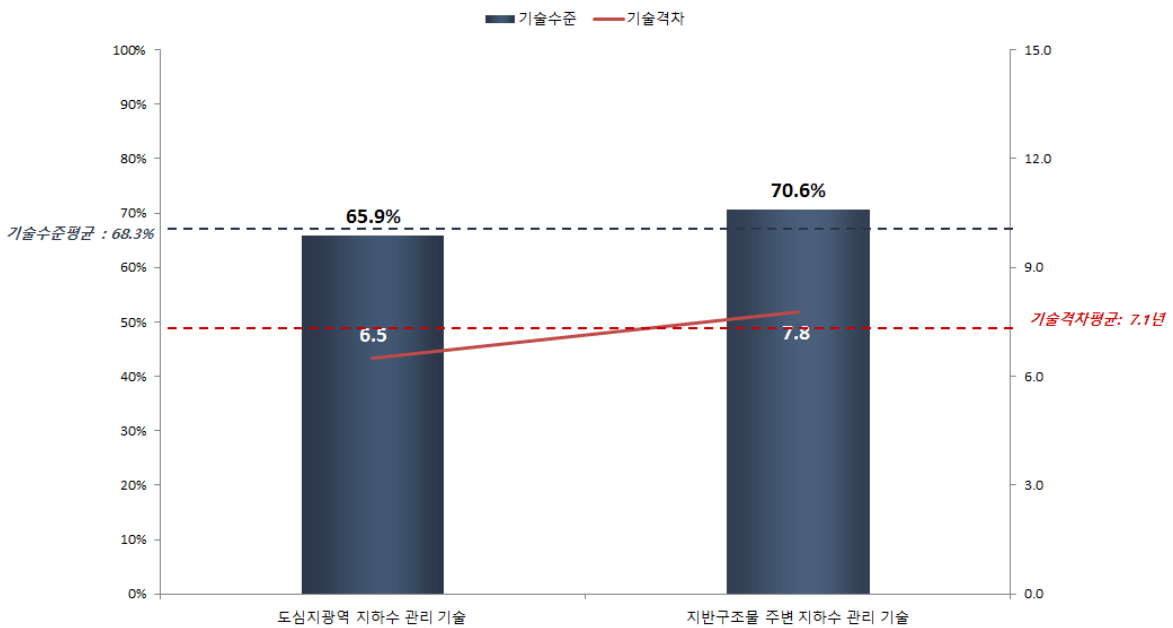
〈그림 3-8〉 지반구조물 주변 지하수 관리기술의 사회경제적 실현시기

[표 3-15] 지반구조물 주변 지하수 관리기술의 기술적·사회경제적 실현시기

중분류	기술분류체계	기술적 실현시기		사회경제적 실현시기	
	소분류	세계	국내	세계	국내
지하수와 지하 구조물에 의한 지반 변상 분석기법	대형구조물 주변에서의 지질유형별 지하수위 유지기술 개발	16	25	16	27
	지질종류별 지하수에 의한 지반변상 분석기법	16	25	16	27
	지하수와 지반변형을 동시에 고려한 모델 프로그램 개발	16	25	16	27
	모형시험을 통한 지하수 및 지하구조물의 상관관계 규명	16	25	16	27
	지하수 및 토사유출에 의한 주변지반 공동형성 원인 분석	16	25	16	27
	도심지 3차원 지하수 지도 구축	16	22	17	23
건축물 및 지하구조물 주변 지하수 흐름 관리기법	지하구조물 종류별 주변 지하수 흐름 안정화 공법	16	25	16	27
	지반종류별 지하구조물 주변의 도심 함양시설 설치 관리기술	16	25	16	27
	지하수위 복원을 위한 지하수 압력 주입기법	16	25	16	27
	지하구조물 및 굴착차수 시스템의 건전도 평가 및 계측 기법	16	22	17	24
	지하수 관측공을 이용한 지하구조물 주변 관리기법	16	25	16	27
	지하철 및 건축물의 지하수 유출수 관리 및 활용기법	16	22	16	24
지하수 및 지하구조물 통합 계측 및 관리 효율 향상을 위한 신개념 시스템	신개념 지하수 측정 시스템 개발	16	25	16	27
	도심지 저속 지하수 대응 유향-유속 동시측정 시스템	16	23	16	24
	단일공 다지점 지하수 흐름 측정 시스템	16	20	16	21
	구조물 주변 지하수 관측망 관리용 고안정성 통신 데이터 장애관리 및 자동 복구 시스템	16	20	16	21
	굴착공사 시 발생 지하수 유출량 실시간 측정기술	16	20	17	25
	도심지 지하수 함양량 측정 시스템 개발	16	23	17	26
지하수위 변화에 의한 도시지반 침하 측정 기술	지중구조물 종류별 주변 지하수, 지반침하 통합 스마트 관리기술	16	22	17	23
	IT기술을 이용한 굴착공사 주변 침하 및 붕괴 대응 안전관리기술	16	25	16	27
	침하 및 함몰예방을 위한 도심지 굴착공사 지하수 관리 및 계측 가이드라인 개발	16	22	17	24
	지하수위 변화에 따른 구조물 기초 건전도 평가기술	16	25	16	27
	도로주행형 도시 지반침하 측정 및 관리시스템 개발	16	25	16	27

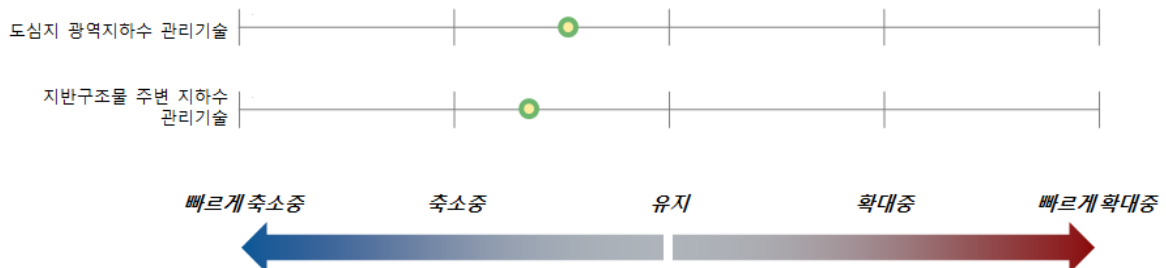
나. 기술수준 및 기술격차

- 국내 지하수 관리기술의 전체 기술수준은 68.3%이며, 평균기술격차는 7.1년임
  - 지반구조물 주변 지하수관리 기술분야(70.6%)의 기술수준이 상대적으로 높고, 도심지 광역지하수관리 기술분야(65.9%)의 기술수준은 상대적으로 낮음
  - 도심지 광역지하수관리 기술분야(6.5년)의 기술격차가 상대적으로 적으며, 지반구조물 주변지하수관리 기술분야(7.8년)의 기술격차가 상대적으로 큼



〈그림 3-9〉 국내 지하수 관리기술분야 대분류별 기술수준 및 기술격차

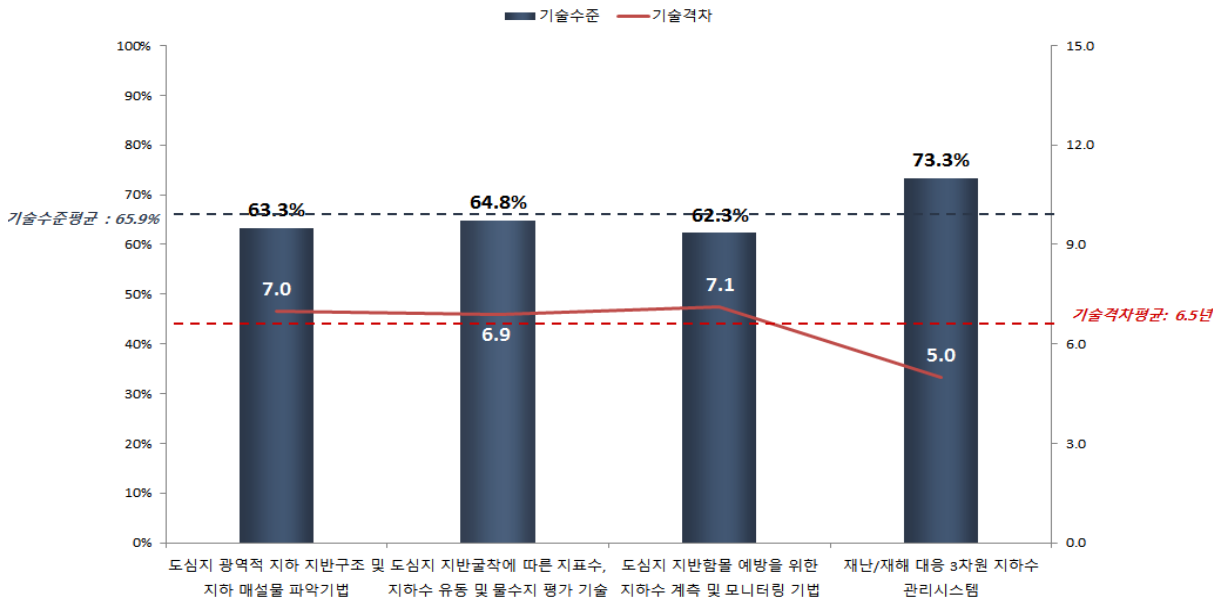
- 국내 지하수 관리기술의 기술격차는 축소 추세에 있음
  - 도심지 광역 지하수 관리기술, 지반구조물 주변 지하수관리 기술분야 모두 기술격차가 축소되고 있으며, 상대적으로 지반구조물 주변 지하수관리 기술분야의 기술격차가 보다 빠르게 축소중인 것으로 나타남



〈그림 3-10〉 국내 지하수관리 기술분야 대분류별 기술격차 추세

(1) 도심지 광역 지하수 관리기술

- 국내 도심지 광역 지하수 관리기술의 기술수준은 65.9%이며, 평균기술격차는 6.5년임
  - 재난/재해 대응 3차원 지하수 관리시스템(73.3%)의 기술수준이 상대적으로 높고, 도심지 기반굴착에 따른 지표수·지하수 유동 및 물수지 평가 기술(64.8%), 도심지 광역적 지하 지반구조 및 지하 매설물 파악 기법(63.3%), 도심지 지반함몰 예방을 위한 지하수 계측 및 모니터링 기법(62.3%)의 기술수준은 상대적으로 낮음
  - 재난/재해 대응 3차원 지하수 관리시스템(5.0년)의 기술격차가 가장 적으며, 도심지 지반함몰 예방을 위한 지하수 계측 및 모니터링 기법(7.1년)의 기술격차가 상대적으로 큼



〈그림 3-11〉 도심지 광역 지하수 관리기술분야 중분류별 기술수준 및 기술격차

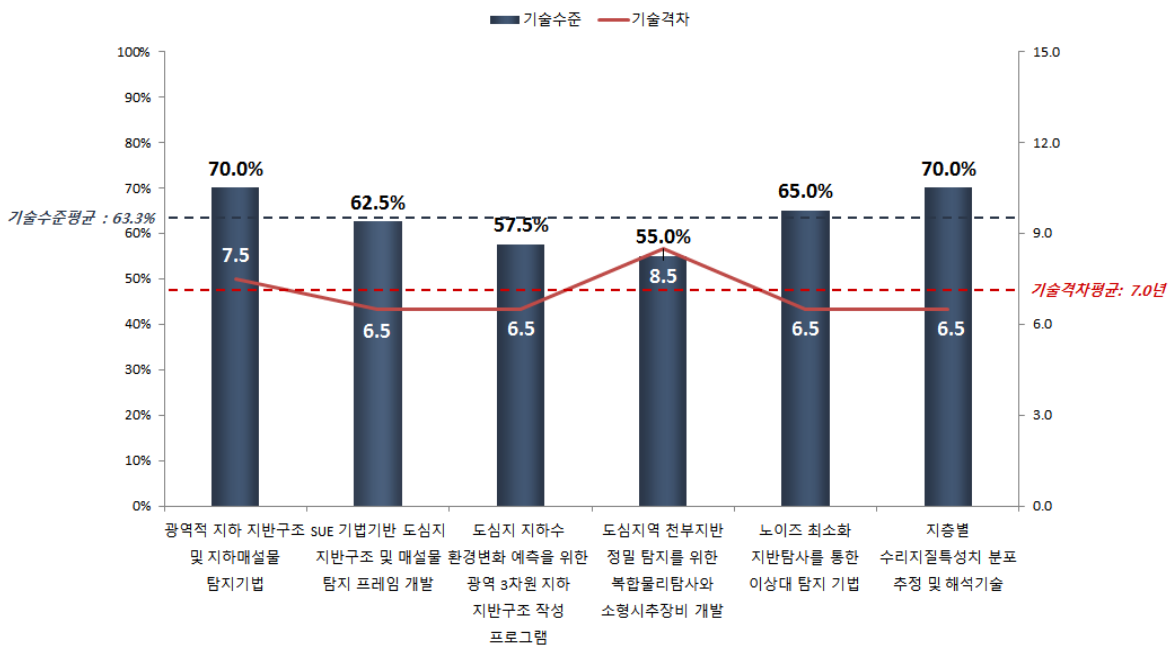
- 도심지 광역 지하수 관리기술분야의 기술격차는 전반적으로 축소 추세에 있음



〈그림 3-12〉 도심지 광역 지하수 관리기술분야 중분류별 기술격차 추세

(가) 도심지 광역적 지하 지반구조 및 지하 매설물 파악 기법

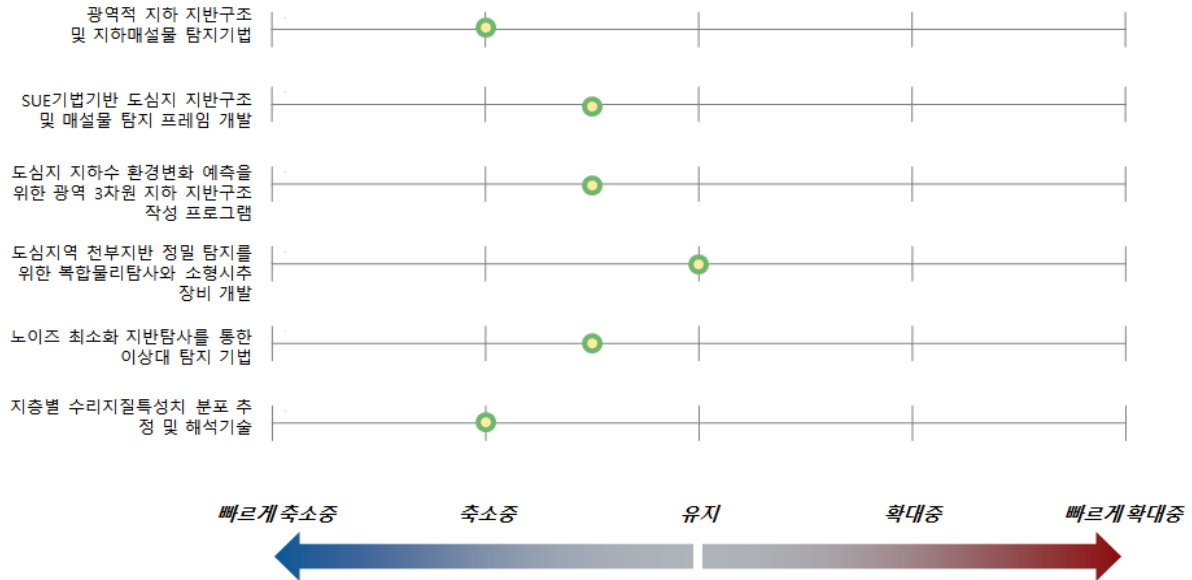
- 도심지 광역적 지하 지반구조 및 지하 매설물 파악 기법의 전체 기술수준은 63.3%이며, 평균기술격차는 7.0년임
- 광역적 지하 지반구조 및 지하매설물 탐지기법(70.0%)과 지층별 수리지질특성치 분포 추정 및 해석기술(70.0%)의 기술수준이 상대적으로 높고, 도심지역 천부지반 정밀 탐지를 위한 복합물리탐사와 소형시추장비 개발(55.0%)의 기술수준은 상대적으로 낮음
- SUE 기법기반 도심지 지반구조 및 매설물 탐지 프레임 개발(6.5년), 도심지 지하수 환경변화 예측을 위한 광역 3차원 지하 지반구조 작성 프로그램(6.5년), 노이즈 최소화 지반탐사를 통한 이상대 탐지 기법(6.5년), 지층별 수리지질특성치분포 추정 및 해석기술(6.5년)의 기술격차가 가장 적으며, 도심지역 천부지반 정밀 탐지를 위한 복합물리탐사와 소형시추장비 개발(8.5년)의 기술격차가 상대적으로 큼



〈그림 3-13〉 도심지 광역적 지하 지반구조 및 지하 매설물 파악기법분야 소분류별 기술수준 및 기술격차

- 도심지역 천부지반 정밀 탐지를 위한 복합물리탐사와 소형시추 장비개발을 제외한 도심지 광역적 지하 지반구조 및 지하 매설물 파악 기법분야의 기술격차는 축소 추세에 있음
- 광역적 지하 지반구조 및 지하매설물 탐지기법, SUE 기법기반 도심지 지반구조 및 매설물 탐지 프레임 개발, 도심지 지하수 환경변화 예측을 위한 광역 3차원 지하 지반구조 작성 프로그램, 노이즈 최소화 지반탐사를 통한 이상대 탐지 기법 기술은 기술격차가 소폭 축소 추세에 있음

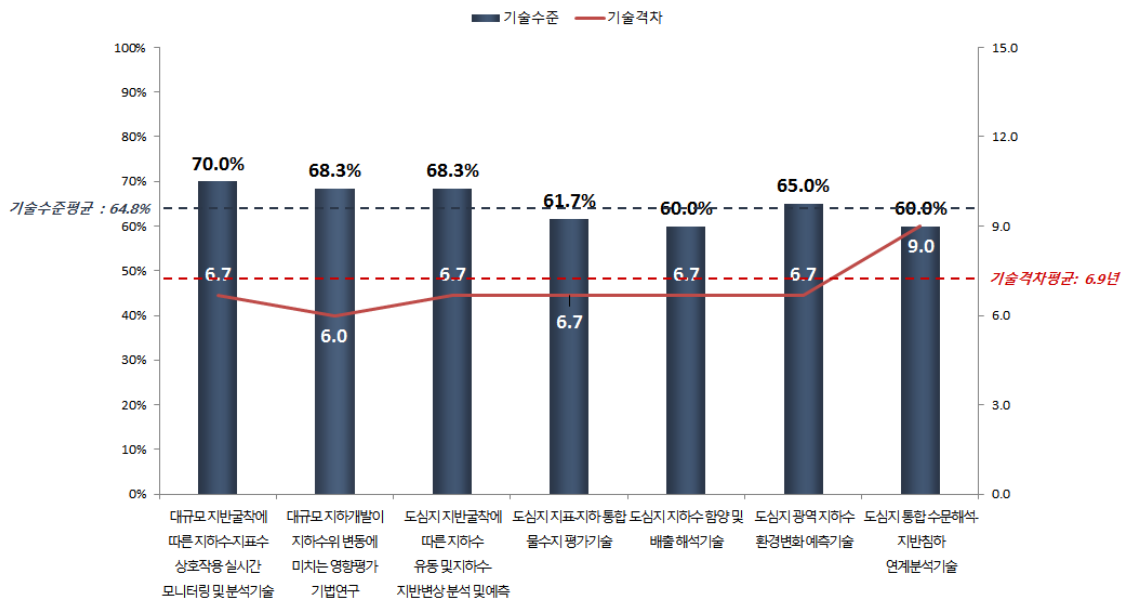
- 도심지역 천부지반 정밀 탐지를 위한 복합물리탐사와 소형시추 장비개발 기술은 기술격차가 유지되고 있음



〈그림 3-14〉 도심지 광역적 지하 지반구조 및 지하 매설물 파악기법분야 소분류별 기술격차 추세

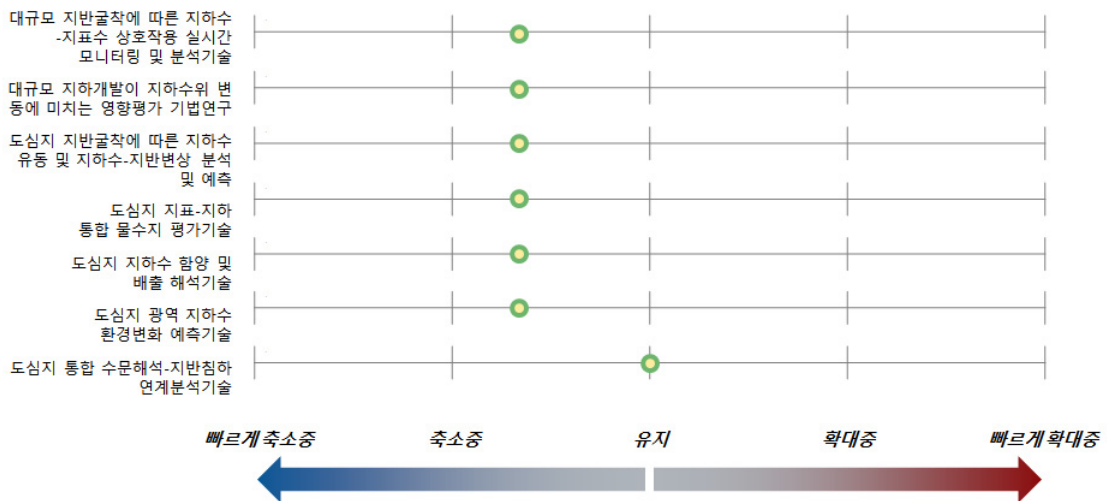
(나) 도심지 지반굴착에 따른 지표수, 지하수 유동 및 물수지 평가 기술

- 도심지 지반굴착에 따른 지표수, 지하수 유동 및 물수지 평가 기술의 전체 기술수준은 64.8%이며, 평균기술격차는 6.9년임
- 대규모 지반굴착에 따른 지하수-지표수 상호작용 실시간 모니터링 및 분석기술(70.0%)의 기술수준이 상대적으로 높고, 도심지 지하수 함양 및 배출해석기술(60.0%), 도심지 통합 수문해석-지반침하 연계분석기술(60.0%)의 기술수준은 상대적으로 낮음
- 대규모 지하개발이 지하수위 변동에 미치는 영향평가 기법연구(6.0년)의 기술격차가 가장 적으며, 도심지 통합 수문해석-지반침하 연계분석기술(9.0년)의 기술격차가 상대적으로 큼



〈그림 3-15〉 도심지 지반굴착에 따른 지표수, 지하수 유동 및 물수지 평가 기술분야 소분류별 기술수준 및 기술격차

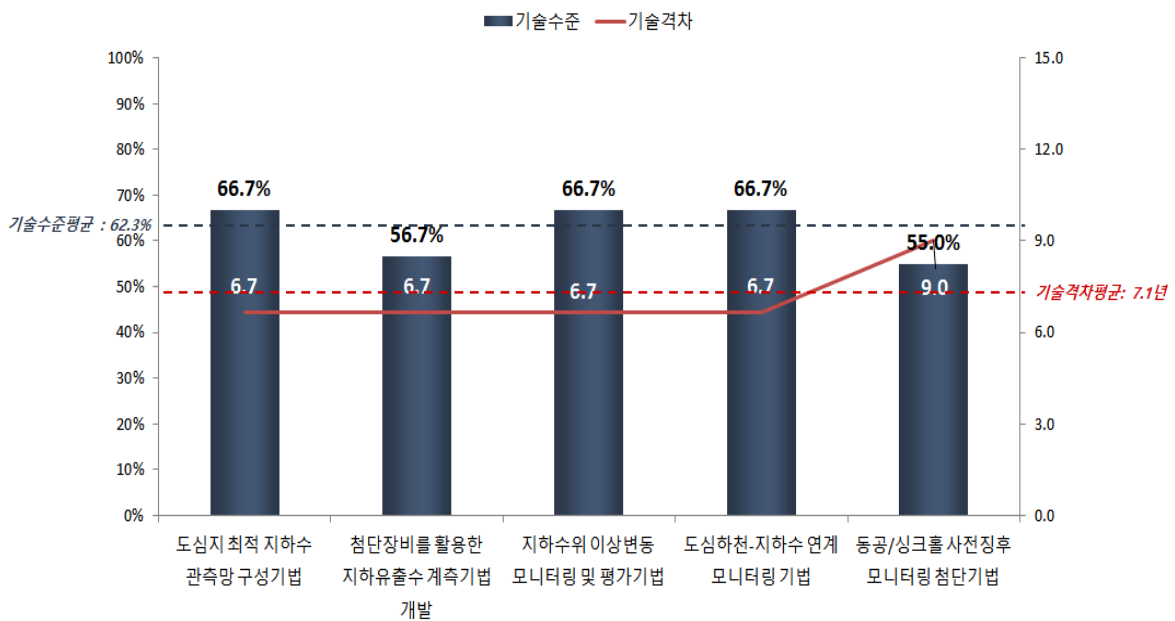
- 도심지 통합 수문해석-지반침하 연계분석기술을 제외한 도심지 지반굴착에 따른 지표수, 지하수 유동 및 물수지 평가 기술분야의 기술격차는 전반적으로 축소되고 있음
- 대규모 지반굴착에 따른 지하수-지표수 상호작용 실시간 모니터링 및 분석기술, 대규모 지하개발이 지하수위 변동에 미치는 영향평가 기법연구, 도심지 지반굴착에 따른 지하수 유동 및 지하수-지반변상 분석 및 예측, 도심지 지표-지하 통합 물수지 평가기술, 도심지 지하수 함양 및 배출 해석기술, 도심지 광역 지하수 환경변화 예측기술은 기술격차가 축소 추세에 있음
- 도심지 통합 수문해석-지반침하 연계분석기술 분야는 기술격차가 유지되고 있음



〈그림 3-16〉 도심지 지반굴착에 따른 지표수, 지하수 유동 및 물수지 평가 기술분야 소분류별 기술격차 추세

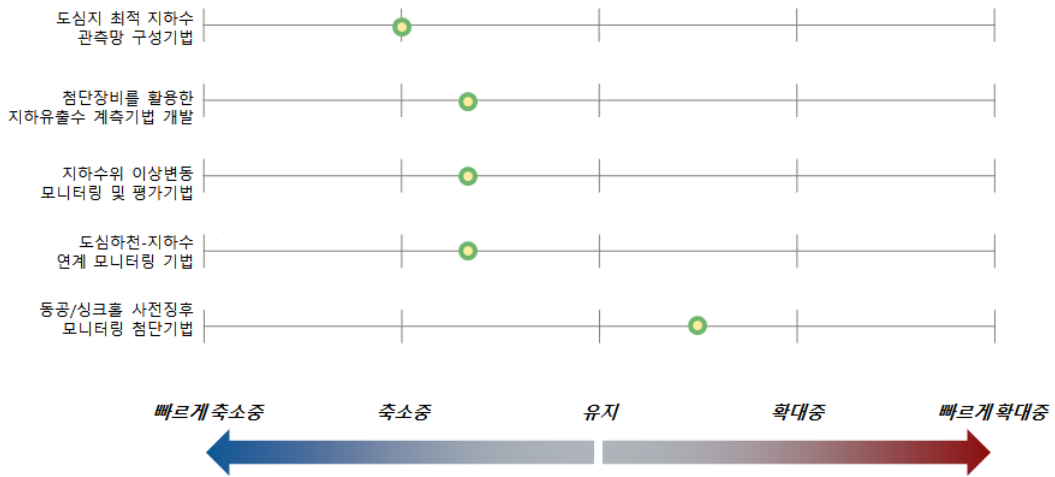
(다) 도심지 지반함몰 예방을 위한 지하수 계측 및 모니터링 기법

- 도심지 지반함몰 예방을 위한 지하수 계측 및 모니터링 기법 기술의 전체 기술수준은 62.3%이며, 평균기술격차는 7.1년임
- 도심지 최적 지하수 관측망 구성기법(66.7%), 지하수위 이상변동 모니터링 및 평가기법(66.7%), 도심하천-지하수 연계 모니터링 기법(66.7%)의 기술수준이 상대적으로 높고, 첨단장비를 활용한 지하유출수 계측기법 개발(56.7%), 동공/싱크홀 사전징후 모니터링 첨단기법(55.0%)의 기술수준은 상대적으로 낮음
- 도심지 최적 지하수 관측망 구성기법(6.7년), 첨단장비를 활용한 지하유출수 계측기법 개발(6.7년), 지하수위 이상변동 모니터링 및 평가기법(6.7년), 도심하천-지하수 연계 모니터링 기법(6.7년)의 기술격차가 가장 적으며, 동공/싱크홀 사전징후 모니터링 첨단기법(9.0년)의 기술격차가 상대적으로 큼



〈그림 3-17〉 도심지 지반함몰 예방을 위한 지하수 계측 및 모니터링 기법 기술분야 소분류별 기술수준 및 기술격차

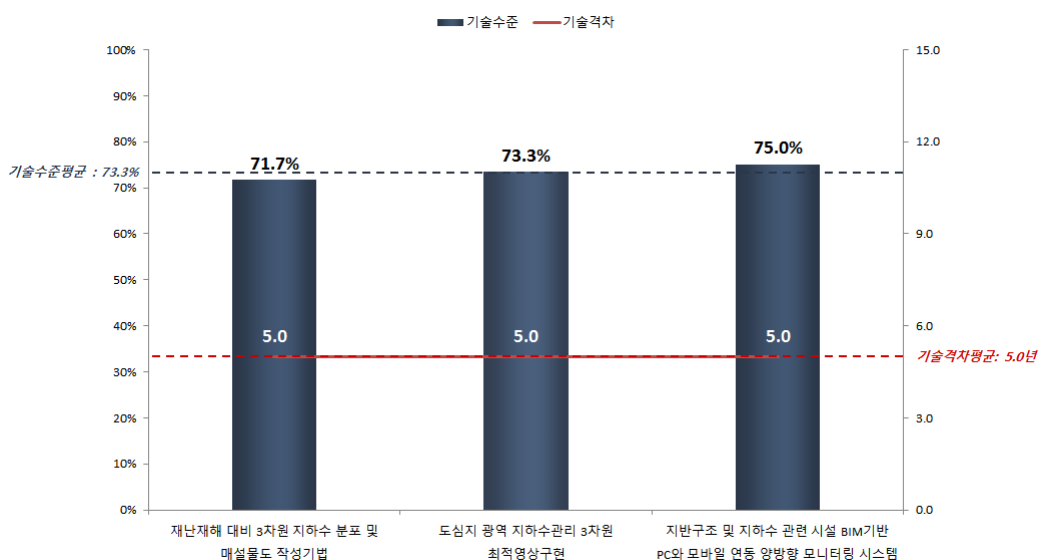
- 도심지 지반함몰 예방을 위한 지하수 계측 및 모니터링 기법 기술분야의 기술격차는 동공/싱크홀 사전징후 모니터링 첨단기법 기술을 제외하고 전반적으로 축소 추세에 있음
- 도심지 최적 지하수 관측망 구성기법이 상대적으로 빠르게 축소 중이며, 첨단장비를 활용한 지하유출수 계측기법 개발, 지하수위 이상변동 모니터링 및 평가기법, 도심하천-지하수 연계 모니터링 기법은 상대적으로 완만하게 축소 중임
- 동공/싱크홀 사전징후 모니터링 첨단기법은 기술격차가 확대중에 있음



〈그림 3-18〉 도심지 지반함몰 예방을 위한 지하수 계측 및 모니터링 기법 기술분야 소분류별 기술격차 추세

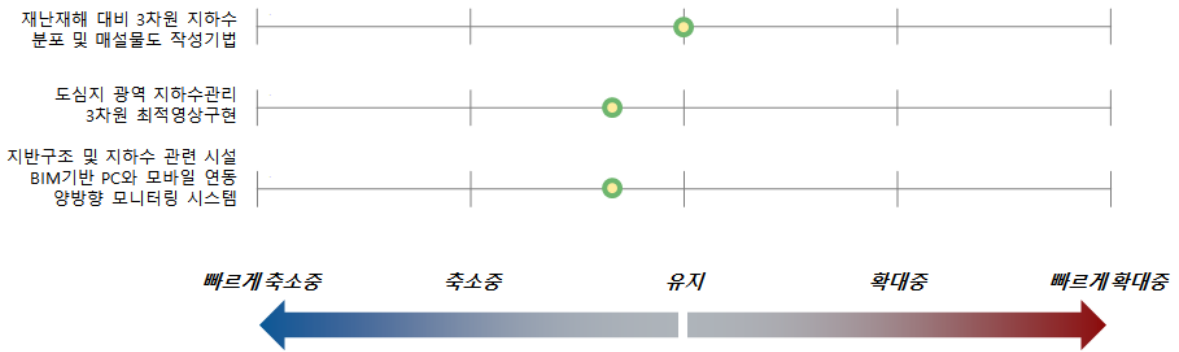
(라) 재난/재해 대응 3차원 지하수 관리시스템

- 재난/재해 대응 3차원 지하수 관리시스템 기술분야의 전체 기술수준은 73.3%이며, 평균기술격차는 5.0년임
- 지반구조 및 지하수 관련 시설 BIM 기반 PC와 모바일 연동 양방향 모니터링 시스템 (75.0%)분야의 기술수준이 상대적으로 높고, 재난재해 대비 3차원 지하수 분포 및 매설물도 작성기법(71.7%)의 기술수준은 상대적으로 낮음
- 재난재해 대비 3차원 지하수 분포 및 매설물도 작성기법, 도심지 광역 지하수관리 3차원 최적영상구현, 지반구조 및 지하수 관련 시설 BIM 기반 PC와 모바일 연동 양방향 모니터링 시스템의 기술격차는 5.0년으로 동일함



〈그림 3-19〉 재난/재해 대응 3차원 지하수 관리시스템 기술분야 소분류별 기술수준 및 기술격차

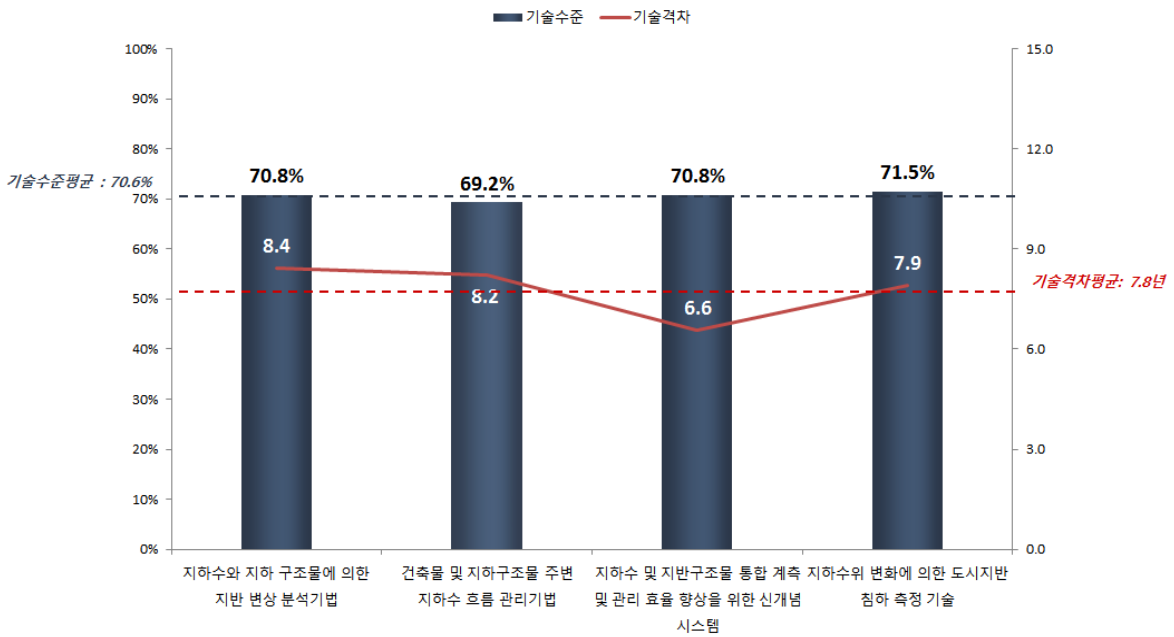
- 재난/재해 대응 3차원 지하수 관리시스템 기술분야의 기술격차추세는 재난재해 대비 3차원 지하수 분포 및 매설물도 작성기법을 제외하고는 축소되고 있음
- 도심지 광역 지하수관리 3차원 최적영상구현, 지반구조 및 지하수 관련 시설 BIM 기반 PC와 모바일 연동 양방향 모니터링 시스템은 기술격차가 축소 추세에 있음
- 재난재해 대비 3차원 지하수 분포 및 매설물도 작성기법은 기술격차가 유지되고 있음



〈그림 3-20〉 재난/재해 대응 3차원 지하수 관리시스템 기술분야 소분류별 기술격차 추세

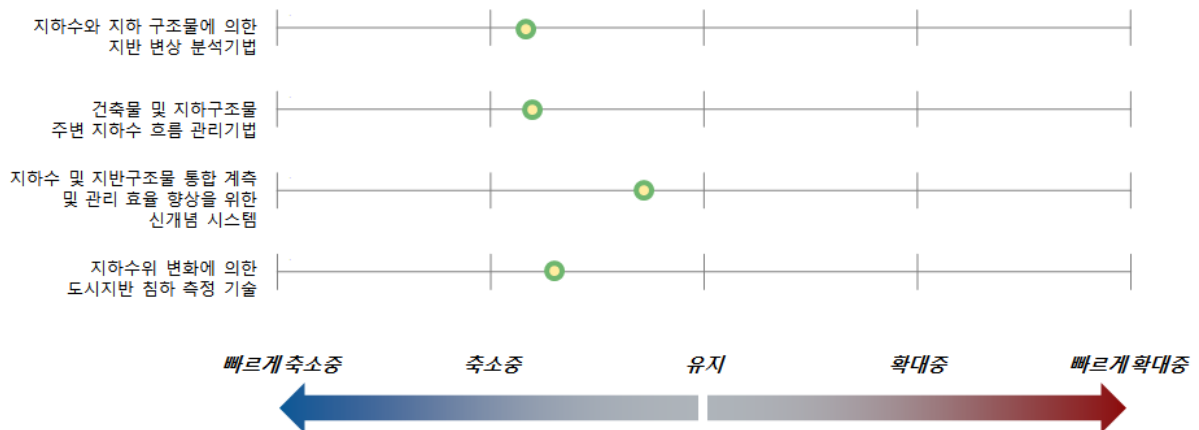
(2) 지반구조물 주변 지하수 관리 기술

- 지반구조물 주변 지하수 관리 기술분야의 전체 기술수준은 70.6%이며, 평균기술격차는 7.8년임
- 지하수위 변화에 의한 도시지반 침하 측정기술(71.5%), 지하수와 지하 구조물에 의한 지반 변상 분석기법(70.8%), 지하수 및 지반구조물 통합 계측 및 관리 효율 향상을 위한 신개념 시스템(70.8%)의 기술수준이 상대적으로 높고, 전축물 및 지하구조물 주변 지하수 흐름 관리기법(69.2%)의 기술수준은 상대적으로 낮음
- 지하수와 지하 구조물에 의한 지반 변상 분석기법(8.4년)의 기술격차가 가장 적으며, 지하수 및 지반구조물 통합 계측 및 관리 효율 향상을 위한 신개념 시스템(6.6년)의 기술격차가 상대적으로 큼



〈그림 3-21〉 지반구조물 주변 지하수 관리 기술분야 중분류별 기술수준 및 기술격차

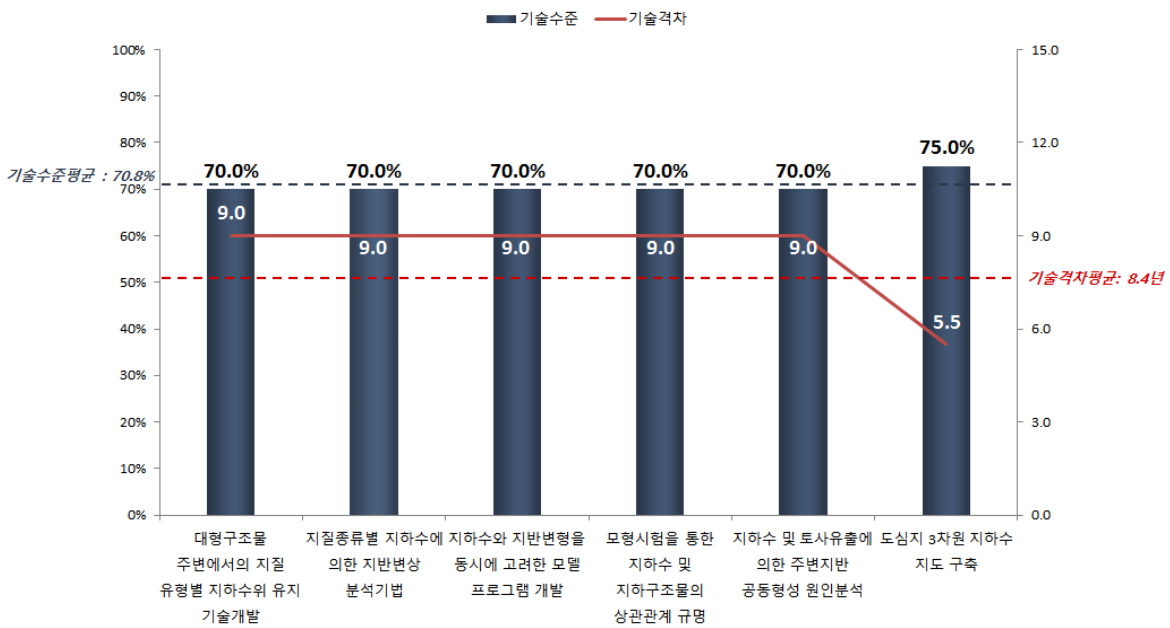
- 지반구조물 주변 지하수 관리 기술분야의 기술격차추세는 전반적으로 축소 추세에 있음
- 지하수와 지하 구조물에 의한 지반 변상 분석기법, 건축물 및 지하구조물 주변 지하수 흐름 관리기법, 지하수위 변화에 의한 도시지반 침하 측정 기술이 상대적으로 빠르게 축소 중이며, 지하수 및 지반구조물 통합 계측 및 관리 효율 향상을 위한 신개념 시스템이 상대적으로 완만하게 축소 중임



〈그림 3-22〉 지반구조물 주변 지하수 관리 기술분야 중분류별 기술격차 추세

(가) 지하수와 지하 구조물에 의한 지반 변상 분석기법

- 지하수와 지하 구조물에 의한 지반 변상 분석기법의 전체 기술수준은 70.8%이며, 평균기술격차는 8.4년임
- 도심지 3차원 지하수 지도 구축 기술(75.0%)의 기술수준이 상대적으로 높고, 대형구조물 주변에서의 지질 유형별 지하수위 유지 기술개발(70.0%), 지질종류별 지하수에 의한 지반변상 분석기법(70.0%), 지하수와 지반변형을 동시에 고려한 모델 프로그램 개발(70.0%), 모형시험을 통한 지하수 및 지하구조물의 상관관계 규명(70.0%), 지하수 및 토사유출에 의한 주변지반 공동형성 원인분석(70.0%)의 기술수준은 상대적으로 낮음
- 도심지 3차원 지하수 지도 구축(5.5년)의 기술격차가 가장 적으며, 대형구조물 주변에서의 지질 유형별 지하수위 유지 기술개발(9.0년), 지질종류별 지하수에 의한 지반변상 분석기법(9.0년), 지하수와 지반변형을 동시에 고려한 모델 프로그램 개발(9.0년), 모형시험을 통한 지하수 및 지하구조물의 상관관계 규명(9.0년), 지하수 및 토사유출에 의한 주변지반 공동형성 원인분석(9.0년)의 기술격차가 상대적으로 큼

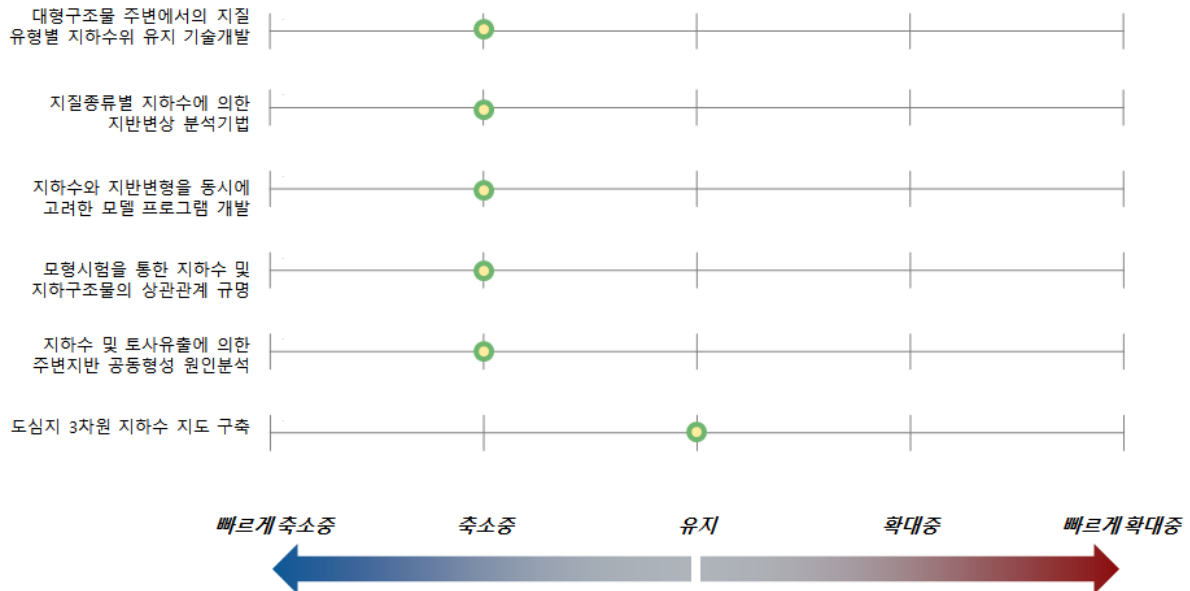


〈그림 3-23〉 지하수와 지하 구조물에 의한 지반 변상 분석기법분야 소분류별 기술수준 및 기술격차

- 지하수와 지하 구조물에 의한 지반 변상 분석기법 분야의 기술격차 추세는 도심지 3차원 지하수 지도 구축 분야를 제외하고 축소되고 있음
- 대형구조물 주변에서의 지질 유형별 지하수위 유지 기술개발, 지질종류별 지하수에 의한 지반변상 분석기법, 지하수와 지반변형을 동시에 고려한 모델 프로그램 개발, 모형시험을 통한 지하수 및 지하구조물의 상관관계 규명, 지하수 및 토사유출에 의한 주변지반

공동형성 원인분석 분야의 기술격차가 축소 추세에 있음

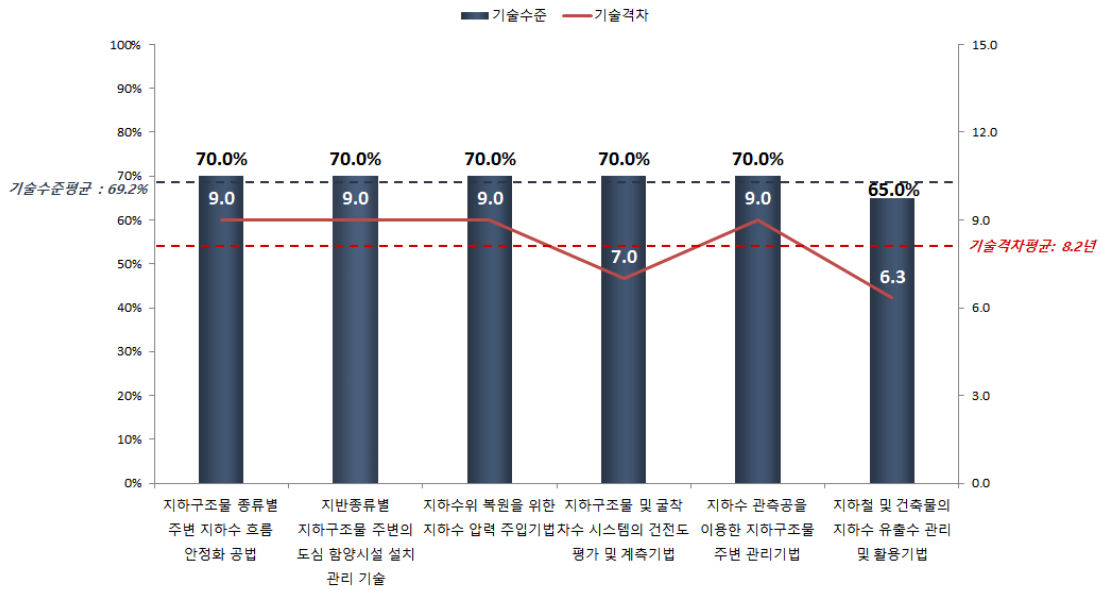
- 도심지 3차원 지하수 지도 구축 기술은 기술격차가 유지되고 있음



〈그림 3-24〉 지하수와 지하 구조물에 의한 지반 변상 분석기법분야 소분류별 기술격차 추세

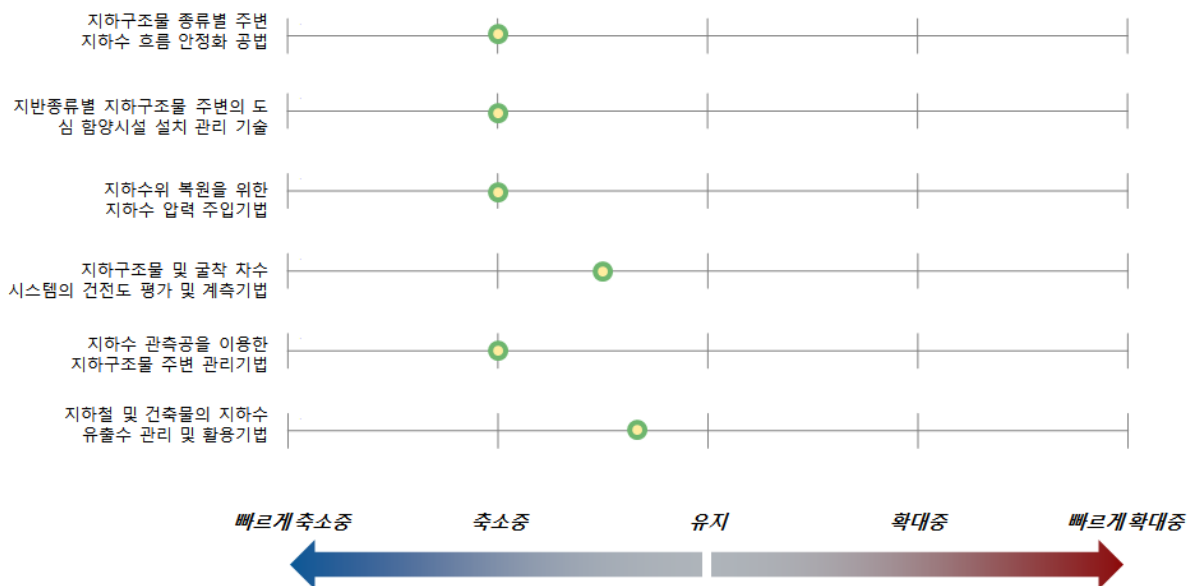
(나) 건축물 및 지하구조물 주변 지하수 흐름 관리기법

- 건축물 및 지하구조물 주변 지하수 흐름 관리기법의 전체 기술수준은 69.2%이며, 평균기술격차는 8.2년임
  - 지하구조물 종류별 주변 지하수 흐름 안정과 공법(70.0%), 지반종류별 지하구조물 주변의 도심 함양시설 설치 관리 기술(70.0%), 지하수위 복원을 위한 지하수 압력 주입기법(70.0%), 지하수조물 및 굴착 차수 시스템의 건전도 평가 및 예측 기법(70.0%), 지하수 관측공을 이용한 지하구조물 주변 관리기법(70.0%)분야의 기술수준이 상대적으로 높고, 지하철 및 건축물의 지하수 유출수 관리 및 활용기법(65.0%)의 기술수준은 상대적으로 낮음
  - 지하철 및 건축물의 지하수 유출수 관리 및 활용기법(6.3년)의 기술격차가 상대적으로 적으며, 지하구조물 종류별 주변 지하수 흐름 안정과 공법(9.0년), 지반종류별 지하구조물 주변의 도심 함양시설 설치 관리 기술(9.0년), 지하수위 복원을 위한 지하수 압력 주입기법(9.0년), 지하수 관측공을 이용한 지하구조물 주변 관리기법(9.0년)의 기술격차가 상대적으로 큼



〈그림 3-25〉 건축물 및 지하구조물 주변 지하수 흐름 관리기법분야 소분류별 기술수준 및 기술격차

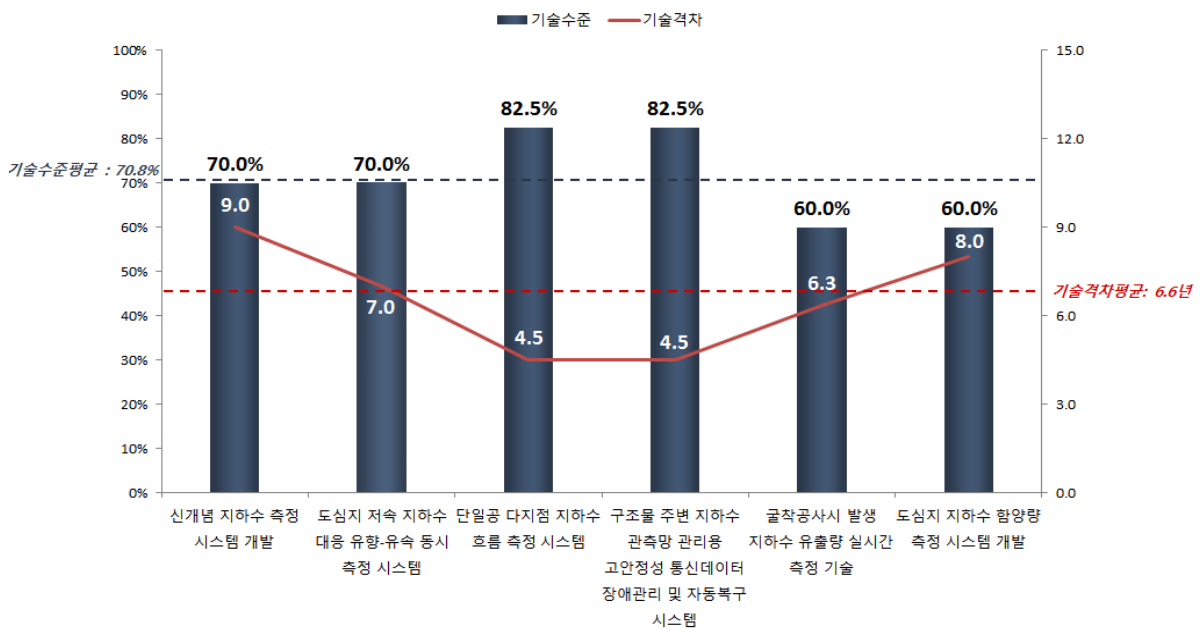
- 건축물 및 지하구조물 주변 지하수 흐름 관리기법분야의 기술격차 추세는 전반적으로 축소 추세에 있음
- 지하구조물 종류별 주변 지하수 흐름 안정화 공법, 지반종류별 지하구조물 주변의 도심 함양시설 설치 관리 기술, 지하수위 복원을 위한 지하수 압력 주입기법, 지하수 관측공을 이용한 지하구조물 주변 관리기법 기술이 상대적으로 빠르게 축소 중이며, 지하구조물 및 굴착차수 시스템의 건전도 평가 및 계측기법, 지하철 및 건축물의 지하수 유출수 관리 및 활용기법이 상대적으로 완만하게 축소 중임



〈그림 3-26〉 건축물 및 지하구조물 주변 지하수 흐름 관리기법분야 소분류별 기술격차 추세

(다) 지하수 및 지반구조물 통합 계측 및 관리 효율 향상을 위한 신개념 시스템

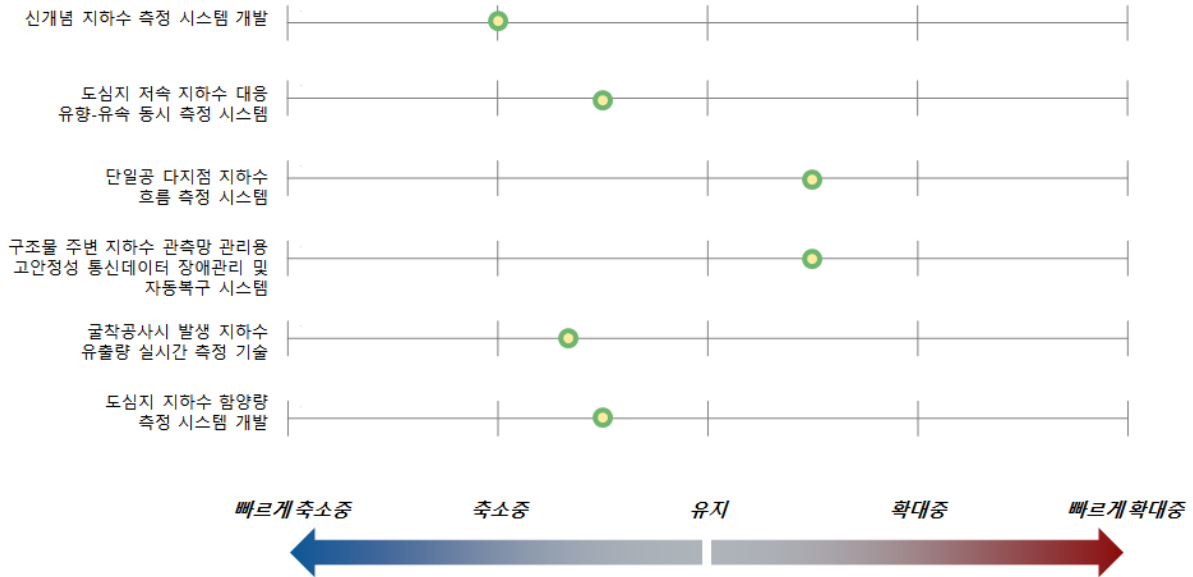
- 지하수 및 지반구조물 통합 계측 및 관리 효율 향상을 위한 신개념 시스템 기술의 전체 기술수준은 70.8%이며, 평균기술격차는 6.6년임
- 단일공 다지점 지하수 흐름 측정 시스템(82.5%), 구조물 주변 지하수 관측망 관리용 고안정성 통신데이터 장애관리 및 자동복구 시스템(82.5%)의 기술수준은 상대적으로 높으며, 굴착공사시 발생 지하수 유출량 실시간 측정 기술(60.0%), 도심지 지하수 함양량 측정 시스템 개발(60.0%)의 기술수준은 상대적으로 낮음
- 단일공 다지점 지하수 흐름 측정 시스템(4.5년), 구조물 주변 지하수 관측망 관리용 고안정성 통신데이터 장애관리 및 자동복구 시스템(4.5년)의 기술격차가 상대적으로 적으며, 신개념 지하수 측정 시스템 개발(9.0년), 도심지 지하수 함양량 측정 시스템 개발(8.0년)의 기술격차가 상대적으로 큼



〈그림 3-27〉 지하수 및 지반구조물 통합 계측 및 관리효율 향상을 위한 신개념 시스템분야 소분류별 기술수준 및 기술격차

- 지하수 및 지반구조물 통합 계측 및 관리 효율 향상을 위한 신개념 시스템분야의 기술격차 추세는 기술분야에 따라 차이가 있음
- 신개념 지하수 측정 시스템 개발, 도심지 저속 지하수 대응 유향·유속 동시 측정 시스템, 굴착공사시 발생 지하수 유출량 실시간 측정 기술, 도심지 지하수 함양량 측정 시스템 개발 기술은 기술격차가 축소 추세에 있음

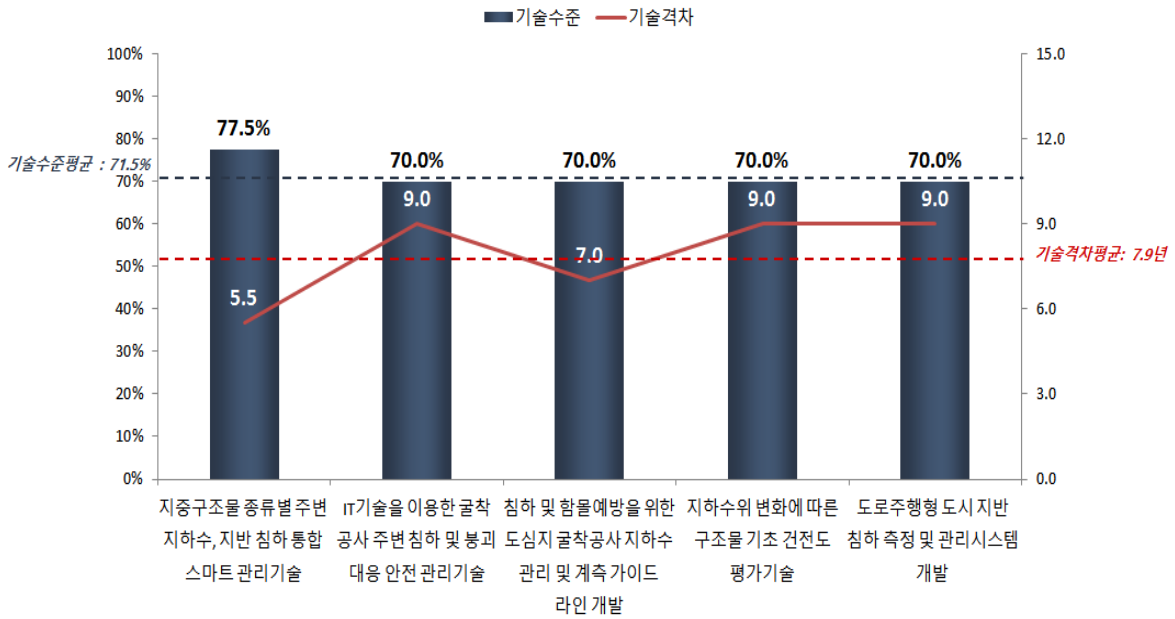
- 단일공 다지점 지하수 흐름 측정 시스템, 구조물 주변 지하수 관측망 관리용 고안정성 통신데이터 장애관리 및 자동복구 시스템 기술은 기술격차가 확대 추세에 있음



〈그림 3-28〉 지하수 및 지반구조물 통합 계측 및 관리효율 향상을 위한 신개념 시스템분야 소분류별 기술격차 추세

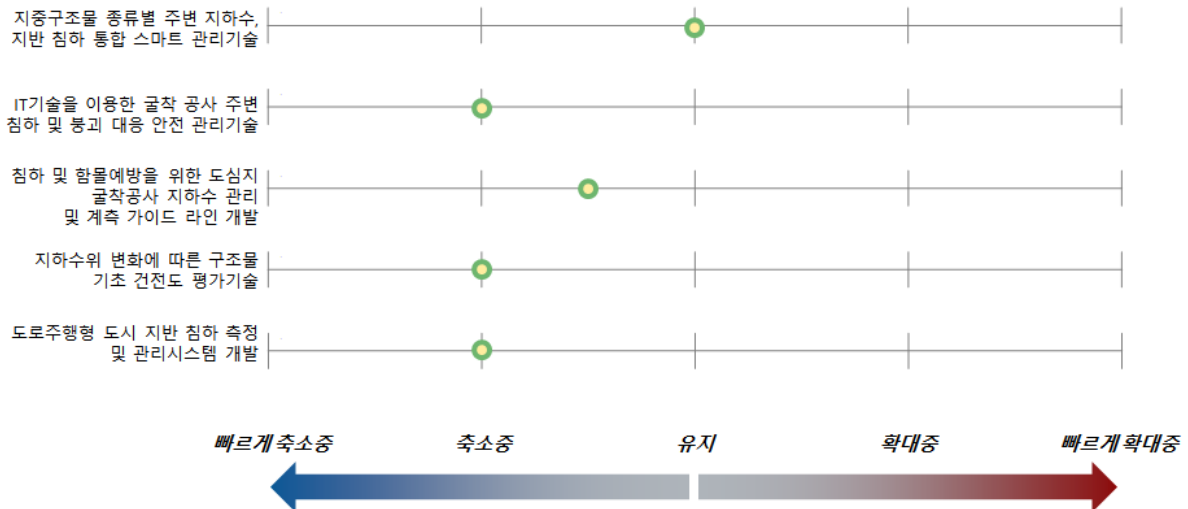
(라)지하수위 변화에 의한 도시지반 침하 측정 기술

- 지하수위 변화에 의한 도시지반 침하 측정 기술의 전체 기술수준은 71.5%이며, 평균기술격차는 7.9년임
- 지층구조물 종류별 주변 지하수, 지반침하 통합 스마트 관리기술(77.5%)분야의 기술수준이 상대적으로 높고, IT 기술을 이용한 굴착공사 주변 침하 및 붕괴대응 안전관리기술(70.0%), 침하 및 함몰예방을 위한 도심지 굴착공사 지하수 관리 및 계측 가이드라인 개발(70.0%), 지하수위 변화에 따른 구조물 기초 건전도 평가기술(70.0%), 도로주행형 도시지반 침하 측정 및 관리시스템 개발(70.0%)분야의 기술수준은 상대적으로 낮음
- 지층구조물 종류별 주변 지하수, 지반침하 통합 스마트 관리기술(5.5년)의 기술격차가 가장 적으며, IT 기술을 이용한 굴착공사 주변 침하 및 붕괴대응 안전관리기술(9.0년), 지하수위 변화에 따른 구조물 기초 건전도 평가기술(9.0년), 도로주행형 도시지반 침하 측정 및 관리시스템 개발(9.0년)분야의 기술격차가 상대적으로 큼



〈그림 3-29〉 지하수위 변화에 의한 도시지반 침하 측정 기술분야 소분류별 기술수준 및 기술격차

- 지하수위 변화에 의한 도시지반 침하 측정 기술분야의 기술격차는 전반적으로 축소되고 있음
  - IT 기술을 이용한 굴착공사 주변 침하 및 붕괴대응 안전관리기술, 지하수위 변화에 따른 구조물 기초 건전도 평가기술, 침하 및 함몰예방을 위한 도심지 굴착공사 지하수 관리 및 계측 가이드라인 개발, 도로주행형 도시지반 침하 측정 및 관리시스템 개발분야의 기술격차가 축소 추세에 있음
  - 지중구조물 종류별 주변 지하수, 지반 침하 통합 스마트 관리기술의 기술격차는 유지되고 있음



〈그림 3-30〉 지하수위 변화에 의한 도시지반 침하 측정 기술분야 소분류별 기술격차 추세

### 다. 기술성숙도(TRL)

- 지하수 관리기술의 최고기술보유국 기술성숙도(TRL)는 시제품 제작 및 신기술 검증/인증/표준화가 수행되는 단계이며, 국내 기술성숙도(TRL)는 확정된 시스템의 시제품 제작 및 성능평가가 수행되는 단계 또는 파일럿 규모의 시제품 제작 및 성능평가가 수행되는 단계에 있음
- 상대적으로 지반구조물 주변 지하수 관리 기술 분야의 국내 기술성숙도(TRL) 수준이 높으며, 국내외 기술성숙도(TRL)격차가 적음
- 도심지광역 지하수 관리 기술 분야는 기술성숙도(TRL) 수준이 낮으며, 국외의 경우 신뢰성 평가 및 수요기업의 평가가 이루어지는 단계에 있으며, 국내의 경우 확정된 시스템의 시제품 제작 및 성능평가가 수행되는 단계에 있음



〈그림 3-31〉 지하수 관리기술의 대분류별 국내외 기술성숙도(TRL)

#### (1) 도심지 광역 지하수 관리 기술

- 도심지 광역 지하수 관리기술분야의 최고기술보유국 기술성숙도(TRL)는 신뢰성 평가 및 수요기업 평가 또는 시제품 제작 및 신기술 검증/인증/표준화 수행 단계에 있으며, 국내 기술성숙도(TRL)는 실험실 규모의 핵심성능평가, 확정된 시스템 또는 파일럿 규모의 시제품 제작 및 성능평가가 수행되는 단계에 있음
- 기술성숙도(TRL) 수준이 상대적으로 가장 높은 기술은 국외의 경우 도심지 광역적 지하 지반구조 및 지하 매설물 파악기법으로 시제품 제작 및 신기술 검증/인증/표준화가 수행되고 있으며, 국내의 경우 재난/재해 대응 3차원 지하수 관리시스템으로 파일럿 규모의 시제품 제작 및 성능평가가 수행되고 있음
- 기술성숙도(TRL) 수준이 상대적으로 가장 낮은 기술은 국외의 경우 도심지 지반굴착에 따른 지표수, 지하수 유동 및 물수지 평가 기술로 신뢰성 평가 및 수요기업 평가가 이루어지고 있으며, 국내의 경우 도심지 광역적 지하 지반구조 및 지하 매설물 파악기법으로 실험실 규모의 핵심성능평가가 수행되고 있음

- 국내외 기술성숙도(TRL)수준의 격차가 가장 적은 분야는 도심지 지반굴착에 따른 지표수, 지하수 유동 및 물수지 평가기술이며, 격차가 가장 큰 분야는 도심지 광역적 지하 지반구조 및 지하 매설물 파악기법분야임

★ 국내 TRL 단계    ● 국외 TRL 단계

도심지 광역적 지하 지반구조 및 지하 매설물 파악기법				★ 4.9				● 8.2	
도심지 지반굴착에 따른 지표수, 지하수 유동 및 물수지 평가 기술				★ 5.5				● 7.8	
도심지 지반함몰 예방을 위한 지하수 계측 및 모니터링 기법				★ 5.1				● 7.9	
재난/재해 대응 3차원 지하수 관리시스템					★ 6.2			● 8.0	

TRL 1	TRL 2	TRL 3	TRL 4	TRL 5	TRL 6	TRL 7	TRL 8	TRL 9
기초이론/실험 등 기초연구가 시작되고 응용연구로 전환되기 시작하는 단계	실용목적의 아이디어, 특허 등 개념이 정립되는 단계	실험실 규모의 기본성능평가가 수행되는 단계	실험실 규모의 핵심성능평가가 수행되는 단계	확정된 시스템의 시제품 제작 및 성능평가가 수행되는 단계	파일럿 규모의 시제품 제작 및 성능평가가 수행되는 단계	신뢰성 평가 및 수요기업 평가가 이루어지는 단계	시제품 제작 및 신기술 검증/인증/표준화가 수행되는 단계	사업화가 완료된 단계

〈그림 3-32〉 도심지 광역 지하수 관리기술분야 중분류별 국내외 기술성숙도(TRL)

(가) 도심지 광역적 지하 지반구조 및 지하 매설물 파악 기법

- 도심지 광역적 지하 지반구조 및 지하 매설물 파악 기법의 최고기술보유국 기술성숙도(TRL)는 신뢰성 평가 및 수요기업 평가 또는 시제품 제작 및 신기술 검증/인증 표준화 수행 단계에 있으며, 국내 기술성숙도(TRL)는 실험실 규모의 핵심성능평가, 확정된 시스템 또는 파일럿 규모의 시제품 제작 및 성능평가가 수행되는 단계에 있음
- 기술성숙도(TRL)수준이 상대적으로 가장 높은 기술은 국외의 경우 광역적 지하 지반구조 및 지하매설물 탐지기법, 도심지 지하수 환경변화 예측을 위한 광역 3차원 지하 지반구조 작성 프로그램, 도심지역 천부지반 정밀 탐지를 위한 복합물리탐사와 소형시추장비 개발로 시제품 제작 및 신기술 검증/인증/표준화가 수행되고 있으며, 국내의 경우 지층별 수리지질 특성치 분포 추정 및 해석기술로 확정된 시스템의 시제품 제작 및 성능평가가 수행되는 단계임
- 기술성숙도(TRL)수준이 상대적으로 가장 낮은 기술은 국외는 노이즈 최소화 지반탐사를 통한 이상대 탐지 기법으로 신뢰성 평가 및 수요기업 평가가 이루어지는 단계이며, 도심지역 천부지반 정밀 탐지를 위한 복합물리탐사와 소형시추장비 개발로 실험실 규모의 핵심성능평가가 수행되고 있음
- 국내외 기술성숙도(TRL)수준의 격차가 가장 적은 분야는 노이즈 최소화 지반탐사를 통한 이상대 탐지 기법과 지층별 수리지질 특성치 분포 추정 및 해석기술이며, 기술격차가

가장 큰 분야는 도심지역 천부지반 정밀 탐지를 위한 복합물리탐사와 소형시추장비 개발

★ 국내 TRL 단계   ● 국외 TRL 단계

광역적 지하 지반구조 및 지하매설물 탐지기법				★ 5.0				● 8.5	
SUE기법기반 도심지 지반구조 및 매설물 탐지 프레임 개발				★ 5.0				● 8.0	
도심지하수환경변화예측을 위한 광역 3차원지하지반구조작성 프로그램				★ 5.0				● 8.5	
도심지역 천부지반 정밀 탐지를 위한 복합물리탐사와 소형시추장비 개발			★ 4.0					● 8.5	
노이즈 최소화 지반탐사를 통한 이상대 탐지 기법				★ 5.0			● 7.5		
지층별 수리지질특성치 분포 추정 및 해석기술				★ 5.5				● 8.0	

TRL 1	TRL 2	TRL 3	TRL 4	TRL 5	TRL 6	TRL 7	TRL 8	TRL 9
기초이론/실험 등 기초연구가 시작되고 응용연구로 전환되기 시작하는 단계	실용목적의 아이디어, 특허 등 개념이 정립되는 단계	실험실 규모의 기본성능평가 수행되는 단계	실험실 규모의 핵심성능평가 수행되는 단계	확정된 시스템의 시작품 제작 및 성능평가가 수행되는 단계	파일럿 규모의 시작품 제작 및 성능평가가 수행되는 단계	신뢰성 평가 및 수요기업 평가가 이루어지는 단계	시제품 제작 및 신기술 검증/인증/표준화가 수행되는 단계	사업화가 완료된 단계

〈그림 3-33〉 도심지 광역적 지하 지반구조 및 지하 매설물 파악 기법분야 소분류별 국내외 기술성숙도(TRL)

(나) 도심지 지반굴착에 따른 지표수, 지하수 유동 및 물수지 평가 기술

- 대심도(30m 이상) 수직 굴착기술의 최고기술보유국 기술성숙도(TRL)는 시제품 제작 및 신기술 검증/인증/표준화 수행 또는 사업화가 완료된 단계에 있으며, 국내 기술성숙도(TRL)는 파일럿 규모의 시작품 제작 및 성능평가 또는 신뢰성 평가 및 수요기업 평가, 시제품 제작 및 신기술 검증/인증/표준화 단계에 있음
- 국내외 모두 대규모 지반굴착에 따른 지하수-지표수 상호작용 실시간 모니터링 및 분석 기술분야의 기술성숙도(TRL) 수준이 높으며, 국외는 시제품 제작 및 신기술 검증/인증/표준화가 수행되는 단계이며 국내는 확정된 시스템의 시작품 제작 및 성능평가가 수행되는 단계임
- 기술성숙도(TRL)수준이 상대적으로 가장 낮은 기술은 국외의 경우 도심지 지하수 함양 및 배출 해석기술로 신뢰성 평가 및 수요기업 평가가 이루어지는 단계이며, 국내의 경우 도심지 지하수 함양 및 배출 해석기술, 도심지 통합 수문해석-지반침하 연계분석 기술로 확정된 시스템의 시작품 제작 및 성능평가가 수행되는 단계임
- 국내외 기술성숙도(TRL)수준의 격차가 가장 적은 분야는 도심지 지반굴착에 따른 지하수 유동 및 지하수-지반변상 분석 및 예측, 도심지 지표-지하 통합 물수지 평가기술, 도심지 광역 지하수 환경변화 예측 기술분야이며, 격차가 가장 큰 분야는 도심지 통합 수문해석-지반침하 연계분석 기술분야임

★ 국내 TRL 단계    ● 국외 TRL 단계

대규모지반굴착에 따른 지하수-지표수 상호작용 실시간 모니터링 및 분석기술				★ 5.7				● 8.3	
대규모 지하개발이 지하수위 변동에 미치는 영향평가 기법연구				★ 5.7				● 8.0	
도심지반굴착에 따른 지하수 유동 및 지하수지반변상 분석 및 예측				★ 5.7				● 7.7	
도심지 지표-지하 통합 물수지 평가기술				★ 5.7				● 7.7	
도심지 지하수 함양 및 배출 해석기술				★ 5.0				● 7.0	
도심지 광역 지하수 환경변화 예측기술				★ 5.7				● 7.7	
도심지 통합 수문해석-지반침하 연계분석기술				★ 5.0				● 8.0	
	TRL 1	TRL 2	TRL 3	TRL 4	TRL 5	TRL 6	TRL 7	TRL 8	TRL 9
	기초미론/실험 등 기초연구가 시작되고 응용연구로 전환되기 시작하는 단계	실용목적의 아이디어, 특허 등 개념이 정립되는 단계	실험실 규모의 핵심성능평가가 수행되는 단계	실험실 규모의 핵심성능평가가 수행되는 단계	확정된 시스템의 시제품 제작 및 성능평가가 수행되는 단계	파일럿 규모의 시제품 제작 및 성능평가가 수행되는 단계	신뢰성 평가 및 수요기업 평가가 이루어지는 단계	시제품 제작 및 신기술 검증/인증/표준화가 수행되는 단계	사업화가 완료된 단계

〈그림 3-34〉 도심지 지반굴착에 따른 지표수, 지하수 유동 및 물수지 평가 기술분야 소분류별 국내외 기술성숙도(TRL)

(다) 도심지 지반함몰 예방을 위한 지하수 계측 및 모니터링 기법

- 도심지 지반함몰 예방을 위한 지하수 계측 및 모니터링 기법의 최고기술보유국 기술성숙도(TRL)는 신뢰성 평가 및 수요기업 평가 또는 시제품 제작 및 신기술 검증/인증 표준화 수행 단계에 있으며, 국내 기술성숙도(TRL)는 실험실 규모의 핵심성능평가, 확정된 시스템 또는 파일럿 규모의 시제품 제작 및 성능평가가 수행되는 단계, 파일럿 규모의 시제품 제작 및 성능평가가 수행되는 단계에 있음
- 국내외 모두 도심지 최적 지하수 관측망 구성기법분야의 기술성숙도(TRL) 수준이 높으며, 국외는 시제품 제작 및 신기술 검증/인증/표준화가 수행되고 있으며, 국내의 경우 파일럿 규모의 시제품 제작 및 성능평가가 수행되는 단계에 있음
- 동공/싱크홀 사전징후 모니터링 첨단기법분야의 기술성숙도(TRL) 수준이 낮으며, 국외는 신뢰성 평가 및 수요기업 평가가 이루어지는 단계에 있으며 구구내의 경우 실험실 규모의 핵심성능평가가 수행되는 단계임
- 국내외 기술성숙도(TRL)수준의 격차가 가장 적은 분야는 도심지 최적 지하수 관측망 구성기법분야이며, 격차가 가장 큰 분야는 동공/싱크홀 사전징후 모니터링 첨단기법분야임

★ 국내 TRL 단계 ● 국외 TRL 단계

도심지 최적 지하수 관측망 구성기법						★ 6.0		● 8.3	
첨단장비를 활용한 지하수출수 계측기법 개발						★ 5.3		● 7.7	
지하수위 이상변동 모니터링 및 평가기법						★ 5.0		● 8.0	
도심하천-지하수 연계 모니터링 기법						★ 5.0		● 8.0	
동공/싱크홀 사전징후 모니터링 첨단기법					★ 4.0			● 7.5	
	TRL 1	TRL 2	TRL 3	TRL 4	TRL 5	TRL 6	TRL 7	TRL 8	TRL 9
	기초이론/실험 등 기초연구가 시작되고 응용연구로 전환되기 시작하는 단계	실용목적의 아이디어, 특허 등 개념이 정립되는 단계	실험실 규모의 기본성능평가가 수행되는 단계	실험실 규모의 핵심성능평가가 수행되는 단계	확정된 시스템의 시제품 제작 및 성능평가가 수행되는 단계	파일럿 규모의 시제품 제작 및 성능평가가 수행되는 단계	신뢰성 평가 및 수요기업 평가가 이루어지는 단계	시제품 제작 및 신기술 검증/인증/표준화가 수행되는 단계	사업화가 완료된 단계

〈그림 3-35〉 도심지 지반함몰 예방을 위한 지하수 계측 및 모니터링 기법분야 소분류별 국내외 기술성숙도(TRL)

(라) 재난/재해 대응 3차원 지하수 관리시스템

- 재난/재해 대응 3차원 지하수 관리시스템 기술의 최고기술보유국 기술성숙도(TRL)는 시제품 제작 및 신기술 검증/인증/표준화가 수행되는 단계이며, 국내 기술성숙도(TRL)는 파일럿 규모의 시제품 제작 및 성능평가가 수행되는 단계임
- 재난/재해 대응 3차원 지하수 관리시스템분야의 재난재해 대비 3차원 지하수 분포 및 매설물도 작성기법, 도심지 광역 지하수관리 3차원 최적영상구현, 지반구조 및 지하수 관련 시설 BIM 기반 PC와 모바일 연동 양방향 모니터링 시스템의 국내외 기술성숙도(TRL) 수준은 유사함
- 상대적으로 도심지 광역 지하수관리 3차원 최적영상구현, 지반구조 및 지하수 관련 시설 BIM 기반 PC와 모바일 연동 양방향 모니터링 시스템의 국내 기술성숙도(TRL) 준이 높으며, 국내외 기술성숙도(TRL) 격차가 적음

★ 국내 TRL 단계 ● 국외 TRL 단계

재난재해 대비 3차원 지하수 분포 및 매설물도 작성기법						★ 6.0		● 8.0	
도심지 광역 지하수관리 3차원 최적영상구현						★ 6.3		● 8.0	
지반구조 및 지하수 관련 시설 BIM 기반 PC와 모바일 연동 양방향 모니터링 시스템						★ 6.3		● 8.0	
	TRL 1	TRL 2	TRL 3	TRL 4	TRL 5	TRL 6	TRL 7	TRL 8	TRL 9
	기초이론/실험 등 기초연구가 시작되고 응용연구로 전환되기 시작하는 단계	실용목적의 아이디어, 특허 등 개념이 정립되는 단계	실험실 규모의 기본성능평가가 수행되는 단계	실험실 규모의 핵심성능평가가 수행되는 단계	확정된 시스템의 시제품 제작 및 성능평가가 수행되는 단계	파일럿 규모의 시제품 제작 및 성능평가가 수행되는 단계	신뢰성 평가 및 수요기업 평가가 이루어지는 단계	시제품 제작 및 신기술 검증/인증/표준화가 수행되는 단계	사업화가 완료된 단계

〈그림 3-36〉 재난/재해 대응 3차원 지하수 관리시스템분야 소분류별 국내외 기술성숙도(TRL)

(2) 지반구조물 주변 지하수 관리 기술

- 지반구조물 주변 지하수 관리기술분야의 최고기술보유국 기술성숙도(TRL)는 시제품 제작 및 신기술 검증/인증/표준화 수행 단계에 있으며, 국내 기술성숙도(TRL)는 파일럿 규모의 시제품 제작 및 성능평가가 수행되는 단계 또는 신뢰성 평가 및 수요기업 평가가 이루어지는 단계에 있음
- 국내외 모두 지하수와 지하 구조물에 의한 지반 변상 분석기법분야의 기술성숙도(TRL) 수준이 높으며, 국외는 시제품 제작 및 신기술 검증/인증/표준화가 수행되고 있으며, 국내는 신뢰성 평가 및 수요기업 평가가 이루어지는 단계에 있음
- 기술성숙도(TRL) 수준이 상대적으로 가장 낮은 기술은 국외의 경우 지하수 및 지반구조물 통합 계측 및 관리 효율 향상을 위한 신개념 시스템이며, 국내의 경우 건축물 및 지하구조물 주변 지하수 흐름 관리기법기술로 파일럿 규모의 시제품 제작 및 성능평가가 수행되는 단계에 있음
- 국내외 기술성숙도(TRL)수준의 격차가 가장 적은 분야는 지하수와 지하 구조물에 의한 지반변상 분석기법, 지하수 및 지반구조물 통합 계측 및 관리 효율 향상을 위한 신개념 시스템분야이며, 격차가 가장 큰 분야는 건축물 및 지하구조물 주변 지하수 흐름 관리기법 분야임

		★ 국내 TRL 단계					● 국외 TRL 단계			
지하수와 지하 구조물에 의한 지반 변상 분석기법						★ 7.1				● 8.9
건축물 및 지하구조물 주변 지하수 흐름 관리기법						★ 6.1				● 8.8
지하수 및 지반구조물 통합 계측 및 관리 효율 향상을 위한 신개념 시스템						★ 6.6				● 8.6
지하수위 변화에 의한 도시지반 침하 측정 기술						★ 6.2				● 8.9
		TRL 1	TRL 2	TRL 3	TRL 4	TRL 5	TRL 6	TRL 7	TRL 8	TRL 9
		기초이론/실험 등 기초연구가 시작되고 응용연구로 전환되기 시작하는 단계	실용목적의 아이디어, 특허 등 개념이 정립되는 단계	실험실 규모의 기본성능평가가 수행되는 단계	실험실 규모의 핵심성능평가가 수행되는 단계	확정된 시스템의 시제품 제작 및 성능평가가 수행되는 단계	파일럿 규모의 시제품 제작 및 성능평가가 수행되는 단계	신뢰성 평가 및 수요기업 평가가 이루어지는 단계	시제품 제작 및 신기술 검증/인증/표준화가 수행되는 단계	사업화가 완료된 단계

〈그림 3-37〉 지반구조물 주변 지하수 관리 기술분야 중분류별 국내외 기술성숙도(TRL)

(가) 지하수와 지하 구조물에 의한 지반 변상 분석기법

- 지하수와 지하 구조물에 의한 지반 변상 분석기법의 최고기술보유국 기술성숙도(TRL)는 시제품 제작 및 신기술 검증/인증/표준화가 수행되는 단계 또는 사업화가 완료된 단계이며, 국내 기술성숙도(TRL)는 신뢰성 평가 및 수요기업 평가가 수행되는 단계에 있음

- 기술성숙도(TRL)수준이 상대적으로 가장 높은 기술은 국외의 경우 대형구조물 주변에서의 지질 유형별 지하수위 유지 기술개발, 지질종류별 지하수에 의한 지반변상 분석기법, 지하수와 지반변형을 동시에 고려한 모델 프로그램 개발, 모형시험을 통한 지하수 및 지하구조물의 상관관계 규명, 지하수 및 토사유출에 의한 주변지반 공동형성 원인분석으로 사업화가 완료되었으며, 국내의 경우 도심지 3차원 지하수 지도 구축 기술로 신뢰성 평가 및 수요기업 평가가 이루어지는 단계에 있음
- 기술성숙도(TRL)수준이 상대적으로 가장 낮은 기술은 국외의 경우 도심지 3차원 지하수 지도 구축 기술로 시제품 제작 및 신기술 검증/인증/표준화가 수행되는 단계이며, 국내의 경우 대형구조물 주변에서의 지질 유형별 지하수위 유지 기술개발, 지질종류별 지하수에 의한 지반변상 분석기법, 지하수와 지반변형을 동시에 고려한 모델 프로그램 개발, 모형시험을 통한 지하수 및 지하구조물의 상관관계 규명, 지하수 및 토사유출에 의한 주변지반 공동형성 원인분석 기술로 신기술 검증/인증/표준화가 수행되고 있음
- 국내외 기술성숙도(TRL)수준의 격차가 가장 적은 분야는 도심지 3차원 지하수 지도 구축기술분야임

		★ 국내 TRL 단계		● 국외 TRL 단계	
대형구조물 주변에서의 지질 유형별 지하수위 유지 기술개발		★ 7.0		● 9.0	
지질종류별 지하수에 의한 지반변상 분석기법		★ 7.0		● 9.0	
지하수와 지반변형을 동시에 고려한 모델 프로그램 개발		★ 7.0		● 9.0	
모형시험을 통한 지하수 및 지하구조물의 상관관계 규명		★ 7.0		● 9.0	
지하수 및 토사유출에 의한 주변지반 공동형성 원인분석		★ 7.0		● 9.0	
도심지 3차원 지하수 지도 구축		★ 7.5		● 8.5	

TRL 1	TRL 2	TRL 3	TRL 4	TRL 5	TRL 6	TRL 7	TRL 8	TRL 9
기초이론/실험 등 기초연구가 시작되고 응용연구로 전환되기 시작하는 단계	실용목적의 아이디어, 특허 등 개념이 정립되는 단계	실현실 규모의 기본성능평가 수행되는 단계	실현실 규모의 핵심성능평가 수행되는 단계	확정된 시스템의 시제품 제작 및 성능평가가 수행되는 단계	파일럿 규모의 시제품 제작 및 성능평가가 수행되는 단계	신뢰성 평가 및 수요기업 평가가 이루어지는 단계	시제품 제작 및 신기술 검증/인증/표준화가 수행되는 단계	사업화가 완료된 단계

〈그림 3-38〉 지하수와 지하 구조물에 의한 지반변상 분석기법 분야 소분류별 국내외 기술성숙도(TRL)

(나) 건축물 및 지하구조물 주변 지하수 흐름 관리기법

- 건축물 및 지하구조물 주변 지하수 흐름 관리기법의 최고기술보유국 기술성숙도(TRL)는 시제품 제작 및 신기술 검증/인증/표준화 수행, 또는 사업화 완료 단계에 있으며, 국내 기술성숙도(TRL)는 확정된 시스템의 시제품 제작 및 성능평가, 신뢰성 평가 및 수요기업 평가가 이루어지는 단계에 있음

- 국내외 모두 지하구조물 종류별 주변 지하수 흐름 안정화 공법 기술분야의 기술성숙도(TRL) 수준이 높으며, 국외는 사업화가 완료된 단계이며, 국내는 신뢰성 평가 및 수요기업 평가가 이루어지는 단계에 있음
- 국내외 모두 지하철 및 건축물의 지하수 유출수 관리 및 활용기법분야의 기술성숙도(TRL) 수준이 낮으며, 시제품 제작 및 신기술 검증/인증/표준화 수행, 또는 사업화 완료 단계에 있으며, 국내의 경우 확정된 시스템의 시제품 제작 및 성능평가 단계에 있음
- 국내외 기술성숙도(TRL)수준의 격차가 가장 적은 분야는 지하구조물 종류별 주변 지하수 흐름 안정화 공법분야이며, 격차가 가장 큰 분야는 지하수 관측공을 이용한 지하구조물 주변 관리기법 분야임

		★ 국내 TRL 단계 ● 국외 TRL 단계	
지하구조물 종류별 주변 지하수 흐름 안정화 공법		★ 7.0	● 9.0
지반종류별 지하구조물 주변의 도심 함양시설 설치 관리 기술		★ 6.0	● 9.0
지하수위 복원을 위한 지하수 압력 주입기법		★ 6.0	● 9.0
지하구조물 및 굴착 차수 시스템의 건전도 평가 및 계측기법		★ 6.0	● 8.5
지하수 관측공을 이용한 지하구조물 주변 관리기법		★ 6.0	● 9.0
지하철 및 건축물의 지하수 유출수 관리 및 활용기법		★ 5.7	● 8.0

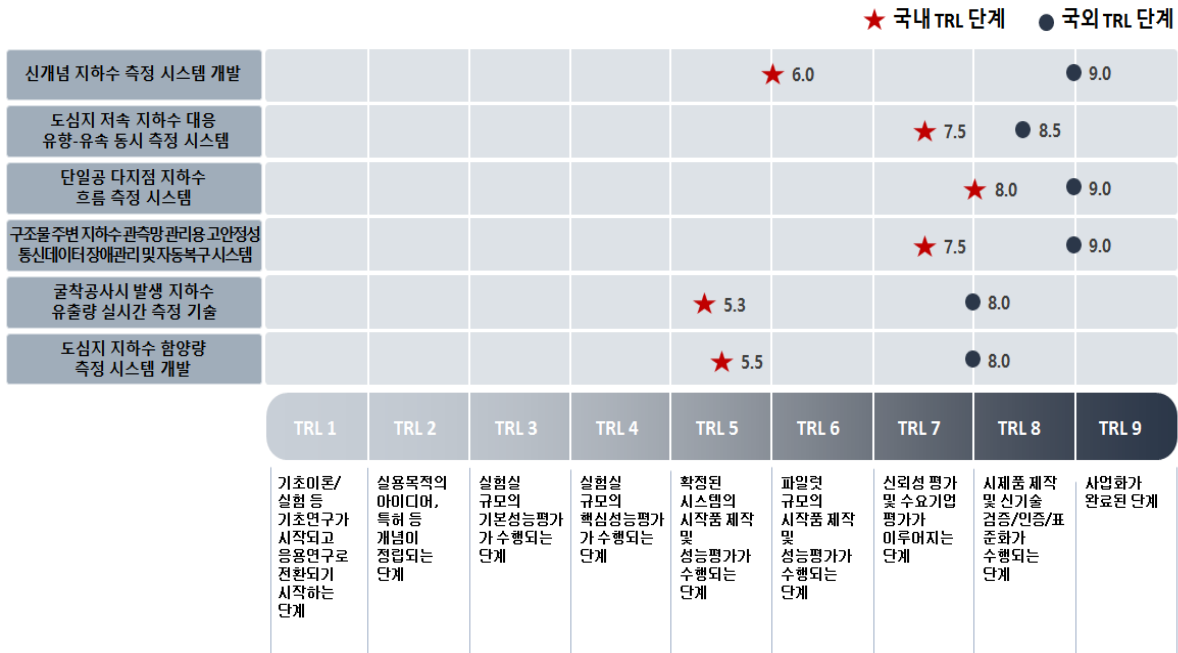
TRL 1	TRL 2	TRL 3	TRL 4	TRL 5	TRL 6	TRL 7	TRL 8	TRL 9
기초이론/실험 등 기초연구가 시작되고 응용연구로 전환되기 시작하는 단계	실용목적의 아이디어, 특허 등 개념이 정립되는 단계	실현성 규모의 기본성능평가 수행되는 단계	실현성 규모의 핵심성능평가 수행되는 단계	확정된 시스템의 시제품 제작 및 성능평가가 수행되는 단계	파일럿 규모의 시제품 제작 및 성능평가가 수행되는 단계	신뢰성 평가 및 수요기업 평가가 이루어지는 단계	시제품 제작 및 신기술 검증/인증/표준화가 수행되는 단계	사업화가 완료된 단계

〈그림 3-39〉 건축물 및 지하구조물 주변 지하수 흐름 관리기법분야 소분류별 국내외 기술성숙도(TRL)

(다) 지하수 및 지반구조물 통합 계측 및 관리 효율 향상을 위한 신개념 시스템

- 지하수 및 지반구조물 통합 계측 및 관리 효율 향상을 위한 신개념 시스템의 최고기술보유국 기술성숙도(TRL)는 시제품 제작 및 신기술 검증/인증/표준화 수행 단계와 사업화가 완료된 단계에 있으며, 국내 기술성숙도(TRL)는 확정된 시스템의 시제품 제작 및 성능평가가 수행되는 단계, 파일럿 규모의 시제품 제작 및 성능평가가 수행되는 단계, 신뢰성 평가 및 수요기업 평가가 이루어지는 단계, 시제품 제작 및 신기술 검증/인증/표준화가 수행되는 단계에 있음
- 국내외 모두 단일공 다지점 지하수 흐름 측정 시스템분야의 기술성숙도(TRL) 수준이 높으며, 국외는 사업화가 완료된 단계에 있으며, 국내는 시제품 제작 및 신기술 검증/인증/표준화가 수행되는 단계에 있음

- 국내외 모두 굴착공사시 발생 지하수 유출량 실시간 측정 기술분야의 기술성숙도(TRL) 수준이 낮으며, 국외는 시제품 제작 및 신기술 검증/인증/표준화가 수행되는 단계에 이며, 국내는 확정된 시스템의 시제품 제작 및 성능평가가 수행되는 단계에 있음
- 국내외 기술성숙도(TRL)수준의 격차가 가장 적은 분야는 도심지 저속 지하수 대응 유향-유속 동시 측정 시스템, 단일공 다지점 지하수 흐름 측정 시스템분야이며, 격차가 가장 큰 분야는 신개념 지하수 측정 시스템 개발 분야임



〈그림 3-40〉 지하수 및 지반구조물 통합 계측 및 관리 효율 향상을 위한 신개념 시스템분야 소분류별 국내외 기술성숙도(TRL)

(라) 지하수위 변화에 의한 도시지반 침하 측정 기술

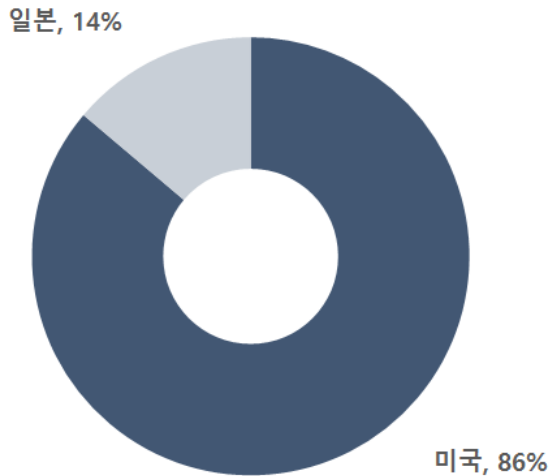
- 지하수위 변화에 의한 도시지반 침하 측정 기술분야의 최고기술보유국 기술성숙도(TRL)는 시제품 제작 및 신기술 검증/인증 표준화 수행 단계 또는 사업화가 완료된 단계에 있으며, 국내 기술성숙도(TRL)는 파일럿 규모의 시제품 제작 및 성능평가, 신뢰성 평가 및 수요기업 평가가 수행되는 단계에 있음
- 국내외 모두 도심지 수직굴착 지중구조물 종류별 지하수, 지반침하 통합 스마트관리 기술분야의 기술성숙도(TRL) 수준이 높으며, 국외는 사업화가 완료된 단계에 있으며, 국내의 경우 신뢰성 평가 및 수요기업 평가가 수행되는 단계에 있음
- 국내외 모두 침하 및 함몰예방을 위한 도심지 굴착공사 지하수 관리 및 예측 가이드라인 개발 기술분야의 기술성숙도(TRL) 수준이 상대적으로 낮으며, 국외의 경우 시제품 제작 및 신기술 검증/인증 표준화 수행 단계이며 국내의 경우 파일럿 규모의 시제품 제작 및 성능평가 단계에 있음
- 국내외 기술성숙도(TRL)수준의 격차가 가장 적은 분야는 침하 및 함몰예방을 위한 도심지 굴착공사 지하수 관리 및 예측 가이드라인 개발 기술분야이며, 격차가 가장 작은 큰 분야는 IT기술을 이용한 굴착공사 주변 침하 및 붕괴대응 안전관리기술, 지하수위 변화에 따른 구조물 기초 건전도 평가기술, 도로주행형 도시지반 침하 측정 및 관리 시스템 개발 분야임

		★ 국내 TRL 단계    ● 국외 TRL 단계								
지중구조물 종류별 주변 지하수, 지반침하 통합 스마트 관리기술									★ 7.0	● 9.0
IT기술을 이용한 굴착공사 주변 침하 및 붕괴대응 안전관리기술						★ 6.0				● 9.0
침하 및 함몰예방을 위한 도심지 굴착공사 지하수 관리 및 예측 가이드라인 개발						★ 6.0			● 8.5	
지하수위 변화에 따른 구조물 기초 건전도 평가 기술						★ 6.0				● 9.0
도로주행형 도시지반 침하 측정 및 관리 시스템 개발						★ 6.0				● 9.0
		TRL 1	TRL 2	TRL 3	TRL 4	TRL 5	TRL 6	TRL 7	TRL 8	TRL 9
		기초이론/실험 등 기초연구가 시작되고 응용연구로 전환되기 시작하는 단계	실용목적의 아이디어, 특허 등 개념이 정립되는 단계	실현실 규모의 기본성능평가 수행되는 단계	실현실 규모의 핵심성능평가 수행되는 단계	확정된 시스템의 시제품 제작 및 성능평가가 수행되는 단계	파일럿 규모의 시제품 제작 및 성능평가가 수행되는 단계	신뢰성 평가 및 수요기업 평가가 이루어지는 단계	시제품 제작 및 신기술 검증/인증/표준화가 수행되는 단계	사업화가 완료된 단계

〈그림 3-41〉 지하수위 변화에 의한 도시지반 침하 측정 기술분야 소분류별 국내외 기술성숙도(TRL)

라. 최고기술보유국

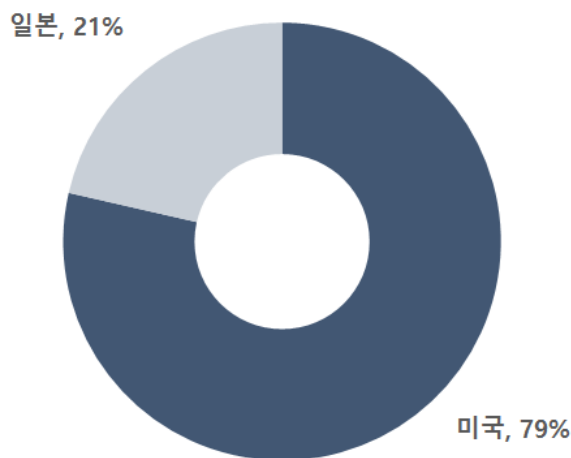
- 지하수 관리기술의 최고기술보유국을 조사한 결과 미국이 가장 많은 최고기술을 보유한 것으로 나타남
- 미국 86%, 일본 14%순으로 최고 기술을 보유한 것으로 나타남



〈그림 3-42〉 지하수 관리기술의 최고기술보유국 비중

(1) 도심지 광역 지하수 관리기술

- 도심지 광역 지하수 관리기술의 최고기술보유국을 조사한 결과 미국이 가장 많은 최고기술을 보유한 것으로 나타남
- 미국 79%, 일본 21%순으로 최고 기술을 보유한 것으로 나타남



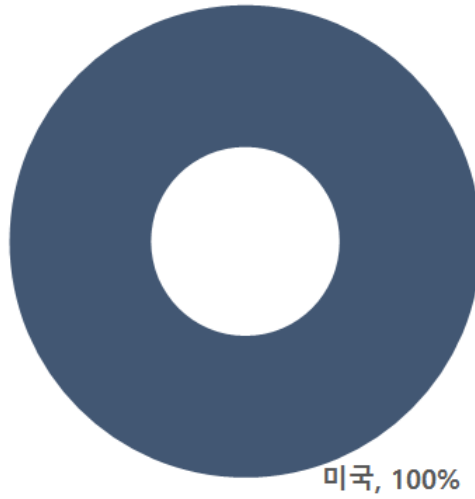
〈그림 3-43〉 도심지 광역 지하수 관리기술분야 최고기술보유국 비중

[표 3-16] 도심지 개착식 지반굴착기술분야 소분류별 최고기술 보유국 비중

중분류	기술분류체계 소분류	최고기술보유국 비중(%)	
		미국	일본
도심지 광역적 지하 지반구조 및 지하 매설물 파악 기법	광역적 지하 지반구조 및 지하매설물 탐지기법	50.0%	50.0%
	SUE 기법기반 도심지 지반구조 및 매설물 탐지 프레임 개발	50.0%	50.0%
	도심지 지하수 환경변화 예측을 위한 광역 3차원 지하 지반구조 작성 프로그램	50.0%	50.0%
	도심지역 천부지반 정밀 탐지를 위한 복합물리탐사와 소형시추장비 개발	100.0%	0.0%
	노이즈 최소화 지반탐사를 통한 이상대 탐지 기법	100.0%	0.0%
	지층별 수리지질특성치 분포 추정 및 해석기술	100.0%	0.0%
도심지 지반굴착에 따른 지표수, 지하 수 유동 및 물수지 평가 기술	대규모 지반굴착에 따른 지하수-지표수 상호작용 실시간 모니터링 및 분석기술	50.0%	50.0%
	대규모 지하개발이 지하수위 변동에 미치는 영향평가 기법연구	50.0%	50.0%
	도심지 지반굴착에 따른 지하수 유동 및 지하수-지반변상 분석 및 예측	50.0%	50.0%
	도심지 지표-지하 통합 물수지 평가기술	50.0%	50.0%
	도심지 지하수 함양 및 배출 해석기술	100.0%	0.0%
	도심지 광역 지하수 환경변화 예측기술	100.0%	0.0%
도심지 지반함몰 예 방을 위한 지하수 계측 및 모니터링 기법	도심지 최적 지하수 관측망 구성기법	100.0%	0.0%
	첨단장비를 활용한 지하유출수 계측기법 개발	100.0%	0.0%
	지하수위 이상변동 모니터링 및 평가기법	100.0%	0.0%
	도심하천-지하수 연계 모니터링 기법	100.0%	0.0%
재난/재해 대응 3 차원 지하수 관리시 스템	동공/싱크홀 사전징후 모니터링 첨단기법	100.0%	0.0%
	재난재해 대비 3차원 지하수 분포 및 매설물도 작성기법	100.0%	0.0%
	도심지 광역 지하수관리 3차원 최적영상구현	100.0%	0.0%
	지반구조 및 지하수 관련 시설 BIM기반 PC와 모바일 연동 양방향 모니터링 시스템	100.0%	0.0%

(2) 지반구조물 주변 지하수 관리 기술

- 지반구조물 주변 지하수 관리기술의 최고기술보유국을 조사한 결과 미국이 가장 많은 최고 기술을 보유한 것으로 나타남



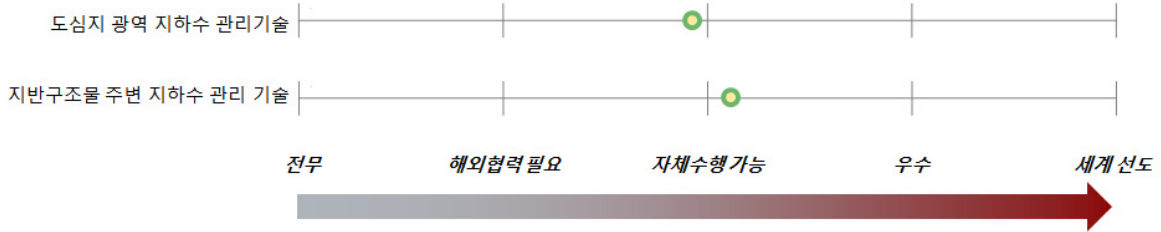
〈그림 3-44〉 지반구조물 주변 지하수 관리 기술 분야 최고기술보유국 비중

[표 3-17] 지반구조물 주변 지하수 관리기술분야 소분류별 최고기술 보유국 비중

중분류	기술분류체계 소분류	최고기술보유국 비중(%)	
		미국	일본
지하수와 지하 구조물에 의한 지반 변상 분석기법	대형구조물 주변에서의 지질 유형별 지하수위 유지 기술개발	100.0%	0.0%
	지질종류별 지하수에 의한 지반변상 분석기법	100.0%	0.0%
	지하수와 지반변형을 동시에 고려한 모델 프로그램 개발	100.0%	0.0%
	모형시험을 통한 지하수 및 지하구조물의 상관관계 규명	100.0%	0.0%
	지하수 및 토사유출에 의한 주변지반 공동형성 원인분석	100.0%	0.0%
	도심지 3차원 지하수 지도구축	100.0%	0.0%
건축물 및 지하구조물 주변 지하수 흐름 관리기법	지하구조물 종류별 주변 지하수 흐름 안정화 공법	100.0%	0.0%
	지반종류별 지하구조물 주변의 도심 함양시설 설치 관리 기술	100.0%	0.0%
	지하수위 복원을 위한 지하수 압력 주입기법	100.0%	0.0%
	지하구조물 및 굴착 차수 시스템의 건전도 평가 및 계측기법	100.0%	0.0%
	지하수 관측공을 이용한 지하구조물 주변 관리기법	100.0%	0.0%
	지하철 및 건축물의 지하수 유출수 관리 및 활용기법	100.0%	0.0%
지하수 및 지반구조물 통합 계측 및 관리 효율 향상을 위한 신개념 시스템	신개념 지하수 측정 시스템 개발	100.0%	0.0%
	도심지 저속 지하수 대응 유향-유속 동시측정 시스템	100.0%	0.0%
	단일공 다지점 지하수 흐름 측정 시스템	100.0%	0.0%
	구조물 주변 지하수 관측망 관리용 고안정성 통신데이터 장애 관리 및 자동복구 시스템	100.0%	0.0%
	굴착공사시 발생 지하수 유출량 실시간 측정 기술	100.0%	0.0%
	도심지 지하수 함양량 측정 시스템 개발	100.0%	0.0%
	지중구조물 종류별 주변 지하수, 지반침하 통합 스마트 관리기술	100.0%	0.0%
지하수위 변화에 의한 도시지반 침하 측정 기술	IT기술을 이용한 굴착공사 주변 침하 및 붕괴대응 안전관리기술	100.0%	0.0%
	침하 및 함몰예방을 위한 도심지 굴착공사 지하수 관리 및 계측 가이드 라인 개발	100.0%	0.0%
	지하수위 변화에 따른 구조물 기초 건전도 평가기술	100.0%	0.0%
	도로주행형 도시지반 침하 측정 및 관리 시스템 개발	100.0%	0.0%
		100.0%	0.0%

마. 기술기반(인프라) 성숙도

□ 국내 지하수 관리기술 분야의 기술기반(인프라)은 자체수행이 가능한 수준인 것으로 나타남

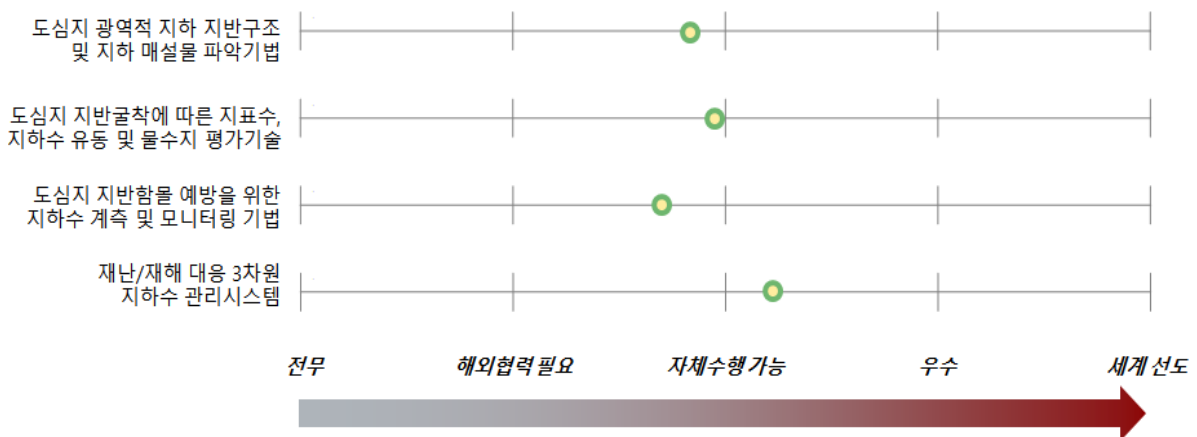


〈그림 3-45〉 지하수 관리기술의 대분류별 기술기반 성숙도

(1) 도심지 광역 지하수 관리기술

□ 국내 도심지 광역 지하수관리 기술분야의 기술기반(인프라)은 일부 해외협력이 필요한 수준인 것으로 나타남

- 재난/재해 대응 3차원 지하수 관리시스템 분야는 상대적으로 우수하여 국내 인프라를 활용하여 자체연구수행이 가능한 것으로 나타남
- 도심지 광역적 지하 지반구조 및 지하 매설물 파악 기법, 도심지 지반굴착에 따른 지표수, 지하수 유동 및 물수지 평가기술, 도심지 지반함몰 예방을 위한 지하수 계측 및 모니터링 기법은 자체 연구수행 수행 가능수준에 미흡하여 해외협력이 필요한 것으로 나타남



〈그림 3-46〉 도심지 광역 지하수관리 기술분야 중분류별 기술기반 성숙도

(가) 도심지 광역적 지하 지반구조 및 지하 매설물 파악 기법

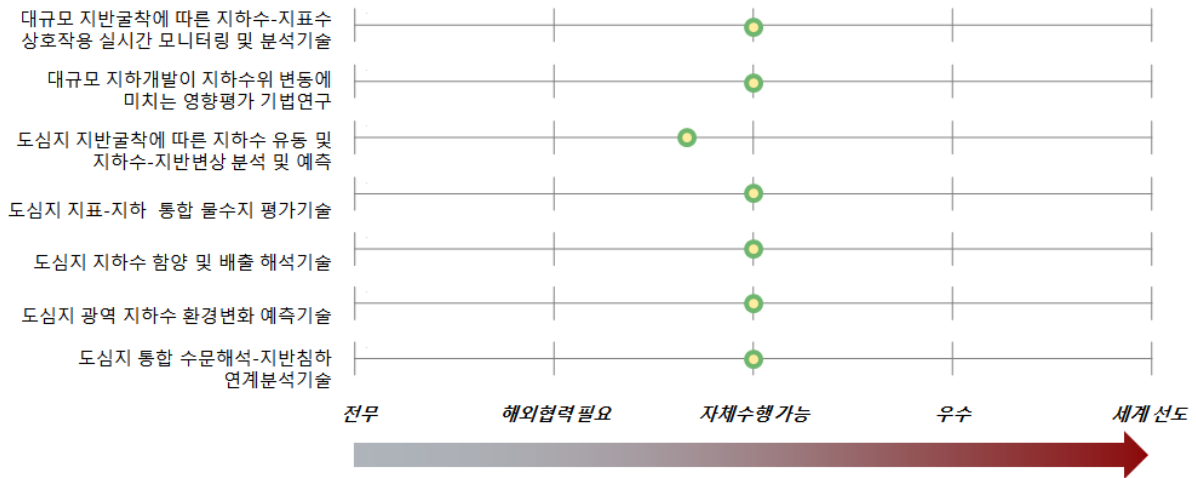
- 도심지 광역적 지하 지반구조 및 지하 매설물 파악 기법분야의 기술기반(인프라)은 전반적으로 자체 수행이 가능한 수준인 것으로 나타남
- 광역적 지하 지반구조 및 지하매설물 탐지기법, SUE 기법기반 도심지 지반구조 및 매설물 탐지 프레임 개발, 도심지 지하수 환경변화 예측을 위한 광역 3차원 지하 지반구조 작성 프로그램, 노이즈 최소화 지반탐사를 통한 이상대 탐지 기법, 지층별 수리지질특성치 분포 추정 및 해석 기술분야의 기술기반(인프라)은 자체 연구수행이 가능한 수준인 것으로 조사됨
- 도심지역 천부지반 정밀 탐지를 위한 복합물리탐사와 소형시추장비 개발분야의 기술기반(인프라)은 미흡하여 해외협력이 필요한 것으로 나타남



<그림 3-47> 도심지 광역적 지하 지반구조 및 지하 매설물 파악 기법분야 소분류별 기술기반 성숙도

(나) 도심지 지반굴착에 따른 지표수, 지하수 유동 및 물수지 평가 기술

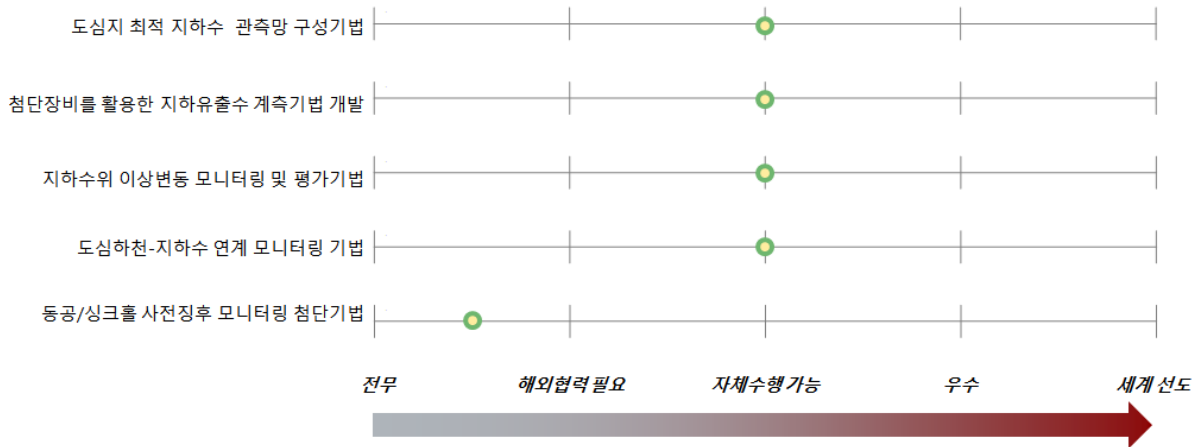
- 도심지 지반굴착에 따른 지표수, 지하수 유동 및 물수지 평가 기술분야의 기술기반(인프라)은 전반적으로 자체 수행이 가능한 수준인 것으로 나타남
- 대규모 지반굴착에 따른 지하수-지표수 상호작용 실시간 모니터링 및 분석기술, 대규모 지하개발이 지하수위 변동에 미치는 영향평가 기법연구, 도심지 지표-지하 통합 물수지 평가기술, 도심지 지하수 함양 및 배출 해석기술, 도심지 광역 지하수 환경변화 예측기술, 도심지 통합 수문해석-지반침하 연계분석 기술분야의 기술기반(인프라)은 자체 연구수행이 가능한 수준인 것으로 조사됨
- 도심지 지반굴착에 따른 지하수 유동 및 지하수-지반변상 분석 및 예측분야의 기술기반(인프라)은 미흡하여 해외협력이 필요한 것으로 나타남



〈그림 3-48〉 도심지 지반굴착에 따른 지표수, 지하수 유동 및 물수지 평가 기술분야 소분류별 기술기반 성숙도

(다) 도심지 지반함몰 예방을 위한 지하수 계측 및 모니터링 기법

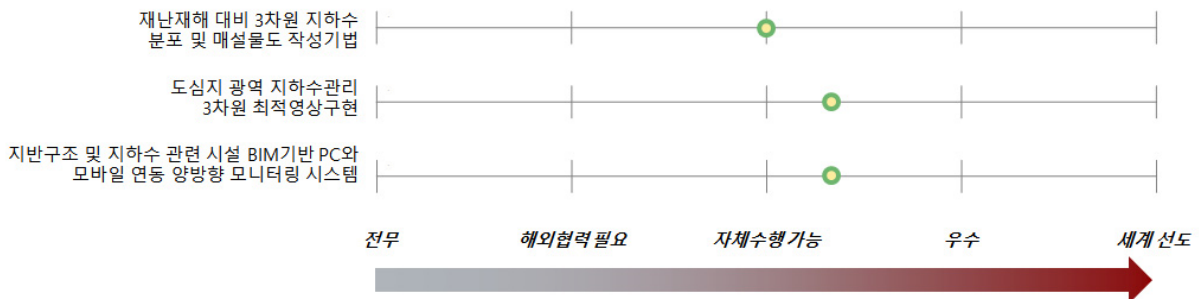
- 도심지 지반함몰 예방을 위한 지하수 계측 및 모니터링 기법분야의 기술기반(인프라)은 전반적으로 자체수행이 가능한 수준인 것으로 나타남
  - 도심지 최적 지하수 관측망 구성기법, 첨단장비를 활용한 지하유출수 계측기법 개발, 지하수위 이상변동 모니터링 및 평가기법, 도심하천-지하수 연계 모니터링 기법분야의 기술기반(인프라)은 자체 연구수행이 가능한 수준인 것으로 조사됨
  - 동공/싱크홀 사전징후 모니터링 첨단기법분야의 기술기반(인프라)은 전무한 수준인 것으로 나타남



〈그림 3-49〉 도심지 지반함몰 예방을 위한 지하수 계측 및 모니터링 기법분야 소분류별 기술기반 성숙도

## (라) 재난/재해 대응 3차원 지하수 관리시스템

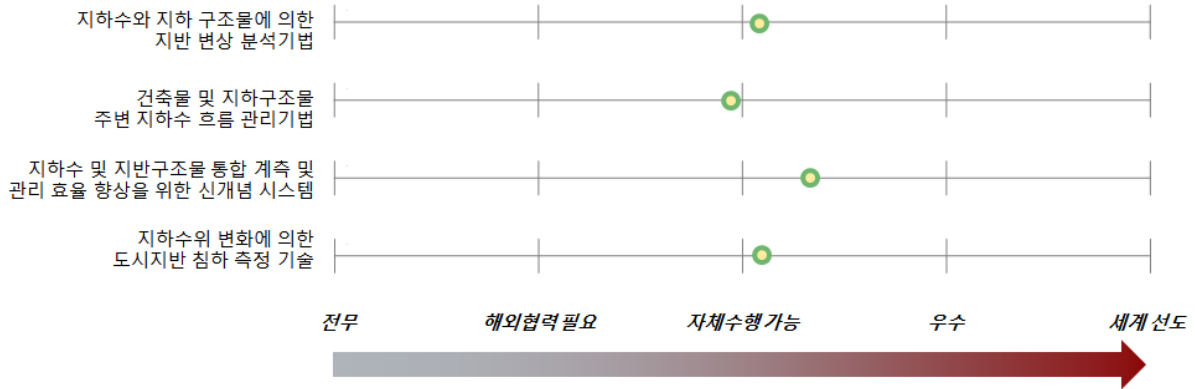
- 재난/재해 대응 3차원 지하수 관리시스템분야의 기술기반(인프라)은 전반적으로 자체수행이 가능한 수준인 것으로 나타남
- 재난재해 대비 3차원 지하수 분포 및 매설물도 작성기법분야의 기술기반(인프라)은 자체 연구수행이 가능한 수준인 것으로 조사됨
- 도심지 광역 지하수관리 3차원 최저경상구현, 지반구조 및 지하수 관련 시설 BIM 기반 PC와 모바일 연동 양방향 모니터링 시스템분야는 상대적으로 기술기반(인프라)이 우수한 수준인 것으로 조사됨



〈그림 3-50〉 재난/재해 대응 3차원 지하수 관리시스템분야 소분류별 기술기반 성숙도

## (2) 지반구조물 주변 지하수 관리 기술

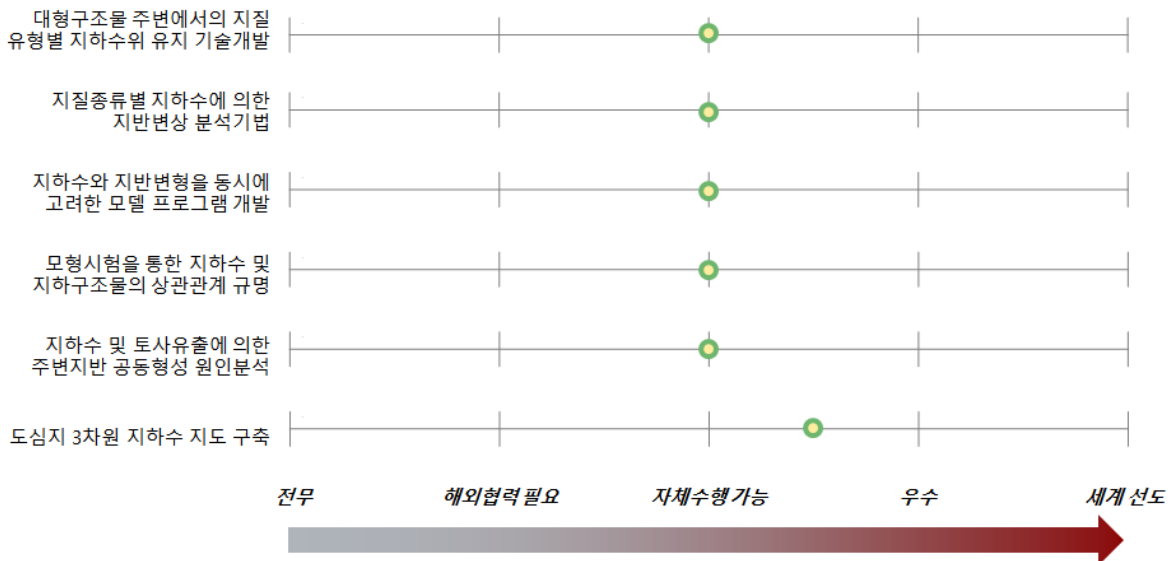
- 국내 지반구조물 주변 지하수 관리기술분야의 기술기반(인프라)은 전반적으로 자체수행이 가능한 수준인 것으로 나타남
- 지하수와 지하 구조물에 의한 지반 변상 분석기법, 지하수위 변화에 의한 도시지반 침하 측정 기술분야의 기술기반(인프라)은 자체 연구수행이 가능한 수준인 것으로 조사됨
- 지하수 및 지반구조물 통합 계측 및 관리 효율 향상을 위한 신개념 시스템분야는 상대적으로 기술기반(인프라)이 우수한 수준인 것으로 조사됨
- 건축물 및 지하구조물 주변 지하수 흐름 관리기법분야는 자체 연구수행 수행 가능수준에 미흡하여 해외협력이 필요한 것으로 나타남



〈그림 3-51〉 지반구조물 주변 지하수 관리 기술분야 중분류별 기술기반 성숙도

(가) 지하수와 지하 구조물에 의한 지반 변상 분석기법

- 지하수와 지하 구조물에 의한 지반변상 분석기법 분야의 기술기반(인프라)은 전반적으로 자체 수행이 가능한 수준인 것으로 나타남
- 대형구조물 주변에서의 지질 유형별 지하수위 유지 기술개발, 지질종류별 지하수에 의한 지반변상 분석기법, 지하수와 지반변형을 동시에 고려한 모델 프로그램 개발, 모형시험을 통한 지하수 및 지하구조물의 상관관계 규명, 지하수 및 토사유출에 의한 주변지반 공동형성 원인분석분야의 기술기반(인프라)은 자체 연구수행이 가능한 수준인 것으로 조사됨
- 도심지 3차원 지하수 지도 구축분야는 상대적으로 기술기반(인프라)이 우수한 수준인 것으로 조사됨



〈그림 3-52〉 지하수와 지하 구조물에 의한 지반 변상 분석기법분야 소분류별 기술기반 성숙도

(나) 건축물 및 지하구조물 주변 지하수 흐름 관리기법

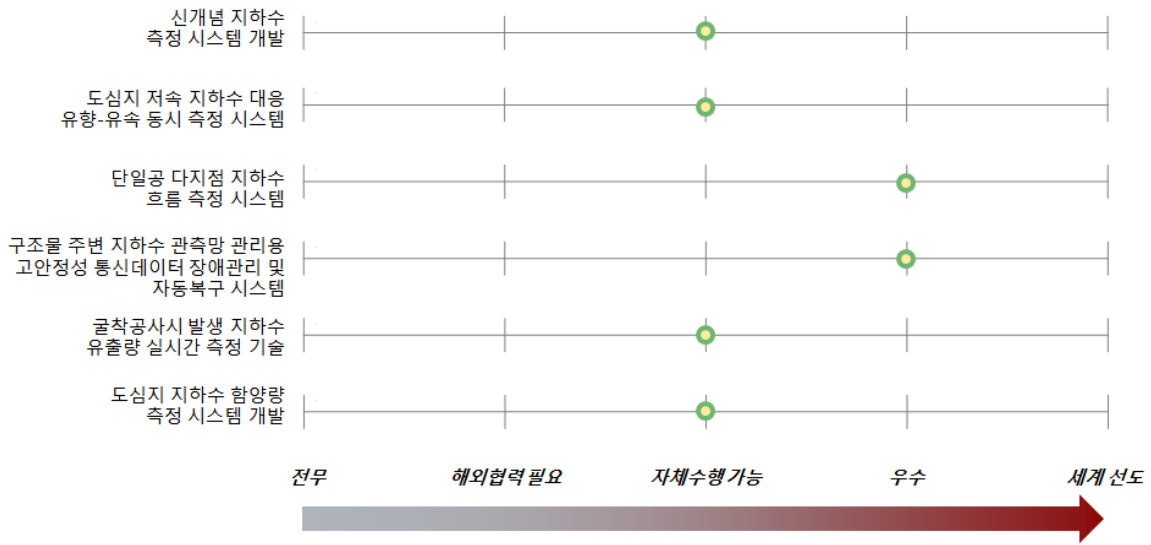
- 건축물 및 지하구조물 주변 지하수 흐름 관리기법 분야를 구성하는 소분류 기술별로 기술 기반(인프라)은 전반적으로 자체 수행이 가능한 수준인 것으로 나타남
- 지하구조물 종류별 주변 지하수 흐름 안정화 공법, 지반종류별 지하구조물 주변의 도심 함양시설 설치 관리 기술, 지하수위 복원을 위한 지하수 압력 주입기법, 지하구조물 및 굴착 차수 시스템의 건전도 평가 및 계측기법, 지하수 관측공을 이용한 지하구조물 주변 관리기법분야의 기술기반(인프라)은 자체 연구수행이 가능한 수준인 것으로 조사됨
- 지하철 및 건축물의 지하수 유출수 관리 및 활용기법분야의 기술기반(인프라)은 미흡하여 해외협력력이 필요한 것으로 나타남



〈그림 3-53〉 건축물 및 지하구조물 주변 지하수 흐름 관리기법분야 소분류별 기술기반 성숙도

(다) 지하수 및 지반구조물 통합 계측 및 관리 효율 향상을 위한 신개념 시스템

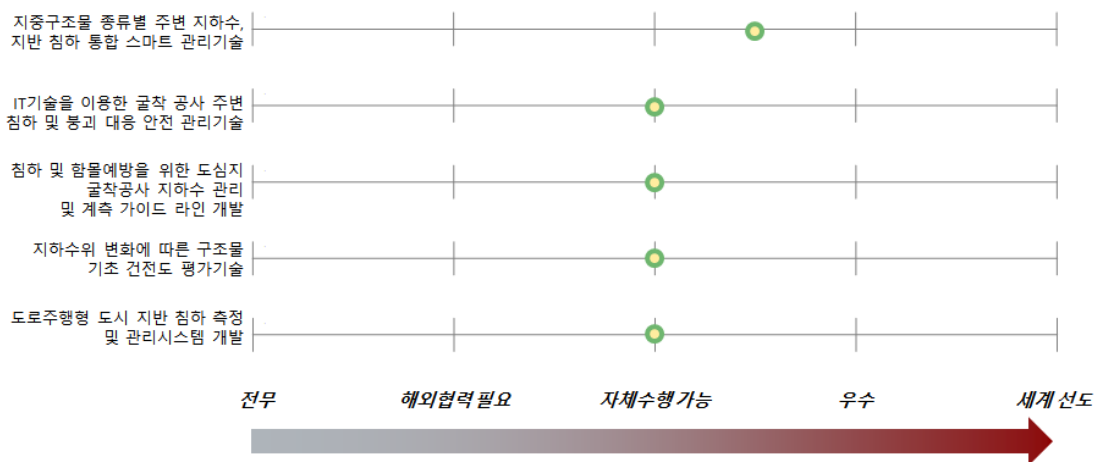
- 지하수 및 지반구조물 통합 계측 및 관리 효율 향상을 위한 신개념 시스템분야의 기술기반(인프라)은 전반적으로 자체 수행이 가능한 수준인 것으로 나타남
- 신개념 지하수 측정 시스템 개발, 도심지 저속 지하수 대응 유향-유속 동시측정 시스템, 굴착공사시 발생 지하수 유출량 실시간 측정 기술, 도심지 지하수 함양량 측정 시스템 개발분야의 기술기반(인프라)은 자체 연구수행이 가능한 수준인 것으로 조사됨
- 단일공 다지점 지하수 흐름 시스템 측정 시스템, 구조물 주변 지하수 관측망 관리용 고안정성 통신데이터 장애관리 및 자동복구 시스템분야는 상대적으로 기술기반(인프라)이 우수한 수준인 것으로 조사됨



〈그림 3-54〉 지하수 및 지반구조물 통합 계측 및 관리 효율 향상을 위한 신개념 시스템분야 소분류별 기술기반 성숙도

(라) 지하수위 변화에 의한 도시지반 침하 측정 기술

- 지하수위 변화에 의한 도시지반 침하 측정 기술분야의 기술기반(인프라)은 자체수행이 가능한 수준인 것으로 나타남
- IT기술을 이용한 굴착공사 주변 침하 및 붕괴대응 안전관리 기술, 침하 및 함몰예방을 위한 도심지 굴착공사 지하수 관리 및 계측 가이드라인 개발, 지하수위 변화에 따른 구조물 기초 건전도 평가기술, 도로주행형 도시지반 침하 측정 및 관리 시스템 개발분야의 기술기반(인프라)은 자체 연구수행이 가능한 수준인 것으로 조사됨
- 지중구조물 종류별 주변 지하수, 지반침하 통합 스마트 관리기술분야는 상대적으로 기술기반(인프라)이 우수한 수준인 것으로 조사됨



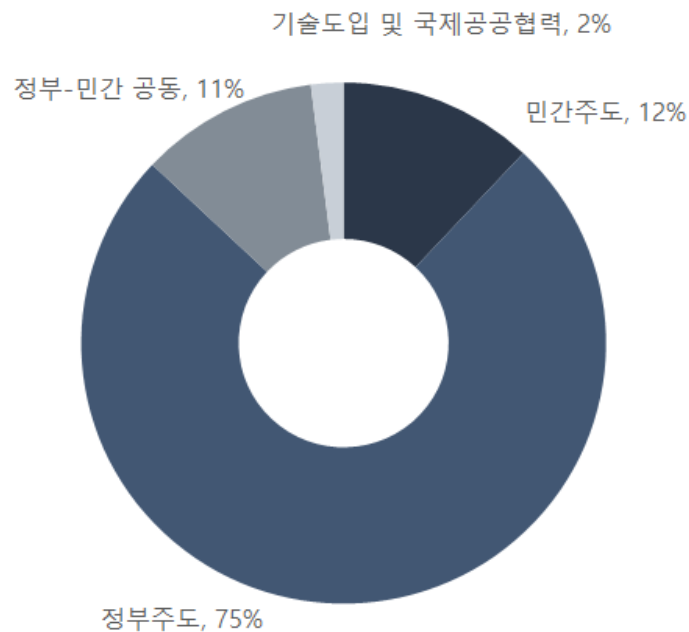
〈그림 3-55〉 지하수위 변화에 의한 도시지반 침하 측정 기술분야 소분류별 기술기반 성숙도

### 바. 기술획득 방식

- 지하수, 지반구조 영향 계측·평가·관리기술의 기술획득방식은 대체적으로 정부주도(75%)로 기술을 획득하여야 하는 것으로 나타남
- 지하수, 지반구조 영향 계측·평가·관리기술을 구성하는 대분류 기술 모두 정부주도 기술획득이 적절한 것으로 조사됨

[표 3-18] 지하수, 지반구조 영향 계측·평가·관리기술 대분류별 기술획득 방식 조사결과

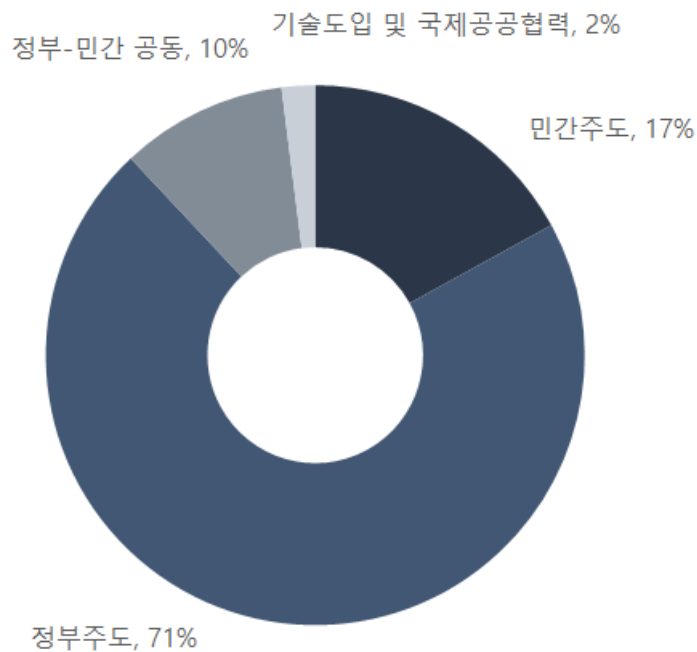
분야	대분류	기술획득 방식			
		민간주도	정부주도	정부-민간 공동	기술도입 및 국제공동연구
지하수 관리 기술	전체	12%	75%	11%	2%
	도심지 광역지하수 관리기술	17%	71%	10%	2%
	지반구조물 주변 지하수 관리기술	7%	79%	12%	2%



〈그림 3-56〉 지하수, 지반구조 영향 계측·평가·관리기술분야 기술획득 방식 조사결과

(1) 도심지 광역 지하수 관리기술

- 도심지 광역 지하수 관리기술의 기술획득 방식은 정부주도(71%)로 기술을 획득하여야 하는 것으로 나타남
- 도심지 광역 지하수 관리기술을 구성하는 소분류 기술 대부분이 정부주도 기술획득이 적절한 것으로 조사됨
  - 지반구조 및 지하수 관련시설 BIM기반 PC와 모바일 연동 양방향 모니터링 시스템은 민간주도 기술획득이 적절한 것으로 조사됨



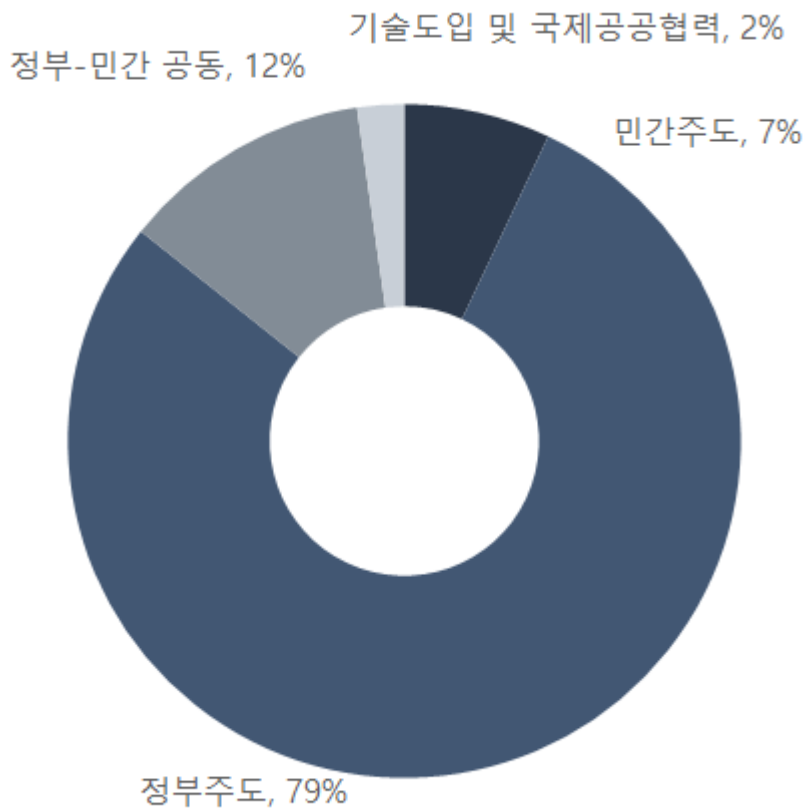
〈그림 3-57〉 도심지 광역 지하수 관리기술분야 기술획득 방식 조사결과

[표 3-19] 도심지 광역 지하수 관리기술분야 소분류별 기술획득 방식 조사결과

기술분류체계		민간	정부	정부/민간 공동	기술도입 및 국제공 동연구
중분류	소분류				
도심지 광역적 지하 지반구조 및 지하 매설물 파악기법	광역적 지하지반구조 및 지하매설물 탐지기법	0%	100%	0%	0%
	SUE(Subsurface Utility Engineering)기법기반 도심지 지반구조 및 매설물 탐지프레임 개발	50%	50%	0%	0%
	도심지 지하수 환경변화예측을 위한 광역 3차원 지하지반구조 작성 프로그램	50%	50%	0%	0%
	도심지역 천부 지반 정밀 탐지를 위한 복합물리탐사와 소형 시추장비 개발	50%	50%	0%	0%
	노이즈 최소화 지반탐사를 통한 이상대 탐지기법	0%	100%	0%	0%
	지층별 수리지질특성치 분포 추정 및 해석기술	0%	100%	0%	0%
도심지 지반굴 착에 따른 지표 수, 지하수 유 동 및 물수지 평가 기술	대규모 지반굴착에 따른 지하수-지표수 상호작용 실시간 모니터링 및 분석기술	33%	33%	33%	0%
	대규모 지하개발이 지하수위 변동에 미치는 영향평가 기법연구	0%	67%	33%	0%
	도심지 지반굴착에 따른 지하수 유동 및 지하수-지반변상분석 및 예측	0%	67%	33%	0%
	도심지 지표-지하 통합 물수지 평가기술	0%	100%	0%	0%
	도심지 지하수 함양 및 배출해석 기술	0%	100%	0%	0%
	도심지 광역 지하수 환경변화 예측기술	0%	100%	0%	0%
도심지 지반함 몰 예방을 위한 지하수 계측 및 모니터링 기법	도심지 최적 지하수 관측망 구성 기법	0%	100%	0%	0%
	첨단장비를 활용한 지하유출수 계측 기법 개발	33%	33%	0%	33%
	지하수위 이상 변동 모니터링 및 평가기법	0%	67%	33%	0%
	도심하천-지하수연계 모니터링기법	0%	67%	33%	0%
	동공/싱크홀 사전 징후 모니터링 첨단기법	0%	100%	0%	0%
재난/재해 대 응 3차원 지하 수 관리시스템	재난재해 대비 3차원 지하수 분포 및 매설물도 작성 기법	50%	50%	0%	0%
	도심지 광역 지하수관리 3차원 최적 영상구현	33%	33%	33%	0%
	지반구조 및 지하수 관련시설 BIM기반 PC와 모바일 연동 양방향 모니터링 시스템	67%	33%	0%	0%

(2) 지반구조물 주변 지하수 관리기술

- 지반구조물 주변 지하수 관리기술의 기술획득 방식은 정부주도(79%)로 기술을 획득하여야 하는 것으로 나타남
- 도심지 광역 지하수 관리기술을 구성하는 소분류 기술 대부분이 정부주도 기술획득이 적절한 것으로 조사됨
  - 굴착공사 시 발생 지하수 유출량 실시간 측정기술은 정부-민간 공동 기술획득이 적절한 것으로 조사됨



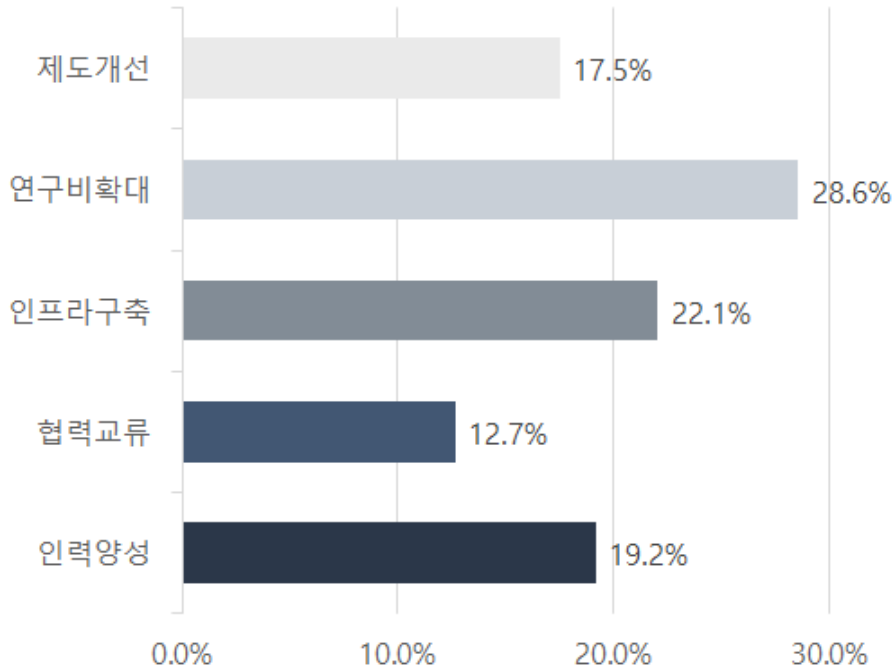
〈그림 3-58〉 지반구조물 주변 지하수 관리기술분야 기술획득 방식 조사결과

[표 3-20] 지반구조물 주변 지하수 관리기술분야 소분류별 기술획득 방식 조사결과

기술분류체계		민간	정부	정부/민간 공동	기술도입 및 국제 공동연구
중분류	소분류				
지하수와 지하 구조물에 의한 지반 변상 분석 기법	대형구조물 주변에서의 지질유형별 지하수위 유지 기술 개발	0%	100%	0%	0%
	지질종류별 지하수에 의한 지반변상 분석기법	0%	100%	0%	0%
	지하수와 지반변형을 동시에 고려한 모델 프로그램 개발	0%	50%	0%	50%
	모형시험을 통한 지하수 및 지하구조물의 상관관계 규명	0%	100%	0%	0%
	지하수 및 토사유출에 의한 주변지반 공동형성 원인 분석	0%	100%	0%	0%
	도심지 3차원 지하수 지도 구축	0%	50%	50%	0%
건축물 및 지하 구조물 주변 지 하수 흐름 관리 기법	지하구조물 종류별 주변 지하수 흐름 안정화 공법	0%	100%	0%	0%
	지반종류별 지하구조물 주변의 도심 함양시설 설치 관리기술	0%	100%	0%	0%
	지하수위 복원을 위한 지하수 압력 주입기법	0%	100%	0%	0%
	지하구조물 및 굴착차수 시스템의 건전도 평가 및 계측기법	0%	50%	50%	0%
	지하수 관측공을 이용한 지하구조물 주변 관리기법	0%	100%	0%	0%
	지하철 및 건축물의 지하수 유출수 관리 및 활용기법	0%	100%	0%	0%
지하수 및 지반 구조물 통합 계 측 및 관리 효 율 향상을 위한 신개념 시스템	신개념 지하수 측정 시스템 개발	0%	100%	0%	0%
	도심지 저속 지하수 대응 유향-유속 동시측정 시스템	50%	50%	0%	0%
	단일공 다지점 지하수 흐름 측정 시스템	50%	50%	0%	0%
	구조물 주변 지하수 관측망 관리용 고안정성 통신 데이터 장애관리 및 자동 복구 시스템	50%	50%	0%	0%
	굴착공사 시 발생 지하수 유출량 실시간 측정기술	0%	33%	67%	0%
	도심지 지하수 함양량 측정 시스템 개발	0%	100%	0%	0%
지하수위 변화 에 의한 도시지 반 침하 측정 기술	지중구조물 종류별 주변 지하수, 지반침하 통합 스 마트 관리기술	0%	50%	50%	0%
	IT기술을 이용한 굴착공사 주변 침하 및 붕괴 대응 안전관리기술	0%	100%	0%	0%
	침하 및 함몰예방을 위한 도심지 굴착공사 지하수 관리 및 계측 가이드라인 개발	0%	50%	50%	0%
	지하수위 변화에 따른 구조물 기초 건전도 평가기술	0%	100%	0%	0%
	도로주행형 도시 지반침하 측정 및 관리시스템 개발	0%	100%	0%	0%

사. 정부우선 시행방안

- 지하수, 지반구조 영향 계측·평가·관리기술의 기술적 실현을 위해 정부가 우선적으로 시행해야할 방안은 연구비 확대인 것으로 나타남
- 2개 분야 공통적으로 연구비확대가 가장 시급한 것으로 나타났으며, 다음으로 인프라 구축이 필요한 것으로 나타남



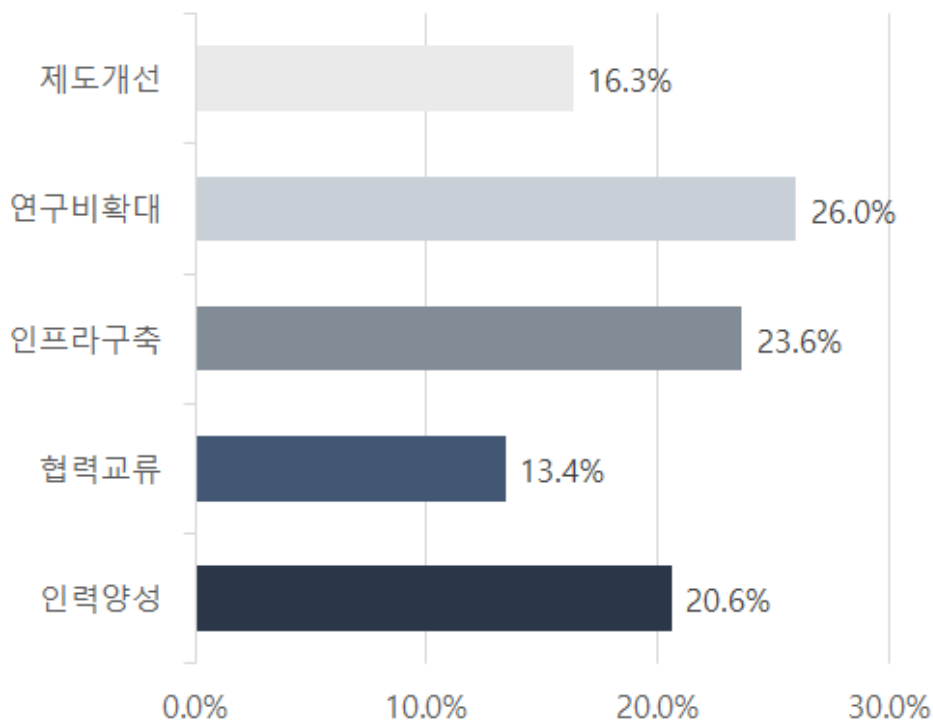
〈그림 3-59〉 지하수, 지반구조 영향 계측·평가·관리기술 정부우선 시행방안 조사결과

[표 3-21] 지하수, 지반구조 영향 계측·평가·관리기술 대분류별 정부우선 시행방안 조사결과

분야	대분류	인력양성	협력교류 활성화	인프라 구축	연구비 확대	제도개선
지하수 관리 기술	전체	19.2%	12.7%	22.1%	28.6%	17.5%
	도심지 광역지하수 관리기술	20.6%	13.4%	23.6%	26.0%	16.3%
	지반구조물 주변 지하수 관리기술	17.8%	11.9%	20.5%	31.1%	18.7%

## (1) 도심지 광역 지하수 관리기술

- 도심지 광역 지하수 관리기술 분야의 기술적 실현을 위해 정부가 우선적으로 시행해야할 방안은 연구비 확대인 것으로 나타남
- 도심지 광역 지하수 관리기술의 대부분이 연구비확대가 가장 시급한 것으로 나타났음
  - 대규모 지하개발이 지하수위 변동에 미치는 영향평가 기법연구는 제도개선이 가장 시급한 것으로 나타남
  - 재난재해 대비 3차원 지하수 분포 및 매설물도 작성기법은 인프라 구축이 가장 시급한 것으로 나타남
  - 대규모 지반굴착에 따른 지하수-지표수 상호작용 실시간 모니터링 및 분석기술, 도심지 최적 지하수 관측망 구성 기법은 연구비 확대와 함께 인프라구축이 가장 시급한 것으로 나타남



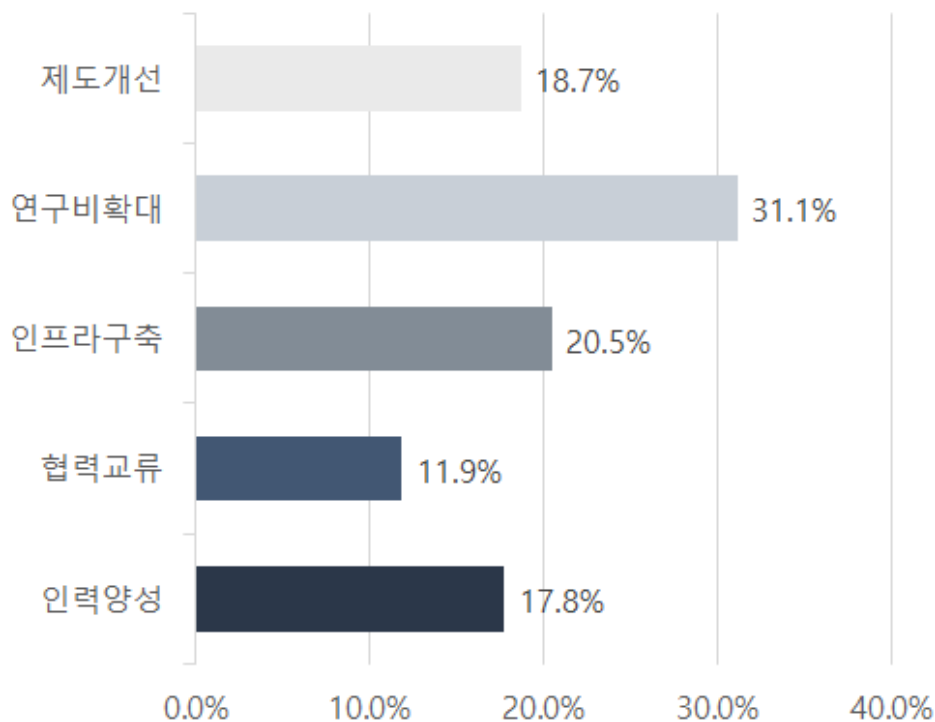
〈그림 3-60〉 도심지 광역 지하수 관리기술분야 정부우선 시행방안 조사결과

[표 3-22] 도심지 광역 지하수 관리기술분야 소분류별 정부우선 시행방안 조사결과

기술분류체계		인력 양성	협력교 류 활성 화	인프라 구축	연구비 확대	제도 개선
중분류	소분류					
도심지 광역적 지하 지반구조 및 지하 매설물 파악기법	광역적 지하지반구조 및 지하매설물 탐지기법	22.5%	15.0%	22.5%	25.0%	15.0%
	SUE(Subsurface Utility Engineering)기법기반 도심지 지반구조 및 매설물 탐지프레임 개발	22.5%	15.0%	22.5%	25.0%	15.0%
	도심지 지하수 환경변화예측을 위한 광역 3차원 지하지반구조 작성 프로그램	22.5%	15.0%	22.5%	25.0%	15.0%
	도심지역 천부 지반 정밀 탐지를 위한 복합물리탐사와 소형 시추장비 개발	22.5%	15.0%	22.5%	25.0%	15.0%
	노이즈 최소화 지반탐사를 통한 이상대 탐지기법	22.5%	15.0%	22.5%	25.0%	15.0%
	지층별 수리지질특성치 분포 추정 및 해석기술	22.5%	15.0%	20.0%	25.0%	17.5%
도심지 지반굴 착에 따른 지표 수, 지하수 유 동 및 물수지 평가 기술	대규모 지반굴착에 따른 지하수-지표수 상호작용 실시간 모니터링 및 분석기술	18.3%	13.3%	26.7%	26.7%	15.0%
	대규모 지하개발이 지하수위 변동에 미치는 영향평가 기법연구	21.7%	11.7%	16.7%	23.3%	26.7%
	도심지 지반굴착에 따른 지하수 유동 및 지하수-지반변상분석 및 예측	20.0%	13.3%	23.3%	26.7%	16.7%
	도심지 지표-지하 통합 물수지 평가기술	21.7%	11.7%	23.3%	26.7%	16.7%
	도심지 지하수 함양 및 배출해석 기술	21.7%	11.7%	23.3%	26.7%	16.7%
	도심지 광역 지하수 환경변화 예측기술	21.7%	11.7%	20.0%	26.7%	20.0%
	도심지 통합 수문해석-지반침하 연계 분석기술	22.5%	12.5%	20.0%	25.0%	20.0%
도심지 지반함 몰 예방을 위한 지하수 계측 및 모니터링 기법	도심지 최적 지하수 관측망 구성 기법	18.3%	13.3%	26.7%	26.7%	15.0%
	첨단장비를 활용한 지하유출수 계측 기법 개발	18.3%	15.0%	23.3%	26.7%	16.7%
	지하수위 이상 변동 모니터링 및 평가기법	21.7%	13.3%	23.3%	26.7%	15.0%
	도심하천-지하수연계 모니터링기법	21.7%	11.7%	23.3%	26.7%	16.7%
	동공/싱크홀 사전 징후 모니터링 첨단기법	22.5%	12.5%	20.0%	25.0%	20.0%
재난/재해 대 응 3차원 지하 수 관리시스템	재난재해 대비 3차원 지하수 분포 및 매설물도 작성 기법	18.3%	13.3%	31.7%	20.0%	16.7%
	도심지 광역 지하수관리 3차원 최적 영상구현	18.3%	13.3%	25.0%	30.0%	13.3%
	지반구조 및 지하수 관련시설 BIM기반 PC와 모바일 연동 양방향 모니터링 시스템	18.3%	13.3%	25.0%	30.0%	13.3%

## (2) 지반구조물 주변 지하수 관리기술

- 지반구조물 주변 지하수 관리기술의 기술적 실현을 위해 정부가 우선적으로 시행해야할 방안은 연구비 확대인 것으로 나타남
- 지반구조물 주변 지하수 관리기술의 대부분이 연구비확대가 가장 시급한 것으로 나타났음
  - 지하구조물 및 굴착차수 시스템의 건전도 평가 및 계측기법, 침하 및 함몰예방을 위한 도심지 굴착공사 지하수 관리 및 계측 가이드라인 개발은 제도개선이 가장 시급한 것으로 나타남
  - 지하수와 지반변형을 동시에 고려한 모델 프로그램 개발, 굴착공사 시 발생 지하수 유출량 실시간 측정기술은 협력교류가 가장 시급한 것으로 나타남
  - 도심지 3차원 지하수 지도 구축, 지중구조물 종류별 주변 지하수, 지반침하 통합 스마트 관리기술은 연구비 확대와 함께 인프라구축이 가장 시급한 것으로 나타남



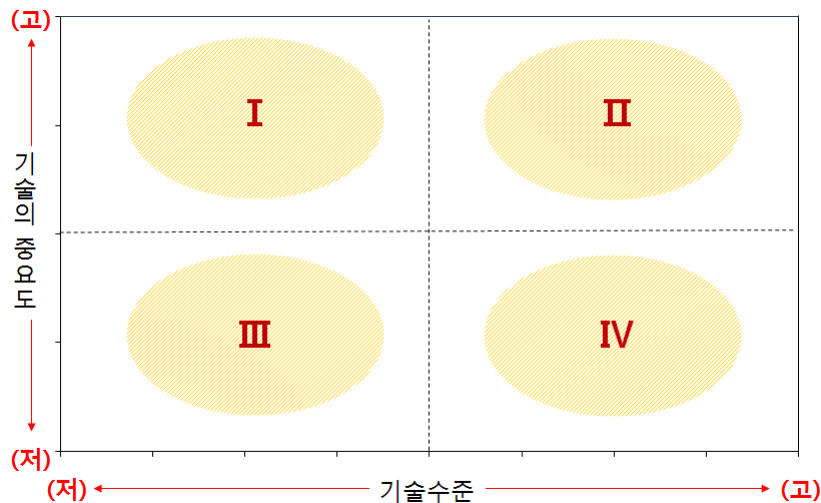
〈그림 3-61〉 지반구조물 주변 지하수 관리기술분야 정부우선 시행방안 조사결과

[표 3-23] 지반구조물 주변 지하수 관리기술분야 소분류별 정부우선 시행방안 조사결과

기술분류체계		인력 양성	협력교류 활성화	인프라 구축	연구비 확대	제도 개선
중분류	소분류					
지하수와 지하 구조물에 의한 지반 변상 분석 기법	대형구조물 주변에서의 지질유형별 지하수위 유지 기술 개발	20.0%	10.0%	20.0%	30.0%	20.0%
	지질종류별 지하수에 의한 지반변상 분석기법	20.0%	10.0%	20.0%	30.0%	20.0%
	지하수와 지반변형을 동시에 고려한 모델 프로그램 개발	20.0%	25.0%	15.0%	25.0%	15.0%
	모형시험을 통한 지하수 및 지하구조물의 상관관계 규명	20.0%	10.0%	20.0%	30.0%	20.0%
	지하수 및 토사유출에 의한 주변지반 공동형성 원인 분석	20.0%	10.0%	20.0%	30.0%	20.0%
	도심지 3차원 지하수 지도 구축	15.0%	10.0%	30.0%	30.0%	15.0%
건축물 및 지하 구조물 주변 지 하수 흐름 관리 기법	지하구조물 종류별 주변 지하수 흐름 안정화 공법	20.0%	10.0%	20.0%	30.0%	20.0%
	지반종류별 지하구조물 주변의 도심 함양시설 설치 관리기술	20.0%	10.0%	20.0%	30.0%	20.0%
	지하수위 복원을 위한 지하수 압력 주입기법	20.0%	10.0%	20.0%	30.0%	20.0%
	지하구조물 및 굴착차수 시스템의 건전도 평가 및 계측기법	15.0%	10.0%	20.0%	25.0%	30.0%
	지하수 관측공을 이용한 지하구조물 주변 관리기법	20.0%	10.0%	20.0%	30.0%	20.0%
	지하철 및 건축물의 지하수 유출수 관리 및 활용기법	13.3%	6.7%	13.3%	53.3%	13.3%
지하수 및 지반 구조물 통합 계 측 및 관리 효율 향상을 위한 신 개념 시스템	신개념 지하수 측정 시스템 개발	20.0%	10.0%	20.0%	30.0%	20.0%
	도심지 저속 지하수 대응 유향-유속 동시측정 시스템	15.0%	10.0%	20.0%	40.0%	15.0%
	단일공 다지점 지하수 흐름 측정 시스템	15.0%	10.0%	20.0%	40.0%	15.0%
	구조물 주변 지하수 관측망 관리용 고안정성 통신 데이터 장애관리 및 자동 복구 시스템	15.0%	10.0%	20.0%	40.0%	15.0%
	굴착공사 시 발생 지하수 유출량 실시간 측정기술	10.0%	43.3%	16.7%	20.0%	10.0%
	도심지 지하수 함양량 측정 시스템 개발	20.0%	10.0%	25.0%	30.0%	15.0%
지하수위 변화 에 의한 도시지 반 침하 측정 기 술	지중구조물 종류별 주변 지하수, 지반침하 통합 스 마트 관리기술	15.0%	10.0%	30.0%	30.0%	15.0%
	IT기술을 이용한 굴착공사 주변 침하 및 붕괴 대응 안전관리기술	20.0%	10.0%	20.0%	30.0%	20.0%
	침하 및 함몰예방을 위한 도심지 굴착공사 지하수 관리 및 계측 가이드라인 개발	15.0%	10.0%	20.0%	25.0%	30.0%
	지하수위 변화에 따른 구조물 기초 건전도 평가기술	20.0%	10.0%	20.0%	30.0%	20.0%
	도로주행형 도시 지반침하 측정 및 관리시스템 개발	20.0%	10.0%	20.0%	30.0%	20.0%

### 아. 기술수준-중요도 포트폴리오 분석

- 4분면별 전략은 기술 수준과 기술의 중요도를 축으로 함
  - I : 재원에 따라 적극적인 투자로 기술수준 향상을 추구해야 하는 영역
  - II : 기술혁신을 통해 더 넓은 시장창출이 가능한 유망한 영역
  - III : 기술 및 시장변화에 따른 대응이 필요한 영역
  - IV : 기술시급성이나 파급효과는 상대적으로 크지 않으나, 다른 핵심 기술과의 연계성을 전략적으로 고려해야 하는 영역



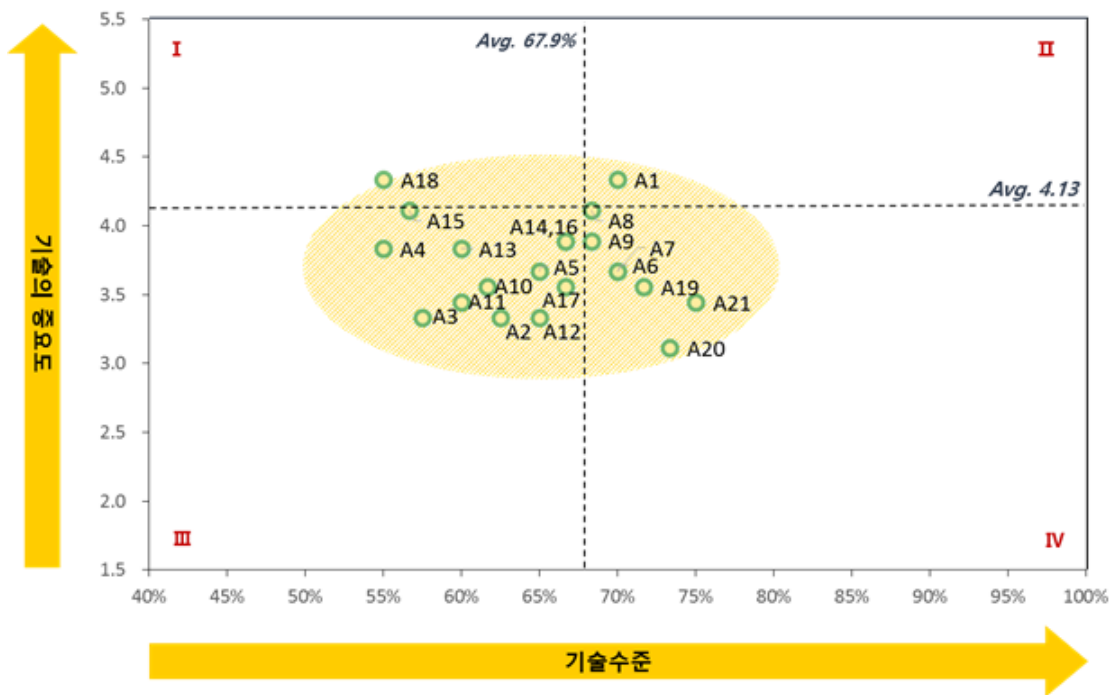
〈그림 3-62〉 기술수준-중요도 포트폴리오

#### (1) 도심지 광역 지하수 관리기술

- 도심지 광역 지하수 관리기술 분야의 기술수준-중요도 포트폴리오 분석결과 대부분 III, IV영역에 포함되는 것으로 나타남
  - A18(동공/싱크홀 사전징후 모니터링 첨단기법)은 I 영역에 포함되어 재원에 따라 적극적인 투자로 기술수준 향상을 추구해야함
  - A1(광역적 지하 지반구조 및 지하매설물 탐지기법)은 II 영역에 포함되어 기술혁신을 통해 더 넓은 시장창출이 가능함
  - A2(SUE 기법 기반 도심지 지반구조 및 매설물 탐지 프레임 개발), A3(도심지 지하수 환경변화 예측을 위한 광역 3차원 지하 지반구조작성 프로그램), A4(도심지역 천부지반 정밀탐지를 위한 복합물리탐사와 소형시추장비 개발), A5(노이즈 최소화 지반탐사를 통한 이상대 탐지기법), A10(도심지 지표-지하 통합 물수지 평가기술), A11(도심지 지하

수 함양 및 배출 해석기술), A12(도심지 광역 지하수 환경변화 예측기술), A13(도심지 통합 수문해석-지반침하 연계분석기술), A14(도심지 최적 지하수 관측망 구성기법), A15(침단장비를 활용한 지하유출수 계측기법 개발), A16(지하수위 이상변동 모니터링 및 평가기법), A17(도심하천-지하수 연계 모니터링 기법)은 III영역에 포함되어 기술 및 시장변화에 따른 대응이 필요함

- A6(지층별 수리지질특성치 분포 추정 및 해석기술), A7(대규모 지반굴착에 따른 지하수-지표수 상호작용 실시간 모니터링 및 분석기술), A8(대규모 지하개발이 지하수위 변동에 미치는 영향평가 기법 연구), A9(도심지 지반굴착에 따른 지하수 유동 및 지하수-지반변상 분석 및 예측), A19(재난재해 대비 3차원 지하수 분포 및 매설물도 작성기법), A20(도심지 광역 지하수 관리 3차원 최적영상 구현), A21(지반구조 및 지하수 관련 시설 BIM기반 PC와 모바일 연동 양방향 모니터링 시스템)은 IV영역에 포함되어 기술시급성이나 파급효과는 상대적으로 크지 않으나, 다른 핵심 기술과의 연계성을 전략적으로 고려해야함

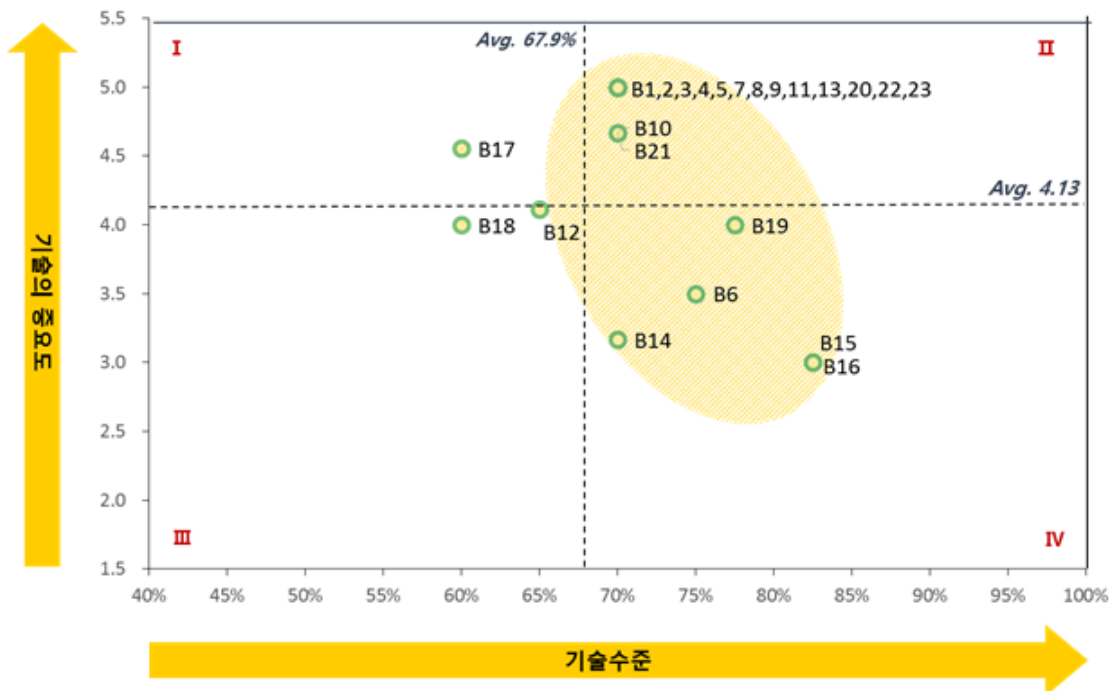


〈그림 3-63〉 도심지 광역 지하수 관리기술분야 기술수준-중요도 포트폴리오

(2) 지반구조물 주변 지하수 관리기술

- 지반구조물 주변 지하수 관리기술분야의 기술수준-중요도 포트폴리오 분석결과 대부분 II, IV영역에 포함되는 것으로 나타남
- B17(굴착공사 시 발생 지하수 유출량 실시간 측정 기술)은 I 영역에 포함되어 재원에 따라 적극적인 투자로 기술수준 향상을 추구해야함

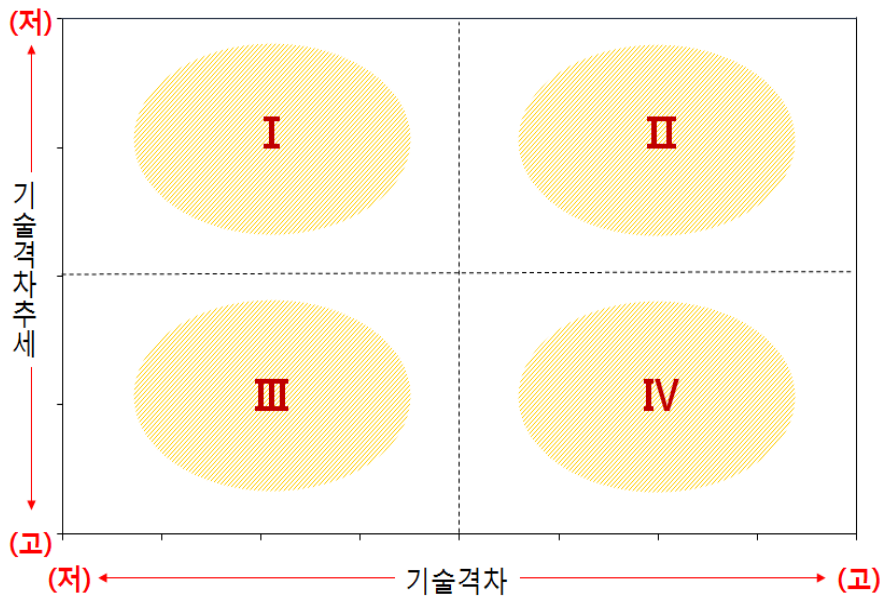
- B1(대형구조물 주변에서의 지질 유형별 지하수위 유지기술개발), B2(지질종류별 지하수에 의한 지반변상 분석기법), B3(지하수와 지반변형을 동시에 고려한 모델프로그램 개발), B4(모형시험을 통한 지하수 및 지하구조물의 상관관계 규명), B5(지하수 및 토사유출에 의한 주변지반 공동형성 원인분석), B7(지하구조물 종류별 주변 지하수 흐름 안정화 공법), B8(지반종류별 지하구조물 주변의 도심 함양시설 설치 관리기술), B9(지하수위 복원을 위한 지하수 압력 주입기법), B10(지하구조물 및 굴착 차수 시스템의 건전도 평가 및 예측기법), B11(지하수 관측공을 이용한 지하구조물 주변 관리기법), B13(신개념 지하수 Z측정 시스템 개발), B20(IT기술을 이용한 굴착 공사 주변 침하 및 붕괴 대응 안전 관리기술), B21(침하 및 함몰예방을 위한 도심지 굴착공사 지하수 관리 및 예측 가이드 라인 개발), B22(지하수위 변화에 따른 구조물 기초 건전도 평가기술), B23(도로주행형 도시 지반 침하 측정 및 관리시스템 개발)은 II영역에 포함되어 기술혁신을 통해 더 넓은 시장창출이 가능함
- B12(지하철 및 건축물의 지하수 유출수 관리 및 활용기법), B18(도심지 지하수 함양량 측정 시스템 개발)은 III영역에 포함되어 기술 및 시장변화에 따른 대응이 필요함
- B6(도심지 3차원 지하수 지도 구축), B14(도심지 저속 지하수 대응 유향-유속 동시 측정 시스템), B15(단일공 다지점 지하수 흐름 측정 시스템), B16(구조물 주변 지하수 관측망 관리용 고안정성 통신데이터 장애관리 및 자동복구 시스템), B19(지중구조물 종류별 주변 지하수, 지반 침하 통합 스마트 관리기술)은 IV영역에 포함되어 기술시급성이나 파급효과는 상대적으로 크지 않으나, 다른 핵심 기술과의 연계성을 전략적으로 고려해야함



〈그림 3-64〉 지반구조물 주변 지하수 관리기술분야 기술수준-중요도 포트폴리오

자. 기술격차-격차추세 포트폴리오 분석

- 4분면별 전략은 기술격차추세과 기술격차를 축으로 함.
  - I : 지속적인 모니터링 및 관리-유지하거나 최고 기술수준에 이르기 위한 기술개발을 고려하는 영역
  - II : 기술개발을 가속화할 필요가 있는 영역
  - III : 기술격차가 확대되는 이유를 조기에 파악하여 이에 대한 대응이 필요한 영역
  - IV : 효과적인 기술개발 전략이 마련되지 않는다면 자체 개발 이외의 전략을 구사해야 하는 영역



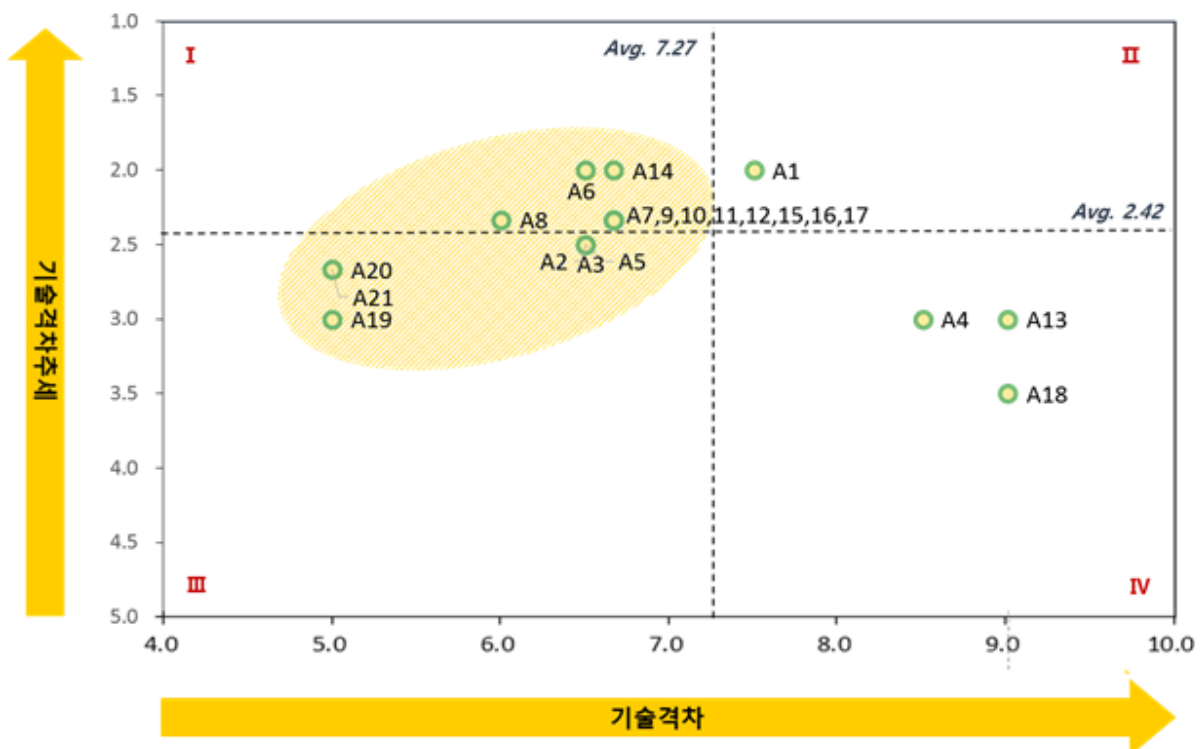
〈그림 3-65〉 기술격차-격차추세 포트폴리오

(1) 도심지 광역 지하수 관리기술

- 도심지 광역 지하수 관리기술 분야의 기술격차-격차추세 포트폴리오 분석결과 주로 I, III영역에 포함되는 것으로 나타남
  - A6(지층별 수리지질특성치 분포 추정 및 해석기술), A7(대규모 지반굴착에 따른 지하수-지표수 상호작용 실시간 모니터링 및 분석기술), A8(대규모 지하개발이 지하수위 변동에 미치는 영향평가 기법연구), A9(도심지 지반굴착에 따른 지하수 유동 및 지하수-지반변상 분석 및 예측), A10(도심지 지표-지하 통합 물수지 평가기술), A11(도심지 지하수 함양 및 배출 해석기술), A12(도심지 광역 지하수 환경변화 예측기술), A14(도심지 최적 지하수 관측망 구성기법), A15(첨단장비를 활용한 지하유출수 계측기법 개발), A16(지하수위 이상변동 모니터링 및 평가기법), A17(도심하천-지하수 연계 모니터링 기법)은 I 영역에 포함되어 지속적인 모니터링 및 관리-유지하거나 최고 기술수준에 이

르기 위한 기술개발을 고려해야함

- A1(광역적 지하 지반구조 및 지하매설물 탐지기법)은 II영역에 포함되어 기술개발을 가속화할 필요가 있음
- A2(SUE기법기반 도심지 지반구조 및 매설물 탐지 프레임 개발), A3(도심지 지하수 환경변화 예측을 위한 광역 3차원 지하 지반구조 작성 프로그램), A5(노이즈 최소화 지반 탐사를 통한 이상대 탐지 기법), A19(재난재해 대비 3차원 지하수 분포 및 매설물도 작성기법), A20(도심지 광역 지하수관리 3차원 최적영상구현), A21(지반구조 및 지하수 관련 시설 BIM기반 PC와 모바일 연동 양방향 모니터링 시스템)은 III영역에 포함되어 기술격차가 확대되는 이유를 조기에 파악하여 이에 대한 대응이 필요함
- A4(도심지역 천부지반 정밀 탐지를 위한 복합물리탐사와 소형시추장비 개발), A13(도심지 통합 수문해석-지반침하 연계분석기술), A18(동공/싱크홀 사전징후 모니터링 첨단 기법)은 IV영역에 포함되어 효과적인 기술개발 전략이 마련되지 않는다면 자체 개발 이외의 전략을 구사해야함

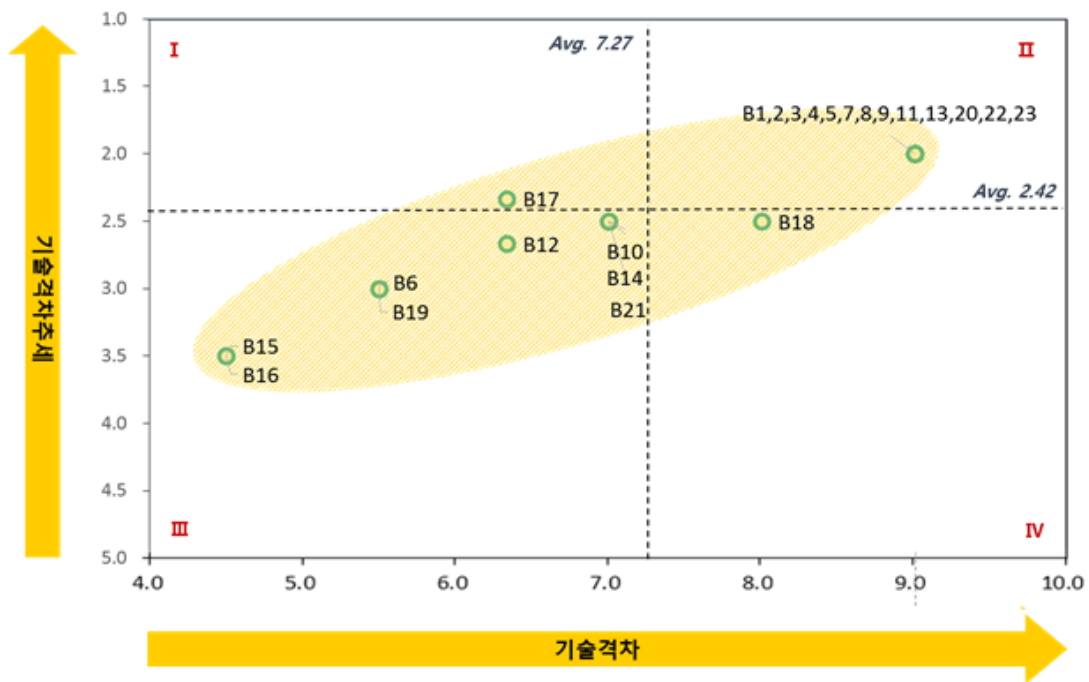


〈그림 3-66〉 도심지 광역 지하수 관리기술분야 기술격차-격차추세 포트폴리오

(2) 지반구조물 주변 지하수 관리기술

- 지반구조물 주변 지하수 관리기술분야의 기술격차-격차추세 포트폴리오 분석결과 대부분 II, III영역에 포함되는 것으로 나타남

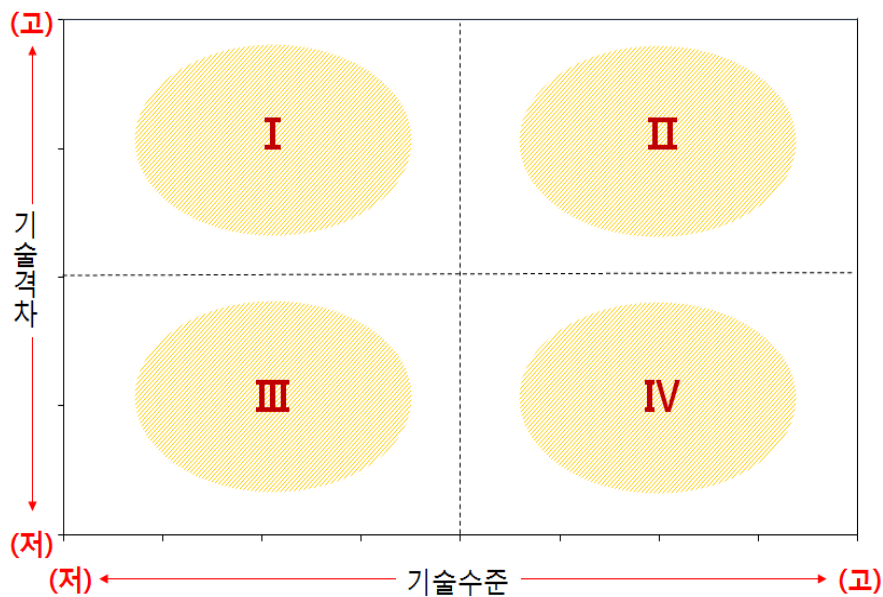
- B17(굴착공사 시 발생 지하수 유출량 실시간 측정기술)은 I 영역에 포함되어 지속적인 모니터링 및 관리-유지하거나 최고 기술수준에 이르기 위한 기술개발을 고려해야함
- B1(대형구조물 주변에서의 지질 유형별 지하수위 유지 기술개발), B2(지질종류별 지하수에 의한 지반변상 분석기법), B3(지하수와 지반변형을 동시에 고려한 모델 프로그램 개발), B4(모형 시험을 통한 지하수 및 지하구조물의 상관관계 규명), B5(지하수 및 토사유출에 의한 주변지반 공동형성 원인분석), B7(지하구조물 종류별 주변 지하수 흐름 안정화 공법), B8(지반종류별 지하구조물 주변의 도심 함양시설 설치 관리 기술), B9(지하수위 복원을 위한 지하수 압력 주입기법), B11(지하수 관측공을 이용한 지하구조물 주변 관리기법), B13(신개념 지하수 측정 시스템 개발), B20(IT기술을 이용한 굴착 공사 주변 침하 및 붕괴 대응 안전 관리기술), B22(지하수위 변화에 따른 구조물 기초 건전도 평가기술), B23(도로주행형 도시 지반 침하 측정 및 관리시스템 개발)은 II영역에 포함되어 기술개발을 가속화할 필요가 있음
- B6(도심지 3차원 지하수 지도 구축), B10(지하구조물 및 굴착 차수 시스템의 건전도 평가 및 계측기법), B12(지하철 및 건축물의 지하수 유출수 관리 및 활용기법), B14(도심지 저속 지하수 대응 유향-유속 동시 측정 시스템), B15(단일공 다지점 지하수 흐름 측정 시스템), B16(구조물 주변 지하수 관측망 관리용 고안정성 통신데이터 장애관리 및 자동복구 시스템), B19(도심지 지하수 함양량 측정 시스템 개발), B21(침하 및 함몰예방을 위한 도심지 굴착공사 지하수 관리 및 계측 가이드 라인 개발)은 III영역에 포함되어 기술격차가 확대되는 이유를 조기에 파악하여 이에 대한 대응이 필요함
- B18(도심지 지하수 함양량 측정 시스템 개발)은 IV영역에 포함되어 효과적인 기술개발 전략이 마련되지 않는다면 자체 개발 이외의 전략을 구사해야함



〈그림 3-67〉 지하구조물 주변 지하수 관리기술분야 기술격차-격차추세 포트폴리오

### 차. 기술격차-기술수준 포트폴리오 분석

- 4분면별 전략은 기술격차와 기술수준평균을 축으로 함
  - I : 기술수준을 끌어올리고자 한다면 정부의 역할이 매우 중요한 영역
  - II : 기술격차 해소를 위한 정부 역할 확대를 고려할 필요가 있는 영역
  - III : 기술수준 향상을 위한 정부-민간의 역할을 적절히 고려해야 하는 영역
  - IV : 세계 최고 수준의 기술을 확보하기 위한 민간의 역할 증대가 필요한 영역



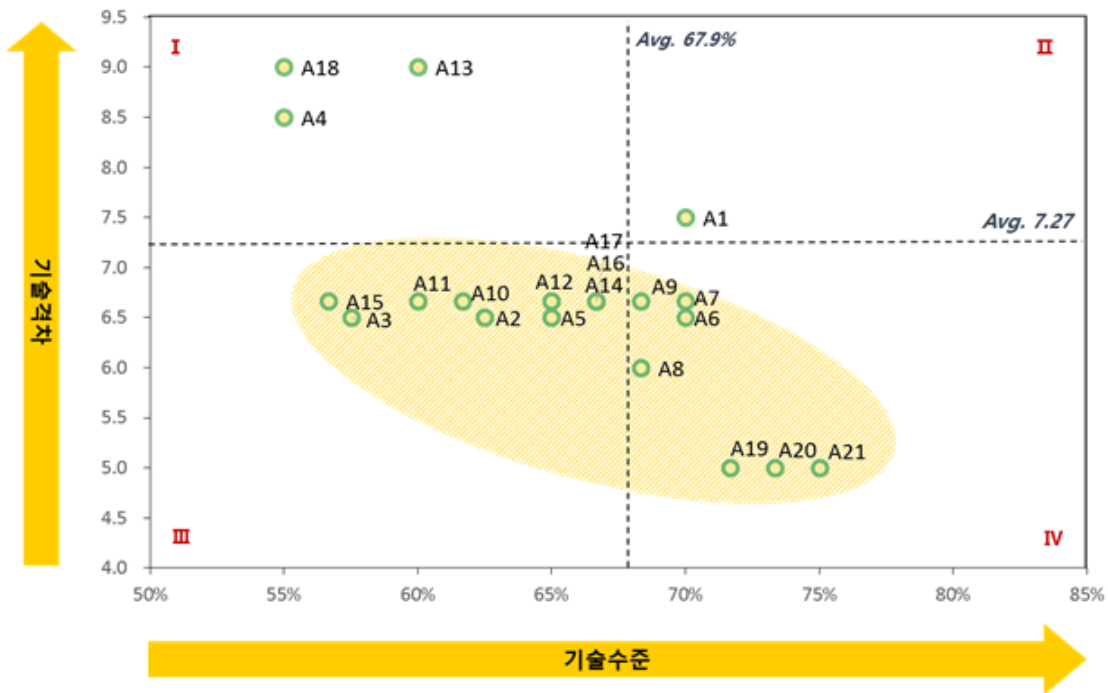
〈그림 3-68〉 기술격차-기술수준 포트폴리오

#### (1) 도심지 광역 지하수 관리기술

- 도심지 광역 지하수 관리기술 분야의 기술수준-기술격차 포트폴리오 분석결과 대부분 III, IV영역에 포함되는 것으로 나타남
  - A4(도심지역 천부지반 정밀 탐지를 위한 복합물리탐사와 소형시추장비 개발), A13(도심지 통합 수문해석-지반침하 연계분석기술), A18(동공/싱크홀 사전징후 모니터링 첨단기법)은 I 영역에 포함되어 기술수준을 끌어올리고자 한다면 정부의 역할이 매우 중요함
  - A1(광역적 지하 지반구조 및 지하매설물 탐지기법)은 II 영역에 포함되어 기술격차 해소를 위한 정부 역할 확대를 고려할 필요가 있음
  - A2(SUE기법기반 도심지 지반구조 및 매설물 탐지 프레임 개발), A3(도심지 지하수 환경변화 예측을 위한 광역 3차원 지하 지반구조 작성 프로그램), A5(노이즈 최소화 지반

탐사를 통한 이상대 탐지 기법), A10(도심지 지표-지하 통합 물수지 평가기술), A11(도심지 지하수 함양 및 배출 해석기술), A12(도심지 광역 지하수 환경변화 예측기술), A14(도심지 최적 지하수 관측망 구성기법), A15(침단장비를 활용한 지하유출수 계측기법 개발), A16(지하수위 이상변동 모니터링 및 평가기법), A17(도심하천-지하수 연계 모니터링 기법)은 III영역에 포함되어 기술수준 향상을 위한 정부-민간의 역할을 적절히 고려해야함

- A6(지층별 수리지질특성치 분포 추정 및 해석기술), A7(대규모 지반굴착에 따른 지하수-지표수 상호작용 실시간 모니터링 및 분석기술), A8(대규모 지하개발이 지하수위 변동에 미치는 영향평가 기법연구), A9(도심지 지반굴착에 따른 지하수 유동 및 지하수-지반변상 분석 및 예측), A19(재난재해 대비 3차원 지하수 분포 및 매설물도 작성기법), A20(도심지 광역 지하수관리 3차원 최적영상구현), A21(지반구조 및 지하수 관련 시설 BIM기반 PC와 모바일 연동 양방향 모니터링 시스템)은 IV영역에 포함되어 세계 최고 수준의 기술을 확보하기 위한 민간의 역할 증대가 필요함



〈그림 3-69〉 도심지 광역 지하수 관리기술분야 기술격차-기술수준 포트폴리오

(2) 지반구조물 주변 지하수 관리기술

- 지반구조물 주변 지하수 관리기술분야의 기술수준-기술격차 포트폴리오 분석결과 대부분 II, IV영역에 포함되는 것으로 나타남
- B18(도심지 지하수 함양량 측정 시스템 개발)은 I 영역에 포함되어 기술수준을 끌어올리고자 한다면 정부의 역할이 매우 중요함

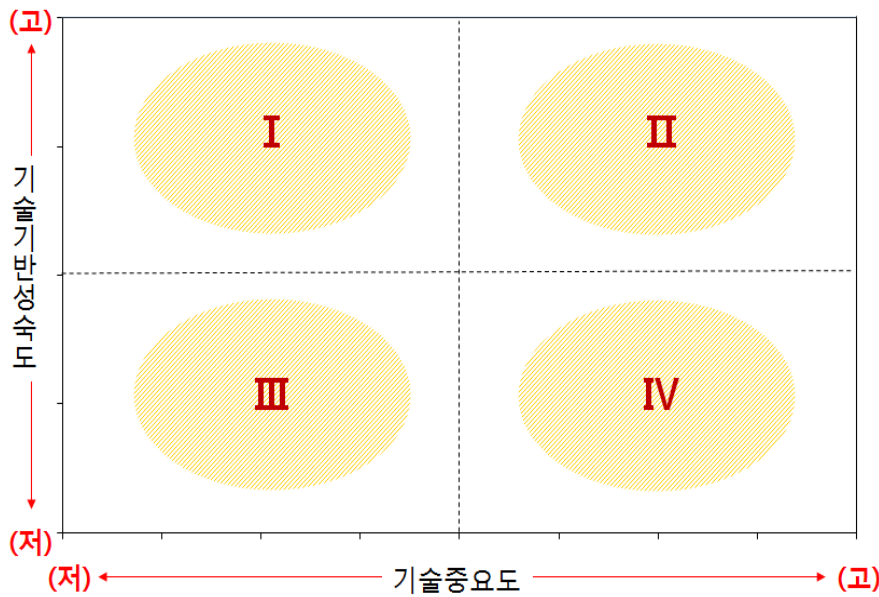
- B1(대형구조물 주변에서의 지질 유형별 지하수위 유지 기술개발), B2(지질종류별 지하수에 의한 지반변상 분석기법), B3(지하수와 지반변형을 동시에 고려한 모델 프로그램 개발), B4(모형시험을 통한 지하수 및 지하구조물의 상관관계 규명), B5(지하수 및 토사 유출에 의한 주변지반 공동형성 원인분석), B7(지하구조물 종류별 주변 지하수 흐름 안정화 공법), B8(지반종류별 지하구조물 주변의 도심 함양시설 설치 관리 기술), B9(지하수위 복원을 위한 지하수 압력 주입기법), B11(지하수 관측공을 이용한 지하구조물 주변 관리기법), B13(신개념 지하수 측정 시스템 개발), B20(IT기술을 이용한 굴착 공사 주변 침하 및 붕괴 대응 안전 관리기법), B22(지하수위 변화에 따른 구조물 기초 건전도 평가 기술), B23(도로주행형 도시 지반 침하 측정 및 관리시스템 개발)은 II영역에 포함되어 기술격차 해소를 위한 정부 역할 확대를 고려할 필요가 있음
- B12(지하철 및 건축물의 지하수 유출수 관리 및 활용기법), B17(굴착공사시 발생 지하수 유출량 실시간 측정 기술)은 III영역에 포함되어 기술수준 향상을 위한 정부-민간의 역할을 적절히 고려해야함
- B6(도심지 3차원 지하수 지도 구축), B10(지하구조물 및 굴착 차수 시스템의 건전도 평가 및 예측기법), B14(도심지 저속 지하수 대응 유향-유속 동시 측정 시스템), B15(단일공 다지점 지하수 흐름 측정 시스템), B16(구조물 주변 지하수 관측망 관리용 고안정성 통신데이터 장애관리 및 자동복구 시스템), B19(지중구조물 종류별 주변 지하수, 지반 침하 통합 스마트 관리기술), B21(침하 및 함몰예방을 위한 도심지 굴착공사 지하수 관리 및 예측 가이드 라인 개발)은 IV영역에 포함되어 세계 최고 수준의 기술을 확보하기 위한 민간의 역할 증대가 필요함



〈그림 3-70〉 지반구조물 주변 지하수 관리기술분야 기술격차-기술수준 포트폴리오

카. 기술기반성숙도-중요도 포트폴리오 분석

- 4분면별 전략은 기술기반성숙도와 평균 중요도를 축으로 함.
  - I : 기술기반 관리-유지 영역
  - II : 기술개발 추진과 동시에 기술기반을 지속적으로 확대해 나아갈 필요가 있는 영역
  - III : 점진적으로 기술기반을 확보해 나아가야 할 영역
  - IV : 기술기반 확보가 시급한 영역



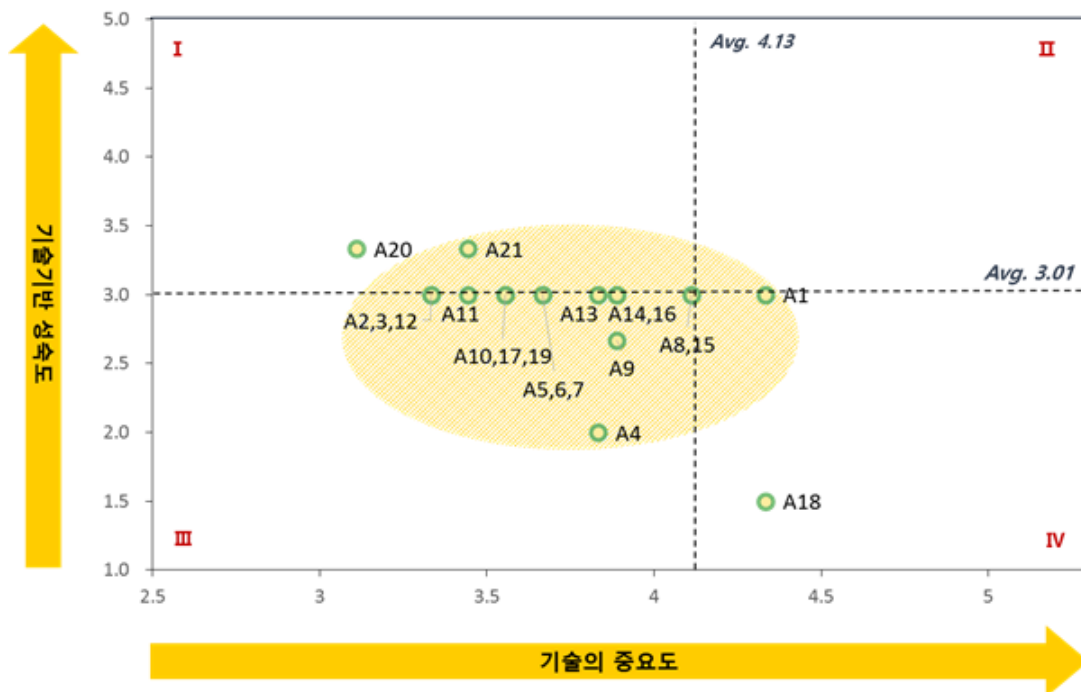
〈그림 3-71〉 기술기반성숙도-중요도 포트폴리오

(1) 도심지 광역 지하수 관리기술

- 도심지 광역 지하수 관리기술 분야의 기술중요도-기반성숙도 포트폴리오 분석결과 대부분 III영역에 포함되는 것으로 나타남
  - A20(도심지 광역 지하수관리 3차원 최적영상구현), A21(지반구조 및 지하수 관련 시설 BIM기반 PC와 모바일 연동 양방향 모니터링 시스템)은 I 영역에 포함되어 기술기반 관리-유지가 이루어져야 함
  - A2(SUE기법기반 도심지 지반구조 및 매설물 탐지 프레임 개발), A3(도심지 지하수 환경변화 예측을 위한 광역 3차원 지하 지반구조 작성 프로그램), A4(도심지역 천부지반 정밀 탐지를 위한 복합물리탐사와 소형시추장비 개발), A5(노이즈 최소화 지반탐사를 통한 이상대 탐지 기법), A6(지층별 수리지질특성치 분포 추정 및 해석기술), A7(대규모 지반굴착에 따른 지하수-지표수 상호작용 실시간 모니터링 및 분석기술), A8(대규모 지

하개발이 지하수위 변동에 미치는 영향평가 기법연구), A9(도심지 기반굴착에 따른 지하수 유동 및 지하수-지반변상 분석 및 예측), A10(도심지 지표-지하 통합 물수지 평가 기술), A11(도심지 지하수 함양 및 배출 해석기술), A12(도심지 광역 지하수 환경변화 예측기술), A13(도심지 통합 수문해석-지반침하 연계분석기술), A14(도심지 최적 지하수 관측망 구성기법), A15(침단장비를 활용한 지하유출수 계측기법 개발), A16(지하수위 이상변동 모니터링 및 평가기법), A17(도심하천-지하수 연계 모니터링 기법), A19(재난재해 대비 3차원 지하수 분포 및 매설물도 작성기법)은 III영역에 포함되어 점진적으로 기술기반을 확보해 나아가야함

- A1(광역적 지하 지반구조 및 지하매설물 탐지기법), A18(동공/싱크홀 사전징후 모니터링 침단기법)은 IV영역에 포함되어 기술기반 확보가 시급함

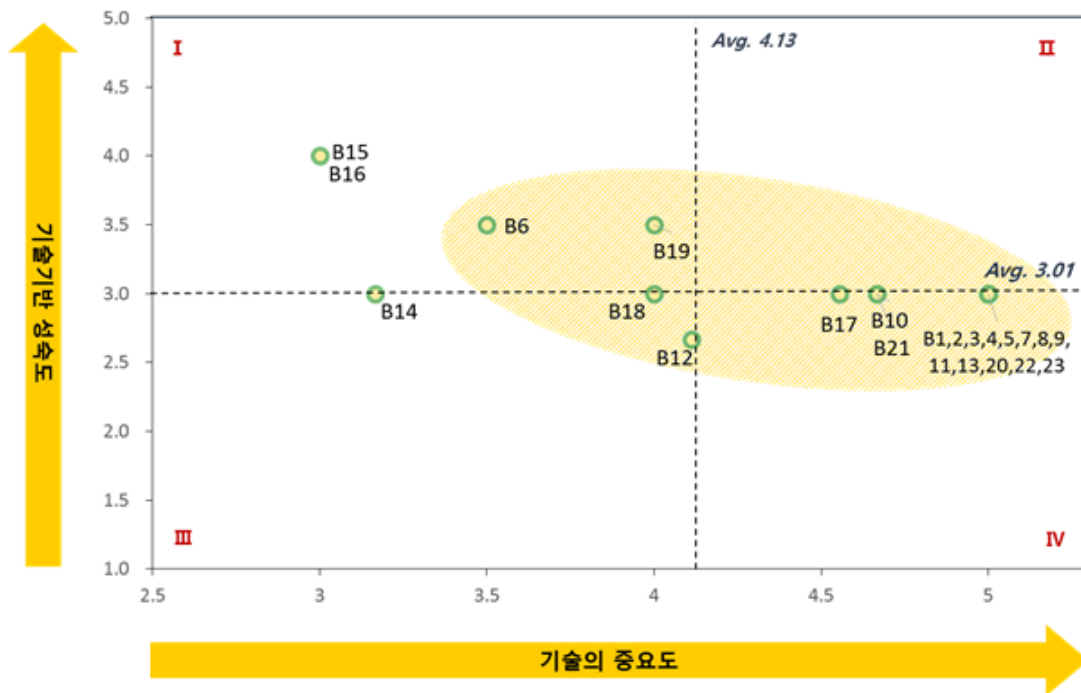


〈그림 3-72〉 도심지 광역 지하수 관리기술분야 기술기반성숙도-중요도 포트폴리오

(2) 지반구조물 주변 지하수 관리기술

- 지반구조물 주변 지하수 관리기술분야의 기술중요도-성숙도 포트폴리오 분석결과 대부분 I, IV영역에 포함되는 것으로 나타남
- B6(도심지 3차원 지하수 지도 구축), B15(단일공 다지점 지하수 흐름 측정 시스템), B16(구조물 주변 지하수 관측망 관리용 고안정성 통신데이터 장애관리 및 자동복구 시스템), B19(지중구조물 종류별 주변 지하수, 지반 침하 통합 스마트 관리기술)은 I 영역에 포함되어 기술기반 관리-유지가 이루어져야 함

- B12(지하철 및 건축물의 지하수 유출수 관리 및 활용기법), B14(도심지 저속 지하수 대응 유향-유속 동시 측정 시스템), B18(도심지 지하수 함양량 측정 시스템 개발)은 III영역에 포함되어 점진적으로 기술기반을 확보해 나아가야함
- B1(대형구조물 주변에서의 지질 유형별 지하수위 유지 기술개발), B2(지질종류별 지하수에 의한 지반변상 분석기법), B3(지하수와 지반변형을 동시에 고려한 모델 프로그램 개발), B4(모형시험을 통한 지하수 및 지하구조물의 상관관계 규명), B5(지하수 및 토사 유출에 의한 주변지반 공동형성 원인분석), B7(지하구조물 종류별 주변 지하수 흐름 안정화 공법), B8(지반종류별 지하구조물 주변의 도심 함양시설 설치 관리기술), B9(지하수위 복원을 위한 지하수 압력 주입기법), B10(지하구조물 및 굴착 차수 시스템의 건전도 평가 및 계측기법), B11(지하수 관측공을 이용한 지하구조물 주변 관리기법), B13(신개념 지하수 측정 시스템 개발), B17(굴착공사시 발생 지하수 유출량 실시간 측정 기술), B20(IT기술을 이용한 굴착 공사 주변 침하 및 붕괴 대응 안전 관리기술), B21(침하 및 함몰예방을 위한 도심지 굴착공사 지하수 관리 및 계측 가이드 라인 개발), B22(지하수위 변화에 따른 구조물 기초 건전도 평가기술), B23(도로주행형 도시 지반 침하 측정 및 관리시스템 개발)은 IV영역에 포함되어 기술기반 확보가 시급함



〈그림 3-73〉 지반구조물 주변 지하수 관리기술분야 기술기반성숙도-중요도 포트폴리오

## 4

## 연구개발과제 구성 및 추진전략

## 1절 SWOT/Issue-Tree 분석

## 1. SWOT분석

## 가. 개요

- SWOT분석을 통해 동향분석 시사점을 내부환경요인 및 외부환경요인으로 정리하고, 포지션별 전략을 도출함
- SWOT분석은 기획 연구진 브레인스토밍을 통해 작성함

## (1) 강점(Strength) 및 약점(Weakness) 분석

- 타 국가 및 조직과 비교하여 상대적으로 우수하거나 부족한 부분을 제시하였음
- 강점 및 약점은 "2장. 동향조사 및 환경분석" 결과 중 내부요인을 강점과 약점으로 다시 구분하여 키워드를 작성하는 방법으로 구성하였음
  - 강점 및 약점은 주요 선진·경쟁 국가 및 기관 대비 핵심경쟁력, 노하우, 자원, 전문인력 등의 관점에서 정리하였음

## (2) 기회(Opportunity) 및 위협(Threat) 요인 분석

- 대외 환경변화로 인하여 새롭게 발생하는 기회요인 및 불안요인 등을 제시하였음
- 기회 및 위협요인은 "2장. 동향조사 및 환경분석" 결과 중 외부요인을 기회와 위협요인으로 구분하여 정리하였음
  - 기회 및 위협요인은 국가별 기술의 융합추세, 해외 주요국 대비 정책적 장려정도, 국내외 기술수요 차이, 국가별 시장 성장의 차이, 해외 주요국의 기술개발 전략 등의 관점에서 정리하였음

(3) 포지션별 전략 수립

- 제시된 내부 강점(S) 및 약점(W), 외부 기회(O) 및 위협(T) 요인을 분석하고, SO/WO/ST/WT의 포지션별 전략을 수립하였음
- SO전략은 강점을 이용하여 기회요인을 활용하는 전략임
- ST전략은 강점을 이용하여 위협요인을 극복하는 전략임
- WO전략은 기회를 이용하여 약점을 줄이는 전략임
- WT전략은 위협과 약점을 최소화하는 전략임

나. 내외부 요인 분석

(1) 강점(Strength) 분석

- 국민안전처 신설 등 지반재해 저감을 위한 정부의 적극적 의지
- IT 기반 산업의 기술 수준 우수

(2) 약점(Weakness) 분석

- 지하수의 영향에 의한 지반구조물의 안전에 관한 연구는 전무한 상태
- 국내 지하수관리 관련 기업이 영세함
- 국내 지하수 관리 및 조사계측기술 미흡

(3) 기회(Opportunity) 분석

- 지하수관리를 위한 센서관리 및 네트워크 기술분야는 고부가가치 창출 가능
- 도심도 지하 공간의 개발이 활발하게 추진
- 국내 지중환경에 부합하는 조사/탐사 필요성 및 인식도 향상

(4) 위협(Threat) 분석

- 기후변화 등으로 수문환경이 수시로 변화하여 지반의 미세한 불안전성이 과거보다 증가
- 일본의 조사/탐사 기술 및 장비는 기술경쟁력에서 우위
- 미국, 일본 등 선진국들은 체계적인 지반재해 대응방안 보유

다. 포지션별 전략 수립

(1) SO전략

- 우수한 장비와 IT 기술을 바탕으로 IT기반으로 센서 및 네트워크 기술의 해외진출 추진

(2) ST전략

- 정부의 적극적인 R&D를 통한 조사/탐사 장비 기술격차 축소

(3) WO전략

- 국내 환경에 부합하는 한국형 지하수관리 및 조사계측 기술 확보
- 국내 지중환경에 부합하는 지하수관리 및 조사계측 전문인력 양성

(4) WT전략

- 해외 선진 지반재해 대응체계 벤치마킹
- 해외 기업의 시장잠식에 대비한 국내 지하수관리 산업보호육성

<b>내부 환경 분석</b>	<b>【 강 점(S) 】</b>	<b>【 약 점(W) 】</b>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>* 국민안전처 신설 등 지반재해 저감을 위한 정부의 적극적 의지</li> <li>* IT 기반 산업의 기술 수준 우수</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>* 지하수의 영향에 의한 지반구조물의 안전에 관한 연구는 전무한 상태</li> <li>* 국내 지하수관리 관련 기업이 영세함</li> <li>* 국내 지하수 관리 및 조사계측기술 미흡</li> </ul>
<b>외부 환경 분석</b>	<b>【 기 회(O) 】</b>	<b>【 위 험(T) 】</b>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>* 지하수관리를 위한 센서관리 및 네트워크 기술분야는 고부가가치 창출 가능</li> <li>* 도심도 지하 공간의 개발이 활발하게 추진</li> <li>* 국내 지중환경에 부합하는 조사/탐사 필요성 및 인식도 향상</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>* 기후변화 등으로 수문환경이 수시로 변화하여 지반의 미세한 불안정성이 과거보다 증가</li> <li>* 일본의 조사/탐사 기술 및 장비는 기술경쟁력에서 우위</li> <li>* 미국, 일본 등 선진국들은 체계적인 지반재해 대응방안 보유</li> </ul>



## 2. Issue-Tree 분석

### 가. 개요

- Issue-Tree분석은 동향분석결과로부터 R&D Needs를 도출하기 위해 수행함
- Issue-Tree분석은 기획 연구진 브레인스토밍을 통해 작성함
  - 기획연구진 브레인스토밍을 통해 국내외 정책/기술/시장동향 조사결과를 기반으로 관련 키워드를 정리함
  - 개별 키워드는 이슈트리를 통해 체계적으로 세분화하고 주요 이슈를 도출함
  - 기획연구진 브레인스토밍을 통해 이슈를 해결하기 위한 R&D Needs를 도출함

### 나. 주요 정책·시장·기술 동향

#### (1) 주요 정책동향

- 국민행복/글로벌 가치창조 관점에서 Value Creator 20 중점프로젝트 발굴 중
- 시설물 유지관리 R&D사업비중 확대 추세
- 국토교통분야에서는 재난재해 대비 시설물 안전성 강화 산업경쟁력 강화 전략 추진
- 예방중심의 선제적 재난대비 시스템 구축 추진
- 세월호 사건 이후 국민안전처 신설
- 서울시는 지하수 감소로 장기적 관점에서 도심지 지하수 관리방안 모색

#### (2) 주요 시장동향

- 지반유동 발생 시 막대한 인적·물적 피해손실 유발
- 단순 복구비용 외 사회적비용 발생
- 지하수관리분야 관련 기업은 영세함
- 지반조사장비는 해외업체에 의존
- 지하수관리 미흡으로 지반침하 및 지하매설물에 대한 피해 발생

#### (3) 주요 기술동향

- 도시개발에 따른 지하수위 변화 및 오염현상에 대한 체계적 연구 미흡
- 국내는 관측공에 의존하여 지하수 관리
- 도심지 지하수 체계적 관리 및 운영기술 미비
- 지하수의 다목적 활용을 고려한 효율적/과학적 기술 미흡

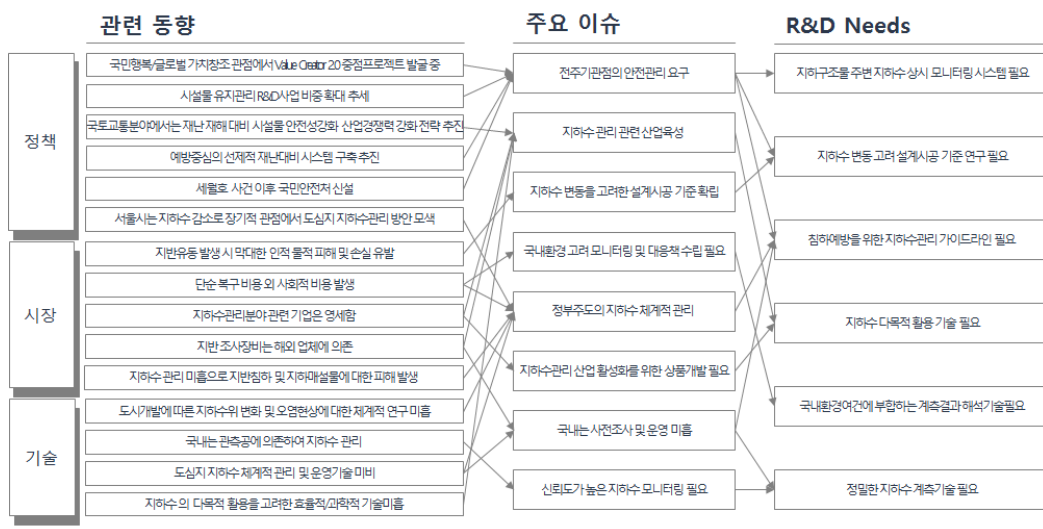
다. 주요 이슈 및 R&D Needs

(1) 주요 이슈

- 전주기 관점의 안전관리 요구
- 지하수관리 관련 산업육성
- 지하수 변동을 고려한 설계시공 기준 확립
- 국내환경 고려 모니터링 및 대응책 수립 필요
- 정부주도의 지하수 체계적 관리
- 지하수관리 산업 활성화를 위한 상품개발 필요
- 국내는 사전조사 및 운영 미흡
- 신뢰도가 높은 지하수 모니터링 필요

(2) R&D Needs

- 지하구조물 주변 지하수 상시 모니터링 및 통합관제 시스템
- 지하수 변동 고려 지반변형 예측 및 설계시공(지반변형 방지 공법 등) 기준
- 함몰예방을 위한 지하수관리 가이드라인, 지침, 정책 제안
- 지하수 다목적 활용기술 필요(지반 위험도 평가, 이상징후 탐지 기술개발 등)
- 국내환경여건에 부합하는 정밀한 지하수 계측 결과 해석기술
- 정밀한 지하수 계측기술(지반함몰 측정용 센서 등)



## 2절 비전 및 목표

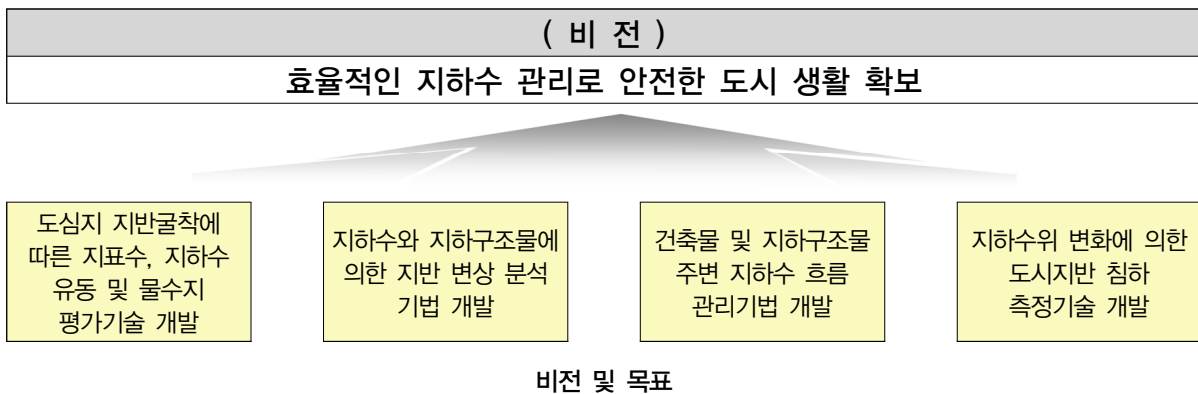
### 1. 비전

- 지하수관리 연구개발사업의 비전은 ‘효율적인 지하수 관리로 안전한 도시 생활 확보’로 설정함
- 비전 설정 근거
  - 고부가가치 영역인 지하수 계측 센서 및 네트워크기술 해외진출로 국내 기업 수익성 확대
  - 국내환경에 부합하는 한국형 지하수관리 및 조사계측 기술 국산화 및 전문인력 양성으로 해외 기술/인력 대체
  - 해외 선진국가 벤치마킹을 통한 지반재해 대응체계 수립
  - 해외 기업의 시장잠식에 대비한 지하수관리 산업 보호 및 육성

### 2. 목표

- 비전 달성을 위해 동 사업에서는 ‘도심지 광역 지하수 중장기적 평가 및 관리기술 개발’, ‘지하구조물 주변 지하수 관리 및 계측기술 개발’을 목표로 설정함
- 세부 목표는 다음과 같음
  - 도심지 지반굴착에 따른 지표수, 지하수 유동 및 물수지 평가기술 개발
  - 지하수와 지하구조물에 의한 지반 변상 분석 기법 개발
  - 건축물 및 지하구조물 주변 지하수 흐름 관리기법 개발
  - 지하수위 변화에 의한 도시지반 침하 측정기술 개발
  - 지하수 및 지반구조물 통합계측 및 관리 시스템 개발
- 목표 설정 근거
  - 지반굴착에 따른 지하수 해석 기술 확보
  - 지하개발에 따른 지하수 영향평가기술 확보
  - 지하수-지반변형 통합해석기술 확보
  - 재난재해 대비 3차원 지하수 분포 및 매설물도 작성기법 개발
  - 도심지 광역 지하수 환경변화 예측기술 개발

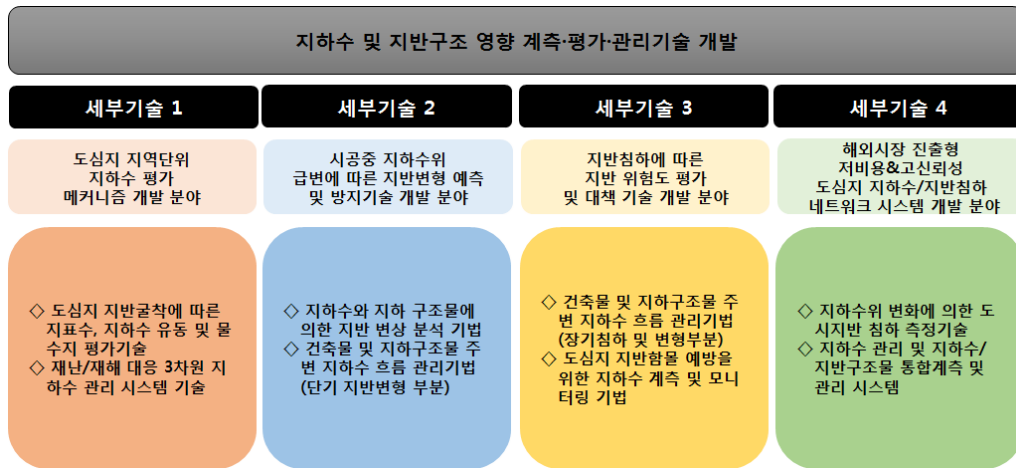
- 지질종류별 지하수에 의한 지반변상 분석기법 개발
- 지하구조물 및 굴착 차수 시스템의 건전도 평가 및 계측기법 개발
- IT기술을 이용한 굴착공사 주변 침하 및 붕괴대응 안전관리기술 개발
- 침하 및 함몰예방을 위한 도심지 굴착공사 지하수 관리 및 계측 가이드 라인 개발
- 지하구조물 종류별 주변 지하수 흐름 안정화 공법 개발
- 지반종류별 지하구조물 주변의 도심 함양시설 설치 관리 기술
- 첨단장비를 활용한 지하 유출수 계측기법 및 신개념 지하수 측정 시스템 개발
- 도시지반 침하 측정 및 관리 시스템 개발
- 지중구조물 종류별 주변 지하수, 지반침하 통합 스마트 관리기술 확보



### 3. 중점추진 분야

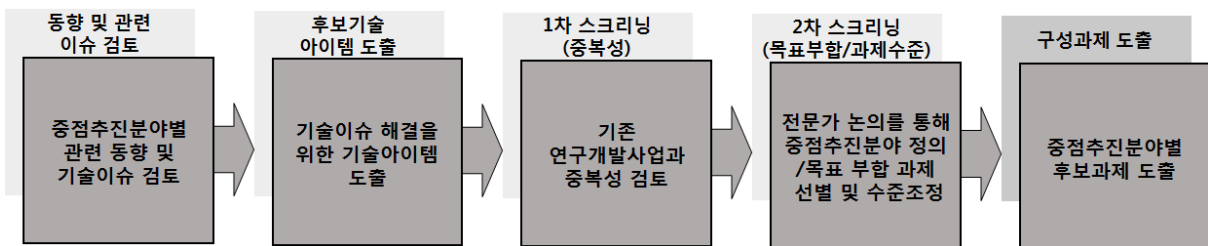
- 본 연구의 중점 추진 분야는 비전과 목표를 달성할 수 있는 유사 기술 분야로 분류하고 해당 기술 분야에서 수행 가능한 세부 기술별로 기획을 수행
- 중점추진 분야는 비전 및 목표를 기반으로 도심지 광역 지하수 관리 기술과 지반구조물 주변 지하수 관리기술을 통합하여 크게 광역지하수 연구, 지하수와 연계된 지반의 단기변형(시공중), 장기 지반침하(시공후), 지하수/지반 침하 측정, 계측, 관리 기술 시스템 기술 개념을 중점 추진분야로 재설정
- 분류한 기술분야를 토대로 연구에서 지향하는 중점 추진분야는 아래와 같음
  - (중점추진분야 1) 도심지 지역단위 지하수 평가 메커니즘 개발 분야
  - (중점추진분야 2) 시공중 지하수위 급변에 따른 지반변형 예측 및 방지기술 개발 분야
  - (중점추진분야 3) 지반침하에 따른 지반 위험도 평가 및 대책기술 개발 분야

- (중점추진분야 4) 해외시장 진출형 저비용&고신뢰성 도심지 지하수/지반침하 네트워크 시스템 개발 분야
- ‘도심지 지역단위 지하수 평가 메커니즘 개발’ 분야는 도심지 지반굴착에 따른 지표수, 지하수 유동 및 물수지 평가 기술 및 재난/재해 대응 3차원 지하수 관리 시스템 기술개발 분야로 설정
- ‘시공중 지하수위 급변에 따른 지반변형 예측 및 방지기술 개발’ 분야는 지하수와 지하 구조물에 의한 지반 변상 분석 기법 및 건축물 및 지하구조물 주변 지하수 흐름 관리기법(시공중 지반변형 부분) 개발 분야로 설정
- ‘지반침하에 따른 지반 위험도 평가 및 대책기술 개발’ 분야는 건축물 및 지하구조물 주변 지하수 흐름 관리기법(장기침하 및 변형부분) 및 도심지 지반함몰 예방을 위한 지하수 계측 및 모니터링 기법을 분야로 설정
- ‘해외시장 진출형 저비용&고신뢰성 도심지 지하수/지반침하 네트워크 시스템 개발’ 분야는 지하수위 변화에 의한 도시지반 침하 측정기술 개발 및 지하수 관리 및 지하수/지반구조물 통합계측 및 관리 시스템 개발 분야로 설정



**중점추진분야**

- 중점추진분야별로 관련 동향 및 기술이슈를 통해 기술아이템을 도출하고, 스크리닝 과정을 통해 구성과제를 도출함



〈그림 4-1〉 중점추진분야별 구성과제 도출 프로세스

### 3절 연구개발과제 구성

#### 1. 후보과제 Pool 구성

##### 가. 후보과제 Pool 구성 방법

- 산학연 전문가와 연구 관련 학회를 중심으로 기술 수요조사를 실시하고 수집된 기술수요조사서를 연구 비전과 목표에 맞는 후보과제들을 선별
- 연구개발 목표에 해당하는 기술을 보유한 기업들에게 연구 기획 의도를 설명하고 목표를 달성하기 위한 기술 수요조사를 의뢰
- 연구목표 별 기술분류 체계를 제시하고 소분류에 해당하는 예상 주요기술 목록을 제시함으로써 연구 기획의 의도를 정확히 전달하도록 노력
- 수집된 기술 수요조사서를 주요기술별로 분류하여 기획한 기술분야에 충분한 후보과제 Pool이 구성될 수 있도록 부족한 기술분류 부분은 2차 수요조사를 실시함

##### 나. 후보과제 Pool 중복성·유사성·위계 검토

- 중복성 검토는 후보과제 Pool의 개별 과제들을 대상으로 NTIS에 등재된 국가 R&D 데이터를 활용하여 중복과제 유무를 확인하고 중복과제로 판정될 경우, 후보과제 Pool에서 제외함
- 수집된 수요조사 과제들 중 유사한 기술 수요들은 유사기술로 분류하여 1가지 기술분류로 취급
- 과제 중복여부는 추진 준비 중인 국가 과제를 포함하며 수행중이거나 기 개발이 완료된 과제 또는 기술이 존재하는 경우로 판단
- 중복성과 유사성을 기준으로 수요조사된 기술들을 분류하고 본 연구기획에 적합한 후보과제 Pool을 확보함

##### 다. 후보과제 Pool list

- 중복성, 유사성 검토를 마친 수요조사 기술들의 예상 과제명을 기준으로 연구개발 과제를 정의하고 기획에서 설정한 중점추진분야별로 과제들을 분류함
- 분류된 후보과제들의 연구목표와 기간, 소요 예산들을 설정하고 우선순위 평가를 수행할 수 있도록 관련 근거 자료들을 수집함

[표 4-1] 후보과제 list

중점추진분야	연번	후보과제명	후보과제 정의
중점추진분야1	1	도심지 대규모 지반 굴착에 따른 지하수-지표수 실시간 유동분석 기술	-지하수-지표수 경계면 상호작용 수치 해석 알고리즘 및 프로토콜 개발 -파일럿 규모의 모니터링 자료를 근거로 개발된 프로그램 현장 검증
	2	도심지 지표수-지하수 통합 영향 평가기술	-지하수 배출 및 함양지역에서의 대규모 지하굴착, 지하구조물 설치에 따른 지하수위 변화를 파악하고 주변지역의 지반침하 및 구조물에 미치는 영향 평가기법 도출
	3	하천변 총적 지하수 유동에 의한 지역규모 지반변형 특성분석 기술	-도심지 하천변 대규모 굴착에 따른 지하수-지표수 상호작용과 물의 유동에 따른 지반변형 특성 원인 규명 -원인규명을 통한 대규모 굴착공사시 차수대책 마련
	4	도심지 광역 지질변화 및 지하수 환경 변화 평가 기술	-도심의 건축물, 지하구조물 등의 형성 전후의 지반 및 지질구조 자료와 지반 맵핑 자료를 이용하여 통합적인 환경변화 관리시스템 구축 -도심의 지하구조 및 지하수의 유동을 예측하는 지하수모델 구축 및 구조물에 따른 지하수의 유동변화 평가 모델 개발
	5	도시지역 지반침하 위험도 평가 및 대책 기술개발	-도심의 건축물의 하중과 지하구조물의 공동으로 인한 지반 및 지하수유동변화특성 분석 -도심지 개발시 침하를 고려한 개발 기준 제시
중점추진분야2	1	지하수 대수층 및 지질분포에 따른 지반함몰 위험성 평가	-지반굴착에 따른 지질별 대수층 변화 특성 분석을 위한 3D 모델링 기술 -지질특성별 지하수 대수층 변화에 따른 지반함몰 안정성 평가 기법 -지질특성별 지반함몰 위험지역 안정화 공법 시공 가이드라인 제시
	2	시공현장 시험을 통한 지하수 및 토사유출에 의한 주변지반 함몰형성 원인분석	-고내구성 주입재료 및 시공 장비·장치·공법 개발 -토류벽 사전 건전도 모니터링 기술 및 지하수 유입 예측기술 개발
	3	굴착 지반주변 지하수위 유지 및 복원기술/지하수 상태에 따른 차수그라우팅 벽체의 건전도 평가 및 계측기법개발	-지하수 상태에 따른 흙막이 벽체와 차수그라우팅 특성과의 상호작용연구 -차수그라우팅벽체의 건전도 평가 및 계측기법 개발
	4	지하구조물 굴착 및 시공에 따른 지하수 유동 및 영향분석 관리기법	-도심지 지반굴착에 따른 지표수-지하수 유동 및 물수지 평가기술 개발 -지하수와 지하구조물에 의한 지반 변상기법 연구 -도심지 지반함몰 예방을 위한 지하수 모니터링 기법 및 보강방안 연구
	5	침하 및 함몰예방을 위한 도심지 굴착공사 지하수 관리 및 계측 가이드 라인	-지하구조물 특성별 지하수 관리기술 개발 및 도심지 굴착공사시의 지하수관리 및 계측 가이드 라인 설정
	6	지반 굴착 중 지하수위 급변에 따른 단기 변형 예측 기술	-지반굴착 유형별 지하수위 변화에 따른 단기 지반변형 특성 규명

중점추진분야	연번	후보과제명	후보과제 정의
			-지반굴착 유형별 단기 지반변형 예측 모형 개발 및 설계 기준 수립
중점추진분야3	1	지반굴착 주변의 지하수 함양 및 유출량 예측 기술 개발	-지반굴착 유형별 지하수 함양, 유출 및 침투의 시공간적 변동 예측 및 설계 기술 개발 -지반 조건에 따른 굴착중 및 사후의 지하수 유출량의 측정 기술 확보
	2	장기 지하수위 변화를 반영한 기존 구조물 주변 지반변형 위험도 평가 기술	-도시지역 개발 후 장기간 경과시 나타나는 지반 침하 현상에 대한 과정과 특성을 규명
	3	기완공 구조물 주변 유출지하수 평가·관리 기법 개발	-도시 대형구조물 주변에서 발생하는 유출지하수의 정량적 평가기법을 개발하고, 저감을 위한 사후 시공기술을 확보하여 유출지하수를 최소화하며 아울러 유출된 지하수의 최적 활용방안을 수립
	4	건축물 주변 초정밀변형 평가 기법 개발	-SAR 및 LiDAR 등을 활용한 대형 건축물 정밀 변형 평가 기술 개발 -건축물 주변 지반 침하 및 파쇄 분포도 작성 기법 개발
중점추진분야4	1	3차원 토양, 지하수, 변형 계측 센서 개발	-비 시추 방식의 지반, 지하수, 토양 통합 계측 센서 개발 -통합 항목에 대한 초소형 통신 시스템 개발 -3차원 계측자료의 공간 해석 및 표출 기술 개발
	2	광섬유 스마트 센서 기술 개발 및 적용을 통한 지반굴착 주변 변형 특성 평가	-항목별 계측데이터의 퍼지논리를 적용한 퍼지 해석알고리즘 개발 -광섬유센서를 적용한 통합계측기용 다항목 점단위 측정 스마트 센서 개발 -지하수, 지반 및 구조물을 연계한 지반변형 해석 기술 개발
	3	지반굴착 구조물 주변 SMART 통합 관제 및 해석 기술 개발	-항목별 계측기의 통합 연계 프로세스 개발 -지하수, 지반 및 구조물을 연계한 통합 해석 기술 개발 -SMART 통합 계측 시스템 설계 및 통합관제 시스템 구축
	4	지하수 상황정보를 이용한 지반침하 측정용 광섬유 센서 네트워크 시스템 개발	-제한된 지역 지하수-지반침하 시뮬레이션 모델을 개발하고 이 모델을 검증할 수 있는 지역 지반침하 시뮬레이션 환경을 개발 -광역 지역 지하수-지반침하 시뮬레이션 모델을 개발하고 이 모델을 검증할 수 있는 광역 지반침하 시뮬레이션 환경을 개발 -개발된 지하수-지반침하 예측 알고리즘 및 지반침하 상황관제용 USN을 통합하여 지역 및 광역 지반침하 시뮬레이션 수행 및 성능 평가
	5	해외 진출형 테스트베드 구축	-지하수 및 지하 구조물에 설치된 부품들의 수명 단축, 환경적 요인으로 인한 결함, 공사장의 부주위한 시공 등의 원인으로 지반침하 또는 싱크홀이 발생 -지반침하를 예보/경보 할 수 있는 지하수-지반침하 USN을 개발하여 비상상황 발생의 예경보

중점추진분야	연번	후보과제명	후보과제 정의
			기능이 요구됨 -USN 시스템의 가격을 낮추면서 동시에 높은 기능을 확보하기 위하여 기존에 포설된 지하시설물 및 관제시스템을 활용 -지하시설물에 부착할 수 있는 지하수 상황정보 센서모듈 및 지하시설물 기반 통신망을 이용한 지하수-지반침하 관제용 지하시설물 센서 네트워크 시스템 개발 -시스템 개발을 통한 국내 및 해외 진출 테스트 베드 구축

- 최종 확정된 후보과제 Pool을 대상으로 전문가 그룹에게 과제카드 작성을 의뢰하여 최근 기술 수준에서 달성가능한 연구목표를 설정함
- 작성된 과제 카드는 별첨으로 첨부
- 과제카드는 연구개발 목표, 필요성, 연구 주요 내용, 관련기술/산업/시장동향, 최종성과물, 기존기술 활용방안 등으로 설정함
- 과제카드는 후보과제의 우선순위 평가 시, 평가자의 판단을 돕기 위한 것으로 향후 RFP 작성의 근거자료로 활용함
- 후보과제의 우선순위 평가 후, RFP 작성시 후보과제 카드 별 내용상 중복성, 연계성, 독립성 등이 있는 부분은 발췌하여 연구개발 추진과제 및 RFP상에 반영하여 작성하도록 함

## 2. 후보과제 우선순위 평가

### 가. 개요

#### (1) 우선순위 평가의 목적

- 지하수관리 기획연구에서 도출된 후보과제 중 동 사업 수행에 필요한 과제를 선정하고, 선정과제 중 추진 우선순위를 설정하기 위함임
- 산·학·연 전문가를 대상으로 지하수관리 기획에서 도출된 후보과제의 기술적 중요도, 기술개발 실현가능성, 사회경제적 파급효과, 정부지원 필요성 등에 대한 평가를 수행함

#### (2) 우선순위 평가의 절차

- 우선순위 평가는 후보과제 선정, 우선순위평가서 설계, 우선순위평가 수행, 기술수요조사 결과분석 및 활용 순으로 추진함

- 후보과제 선정단계에서는 기술수요조사 결과를 바탕으로 중복성 검토, 유사성 및 위계 검토를 통해 후보과제 pool을 설정, 과제카드를 작성하고, 기술분류체계에 매칭함
  - 후보과제 카드는 우선순위 평가시 평가자의 판단을 돕기위해 참고자료로 활용함
- 우선순위 평가서 설계단계에서는 우선순위평가 항목을 결정하고 평가 대상자를 설정함
  - 기술적 중요도(기술의 중요도, 시급성, 과학기술적 파급효과), 기술개발 실현가능성, 사회경제적 파급효과, 정부지원 필요성을 평가항목으로 설정함
  - 기술적 중요도의 경우 후보과제에 매칭되는 기술분류체계 소분류의 기술수준/예측조사 결과를 활용함
  - 우선순위평가시, 참고자료로 후보과제에 해당하는 소분류의 수준-중요도, 기술격차-격차추세, 기술격차-기술수준, 기술기반 성숙도-중요도 포트폴리오 결과를 제공하여 우선순위평가자의 객관성을 도모함
- 우선순위평가 수행단계에서는 기술수준/예측조사 대상자에게 조사서를 발송하고 회신함
- 우선순위평가 결과분석 및 활용단계에서는 평가결과를 통해 사업 추진과제를 선정하고 과제추진 우선순위 선정에 활용함



〈그림 4-2〉 우선순위 평가 진행 절차

(3) 우선순위평가서 발송 및 응답개요

- 우선순위평가는 내부 기획연구진, 자문위원 및 외부전문가들을 대상으로 메일을 발송하여 조사함

[표 4-2] 우선순위평가서 발송 및 응답개요

구분	내용
조사기간	- 2015년 5월 18일 ~ 2015년 5월 22일 (1주간)
조사대상	- 내부 기획연구진, 자문위원 및 외부전문가 12인
조사방법	- 이메일 발송을 통한 설문조사

(4) 우선순위평가 항목 설정

- ‘기술 중요도’항목은 ‘기술의 핵심성’, ‘기술개발 시급성’, ‘과학기술적 파급효과’로 구분되며, 기술수준/예측조사 결과를 활용함
  - ‘기술의 핵심성’는 해당기술이 ‘지하수 관리기술’내에서 차지하는 상대적인 중요도를 5점 척도로 평가함
  - ‘기술개발 시급성’은 적정 수준을 구현해야할 시기를 고려하여 기술개발이 시급한 정도를 5점 척도로 평가함
  - ‘과학기술적 파급효과’는 해당기술이 과학기술 발전에 미치는 영향력을 5점 척도로 평가함
- ‘기술개발 실현가능성’항목은 연구개발 사업 추진 시 과제카드 목표 수준까지 실현 가능한지 여부를 5점척도로 평가함
  - 해당항목은 후보과제가 속한 소분류 기술분야의 수준-중요도, 기술격차-격차추세, 기술기반 성숙도-중요도 포트폴리오 분석결과 및 후보과제카드를 참조하여 평가함

소분류	참 고 자 료					후보과제 우선순위 평가	
	포트폴리오분석결과				기술 중요도 평가결과	후보과제	평가 항목 기술개발 실현 가능성
	수준-중요도	기술격차-격차추세	기술격차-기술수준	기술기반 성숙도-중요도			
○○○	기술혁신을 통한 파급효과가 큰 유망한 영역	효과적인 기술개발 전략이 마련되지 않는다면 자체 개발 이외의 전략을 구사해야 하는 영역	세계 최고 수준의 기술을 확보하기 위한 민간의 역할 증대가 필요한 영역	기술기반 확보가 시급한 영역	4.0	1 ○○○ 2 ○○○ 3 ○○○	4 3 3

- ‘사회경제적 파급효과’항목은 목표수준까지 기술개발 완료 시 사회경제적으로 미치는 파급 효과를 5점 척도로 평가함
- 해당항목은 후보과제가 속한 소분류 기술분야의 수준-중요도 포트폴리오 분석결과 및 후보과제카드를 참조하여 평가함

참 고 자 료						후보과제 우선순위 평가	
소분류	포트폴리오분석결과				기술 중요도 평가결과	후보과제	평가 항목
	수준-중요도	기술격차-격차추세	기술격차-기술수준	기술기반 성숙도-중요도			
○○○	기술혁신을 통한 파급효과가 큰 유망한 영역	효과적인 기술개발 전략이 마련되지 않는다면 자체 개발 이외의 전략을 구사해야 하는 영역	세계 최고 수준의 기술을 확보하기 위한 민간의 역할 증대가 필요한 영역	기술기반 확보가 시급한 영역	4.0	1 ○○○	4
						2 ○○○	3
						3 ○○○	3

- ‘정부지원 필요성’항목은 기술개발 사업을 통해 기술을 획득하는 데에 정부지원이 필요한 정도를 5점 척도로 평가함
- 해당항목은 후보과제가 속한 소분류 기술분야의 수준-중요도, 기술격차-기술수준 포트폴리오 분석결과 및 후보과제카드를 참조하여 평가함

참 고 자 료						후보과제 우선순위 평가	
소분류	포트폴리오분석결과				기술 중요도 평가결과	후보과제	평가 항목
	수준-중요도	기술격차-격차추세	기술격차-기술수준	기술기반 성숙도-중요도			
○○○	기술혁신을 통한 파급효과가 큰 유망한 영역	효과적인 기술개발 전략이 마련되지 않는다면 자체 개발 이외의 전략을 구사해야 하는 영역	세계 최고 수준의 기술을 확보하기 위한 민간의 역할 증대가 필요한 영역	기술기반 확보가 시급한 영역	4.0	1 ○○○	4
						2 ○○○	4
						3 ○○○	5

나. 후보과제 우선순위 평가결과

(1) (중점추진분야1) 도심지 지역단위 지하수 평가 메커니즘 개발

□ 중점추진분야1에서는 후보과제 우선순위 1-5위에 해당하는 후보과제를 연구개발 추진과제로 4개의 세부과제로 재분류하였음

후보과제명	기술 개발 실현 가능성	사회 경제적 파급 효과	정부 지원 필요성	기술 핵심성	기술 개발 시급성	과학 기술적 파급 효과	총합	순위
도심지 지표수-지하수 통합 영향 평가기술	4.7	4.7	4.5	4.0	4.3	4.0	26.2	1
하천변 총적 지하수 유동에 의한 지역규모 지반변형 특성분석 기술	4.7	4.7	4.0	4.0	4.0	3.7	25.1	2
도심지 대규모 지반굴착에 따른 지하수-지표수 실시간 유동분석 기술	4.0	4.5	3.7	3.3	4.0	3.7	23.2	3
도시지역 지반침하 위험도 평가 및 대책 기술개발	4.0	4.0	4.3	3.3	3.7	3.7	23.0	4
도심지 광역 지질변화 및 지하수 환경 변화 평가 기술	4.1	3.3	3.4	3.0	3.7	3.3	20.8	5

(2) (중점추진분야2) 시공중 지하수위 급변에 따른 지반변형 예측 및 방지기술 개발

□ 중점추진분야2에서는 후보과제 우선순위 1-6위에 해당하는 후보과제를 연구개발 추진과제로 분리과제 1개를 포함한 4개의 세부과제로 재분류하였음

후보과제명	기술 개발 실현 가능성	사회 경제적 파급 효과	정부 지원 필요성	기술 핵심성	기술 개발 시급성	과학 기술적 파급 효과	총합	순위
지하수 대수층 및 지질분포에 따른 지반함몰 위험성 평가	4.5	4.7	5.0	5.0	5.0	5.0	29.2	1
지반 굴착중 지하수위 급변에 따른 단기 변형 예측 기술	4.0	5.0	4.7	5.0	5.0	5.0	28.7	2
시공현장 시험을 통한 지하수 및 토사유출에 의한 주변지반 함몰형성 원인분석	4.8	3.7	4.3	5.0	5.0	5.0	27.8	3
굴착지반 주변 지하수위 유지 및 복원 기술/지하수 상태에 따른 차수 그라우팅 벽체의 건전도 평가 및 계측기법개발	4.8	4.5	3.8	5.0	4.5	4.5	27.1	3
지하구조물 굴착 및 시공에 따른 지하수 유동 및 영향분석 관리기법	3.6	3.5	3.8	5.0	5.0	5.0	25.9	5
침하 및 함몰예방을 위한 도심지 굴착공사 지하수 관리 및 계측 가이드라인	3.3	3.3	4.3	5.0	4.5	4.5	24.9	6

## (3) (중점추진분야3) 지반침하에 따른 지반 위험도 평가 및 대책기술 개발

- 중점추진분야3에서는 후보과제 우선순위 1-3위에 해당하는 후보과제를 연구개발 추진과제로 2개의 세부과제로 재분류하였음

후보과제명	기술 개발 실현 가능성	사회 경제적 파급 효과	정부 지원 필요성	기술 핵심성	기술 개발 시급성	과학 기술적 파급 효과	총합	순위
장기 지하수위 변화를 반영한 기존 구조물 주변 지반변형 위험도 평가 기술	4.5	4.7	4.7	5.0	5.0	5.0	28.9	1
기완공 구조물 주변 유출지하수 평가·관리 기법 개발	4.5	3.7	4.7	5.0	5.0	5.0	27.9	2
지반굴착 주변의 지하수 함양 및 유출량 예측 기술 개발	3.8	4.7	3.7	4.0	4.7	3.7	24.5	3
건축물 주변 초정밀변형 평가 기법 개발	3.3	4.0	3.0	4.3	4.0	4.0	22.6	4

## (4) (중점추진분야4) 해외시장 진출형 저비용&amp;고신뢰성 도심지 지하수/지반침하 네트워크 시스템 개발

- 중점추진분야4에서는 후보과제 우선순위 1-5위에 해당하는 후보과제를 연구개발 추진과제로 3개의 세부과제로 분류하였음

후보과제명	기술 개발 실현 가능성	사회 경제적 파급 효과	정부 지원 필요성	기술 핵심성	기술 개발 시급성	과학 기술적 파급 효과	총합	순위
지하수 상황정보를 이용한 지반침하 측정용 광섬유 센서 네트워크 시스템 개발	4.3	4.5	4.3	5.0	5.0	5.0	28.1	1
지반굴착 구조물 주변 SMART 통합 관제 및 해석 기술 개발	5.0	4.7	5.0	4.5	4.0	3.5	26.7	2
해외 진출형 테스트베드 구축	3.0	4.2	4.5	5.0	5.0	5.0	26.7	2
3차원 토양, 지하수, 변형 계측 센서 개발	3.5	4.0	4.0	5.0	5.0	5.0	26.5	4
광섬유 스마트 센서 기술 개발 및 적용을 통한 지반굴착 주변 변형 특성 평가	4.0	3.0	3.0	5.0	5.0	5.0	25.0	5

### 3. 연구개발 추진과제

가. (중점추진분야 1) 도심지 지역단위 지하수 평가 메커니즘 개발분야 추진과제

구분	과제명
<b>1세부과제</b>	<b>지하수위 변동에 미치는 수리특성 해석</b>
1구성기술	도심지 지표수-지하수 통합 수문해석 기법
2구성기술	대규모 지하개발 주변지역의 수리지질학적특성 평가 기법
3구성기술	도심지 지하수 함양의 감소량 평가 및 대책
4구성기술	지하개발 주변의 지하수 수량관리 기법
<b>2세부과제</b>	<b>도심지 지하수 유동에 따른 지반 변형 예측 기술 개발</b>
1구성기술	기존 기술의 조사 및 개념모델
2구성기술	시험유역 기반 하천변 3차원 정밀 해석 기술
3구성기술	주요도심지 하천 구간의 지반함몰 위험도 예측기술
4구성기술	지반함몰 방지를 위한 도심지 하천변 지하수 관리지침
<b>3세부과제</b>	<b>도심지 굴착에 따른 지하수-지표수 실시간 모니터링 기법 개발</b>
1구성기술	지하수-지표수 상호작용 수치해석 알고리즘 및 프로토콜 개발
2구성기술	지하수-지표수 경계면 상호작용 실시간 모니터링 및 평가기술
3구성기술	현장규모 3차원지하수-지표수 상호작용 프로그램 개발
4구성기술	시험유역 운영을 통한 경계면 유출입량의 검증
<b>4세부과제</b>	<b>광역 지하수 계측망을 활용한 이상징후 탐지 기술 개발</b>
1구성기술	최적 지하수위 관측망 설정 프로그램 구축
2구성기술	지하수 네트워크 교란에 인한 이상징후 원인규명 및 대책 방안 연구
3구성기술	GIS 웹기반 지하수위 변화 실시간 이상징후 발생 예보 시스템

〈중점추진분야 1 추진과제〉

## 나. (중점추진분야 2) 시공중 지하수위 급변에 따른 지반변형 예측 및 방지기술 개발분야 추진 과제

구분	과제명
1세부과제	지하수 대수층 및 지질분포에 따른 지반 위험성 예측기술
1구성기술	지반굴착에 따른 지질별 대수층 변화 특성 분석을 위한 3D 모델링 기술
2구성기술	지질특성별 지하수 대수층 변화에 따른 지반함몰 안정성 평가 기법
3구성기술	지질특성별 지반함몰 위험지역 안정화 공법 시공 가이드라인
2세부과제	지반 굴착중 지하수위 급변에 따른 단기 변형 예측 기술
1구성기술	표준 물리모델 시험 기준
2구성기술	지반 굴착 평가 프로그램 개발
3구성기술	지반굴착시 지하수 영향 최소화 설계 기준
3세부과제	굴착시 지하수에 의한 지반변형 방지 공법 개발
1구성기술	굴착 중 사전 지하수 유출 가능성 평가 및 벽체 건전도 모니터링 기술
2구성기술	지하굴착 시 지하수 유출 방지를 위한 고내구성 지반개량 및 주입공법
3구성기술	지하수 상태에 따른 흙막이 벽체와 차수그라우팅 특성과의 상호작용 평가 기법
4세부과제	도심지 함몰 예방 및 지하수 관리를 위한 정책 수립 및 적용 방안 연구
1구성기술	도심지 지하수위 변동에 따른 지반함몰 및 구조물 영향 저감을 위한 지침
2구성기술	도심지 지반함몰 예방을 위한 지하수 안정성 평가 매뉴얼
3구성기술	도심지 지하수 관리방안과 관리 주체별 특성을 반영한 관리 지침

## 〈중점추진분야 2 추진과제〉

다. (중점추진분야 3) 지반침하에 따른 지반 위험도 평가 및 대책기술 개발 분야 추진과제

구분	과제명
1세부과제	시공후 지하수위 변화를 반영한 기존 구조물 주변 지반 위험도 평가 기술
1구성기술	물리모형실험을 활용한 장기 지반침하 특성 평가 기술
2구성기술	융합 모델링 기법을 적용한 침하 평가 기술
3구성기술	노후화 구조물 주변 침하 위험도 평가 기술
2세부과제	시공후 구조물 주변 지하수 평가·관리 기법 개발
1구성기술	지하수 유출의 정량적 평가 기법
2구성기술	유출지하수의 재활용 기술
3구성기술	지하수 유출 저감을 위한 사후 시공 기법

〈중점추진분야 3 추진과제〉

라. (중점추진분야 4) 해외시장 진출형 저비용&고신뢰성 도심지 지하수 / 지반침하 네트워크 시스템 개발 분야 추진과제

구분	과제명
1세부과제	지하수 자료 연계 지반 함몰 측정용 센서 네트워크 시스템 개발
1구성기술	비 시추 방식의 지반, 지하수, 토양 통합 계측 센서 개발
2구성기술	광섬유 변위, 기울기, 온도, 수위 센서 개발
3구성기술	지하수, 지반함몰 연계 네트워크 시스템 개발
2세부과제	SMART 통합 관제 및 해석 기술 개발
1구성기술	지하시설물(유류저장 탱크 등)을 활용한 지반 이상 측정 기술 개발
2구성기술	공공 도로시설물(가로등, 전신주 등)을 활용한 지반 이상 측정 기술 개발
3구성기술	통신 관로를 활용한 지반 이상 측정 기술 개발
4구성기술	데이터 마이닝을 활용한 통합 관제 및 예측 기술 개발
3세부과제	해외시장 진출형 테스트 베드 구축
1구성기술	테스트베드 설계 및 평가 기술 개발
2구성기술	테스트베드 하드웨어 및 소프트웨어
3구성기술	테스트베드 성능 및 신뢰도 측정 및 분석기술 개발
4구성기술	테스트베드 경제성 평가 및 사업화 계획 수립

<중점추진분야 4 추진과제>

## 4절 세부과제별 주요내용 및 추진전략

### 1. (중점추진분야 1) 도심지 지역단위 지하수 평가 메커니즘 개발 분야 세부과제

#### 가. 1세부과제

##### (1) 연구개발 목표 및 주요 연구내용

세부과제명	<ul style="list-style-type: none"> <li>지하수위 변동에 미치는 수리 특성 해석</li> </ul>
배경 및 필요성	<ul style="list-style-type: none"> <li>도시지역내 대규모 지하 개발에 따른 지하수위 변동에 미치는 영향진단 기법 연구는 미약함</li> <li>국외에서는 도심지 지하개발로 인한 지하수 변동요인에 대해 다양한 조사와 지하수 모델링을 이용한 물수지평가가 이루어져 왔으며 지하수위 저하와 연계한 지반침하 영향 검토 진행중</li> </ul>
정부지원 필요성	<ul style="list-style-type: none"> <li>지하수 관리 기본 계획과 부합하여 보다 현실성 있는 지하수의 체계적인 관리를 인해 도시개발로 인한 지하수의 과부족에 따른 영향을 진단하고 그 방법을 개발하여 국민안전기술을 실현하는데에 정부지원이 절실함</li> </ul>
세부과제의 개념 및 범위	<ul style="list-style-type: none"> <li>대규모 지하개발 주변지역의 수리지질학적특성 평가 기법 개발</li> <li>도심지의 지하수 함양량 및 지하수위 변동 분석</li> <li>도심지 지표수-지하수 통합수문 해석 기법 개발</li> <li>시험유역기반 모니터링 및 모델 검증</li> </ul>
세부과제의 목표	<ul style="list-style-type: none"> <li>대규모 지하굴착/구조물 설치에 따른 지하수위 변화 평가</li> <li>도심지 광역 지하수 물수지 및 지반함몰 위험도 평가기법 개발</li> </ul>
주요내용	<ul style="list-style-type: none"> <li>도심지 지하수 영향 평가 기법 개발 및 적용</li> <li>도심지 지속가능한 지하수 관리 전략</li> <li>도심지 지하공간 굴착에 따른 최적 대응 기술 개발</li> </ul>
기술적 위험요인	<ul style="list-style-type: none"> <li>도심지 수리지질 특성 변수의 불확실성 내재</li> </ul>
연구개발 추진전략	<ul style="list-style-type: none"> <li>도심지 통합수문해석을 통한 지하수 관리방안, 지반침하 위험도 평가를 규명하기 위한 모델링 전문기관, 학계, 모니터링 전문업체와의 산학연 구성</li> </ul>
기대효과 및 파급 효과	<ul style="list-style-type: none"> <li>기술개발 목표 달성시 지속적으로 도시개발이 진행되고 있지만 제도적으로 개발위주의 평가방법으로 파행된 난개발을 합리적으로 방지하고 체계적인 지하개발이 이루어져 현재 일어나고 있는 지반침하와 함몰의 원인규명 및 재발방지에 효과적으로 부응할 것으로 기대됨</li> </ul>

## (2) 연차별 목표 및 내용

연차	연구목표	연구내용
1차년도	대규모 지하개발시 도심지의 수리지질학적특성 평가 사례분석	- 국내외 다양한 사례별 평가 방법 비교 - 도심지 토지이용별/지질특성별 불투수 현황분석 및 지하수위와의 상관 분석
2차년도	도심지 지하수 함양의 감소량 평가 및 대책	- 도심지 지하수 함양량의 시공간적 분포 정량화 기법 개발
3차년도	도심지 지하수위 하강에 따른 지반침하 위험도 평가	- 도시개발에 따른 지하수위 변동 정량화 기법 개발 - 다양한 상관성 분석을 통한 지하수위-지반침하 추정계수 산정
4차년도	지속가능한 지반환경을 위한 지하수 수량 관리 방안	- 수위강하 영향권 분석 - 지하수위 변동에 따른 지반침하 예측을 위한 테스트베드 선정
5차년도	지하수위 변동에 따른 지반침하 영향저감을 위한 법제도 개선	- 지하수위 변동에 따른 지반침하 및 구조물 영향저감을 위한 세부 수행 지침 제안 - 지하수위 하강 저감을 위한 대책 및 사전방지 조치를 위한 제도 정비

## (3) 최종성과물 및 성과지표

과제	성과목표	성과지표	측정방법	단위	목표치	가중치 (0~1)	목표치 설정근거
도심지 지표수-지하수 통합 영향 평가 기술	도시화 및 대규모 지하굴착에 따른 지하수위 평가	1 도심지 수리지질학적특성평가사례 분석	도심지 토지이용, 지질별 불투수현황 및 지하수위상관성분석	건	1	0.1	도심지 수리지질특성변수 불확실성 정량화 필요
		2 통합수문해석 기반 도심지 지하수 함양의 감소량 평가 및 대책	도심지 지하수 함양량 시공간 분포 정량화수치모의	건	1	0.3	지하수위 변동 주된원인인 함양량 변화 연구 필요성
	도심지 광역 지하수 위험도 평가기법 개발	3 도심지 지하수위 하강에 따른 지반함몰 위험도 평가	지하수위-지반침하 추정계수 산정	건	1	0.3	지하수위저하와 지반함몰 영향 검토 필요
		4 지속가능한 지반환경을 위한 지하수 수량관리 가이드라인	가이드라인	식	1	0.3	가이드라인의 타당성

## 나. 2세부과제

## (1) 연구개발 목표 및 주요 연구내용

세부과제명	<ul style="list-style-type: none"> <li>도심지 지하수 유동에 따른 지반 변형 예측 기술 개발</li> </ul>
배경 및 필요성	<ul style="list-style-type: none"> <li>지하수 고갈에 의한 지반 변성을 해석하는 기술의 필요성은 이미 인식하고 있으나, 국내에서 기술을 적용하여 성공한 경우는 보고된 적이 없음</li> <li>국외 선진국은 이미 지반침하 관련 기술을 지하수 유동 해석 프로그램에 탑재하여 실용화하였지만 아직까지는 이 기술을 접목하여 정밀한 수준의 지하수 유동-지반침하를 해석한 사례는 미미함</li> </ul>

정부지원 필요성	<ul style="list-style-type: none"> <li>지반함몰을 해결하려는 정부 정책과 부합하며, 국내 주요 도심 지하 공간에 미치는 지하수의 장기적인 관리 지침을 수립하는 기반 기술로의 활용이 가능함</li> </ul>
세부과제의 개념 및 범위	<ul style="list-style-type: none"> <li>지하수 유동에 따른 지반변형 예측 프로그램 개발 및 적용</li> </ul>
세부과제의 목표	<ul style="list-style-type: none"> <li>하천변 지반 굴착 및 지하수 개발에 의한 삼차원 완전 연동 지하수 유동 및 지반 변형의 통합적 예측</li> </ul>
주요내용	<ul style="list-style-type: none"> <li>광역적 3차원 하천변 상호작용 프로그램 개발</li> <li>주요 도심지 하천구간 지반침하 시나리오 분석</li> </ul>
기술적 위험요인	<ul style="list-style-type: none"> <li>모델링의 검증을 위한 데이터 획득의 불확실성</li> </ul>
연구개발 추진전략	<ul style="list-style-type: none"> <li>미국 USGS의 선진화된 MODFLOW기반 기술을 바탕으로 구체적인 현장적용 기술을 전수받기 위해 정부, 대학교의 관계자와 학술발표 및 세미나개최를 추진하여 활발한 교류가 이루어지게 함</li> </ul>
기대효과 및 파급효과	<ul style="list-style-type: none"> <li>기대효과 : 장기적인 지반침하-지하수 관리 해석 방안 제시</li> <li>파급효과 : 지반침하-지하수 해석기술의 세계적 이슈 선점 가능. 본 연구과제가 도출한 대표 사례를 이용, 해외로 기술 전파 가능</li> </ul>

## (2) 연차별 목표 및 내용

연차	연구목표	연구내용
1차년도	하천변 해석에 관한 문헌 조사 및 기존 기술 습득	<ul style="list-style-type: none"> <li>기존 하천변 관련 연구사례 수집 및 분석</li> <li>국외 연구자 교류를 통한 제반기술 습득</li> </ul>
2차년도	기존 기술을 이용한 하천변 유한차분 개념 모델 구축	<ul style="list-style-type: none"> <li>연구 부지 선정 및 모델링에 활용할 수문지질학적 자료 취합.</li> <li>모델입력인자 도출을 위한 현장자료 전처리</li> <li>입력인자별 개념모델 민감도 분석</li> </ul>
3차년도	시험구역 운영을 통한 하천변 해석 3차원 정밀모델 구축	<ul style="list-style-type: none"> <li>현장 규모에서 하천변 상호작용 모니터링 수행</li> <li>현장 수리지질학적 및 수문학적 조사</li> <li>광역적 3차원 하천변 상호작용 프로그램 개발 및 기존 해석해 검증</li> </ul>
4차년도	주요 도심지 하천 구간 지반침하 시나리오 수립	<ul style="list-style-type: none"> <li>3차년도 성과를 바탕으로 주요 도심구간 확대 적용</li> <li>모델 예측을 통한 지반침하 위험도 추정</li> </ul>
5차년도	지반침하 방지를 위한 도심지 하천변 지하수 관리지침 제안	<ul style="list-style-type: none"> <li>4차년도 성과를 종합하여 지반침하 위험에 대한 대책 제안</li> <li>대상지역 우선순위를 설정하여 시급한 지점에 저감대책 수립</li> </ul>

## (3) 최종성과물 및 성과지표

과제	성과목표	성과지표	측정방법	단위	목표치	가중치 (0~1)	목표치 설정근거	
하천 변 총적 지하 수 유동 에 의한 지역 규모 지반 변형 특성 분석 기술 개발	하천변 지반 굴착 및 지하수 개발에 의한 지하수 유동 및 지반 변형의 통합적 예측	1	하천변 해석에 관한 문헌 조사 및 기존 기술 습득	기존문헌조사, 보고서	건	1	0.1	연구방법, 사례 비교분석 필요
		2	기존 기술을 이용한 하천변 유한차분 개념 모델 구축	개념모델구축	건	1	0.2	연구목적에 맞는 모델 설정 및 효율성 제고 필요
		3	시험유역 운영을 통한 하천변 해석 3차원 정밀모델 구축	모델 예측의 정확성(R2)	-	0.8	0.3	시험지역운영 및 모니터링을 통한 현장적용가능한 정밀모사필요
		4	지반침하 방지를 위한 도심지 하천변 지하수 관리지침 제안	지반침하 위험지역의 지하수 관리지침	건	1	0.2	지반침하 위험도 저감 대책 수립필요

## 다. 3세부과제

## (1) 연구개발 목표 및 주요 연구내용

세부과제명	<ul style="list-style-type: none"> <li>도심지 굴착에 따른 지하수-지표수 실시간 모니터링 기법 개발</li> </ul>
배경 및 필요성	<ul style="list-style-type: none"> <li>최근 석촌 호수 주변의 지반침하 및 싱크홀 관련해서 제 2 롯데월드 건설과 지하철 9호선 공사와의 상관관계 문제 제기 및 석촌 호수 수위 저하와의 관계에 대해서 정확한 원인이 규명되고 있지 않음</li> <li>지표수와 지하수 경계면 모니터링 기술도 실시간으로 원격제어 기술수준은 아직 국내보다 활용이 적어 낮은 수준임</li> </ul>
정부지원 필요성	<ul style="list-style-type: none"> <li>현재 지반침하 및 싱크홀은 일반 국민이 관심을 갖고 있는 초미의 화제가 되고 있으며, 국가가 국민의 안전과 삶의 질 향상에 기여하여야 하는 원론적인 책임을 가지므로 국가가 적극적으로 수행하여야 하는 것이 타당함</li> </ul>
세부과제의 개념 및 범위	<ul style="list-style-type: none"> <li>본 과제의 목적은 도심지 대규모 굴착에 따른 지하수-지표수 상호작용 변동 실시간 모니터링 및 물 순환 관점에서 지하수-지표수 경계면에서 시공간적으로 변화하는 유출입량을 평가하는 기술을 개발하고자 함</li> </ul>
세부과제의 목표	<ul style="list-style-type: none"> <li>도심지 대규모 굴착에 따른 지하수-지표수 경계면에서 상호작용 변동 및 유출입량 실시간(매시간 별) 모니터링 시스템 개발 (실측 기반 20%이내 정확성)</li> <li>대규모 굴착공사시 지하수-지표수 경계면에서 유출입량을 산정하는 정량화 광역적 3차원 수치 해석 프로그램 개발</li> </ul>
주요내용	<ul style="list-style-type: none"> <li>지하수-지표수 경계면 상호작용 수치 해석 알고리즘 및 프로토콜 개발</li> <li>파일럿 규모의 모니터링 자료를 근거로 개발된 프로그램 현장 검증</li> </ul>

기술적 위험요인	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 프로그램 검증을 위한 현장 선정의 적합성 및 검증 데이터의 확보 유무</li> </ul>
연구개발 추진전략	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 본 과제는 산학연이 공동으로 추진</li> <li>▪ 연구기관: 현장 규모에서 지하수-지표수 경계면 상호작용 모니터링 수행</li> <li>▪ 국내 산업체: 현장 조사 및 파일럿 시스템 구축</li> </ul>
기대효과 및 파급 효과	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 도심지 지반 침하의 대책 수립 및 관리를 위한 기술 적용</li> <li>▪ 국가 재난 및 재해 방지로 인한 국민의 삶의 질 향상 및 지역경제 활성화를 하며, 중동 및 동남아시아의 도시개발에 일체형으로 기술을 적용하여 세계 시장 개척</li> </ul>

(2) 연차별 목표 및 내용

연차	연구목표	연구내용
1차년도	지하수-지표수 상호작용 수치 해석 알고리즘 및 프로토콜 개발	- 지하수-지표수 경계면 상호작용 모니터링 장비 개선 및 실험실 규모 검증
2차년도	지하수-지표수 경계면 상호작용 모니터링 기술 및 상호작용에 관한 연구	- 실험실 규모 실시간 지하수-지표수 경계면 상호작용 모니터링 기술 개발 - 지하수-지표수 경계면 온도 및 수리 물성치(열전도도, 하상누수 계수, 공극율, 수리전도도, 열확산계수) 추정 및 시공간적 실시간 유출입량 정량화 기술 개발
3차년도	현장규모 3차원 지하수-지표수 상호작용 프로그램 개발	- 현장 규모 지하수-지표수 경계면 상호작용 모델링 기술개발 - 현장 수리지질학적 및 수문학적 조사
4차년도	시험유역 운영을 통한 지하수-지표수 상호작용 모니터링 및 검증	- 시험유역 모니터링자료와 수치모형의 비교 - 시험지역 선정을 통한 영향권분석 기법 적용
5차년도	도심지 굴착시 지하수 관리에 관한 법제도 개선	- 지하수위 하강 저감을 위한 대책 및 사전방지 조치를 위한 제도정비

(3) 최종성과물 및 성과지표

과제	성과목표	성과지표		측정방법	단위	목표치	가중치 (0~1)	목표치 설정근거
		구분	지표					
도심지 대규모 굴착에 따른 지하수-지표수 실시간 유동 분석 기술 개발	지하수-지표수 경계면에서 상호작용 해석기술 개발	1	지하수-지표수 상호작용 수치 해석 알고리즘 및 프로토콜 개발	수치해석 알고리즘 개발건수	건	1	0.2	지하수-지표수 경계면 상호작용 모니터링 장비 개선 및 실험실규모 검증
		2	지하수-지표수 경계면 상호작용 모니터링 기술 및 상호작용에 관한 연구	경계면 모니터링 자료의 신뢰성 (이론치와의 비교 R2)	-	0.8	0.2	경계면 모니터링의 성공여부
	3	현장규모 3차원 지하수-지표수 상호작용 프로그램 개발	프로그램의 정확성 (관측치와의 비교 R2)	-	0.8	0.3	현장규모 검증을 위한 자료수집 필요	
	4	경계면 모니터링을 통한 안전기준 제시	굴착시 지하수 하강속도 및 경계면 유량기준수립	건	1	0.3	신규모니터링 항목을 통한 안전기준제시	

## 라. 4세부과제

## (1) 연구개발 목표 및 주요 연구내용

세부과제명	<ul style="list-style-type: none"> <li>광역 지하수 계측망을 활용한 이상징후 탐지 기술개발</li> </ul>
배경 및 필요성	<ul style="list-style-type: none"> <li>지하수와 지질은 도심형 재난재해 발생시 주요 영향인자로 작용하나 관측기술 및 관리수준 역시 선진국에 비해 낮아 도심지내 인위적인 구조물이나 굴착 등에 의한 영향을 파악하기 어려운 실정임</li> <li>싱크홀을 해결하려는 정부 정책과 부합하여 도심지의 지반지질의 변형, 지하수의 변화에 대한 정량적인 평가 기술을 위한 제반자료 구축이 필요함</li> <li>기존의 지하수 및 탐사관련 기술은 획득방법이나 분석방법 개선이 주된 목적이며 터널 및 지하철, 방폐장 등 국부적인 지하개발에 따른 지하수 영향평가가 다양하게 이루어지고 있음</li> </ul>
정부지원 필요성	<ul style="list-style-type: none"> <li>지하수 관리 기본 계획으로 기존에 구축된 광역 지하수 계측망을 적극적으로 활용하여 국민안전기술을 실현함. 주변나라에서 나타나는 지진, 해일과 같은 피해에 대한 대책이 시급하나 민간으로는 단기적인 이익이 없으므로 단독수행이 어려우며 새로운 방법을 강구하기 보다는 기존의 정부에서 구축된 시설을 적극 활용하여 개발 후 지하수위 저하로 인한 지반침하 및 함몰현상 방지를 위한 예고 시스템 개발 필요성이 대두됨</li> </ul>
세부과제의 개념 및 범위	<ul style="list-style-type: none"> <li>추가적인 지하개발시 예상위험에 대한 전략적 접근을 위해 획득자료를 효율적으로 이용하기 위한 탐사방법의 제고 및 3차원 지하수 분포, 지하구조물 매설물 분석이 필요하며 이를 활용하여 지반침하 위험도를 평가함</li> </ul>
세부과제의 목표	<ul style="list-style-type: none"> <li>지하수 분포를 파악하기 위한 최적 지하수위 관측망 설정 프로그램</li> <li>기존의 광역 지하수 계측망을 점검하고 지하수 계측망 교란으로 인한 이상징후(지반함몰, 침하, 누수, 지진 등)를 사전에 파악하여 예고하는 시스템구축</li> </ul>
주요내용	<ul style="list-style-type: none"> <li>최적 지하수위 관측망 설정 프로그램 개발</li> <li>지하수 네트워크 교란으로 인한 이상징후 발생원인 규명 및 GIS web기반 지하수위 변화에 대한 실시간 이상징후 발생 예고 시스템 개발</li> </ul>
기술적 위험요인	<ul style="list-style-type: none"> <li>지하수 변동 원인 요소에 대한 지하 물성치의 불확실성 내재</li> <li>물성획득을 위한 신호처리 기술의 한계</li> <li>도심지 잡음해소를 위한 조사방법의 한계</li> </ul>
연구개발 추진전략	<ul style="list-style-type: none"> <li>민간 연구기관 및 업체에서 방대한 도심개발 계획 등을 파악하여 지하수위 분포 및 지하 매설물 구조 관리하기에는 인력 및 구조상의 어려움이 있으므로 도심 개발을 허가, 감독하는 정부에서 도심지의 종합적인 지하 관리 시스템을 구축하고 매설물도를 제작, 공급한다면 경제적, 사회적으로 효율성을 높일 수 있음</li> </ul>
기대효과 및 파급효과	<ul style="list-style-type: none"> <li>기술개발 목표 달성시 현재 설치된 광역 계측망을 점검하고 보다 실용적이고 지반침하와 함몰의 원인규명 및 선제적인 대처로 국민 안정 기여에 효과적으로 부응할 것으로 기대됨</li> </ul>

(2) 연차별 목표 및 내용

연차	연구목표	연구내용
1차년도	지하 구조 및 지하매설물의 정밀구조 파악을 위한 기법 조사	- 기존의 시추자료, 지구물리탐사정보 및 지하매설물 정보 수집 및 분석 - 도심지내 지하수관련 정보(수리지질별, 지반특성별 물성치, 수리상수 등) 수집 및 분석 - 탐사 방법 개선 및 기존방법 융복합
2차년도	최적 지하수위 관측망 설정 프로그램 구축	- 시범도심지에서 모니터링 수행 - 현장 수리지질학적 및 수문학적 조사 - 시스템 검증 및 보완
3차년도	지하수 네트워크 교란으로 인한 이상징후 발생원인 규명 기법	- 1,2차년도 성과를 바탕으로 수치해석 자료 구축 - 다양한 원인에 대한 민감도 분석 및 사례별 위험도 예측모사
4차년도	GIS web기반 지하수위 변화에 대한 실시간 이상징후 발생 예고 시스템 개발	- 기존성과분석을 실시간으로 확인하기 위한 GIS-web 혹은 모바일 기반 시스템 구축
5차년도	이상징후 발생 예고 시스템에 대한 사후 검증 및 개선	- 시험지역 자료수집 및 결과 분석을 통해 시스템 검증 - 미비점 보완 및 관리자 운영

(3) 최종성과물 및 성과지표

과제	성과목표	성과지표	측정방법	단위	목표치	가중치 (0~1)	목표치 설정근거
도시 지역 지반 침하 위험도 평가 및 대책 기술 개발	지하매설물의 정밀구조 파악을 위한 기법 개발	1 지하 구조 및 지하매설물의 정밀구조 파악을 위한 기법 조사	기존의 도심지내 시추자료, 지구물리탐사정보, 융복합 탐사해석 기술 조사 보고서	건	1	0.1	도심지 탐사신호 및 분석 기술 확보
	최적 지하수위 관측망 설정 기법	2 최적 지하수위 관측망 설정 프로그램 구축	시범도심지에서 모니터링 수행 및 현장 수리지질학적 및 수문학적 조사보고서	건	1	0.1	현장데이터의 조사의 엄밀성 필요
	지하수 계측망 교란으로 인한 이상징후 평가시스템 구축	3 지하수 네트워크 교란으로 인한 이상징후 발생원인 규명 기법	기법의 타당성 (관측값과의 상관성 $R^2$ )	-	0.8	0.3	수치모사 결과 보정 및 검증 필요
		4 GIS web기반 지하수위 변화에 대한 실시간 이상징후 발생 예고 시스템 개발	모바일 기반 소프트웨어 개발	건	1	0.4	실용화 및 범용화

## 2. (중점추진분야 2) 시공중 지하수위 급변에 따른 지반변형 예측 및 방지기술 개발 분야 세부과제

### 가. 1세부과제

#### (1) 연구개발 목표 및 주요 연구내용

세부과제명	<ul style="list-style-type: none"> <li>지하수 대수층 및 지질분포에 따른 지반 위험성 예측기술</li> </ul>
배경 및 필요성	<ul style="list-style-type: none"> <li>국내의 경우 굴착공사 시 대수층 변화 특성을 파악하기 위해 단순 시추조사에 의해 개략적인 2차원 지반단면도 작성 수준에 그치고 있으며, 다양한 지질조건을 고려하여 대수층 변화 및 지반함몰 위험성을 평가하기 위한 3차원의 해석 분야의 기술에 대한 연구는 매우 미흡한 상태임</li> <li>지하구조물 건설을 위한 굴착 시 주변지반의 지질특성에 따른 토사유출, 지반이완, 공동발생, 침하 및 함몰 등의 거동에 관한 연구는 전무한 실정임</li> <li>국외의 경우 미국, 영국, 캐나다 등에서 관련 기술 연구가 활발히 진행되었으나, 해당 지역의 지질 특성을 반영한 안정해석 모델링 기술이므로 국내에 직접 사용하기에는 어려움이 있으며 국내 환경에 최적화된 기술개발이 별도로 이루어져야 함</li> </ul>
정부지원 필요성	<ul style="list-style-type: none"> <li>해당 기술은 실제로 민간에서 활용하게 될 기술이지만, 기술을 활용하게 되는 목적이 국가나 지자체가 굴착공사 시 지반함몰 재해를 예방하기 위한 관리, 감독의 성격이므로 정부 차원에서 표준화된 해석 및 평가 기술을 개발하여 민간에 보급하는 것이 타당함. 물론 연구개발은 민간과 공동으로 추진하여 연구개발 비용을 정부와 분담하는 방안이 적절함</li> </ul>
세부과제의 개념 및 범위	<ul style="list-style-type: none"> <li>도심지 굴착공사 시 지반의 지질특성에 따라서 대수층의 지하수위 변화 특성이 상이하게 나타나는 현상을 정량화하고, 이러한 지하수위의 급변이 지반함몰 재해에 영향을 미치는 위험성을 평가할 필요가 있음</li> <li>지질특성별 대수층 변화특성을 3차원으로 모델링하고, 지반함몰 유형을 분석하여 위험지역에 대하여 기존의 안정화 공법을 적용할 시 최적으로 시공 가이드라인을 제시하고자 함</li> </ul>
세부과제의 목표	<ul style="list-style-type: none"> <li>지반굴착에 따른 지질별 대수층 변화 특성 분석을 위한 3D 모델링 기술</li> <li>지질특성별 지하수 대수층 변화에 따른 지반함몰 안정성 평가 기법</li> <li>지질특성별 지반함몰 위험지역 안정화 공법 시공 가이드라인</li> </ul>
주요내용	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 지질특성별 지하수 대수층 변화에 따른 지반함몰 안정성 예측 및 평가 기법</li> <li>▪ 기존 도심지 대수층 변화 관련 3차원 지반구조 및 지반이상대 분석 기술 자료 수집 및 동향 조사</li> <li>▪ 지형 및 기존 지하정보를 활용한 지반구조 및 지질이상대 분석 기법 개발</li> <li>▪ 지반굴착에 따른 지질별 대수층 변화 특성 분석 기법 개발</li> <li>▪ 지질특성별 지하수 대수층 변화에 따른 지반함몰 유형 분석 및 표준화</li> <li>▪ 지질특성별 지하수 대수층 변화에 따른 지반함몰 안정성 평가 기법 개발</li> <li>○ 지반굴착에 따른 지질별 대수층 변화 특성 분석을 위한 3D 모델링 기술</li> <li>▪ 지반굴착에 따른 지질별 대수층 변화 및 지반거동 3D 모델링 기술 개발</li> <li>▪ 도심지 대수층 변화 관련 3차원 지반구조 및 지질이상대 분석 기술 개발</li> <li>▪ 3차원 지반구조 및 지반이상대 관련 지반조사 방법, 항목 및 기준 설정</li> </ul>

	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 지질특성별 지반함몰 위험지역 안정화 공법 시공 가이드라인</li> <li>▪ 지질특성별 지반함몰 안정성 평가 기법 현장 적용 및 검증</li> <li>▪ 지질특성별 지반함몰 위험지역 안정화 공법 시공 가이드라인 제시</li> </ul>
기술적 위험요인	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 기술개발하는 과정에서 발생할 것으로 예상되는 위험요인들을 제시함 (선행된 유사과제 수행시 실패한 사례들을 토대로 작성함)</li> </ul>
연구개발 추진전략	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 해당 기술은 국가나 지자체가 굴착공사 시 지반함몰 재해를 예방하기 위한 예방적 영향평가 성격이므로 공신력 있는 정부출연연구기관이 주관하여 수행하는 것이 타당함</li> <li>▪ 연구 내용 중 메커니즘 분석 등 기초연구 분야에 있어서는 학계와 공동으로 연구를 수행하고, 최종적으로 개발되는 성과의 검증 및 실용화를 위하여 민간기업과의 참여도 유도하는 것이 타당함</li> <li>▪ 개발된 기술은 지침 및 가이드라인을 구체적으로 작성하여 실무에 보급할 수 있도록 하여야 함</li> </ul>
기대효과 및 파급효과	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 도심지 지반함몰과 붕괴는 최근에 언론을 통해 발생 사례들이 보도되면서 사회 이슈화되어 큰 관심을 모으고 있음. 특히 사전에 감지하지 못하고 갑작스레 도로가 붕괴하는 현상에 대하여 불안감과 함께 정확한 원인과 대처가 어려워 국민적 신뢰성을 확보하기 어려움</li> <li>▪ 따라서, 국가 차원에서 대비책을 준비하여 현장에서 발생할 수 있는 다양한 지반종류별 지하구조물 주변지반의 급격한 지하수 변화 등에서 초래할 수 있는 도심지 지반 재해에 대한 효과적 대책이 가장 기본이 되는 기초 이론으로 활용될 수 있으며, 이러한 측면에서 본 연구는 큰 의미를 갖는다고 할 수 있음</li> <li>▪ 또한 개발 기술은 민간 기업으로 기술이전을 통하여 실용화를 추진함으로써 침체된 국내 건설시장에서 지반굴착 및 지하수 관련 분야 관련 시장에 경제적 파급효과도 기대할 수 있음</li> </ul>

(2) 연차별 목표 및 내용

연차	연구목표	연구내용
1차년도	지질특성별 지하수 대수층 변화에 따른 지반함몰 안정성 평가 기법	-기존 도심지 대수층 변화 관련 3차원 지반구조 및 지반이상대 분석 기술 자료 수집 및 동향 조사
	지반굴착에 따른 지질별 대수층 변화 특성 분석을 위한 3D 모델링 기술	-3차원 지반구조 및 지반이상대 관련 지반조사 방법, 항목 및 기준 설정
2차년도	지질특성별 지하수 대수층 변화에 따른 지반함몰 안정성 평가 기법	-지형 및 기존 지하정보를 활용한 지반구조 및 지질이상대 분석 기법 개발
	지반굴착에 따른 지질별 대수층 변화 특성 분석을 위한 3D 모델링 기술	-도심지 대수층 변화 관련 3차원 지반구조 및 지질이상대 분석 기술 개발
3차년도	지질특성별 지하수 대수층 변화에 따른 지반함몰 안정성 평가 기법	-지반굴착에 따른 지질별 대수층 변화 특성 분석 기법 개발
	지반굴착에 따른 지질별 대수층 변화 특성 분석을 위한 3D 모델링 기술	-지반굴착에 따른 지질별 대수층 변화 및 지반거동 3D 모델링 기술 개발
4차년도	지질특성별 지하수 대수층 변화에 따른 지반함몰 안정성 평가 기법	-지질특성별 지하수 대수층 변화에 따른 지반함몰 유형 분석 및 표준화 -지질특성별 지하수 대수층 변화에 따른 지반함몰 안정성 평가 기법 개발
5차년도	지질특성별 지반함몰 위험지역 안정화 공법 시공 가이드라인	-지질특성별 지반함몰 안정성 평가 기법 현장 적용 및 검증 -지질특성별 지반함몰 위험지역 안정화 공법 시공 가이드라인 제시

## (3) 최종성과물 및 성과지표

과제	성과목표	성과지표	측정방법	단위	목표치	가중치 (0~1)	목표치 설정근거	
지하수 대수층 및 지질 분포에 따른 지반함몰 위험성 평가	지반함몰 안정성 평가 기법	1	평가기법 완성도	현장 측정치 적용 및 비교	회	5	0.4	토사유출, 지반이완, 공동발생, 침하 및 함몰 등의 거동에 관한 연구 필요
	지반 3D 모델링 기술	2	지반모델링 기술	현장지반 모델링 구현	회	5	0.3	대수층 변화 및 지반함몰 위험성을 평가하기 위한 3차원의 해석필요
	안정화 공법 시공 가이드라인	3	가이드라인 제시	가이드 라인 적정성 검토	건	1	0.3	국내 환경에 최적화된 기술개발 필요

## 나. 2세부과제

## (1) 연구개발 목표 및 주요 연구내용

세부과제명	<ul style="list-style-type: none"> <li>지반 굴착 중 지하수위 급변에 따른 단기 변형 예측 기술</li> </ul>
배경 및 필요성	<ul style="list-style-type: none"> <li>현재 국내 굴착현장에서는 토류벽, 앵커 등 가시설과 인접 건축물에 대해 경사계, 수위계, 응력계 등의 계측센서를 위주로 구조물 변형의 계측을 목적으로 수행되고 있음</li> <li>단순 계측값의 측정, 기재 중심의 낮은 기술 수준으로 이루어지고 있으며 지반변형의 가장 중요한 인자인 지하수위 변동과 연계한 계측계획이나 연관된 계측자료와의 종합적 분석과 예측은 이루어지지 않고 있음</li> <li>도심밀집과 개발이익 측면으로 인해 굴착심도와 굴착규모가 점차 증대되고 있고 구조물 역시 대형화되는 추세여서 지하수위 변동에 따른 영향은 증가하고 있음</li> <li>따라서, 단순 계측관리수준에서 벗어나 지하수 변동과 연계된 지반 변형의 예측기술의 확보는 매우 시급한 상황임</li> </ul>
정부지원 필요성	<ul style="list-style-type: none"> <li>최근 싱크홀로 통칭되는 도로, 인도 등의 함몰사고가 빈번히 발생하여 국민의 불안이 가중되고 있어 이를 해소하고 안전한 국가관리라는 목표를 수립한 정부정책과 매우 부합하는 과제임</li> <li>아울러 지반굴착에 의해 지반변형이 발생하고 재해로 이어질 경우 해당 사업주체 뿐만 아니라 다수의 피해가 발생하므로 정부가 지원하여 본 과제의 성과에 대해 공공성을 확보하는 것이 중요하다고 판단됨</li> </ul>
세부과제의 개념 및 범위	<ul style="list-style-type: none"> <li>대규모 지반 굴착시 지하수위의 변화로 인하여 발생하는 단기 지반변형 특성을 규명하여 실제 시공시 단기 변형을 예측하는 기술을 확보하고 이를 토대로 시공중의 가시설에 대한 최적 설계 방안을 제시하고자 함</li> </ul>
세부과제의 목표	<ul style="list-style-type: none"> <li>지반굴착 유형별 지하수위 변화에 따른 단기 지반변형 특성 규명</li> <li>지반굴착 유형별 단기 지반변형 예측 모형 개발 및 설계 기준 수립</li> </ul>

주요내용	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 지반굴착 유형별 지하수위 변화에 따른 단기 지반변형 특성 규명             <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 지반 굴착에 따른 지반변형 요인 평가를 위한 계측(지하수, 변위 등) 및 운영</li> <li>▪ 지하수위의 단기 강하 및 회복 개념 모델 구축</li> <li>▪ 기초 터파기 굴착시 지질분포 및 지하수 영향에 따른 지반침하 특성 물리모형 실험</li> <li>▪ 기초 터파기 굴착시 지하수 유출과 지반변형 복합 모델링을 활용한 단기 지반변형 예측</li> <li>▪ 굴착중 지하수위 변화 및 구조물 완공후 지하수위 복원에 대한 평가</li> <li>▪ 지하철 굴착시 지질분포 및 지하수 영향에 따른 지반침하 특성 물리모형 실험</li> <li>▪ 지하철 굴착시 지하수 변화와 지반변형 복합 모델링을 활용한 단기 지반변형 예측</li> </ul> </li> <li>○ 지반굴착 유형별 단기 지반변형 예측 모형 개발 및 설계 기준 수립             <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 지하수위 강하 및 회복을 고려한 보급형 지반변형 평가 모델 구성</li> <li>▪ 지하수위 강하 및 회복을 고려한 보급형 지반변형 평가 모델 개발</li> <li>▪ 물리모형과 수치모형의 비교를 통한 지하수의 지반변형에 미치는 영향 평가</li> <li>▪ 지반 굴착 유형별 단기 지반변형 방지를 위한 설계 기준 수립</li> </ul> </li> </ul>
기술적 위험요인	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 기술개발하는 과정에서 발생할 것으로 예상되는 위험요인들을 제시함 (선행된 유사과제 수행시 실패한 사례들을 토대로 작성함)</li> </ul>
연구개발 추진전략	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 본 과제는 지하수, 수리지질, 토목계측, 지반공학 등 여러 분야의 전문가 연구팀을 구성하여야 하므로 단일 민간 기관의 수행이 곤란함</li> <li>▪ 본 기술은 실제 시공 현장을 testbed로 지정 활용하여야 하며, 기존의 장기 계측 자료와 신규 계측 자료를 종합적으로 검토하여 해석되어야 함</li> <li>▪ 또한, 단기 예측에 대한 기술이므로 다양한 물리적·수치적 모델링이 수행되어야 함. 따라서, 실제 규모를 축소한 물리 모형을 통하여 발생 메커니즘을 규명하고, 수치 모델과의 비교 분석을 통하여 단기 변형을 파악하여야 함</li> <li>▪ 지반 굴착의 유형별(기초 터파기, 지하철 등 터널 굴착) 다양한 실험이 수행되어야 하므로 관련 testbed 확보가 매우 중요함</li> </ul>
기대효과 및 파급 효과	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 기술적 측면으로는 국내 계측기술의 수준향상을 도모하고, 굴착현장 지하수 양수, 집중호우 등 지하수위 변동을 유발하는 다른 재해요인에 의한 영향을 예측하는 분야로 확장적용이 가능함</li> <li>▪ 사회경제적 측면으로는 지반 변형의 단기 예측이 가능해짐으로써 굴착공사 현장의 안전성이 제고되며, 공사현장 인접 주민들의 불안감을 해소하여 불필요한 사회적 갈등을 방지함으로써 사회적 갈등비용의 절감이 가능할 뿐 아니라 계측센서·자동측정시스템·예측분석시스템을 통합한 시스템의 형태로 고부가가치 기술로 수출이 가능할 것으로 판단된다.</li> <li>▪ 정책적 측면에서는 지반굴착현장 관리에 관한 지침, 고시 등의 가이드라인의 제정이 가능함</li> </ul>

## (2) 연차별 목표 및 내용

연차	연구목표	연구내용	
1차년도	지반굴착 유형별 지하수위 변화에 따른 단기 지반변형 특성 규명	<ul style="list-style-type: none"> <li>지반 굴착에 따른 지반변형 요인 평가를 위한 계측(지하수, 변위 등) 및 운영</li> <li>지하수위의 단기 강하 및 회복 개념 모델 구축</li> </ul>	
2차년도		<ul style="list-style-type: none"> <li>기초 터파기 굴착시 지질분포 및 지하수 영향에 따른 지반침하 특성 물리모형 실험</li> <li>기초 터파기 굴착시 지하수 유출과 지반변형 복합 모델링을 활용한 단기 지반변형 예측</li> <li>굴착중 지하수위 변화 및 구조물 완공후 지하수위 복원에 대한 평가</li> </ul>	
3차년도		<ul style="list-style-type: none"> <li>굴착중 지하수위 변화 및 구조물 완공후 지하수위 복원에 대한 평가</li> <li>지하철 굴착시 지질분포 및 지하수 영향에 따른 지반침하 특성 물리모형 실험</li> </ul>	
		<ul style="list-style-type: none"> <li>지하철 굴착시 지하수 변화와 지반변형 복합 모델링을 활용한 단기 지반변형 예측</li> </ul>	
4차년도		지반굴착 유형별 단기 지반변형 예측 모형 개발 및 설계 기준 수립	<ul style="list-style-type: none"> <li>지하수위 강하 및 회복을 고려한 보급형 지반변형 평가 모델 개발</li> <li>물리모형과 수치모형의 비교를 통한 지하수의 지반변형에 미치는 영향 평가</li> </ul>
5차년도			<ul style="list-style-type: none"> <li>지반 굴착 유형별 단기 지반변형 방지를 위한 설계 기준 수립</li> </ul>

## (3) 최종성과물 및 성과지표

과제	성과목표	성과지표	측정방법	단위	목표치	가중치 (0~1)	목표치 설정근거
지반 굴착 중 지하수위 급변에 따른 단기 변형 예측 기술	지반변형 특성 규명	1 <ul style="list-style-type: none"> <li>지하수위 변화에 따른 단기 지반변형 특성 분석</li> </ul>	분석건수	회	5	0.4	지하수 변동과 연계된 지반 변형의 예측기술의 확보는 매우 시급한 상황
	지반변형 예측 모형 개발 및 설계 기준 수립	2 <ul style="list-style-type: none"> <li>지반변형 예측 모형 개발</li> </ul>	모형 구축완성도	%	100	0.3	
	3 <ul style="list-style-type: none"> <li>설계 기준 수립</li> </ul>	정적성 여부	%	90	0.2		

### 다. 3세부과제

#### (1) 연구개발 목표 및 주요 연구내용

세부과제명	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 굴착시 지하수에 의한 지반변형 방지 공법 개발</li> </ul>
배경 및 필요성	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 토류벽 벽체 시공이 불량한 경우 지하수 유입으로 인하여 배면 지반이 침하되는 사례 다수 발생</li> <li>▪ 현재 토류벽 시공 후 지반 굴착 전까지 지하수 유입의 사전 예측이 어려움</li> <li>▪ 지반침하 방지를 위하여 지반 굴착 전 토류벽 벽체의 건전도 평가기술 및 지하수 유출 예측 기술개발 필요</li> <li>▪ 도심지 지하 굴착 시 지하수가 굴착 공간으로 유입되면서 상부 또는 배면 지반이 침하되는 사례 다수 발생</li> <li>▪ 현재 지하수 유출 방지를 위한 토사지반개량 및 주입공법은 급결주입재를 사용하지 않을 경우에는 투수성이 크고 지하수 유속이 빠른 지반에서 적용에 한계가 있으며, 급결주입재를 사용할 경우 시간 경과에 따른 급결주입재의 용탈 등에 따른 품질 저하 등의 문제가 발생하고 있음</li> <li>▪ 도심지 지하 굴착 시 지하수 유출에 따른 지반침하 방지를 위하여 고내구성 지반개량 기술(공법) 개발 필요</li> </ul>
정부지원 필요성	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 최근 싱크홀로 통칭되는 도로, 인도 등의 함몰사고가 빈번히 발생하여 국민의 불안이 가중되고 있어 이를 해소하고 안전한 국가관리라는 목표를 수립한 정부정책과 매우 부합하는 과제임</li> <li>▪ 본 과제는 지하수, 수리지질, 토목계측, 지반공학 등 여러 분야의 전문가 연구팀을 구성하여야 하므로 단일 민간 기관의 수행이 곤란함</li> <li>▪ 아울러 지반굴착에 의해 지반변형이 발생하고 재해로 이어질 경우 해당 사업주체 뿐만 아니라 다수의 피해가 발생하므로 정부가 지원하여 본 과제의 성과에 대해 공공성을 확보하는 것이 중요하다고 판단됨</li> </ul>
세부과제의 개념 및 범위	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 장기간 지하수 유입을 방지할 수 있는 지반개량 공법 개발</li> <li>▪ 지반굴착 시 지하수 유입 예측기술 개발</li> </ul>
세부과제의 목표	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 도심지 지반 굴착시 지하수 유입을 사전에 예측하고, 이를 방지할 수 있는 고내구성 지반개량 공법 개발</li> </ul>
주요내용	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 고내구성 주입재료 및 시공 장비·장치·공법 개발</li> <li>▪ 토류벽 사전 건전도 모니터링 기술 및 지하수 유입 예측기술 개발</li> </ul>
기술적 위험요인	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 국내 물리탐사 관련 전문 장비·소프트웨어 개발 인프라 부족</li> </ul>
연구개발 추진전략	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 현재 개발되어 있는 물리탐사 장비 및 소프트웨어를 활용한 응용기술 개발</li> <li>▪ 관련 시설·인력 인프라를 보유한 산업계 연계를 통한 고내구성 지반개량 재료 및 공법 독자 개발</li> </ul>
기대효과 및 파급효과	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 도심지 지하굴착으로 인한 인적·물적 피해 방지</li> <li>▪ 도심지 지하굴착 공사현장 인접 주민들의 불안감을 해소하여 불필요한 사회적 갈등을 방지함으로써 사회적 갈등비용 절감</li> </ul>

## (2) 연차별 목표 및 내용

연차	연구목표	연구내용
1차년도	선행기술 조사	- 선행 기술 조사 및 적용성 분석 - 개발기술 메커니즘 도출
2차년도	시제품 개발	- 토류벽 건전도 평가 및 지하수 유입예측 시스템 시제품 개발 - 내구성 주입재료 개발 및 성능 평가
3차년도	시제품 개선 및 검증	- 지하수 유입예측 시스템 시제품 개선 및 검증 - 지반개량 시공 장비·장치 제작
4차년도	성능평가 및 현장 모니터링	- 개발 기술 현장 검증 및 성능 평가 - 현장 모니터링
5차년도	현장적용 및 활용 가이드라인 개발	- 개발 기술 현장 적용 - 개발기술 적용 가이드라인 및 시방서/시공지침서/유지관리지침서 개발

## (3) 최종성과물 및 성과지표

과제	성과목표	성과지표	측정방법	단위	목표치	가중치 (0~1)	목표치 설정근거
토류벽 굴착 중 사전 지하수 유출 가능성 평가 및 벽체 건전도 모니터링 기술	1	시제품	시제품	건	1	0.1	- 지하수 유입 모니터링 시스템 1건
	2	특허	특허	건	1	0.2	- 지하수 유입 모니터링 시스템 1건
	3	학술발표, 논문	학술발표, 논문	건	1	0.2	- 지하수 유입 모니터링 1건
	4	실내시험	보고서	건	1	0.2	- 지하수 유입 모니터링 1건
	5	현장적용	보고서	건	1	0.3	- 지하수 유입 모니터링 1건
지하굴착 시 지하수 유출 방지를 위한 고내구성 지반개량 및 주입공법	1	시제품	시제품	건	2	0.1	- 고내구성 주입재료 1건 - 지반개량 장비 1건
	2	특허	특허	건	2	0.2	- 고내구성 주입재료 1건 - 지반개량 장비 1건
	3	학술발표, 논문	학술발표, 논문	건	2	0.2	- 고내구성 주입재료 개발 및 현장시험 2건
	4	실내시험	보고서	건	1	0.2	- 고내구성 주입재료 1건
	5	현장적용	보고서	건	1	0.3	- 고내구성 주입공법 1건

## 라. 4세부과제

## (1) 연구개발 목표 및 주요 연구내용

세부과제명	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 도심지 함몰 예방 및 지하수 관리를 위한 정책 수립 및 적용방안 연구</li> </ul>
배경 및 필요성	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 국내 도심지 지반함몰의 경우 지질 및 지하수의 지역적 특성과 같은 자연적 원인과 지하수 유출수의 양수 및 지하구조물, 노후 관거 훼손에 의한 토사 유실과 같은 인위적 원인에 의하여 많이 발생되고 있음</li> <li>▪ 해외의 경우, 미국은 석회암과 같은 지질학적 요인에 지하수 누수 및 이로 인한 토사유실 등과 같은 복합적인 원인에 의한 지반함몰이 발생하는 경우가 많음. 이에 대응하여 국가적으로 지원시스템을 마련하고 있으며, 대용 매뉴얼 제공 등의 안전대책을 마련하고 있으며, 일본은 정부차원에서 지침을 마련하여 도심지내 지하수와 연계된 지반함몰조사를 실시하고 있음</li> </ul>
정부지원 필요성	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 최근 싱크홀로 통칭되는 도로, 인도 등의 함몰사고가 빈번히 발생하여 국민의 불안이 가중되고 있어 이를 해소하고 안전한 국가관리라는 목표를 수립한 정부정책과 매우 부합하는 과제임</li> <li>▪ 지속적인 지하수와 연계된 지하안전에 미치는 영향을 미리 조사·예측·평가하여 지반함몰을 예방하거나 감소시키기 위한 평가 및 관리기술의 수립을 체계적으로 관리하는 정책 수립 필요</li> </ul>
세부과제의 목표	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 지반함몰 예방을 위한 안전한 지하수 관리를 통하여 지반구조 영향평가·관리 기술의 수립 및 이행을 위한 정책 연구</li> </ul>
주요내용	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 국내외 지하수와 연계된 지반함몰 관련 정책 현황 분석, 주요 적용 사례 및 활용 전과정 모니터링을 통한 관련 정책 인벤토리 구축</li> <li>▪ 지하안전관리의 환경적 안정성 평가를 위한 사전 안정성 평가 항목 수립 및 지침 수립</li> <li>▪ 도심지 지반함몰 예방을 위한 지하수 관리를 위한 법·제도 개선 사항 및 신규 제정 방안 수립</li> <li>▪ 친환경적 활용 증진 및 관련 법·제도 적용 효과 이행평가 및 관리지침수립</li> </ul>
연구개발 추진전략	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 지하수와 연계된 지반함몰 방지의 특성 및 친환경적 관리 정책, 이행 방안 및 지침 수립을 고려한 전문 집단의 전문성 필요</li> </ul>
기대효과 및 파급효과	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 지하수와 연계된 지반함몰이 발생하는 환경적 문제에 대한 기준 및 범위 등 안정성 평가 항목 및 지침 수립</li> <li>▪ 지하수 관리의 안전성 및 효율성을 증가시키는 방안을 기반으로 현재 국내 관련 법규의 세부 개선 사항 도출</li> </ul>

(2) 연차별 목표 및 내용

연차	연구목표	연구내용
1차년도	국내외 지하수와 연계된 지반함몰 관련 정책 현황 분석	<ul style="list-style-type: none"> <li>해외 선진국 사례 및 국내 사례를 중심으로 지반함몰과 연계된 지하수 영향 최소화 관련 법정 공간적 범위, 법정 활용 방안, 법정 기술 현황 분석 및 정책 수립과 이행 관련 가이드 라인 분석</li> <li>분석된 내용을 바탕으로 실제 지하수 영향 최소화 설계 조성 프로젝트에 적용된 사례를 전과정으로 활용 사례를 대조 분석</li> <li>전술된 해외 및 국내 사례와 분석된 정책 현황을 '정책 인벤토리'로 구축하여 향후 국내 적용 수립</li> </ul>
2차년도	지하안전관리의 환경적 안정성 평가를 위한 사전 안정성 평가 항목 수립 및 지침 수립	<ul style="list-style-type: none"> <li>지하수와 연계된 지반함몰이 발생하는 환경적 문제에 대한 기준 및 범위 등 안정성 평가 항목 및 지침 수립</li> <li>시범 지역에 전술된 안정성 평가 항목 적용한 항목 타당성 및 적정성 검토</li> </ul>
3차년도	<p>도심지 지반함몰 예방을 위한 지하수 관리를 위한 법·제도 개선 사항 및 신규 제정 방안 수립</p> <p>친환경적 활용 증진 및 관련 법·제도 적용 효과 이행평가 및 관리지침 수립</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>지하수 관리의 안전성 및 효율성을 증가시키는 방안을 기반으로 현재 국내 관련 법규의 세부 개선 사항 도출</li> <li>관련 신규 법제도 제정에 필요한 세부 항목 선정 및 타당성 분석</li> <li>지반굴착 유형별 단기 지반변형 방지를 위한 설계 기준 수립</li> <li>지하수위 변동에 따른 지반함몰 및 구조물 영향 저감을 위한 법제도 개선</li> <li>전술된 안정성 평가 및 지하수와 연계된 지반굴착과 관련된 친환경적 법·제도의 이행, 적정성과 효과에 대한 이행평가 방안 수립</li> <li>지반함몰과 같은 관련 환경문제를 저감을 위한 관리 지침 마련</li> <li>현재 및 미래 수요를 반영한 관리 방안과 관리 주체별 특성을 반영한 관리 지침 마련</li> </ul>

(3) 최종성과물 및 성과지표

과제	성과목표	성과지표	측정방법	단위	목표치	가중치 (0~1)	목표치 설정근거
보고서	1	<ul style="list-style-type: none"> <li>국내외 관련 정책 및 적용 전과정 모니터링 기반의 정책 인벤토리</li> </ul>	특성 분석 건수 (현장 적용)	회	5	0.3	<ul style="list-style-type: none"> <li>지하수 관리와 연계한 지반함몰 저감을 위한 정책 적용 및 활용에 관한 연구가 필요함.</li> </ul>
		<ul style="list-style-type: none"> <li>안정성 평가 항목 및 매뉴얼</li> </ul>	평가 방안 적정성 분석(자문)	점	80	0.4	
		<ul style="list-style-type: none"> <li>신규 관리 지침 및 관련 정책 세부 개선안</li> </ul>	지침 및 법률 개선	건	2	0.3	

### 3. (중점추진분야 3) 지반침하에 따른 지반 위험도 평가 및 대책 기술개발 분야 추진 과제

#### 가. 1세부과제

##### (1) 연구개발 목표 및 주요 연구내용

세부과제명	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 시공후 지하수위 변화를 반영한 기존 구조물 주변 지반 위험도 평가 기술</li> </ul>
배경 및 필요성	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 국내 지반함몰 지역의 대부분은 최근 공사가 진행되는 지역에서 발생하였으나, 소규모 함몰의 경우에는 시공후 오랜 시간이 경과하고 지하수 유동에 장기간의 변화가 발생한 경우에 나타나고 있어 이에 대한 장기 함몰 특성 평가 기술 개발이 요구됨</li> </ul>
정부지원 필요성	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 본 연구는 구조물 굴착이나 설치 이후 장기간이 경과한 이후에 발생하는 함몰 특성을 연구하는 것으로서 함몰의 원인이 불분명하고 책임소재가 명확하지 않는 등의 문제점이 존재하여 정부의 예산을 활용한 특성 연구가 수행될 필요가 있음</li> </ul>
세부과제의 개념 및 범위	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 본 세부과제는 현장의 조사자료, 계측자료 및 물성치를 활용하여 실제 규모를 축소한 모형을 다양한 조건에 맞도록 제작하여 장기간의 시간이 경과할 경우에 발생할 수 있는 지반 변형의 양상과 특성을 연구하고자 함</li> </ul>
세부과제의 목표	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 도시지역 개발 후 장기간 경과시 나타나는 지반함몰 현상에 대한 과정과 특성을 규명하고자 함</li> </ul>
주요내용	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 도시지역 장기 변화 계측 자료 수집 및 분석</li> <li>▪ 물리실험을 활용한 장기 변형 특성 분석</li> <li>▪ 장기적 지하수 변화와 지반변위를 동시 해석할 수 있는 융합프로그램 개발</li> <li>▪ 노후화 도시 시설물 주변의 함몰위험도 평가 기준 개발</li> </ul>
기술적 위험요인	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 본 과제와 관련된 선행 연구는 거의 수행된 바 없으나, 본 과제를 수행함에 있어서 현장의 장기간의 실측 데이터의 획득에 한계가 존재할 수 있음</li> </ul>
연구개발 추진전략	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 외국의 유사 사례를 조사하고 관련 전문가의 자문을 통하여 물리실험을 이용한 장기 변형에 대한 특성을 규명하고자 함</li> <li>▪ 본 과제의 선행 및 유사 연구가 거의 이루어지지 않았기 때문에 연구의 성공 가능성에 대한 위험이 존재하고 있으나, 지반함몰이 수십년 이상 지속되었던 일본, 동남아 및 중국 등의 전문가와 긴밀한 협의 및 자문을 통하여 연구를 수행할 필요가 있음</li> <li>▪ 장기간의 실측 데이터 확보는 본 연구의 초기부터 과제 종료되는 5차년까지 지속적으로 추진하되, 외국의 장기 계측자료를 우선적으로 수집 분석하여 침하 특성을 규명하여야 하며, 국내 계측자료가 확보된 이후에는 관련된 추가 분석을 통하여 국내 실정에 맞는 결과를 도출하여야 함</li> </ul>
기대효과 및 파급 효과	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 도심지 지반변동 예측을 통해 지반 함몰 발생가능성을 사전 예지함으로써 사회적 안정감 제고를 통한 국민 안전 확보 및 행복 증진</li> <li>▪ 도심지 싱크홀 발생의 예측에 따른 직접적 복구비용 및 간접적 사회비용 절감 가능</li> <li>▪ 도심지 지반구조물의 내구성 향상 및 장기적 안정성 확보에 기여</li> </ul>

(2) 연차별 목표 및 내용

연차	연구목표	연구내용
1차년도	장기 변형계측 기존연구 분석 및 물리모형계획 수립	- 구조물 유형별 지반굴착 시공 및 보강 특성 평가 - 구조물 주변 지반의 장기 변화 계측 특성 자료 수집 및 특성 분석 - 지하수-토조(Groundwater-Soil) 모형시험기 제작
2차년도	물리모형실험을 통한 장기변형 특성 평가	- 융합모델링 입력인자 구축 및 모델링 - 구조물 유형별(지하철 상부, 기초 터파기 등) 모형실험 수행 - 장기 지반침하에 미치는 영향인자별 모형 실험 결과 평가
3차년도	물리모형과 융합모형을 조합한 장기변형 예측 기술 개발	- Coupling 3차원 Groundwater-Geomechanics 융합 모델 개발 - 원심모형실험을 통한 지반공동 발생 영향 평가 및 지반재료의 특성에 따른 거동특성 규명
4차년도	노후 도시구조물 주변 변형취약성 평가 기술 개발	- Coupling 모형을 활용한 장기 지하수위 변화에 따른 지반공동 위험도 분석 및 평가 - 지반재료의 특성에 따른 장기 거동특성 규명 - 모형실험 및 수치해석 결과 기반의 장기 지반변화 위험도 평가 방안 제시
5차년도	노후 도시구조물 주변 지반위험도 평가 시스템 개발	- 노후화 시설물(고층 건축, 지하철 상부 등) 주변의 장기 지반변화 위험도 평가 - 시설물 주변 장기 지반변화 위험도 제작 - 시설물 주변 장기 지반변화 위험도 SMART 서비스 시스템 개발

(3) 최종성과물 및 성과지표

과제	성과목표	성과지표	측정방법	단위	목표치	가중치 (0~1)	목표치 설정근거	
장기 지하수위 변화를 반영한 기존 구조물 주변 지반 변형 위험도 평가 기술	구조물 유형별 장기변형특성 평가방안	1 구조물 유형별 평가 Tool 개발	매뉴얼 발간	건	1	0.3	구조물 유형별 평가 매뉴얼 개발 필요	
	지하수-지반 융합해석 기술 개발	2 융합 해석 지침서 개발	지침서 발간	건	1	0.4	설계에 필요한 지침서 개발	
	도시 노후 구조물 지반변형 위험도 평가	3 위험도 평가 기준 수립	위험도 평가 기준	위험도 평가 기준	건	1	0.3	노후 구조물 주변의 위험도 평가 기준 제시 필요
		4 지반변형 위험도 도면 제작	도면 제작 (1:5,000 이상)	도면 제작 (1:5,000 이상)	건	1	0.5	대표 구조물 주변의 위험도 제작 필요
	지반변형 SMART 서비스 시스템 개발	5 SMART 시스템 개발	시스템 개발	시스템 개발	건	1	0.5	서비스 시스템 구축 필요
	현장 기술 적용	6 기술적용을 통한 검증	위험도 평가 기준의 시범지역 적용 여부	위험도 평가 기준의 시범지역 적용 여부	건	1	0.3	실증과정이 필요함
	학술 성과	7 SCI급 논문	학술지 게재	학술지 게재	건	4	0.5	성과의 검증 및 확산 필요
		8 비SCI급 논문	학술지 게재	학술지 게재	건	6	0.3	성과의 검증 및 확산 필요
		9 국내외 논문발표	발표 여부	발표 여부	건	10	0.1	성과의 검증 및 확산 필요
	지식재산권	10 국내외 특허 출원	출원 여부	출원 여부	건	10	0.8	성과의 등록 및 기술 확보
		11 국내외 특허 등록	등록 여부	등록 여부	건	5	0.8	성과의 등록 및 기술 확보
		12 기타 지식재산권	프로그램, 실용신안	프로그램, 실용신안	건	2	0.5	성과의 등록 및 기술 확보

## 나. 2세부과제

### (1) 연구개발 목표 및 주요 연구내용

세부과제명	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 시공후 구조물 주변 지하수 평가·관리 기법 개발</li> </ul>
배경 및 필요성	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 지하철 및 건축물의 기초 부분은 습윤화 및 물의 유입을 차단하기 위하여 주변의 지하수위를 강제로 저하시키는 시스템을 갖추고 있으며, 이와 같은 유출지하수의 효율적인 평가 및 관리를 위한 기법을 개발함으로써 발생가능한 지반 침하를 예측하는데 활용하고자 함</li> </ul>
정부지원 필요성	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 도시지역의 경우 복잡한 지하 구조 및 과도한 지반 굴착으로 인하여 지반 침하의 문제가 발생하고 있는 만큼, 국민의 안전과 시설물의 보호를 위하여 국가의 지원이 요구됨</li> <li>▪ 본 연구의 경우, 시험 현장을 통하여 실증 실험이 수행되어야 하는 만큼 민간의 단독 수행보다는 공공기관의 참여를 통하여 객관화된 장소에서 객관화된 기술로 개발되는 것이 필요함</li> </ul>
세부과제의 개념 및 범위	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 현장 계측과 실증 실험 등을 통하여 유출지하수의 유출량 및 침하에 미치는 영향을 평가하고 유출 지하수의 저감을 위한 시공 기술을 확보함으로써 침하를 방지하고 유출된 지하수는 재활용할 수 있는 방안을 강구함</li> </ul>
세부과제의 목표	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 도시 대형구조물 주변에서 발생하는 유출지하수의 정량적 평가기법을 개발하고, 저감을 위한 사후 시공기술을 확보하여 유출지하수를 최소화하며 아울러 유출된 지하수의 최적 활용방안을 수립함</li> </ul>
주요내용	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 지하수 유출의 정량적 평가 기법 개발</li> <li>▪ 유출지하수의 재활용을 위한 활용 기술 개발</li> <li>▪ 지하수 유출 저감을 위한 사후 시공 기술 개발</li> </ul>
기술적 위험요인	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 연구가 도시지역 대형 구조물 주변에서 수행됨으로 인하여 정확한 데이터의 취득에 한계가 존재할 수 있음</li> </ul>
연구개발 추진전략	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 유출지하수의 정량적 평가 기법을 수립하기 위하여 모델링, 현장계측 및 물리모형 실험등을 복합적으로 수행되어야 함</li> <li>▪ 도시지역 구조물 주변에서의 유출지하수 데이터의 취득을 위해서는 관할 지자체의 협조와 참여 등이 필요함</li> <li>▪ 유출지하수의 대표적인 구조물은 지하철, 대형건축물 등으로서 이들 관련 인허가 기관 및 관리 기관과의 유기적 협조가 필요함</li> </ul>
기대효과 및 파급효과	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 도시지역에서 수십년 이전에 준공된 고령화된 건축 및 시설물 주변의 유출 지하수를 최소화하여 장기적으로 발생되어 오는 지반침하를 근본적으로 차단할 수 있는 기술을 확보하고자 함</li> <li>▪ 본 기술을 개발함으로써 노후 시설물 주변에서의 지반침하를 차단할 수 있는 신산업 분야를 도출할 수 있고, 이를 통하여 도시지역 지반침하를 예방할 수 있음</li> </ul>

## (2) 연차별 목표 및 내용

연차	연구목표	연구내용
1차년도	유출지하수 특성 평가 및 실험 계획 수립	- 도시지역 유출지하수 현황 및 특성 분석 - 구조물 유형별 연구 계획 정립
2차년도	지하수 유출의 정량적 평가 기법 고안	- 시험 현장 설계 및 구축 - 구조물별 유출지하수의 정량적 평가 기법 고안 - 도시지역 구조물 주변의 지하수 유지 시공기술 고안 및 설계
3차년도	유출지하수 평가 기법 수립 및 저감기술 개발	- 계측, 물리 모형 및 수치 모델 등을 활용한 유출지하수 평가 기법 정립 - 지하수위 저감 기술 개발 및 구조물별 현장 구축
4차년도	시범지역 운영을 통한 기술 검증 및 저감기술 개발	- 구조물별 유출지하수 산정 및 재활용 기술 개발 - 유출지하수 저감 사후 시공 기술의 시험현장 적용
5차년도	저감 공법 표준화 기술 개발	- 시험 현장 운영 및 평가 - 시공후 유출지하수 저감 공법 표준화 설계 및 지침 개발

## (3) 최종성과물 및 성과지표

과제	성과목표	성과지표	측정방법	단위	목표치	가중치 (0~1)	목표치 설정근거	
기완공 구조물 주변 유출 지하수 평가·관리 기법 개발	지하수 유출 저감 공법 개발	1	건축물 기초의 지하수 유출 저감 공법	기존 기술 대비 20% 개선	%	20	0.5	현장 시공에 사용될 수 있는 공법 개발 필요
		2	지하철 구간의 지하수 유출 저감 공법	기존 기술 대비 20% 개선	%	20	0.5	현장 시공에 사용될 수 있는 공법 개발 필요
	유출지하수 평가 기법 정립	3	유출지하수의 평가 모델링 기법 정립	구조물별 모델링 지침서 발간	건	2	0.4	구조물별 모델링 기준을 수립하여 설계, 시공에 활용 필요
	지하수 유출 측정 장치	4	지하수 수량 측정 장치 개발	개발 여부	건	1	0.3	정확한 유출지하수 측정량 파악 필요
	기완공 구조물 주변 지하수 관리 기준 마련	5	도시 구조물 주변 지하수위 유지 기준 및 제도화	지하수위 유지 지침 마련 및 법안 제안	건	1	0.5	침하 예방을 위한 지하수위 유지관리 기준이 필요함
	학술 성과	6	SCI급 논문	학술지 게재	건	6	0.5	성과의 검증 및 확산 필요
		7	비SCI급 논문	학술지 게재	건	6	0.3	성과의 검증 및 확산 필요
		8	국내외 논문발표	발표 여부	건	10	0.1	성과의 검증 및 확산 필요
	지식재산권	9	국내외 특허 출원	출원 여부	건	8	0.8	성과의 등록 및 기술 확보
		10	국내외 특허 등록	등록 여부	건	5	0.8	성과의 등록 및 기술 확보
		11	기타 지식재산권	프로그램, 실용신안	건	2	0.5	성과의 등록 및 기술 확보

#### 4. (중점추진분야 4) 해외시장 진출형 저비용&고신뢰성 도심지 지하수/ 지반침하 네트워크 시스템 개발 분야 추진과제

##### 가. 1세부과제

##### (1) 연구개발 목표 및 주요 연구내용

세부과제명	<ul style="list-style-type: none"> <li>지하수 자료 연계 지반 함몰 측정용 센서 네트워크 시스템 개발</li> </ul>
배경 및 필요성	<ul style="list-style-type: none"> <li>기존의 시추 방식과 차별화된 지반, 지하수, 토양 통합 계측 센서를 개발하여 3차원의 지하 특성 변화를 감지할 수 있는 계측 시스템을 개발</li> <li>공사장에서는 중기계 하중, 지하굴착 또는 지하수 흐름 변동 등으로 하수관로나 맨홀부 등에 지반 이동의 발생을 초래하여 사고발생 가능성이 상존</li> <li>긴 수명의 광섬유 센서기반 지반 변위, 수위, 수온 계측장치를 이용하는 고안전 및 고가용성 모니터링 시스템을 구축하여 지반침하 사고 예방 가능</li> </ul>
정부지원 필요성	<ul style="list-style-type: none"> <li>굴착공사 등 지반공사 시 지하수 변화에 따른 지반의 침하 현상이 도시에서 발생</li> <li>24/365 운영가능한 고안전 및 고가용성 지반이상 모니터링 시스템을 운영하여 싱크홀 등의 비상 상황이 발생할 경우 피해를 예방 또는 최소화</li> </ul>
세부과제의 개념 및 범위	<p>(1차년도)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>변형률, 온도 측정용 광섬유 센서모듈 개발                             <ul style="list-style-type: none"> <li>광섬유 선정, 시장 조사, 장비 구축, 측정 시스템 구축, 센서 개발 및 제작</li> <li>변형률 계측용 FBG와 Brillouin-OTDR 센서 분석: FBG센서는 특정 위치에서 계측하는 측정방식이고, Brillouin-OTDR은 불특정한 다수의 측정점 지원</li> <li>계측 정밀도는 스트레인 게이지와 동일한 오차범위이며 Creep변형을 정량적으로 평가가능</li> <li>온도를 계측용 광섬유 센서 분석: Ramam-OTDR, Brillouin-OTDR, FBG 가능</li> </ul> </li> <li>비 시추 방식의 지반, 지하수, 토양 통합 계측 센서 개발</li> <li>24/365 무중단 운영을 위한 고신뢰성 시스템 기술분석                             <ul style="list-style-type: none"> <li>시스템 결함 및 고장분석, 위험분석 기술개발</li> </ul> </li> </ul> <p>(2차년도)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>광섬유 수위 및 기울기 센서모듈 개발 및 성능/신뢰성 공인기관 시험                             <ul style="list-style-type: none"> <li>수위 계측을 위한 구조로 광센서 설계 후 변위 센서와 유사한 방법으로 제작</li> </ul> </li> <li>Gateway 개발 및 광섬유 변위, 기울기, 수위, 수온 센서 정합장치 개발</li> <li>24/365 무중단 운영을 위한 고안전 및 고가용성 시스템 설계기술 개발                             <ul style="list-style-type: none"> <li>시스템 구조 및 운용 체계에 대한 위험분석, 고장수목, 고장모드분석 등을 실시하여 발생 가능한 구조적 및 운용상의 취약점 및 위험순위 (risk priority) 식별</li> <li>시스템 고장진단 및 고장복구 기술개발</li> </ul> </li> </ul> <p>(3차년도)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>개발된 센서 및 Gateway 연동 시스템 개발</li> <li>고안전 및 고가용성 지반이상 모니터링 시스템 개발</li> </ul>

- 24/365 지반변위를 감시하는 고안전 및 고가용성 모니터링 시스템 설계
- 지반이상 모니터링 시스템용 자가진단 및 고장감내 장치 개발



광섬유 지반, 수온, 수위 센서 모니터링 시스템

세부과제의 목표

- 광섬유 기울기 변위 센서, 수평 변위 센서, 수위 센서, 수온 센서를 이용하는 고안전 및 고가용성 모니터링 시스템 설계
- 비 시추 방식의 지반, 지하수, 토양 통합 계측 센서 개발
- 통합 센서용 통신 시스템 개발
- 3차원 계측자료의 공간 해석 및 표출 기술 개발

주요내용

(1차년도)

- 변형률, 온도 광섬유 센서 개발
  - 광섬유 선정, 시장 조사, 장비 구축, 측정 시스템 구축, 센서 개발 및 제작
  - FBG와 Brillouin-OTDR 광섬유 변형률 센서 모듈 개발
  - Ramam-OTDR, Brillouin-OTDR, FBG 광섬유 온도센서 모듈 개발
  - 센서 모듈 특성 분석 및 최종 변형률 센서 선정
- 토양수분 센서 및 통합센서 개발
  - 각 센서 모듈 특성 분석 및 최종 통합센서 개발
- 24/365 무중단 운영을 위한 고신뢰성 시스템 기술분석
  - 시스템의 기능 및 구조의 안전성 관련 ISO, IEC 기술분석
  - 국제안전규격별 결함 및 고장분석, 위험분석 기술 분석

(2차년도)

- Gateway 개발 및 제작, 기울기 센서 제작 및 공인기관 시험
- 광섬유 수위 센서
  - FBG와 Brillouin-OTDR 광섬유 수위 센서 모듈 개발
  - 각 센서 모듈 특성 및 가격 분석후 최종 변형률 센서 선정

	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Gateway 개발 및 광섬유 변위, 기울기, 수위, 수온 센서 정합장치 설계 및 구축</li> <li>▪ 24/365 무중단 운영을 위한 고안전 및 고가용성 시스템 설계기술 개발             <ul style="list-style-type: none"> <li>- 시스템 및 구성부품의 물리적 환경적 안전인증기술 개발</li> <li>- 시스템 운용시 요구되는 기능안전인증기술 개발</li> <li>- 시스템 및 부품의 위험분석(risk analysis), 고장수목(fault tree) 고장모드분석 (failure mode and effect analysis) 기술개발</li> <li>- 시스템의 구조 및 기능의 취약점 식별 및 위협요소별 위험순위 (risk priority) 산정</li> <li>- 시스템 고장진단 및 고장복구 기술개발</li> </ul> </li> </ul> <p>(3차년도)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 광섬유 변위, 기울기, 수위, 수온 센서 및 Gateway 연동 시스템 설계 및 구축</li> <li>▪ 24/365 고안전 및 고가용성 지반이상 모니터링 시스템 설계 및 구축             <ul style="list-style-type: none"> <li>- 24/365 지반변위를 감시하는 고안전 및 고가용성 모니터링 시스템 설계</li> <li>- 지반이상 모니터링 시스템용 자가진단 및 고장감내 장치 개발</li> </ul> </li> </ul>
기술적 위험요인	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 광섬유 센서 지하 매설을 위한 광섬유 센서를 Packaging 기술 확보</li> <li>▪ 고신뢰성의 환경을 만족하는 광섬유 센서의 Packaging 기술 확보</li> </ul>
연구개발 추진전략	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 기술확보 전략</li> <li>▪ 광섬유 센서 : Fiber Bragg 패턴 삽입 제작 업체 연계하여 개발</li> <li>▪ Gateway 정합 모듈 : 회사 자체 개발</li> </ul>
기대효과 및 파급 효과	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 기대 효과             <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 사회기반 시설 및 대형 토목구조물의 안전성 상시 모니터링 수행가능</li> <li>▪ 지하수 매장 지역의 지하수 흐름 모니터링 및 지하철 및 도로터널, 댐, 선박, 교량, 원자력발전소 등에 설치로 장기적인 안전성 모니터링 실시</li> </ul> </li> <li>○ 파급 효과             <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 국내 공공기관 및 대학, 연구기관, 토목구조물 유지관리 업체 등과 협력하여 적용 분야 확대가 가능</li> <li>▪ 광섬유 변형률 센서, 광섬유 각도센서, 광섬유 온도센서, 광섬유 가속도센서, 광섬유 변위센서 등 다양한 광섬유 센서 수요 증가함에 따라 해외 수출시장 확대에도 대응</li> <li>▪ 국내 센서 시장 내에서 광섬유 센서에 대한 관심과 수요가 꾸준히 증가 추세에 있어 갈수록 파급에 대한 효과는 커질 것으로 보임</li> </ul> </li> </ul>

## (2) 연차별 목표 및 내용

연차	연구목표	연구내용
1차년도	- 광섬유 선정, 시장 조사, 장비 구축, 측정 시스템 구축, 센서 개발 및 제작 - 고신뢰성 국제인증기술분석	- 변형률 광섬유 센서 개발 - 광섬유 온도 센서 개발 - 토양수분 센서 개발 - 기능안전 국제인증규격분석 (IEC61508 등)
2차년도	- 통합센서 개발 - Gateway 개발 및 제작, 기울기 센서 제작 및 공인기관 시험 - 고신뢰성 시스템 설계기술 개발	- 광섬유 수위 센서 개발 - 게이트웨이 및 변위, 수위, 수온 센서 정합장치개발 - 시스템 물리적, 환경적 안전인증 기술개발 - 시스템 기능안전 인증기술 개발
3차년도	- 광섬유 변위, 기울기, 수위, 수온 센서를 연동하는 고안전 및 고가용성 지반이상 모니터링 시스템 개발	- 광섬유 변위, 기울기, 수위, 수온 센서 및 Gateway 연동 시스템 개발 - 고안전 및 고가용성 지반이상 모니터링 시스템 개발

## (3) 최종성과물 및 성과지표

과제	성과목표	성과지표	측정방법	단위	목표치	가중치 (0~1)	목표치 설정근거	
변위 측정		1	FBG Tilt-meter 이용 변위 측정	구조물 장기 각도 변화 측정	회	1	0.2	수 mm 변위 측정
		2	FBG Horizontal Inclinator 이용 변위 측정	지반 변위 측정	회	1	0.3	수 mm 변위 측정
수위 측정		3	FBG Water-Pressure Gauge 이용 수위 측정	개착과 굴착을 위한 배수 현황 계측	회	1	0.2	m 단위
비시추 방식의 지반, 지하수, 토양 통합 계측 센서 개발		4	연속측정식 토양 센서 개발	개발 및 기술인증	건	1	0.3	지반침하 계측용 토양센서
		5	일체화된 통합 시작품 개발	개발 및 기술인증	건	1	0.5	비시추용으로 일체화된 통합 시작품
수온 측정		6	FBG Temperature Sensor 이용 수온 측정	구조물의 내/외부 온도 변화 측정	회	1	0.1	-20 ~ 80℃
IoT Gateway		7	IoTGateway(X3100/3200) 이용 모니터링	제안된 센서의 취합 계측 모니터링	회	1	0.2	통신 인터페이스를 통해 인터넷과 연결

## 나. 2세부과제

### (1) 연구개발 목표 및 주요 연구내용

세부과제명	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ SMART 통합 관제 및 해석 기술 개발</li> </ul>
배경 및 필요성	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 우리나라는 전체 인구 중 도시 집중 비율이 높은 편으로(91%가 도시 생활을 영위함), 도시가 확장되고 인구가 증가함에 따라 시설물의 다양화 및 복잡화, 노후화가 급속도로 진행되고 있음.</li> <li>▪ 도시에서 지반굴착 시설물 등은 시민의 생활과 연계되어 있는 필수 자원으로 삶을 영위하는데 매우 중요하지만, 지하구조물 변형, 지반 변화 등 눈에 보이지 않는 요인으로 도시 재난재해 사고의 원인으로 작용함.</li> </ul>
정부지원 필요성	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 정부 3.0의 국정사업으로 국민의 안전한 생활권 보장을 위해 정부가 지원 할 필요가 있음.</li> <li>▪ 국가기반시설 및 공공시설을 활용한 기술로 정부의 적극적 협조가 요구되는 사항임.</li> <li>▪ 개발되지 않은 해외시장을 겨냥하여 국가 수출산업에 힘이 될 수 있음.</li> </ul>
세부과제의 개념 및 범위	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 지반 굴착 구조물을 분류하고, 각 구조물의 환경에 적합한 지반 이상 측정 장치를 개발하여 이를 활용한 SMART 통합 관제 및 해석 기술을 개발함.</li> <li>▪ 지하시설물, 공공 도로시설물, 통신 관로 장착형 스마트 통합 관제 시스템을 이용한 지반 이상 측정 장치 및 지반 상태 예측 기술 개발</li> </ul>
세부과제의 목표	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 지반 굴착 구조물 주변 스마트 센서 개발하고 지반의 상태를 실시간 모니터링하여 지반 이상 상황 예측 기술 개발</li> </ul>
주요내용	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 지반굴착 구조물 주변에 지반 이상을 검출할 수 있는 장치를 설치하여 지반에 발생하는 이상 현상을 조기에 검출하고, 빅데이터를 활용한 예측 프로그램을 개발하여 재난 관리 및 예방</li> </ul>
기술적 위험요인	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 지반굴착 구조물 주변의 다양한 환경 인자들로 인한 교란으로 예측 및 신뢰성 확보가 어려움.</li> <li>▪ 지반굴착 구조물 주변의 위험영향 인자의 다양성으로 인하여 상관성을 규정하기 어려움.</li> </ul>
연구개발 추진전략	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 원천기술을 가진 기업 참여를 유도하여 조기 상용화를 달성함.</li> <li>▪ 타 세부로부터의 활용 가능한 DB공유, 실험형 모형의 실험, 상세 구조물 조사/평가 등을 통하여 예측 정확도를 향상시킴.</li> <li>▪ 국외 전문가들의 분석 기술 자문 및 센싱 분야의 전문가 확보를 통해 계측 장비의 신뢰성 향상 추진함.</li> <li>▪ 산·학·연의 협업으로 지반 굴착 구조물 관리를 통한 재난재해 분야에 융합기술 창조 및 상용화 실현함.</li> </ul>
기대효과 및 파급효과	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 기대효과                             <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 본 연구개발 기술은 재난재해에 대응하고, 재난재해 통합 관리가 가능하게 함으로써 산업분야에 폭넓게 활용이 가능함</li> <li>▪ 지반 이상을 조기검출 및 예측함으로써 직·간접적인 경제적 파급효과가 발생 가능함</li> </ul> </li> <li>○ 파급효과                             <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 현재 해당 기술과 관련하여 업계를 주도하는 기술이 존재하지 않기 때문에, 핵심기술을 확보하고 상용화를 이룬다면 세계시장을 선점할 수 있는 기회가 될 수 있음.</li> <li>▪ 지반 굴착 구조물의 모니터링 및 관리 기술 분야에 적용 된다며, 중앙정부 및 지방자치단체, 민간분야에 수혜를 받을 것으로 전망됨.</li> <li>▪ 지하공간에 대한 통합 관리 및 분석 시스템을 구축함으로써 해외시장으로 진출이 가능함.</li> </ul> </li> </ul>

## (2) 연차별 목표 및 내용

연차	연구목표	연구내용
1차년도	설치 환경에 적합한 지반 이상 검출을 위한 계측 장비 설계 및 개발	·사전조사 및 시장분석 ·설치 환경에 따른 계측 장비 분류 ·설치 환경에 적합한 지반 이상 검출 계측 장비 설계 및 개발 ·시스템 개념 설계
2차년도	지반 이상 검출을 위한 네트워크 장비 및 소프트웨어 개발 및 계측장비 개선	·계측장비 개선 ·네트워크 장비 설계 및 개발 ·시스템 구축을 위한 기본 설계 ·데이터 마이닝 기법을 활용한 예측 기법 설계 ·개발 장비의 신뢰성 확보
3차년도	지반굴착 구조물 주변 SMART 통합 관제 및 해석 기술 개발 및 시범사업	·솔루션 개발 ·통합 시스템 신뢰성 확보 ·데이터 마이닝 기법을 활용한 DB구축 및 예측 기법 개발 ·시스템 구축 및 현장 적용

## (3) 최종성과물 및 성과지표

과제	성과목표	성과지표	측정방법	단위	목표치	가중치(0~1)	목표치 설정근거	
지반 굴착 구조물 주변 SMART 통합 관제 및 해석 기술 개발	지하 시설물용 지반 이상 측정 장치 기술 개발	1 지하 시설물용 지반 이상 측정 장치 개발	방폭/ 방수·방진 인증	건	2	0.15	- 위험물 안전 관리법 기준 - 장치 설치 환경상 방수·방진 인증 필요	
	공공 시설물용 지반 이상 측정 장치 개발	2 공공 시설물용 지반 이상 측정 장치 개발	방수·방진 인증	건	1	0.15	- 장치 설치 환경상 방수·방진 인증 필요	
	통신 관료용 지반 이상 측정 장치 개발	3 통신 관료용 지반 이상 측정 장치 개발	방수·방진 인증	건	1	0.15	- 장치 설치 환경상 방수·방진 인증 필요	
	지반 굴착 구조물 주변 이상 검출 장치 설계 기준 데이터 마이닝을 활용한 예측 프로그램 개발	지하시설물 용 설계 기준 제시	4 지하시설물 용 설계 기준 제시	설계기준 제시 여부	건	1	0.05	- 지하 시설물 지반 이상 측정 장치 설계 기준 필요
		공공시설물 용 설계 기준 제시	5 공공시설물 용 설계 기준 제시	설계기준 제시 여부	건	1	0.05	- 공공 시설물 지반 이상 측정 장치 설계 기준 필요
		통신 관료용 설계 기준 제시	6 통신 관료용 설계 기준 제시	설계기준 제시 여부	건	1	0.05	- 통신 관료용 시설물 지반 이상 측정 장치 설계 기준 필요

과제	성과목표	성과지표	측정방법	단위	목표치	가중치 (0~1)	목표치 설정근거	
		7	프로그램 개발을 위한 DB 구축	DB구축 여부	건	1	0.05	- 프로그램 개발을 위한 DB 구축이 필요
		8	이상 발생 검출 및 예측 모델 제시	지반 이상을 검출하고 이상 증후를 예측 할 수 있는 분석 프로그램 개발 여부	건	1	0.05	- 지반 이상을 통합 해석 할 수 있는 프로그램 필요
통합 관제 솔루션 개발		9	통합 관제 솔루션 구축	솔루션 구축 여부	건	1	0.05	- 이상 발생을 검증하고, 사고를 예방 및 최소화 하기 위한 솔루션 필요
		10	이상 발생시 대응 매뉴얼	이상 발생시 대응 매뉴얼 작성 여부	건	1	0.025	- 이상 발생시 피해 최소화를 위한 매뉴얼 필요
테스트 베드		11	현장 적용을 통한 기술 검증 및 상용화	현장 Polot Test	건	1	0.15	- 현장 적용을 통한 개발 기술의 검증 및 현장 적용성 확보
학술적 성과		12	국내·외 학술지 게재	학술지 게재 건수	건	5	0.025	- 개발 원천기술 확보를 위한 학술적 연구 필요 - 개발 기술에 대한 대외적 홍보 및 신뢰성 검토
		13	국내·외 학술대회 발표	학술대회 발표 건수	건	9		
지적재산권		14	특허	특허 출원 및 등록 여부	건	8	0.05	- 개발 기술의 원천기술 확보 근거
		15	실용신안 및 디자인 등록	실용신안 및 디자인 등록 여부	건	3		
		16	프로그램 등록	프로그램 등록 여부	건	3		

## 다. 3세부과제

## (1) 연구개발 목표 및 주요 연구내용

세부과제명	해외시장 진출형 테스트 베드 구축
배경 및 필요성	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 기후변화 및 각종 공사로 지반침하 및 싱크홀이 발생하여 안전사고의 위험을 개선하기 위하여 계측센서를 이용한 지하수 및 주변 지반상태의 감시 및 분석 시스템을 개발하여 국내 기업체 및 지자체에서 사업화 예정</li> <li>▪ 국외에서는 중국 베이징 시의 통합적인 수자원 관리를 위해 기존 지하수 체계 구역을 지도화 하여 관측정의 관측네트워크를 구축(Zhoua, 2013). 그러나 중국은 싱크홀 예경보 시스템은 아직 미설치 지역이므로 본 사업의 개발품의 수출이 가능</li> <li>▪ 국내개발 및 운용 경험을 기반으로 해외 시장 진출이 가능하므로 지하수 및 지반변위 감시기반 싱크홀 예경보 시스템의 기능성 및 사업성을 위한 국외 테스트베드의 구축이 시급</li> </ul>
정부지원 필요성	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 본 과제 연구결과물의 해외 시장으로의 적극적인 진출은 민간기업 단독의 테스트베드 구축 보다는 국내외의 연구소 및 관련업체가 참여하는 컨소시엄 형태의 사업추진에 대외 신인도 확보에 유리</li> </ul>
세부과제의 개념 및 범위	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 테스트베드 개념설계 및 표준설계</li> <li>▪ 국내외 동종 및 이종 테스트 베드 구축 사례 분석</li> <li>▪ 표준화를 위한 국내외 표준 분석</li> <li>▪ 운영 시스템 설계</li> <li>▪ 평가 및 분석 DB 시스템 설계</li> <li>▪ On-site Simulation 시스템 설계</li> <li>▪ 적정 부지 선정</li> <li>▪ 실내외 설비 설계</li> <li>▪ 설계 적정성 평가</li> <li>▪ 테스트베드 시스템 및 부품의 평가항목 및 평가방안 개발</li> <li>▪ 모니터링 시스템 평가 항목 추출</li> <li>▪ 각종 광섬유 센서별 평가항목 추출</li> <li>▪ 평가 항목별 해당 국제 표준 확인</li> <li>▪ 국제 표준에 준하는 평가방식 수립</li> <li>▪ 수립된 평가 방식에 따른 평가방안 설계</li> <li>▪ 평가방안 설계 적정성 검증</li> <li>▪ 테스트베드 하드웨어 및 소프트웨어 구축</li> <li>▪ 하드웨어 제어 시스템 구축</li> <li>▪ 운용 소프트웨어 설치</li> <li>▪ 데이터베이스 구축</li> <li>▪ 시스템 진단 및 On-site Simulation 시스템 구축</li> <li>▪ 시운전</li> <li>▪ 테스트베드 성능 및 신뢰도 측정 및 분석기술 개발</li> <li>▪ 부품 및 시스템 성능지표 및 신뢰성 지표 정의</li> </ul>

	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 평가결과의 표준설계 부합성 평가</li> <li>▪ 국제 표준과의 정합성 확인</li> <li>▪ 반복 평가시 결과의 일관성 검증</li> <li>▪ 부적합 항목의 보완 방법 수립</li> <li>▪ 보완 방법에 따른 설계 변경 및 재평가</li> <li>▪ 구축 완료 보고서 작성</li> <li>▪ 테스트베드 경제성 평가 및 사업화 계획 수립</li> <li>▪ 테스트 베드 운영 시 경제성 평가</li> <li>▪ 경제성 평가를 반영한 운영 계획 수립</li> <li>▪ 홍보/마케팅 및 영업 계획 수립</li> <li>▪ 해외 유관 기관 또는 단체와의 공조방안 수립</li> <li>▪ 上海市 水务局(상해시 수무국 : Shanghai Water Authority)</li> <li>▪ 同濟大學(동제대학 : Dongji University)</li> <li>▪ 확장 및 유지보수 계획 수립</li> </ul>
<p>세부과제의 목표</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 구축 개념설계 및 표준설계</li> <li>▪ 대상 평가 시스템 및 부품의 평가항목 및 평가방안 설계</li> <li>▪ 하드웨어 및 소프트웨어 구축</li> <li>▪ 성능검증 및 결과분석</li> <li>▪ 경제성 평가 및 사업화 계획 수립</li> </ul>
<p>주요내용</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 광통신 기술과 광섬유 센서들을 이용한 지상 및 지하 구조물과 지하수의 상태 등을 지속적으로 감시, 추적 및 관리하는 시스템의 개발이 활발히 진행되고 있다. 또한, 국내의 개발 및 운용 경험을 살려 해외 시장의 진출을 적극 검토하고 있다. 하지만, 이에 따른 전체 모니터링 시스템과 광섬유 센서들에 대한 전반적인 성능과 효용을 검증하고 그 신뢰성을 입증하기 위한 테스트 베드에 대한 개념설계, 구축방안 그리고 운용 및 평가에 대한 연구와 그 실행이 시급히 필요한 실정이다.</li> <li>▪ 기업의 입장에서 테스트베드 구축을 통하여 고신뢰성을 데이터 베이스를 구축한 다음 그를 바탕으로 사업화 진행을 목적으로 한다.</li> </ul>
<p>기술적 위험요인</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 현재까지 해당 기술에 대한 테스트베드 구축 사례가 전무한 관계로 구축 설계부터 사업성 평가까지 총 망라하여 진행하는 구조상의 어려움과 사업화 시키기까지의 경제적 지원이 필요할 것으로 사료된다.</li> </ul>
<p>연구개발 추진전략</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 테스트베드의 구축 사례가 전무한 관계로 지진이 비번한 일본의 지반 감시 시스템의 설계 및 개념을 파악하여 우리나라 실정과 해외에 테스트베드 구축 장소에 적합한 해외 진출형 테스트베드 구축</li> </ul>
<p>기대효과 및 파급 효과</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 기대 효과             <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 해당 기술의 테스트베드 구축이 현 시장에 전무한 관계로 해당 사업으로 구축 사례가 성공 시 현재 빈번히 발생하는 싱크홀 관련된 사업에 고신뢰성을 검증할 시스템이 구축될 것이다.</li> </ul> </li> <li>○ 파급 효과             <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 해당 기술의 테스트베드 구축 완성이로 인해 계속 센서들의 고신뢰성에 대한 검증 부분을 해결할 수 있으며, 측정 데이터들의 DB화를 이룰 수 있다. 최초라는 장점을 안고 세계시장을 미리 선점할 수 있다는 파급 효과를 얻을 수 있다.</li> </ul> </li> </ul>

## (2) 연차별 목표 및 내용

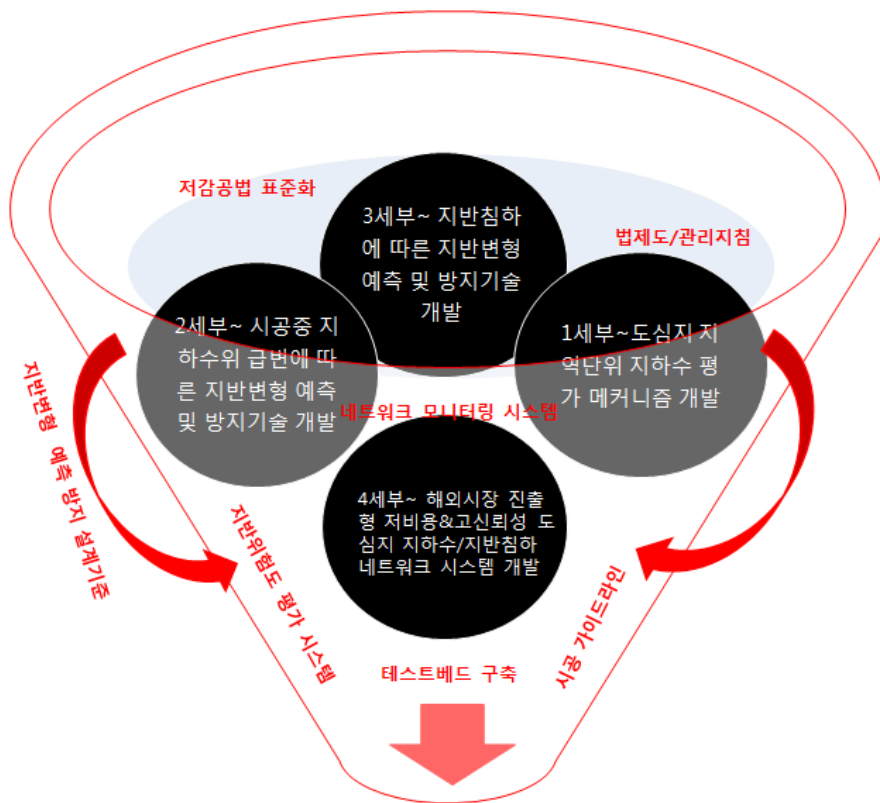
연차	연구목표	연구내용
1차년도	구축 개념 설계 및 표준설계	- 국내외 동종 및 이종 테스트베드 구축 사례 분석 - 대상 평가 시스템 및 부품의 평가항목 및 평가방안 설계
2차년도	하드웨어 및 소프트웨어 구축	- 성능검증 및 결과분석
3차년도	경제성 평가 및 사업화 계획 수립	- 테스트베드 운영 시 경제성 평가 - 경제성 평가를 반영한 운영 계획 수립

## (3) 최종성과물 및 성과지표

과제	성과목표	성과지표	측정방법	단위	목표치	가중치 (0~1)	목표치 설정근거
해외 진출형 테스트베드 구축	테스트 베드 표준 설계 기술	1 광섬유 센서 적용 테스트베드 시스템 설계	최적 설계 DB 구축	건	1	0.2	표준화를 위한 국내외 표준 분석
	대상 평가 시스템 및 부품의 설계 평가항목	2 테스트베드 시스템 평가 항목 제시	설계 기준 제시 여부	건	1	0.3	기반 구조물 설계 기준 필요
	하드웨어 및 소프트웨어 구축 기술	3 시스템 진단 및 On-site Simulation 시스템 구축	사고 발생 대응 시스템 구축	건	1	0.2	테스트베드 설치 장소 확보를 위해 필요
	성능 검증	4 성능검증 및 결과분석 기술	현장 Pilot Test	건	1	0.2	테스트베드 현장의
	경제성 평가 및 사업화 계획 수립	5 경제성 평가 및 사업화 계획 수립 기술	사업성 평가	건	1	0.1	관리 체계의 검증 및 범용화

## 5절 과제 간 연계관계

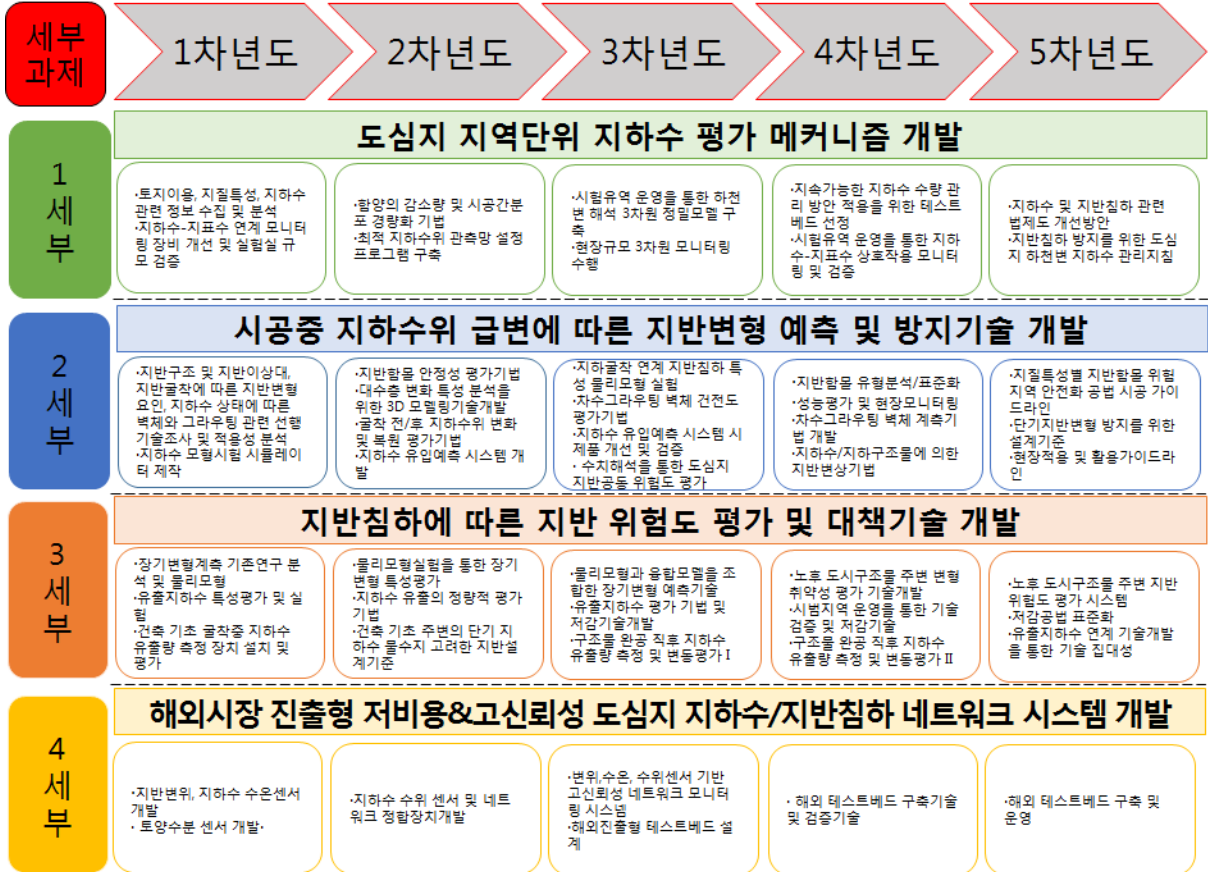
- 1세부는 도심지 지역단위별 지하수 평가 관련 메커니즘 개발로 구성되며, 2세부와 3세부는 지반변형 및 침하와 관련하여 단기(시공중) 및 장기적(시공후) 관점에서의 요소기술 및 대책기술 개발로 구성되어 있는 관계로 1세부, 2세부, 그리고 3세부과제는 포괄적으로 연계하여 구성됨
- 4세부는 1세부, 2세부, 3세부에서 개발된 요소 기술들을 적용한 통합 계측 및 관리 시스템을 개발하는 기술로 구성됨
- 추진과제 중 최종 개발성과물의 실용화를 위한 Test Bed를 국내외에서 수행하도록 계획하고 추진 및 관리하도록 함
- 실질적인 연계사업이 이루어져 효율적인 지하수 관리로 안전한 도시 생활 확보를 통한 창조경제 실현을 위한 명실상부한 기술개발의 Think Thank 역할을 본 연구단이 할 예정임



### 지하수 및 지반구조 영향 계측·평가·관리기술 개발

그림 4-3. 세부 과제간 연관성

6절 과제별·연차별 기술로드맵



## 7절 성과의 활용방안

### 1. (중점추진분야 1) 도심지 지역단위 지하수 평가 메커니즘 개발 분야

세부과제	구성기술	목표성과물	기술수요처	실용화 방안
지하수위 변동에 미치는 수리 특성 해석	도심지 지표수-지하수 통합 수문해석기법	해외논문 분석	관공서, 민간기업	분야별 전문가 참여를 통한 실용성 확보
	대규모 지하개발 주변지역의 수리지질학적 특성평가기법개발	도심지 토지이용별, 지질별 불투수현황 및 지하수위와 상관성 분석에 관한 보고서	관공서, 민간기업	
	도심지 지하수 함양의 감소량 평가	국내외 학술지	학교, 연구소, 대기업	
	개발지역 주변의 지하수수량관리기법개발	지하개발에 따른 지하수량 관리기법 보고서	관공서, 연구소, 민간기업	
도심지 지하수 유동에 따른 지반 변형 예측 기술 개발	기존기술의 조사 및 개념모델구축	하천변 해석에 관한 제반 기술 연구에 관한 보고서	관공서, 연구소, 민간기업	분야별 전문가 참여를 통한 실용성 확보
	시험유역기반 하천변 3차원 정밀 해석기술 개발	국내외 학술지 게재	학교, 연구소, 민간기업	알고리즘 실용화
	주요도심지 하천구간의 지반함몰 위험도 예측기술	주요 도심 구간 지반침하 시나리오에 관한 연구 보고서	관공서, 연구소, 민간기업	분야별 전문가 참여를 통한 실용성 확보
	지반함몰 방지를 위한 도심지 하천변 지하수 관리 지침방안	지반함몰 방지를 위한 도심지 안전한 지하수 관리지침 및 대책에 관한 매뉴얼	관공서, 연구소, 민간기업	
도심지 굴착에 따른 지하수-지표수 상호작용 수치해석 알고리즘 및 프로토콜 개발	지하수-지표수 상호작용 수치해석 알고리즘 및 프로토콜 개발	국내외 학술지 게재	관공서, 연구소, 민간기업	분야별 전문가 참여를 통한 실용성 확보
	지하수-지표수 경계면 상호작용 실시간 모니터링 및 평가기술	시험유역 운영을 통한 지하수-지표수 상호작용 모니터링 및 검증에 관한 보고서	관공서, 연구소, 민간기업	
	현장규모 3차원 지하수-지표수 상호작용 프로그램 개발	현장규모 광역적 3차원 지하수-지표수 상호작용 수치 해석에 관한 소프트웨어, 매뉴얼	관공서, 연구소, 민간기업	테스트베스 선정 및 분야별 전문가 참여를 통한 실용성 확보, 모델교육 및 소프트웨어 개발

세부과제	구성기술	목표성과물	기술수요처	실용화 방안
	시험유역 운영을 통한 경계면 유출입량의 검증	경계면 유출량 관리에 관한 지침	관공서, 연구소, 민간기업	테스트베스 선정, 관련 법제도 개선 및 세부수행지침 매뉴얼
광역 지하수 계측망을 활용한 이상징후 탐지 기술개발	최적 지하수위 관측망 설정 프로그램 구축	지하수위 모니터링자료 분석 기술 현황에 관한 보고서	관공서, 연구소, 민간기업	분야별 전문가 참여를 통한 실용성 확보
	지하수 네트워크 교란에 인한 이상징후 원인규명 및 대책 방안 연구	지하수모델링을 통한 원인별 민감도 분석 및 사례별 위험도 예측 관한 보고서, 논문	관공서, 연구소, 민간기업	
	GIS 웹기반 지하수위 변화 실시간 이상징후 발생 예보 시스템	GIS 웹기반 지하수위 변화 실시간 이상징후 발생 예보 시스템에 관한 소프트웨어, 매뉴얼, 시험지역에서의 검증 및 개선에 관한 보고서	관공서, 연구소, 민간기업	테스트베스 선정 및 분야별 전문가 참여를 통한 실용성 확보

〈중점추진분야 1 과제 실용화방안〉

## 2. (중점추진분야 2) 시공중 지하수위 급변에 따른 지반변형 예측 및 방지기술 개발 분야

세부과제	구성기술	목표성과물	기술수요처	실용화 방안	
지하수 대수층 및 지질분포에 따른 지반 위험성 예측기술	지반굴착에 따른 지질별 대수층 변화 특성 분석을 위한 3D 모델링 기술	지반굴착 3D 모델링 기술 국내외 학술지 게재 및 학술 발표	지반굴착 공사 설계사 학교, 연구소, 기업체 등	민간기업, 학계 및 관련기관 간의 공동연구를 통하여 기술이전 및 실용화 추진	
	지질특성별 지하수 대수층 변화에 따른 지반함몰 안정성 평가 기법	지반함몰 안정성 평가 기법 지반함몰 안정성 평가 기법	지반굴착 공사 설계사 지반굴착 공사 설계사		
	지질특성별 지반함몰 위험지역 안정화 공법 시공 가이드라인	지반함몰 위험지역 안정화 공법 시공 가이드라인	지반함몰 위험지역 안정화 공법 시공 가이드라인	지반굴착 공사 시공사	지질특성별 지반함몰 위험지역의 안정화 공법 시공 가이드라인 제시
		지반함몰 안정성 평가 기법	지반함몰 안정성 평가 기법	지반굴착 공사 설계사	
지반 굴착중 지하수위 급변에 따른 단기 변형 예측 기술	표준 물리모델 시험 기준 수립	표준 물리모델 시험 기준 수립	정부 및 공공기관	지반굴착 설계 기준 반영 프로그램 판매 정부 설계 지침에 활용	
	지반 굴착 평가 프로그램 개발	지반 굴착 평가 프로그램 개발	설계사, 시공사		
	지반굴착시 지하수 영향 최소화 설계 기준	지반굴착시 지하수 영향 최소화 설계 기준	정부 및 공공기관		
굴착시 지하수에 의한 지반변형 방지 공법 개발	도심지 지하굴착 시 지하수 유출 방지를 위한 고내구성 지반개량 및 주입 공법	고내구성 지반개량 및 주입 공법	건설사, 엔지니어링사	전문업체 기술 이전 지반개량 및 주입 공법 개발 및 현장적용 건전도 모니터링 시스템 구축 및 유지관리	
		지하연속벽 굴착 중 사전 지하수 유출 가능성 평가 및 벽체 건전도 모니터링 시스템	지하수 유출 가능성 평가 및 벽체 건전도 모니터링 시스템		
	지하수 상태에 따른 흙막이 벽체와 차수그라우팅 특성과의 상호작용 평가 기법	건전도 평가 시스템 개발 흙막이 벽체 배면 지반거동 분석 차수그라우팅 및 지하수 상태에 따른 상호작용해석	건설사, 엔지니어링사 시공사, 연구소, 학계 시공사, 연구소, 학계	민간기업, 학계 및 관련기관 간의 공동연구를 통하여 기술이전 및 실용화 추진	
도심지 함몰 예방 및 지하수 관리를 위한 정책 수립 및 적용 방안 연구	지반함몰 예방을 위한 안전한 지하수 관리 정책	도심지 지하수위 변동에 따른 지반함몰 및 구조물 영향 저감을 위한 지침	정부부처, 건설사, 엔지니어링사	민간기업, 학계 및 관련기관 간의 공동연구를 통하여 정부 정책 제언 및 수립	
		도심지 지반함몰 예방을 위한 지하수 안정성 평가 매뉴얼	정부부처, 건설사, 엔지니어링사		
		도심지 지하수 관리방안과 관리주체별 특성을 반영한 관리 지침	정부부처, 건설사, 엔지니어링사		

〈중점추진분야 2 과제 실용화방안〉

## 3. (중점추진분야 3) 지반침하에 대한 지바 위험도 평가 및 대책기술 개발분야

세부과제	구성기술	목표성과물	기술수요처	실용화 방안
시공후 지하수위 변화를 반영한 기존 구조물 주변 지반 위험도 평가 기술	물리모형실험을 활용한 장기 지반침하 특성 평가 기술	물리모형 실험 지침서 개발	정부 및 대형공사 발주처	대규모 지반 굴착과 관련된 공법 설계시 활용
		연구 보고서	정부, 설계사 등	
		국내외 학술지	연구기관, 기업체	
		특허 출원/등록	기업체	
	융합 모델링 기법을 적용한 침하 평가 기술	융합 모델링 프로그램 개발	설계사	대규모 지반 굴착과 관련된 공법 설계시 활용
		연구 보고서	정부, 설계사 등	
		국내외 학술지	연구기관, 기업체	
		특허 출원/등록	기업체	
	노후화 구조물 주변 침하 위험도 평가 기술	노후화 시설물 주변 지반침하 평가 메뉴얼	정부 및 대형공사 발주처	대형 공사 설계 및 대국민 서비스 용으로 활용
		침하 위험도 도면	정부, 지자체	
		SMART 서비스 시스템	정부 및 국민	
		연구 보고서	정부, 설계사 등	
국내외 학술지		연구기관, 기업체		
특허 출원/등록		기업체		
시공후 구조물 주변 지하수 평가·관리 기법 개발	지하수 유출의 정량적 평가 기법	유출지하수(기초) 평가 지침서	정부 및 지자체	도시지역 장기화된 구조물 주변의 지하수 유출 관리 관련 지자체 및 시행기관인 설계 시공사 등에서 활용
		유출지하수(터널) 평가 지침서	정부 및 지자체	
		유출지하수 측정장치	설계 및 시공사	
		지하수 유지 관련 제도개선안	정부	
		연구 보고서	정부, 설계사 등	
		국내외 학술지	연구기관, 기업체	
		특허 출원/등록	기업체	
	유출지하수의 재활용 기술	재활용 공법	대형 건축주 및 공공기관	건물주 및 지하철 공사 등에서의 지하수 재활용 기술 제공
		연구 보고서	정부, 설계사 등	
		국내외 학술지	연구기관, 기업체	
		특허 출원/등록	기업체	
	지하수 유출 저감을 위한 사후 시공 기법 개발	지하수 유출 저감용 재료	기업체	지하수 유출 저감 시공 기술은 기 준공된 건축주에게 적용, 활용
지하수 유출 저감 시공 기술		기업체		

세부과제	구성기술	목표성과물	기술수요처	실용화 방안
		연구 보고서	정부, 설계사 등	
		국내외 학술지	연구기관, 기업체	
		특허 출원/등록	기업체	

〈중점추진분야 3 과제 실용화방안〉

4. (중점추진분야 4) 해외시장 진출형 저비용&고신뢰성 도심지 지하수/지반침하 네트워크 시스템 개발 분야

세부과제	구성기술	목표성과물	기술수요처	실용화 방안
지하수 연계 지반 함몰 측정용 센서 네트워크 시스템 개발	비 시추 방식의 지반, 지하수, 토양 통합 계측 센서 개발	연속측정식 토양 센서 개발	기업, 지자체 및 중앙정부 등	Pilot test 추진을 통한 성능검진 개발 제품의 실 기술 시스템 개발 분야별 전문가(학계, 관련기관)의 참여를 통한 고신뢰성 시스템 구축
	지반변위, 각도, 수위, 수온 센서	일체화된 통합 시작품 개발	기업, 지자체 및 중앙정부 등	
	지하수, 지반함몰 연계 네트워크 시스템	광섬유 센서	기업, 지자체 및 중앙정부 등	
		광섬유 기반 모니터링 시스템	기업, 지자체 및 중앙정부 등	
SMART 통합 관제 및 해석 기술 개발	지하시설물(유류저장 탱크 등)을 활용한 지반 이상 계측	센서 구축 메뉴얼	기업, 지자체 및 중앙정부 등	·유관 기관(관련 산업체)의 협조를 통해 실용성 확보 ·Pilot Test 추진을 통한 현장 적용성 확보 ·방폭인증을 통한 안정성 확보 ·방수/방진 인증(IP 67이상 인증)을 통한 제품의 신뢰성 확보
		지반 이상 측정 센서 (지하시설물 용)	기업, 지자체 및 중앙정부 등	
		연구보고서 (설계 기준 포함)	기업, 지자체 및 중앙정부 등	
		특허출원	기업 등	
	공공 도시시설물 (가로등, 전신주 등)을 활용한 지반 이상 계측	지반 이상 측정 센서 (공공시설물 용)	기업, 지자체 및 중앙정부 등	·지자체 및 공기업 참여를 통한 실용성 확보 ·Pilot Test 추진을 통한 현장 적용성 확보 ·방수/방진 인증(IP67이상 인증)을 통한 제품의 신뢰성 확보
		특허출원	기업 등	
		센서 구축 메뉴얼	기업, 지자체 및 중앙정부 등	
		연구보고서 (설계 기준 포함)	지자체 및 중앙정부 등	
	통신 관로를 활용한 지반 이상 계측	지반 이상 측정 센서 (통신 관로 용)	지자체 및 중앙정부 등	·지자체 및 통신 기관사업자의 참여를 통한 실용성 확보 ·Pilot Test 추진을 통한 현장 적용성 확보 ·방수/방진 인증(IP67이상 인증)을 통한 제품의 신뢰성 확보
		특허출원	기업 등	
		센서 구축 메뉴얼	지자체 및 중앙정부 등	
		연구보고서 (설계 기준 포함)	지자체 및 중앙정부 등	
	데이터 마이닝을 활용한 통합 관제 기술 및 예측 프로그램 개발	지반침하 예측 프로그램	기업 등	·분야별 전문가 참여를 통한 신뢰도 높은 실용성 확보 ·관제 플랫폼 추진을 통한 현장 적용성 확보
		통합 프로토콜 권고안	중앙정부, 연구소 등	
		관제 솔루션 운영 메뉴얼	기업, 지자체 및 중앙정부 등	
		SMART 통합 관제 용 데이터 마이닝 솔루션	기업, 지자체 및 중앙정부, 학계 등	

세부과제	구성기술	목표성과물	기술수요처	실용화 방안
해외 진출형 테스트 베드 구축	테스트 베드 표준 설계 기술	광섬유 센서 적용 테스트베드 시스템 설계 기술 개발 확보	상해시 수무국 및 국내외 기업	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 해외 테스트베드 기관과 테스트 추진을 통한 성능 검진</li> <li>- 플랫폼 방식의 서비스 기술 도입</li> <li>- 해외 기관의 시스템 홍보 및 시장 확대</li> </ul>
	대상 평가 시스템 및 부품의 설계 평가항목	평가 표준화 자료 구축 확보	상해시 수무국 및 국내외 기업	
	하드웨어 및 소프트웨어 구축 기술	플랫폼 운영 시스템 확보	상해시 수무국 및 국내외 기업	
	경제성 평가 및 사업화 계획 수립 기술	관리 체계의 범용화 시스템 구성 및 확보	상해시 수무국 및 국내외 기업	

〈중점추진분야 4 과제 실용화방안〉

## 8절 연구수행체계 제안

## 1. 연구추진체계 정립

- “안전한 지반굴착기술 및 지하수, 지반구조영향 계측·평가·관리기술 개발기획”은 건설안전과 연계된 지반 및 지하수 관리의 기반이 되는 핵심요소기술 개발 및 유기적 연계를 통한 패키지화된 기술의 성격으로 “연구단 수준”의 구성이 적합함
- 산학연 각각의 특성에 맞는 역할분담 및 수행이 필요하며 유기적인 세부 기술간 유기적인 연계가 필요함
- 정책연구 부분은 특화 전문분야 인력 투입이 필요하므로 분리공모를 통해 전문성 확보가 필요함

## 〈국토교통부소관 ‘연구개발사업 운영규정’의 과제 분류〉

사업단	기술별 총괄시스템의 개발과 연구개발결과의 시범적용(Test Bed)을 포함하는 과제로서 정부출연금 500억원 이상, 5년 이상의 연구기간이 소요
연구단	단위·요소기술의 유기적 연계를 통하여 패키지화된 기술을 개발하는 과제로서 정부출연금 50억원 이상
일반과제	단위·요소기술을 개발하는 과제

## 2. 추진조직

- “안전한 지반굴착기술 및 지하수, 지반구조영향 계측·평가·관리기술 개발기획”은 기초·원천기술, 실용화 기술, 관리정책의 다양한 성격의 연구를 총괄해야 하므로 산, 학, 관과 유연한 관계를 유지하고 객관적 관리가 가능한 연구기관 및 총괄 연구책임자가 필요함
- 원천성격의 기술은 이론정립, 실험 등의 연구내용 위주로 기술정립이 필요하므로 학교 또는 연구기관에서 주도하도록 추진함
- 실용화 기술은 현장적용 가능기술로 생산현장 또는 시공현장을 보유한 기업에서 주도하도록 추진함
- 전체 연구조직은 산, 학, 연이 연계되어 상호보완 및 지원이 이루어지도록 구성함
- 정책 개발 전문기관의 연구 참여가 이루어지도록 구성함

### 3. 추진체계

- 연구추진시 주관 및 협동, 위탁기관 및 참여기업은 모두 성과물이 발생되고, 기관별 성과물이 상호 활용되도록 연구 추진체계를 구성함
- 달성 가능한 성과목표 및 성과지표를 제안유도하고 연구진행 중 성과목표의 달성 및 관리 방안을 주관에서 정립하며, 주관기관은 주기적으로 성과를 관리해야함
- 성과물의 실용화를 우선하여 기술실시 대상기업을 명확히 결정하고, 대상기술이 실용화 가능한 수준으로 성과물이 도출되도록 상시 관리체계를 수립해야함
- 상호 정보 교류가 가능하고 상호 활요, 기술지원이 가능한 추진체계를 수립함

## 5

## 인력투입계획 및 소요예산 산정

## 1절 연구일정에 따른 인력계획

## 1. 전체사업 인력투입계획

## 가. 연차별 투입 연구인력

(단위 : 명)

분류		1차년	2차년	3차년	4차년	5차년	합계
총괄		21.1	30.3	30.5	24.1	20.0	126.0
중점 추진 분야 1	1세부과제	1.1	1.6	1.6	0.9	0.9	6.1
	2세부과제	1.1	1.6	1.6	0.9	0.9	6.1
	3세부과제	1.0	1.6	1.6	0.9	0.9	6.0
	4세부과제	1.0	1.6	1.6	0.9	0.9	6.0
	계	4.2	6.4	6.4	3.6	3.6	24.2
중점 추진 분야 2	1세부과제	1.7	2.4	2.4	2.2	1.6	10.3
	2세부과제	1.7	2.4	2.4	2.2	1.6	10.3
	3세부과제	1.7	2.3	2.3	2.1	1.6	10.0
	4세부과제	1.7	2.3	2.3	-	-	6.3
	계	6.8	9.4	9.4	6.5	4.8	36.9
중점 추진 분야 3	1세부과제	2.4	3.5	3.5	3.1	2.5	15.0
	2세부과제	2.4	3.4	3.4	3.1	2.5	14.8
	계	4.8	6.9	6.9	6.2	5.0	29.8
중점 추진 분야 4	1세부과제	1.8	2.6	2.6	2.6	2.2	11.8
	2세부과제	1.8	2.5	2.6	2.6	2.2	11.7
	3세부과제	1.7	2.5	2.6	2.6	2.2	11.6
	계	5.3	7.6	7.8	7.8	6.6	35.1

## 나. 상세 투입연구인력

(단위 : 명)

분류	총 개발인력(명)						비고
	1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	5차년도	계	
책임연구원	3.8	3.9	3.9	3.6	3.5	18.7	
연구원	4.0	8.3	8.5	7.9	7.6	36.3	
연구보조원	9.1	12.1	12.1	8.2	5.5	47.0	
보조원	4.2	6.0	6.0	4.4	3.4	24.0	
합계	21.1	30.3	30.5	24.1	20.0	126.0	

## 2. 중점추진분야별 인력투입계획

### 가. 중점추진분야 1

(단위 : 명)

분류	총 개발인력(명)						비고	
	1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	5차년도	계		
계	책임연구원	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	4.0	
	연구원	1.0	1.6	1.6	1.6	1.6	7.4	
	연구보조원	1.6	2.4	2.4	0.8	0.8	8.0	
	보조원	0.8	1.6	1.6	0.4	0.4	4.8	
	합계	4.2	6.4	6.4	3.6	3.6	24.2	
1 세부기술	책임연구원	0.3	0.2	0.2	0.2	0.2	1.0	
	연구원	0.3	0.4	0.4	0.4	0.4	1.9	
	연구보조원	0.4	0.6	0.6	0.2	0.2	2.0	
	보조원	0.2	0.4	0.4	0.1	0.1	1.2	
	합계	1.1	1.6	1.6	0.9	0.9	6.1	
2 세부기술	책임연구원	0.3	0.2	0.2	0.2	0.2	1.0	
	연구원	0.3	0.4	0.4	0.4	0.4	1.9	
	연구보조원	0.4	0.6	0.6	0.2	0.2	2.0	
	보조원	0.2	0.4	0.4	0.1	0.1	1.2	
	합계	1.1	1.6	1.6	0.9	0.9	6.1	
3 세부기술	책임연구원	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	1.0	
	연구원	0.2	0.4	0.4	0.4	0.4	1.8	
	연구보조원	0.4	0.6	0.6	0.2	0.2	2.0	
	보조원	0.2	0.4	0.4	0.1	0.1	1.2	
	합계	1.0	1.6	1.6	0.9	0.9	6.0	
4 세부기술	책임연구원	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	1.0	
	연구원	0.2	0.4	0.4	0.4	0.4	1.8	
	연구보조원	0.4	0.6	0.6	0.2	0.2	2.0	
	보조원	0.2	0.4	0.4	0.1	0.1	1.2	
	합계	1.0	1.6	1.6	0.9	0.9	6.0	

## 나. 중점추진분야 2

(단위 : 명)

분류	총 개발인력(명)						비고	
	1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	5차년도	계		
계	책임연구원	1.2	1.2	1.2	0.9	0.9	5.4	
	연구원	1.2	2.6	2.6	2.0	1.8	10.2	
	연구보조원	3.2	4.0	4.0	2.4	1.2	14.8	
	보조원	1.2	1.6	1.6	1.2	0.9	6.5	
	합계	6.8	9.4	9.4	6.5	4.8	36.9	
1 세부기술	책임연구원	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	1.5	
	연구원	0.3	0.7	0.7	0.7	0.6	3.0	
	연구보조원	0.8	1.0	1.0	0.8	0.4	4.0	
	보조원	0.3	0.4	0.4	0.4	0.3	1.8	
	합계	1.7	2.4	2.4	2.2	1.6	10.3	
2 세부기술	책임연구원	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	1.5	
	연구원	0.3	0.7	0.7	0.7	0.6	3.0	
	연구보조원	0.8	1.0	1.0	0.8	0.4	4.0	
	보조원	0.3	0.4	0.4	0.4	0.3	1.8	
	합계	1.7	2.4	2.4	2.2	1.6	10.3	
3 세부기술	책임연구원	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	1.5	
	연구원	0.3	0.6	0.6	0.6	0.6	2.7	
	연구보조원	0.8	1.0	1.0	0.8	0.4	4.0	
	보조원	0.3	0.4	0.4	0.4	0.3	1.8	
	합계	1.7	2.3	2.3	2.1	1.6	10.0	
4 세부기술	책임연구원	0.3	0.3	0.3	-	-	0.9	
	연구원	0.3	0.6	0.6	-	-	1.5	
	연구보조원	0.8	1.0	1.0	-	-	2.8	
	보조원	0.3	0.4	0.4	-	-	5.2	
	합계	1.7	2.3	2.3	-	-	6.3	

다. 중점추진분야 3

(단위 : 명)

분류	총 개발인력(명)						비고	
	1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	5차년도	계		
계	책임연구원	0.9	0.9	0.9	0.9	0.8	4.4	
	연구원	0.8	2.0	2.0	2.0	1.9	8.7	
	연구보조원	2.0	2.7	2.7	2.0	1.3	10.7	
	보조원	1.1	1.3	1.3	1.3	1.0	6.0	
	합계	4.8	6.9	6.9	6.2	5.0	29.8	
1 세부기술	책임연구원	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	2.0	
	연구원	0.4	1.0	1.0	1.0	1.0	4.4	
	연구보조원	1.0	1.4	1.4	1.0	0.6	5.4	
	보조원	0.6	0.7	0.7	0.7	0.5	3.2	
	합계	2.4	3.5	3.5	3.1	2.5	15.0	
2 세부기술	책임연구원	0.5	0.5	0.5	0.5	0.4	2.4	
	연구원	0.4	1.0	1.0	1.0	0.9	4.3	
	연구보조원	1.0	1.3	1.3	1.0	0.7	5.3	
	보조원	0.5	0.6	0.6	0.6	0.5	2.8	
	합계	2.4	3.4	3.4	3.1	2.5	14.8	

## 라. 중점추진분야 4

(단위 : 명)

분류	총 개발인력(명)						비고	
	1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	5차년도	계		
계	책임연구원	0.9	1.0	1.0	1.0	1.0	4.9	
	연구원	1.0	2.1	2.3	2.3	2.3	10.0	
	연구보조원	2.3	3.0	3.0	3.0	2.2	13.5	
	보조원	1.1	1.5	1.5	1.5	1.1	6.7	
	합계	5.3	7.6	7.8	7.8	6.6	35.1	
1 세부기술	책임연구원	0.3	0.4	0.4	0.4	0.4	1.9	
	연구원	0.4	0.7	0.7	0.7	0.7	3.2	
	연구보조원	0.8	1	1	1	0.8	4.6	
	보조원	0.3	0.5	0.5	0.5	0.3	2.1	
	합계	1.8	2.6	2.6	2.6	2.2	11.8	
2 세부기술	책임연구원	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	1.5	
	연구원	0.3	0.7	0.8	0.8	0.8	3.4	
	연구보조원	0.8	1	1	1	0.7	4.5	
	보조원	0.4	0.5	0.5	0.5	0.4	2.3	
	합계	1.8	2.5	2.6	2.6	2.2	11.7	
3 세부기술	책임연구원	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	1.5	
	연구원	0.3	0.7	0.8	0.8	0.8	3.4	
	연구보조원	0.7	1	1	1	0.7	4.4	
	보조원	0.4	0.5	0.5	0.5	0.4	2.3	
	합계	1.7	2.5	2.6	2.6	2.2	11.6	

## 2절 소요예산 산정

### 1. 예산 산정방법

- 각 세부과제별 기획위원회를 구성, 기획위원에 의한 상향식(Buttom up) 방법으로 예산을 산출함
  - 본 기획에서 추구하는 연구단 최종목표 및 각 세부과제별 연구목표 달성을 위해 필요한 각 세부과제의 연구개발내용을 수행하기 위해 소요되는 연구개발예산을 추정함
  - 각 세부과제의 소요예산을 전체 연구개발기간 내에서 연도별로 제시하고 기업체 참여가 가능한 과제의 경우 예상 기업부담금을 제시함
- 인건비는 '2015년 학술연구용역 인건비기준단가'를 기준으로 작성
  - 2015년 학술연구용역 인건비 기준단가의 참여율 100% 기준으로 연봉을 계산한 후 인건비 단가를 예산 작성에 적용
  - 책임연구원 73,392천원, 연구원 56,276천원, 연구보조원 37,618천원, 보조원 28,215천원을 적용함
- 간접비는 기관과 학교의 참여를 고려하여 전체예산대비 14.07%를 기준으로 작성하였음
- 각 공동과제별 특성을 고려하여 민간기업의 참여가능성을 예측하고 이를 바탕으로 정부출연금과 기업부담금을 구분함. 이때 정부출연금 및 기업부담금의 배분비율은 '국토교통부소관 연구개발사업 운영규정'의 '별표1. 중앙행정기관 및 참여기업의 연구개발비 출연·부담 기준(제31조 제3항 관련)'을 작성기준으로 활용
  - 소요예산은 정부출연금을 대상으로 작성하였으며 민간부담금은 참여기업 2개 이상 중소기업 비율 3분의 2이상 참여를 고려하여 총 연구개발비의 25%를 민간부담으로 계상함
  - 예상 항목별 소요예산은 정부출연금에 해당하는 예산으로만 작성함
  - 민간부담금은 전체 소요예산을 책정하는 데에만 활용하고 항목별 소요예산에서는 고려하지 않음
- 항목별 예산은 '국토교통부소관 연구개발사업 운영규정'의 '별표 2. 연구개발비 비목별 계상기준(제32조 제1항 관련)'을 작성기준에 따라 아래와 같이 산정함(기업부담금은 별표 1의 '라'항을 참조하여 계상한 추정치임)

[표 5-1] 기업부담금 출연기준

구 분	기업부담금 출연기준(총 연구개발비 대비)
대기업 참여	50% 이상
참여기업이 중소기업·대기업이 아닌 경우	40% 이상
중소기업 참여	25% 이상
2개이상의 참여기업 중 중소기업의 비율이 2/3 이상	25% 이상

## 2. 전체사업 소요예산

### 가. 총괄 소요예산

(단위 : 백만원)

분류	1차년		2차년		3차년		4차년		5차년(max)		합계	
	정부	민간	정부	민간	정부	민간	정부	민간	정부	민간	정부	민간
총괄	3,000	1,000	5,000	1,666.7	5,000	1,666.7	4,000	1,333.3	3,000	1,000	20,000	6,666.7
중점추진 분야 1	650	216.7	1,000	333.3	1,000	333.3	800	266.7	650	216.7	4,100	1366.7
중점추진 분야 2	850	283.3	1,500	500.0	1,500	500	1,200	400	850	283.3	5,900	1966.7
중점추진 분야 3	750	250	1,250	416.7	1,250	416.7	1,000	333.3	750	250	5,000	1666.7
중점추진 분야 4	750	250	1,250	416.7	1,250	416.7	1,000	333.3	750	250	5,000	1666.7

### 나. 예산 항목별 소요예산

(단위 : 천원)

예산 항목	세부 항목	구분					소계	비율	
		단가 (연봉)	1차 년도	2차 년도	3차 년도	4차 년도			5차 년도
인건비	책임 연구원	73,392	278.9	286.2	286.2	264.2	256.9	1,372.4	6.86
	연구원	56,276	225.1	467.1	478.3	444.6	427.7	2,042.8	10.21
	연구 보조원	37,618	342.3	455.2	455.2	308.5	206.9	1,768.0	8.84
	보조원	28,215	118.5	169.3	169.3	124.1	95.9	677.2	3.39
소계			964.8	1,377.8	1,389.0	1,141.4	987.4	5,860.5	29.30
직접비	연구장비/재료비		1,165.5	2,169.7	2,158.5	1,694.4	1,143.0	8,331.0	41.66
	연구활동비		159.1	268.3	268.3	214.6	159.1	1,069.3	5.35
	연구과제 추진비		170.1	284.5	284.5	227.6	170.1	1,136.7	5.68
	연구수당		118.5	196.8	196.8	158.0	118.5	788.5	3.94
소계			1,613.2	2,919.2	2,908.0	2,294.6	1,590.6	11,325.5	56.63
간접비			422.0	703.0	703.0	564.0	422.0	2,814.0	14.07
합계			3,000.0	5,000.0	5,000.0	4,000.0	3,000.0	20,000.0	100.00

\*인건비=소요인력(ManPower) × 단가

### 3. 중점추진분야별 소요예산

#### 가. 중점추진분야 1

(단위 : 백만원)

예산 항목	세부 항목	구분					소계	비율	
		단가 (연봉)	1차 년도	2차 년도	3차 년도	4차 년도			5차 년도
인건비	책임 연구원	73,392	58.71	58.71	58.71	58.71	58.71	293.57	7.2
	연구원	56,276	56.28	90.04	90.04	90.04	90.04	416.44	10.2
	연구 보조원	37,618	60.19	90.28	90.28	30.09	30.09	300.94	7.3
	보조원	28,215	22.57	45.14	45.14	11.29	11.29	135.43	3.3
소계			197.75	284.18	284.18	190.14	190.14	1,146.39	28.0
직접비	연구장비/ 재료비		255.65	413.82	413.82	367.66	263.26	1,719.41	41.9
	연구활동비		33.80	52.00	52.00	41.60	33.80	208.00	5.2
	과제추진비		33.80	52.00	52.00	41.60	33.80	213.20	5.2
	연구수당		38.00	58.00	58.00	47.00	38.00	239.00	5.8
소계			361.25	575.82	575.82	497.86	368.86	2,379.61	58.2
간접비			91.00	140.00	140.00	112.00	91.00	574.00	14.0
합계			650.00	1,000.00	1,000.00	800.00	650.00	4,100.00	100

#### 나. 중점추진분야 2

(단위 : 백만원)

예산 항목	세부 항목	구분					소계	비율	
		단가 (연봉)	1차 년도	2차 년도	3차 년도	4차 년도			5차 년도
인건비	책임 연구원	73,392	88.07	88.07	88.07	66.05	66.05	396.32	6.7
	연구원	56,276	67.53	146.32	146.32	112.55	101.30	574.02	9.7
	연구 보조원	37,618	120.38	150.47	150.47	90.28	45.14	556.75	9.4
	보조원	28,215	33.86	45.14	45.14	33.86	25.39	183.40	3.1
소계			309.84	430.00	430.00	302.75	237.88	1,710.48	29.0
직접비	연구장비/ 재료비		241.51	543.50	543.50	474.45	313.47	2,116.42	35.9
	연구활동비		75.65	133.50	133.50	106.80	75.65	525.10	8.9
	과제추진비		55.25	97.50	97.50	78.00	55.25	383.50	6.5
	연구수당		46.75	82.50	82.50	66.00	46.75	324.50	5.5
소계			419.16	857.00	857.00	725.25	491.12	3,349.52	56.8
간접비			121.00	213.00	213.00	172.00	121.00	840.00	14.2
합계			850.00	1,500.00	1,500.00	1,200.00	850.00	5,900.00	100

## 다. 중점추진분야 3

(단위 : 백만원)

예산 항목	세부 항목	구분						소계	비율
		단가 (연봉)	1차 년도	2차 년도	3차 년도	4차 년도	5차 년도		
인건비	책임 연구원	73,392	66.05	66.05	66.05	66.05	58.71	322.92	6.5
	연구원	56,276	45.02	112.55	112.55	112.55	106.92	489.60	9.8
	연구 보조원	37,618	75.24	101.57	101.57	75.24	48.90	402.51	8.1
	보조원	28,215	31.04	36.68	36.68	36.68	28.22	169.29	3.4
소계			217.35	316.85	316.85	290.52	242.76	1384.33	27.7
직접비	연구장비/ 재료비		334.50	602.90	602.90	445.28	309.09	2294.67	45.9
	연구활동비		38.40	64.00	64.00	51.20	38.40	256.00	5.1
	과제추진비		36.00	60.00	60.00	48.00	36.00	240.00	4.8
	연구수당		18.75	31.25	31.25	25.00	18.75	125.00	2.5
소계			427.65	758.15	758.15	569.48	402.24	2915.67	58.3
간접비			105.00	175.00	175.00	140.00	105.00	700.00	14.0
합계			750	1250	1250	1000	750	5000.00	100

## 라. 중점추진분야 4

(단위 : 백만원)

예산 항목	세부 항목	구분						소계	비율
		단가 (연봉)	1차 년도	2차 년도	3차 년도	4차 년도	5차 년도		
인건비	책임 연구원	73,392	66.05	73.39	73.39	73.39	73.39	359.62	7.2
	연구원	56,276	56.28	118.18	129.43	129.43	129.43	562.76	11.3
	연구 보조원	37,618	86.52	112.85	112.85	112.85	82.76	507.84	10.2
	보조원	28,215	31.04	42.32	42.32	42.32	31.04	189.04	3.8
소계			239.89	346.75	358.00	358.00	316.62	1619.26	32.4
직접비	연구장비/ 재료비		333.86	609.50	598.25	407.00	257.13	2205.74	44.1
	연구활동비		11.25	18.75	18.75	15.00	11.25	75.00	1.5
	과제추진비		45.00	75.00	75.00	60.00	45.00	300.00	6.0
	연구수당		15.00	25.00	25.00	20.00	15.00	100.00	2.0
소계			405.11	728.25	717.00	502.00	328.38	2680.74	53.6
간접비			105.00	175.00	175.00	140.00	105.00	700.00	14.0
합계			750	1250	1250	1000	750	5000.00	100

## 4. 연구비 검토 결과

### 가. 총괄예산

- 전체 연구개발비는 266.66억원으로 이중, 정부출연금인 200억원, 민간부담금이 66.66억원 수준으로 전체 연구예산 대비 정부출연금이 약 75%수준임
- 과제별 연구개발비(민간부담금 포함)는 중점추진분야 1과제가 54.66억원, 중점추진분야 2과제가 78.66억원, 중점추진분야 3과제가 66.67억원, 중점추진분야 4과제가 66.67억원으로 편성됨
- 연구단 전체 및 총 연구기간 중 인건비가 약 39.9%, 직접비가 약 46%, 간접비가 약 14.1%로 편성됨

### 나. 종합 검토결과

#### (1) 예산계획 수립체계 및 과정의 적절성

- 각 세부과제별 기획위원회를 구성, 최소연구 단위인 후보과제를 수행하는데 소요되는 적정비용을 분석하고 상향식 방법으로 예산을 산출하여, 체계적으로 예산계획이 수립된 것으로 보임
- 본 과제의 총 소요예산은 266억원으로 정부출연금이 200억원, 추정 민간부담금이 66억원이며, 민간부담금 및 세부적인 소요예산에 대해서는 연구 추진단계에서 보다 구체화될 수 있을 것으로 판단됨

#### (2) 과제별 예산 작성 및 배분의 합리성

- 각 과제별 정부지원 및 민간 예산을 연차별로 구분하고, 인건비, 직접비, 간접비를 세부적으로 구분하여 제시하여 각 연구에 소요되는 예산이 비교적 명확하게 제시된 것으로 분석됨.
  - 인건비는 연구원을 4단계로 구분하여 참여율을 고려하여 산정함
  - 직접비는 연구장비/재료비, 연구활동비, 연구과제추진비, 연구수당으로 구분하여 산정함

#### (3) 인력 투입 및 확보계획의 적절성

- 5차년도에 걸쳐 본 연구 수행을 위한 총 소요 연구인력은 171.8명으로 세부과제별, 세세부과제별 투입 연구인력을 연구일정에 맞추어 제시하고 있음
- 실제 연구소요 인력의 경우 향후 연구추진 단계에서 이를 보다 구체화 할 수 있을 것으로 보임

## 6

## 사전타당성 검토

## 1절 정책적 타당성

## 1. 국가전략의 중요성

- 국민의 안전을 최우선으로 하는 현 정부 정책에 부합
- 본 연구단의 기술개발을 통한 정부 정책 실현
  - 서울지역을 중심으로 사회적인 이슈화가 되고 있는 지하수 및 지반함몰 문제에 기술적으로 대응함으로써 여러 가지 지하수와 연계된 지반사고로 인한 국민의 불안감을 감소시키고 안전한 미래 도시 건설을 위한 기술을 확보함
  - 싱크홀은 노후된 상·하수도관에서 새어 나온 물이 주변 흙을 쓸고 내려가면서 지하에 공간이 생기고 상부 압력이 커질 때 가장 많이 발생한다. 또 지하철 등 지하공간을 개발하는 과정에서 지하수 유입 등으로 토사가 유출되거나 부실 공사로 빈 공간이 생겼을 때도 위험성은 더 커진다. 도심지의 지하수를 지반침하 방지의 관점에서 관리하므로서 지반침하 전조현상을 가장 빠르게 파악할 수 있도록 기술개발이 필요함
  - 2014년 12월 국토교통부가 발표한 싱크홀 예방을 위한 ‘지반침하 예방대책’에서 지하공간 통합지도 구축 및 서비스, 굴착 공사 현장 주변의 안전관리 강화, 불안요소에 대한 선제적 모니터링 및 관리, 지하공간 통합 안전관리 체계의 기반 조성 등이 제시되었으며 본 연구단의 기술 개발을 통해 안전관리 강화와 불안요소에 대한 선제적 모니터링 및 관리 기술이 개발될 것으로 기대함
  - 국회 국토교통위원회와 안전행정위원회에서 땅속안전을 책임질 법적근거를 담은 제정법을 발의하였음. 지하를 안전하게 개발하고 이용하기 위한 관리 체계를 확립하고 지반침하를 방지하고 공공의 안전을 확보하기 위해 ‘지하의 안전관리에 관한 특별법(이하 지하안전특별법)’을 추진하고 있음. 전국 각지에서 발생하는 싱크홀에 대응하는 입법 사례로서 본 연구과제를 성공시켜 해당 법에 대한 기술적인 지원 및 해결책 제시가 가능함

## 2. 상위계획 부합성

- 지하수 및 지반구조 영향 계측·평가·관리기술 개발을 지향하는 등 연구단은 ‘박근혜정부 국정목표 및 국정과제(5. '10, '91)', ‘경제혁신 3개년 계획(18, '26, '31)', ‘창조경제(전략 2)', ‘법정계획: 제3차 과학기술기본계획(13~17)', ‘제5차 건설기술진흥기본계획(13~17)’의 건설공사 현장의 재해 및 안전사고 저감과 고부가가치 원천기술 확보를 추구하는 방향성에 부합
- 국정과제 ‘5. 중소·중견기업의 수출경쟁력 강화’를 통해서 중소기업의 새로운 수출동력을 마련하고, ‘10. 교통체계·해운 선진화 및 건설·원전산업 해외진출 지원’에서 해외 건설 시장 진출 및 수주 경쟁력 강화를 추진하고 있으며, ‘91. 안전하고 쾌적한 일터 조성’에서 안전한 지반굴착기술로 건설공사 현장의 재해 및 안전사고 저감에 기여하고자 함
- 경제혁신 3개년 계획은 (18. 중소·중견기업 경쟁력 강화)의 정책 일환으로 굴착 및 보강 관련 중소·중견기업 육성 및 해외 건설시장 진출 기업들의 경쟁력을 강화하고, (26. 융합 신산업 육성)에서 IT기술 기반의 굴착현장 관리 및 영향평가 기술 개발을 추진하며, (31. 해외건설플랜트 수출 고부가가치화)를 통하여 기술력 기반의 고부가가치 원천기술을 보유·활용하고자 함
- 창조경제의 (전략 2 벤처·중소기업의 창조경제 주역화 및 글로벌 진출 강화)를 통하여 국내 중소·중견기업이 담당하고 있는 보수·보강 및 도심지 굴착관련 분야에서 중소·중견기업의 기술확보 및 글로벌 시장 진출을 지원함
- 법정계획: 3차 과학기술기본계획(13~17)을 통하여 국토인프라 선진화를 추구하고 사업화 초기장벽 극복지원을 확대하며 융합 기술 개발을 촉진시키고자 함
- 법정계획: 제5차 건설기술진흥기본계획(13~17)을 통하여 (1-수 Green&Smart 건설기술 개발)로 ③기초·원천·핵심기술 R&D를 추진함

### 2절 기술적 타당성

#### 1. 기술개발 계획의 적절성

- 본 연구단의 비전으로 제시하고 있는 ‘효율적인 지하수 관리로 안전한 도시 생활 확보를 통한 창조경제 실현’ 달성을 위해 본 연구단의 사업목표를 ‘도심지 지반굴착에 따른 지표수, 지하수 유동 및 물수지 평가기술 개발’, ‘지하수와 지하구조물에 의한 지반 변상 분석 기법 개발’, ‘건축물 및 지하구조물 주변 지하수 흐름 관리기법 개발’, ‘지하수위 변화에 의한 도시지반 침하 측정기술 개발’, ‘지하수 및 지반구조물 통합계측 및 관리 시스템 개발’로 구체적으로 제시함

- 중점추진분야로 ‘도심지 지역단위 지하수 평가 메커니즘 개발 분야’, ‘지하수위 급변에 따른 단기 지반변형 예측 및 방지기술 개발 분야’, ‘장기 지반침하에 대한 도시 인프라 취약성 평가 및 대책기술 개발 분야’, ‘해외시장 진출형 저비용&고신뢰성 도심지 지하수/지반침하 네트워크 시스템 개발 분야’를 설정하고, 이를 실현하기 위한 최적의 과제 구성을 제시함
- 기술수요조사, 기술수준예측조사, 우선순위조사 등을 통해 해당분야 전문가들의 의견을 적극 반영하여 과제 발굴과 구성에 있어서 최대한 객관성을 확보함
- 본 연구단의 사업목표를 달성하기 위해 각 중점추진과제를 구성하였으며, 적절한 연구개발 목표와 연구내용 및 범위를 설정하여 제시함

## 2. 중복성

- 본 연구단에서 추진하는 과제는 기획과정과 평가위원회 검토를 통해 기존 연구와의 중복성을 검토하였으며, 기존연구와 연계, 활용, 차별화 전략을 제시하여 중복성을 최소화한 것으로 분석됨
  - 본 연구에 대한 중복성 조사는 1차적으로 NTIS 자료 및 각 부처 R&D 계획 자료를 이용하여 중복가능성이 있는 사업과 과제들을 스크리닝 하였음
  - 기획과정에서 전문가 워크샵을 추진하여, 1차 스크리닝 결과에 대해 검토를 하였으며, 착수보고 및 평가위원회 검토시 제기된 중복과제에 대해 면밀한 검토를 하였음
- 기획과정을 통해 제기된 기존 유사연구 및 이에 대한 연계, 활용, 차별화 전략은 다음과 같음

연구과제명	주요연구내용	연계방안 및 차별화 방안
도심지 지반함몰 저감을 위한 지하매설물 설치 기술 개발 (2014. 12. 29 ~ 2016. 06. 28)	-지하매설물 설치기술 분야 연구기획 (하수관거에 만 국한하지 않고 7대 매설물 설치에 따른 지반 함몰 문제점 분석과 이를 해결하기 위해 개발이 필요한 기술에 대한 기획 수행) -고유동성 채움재 개발 고유동성 채움재 설계, 시공기법 및 시공지침 개발	-고유동성 뒤채움재 개발이 목적으로 본 사업과 관련이 적음
국토 라이프라인 연구개발사업 기획 (2014. 06. 19 ~ 2015. 06. 18)	-국토 공간 내 기발시설과 이의 연결망으로 구성 되는 “국토 라이프라인 연구개발사업”을 기획함으로써 사업의 기술성, 투자 타당성 등의 예비타당성 분석 -대내외 환경 분석 및 전략 사업 선정 국토라이프라인 기술 개발 추진계획 수립	-국토 라이프라인 건설을 위한 연구개발 기획사업으로 본 사업과 관련이 적음
사물인터넷(IoT)기반 도시 지하매설물 모니터링 및 관리시스템 기술 개발 (2014. 12. 09 ~ 2017. 12. 31)	-지하공간 상황을 조기에 감지, 예측, 대응하는 IoT기반 지하공간 그리드 시스템 개발 1)IoT기반 재난재해 예측 및 대응기술 2)지하매설물 실시간 전역 위험 감시 기술 3)도시철도 지하구조물 및 주변 지반 감시 기술 4)지하수 및 지질환경 실시간 예측 기술	-기존 연구는 사물 인터넷을 기반으로 하는 센서 등의 하드웨어를 개발을 주목적으로 함. -본 연구사업에서는 노후된 상·하수도관에서 새어 나온 물이 주변 흙을 쓸고 내려가거나, 지하철 등 지하공간을 개발하는 과

연구과제명	주요연구내용	연계방안 및 차별화 방안
		<p>정에서 지하수 이동으로 발생하는 함몰 및 침하를 사전예측 및 관리하기 위한 광역 및 지하구조물 주변 지하수 해석기술, 급속한 지하수위 변화에 따른 긴급 대응 기술 및 도시 전체를 관리하기 위한 기법, 지침등의 개발을 목적으로 함.</p> <p>-기존 연구에서 개발되는 성과품을 반영하여 관리기법을 선진화 시킬수 있으며, 국가 또는 지방자치단체의 지침 등에 반영하여 기존 연구의 성과품의 활용을 제고화 시킬 수 있음.</p>
하수관로 누수에 기인하는 지반침하(공동)탐지 및 평가기법 개발 (2014. 12. 01 ~ 2016. 09 .30)	-하수관 누수지역 CCTV, GPR 탐사 -하수관로로 인한 지반침하 탐지 평가기법 (GPR+CCTV) 개발 및 조사매뉴얼 작성	-하수관로 누수지역을 신속하게 찾는 조사 기술과 보수기술의 개발이 목적임. -본 연구사업은 도시 전체를 대상으로 하고 있으며, 도로, 보도 등에서 발생하는 지반침하 방지가 목적임. 대상구조물 또한 상하수도물 포함하여 지하철 등의 모든 지하구조물물을 대상으로 하고 있음.
하수관로로 인한 지반침하 방지를 위한 가소성 뒤채움재 현장적용기술개발 (2014. 12. 01 ~ 2016. 09 .30)	-하수관로 누수 방지, 다짐특성 개선을 위한 가소성 채움재 개발 -가소성 채움재를 이용한 하수관로 뒤채움 다짐특성 평가 및 현장적용 기술개발	-하수관로 누수 방지를 위한 뒤채움재 재료 개발이 목적으로, 본 연구사업과 관련이 없음.
하수관거관리기술연구단 (2011~2016)	-2020년 하수관거의 본격적인 유지관리 시대에 대비해 하수관거 인프라의 자산관리기술 고도화, 쾌적한 하수관거 기능 고도화, 안전한 도시배수 시스템에 최적구축기술 개발	-효율적 하수관거 관리를 위한 자산관리 기술 고도화 사업임. 본 연구사업과 관련이 없음.
사회기반시설 재난예방 및 대응기술 융합클러스터 (2014. 12. 09. ~ 2015. 12. 31.)	-도심지 시설물, 대형 지하산업 시설물, 광역교통 시설물, 빅데이터를 활용한 유지관리 분과로 구성하고 인적, 자연적 재해에 대응할 수 있는 방법에 대한 아이디어를 공유하고 창의적인 연구과제를 도출하기 위한 협력체계	-융합연구를 도출하기 위한 기획과제로서, 도심지 시설물, 대형 지하산업 시설, 광역 교통시설물을 관리하기 위한 신개념 도출이 목적임. 본 연구사업과 관련이 없음.

### 3. 정부지원 타당성

- 정부지원 타당성 분석에서의 주요 쟁점은 1. 정부지원 필요성 2. 정부미지원시 문제점이며, 이에 대한 최종 검토의견은 다음과 같음
  - 본 연구개발기술은 공공성이 큰 중장기적 기반기술이며, 해외 시장 진출에 대응하기 위해서는 5년 이내에 집중적인 연구개발이 요구되며, 많은 기술개발투자금액이 소요될 예정이어서 민간에서 추진하기 어려우며, 정부에서 집중적으로 개발할 필요가 있음
  - 정부에서 지원하지 않을 경우, 민간 추진 시 기술개발속도 저하가 예상되며, 민간에서도 참여하지않을 경우 선진국 기술의존도 증대, 외화낭비, 지하수 원인에 의한 지반함몰의 발생률 증가, 기술중속 등이 예상됨

## 3절 경제적 타당성

## 1. 비용-편익 분석(Benefit/Cost Analysis)

## 가. 개요

## (1) 분석대상

- 비용-편익 분석은 동 연구단을 구성하고 있는 4개 세부과제 추진 시 소요되는 예산과 발생할 것으로 예상되는 편익을 고려하여 분석함

## (2) 편익범위

- 동 연구단의 기술개발에 의한 편익은 굴착공사 중 붕괴사고 발생 저감을 통한 피해액 감소임
- 편익 산정은 미래에 예상되는 붕괴사고 발생 중 동 연구단의 개발기술 적용 시 감소하는 붕괴사고와 피해액을 추정하고, 연구단 개발기술이 기여한 부분을 고려하여 산정함
- 편익 = 연평균 공사중 붕괴사고 발생건수 × 개발기술 적용 대상 시장 비중 × 붕괴사고 발생 시 피해액 × 붕괴사고 저감률 × 개발기술 적용률 × 기술개발성공률 × R&D 기여율

## (3) 편익 산출을 위한 요소

- 굴착공사 중 붕괴사고 발생 저감을 통한 피해액 감소분을 환산하기 위하여, 연평균 공사중 붕괴사고, 개발기술 적용대상 시장 비중, 개발기술 적용률, 기술개발 성공률, R&D 기여율, 할인율을 고려함
- 연평균 공사중 붕괴사고 발생건수 : 국내에서 발생할 것으로 예상되는 공사중 붕괴사고 발생건수
- 개발기술 적용대상 시장 비중 : 공사현장 중 개발기술 적용 대상이 되는 지반굴착 공사 현장 비중
- 붕괴사고 발생 시 피해액 : 터파기 및 보강공사에서 붕괴 발생 시 추가되는 시공비용 및 인적피해로 인한 사회적 비용
- 붕괴사고 저감률 : 연구단 개발기술 적용 시 감소할 것으로 예상되는 붕괴사고 비율
- 개발기술 적용률 : 연도별로 개발기술이 공사현장에 적용될 것으로 예상되는 비율
- 기술개발 성공률 : 계획한 기간 내에 목표한 수준까지 기술을 개발하고, 실용화에 성공할 확률

- R&D 기여율 : 본 연구 과제를 통해 달성된 기술 개선 비중
- 할인율 : 화폐의 현재가치 추정을 위한 할인율

(4) 비용의 설정

- 비용은 동 연구단을 구성하는 1~4세부과제의 향후 5년간 예산(안)으로 정부출연금과 민간 참여금의 합한 금액의 현재가치로 산정함

나. 비용-편익 분석 결과

(1) 편익분석

- 연평균 공사중 붕괴사고 발생건수는 매년 100.6건이 발생할 것으로 추정함
- '09년~'13년간 발생한 붕괴사고는 평균적으로 330.6건이 발생하고 있음<sup>1)</sup>
  - '09년부터 '12년까지 붕괴사고는 증가하나 이후 소폭 감소하고 있으며, 안전한 지반굴착 및 지하수관리기술 개발을 추진하는 등 정부의 적극적인 노력으로 향후 붕괴사고가 증가하지는 않을 것으로 고려함
  - '09년부터 '13년까지 평균 붕괴사고 발생건수를 기반으로 향후 약 330.6건의 붕괴사고가 발생하는 것으로 가정함

	2009	2010	2011	2012	2013	평균
붕괴사고 발생건수	220.0	261.0	369.0	402.0	401.0	330.6

\*자료 : 재난연감 2010~2013

- '13년 기준 붕괴사고 발생위치 비중을 확인한 결과 약 30.4%가 공사현장에서 발생하는 것으로 조사되었으며, 이를 기반으로 공사중 붕괴사고 발생건수는 매년 100.6건이 발생할 것으로 추정함<sup>2)</sup>
- 붕괴사고가 발생한 공사현장 중 지하수관리 기술이 적용가능할 것으로 예상되는 현장은 약 60%로 추정함<sup>3)</sup>
- 붕괴사고 발생 시 건당 피해규모는 '15년 기준으로 약 50억원이 발생할 것으로 추정하였으며, 이를 기반으로 개발기술이 적용될 것으로 예상되는 '19년에는 피해규모가 약 55.6억원으로 예상됨

1) 재난연감 2010~2013, 국민안전처, 2014  
 2) 재난연감 2013, 국민안전처, 2014  
 3) 기획연구진 인터뷰

- 굴착공사를 수행하는 시공사의 전문가 인터뷰를 통해 약 150억원 규모의 터파기 및 보강공사 중 붕괴발생 시 추가 시공비용 40억원, 인명피해 보상비용 등 사회적 비용 약 10억원 등 총 50억원의 피해액이 발생할 것으로 추정함<sup>4)</sup>
  - 면적 60m×500m, 깊이 12m의 터파기 및 보강공사 관련 시공 시 약 150억원이 소요됨
  - 터파기 및 보강공사 중 붕괴 발생 시 약 30%의 추가 재료가 발생하는 등 40억원 규모의 추가 시공비용이 발생할 것으로 추정함
- 피해액은 매년 연평균 물가상승률 2.7%수준<sup>5)</sup>으로 증가하는 것으로 가정함

	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028
붕괴사고 발생시 건당 피해액(억원)	55.6	57.1	58.7	60.3	61.9	63.5	65.3	67.0	68.8	70.7

- 지하수 관리 기술 적용 시 기존 발생하는 붕괴사고를 약 60%가량 저감할 수 있을 것으로 기대됨<sup>6)</sup>
- 지하수 관리 기술은 연구단 4차년도인 `19년부터 Test-Bed현장에 적용되기 시작하여 매년 5%씩 공사현장 적용률을 늘려 30%수준을 유지하는 점유목표를 수립함<sup>7)</sup>
- 편익 발생기간은 기술진부화, 대체기술 등장 등을 고려하여 기술적용 이후 10년으로 설정함

	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028
개발기술의 공사현장 적용률	5%	10%	15%	20%	25%	30%	30%	30%	30%	30%

- 기술개발 성공률은 선행연구 결과를 기반으로 30%로 추정함<sup>8)</sup>
- 2010년 산업기술연구회 등에 대한 국정감사 결과에 의하면 정부 연구개발(R&D)성과의 사업화 성공률이 30% 수준으로 조사된 바 있으며 이를 준용하여 적용함
- R&D 기여율은 KISTEP의 ‘연구개발부문 사업의 예비타당성조사 표준지침(제2판)’에서 권고하고 있는 35.4%를 적용함<sup>9)</sup>

4) A시공사 전문가 인터뷰  
 5) 2005~2014년간 소비자 평균물가상승률, 한국은행 경제통계시스템  
 6) 기획연구진 인터뷰  
 7) 상등  
 8) 2010년 산업기술연구회에 대한 국정감사자료  
 9) 연구개발부문 사업의 예비타당성조사 표준지침(제2판), KISTEP, 2014

○ KISTEP의 ‘연구개발부문 사업의 예비타당성조사 표준지침(제2판)’에서는 `13년 7월 국가과학기술심의회에서 심의된 ‘제3차 과학기술기본계획’에서 최근 데이터를 적용하여 새롭게 구한 수치인 35.4%를 활용하는 것을 권고하고 있음

- 화폐의 현재가치 추정을 위한 할인율은 ‘KDI 일반지침(2007년)’인 5.5%를 적용함<sup>10)</sup>
- 지하수관리기술 적용으로 인한 지반붕괴사고 피해저감 편익의 현재가치는 335.3억원으로 분석됨

	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	계
공사중 붕괴사고 발생건수(건)	100.6	100.6	100.6	100.6	100.6	100.6	100.6	100.6	100.6	100.6	
개발기술 적용대상 공사현장 비중	60%	60%	60%	60%	60%	60%	60%	60%	60%	60%	
붕괴사고 발생시 건당 피해액(억원)	55.6	57.1	58.7	60.3	61.9	63.5	65.3	67.0	68.8	70.7	
기술 적용시 붕괴사고 저감율	60%	60%	60%	60%	60%	60%	60%	60%	60%	60%	
개발기술의 공사현장 적용률	5%	10%	15%	20%	25%	30%	30%	30%	30%	30%	
개발기술 성공률	30%	30%	30%	30%	30%	30%	30%	30%	30%	30%	
R&D기여율	35.4%	35.4%	35.4%	35.4%	35.4%	35.4%	35.4%	35.4%	35.4%	35.4%	
편익(억원)	10.7	22.0	33.8	46.3	59.5	73.3	75.3	77.3	79.4	81.6	559.2
편익의 현재가치(억원)	8.6	16.8	24.5	31.9	38.8	45.3	44.1	42.9	41.8	40.7	335.3

(2) 비용분석

- 정부-민간 투자를 고려한 동 연구단의 총 소요예산은 200.0억원이며, 이를 현재가치로 환산하면 166.4억원임

	2016	2017	2018	2019	2020	합계
소요예산(억원)	13.3	26.7	53.3	66.7	40.0	200.0
소요예산의 현재가치(억원)	12.6	24.0	45.4	53.8	30.6	166.4

(3) B/C ratio 분석

- 동 연구단 편익의 현재가치 335.3억원과 동 연구단의 투입비용의 현재가치 166.4억원을 고려한 B/C Ratio는 2.01로 경제성이 있는 것으로 분석됨

○  $B/C \text{ ratio} = 335.3 \text{억원} / 166.4 \text{억원} = 2.01$

10) 일반지침, KDI, 2007

## 7

## 과제 제안요구서 작성 및 평가기준 설정

## 1절 지하수 및 지반구조 영향 계측·평가·관리 기술 개발

연구개발과제명

지하수 및 지반구조 영향 계측·평가·관리 기술 개발

## 1. 연구개발 목표

- 안전한 도시생활 확보를 위한 효율적인 지하수 관리 및 지반변형 예측·방지 기술 개발
  - 도심지 광역 지하수 중장기적 평가 및 관리기술 개발
  - 지하구조물 주변 지하수 관리 및 계측기술 개발
  - 해외시장 진출형 도심지 지하수/지반침하 네트워크 시스템 개발
  - 도심지 함몰예방 및 지하수 관리를 위한 정책 수립 및 적용 방안 확보

## 2. 연구개발 필요성 및 기술동향

## □ 연구개발의 필요성

- 도심지가 고도화 되고 지하공간개발이 많이 수행하고 있는 현대사회에서 도심지 지하수와 연계된 지반구조의 변형을 초래하는 지반함몰이 많이 발생하고 있으며, 이에 대응하기 위한 도심지내 지하수 관리 및 지반변형 예측·방지 기술의 개발이 요구됨

## ◆ 「싱크홀 예방을 위한 지반침하 예방대책」 국토교통부('14.12)

- 지하공간 통합지도 구축 및 서비스, 굴착 공사 현장 주변의 안전관리 강화, 불안요소에 대한 선제적 모니터링 및 관리, 지하공간 통합 안전관리 체계의 기반 조성 등 제시

## ◆ 「지하안전관리에 관한 특별법」 발의('15. 5, 국회 계류중)

- 지하안전을 관리하는 개념으로 국가와 지자체에 지하안전관리 기본계획 수립 의무를 지우고 이와 함께 다양한 지하개발 과정에서 사전사후 영향평가를 의무적으로 수행해야함.

※ 2015년 안전 예산이 기존 12.4조원에서 14.6조원으로 대폭 확대되었으며, 지반함몰을 포함한 재난예방보완시설 확충 등의 건설안전관련사업이 4.4조원으로 가장 큰 비중을 보이는 등 건설안전관련 사업의 중요성이 부각되는 시점임

- 도심지 내 지하수 및 지질관련 기술은 조사 및 관측에 중점을 두고 있어 광범위한 관측결

연구개발과제명	지하수 및 지반구조 영향 계측·평가·관리 기술 개발
---------	------------------------------

과 자료를 도출하는데 그치고 있으며 이를 효율적으로 이용하기 위한 관리 시스템이 필요하며, 더 나아가 환경변화에 따른 광역 지반 및 지하수의 변화를 해석 및 평가할 수 있는 기술이 요구됨

※ 산업 시장은 조만간 8,000억 달러를 육박하는 거대규모의 시장형성이 전망되기 시작하고, 물수지 평가 및 지반침하에 대한 정성적 해석에 이어 정량적 평가 및 영향평가 기술 개발이 발달 단계에 있음

- 도심지 굴착공사에 있어서 지하수 관리 미흡으로 지반함몰 및 지하 매설물에 대한 피해가 많이 발생하고 있으나, 이와 연계된 지반특성을 반영한 지하수위 변화 및 오염현상에 대한 체계적인 연구는 미흡한 상태로 지하수 변동을 고려한 설계시공 기준이 필요하며, 정밀한 지하수 계측기술개발이 필요함

※ 사례로 해외의 경우 미국, 영국, 캐나다 등에서 관련 기술 연구가 활발히 진행되었으나, 해당 지역의 지반 및 지질특성을 반영한 안정해석 모델링 기술이므로 국내에 직접 사용하기에는 어려움이 있으며 국내 환경에 최적화된 기술개발이 별도로 이루어져야 함

- 기존에는 굴착공간으로 지하수 유입을 방지하기 위해 다양한 지반개량 공법 또는 차수 그라우팅 공법이 적용되고 있으나, 현재까지는 지하수 유속이 빠르거나 장기간 지반 개량 효과를 발휘해야 하는 현장에 효과적으로 지하수 유입을 방지할 수 있는 기술이 부재한 상태이며, 따라서 관련 기술의 개발이 필요한 상황임

- 또한, 지속적인 지하수와 연계된 지하안전에 미치는 영향을 미리 조사·예측·평가하여 지반함몰을 예방을 위한 평가 및 관리기술의 수립을 체계적으로 관리하는 정책 수립 필요함

- 국내 지반함몰 지역 중 소규모 함몰의 경우에는 시공후 지하수 유동에 장기간의 변화에 의해 발생한 경우로 이에 대한 장기 침하 특성 평가 기술 개발이 요구
  - 대규모 지반 굴착의 유형별로 지하수위의 시공간적 변동 프로세스에 대한 실증적 연구를 수행하여 시공 방법과 절차 등에 대한 개선점을 도출할 필요

- 도심지내 지하수와 연계된 지반함몰을 신속하게 평가하기 위한 지자체 및 유관기관의 상시조사에 활용하기 위한 도시형 지반함몰 측정용 센서 네트워크 시스템 및 스마트 통합관제 시스템을 도입하여 상시 관리 방안을 마련하여 관리기관의 역할을 강화할 필요
  - ※ 중국은 정부차원에서 지하수위 등 일반적인 환경정보 모니터링 시스템을 구축하고 있으나 종종 발생하여 큰 피해를 초래하는 지진, 싱크홀 대응 시스템은 미보유 상태이므로 본 기술개발을 성공하여 해외시장 진출에 있어 사업성이 높음

기술동향

국내 기술동향

- 유역 물순환 해석을 위한 지하수-지표수 연계해석이 가능한 ‘완전연동형 SWAT-K’ 기술의 경우 한국건설기술연구원에서 보유하고 있음

연구개발과제명	지하수 및 지반구조 영향 계측·평가·관리 기술 개발
	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 국토교통부와 수자원공사에서는 국가지하수관측망 및 보조지하수관측망을 구축해 있으며 실시간 시계열 자료구축이 가능</li> <li>○ 시설물 운영중 관측지하수위의 기준 초과여부의 상시계측, 원인분석 및 비상조치기술을 기본으로 하는 ‘지하수 수위의 관리방법’에 관하여 한국원자력연구원과 한국석유공사에서 관리법을 운용하고 있음</li> <li>○ 한국표준과학연구원에서는 ‘흙막이 공사현장의 붕괴 안전성 평가방법’에 관한 기술로 공사현장에 설치된 계측기에서 획득된 계측정보를 이용한 안전관리시스템 구축기술을 보유하고 있음</li> <li>○ 국내에서는 빗물의 인공함양에 대한 연구가 최근 수년간 진행되었으나, 강우보다 많은 수량을 갖고 있는 유출지하수는 바로 배출되는 시스템으로 되어 있어 수자원의 손실을 가져오고 있음</li> <li>○ 국내 지하수 유출량 측정은 웨어에 의한 방법과 배수펌프의 배수량을 적산유량계를 통하여 측정하는 방법으로 제시되고 있으며, 측정기술 자체는 보편적으로 이용하는 기술이지만, 구체적인 측정방식에 대한 기준이 제시되어 있지 않으며 자동측정 기술은 전무함.</li> <li>○ 광섬유는 환경정보 획득과 전송이 일체화되고, 측정환경에 따른 측정값의 변동이 낮고 고신뢰 데이터 전송이 가능하여 활용도가 높음</li> <li>○ 기존의 센서 네트워크는 신규 통신 시설의 구축이 필요하므로 사업성이 제한적임. 기 설치된 공공 시설물을 활용하면 획기적으로 낮은 비용으로 센서 네트워크 시스템을 구축할 수 있으므로 사업성 및 수익성 개선이 가능함</li> </ul> <p>□ 국외 기술동향</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>○ 호주에서는 도시구역의 물순환 모형, 저영향 개발 기법의 평가에 적용 가능한 ‘MUSIC’ 기술을 보유하고 있으며, 그 외, 물관리 전략관련 지침서를 배포하고 있음 <ul style="list-style-type: none"> <li>※‘도심지 물관리 전략계획 개선을 위한 모니터링 지침서’는 도심지, 지역, 물관리 전략을 세울 때 필요사항을 결정을 위한 지침서로서 모니터링 항목 설정과 모니터링 프로그램 개발에 대한 지침서</li> </ul> </li> <li>○ 미국 USGS(United States Geological Survey)에서는 3차원 지하수 유동해석 프로그램으로 ‘MODFLOW’, 캐나다 워털루 대학에서 보유하고 있는 완전분포형 지표수-지하수-수치 통합해석 모형인 ‘HydroGeosphere’가 있음</li> <li>○ 미국 일리노이대학에서는 굴착공사와 연관된 지반침하 및 함몰 특성 분석을 위한 지하수 흐름 상태 분석 기술을 이용한 ‘굴착공사에 따른 지반함몰 예방 안정해석 기술’을 보유하고 있으나 국내 지질특성을 반영하지 않아서 직접 사용하기는 어려움</li> </ul>

연구개발과제명	지하수 및 지반구조 영향 계측·평가·관리 기술 개발
	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 해외에서는 FBG(Fiber Bragg Grating) 등 광소자를 이용한 정밀측정 및 광대역측정이 가능한 광섬유센서 제품을 공급</li> <li>○ 지하 및 지상의 공공시설물 장착형 센서는 해외에서도 시작단계임</li> </ul>

**3. 연구개발 내용**

- 세부과제별 연구내용
  - [1세부과제] 도심지 지역단위 지하수 평가 메커니즘 개발
    - (1-1) 지하수위 변동에 미치는 수리 특성 해석
      - 도심지 수리지질학적 특성평가 사례분석
      - 도심지 지하수 함양량 시공간 분포 정량화 기법개발
      - 도시개발에 따른 지하수위 변동 정량화 기법 개발
      - 지하수 수위변동, 수량관리 가이드라인, 지침 및 관계 법령 개선
    - (1-2) 도심지 지하수 유동에 따른 지반 변형 예측 기술 개발
      - 도심지 하천변 유한차분 개념모델 구축
      - 지하수 유동에 따른 지반변형 예측 프로그램 개발 및 적용
      - 도심지 하천변 지하수 관리지침 제안
    - (1-3) 도심지 굴착에 따른 지하수-지표수 실시간 모니터링 기법 개발
      - 굴착에 따른 지하수-지표수 경계면 유출입량 평가 기술
      - 현장규모의 실시간 모니터링 기술 개발
      - 시험유역 운영을 통한 검증
    - (1-4) 광역 지하수 계측망을 활용한 이상징후 탐지 기술개발
      - 최적 지하수위 관측망 설정 프로그램 구축
      - 지하수 네트워크 교란에 인한 이상징후 원인규명 및 대책 방안 연구
      - GIS 웹기반 지하수위 변화 실시간 이상징후 발생 예보 시스템
  - [2세부과제] 시공중 지하수위 급변에 따른 지반변형 예측 및 방지기술 개발
    - (2-1) 지하수 대수층 및 지질분포에 따른 지반 위험성 예측기술
      - 3차원 지반구조 및 지질이상대 분석 기술
      - 지반굴착에 따른 지질과 대수층 변화를 고려한 3D 모델링 기법 개발
      - 지질과 지하수 연계 지반 안정성 평가 기법
    - (2-2) 지반굴착 중 지하수위 급변에 따른 단기 변형 예측 기술
      - 지반굴착에 따른 지반변형 요인 평가를 위한 계측
      - 지하수위 단기 강하 및 회복 개념 모델 구축
      - 지반굴착 유형별 단기 지반변형 예측 실물모형 개발 및 평가모델개발

## 연구개발과제명

## 지하수 및 지반구조 영향 계측·평가·관리 기술 개발

- (2-3) 굴착시 지하수에 의한 지반변형 방지 공법 개발
  - 지하수 유입을 방지할 수 있는 지반개량 공법 개발
  - 지반굴착시 토류벽 사전 건전도 모니터링 기술 및 지하수 유입 예측 기술 개발
  - 지하수 상태에 따른 흙막이 벽체와 차수 그라우팅 특성과의 상호작용 평가 기법
  - 차수 그라우팅 벽체의 건전도 평가 기법 개발 및 통합 계측 시스템 개발
- (2-4) 도심지 함몰 예방 및 지하수 관리를 위한 정책 수립 및 적용방안 연구  
(추후 분리공모 예정)
  - 국내외 지하수와 연계된 지반함몰 관련 정책 현황 분석 및 인벤토리 구축
  - 지하안전관리의 환경적 안정성 평가를 위한 사전 안정성 평가항목 수립 및 지침 수립
  - 지반함몰 예방을 위한 도심지 지하수 관리 법·제도 개선 및 신규 제정 방안 수립
  - 친환경적 활용 증진 및 관련 법·제도 적용 효과에 대한 이행평가 및 관리지침 수립

## [3세부과제] 지반침하에 따른 지반 위험도 평가 및 대책기술 개발

- (3-1) 시공후 지하수위 변화를 반영한 기존 구조물 주변 지반 위험도 평가 기술
  - 도시지역 장기변화 계측자료 수집 및 분석
  - 물리실험을 활용한 장기변형 특성 평가
  - 장기적 지하수 변화와 지반변위를 동시 해석할 수 있는 융합프로그램 개발
  - 시설물 주변의 지반위험도 평가 기준 개발
- (3-2) 시공후 구조물 주변 지하수 평가·관리 기법 개발
  - 지하수 유출 자동 측정장치 개발
  - 지하수 유출의 정량적 평가 기법 개발
  - 유출 지하수의 재활용 기술 개발
  - 구조물 완공 후의 구조물 주변에서의 지하수 수문평가기법 개발

## [4세부과제] 해외시장 진출형 저비용&amp;고신뢰성 도심지 지하수/지반침하 네트워크 시스템 개발

- (4-1) 지하수 자료 연계 지반 함몰 측정용 센서 네트워크 시스템 개발
  - 3차원 비시추 방식 토양, 지하수, 변형계측 센서 개발
  - 3차원 계측자료의 공간 해석 및 표출 기술 개발
  - 지하수, 지반함몰 연계 네트워크 시스템 개발
  - 개발된 센서 및 게이트웨이 연동 시스템 개발
- (4-2) SMART 통합 관제 및 해석 기술 개발
  - 지반이상 자료해석 및 평가 기법 개발

연구개발과제명	지하수 및 지반구조 영향 계측·평가·관리 기술 개발
	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 지반이상 예경보 기준 및 시스템 구축</li> <li>- 통합관제 시스템 설계 및 구축</li> <li>- 현장 적용을 통한 검증</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ (4-3) 해외시장 진출형 테스트 베드 구축                             <ul style="list-style-type: none"> <li>- 테스트베드 설계 및 시공 기술개발</li> <li>- 테스트베드 현지 경제성 평가 및 사업화 계획 수립</li> <li>- 현지 맞춤형 테스트베드 하드웨어 및 소프트웨어 구축</li> </ul> </li> </ul>
4. 연구개발 추진방법	
<ul style="list-style-type: none"> <li>□ 추진전략</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 각 단위과제별로 목표를 수립하고, 그에 적합한 추진전략 및 일정계획 수립</li> <li>○ 최종 성과물의 현장적용과 시범 운영을 통한 검증 및 실용화                             <ul style="list-style-type: none"> <li>- 핵심개발기술에 대한 시범적용 및 운영</li> <li>- 시스템 검증 및 문제점 보완, 최종 운영지침 마련</li> <li>- 개발기술의 실용화 및 기술이전 추진</li> <li>- 시범적용 현장 선정</li> </ul> </li> <li>○ 개발결과물의 특허출원, 해외진출 등을 통한 실수요처 기술이전 적극 추진 및 현장 활용성 도모</li> <li>○ 관련 기업, 공공부문 등 기술수요처와 유기적 협조체제 구축                             <ul style="list-style-type: none"> <li>- 연구성과를 현장에 적용시킬 수 있도록 관련 기술수요처 의견수렴</li> <li>- 현장 애로사항 및 의견을 연구개발에 반영</li> </ul> </li> <li>○ 관련분야 전문가 자문                             <ul style="list-style-type: none"> <li>- 각종 유사 선진시스템 및 적용 사례에 대한 조사</li> <li>- 과제성공률 제고를 위한 자문회의 등 내·외부 전문가 의견 수렴</li> </ul> </li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>□ 추진체계</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 연구개발계획서에는 구체적인 연구방법론이 반드시 제시되어야 함</li> <li>○ 본 공모는 분리공모과제를 제외한 연구단 컨소시엄 공모임                             <ul style="list-style-type: none"> <li>- 분리공모과제의 연구수행기관은 추후 별도 선정되며, 선정 이후 본 연구단 내 해당 세부 과제의 공동연구기관으로 편입 예정임</li> <li>- 연구단 컨소시엄 신청자는 <b>분리공모과제를 포함(연구내용 및 연구개발비 등 포함, 연구수행기관 제외)</b>한 연구계획을 수립하여 제안하되, 분리공모과제의 편입 후 통합추진을 고려하여 연계전략을 면밀히 수립하여 제시 바람</li> </ul> </li> <li>○ 연구성과의 실용화 성공률 극대화를 위한 전략 수립                             <ul style="list-style-type: none"> <li>- 개발기술의 현장적용을 통한 검증 강화 및 적용사례 확보</li> <li>- 실질적인 기술사업화 추진을 위한 실시기업 연계 및 실시기업의 기술개발 참여도 확대전략 수립</li> </ul> </li> </ul>

## 연구개발과제명

## 지하수 및 지반구조 영향 예측·평가·관리 기술 개발

- 정부(지자체) 및 관련 기업·공사 등 기술수요처와의 유기적 협조체제 구축
  - 연구성과를 현장에 적용시킬 수 있도록 관련 기술수요처 의견수렴
  - 현장 애로사항 및 의견을 연구개발에 반영
- 필요시 외국 전문가 또는 외국기관 활용
- 지반 및 지질 전문가, 지하수전문가 및 기계, 전자장치 등의 장치 전문가와의 밀접한 융합 연구가 필요한 분야로서 다학제간의 협업이 필요
  - 각계 전문가 자문단을 구성하여, 연구개발의 기술적·정책적·경제적 보완사항에 대한 자문
- 연구신청자는 과도한 기관수의 참여 및 연구계획 편성으로 인한 추진체계의 비효율성을 최대한 지양하고, 반드시 필요한 기관으로만 구성하여 연구추진의 효율성을 도모
- 과제의 목표달성을 위한 연구기간의 단계설정과 연구개발비의 적정하게 편성 여부
- 연구진의 연구참여율을 높여 연구집중도 제고 필요

## 5. 최종성과물

## □ 주요 최종성과물

[1세부과제] 도심지 지역단위 지하수 평가 메커니즘 개발

- (1-1) 지하수위 변동에 미치는 수리특성 해석
  - 도심지 수리지질학적 특성평가 사례분석
  - 통합수문해석 기반 도심지 지하수 함양의 감소량 평가 및 대책
  - 도심지 지하수위 하강에 따른 지반함몰 위험도 평가
  - 지속가능한 지반환경을 위한 지하수 수량 관리 가이드라인
- (1-2) 도심지 지하수 유동에 따른 지반 변형 예측 기술 개발
  - 하천변 해석에 관한 문헌조사 및 기존 기술습득 보고서
  - 하천변 유한차분 개념모델
  - 시험유역 운영을 통한 하천변 해석 3차원 정밀모델
  - 지반침하 방지를 위한 도심지 하천변 지하수 관리지침
- (1-3) 도심지 굴착에 따른 지하수-지표수 실시간 모니터링 기법 개발
  - 지하수-지표수 상호작용 수치 해석 알고리즘 및 프로토콜
  - 지하수-지표수 경계면 상호작용 모니터링 기술 및 상호작용 해석기술
  - 현장규모 3차원 지하수-지표수 상호작용 프로그램
  - 경계면 모니터링을 통한 안전기준

## 연구개발과제명

## 지하수 및 지반구조 영향 계측·평가·관리 기술 개발

- (1-4) 광역 지하수 계측망을 활용한 이상징후 탐지 기술개발
  - 지하구조 및 지하매설물의 정밀구조 파악을 위한 탐사 기법
  - 최적 지하수위 관측망 설정 프로그램
  - 지하수 네트워크 교란으로 인한 이상징후 발생원인 규명 기법
  - GIS web 기반 지하수위 변화에 대한 실시간 이상징후 발생 예고 시스템

## [2세부과제] 시공중 지하수위 급변에 따른 지반변형 예측 및 방지기술 개발

- (2-1) 지하수 대수층 및 지질분포에 따른 지반 위험성 예측기술
  - 지반함몰 안정성 평가기법 및 지반 3D 모델링 기술
  - 지질특성별 지반함몰 위험지역 안정화 공법 시공 가이드 라인
- (2-2) 지반굴착 중 지하수위 급변에 따른 단기 변형 예측 기술
  - 지하수위 변화에 따른 단기 지반변형 특성분석 보고서
  - 지반변형 예측 모형 개발
  - 지반변형 예측 설계 기준
- (2-3) 굴착시 지하수에 의한 지반변형 방지 공법 개발
  - 토류벽 굴착 중 사전 지하수 유출 가능성 평가 및 벽체 건전도 모니터링 구축 (시제품, 특허, 실내시험 보고서, 현장적용 검증)
  - 지하굴착시 지하수 유출 방지를 위한 고내구성 지반개량 및 주입공법 개발 (시제품, 특허, 실내시험 보고서, 현장적용 검증)
  - 흙막이 벽체와 차수 그라우팅 특성 분석 보고서
  - 지하수 상태에 따른 차수 그라우팅 건전도 평가 방안 적정성 분석 보고서
  - 굴착지반 주변 지하수위 유지 및 복원을 위한 계측기법 개발 및 현장적용 검증
- (2-4) 도심지 함몰 예방 및 지하수 관리를 위한 정책 수립 및 적용방안 연구(추후 분리공모 예정)
  - 도심지 지하수위 변동에 따른 지반 함몰 및 구조물 영향 저감을 위한 지침
  - 도심지 지반함몰 예방을 위한 지하수 안정성 평가 매뉴얼
  - 도심지 지하수 관리방안과 관리 주체별 특성을 반영한 관리 지침

## [3세부과제] 지반침하에 따른 지반 위험도 평가 및 대책기술 개발

- (3-1) 시공후 지하수위 변화를 반영한 기존 구조물 주변 지반 위험도 평가 기술
  - 구조물 유형별 장기변형특성 평가 tool 매뉴얼
  - 지하수-지반 융합 해석 지침서
  - 도시 노후 구조물 지반변형 위험도 평가 기준
  - 지반변형 위험도 도면 제작(1:5,000 이상)

## 연구개발과제명

## 지하수 및 지반구조 영향 계측·평가·관리 기술 개발

- (3-2) 시공후 구조물 주변 지하수 평가·관리 기법 개발
  - 지하수 유출저감 공법 개발(기존기술 대비 20% 개선)
  - 유출지하수의 평가 모델링 지침서 발간
  - 지하수 수량 측정 장치 개발
  - 도시 구조물 주변 지하수위 유지 기준 지침

[4세부과제] 해외시장 진출형 저비용&고신뢰성 도심지 지하수/지반침하 네트워크 시스템 개발

- (4-1) 지하수 자료 연계 지반 함몰 측정용 센서 네트워크 시스템 개발
  - 광섬유 센서가 결합된 변위, 수온, 수위 측정 기술 개발
  - 측정센서의 취합 계측 모니터링 시스템 개발
  - 연속측정식 토양센서 개발
  - 지반·지하수·토양 일체형 통합 계측 센서 시제품 개발
  - 초소형 통신장치 개발
  - 지하수, 지반, 토양 연계 해석 지침서
- (4-2) SMART 통합 관제 및 해석 기술 개발
  - 지하·공공 시설물 및 통신관로용 지반이상 측정장치 개발
  - 지하·공공 시설물 및 통신관로용 설계기준
  - 통합 관제 솔루션 개발
  - 현장적용을 통한 기술검증 및 상용화
- (4-3) 해외시장 진출형 테스트 베드 구축
  - 광섬유 센서 적용 테스트베드 시스템 설계 구축 및 기준
  - 시스템 진잔 및 on-site 시뮬레이션 시스템 구축
  - 국내·외 성능검증 및 결과 분석
  - 경제성 평가 및 사업성 평가서

## 6. 활용방안 및 기대효과

- 활용방안
  - 향후 도심지 지반함몰의 원인이 되는 지하수와 연계된 지하안전에 미치는 영향을 사전 조사·예측·평가 관리기술에 적극 활용
  - 세계적 수준의 저비용&고신뢰성 도심지 지하수/지반침하 네트워크 시스템 기술확보로 개발도상국 중심으로 개발기술의 해외 수출(설계지원, 기술이전 및 사업수주 등)
  - 도심지내 도로, 지하철, 지중구조물 등 타 SOC 건설사업 추진시 시공 관련 지하수 유출 입량 평가, 지반함몰 예방을 위한 지하수 모니터링 기법, 지반굴착 유형별 지하수 변동

연구개발과제명	지하수 및 지반구조 영향 계측·평가·관리 기술 개발
	<p>예측 및 설계 기술 등 활용</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>○ 도심지 함몰예방 및 지하수 관리를 위한 가이드라인 및 친환경적 정책 수립 및 적용가능</li> </ul>
□ 기대효과	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 지반함몰 예방대책의 일환으로 안전관리 강화와 불안요소에 대한 선제적 모니터링 및 관리기술이 개발될 것으로 기대             <ul style="list-style-type: none"> <li>- 지하수 관리 기술 적용시 기존 발생하는 함몰사고를 약 60%가량 저감 기대</li> </ul> </li> <li>○ 2019년부터 Test-Bed 현장에서 적용되기 시작하여 매년 5%씩 공사현장 적용률을 늘려 30%수준을 유지</li> <li>○ 해외 진출형 테스트베드 구축 및 운영을 통한 실용화 추진</li> </ul>

**7. 연구개발기간 및 소요예산**

- 총 연구개발기간 : 2015.09. ~ 2019.02. (4년 6개월)
  - 1차년도 연구개발기간 : 2015.09. ~ 2016.02. (6개월)
- 총 정부출연금 : 20,000백만원 이내(분리공모과제 포함)
  - 1차년도 정부출연금 : 2,000백만원 (분리공모과제 포함)
    - ※ 정부출연금은 향후 선정평가 결과 또는 정부예산사정 등에 따라 조정될 수 있음
    - ※ 기업참여시 기업부담금은 연차별로 “국토교통부소관 연구개발사업 운영규정”의 기준을 따르되, 추가 부담 가능
    - ※ 연구단과제는 세부과제별로 기업부담금 비율 준수(분리공모과제의 경우 신청시 분리공모과제 단위에서 기업부담금 비율 준수)
    - ※ 연구비에 대한 구체적 산정내역을 제시해야 하며, 예산산정 근거가 불명확하거나 타당성이 부족할 경우 축소 조정 가능
    - ※ 분리공모과제 총 정부출연금 : (2-4) 2,000백만원

**8. 기 타**

- 본 과제의 보안등급은 “일반과제”임
- 연구단 컨소시엄 신청시 연구단장 신청자는 반드시 세부과제의 주관연구책임자 또는 총괄과제의 연구책임자로 참여하여야 함
  - ※ 연구단장은 연구단의 효율적 운영관리를 위해 총괄과제 수행 가능
- 연구개발계획서는 과제제안요구서(RFP)에 제시된 연구내용을 참고하여 작성하되, 과제 목적 달성을 위해 반드시 필요하다고 판단되는 경우에는 일부 세부내용을 가감할 수 있으나, 그 사유와 근거를 명확히 제시하여야 함
- 필요시 공모된 연구과제명 외에 연구목표내용에 대한 대표성을 가지고 타 연구과제와 차별화되면서 알기 쉬운 연구과제명으로 수정하여 제안할 수 있음

연구개발과제명	지하수 및 지반구조 영향 계측·평가·관리 기술 개발
	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 기 수행하였거나 현재 수행중인 유사과제와 연구내용이 중복되지 않도록 연구개발계획서를 작성하여야 함 <ul style="list-style-type: none"> <li>※ www.kaia.re.kr, http://rndgate.ntis.go.kr의 유사과제목록 참조</li> </ul> </li> <li>- 공모과제와 관련하여 기 수행되었거나 현재 수행중인 과제의 연구개발결과물과의 구체적인 연계·통합 및 활용방안을 연구계획에 포함</li> <li>- 제안된 연구내용이 타 유사과제와 연구방법이나 목표 등에서 차별화되는 경우에는 포함하여도 무방하되, 그 근거를 명확히 해야 함 <ul style="list-style-type: none"> <li>※ 연구개발 수행 도중 과제의 중복성이 사후에 발견되거나 연구개발목표가 다른 연구 개발에 의하여 성취되어 연구개발을 계속할 필요성이 없어진 때에는 협약을 해약할 수 있음</li> </ul> </li>   <li>○ 연구 착수시점 현황과 개발종료 후의 대비가 가능하도록 세부과제별로 As-Is와 To-Be를 구체화, 가시화하여 제시</li>   <li>○ 연구개발계획서에 세부과제간 연구내용 및 성과의 연계/활용을 위한 전략 제시 <ul style="list-style-type: none"> <li>- 기획보고서에서 제시한 기술개발 TRM을 기반으로 전체 개발기술과 성과물간의 유기적 연계를 파악할 수 있는 체계 제시 <ul style="list-style-type: none"> <li>※ (예시) 개발기술 상호간, 성과물 상호간, 개발기술-성과물간 연계성</li> </ul> </li> <li>- 과학기술적 성과물을 포함하여 최종성과물을 구체화하여 제시</li> </ul> </li>   <li>○ 연구신청자는 연구개발 성과목표(성과지표/달성목표치/가중치) 및 사업수행(일정)계획과 이에 대한 관리계획 등을 연구개발계획서에 제시 <ul style="list-style-type: none"> <li>- 개발된 기술 및 성과물의 목표수준 달성도를 확인할 수 있는 구체적인 방안을 제시해야 함 <ul style="list-style-type: none"> <li>※ 과제선정 후 해당 연구책임자(기관)에 대한 진도점검관리 및 성과평가 등 의 근거자료로 활용</li> </ul> </li> <li>- 제시한 성과지표는 사전검토, 선정평가를 통해 조정(추가) 가능</li> </ul> </li>   <li>○ 참여기업은 참여하고자 하는 과제와 관련된 연구 또는 사업 수행실적이 있고, 과제추진시 역할(자료기술조사 또는 제공, 시험시공 현장제공 등)이 명확하여야 하며 연구개발결과를 직접 활용하고자 하는 기업에 한함</li>   <li>○ 국제공동연구 또는 전문가 활용방안 <ul style="list-style-type: none"> <li>- 필요시 관련 기술 해외 선도기관과의 공동연구 추진방안 및 전문가 활용계획을 연구계획에 포함</li> </ul> </li>   <li>○ 추후 연구개발계획 등은 수정·보완될 수 있으며, 이에 따라 과제내 특정 기술개발에 대한 추진방식 등이 변경될 수 있음 <ul style="list-style-type: none"> <li>- 본 과제의 연구기간은 추후 협약시 변경될 수 있음</li> <li>- 전문기관은 필요시 선정된 주관기관(연구책임자)과 협의를 거쳐 연구개발계획서의 수정 보완(연구목표, 내용 및 범위 등을 구체화명확화)할 수 있음</li> </ul> </li> </ul>



## 2절 평가기준 설정

### 1. 평가항목

기준항목	세 부 항 목
연구개발목표 (10점)	최종목표 및 연차별 달성목표의 적절성·타당성(5점) 성과지표 설정의 명확성 및 적정성(5점)
연구개발내용 (20점)	RFP와의 적합성(5점) 과제목표달성을 위한 세부과제 구성 및 상호연계성(5점) 연구개발내용의 완성도 및 실현가능성(5점) 연차별 연구내용의 차별성 및 창의성(5점)
추진전략 및 계획 (20점)	연구수행체계 적정성 및 연구진 전문성(5점) 연구추진 전략의 구체성 및 타당성(5점) 연구인프라 및 연구지원시스템의 적절성(5점) 연구기간 및 연구개발비 편성의 적절성(5점)
개발기술의 실용성 및 경제성 (40점)	개발기술의 혁신성 및 차별성(10점) 활용방안의 적절성 및 구체성(10점) 개발기술의 실용성 및 사업성(10점) 개발기술의 경제적 기대성과(투자 및 파급효과 등)(10점)
연구책임자의 전문성 및 관리능력 (10점)	연구전문성 및 해당분야 실적(5점) 연구과제 관리 및 운영 능력(5점)

※ 총점은 100점이며, 총점의 60% 미만인 경우에는 탈락

부합성 평가	평가위원 과반수 이상이 연구개발계획서가 과제제안요구서(RFP)와 부합되지 않는다고 판정시 탈락 조치
중복성 평가	평가위원 과반수 이상이 기 수행되었거나, 수행중인 과제와 중복되는 것으로 판정시 탈락 조치

#### 가. 연구개발 목표

- 도심지에서의 지하수, 지반구조 영향 계측·평가·관리기술관련 핵심개발 과제 도출을 목적으로 최종 목표에 부합되도록 각 과제의 구성과 연차별 목표 및 최종목표를 설정하여 제시
- 연차별 목표 및 최종목표의 달성에 대한 정량적인 평가를 위하여 국토교통부 R&D 성과지표에 따라 명확한 성과지표 설정과 평가기준 제시

#### 나. 연구개발 내용

- 기술개발과 실현을 위한 체계적이고 실천적인 과제 구성이 필요함

- 기획과제에서 제시한 연구목표 및 기술개발 요청사항에 대하여 제안과제의 적정성, 상향된 목표 제시여부 평가
- ‘체계적인 과제 구성 여부 평가
- 최종목표 달성을 위한 각 과제간 연계 여부 및 과제간 개발사항의 중복 여부 및 차별성, 적정성 평가

#### 다. 추진전략 및 계획

- 연구개발 성과목표·지표체계, 실용성 검증 및 사업화 추진계획 등을 연구개발계획서에 필히 제시하며 이를 통해 향후 과제선정 후 해당 연구책임자(기관)에 대한 진도점검·관리 및 성과평가 등의 근거자료로 활용
- 참여기업은 참여하고자 하는 과제와 관련된 연구 또는 사업 수행실적이 있고, 과제추진 시 역할(자료·기술조사 또는 제공, 시험시공 현장제공 등)이 명확하여야 하며 연구개발 결과를 직접 활용하고자 하는 기업에 한함
- 지원한 기관 및 연구진은 기초/원천기술, 응용기술, 실용화기술 등 과제성격에 따른 성과물을 얻을 수 있는 기관 및 연구진 판단
- 효율적인 지하수 관리로 안전한 도시 생활 확보의 성공적 수행을 위한 산, 학, 연의 기관구성의 적정성 및 연계성
- 과제의 단계별 추진사항이 연구목표 달성을 위해 타당한가를 평가하고 연구개발 사항과 이를 위한 구체적 추진방안 수립 여부
- 과제의 목표달성을 위한 연구기간의 단계설정과 연구개발비의 적정하게 편성 여부

#### 라. 개발기술의 실용성 및 경제성

- 기관선정의 우선순위는 도심지 광역 지하수 관리 기술 및 지반구조물 주변 지하수 관리 기술 분야에서의 시장점유율 및 부가가치 확대, 세계최고 수준의 기술경쟁력 확보 등으로 개발기술의 실용성 및 경제성에 초점을 두어 선정함
- 현재 기술수준과 비교하여 목표한 개발기술의 향상정도, 기술선도국 대비 예상수준, 기술의 경쟁력 수준 등에 대하여 정성적 또는 정량적 평가 여부
- 연구기관 또는 참여기관을 통한 개발기술의 실용화 및 사업화 방안이 성과지표의 구체적 항목으로 제시 여부
- 개발되는 과제 결과는 실험실 내의 제한된 범위와 조건과는 달리 현장의 여건과 환경을 고려한 실질적이고 실현가능한 기술 여부

- 개발기술의 경제적 기대성과로서 투자 및 파급효과 등에 대한 평가방안이 구체적으로 제시 여부

#### 마. 연구책임자의 전문성 및 관리능력

- 연구책임자는 과제 내의 세부과제 및 세세부과제 간에 유기적인 결합이 원활하게 추진 되도록 할 필요가 있음
- 연구책임자는 각 과제의 연구기관과의 협조체제구축은 물론 과제내에서 진행되는 과제 관리, 대외기술협력 등 해당 사업의 원활한 추진을 위한 역할을 수행해야 함
- 연구책임자는 국토교통부에서 실시하는 해당분야의 산업육성, 발전정책 및 종합계획 수립 등 관련 업무 추진 시, 기술자문 및 적극적인 업무협조 역할을 수행해야 함

## 2. 가점 및 감점기준

### 가. 연구수행 형태에 따른 가점

#### □ (1안) 일반적인 기준

- 대기업이 주관연구기관으로서
  - 중소기업이 참여하지 않는 경우 : 1점
  - 중소기업이 참여하는 경우 : 2점
- 기업 이외의 기관이 주관연구기관이고, 참여기업이 있는 경우 : 1점
- 중소기업이 주관연구기관인 경우 : 2점

#### □ (2안) 연구단 수정 기준

#### 1) 일반과제의 경우

- 중소기업이 주관연구기관인 경우 : 2점
- 대기업이 주관연구기관인 경우 : 1점
- 기업 이외의 기관이 주관연구기관이며
  - 중소기업/참여기업이 1/2이상인 경우 : 2점
  - 중소기업이 과제에 참여한 경우 : 1점
 (단, 참여기업은 과제를 직접 수행하는 기관으로서 위탁기관 및 단순 참여기업은 제외한다)

## 2) 연구단 과제외의 경우

- 산, 학, 연이 모두 참여하며
  - 세부 주관연구기관으로 산, 학, 연이 각각 구성된 경우 : 2점
  - 세부 주관연구기관으로 중소기업이 구성된 경우 : 1점
- 산, 학 또는 산, 연으로 구성되며
  - 중소기업이 세부 주관연구기관의 1/3 이상인 경우 : 2점
  - 중소기업이 세부 주관연구기관으로 구성된 경우 : 1점

## 나. 총연구개발비에 대한 연구신청기관의 연구개발비 부담비율에 따른 가점

- 총연구개발비에 대한 연구신청기관이 부담하는 연구개발비(현금)의 비율에 따라 신청기관 별로 가점 부여(단, 경쟁응모인 경우에 한함)
  - 신청기관 중 연구개발비(현금) 부담비율이 가장 높은 기관 : 1.0점
  - 그 외 기관은 최대 연구개발비(현금) 부담비율을 기준으로 연구개발비(현금) 부담비율에 따른 가점 부여

$$\text{부여가점} = 1.0 \times \frac{\text{해당 기관 연구개발비 부담비율}}{\text{신청기관 중 최대 연구개발비 부담비율}}$$

## 다. 추적평가결과에 따른 가점

- 국토교통부기술 연구개발사업 관리지침의 가점 및 감점 기준에 따르되, 이 지침 시행 이전에 협약체결된 과제의 추적평가결과에 따른 가점 및 감점은 종전 지침에 의함

## 라. 보안과제 등과 관련된 가점 및 감점

- 현재 개정 작업중에 있는 「국토교통부소관 연구개발사업 관리지침」이 신청서 접수전에 완료될 경우에 한하여 반영하되, 이 경우 가점 및 감점기준은 별도 공지 예정

\* 『국가연구개발사업의 관리 등에 관한 규정(11.3.28)』 제7조 4항 1호 및 [별표 1의3] 관련

#### 마. 기타

- 기획과제에 대한 과제제안자가 본 과제의 주관(공동)연구책임자로 참여시 : 가점 2점(가입 여부)
- 여성연구자가 신규과제 주관연구책임자로 참여시 : 가점 1점
- 최근 3년 이내에 우수 논문(임팩트팩터 15 이상) 실적이 있는 연구책임자가 신규과제를 신청할 경우 : 가점 1점
- 연구개발과제 선정 후 협약포기 경력이 있는 주관 또는 협동연구책임자나 기업의 경우(「국토교통기술 연구개발사업 관리지침」 제정 이후 협약과제 대상) : 3점 감점
- 연구개발과제의 연구수행 도중 연구를 포기한 경력이 있는 주관 또는 협동연구책임자나 기업의 경우(「국토교통기술 연구개발사업 관리지침」 제정 이후 협약과제 대상) : 3점 감점



# 별 침

-후보과제 카드-

## 후보과제카드

1. 과제명	- 3.2.2 도심지 대규모 지반 굴착에 따른 지하수-지표수 실시간 유동분석 기술																																		
2. 연구목적 및 배경	<p>- 최근 도심지 지반 굴착 및 상하수도 관로 누수로 인해서 지하철 노선위에서 약 60%의 지반침하와 도로함몰의 85%가 상하수도관 누수가 원인인 것으로 밝혀짐</p> <p>- 최근 석촌 호수 주변의 지반침하 및 싱크홀 관련해서 제 2 롯데월드 건설과 지하철 9호선 공사와의 상관관계 문제 제기 및 석촌 호수 수위 저하와의 관계에 대해서 정확한 원인이 규명되고 있지 않음.</p> <p>- 최근 각종 규제 완화 및 재개발 공사로 인해서 주변 습지 및 하천의 훼손을 막기 위해서 지하수 및 주변 환경 영향 조사를 수행하고 있으나, 지표수-지하수 상호작용 대한 명확한 조사 및 해석 방법이 부재</p> <p>- 본 과제의 목적은 도심지 대규모 굴착에 따른 지하수-지표수 상호작용 변동 실시간 모니터링 및 물 순환 관점에서 지하수-지표수 경계면에서 시공간적으로 변화하는 유출입량을 평가하는 기술을 개발하고자 함</p> <p>- 대규모 도심지 굴착공사에 따른 물 순환 체계 변동을 지하수-지표수 경계면 상호작용의 실시간 모니터링과 모델링에 근거해서 지반침하 및 싱크홀 조기 경보 시스템을 개발하고자 함.</p>																																		
3. 연구개발 목표	<p>- 도심지 대규모 굴착에 따른 지하수-지표수 경계면에서 상호작용 변동 및 유출입량 실시간(매시간별) 모니터링 시스템 개발 (실측 기반 20%이내 정확성)</p> <p>- 대규모 굴착공사에 따른 물 순환체계 변동에 따른 지하수-지표수 경계면에서 유출입량 변화 및 지반침하 정량화 광역적 3차원 수치 해석 프로그램 개발 (PC 기반 50만 계산 절점 이상에 대한 연산 시간 24시간 이내 효율적 알고리즘 장착)</p>																																		
4. 기술 개발 및 산업/시장 동향	기술 동향	<table border="1"> <thead> <tr> <th data-bbox="432 1093 560 1144">구분</th> <th data-bbox="560 1093 804 1144">보유기술명</th> <th data-bbox="804 1093 1007 1144">보유기관</th> <th data-bbox="1007 1093 1396 1144">성능수준 및 기능</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td data-bbox="432 1144 560 1720" rowspan="6">국내</td> <td data-bbox="560 1144 804 1238">SWAT-K</td> <td data-bbox="804 1144 1007 1238">한국건설기술연구원</td> <td data-bbox="1007 1144 1396 1238"> <ul style="list-style-type: none"> <li>• 유역 물순환 해석을 위한 지하수-지표수 연계해석</li> <li>• 물순환 해석에 제한됨</li> </ul> </td> </tr> <tr> <td data-bbox="560 1238 804 1305">NUPLOT</td> <td data-bbox="804 1238 1007 1305">한국지질자원연구원</td> <td data-bbox="1007 1238 1396 1305"> <ul style="list-style-type: none"> <li>• 도심지역 비점오염 해석</li> <li>• 물순환 해석에만 제한됨</li> </ul> </td> </tr> <tr> <td data-bbox="560 1305 804 1373">VSFRT2D</td> <td data-bbox="804 1305 1007 1373">한국지질자원연구원</td> <td data-bbox="1007 1305 1396 1373"> <ul style="list-style-type: none"> <li>• 농촌지역 질산성질소거동 해석</li> <li>• 물순환 해석에만 제한됨</li> </ul> </td> </tr> <tr> <td data-bbox="560 1373 804 1480">COWADE123D</td> <td data-bbox="804 1373 1007 1480">서울대학교</td> <td data-bbox="1007 1373 1396 1480"> <ul style="list-style-type: none"> <li>• 지반침하 및 지하수 거동 해석 가능</li> <li>• 광역적 규모 수치 모델 구현 한계 (연산 실행속도 비효율)</li> </ul> </td> </tr> <tr> <td data-bbox="560 1480 804 1720">자왜변위를 이용한 지하수 및 지표수의 수위 측정 센서 및 이를 이용한 지하수 및 지표수의 멀티 측정 시스템</td> <td data-bbox="804 1480 1007 1720">한국지질자원연구원</td> <td data-bbox="1007 1480 1396 1720"> <ul style="list-style-type: none"> <li>• 지하수-지표수 경계면 실시간 모니터링 시스템</li> <li>• 현장 이동형 및 일체형 시스템 구현 한계</li> </ul> </td> </tr> <tr> <td data-bbox="560 1720 804 1794">지표수-지하수 경계대 퇴적물의 수직 수리전도도 측정 기술</td> <td data-bbox="804 1720 1007 1794">한국지질자원연구원</td> <td data-bbox="1007 1720 1396 1794"> <ul style="list-style-type: none"> <li>• 지하수-지표수 경계면 수직 수리전도도 측정 시스템</li> <li>• 실시간 원격 제어 구현 한계</li> </ul> </td> </tr> <tr> <td data-bbox="432 1794 560 2004" rowspan="3">국외</td> <td data-bbox="560 1794 804 1910">MODFLOW</td> <td data-bbox="804 1794 1007 1910">미국(USGS)</td> <td data-bbox="1007 1794 1396 1910"> <ul style="list-style-type: none"> <li>• 3차원지하수 유동해석</li> <li>• 지표수-지하수 연계해석필요</li> </ul> </td> </tr> <tr> <td data-bbox="560 1910 804 1928">MUSIC (Modeling of Urban Stormwater Improvement Conceptualization)</td> <td data-bbox="804 1910 1007 1928">호주</td> <td data-bbox="1007 1910 1396 1928"> <ul style="list-style-type: none"> <li>• 도시유역의 물순환 모형</li> <li>• 저영향 개발 기법의 평가에 적용</li> <li>• 지반침하 계산에 한계</li> </ul> </td> </tr> <tr> <td data-bbox="560 1928 804 2004">Hvorslev's method</td> <td data-bbox="804 1928 1007 2004">미국</td> <td data-bbox="1007 1928 1396 2004"> <ul style="list-style-type: none"> <li>• 하상 퇴적물 수리전도도 측정 기술</li> <li>• 실시간 원격 모니터링 한계</li> </ul> </td> </tr> </tbody> </table>	구분	보유기술명	보유기관	성능수준 및 기능	국내	SWAT-K	한국건설기술연구원	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 유역 물순환 해석을 위한 지하수-지표수 연계해석</li> <li>• 물순환 해석에 제한됨</li> </ul>	NUPLOT	한국지질자원연구원	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 도심지역 비점오염 해석</li> <li>• 물순환 해석에만 제한됨</li> </ul>	VSFRT2D	한국지질자원연구원	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 농촌지역 질산성질소거동 해석</li> <li>• 물순환 해석에만 제한됨</li> </ul>	COWADE123D	서울대학교	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 지반침하 및 지하수 거동 해석 가능</li> <li>• 광역적 규모 수치 모델 구현 한계 (연산 실행속도 비효율)</li> </ul>	자왜변위를 이용한 지하수 및 지표수의 수위 측정 센서 및 이를 이용한 지하수 및 지표수의 멀티 측정 시스템	한국지질자원연구원	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 지하수-지표수 경계면 실시간 모니터링 시스템</li> <li>• 현장 이동형 및 일체형 시스템 구현 한계</li> </ul>	지표수-지하수 경계대 퇴적물의 수직 수리전도도 측정 기술	한국지질자원연구원	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 지하수-지표수 경계면 수직 수리전도도 측정 시스템</li> <li>• 실시간 원격 제어 구현 한계</li> </ul>	국외	MODFLOW	미국(USGS)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 3차원지하수 유동해석</li> <li>• 지표수-지하수 연계해석필요</li> </ul>	MUSIC (Modeling of Urban Stormwater Improvement Conceptualization)	호주	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 도시유역의 물순환 모형</li> <li>• 저영향 개발 기법의 평가에 적용</li> <li>• 지반침하 계산에 한계</li> </ul>	Hvorslev's method	미국	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 하상 퇴적물 수리전도도 측정 기술</li> <li>• 실시간 원격 모니터링 한계</li> </ul>
구분	보유기술명	보유기관	성능수준 및 기능																																
국내	SWAT-K	한국건설기술연구원	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 유역 물순환 해석을 위한 지하수-지표수 연계해석</li> <li>• 물순환 해석에 제한됨</li> </ul>																																
	NUPLOT	한국지질자원연구원	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 도심지역 비점오염 해석</li> <li>• 물순환 해석에만 제한됨</li> </ul>																																
	VSFRT2D	한국지질자원연구원	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 농촌지역 질산성질소거동 해석</li> <li>• 물순환 해석에만 제한됨</li> </ul>																																
	COWADE123D	서울대학교	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 지반침하 및 지하수 거동 해석 가능</li> <li>• 광역적 규모 수치 모델 구현 한계 (연산 실행속도 비효율)</li> </ul>																																
	자왜변위를 이용한 지하수 및 지표수의 수위 측정 센서 및 이를 이용한 지하수 및 지표수의 멀티 측정 시스템	한국지질자원연구원	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 지하수-지표수 경계면 실시간 모니터링 시스템</li> <li>• 현장 이동형 및 일체형 시스템 구현 한계</li> </ul>																																
	지표수-지하수 경계대 퇴적물의 수직 수리전도도 측정 기술	한국지질자원연구원	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 지하수-지표수 경계면 수직 수리전도도 측정 시스템</li> <li>• 실시간 원격 제어 구현 한계</li> </ul>																																
국외	MODFLOW	미국(USGS)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 3차원지하수 유동해석</li> <li>• 지표수-지하수 연계해석필요</li> </ul>																																
	MUSIC (Modeling of Urban Stormwater Improvement Conceptualization)	호주	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 도시유역의 물순환 모형</li> <li>• 저영향 개발 기법의 평가에 적용</li> <li>• 지반침하 계산에 한계</li> </ul>																																
	Hvorslev's method	미국	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 하상 퇴적물 수리전도도 측정 기술</li> <li>• 실시간 원격 모니터링 한계</li> </ul>																																

	구분	보유기술명	보유기관	성능수준 및 기능
		Genereux's method	미국	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 하상 퇴적물 수리전도도 측정 기술</li> <li>• 실시간 원격모니터링 한계</li> </ul>
		Chen's method	미국	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 이방성을 고려한 퇴적물 수리전도도 측정 기술</li> <li>• 실시간 원격모니터링 한계</li> </ul>

시장 동향	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 4대강 본 사업이 22조이고, 울산 태화강 생태하천 조성비용이 200억원, 대우건설 알제리에서 2억 달러 규모 하천정비 사업 등 지하수-지표수 관련 사업이 진행됨</li> <li>- 국가연구회로부터 사물인터넷 기반 도시 지하매설물 모니터링 및 관리 시스템 개발을 위해서 300억원 규모의 R&amp;D가 진행되고 있으며, 국토부에서는 싱크홀 예방을 위해 지반침하 대책을 발표하였음.</li> <li>- 현재 서울시 강동구 둔촌동 아파트 재개발사업에 의해서 습지 고갈을 방지하기 위한 사전환경영향평가 사업이 진행 중임.</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 지표수-지하수 경계대 퇴적물의 수직 수리전도도 측정 기술(대한민국 특허등록번호: 10-2012-0119620; 일본(등록번호: JP5646679))은 한국지질자원연구원에서 대수층 인공함양 지하수 확보 융복합 핵심기술 개발과제를 통해서 Darcy flux와 수리수두구배를 현장에서 동시 측정하여 퇴적물의 수리전도도를 측정하는 기술임</li> <li>- 지표수-지하수 경계대 퇴적물 수직수리전도도 측정기술은 온도 추적자를 통한 지표수-지하수 상호작용 실시간 모니터링 및 상호유출입량 분석기술 개발 결과와의 비교 평가 및 상호 보완에 활용할뿐더러, 실시간 원격 모니터링 장치를 확장하여 실시간 예-경보 시스템을 구현하기 위해 연계 활용 필요</li> <li>- 자왜변위를 이용한 지하수 및 지표수의 수위 측정 센서 및 이를 이용한 지하수 및 지표수의 멀티 측정 시스템 개발 기술(대한민국 특허출원: 10-2014-0151996)은 한국지질자원연구원에서 수리생태학적 기법을 활용한 수권경계면에서 물질순환 평가 기술 과제를 통해서 지표수-지하수 수리 차이를 동시에 측정하는 기술로서 정밀도가 1 mm이하임.</li> <li>- 지하수-지표수 경계면에서 상호작용 변동 및 유출입량 실시간(매시간별) 모니터링 시스템 개발을 위해서 지하수-지표수 수위차를 실시간으로 동시에 측정하는 것은 매우 중요하므로 기존 자왜변위를 이용한 지하수 및 지표수의 수위측정센서를 연계 활용하는 것이 필요함.</li> <li>- 기존 NUPLOT 및 VSFRT2D기술은 한국지질자원연구원에서 유역규모에서 비점오염원 거동 및 물수지 분석을 위해서 개발된 시뮬레이션 프로그램이며, VSFRT2D는 특히 농촌 지역의 질산성 질소 거동 해석 및 물수지 분석을 위해 개발된 프로그램임.</li> <li>- 기존 NUPLOT 및 VSFRT2D는 유역규모에서 하천, 호수, 강과 지하수의 상호작용을 광역적 규모로 수치 모의할 때 유한 요소로 만들어진 프로그램으로 일부 연계해서 활용 가능</li> <li>- SWAT-K는 한국건설기술연구원에서 프론티어 사업의 일환으로 유역규모의 지표수-지하수 거동 해석에 활용하기 위해서 유한차분으로 만들어진 프로그램이나, 불규칙한 경계면을 가진 영역을 수치모의하기 위해서 유한요소로 변경할 필요가 있고 지반침하 모듈도 포함시켜야 함.</li> <li>- COWADE123D는 서울대학교에서 완전연동형 지하수-지반침하를 수치모의하기 위해 만들어진 프로그램이나, 지표수-지하수 연동이 되어 있지 않고, 광역적 규모로 수치모의 하기 위한 연산 시간면에서 제약을 갖고 있으므로, 이를 극복하기 위해서 보다 효율적인 연산알고리즘을 채택하는 것이 바람직함. 더불어서 지하수-지표수 연계 서브프로그램 개발이 요구됨.</li> </ul>

5. 기존 기술 활용 방안	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 지표수-지하수 경계대 퇴적물의 수직 수리전도도 측정 기술(대한민국 특허등록번호: 10-2012-0119620; 일본(등록번호: JP5646679))은 한국지질자원연구원에서 대수층 인공함양 지하수 확보 융복합 핵심기술 개발과제를 통해서 Darcy flux와 수리수두구배를 현장에서 동시 측정하여 퇴적물의 수리전도도를 측정하는 기술임</li> <li>- 지표수-지하수 경계대 퇴적물 수직수리전도도 측정기술은 온도 추적자를 통한 지표수-지하수 상호작용 실시간 모니터링 및 상호유출입량 분석기술 개발 결과와의 비교 평가 및 상호 보완에 활용할뿐더러, 실시간 원격 모니터링 장치를 확장하여 실시간 예-경보 시스템을 구현하기 위해 연계 활용 필요</li> <li>- 자왜변위를 이용한 지하수 및 지표수의 수위 측정 센서 및 이를 이용한 지하수 및 지표수의 멀티 측정 시스템 개발 기술(대한민국 특허출원: 10-2014-0151996)은 한국지질자원연구원에서 수리생태학적 기법을 활용한 수권경계면에서 물질순환 평가 기술 과제를 통해서 지표수-지하수 수리 차이를 동시에 측정하는 기술로서 정밀도가 1 mm이하임.</li> <li>- 지하수-지표수 경계면에서 상호작용 변동 및 유출입량 실시간(매시간별) 모니터링 시스템 개발을 위해서 지하수-지표수 수위차를 실시간으로 동시에 측정하는 것은 매우 중요하므로 기존 자왜변위를 이용한 지하수 및 지표수의 수위측정센서를 연계 활용하는 것이 필요함.</li> <li>- 기존 NUPLOT 및 VSFRT2D기술은 한국지질자원연구원에서 유역규모에서 비점오염원 거동 및 물수지 분석을 위해서 개발된 시뮬레이션 프로그램이며, VSFRT2D는 특히 농촌 지역의 질산성 질소 거동 해석 및 물수지 분석을 위해 개발된 프로그램임.</li> <li>- 기존 NUPLOT 및 VSFRT2D는 유역규모에서 하천, 호수, 강과 지하수의 상호작용을 광역적 규모로 수치 모의할 때 유한 요소로 만들어진 프로그램으로 일부 연계해서 활용 가능</li> <li>- SWAT-K는 한국건설기술연구원에서 프론티어 사업의 일환으로 유역규모의 지표수-지하수 거동 해석에 활용하기 위해서 유한차분으로 만들어진 프로그램이나, 불규칙한 경계면을 가진 영역을 수치모의하기 위해서 유한요소로 변경할 필요가 있고 지반침하 모듈도 포함시켜야 함.</li> <li>- COWADE123D는 서울대학교에서 완전연동형 지하수-지반침하를 수치모의하기 위해 만들어진 프로그램이나, 지표수-지하수 연동이 되어 있지 않고, 광역적 규모로 수치모의 하기 위한 연산 시간면에서 제약을 갖고 있으므로, 이를 극복하기 위해서 보다 효율적인 연산알고리즘을 채택하는 것이 바람직함. 더불어서 지하수-지표수 연계 서브프로그램 개발이 요구됨.</li> </ul>
----------------	---

6. 기술개발 필요성	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 기존 지하수-지표수 경계면 모니터링 기술은 대부분 일회성 측정에 그치거나, 정확성 및 재현성 한계로 인해서 충분한 신뢰성을 갖지 못함.</li> <li>- 지하수-지표수 상호작용 실시간 모니터링 자료에 연계한 정량적 분석 및 평가 도구 부재로 인한 지반침하 및 싱크홀 조기 경보 시스템 구축 어려움.</li> <li>- 대표적 광역 지하수 프로그램(MODFLOW, FEFLOW, FEMWATER)에서, 지표수-지하수 상호작용 알고리즘은 지표수(호수, 강, 하천) 상황(수위 및 유량)에 대해서 명확하게 푸는 것이 아니라,</li> </ul>
-------------	---

	<p>근사적으로 추측된 값을 근거로 해서 지하수의 거동을 푸는 것에 그치므로, 실제로 지하수에 의해서 지표수 변동을 푸는 것은 불가능함.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 기존 광역 지하수 프로그램은 지반침하와 연계해서 지하수 및 지표수 거동을 동시에 다루는 것이 불가능하고, 특히 대형 구조물 자체 하중에 의한 지반 응력변화에 따른 지하수 거동 및 지반 침하를 동시에 수치모델링 하는 것이 불가능함.</li> <li>- 따라서 본 과제의 목적을 달성하기 위해서는 충분한 정확성 및 재현성을 갖는 모니터링 기술 개발 및 지하수-지표수 경계면에서 유출입량 변화 및 지반침하 정량화가 가능한 광역적 3차원 수치 해석 프로그램 개발이 필요함.</li> </ul>
<p>7. 주요 연구개발 내용</p>	<p>(1차년도)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 기존 지하수-지표수 경계면 상호작용 모니터링 기술 검토 및 상호 비교</li> <li>- 지하수-지표수 경계면 상호작용 모니터링 장비 개선 및 실험실 규모 검증</li> <li>- 지하수-지표수 상호작용 수치 해석 알고리즘 및 프로토콜 개발</li> </ul> <p>(2차년도)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 실험실 규모 실시간 지하수-지표수 경계면 상호작용 모니터링 기술 개발</li> <li>- 지하수-지표수 경계면 온도 및 수리 물성치(열전도도, 하상누수계수, 공극율, 수리전도도, 열확산계수) 추정 및 시공간적 실시간 유출입량 정량화 기술 개발</li> <li>- 광역적 3차원 지하수-지표수 상호작용 수치 해석 예비 프로그램 개발</li> </ul> <p>(3차년도)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 현장 규모에서 지하수-지표수 경계면 상호작용 모니터링 수행</li> <li>- 현장 수리지질학적 및 수문학적 조사</li> <li>- 광역적 3차원 지하수-지표수 상호작용 프로그램 개발 및 기존 해석해 검증</li> </ul> <p>(4차년도)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 현장 규모의 지하수-지표수 경계면 유출입량 및 지반침하 상관 관계 분석</li> <li>- 공공성을 위한 그래픽 인터페이스 기능을 갖춘 프로그램 개발 및 성능 향상</li> <li>- 파일럿 규모의 모니터링 자료를 근거로 개발된 프로그램 현장 검증</li> </ul> <p>(5차년도)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 파일럿 규모에서 지하수-지표수 경계면 상호작용 모니터링을 근거로 조기 지반침하 및 싱크홀 조기 경보 시스템 개발</li> <li>- 수치 프로그램 매뉴얼 구축 및 시연</li> </ul>
<p>8. 정부지원의 타당성</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 지하수는 공공재이므로 지하수 개발, 관리, 이용은 현재 지하수법에 의해서 규제되어 있기 때문에, 일차적으로 국가가 수행하여야 하는 것이 타당하며, 향후 연구 결과의 정부 정책과 연계차원에서도 국가가 수행하는 것이 타당함</li> <li>- 현재 지반침하 및 싱크홀은 일반 국민이 관심을 갖고 있는 초미의 화제가 되고 있으며, 국가가 국민의 안전과 삶의 질 향상에 기여하여야 하는 원론적인 책임을 가지므로 국가가 적극적으로 수행하여야 하는 것이 타당함</li> <li>- 본 과제가 개발하고자 하는 기술은 공공성격이 강한 기술이므로 특정 민간주체가 수행하기 보다는 정부차원에서 수행하는 것이 바람직하고, 향후 사업화 및 상용화를 수행할 경우 필요시 민간과 협력 하는 것이 타당함</li> </ul>
<p>9. 기술확보 전략</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 본 과제는 산학연이 공동으로 협업을 수행하며 각자 역할을 아래와 같이 분담하는 것을 원칙으로 하는 것이 바람직함. 전체적인 과제의 연관성 및 기관 특성에 따라서 연구기관(정철연 연구기관)이 주관을 수행하며, 산업체가 협동으로 수행하며, 대학교는 이론 및 해석 위주 연구의 위탁으로 병행하는 것이 통일성 측면에서 바람직함.</li> </ul>

	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 연구기관: 현장 규모에서 지하수-지표수 경계면 상호작용 모니터링 수행 및 현장 규모에서 지하수-지표수 경계면 상호작용 모니터링을 근거로 조기 지반침하 및 싱크홀 조기 경보 시스템 개발</li> <li>- 국내 산업체: 현장 조사 및 파일럿 시스템 구축</li> <li>- 국내외 대학교: 유역 규모의 지표수(하천, 강, 호수)와 지하수와의 물수지 측면에서 상호 작용 해석 기법 연구</li> </ul>					
<p>10. 기술개발 최종성과물 및 활용방안</p>	<p>최종성과물</p>		<p>수요처</p>		<p>실용화 방안</p>	
	<p>광역적 3차원 지하수-지표수 상호작용 수치 해석 프로그램</p>	<p>연구기관/건설링 회사/대학교</p>		<p>지하수 기초 조사 및 유역 내 물수지 분석에 활용</p>		
<p>도심지 대규모 지반 굴착에 따른 지하수-지표수 경계면 상호작용 실시간 모니터링 및 유출입량 평가 기술</p>	<p>- 서울시 송파구 설계사 및 시공사</p>		<ul style="list-style-type: none"> <li>- 잠실 석촌 호수 주변의 지반침하 및 싱크홀 원인 규명 및 대책 수립 확립에 활용</li> <li>- 주택 재개발 공사에 따른 서울시 둔촌동 주변 자연 생태습지 보호 방안 및 대책 수립에 활용</li> </ul>			
<p>11. 소요기간 및 예산</p>	<p>(단위 : 억원)</p>					
<p>1차년도</p>	<p>2차년도</p>	<p>3차년도</p>	<p>4차년도</p>	<p>5차년도</p>	<p>계</p>	
<p>2</p>	<p>6</p>	<p>5</p>	<p>5</p>	<p>2</p>	<p>20</p>	
<p>12. 기대효과 및 파급효과</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 도심지 지반 침하의 대책 수립 및 관리를 위한 기술 적용</li> <li>- 도시지역의 비점오염원 관리 및 건전한 물순환 체계 구축에 기술을 적용하고, 생태환경이 건강하고 지속가능한 도시발전에 기여</li> <li>- 국가 재난 및 재해 방지로 인한 국민의 삶의 질 향상 및 지역경제 활성화를 하며, 중동 및 동남아시아의 도시개발에 일체형으로 기술을 적용하여 세계 시장 개척</li> </ul>					

## 후보과제카드

1. 과제명		- 3.1.1 도심지 지표수-지하수 통합 영향 평가기술(대규모 지하개발이 지하수위 변동에 미치는 영향 진단 기법연구)			
2. 연구목적 및 배경		- 전 세계적으로 도시개발에 따른 지하수위 강화 및 오염현상의 심각성에 대한 연구사례는 많지만 이를 관리하기 위한 시도는 국내에서는 전혀 이루어지지 않고 있어 그 실정을 파악하여 이를 저감하기 위한 토대마련이 시급한 실정임.			
3. 연구개발 목표		- 지하수 배출 및 함양지역에서의 대규모 지하굴착, 지하구조물 설치에 따른 지하수위 변화를 파악하고 주변지역의 지반침하 및 구조물에 미치는 영향 평가기법 도출			
4. 기술 개발 및 산업/시장 동향	기술 동향	구분	보유기술명	보유기관	성능수준 및 기능
		국내	지하수위 및 침하측정방법 및 장치 출원번호 :2012-0041529	민간/권영역	성능수준은 중이상으로 판단되나 검증이 필요, 전자기력을 이용하여 probe본체에 침하와 수위를 동시 감지하는 장치
	국외	Influence Function Method을 사용한 자유면 대수층에서 양수로 인한 지반침하 추정  도심지 물관리 전략계획 개선을 위한 모니터링 지침서	호주/RMIT Univ.  서호주/물관리국	ASCE 저널게재/자유면 대수층에서 대규모 양수로 인한 지반침하 현상을 Influence func. 방법으로 규명  도시개발자들이 개발 전후로 도심지, 지역, 물관리 전략을 세울 때 필요사항을 결정하는데 도움을 주기 위하여 지침서를 발간하고 모니터링 항목 설정과 모니터링 프로그램 개발에 대해 제언함.	
시장 동향	<p>- LG 경제연구소에 의하면, 2007년 현재 물 산업의 세계시장 규모는 기관별로 차이가 있지만 세계적으로 약 3,000억 달러에 이르는 것으로 추산되고 있으며, 연평균 6% 내외의 성장을 통해 다가오는 2016년 이후에는 8,000억 달러를 육박하는 거대규모의 시장형성이 전망되며, 더불어 중국, 동남아시아, 중동, 아프리카 등 개도국 시장이 빠르게 성장하고 있음.</p> <p>- 이러한 세계 물시장의 성장규모에 따라 국내 물 산업 추정 예상 시장규모를 추정한다면 다가오는 2016년 이후에는 20조원으로 현재의 예상시장규모에 2배 이상의 거대 시장형성이 기대됨(환경부, 2009에서 발췌).</p>				
5. 기존 기술 활용 방안		- 서호주정부 물관리부에서는 2012년에 발간한 도심지 물관리 전략계획 개선을 위한 모니터링 지침서를 활용하여 지하수위 관측방법 및 제반 시설사항에서 충분히 지하수 반응이 수위에 나타날 수 있게 관측정 위치, 깊이, 스크린상태, 구경, 샘플링간격 등을 조정하면 보다 효과적으로 관측 시스템을 구성할수 있음.			
6. 기술개발 필요성		- 국내에서는 지하개발에 따른 지하수 영향평가 기법관련 연구사례가 전무함. 국외보다 많이 뒤쳐져 있으며 현재 문제시 되고 있는 석촌호수 주변 지반침하 사례와 더불어 그 중요성이 대두됨.			
7. 주요 연구개발 내용		<p>(1차년도)</p> <p>- 대규모 지하개발시 주변지역의 수리지질학적특성 평가 방법 개발</p> <p>(2차년도)</p> <p>- 지하수위와 침하를 지속적으로 관리하기 위한 계측방법, 관리기준 개발</p>			

	<p>(3차년도) - 연속적인 차수 가시설, 대규모 절토, 구조물 설치가 기존 지하수두 변동 및 이에 따른 지반침하에 미치는 영향평가 방법 개발</p> <p>(4차년도) - 시스템 검증 및 지하개발 주변의 지하수 수량관리 방안을 도출</p> <p>(5차년도) - 지하수위 변동에 따른 지반침하 및 구조물 영향저감을 위한 법제도 개선</p>												
<p>8. 정부지원의 타당성</p>	<p>- 지하수 관리 기본 계획과 부합하여 보다 현실성 있는 지하수의 체계적인 관리를 인해 도시개발로 인한 지하수위 영향을 진단하고 그 방법을 개발하여 국민안전기술을 실현함. 민간으로는 단기적인 이익이 없으므로 단독수행이 어려우며 그 파급효과의 규모는 광범위하지만 시기는 장기간을 바라보아야 하므로 장기적인 안목으로 개발후 지하수위 저하로 인한 지반침하 및 함몰현상 방지를 위한 평가기법 개발 필요성이 대두됨.</p>												
<p>9. 기술확보 전략</p>	<p>- 호주정부의 선진화된 도심지 물관리 전략과 수행사례를 바탕으로 구체적인 현장적용 기술을 전수받기 위해 정부, 대학교의 관계자와 학술발표 및 세미나개최를 추진하여 활발한 교류가 이루어지게 함.</p>												
<p>10. 기술개발 최종성과물 및 활용방안</p>	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; text-align: center;"> <thead> <tr style="background-color: #cccccc;"> <th style="width: 33%;">최종성과물</th> <th style="width: 33%;">수요처</th> <th style="width: 33%;">실용화 방안</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>지침서</td> <td>관개부처, 지자체, 민간</td> <td>지침서형태로 발간하고 교육과 감시체계 수립</td> </tr> <tr> <td>보고서</td> <td>국회 및 지자체</td> <td>관개 법령 개선</td> </tr> </tbody> </table>	최종성과물	수요처	실용화 방안	지침서	관개부처, 지자체, 민간	지침서형태로 발간하고 교육과 감시체계 수립	보고서	국회 및 지자체	관개 법령 개선			
최종성과물	수요처	실용화 방안											
지침서	관개부처, 지자체, 민간	지침서형태로 발간하고 교육과 감시체계 수립											
보고서	국회 및 지자체	관개 법령 개선											
<p>11. 소요기간 및 예산</p>	<p style="text-align: right;">(단위 : 억원)</p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; text-align: center;"> <thead> <tr style="background-color: #cccccc;"> <th style="width: 16.6%;">1차년도</th> <th style="width: 16.6%;">2차년도</th> <th style="width: 16.6%;">3차년도</th> <th style="width: 16.6%;">4차년도</th> <th style="width: 16.6%;">5차년도</th> <th style="width: 16.6%;">계</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>2</td> <td>3</td> <td>3</td> <td>1</td> <td>10</td> </tr> </tbody> </table>	1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	5차년도	계	1	2	3	3	1	10
1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	5차년도	계								
1	2	3	3	1	10								
<p>12. 기대효과 및 파급효과</p>	<p>- 기술개발 목표 달성시 지속적으로 도시개발이 진행되고 있지만 제도적으로 개발위주의 평가방법으로 파행된 난개발을 합리적으로 방지하고 체계적인 지하개발이 이루어져 현재 일어나고 있는 지반침하와 함몰의 원인규명 및 재발방지에 효과적으로 부응할 것으로 기대됨.</p>												

## 후보과제카드

1. 과제명	- 3.2.4 하천변 총적 지하수 유동에 의한 지역규모 지반변형 특성분석 기술				
2. 연구목적 및 배경	- 최근 석촌 호수 주변의 지반침하 및 싱크홀 관련해서 제 2 롯데월드 건설과 지하철 9호선 공사와의 상관관계 문제 제기 및 석촌 호수 수위 저하와의 관계에 대해서 정확한 원인이 규명되고 있지 않음. - 본 과제의 목적은 도심지 대규모 굴착에 따른 지하수-지표수 상호작용이 상대적으로 활발한 하천변 총적분지내 지역별 지반변형특성을 파악하여 싱크홀 같은 지하공동의 원인을 규명함.				
3. 연구개발 목표	- 도심지 하천변 대규모 굴착에 따른 지하수-지표수 상호작용과 물의 유동에 따른 지반변형 특성 원인 규명 - 원인규명을 통한 대규모 굴착공사시 차수대책 마련				
4. 기술 개발 및 산업/시장 동향	기술 동향	구분	보유기술명	보유기관	성능수준 및 기능
		국내	SWAT-K	한국건설기술연구원	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 유역 물순환 해석을 위한 지하수-지표수 연계해석</li> <li>• 물순환 해석에 제한됨</li> </ul>
			COWADE123D	서울대학교	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 지반침하 및 지하수 거동 해석 가능</li> <li>• 광역적 규모 수치 모델 구현 한계 (연산 실행속도 비효율)</li> </ul>
		국외	MODFLOW	미국(USGS)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 3차원지하수 유동해석</li> <li>• 지표수-지하수 연계해석필요</li> </ul>
MUSIC (Modeling of Urban Stormwater Improvement Conceptualization)	호주		<ul style="list-style-type: none"> <li>• 도시유역의 물순환 모형</li> <li>• 저영향 개발 기법의 평가에 적용</li> <li>• 지반침하 계산에 한계</li> </ul>		
시장 동향	시장 동향	- 4대강 본 사업이 22조이고, 울산 태화강 생태하천 조성비용이 200억원, 대우건설 알제리에서 2억 달러 규모 하천정비 사업 등 지하수-지표수 관련 사업이 진행됨 - 국가연구회로부터 사물인터넷 기반 도시 지하매설물 모니터링 및 관리 시스템 개발을 위해서 300억원 규모의 R&D가 진행되고 있으며, 국토부에서는 싱크홀 예방을 위해 지반침하 대책을 발표하였음.			
5. 기존 기술 활용 방안	- SWAT-K는 한국건설기술연구원에서 유역규모의 분포형 유출 프로그램으로 지표수와 지하수의 상호연동이 가능하지만 지반침하 모듈을 포함시켜야 함.				
6. 기술개발 필요성	- 지하수-지표수 상호작용에 대한 정량적 평가가 이루어지지 어렵고 석촌호수주변 지반침하 및 싱크홀 원인규명이 어려움.				
7. 주요 연구개발 내용	(1차년도) - 지하수-지표수 상호작용과 수위 및 물수지 변화 특성 분석  (2차년도) - 물의 유동에 따른 지역별 지반변형 특성 분석				
8. 정부지원의 타당성	- 본 과제가 개발하고자 하는 기술은 공공성격이 강한 기술이므로 특정 민간주체가 수행하기 보다는 정부차원에서 수행하는 것이 바람직하고, 향후 사업화 및 상용화를 수행할 경우 필요시 민간과 협력 하는 것이 타당함				
9. 기술확보 전략	- 국내외 대학교: 유역 규모의 지표수(하천, 강, 호수)와 지하수와의 물수지 측면에서 상호 작용 해석 기법 연구				

10. 기술개발 최종성과물 및 활용방안	최종성과물	수요처	실용화 방안			
	광역적 3차원 지하수-지표수-지반변형 상호작용 수치 해석 프로그램	연구기관/컨설팅 회사/대학교	지하수 기초 조사 및 유역 내 물수지 분석에 활용			
11. 소요기간 및 예산	도심지 대규모 지반 굴착시 물의 유동에 따른 지역별 지반변형 특성 분석	- 서울시 송파구 설계사 및 시공사	- 잠실 석촌 호수 주변의 지반침하 및 싱크홀 원인 규명 및 대책 수 립 확립에 활용 - 주택 재개발 공사에 따른 서울시 둔촌동 주변 자연 생태습지 보호 방안 및 대책 수립에 활용			
	(단위 : 억원)					
12. 기대효과 및 파급효과	1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	5차년도	계
	1.5	2.5	3	3	2	12
<ul style="list-style-type: none"> <li>- 도심지 지반 침하의 대책 수립 및 관리를 위한 기술 적용</li> <li>- 도시지역의 비점오염원 관리 및 건전한 물순환 체계 구축에 기술을 적용하고, 생태환경이 건강하 고 지속가능한 도시발전에 기여</li> <li>- 국가 재난 및 재해 방지로 인한 국민의 삶의 질 향상 및 지역경제 활성화를 하며, 중동 및 동남아 시아의 도시개발에 일체형으로 기술을 적용하여 세계 시장 개척</li> </ul>						

## 후보과제카드

1. 과제명	- 3.3.1 도심지 광역 지질변화 및 지하수 환경변화 평가기술																
2. 연구목적 및 배경	- 도심지내의 건축물, 지하매설물, 지하구조물 등의 건설로 인해 지반지질의 분포와 지하수의 유동이 변화함. 이러한 변화들은 지반을 약화시켜 도심형 재난재해 발생시 주요 영향인자로 작용하므로 도심지의 광역 지반지질 분석과 구조물에 의한 도심 지하수 유동변화의 예측이 필요함.																
3. 연구개발 목표	- 도심의 건축물, 지하구조물 등의 형성 전후의 지반 및 지질구조 자료와 지반 맵핑 자료를 이용하여 통합적인 환경변화 관리시스템 구축 - 도심의 지하구조 및 지하수의 유동을 예측하는 지하수모델 구축 및 구조물에 따른 지하수의 유동변화 평가 모델 개발																
4. 기술 개발 및 산업/시장 동향	기술 동향	<table border="1"> <thead> <tr> <th>구분</th> <th>보유기술명</th> <th>보유기관</th> <th>성능수준 및 기능</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="3">국외</td> <td>지하 수위의 관리 방법</td> <td>TAISEI CORP</td> <td>지하수위의 하한 설정 위치 및 상한 설정 위치에 설치한 센서를 이용해 지하수위 적정관리</td> </tr> <tr> <td>지반 조사 방법, 지반 조사 시스템 및 지반 조사 시트</td> <td>SEKISUI CHEM CO LTD</td> <td>건축 예정지의 액상화의 가능성을, 단시간으로 용이하게 추정할 수 있는 지반조사 방법과 지반 조사 시스템을 제공</td> </tr> <tr> <td>지하수 관리 시스템</td> <td>TAKENAKA KOMUTEN CO LTD/TAKENAKA DOBOKU CO LTD</td> <td>적은 양수 우물로 우물 내 수위의 과잉 저하를 방지하면서, 정밀도의 높은 수위제어를 수행할 수 있는, 지하수 관리 시스템을 제공</td> </tr> </tbody> </table>		구분	보유기술명	보유기관	성능수준 및 기능	국외	지하 수위의 관리 방법	TAISEI CORP	지하수위의 하한 설정 위치 및 상한 설정 위치에 설치한 센서를 이용해 지하수위 적정관리	지반 조사 방법, 지반 조사 시스템 및 지반 조사 시트	SEKISUI CHEM CO LTD	건축 예정지의 액상화의 가능성을, 단시간으로 용이하게 추정할 수 있는 지반조사 방법과 지반 조사 시스템을 제공	지하수 관리 시스템	TAKENAKA KOMUTEN CO LTD/TAKENAKA DOBOKU CO LTD	적은 양수 우물로 우물 내 수위의 과잉 저하를 방지하면서, 정밀도의 높은 수위제어를 수행할 수 있는, 지하수 관리 시스템을 제공
	구분	보유기술명	보유기관	성능수준 및 기능													
국외	지하 수위의 관리 방법	TAISEI CORP	지하수위의 하한 설정 위치 및 상한 설정 위치에 설치한 센서를 이용해 지하수위 적정관리														
	지반 조사 방법, 지반 조사 시스템 및 지반 조사 시트	SEKISUI CHEM CO LTD	건축 예정지의 액상화의 가능성을, 단시간으로 용이하게 추정할 수 있는 지반조사 방법과 지반 조사 시스템을 제공														
	지하수 관리 시스템	TAKENAKA KOMUTEN CO LTD/TAKENAKA DOBOKU CO LTD	적은 양수 우물로 우물 내 수위의 과잉 저하를 방지하면서, 정밀도의 높은 수위제어를 수행할 수 있는, 지하수 관리 시스템을 제공														
시장 동향	- 지하수와 지질은 도심형 재난재해 발생시 주요 영향인자로 작용하나 현재 그에 대한 지반구조물의 안전에 관한 연구는 전무한 상태이며 관측기술 및 관리수준 역시 선진국에 비해 낮아 도심지 내 인위적인 구조물이나 굴착 등에 의한 영향을 파악하기 어려운 실정임. 도심지의 지반지질의 변형, 지하수의 변화에 대한 정량적인 평가 기술이 필요함.																
5. 기존 기술 활용 방안	-																
6. 기술개발 필요성	- 기존의 지하수 및 지질관련 기술은 조사 및 관측에 중점을 두고 있어 광범위한 관측결과 자료를 도출하는데 그치고 있어 측정자료를 효율적으로 이용하기 위한 관리시스템이 필요함. 더 나아가 환경변화에 따른 광역 지반지질 및 지하수의 변화를 평가할 수 있는 기술이 요구됨.																
7. 주요 연구개발 내용	<p>(1차년도)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 지하구조물, 건축물에 대한 지반구조, 맵핑 등 자료수집 및 분석</li> <li>- 도심 지하수의 수위 및 수질 변화 관측자료 수집 및 분석</li> <li>- 광역적인 지질자료 구축</li> </ul> <p>(2차년도)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 지하수 수질과 지질 변화와의 상관성 분석 기법 개발</li> <li>- 비파괴 물리탐사를 통한 지질 및 지반조건에 따른 지하수 변화 분석</li> <li>- 해안과 내륙지역의 지질특성 및 지하수 흐름에 대한 통합 모니터링 시스템 구축</li> </ul> <p>(3차년도)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 관측 및 분석 자료를 이용한 통합적인 지질 및 지하수 환경변화 관리시스템 개발 및 구축</li> </ul>																

	(4차년도) - 도심의 지하수의 유동을 예측하는 지하수모델 구축 및 구조물에 따른 지하수의 유동변화 평가 모델 개발					
8. 정부지원의 타당성	- 지질 및 지하수 환경변화 평가는 도심지의 사고, 재해 등을 예방에 필요한 연구이며 피해예방을 위해 소요되는 조사관측 비용과 사회적 비용에 대한 인식이 부족한 실정으로 민간에서 단독수행하기에는 어려움이 있어 정부차원에서 도심지의 사고나 재난의 예방정책 수립을 위한 연구사업으로의 지원이 요구됨.					
9. 기술확보 전략	- 환경변화 평가기술을 개발하기 위해서는 지질 및 지하수의 특성 조사 및 관측, 조사결과에 대한 통합 모니터링 체계구축, 환경변화에 대한 관리시스템 개발 등 필요함. 따라서 파급력있는 연구성과 도출을 위해 산학연기관의 종합적인 인프라 구축이 필요함.					
10. 기술개발 최종성과물 및 활용방안	최종성과물		수요처		실용화 방안	
	환경변화 관리시스템					
	통합 모니터링 기법					
11. 소요기간 및 예산	(단위 : 억원)					
	1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	5차년도	계
	3	3	3	3	4	16
12. 기대효과 및 파급효과	- 도심지 광역 지질 및 지하수 환경변화 평가 기술은 도심지의 환경조건 및 변화에 맞춰 지질 및 지하수의 변화를 관리하는 시스템으로, 도심환경의 개선 및 개발에 따른 지질 및 지하수에 미치는 영향을 분석함으로써 도심 개발 및 재해 예방/복구 계획수립의 지침자료로 활용할 수 있음.					

## 후보과제카드

1. 과제명		- 3.3.3 도시지역 지반침하 위험도 평가 및 대책 기술개발(광역 지하수 계측망을 활용한 이상징후 탐지 기술)												
2. 연구목적 및 배경		- 도심지내의 건축물, 지하매설물, 지하구조물 등의 건설로 인해 지반을 약화시켜 지반침하를 발생 시키므로 도심지의 구조물에 의한 도심 지하수 유동변화를 파악하고 추가적인 개발시 침하를 고려한 기준마련이 필요함.												
3. 연구개발 목표		- 도시의 건축물의 하중과 지하구조물의 공동으로 인한 지반 및 지하수유동변화특성 분석 - 도심지 개발시 침하를 고려한 개발 기준 제시												
4. 기술 개발 및 산업/ 시장 동향	기술 동향	구분	보유기술명	보유기관	성능수준 및 기능									
	시장 동향	<table border="1"> <tr> <td rowspan="3">국외</td> <td>지하 수위의 관리 방법</td> <td>TAISEI CORP</td> <td>지하수위의 하한 설정 위치 및 상한 설정 위치에 설치한 센서를 이용해 지하수위 적정관리</td> </tr> <tr> <td>지반 조사 방법, 지반 조사 시스템 및 지반 조사 시트</td> <td>SEKISUI CHEM CO LTD</td> <td>건축 예정지의 액상화의 가능성을, 단시간으로 용이하게 추정할 수 있는 지반조사 방법과 지반 조사 시스템을 제공</td> </tr> <tr> <td>지하수 관리 시스템</td> <td>TAKENAKA KOMUTEN CO LTD/TAKENAKA DOBOKU CO LTD</td> <td>적은 양수 우물로 우물 내 수위의 과잉 저하를 방지하면서, 정밀도의 높은 수위제어를 수행할 수 있는, 지하수 관리 시스템을 제공</td> </tr> </table>				국외	지하 수위의 관리 방법	TAISEI CORP	지하수위의 하한 설정 위치 및 상한 설정 위치에 설치한 센서를 이용해 지하수위 적정관리	지반 조사 방법, 지반 조사 시스템 및 지반 조사 시트	SEKISUI CHEM CO LTD	건축 예정지의 액상화의 가능성을, 단시간으로 용이하게 추정할 수 있는 지반조사 방법과 지반 조사 시스템을 제공	지하수 관리 시스템	TAKENAKA KOMUTEN CO LTD/TAKENAKA DOBOKU CO LTD
국외	지하 수위의 관리 방법	TAISEI CORP	지하수위의 하한 설정 위치 및 상한 설정 위치에 설치한 센서를 이용해 지하수위 적정관리											
	지반 조사 방법, 지반 조사 시스템 및 지반 조사 시트	SEKISUI CHEM CO LTD	건축 예정지의 액상화의 가능성을, 단시간으로 용이하게 추정할 수 있는 지반조사 방법과 지반 조사 시스템을 제공											
	지하수 관리 시스템	TAKENAKA KOMUTEN CO LTD/TAKENAKA DOBOKU CO LTD	적은 양수 우물로 우물 내 수위의 과잉 저하를 방지하면서, 정밀도의 높은 수위제어를 수행할 수 있는, 지하수 관리 시스템을 제공											
5. 기존 기술 활용 방안		-												
6. 기술개발 필요성		- 기존의 지하수 및 지질관련 기술은 조사 및 관측에 중점을 두고 있어 광범위한 관측결과 자료를 도출하는데 그치고 있어 보다 현실적으로 침하를 예방하기 위한 도시개발 기준이 마련되어야함.												
7. 주요 연구개발 내용		<p>(1차년도)</p> <p>- 기존건물, 추가개발에 의한 지하수위변화 등 지역별 변형 특성 분석</p> <p>(2차년도)</p> <p>- 지반침하 영향인자 도출</p> <p>(3차년도)</p> <p>- 도시개발시 침하를 고려한 개발 기준 제시</p> <p>- 계측기준, 함양 기준, 수위유지 기준 등 기준 항목에 대한 세부지침 작성</p>												
8. 정부지원의 타당성		- 지반침하 위험도 평가는 도심지의 사고, 재해 등을 예방에 필요한 연구이며 피해예방을 위해 소요되는 조사관측 비용과 사회적 비용에 대한 인식이 부족한 실정으로 민간에서 단독수행하기에는 어려움이 있어 정부차원에서 도심지의 사고나 재난의 예방정책 수립을 위한 연구사업으로의 지원이 요구됨.												
9. 기술확보 전략		- 환경변화 평가기술을 개발하기 위해서는 지질 및 지하수의 특성 조사 및 관측, 조사결과에 대한 통합 모니터링 체계구축, 환경변화에 대한 관리시스템 개발 등 필요함. 따라서 파급력있는 연구성과 도출을 위해 산학연기관의 종합적인 인프라 구축이 필요함.												

10. 기술개발 최종성과물 및 활용방안	최종성과물		수요처		실용화 방안	
	보고서, 지침서		지자체, 민간기업			
11. 소요기간 및 예산	(단위 : 억원)					
	1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	5차년도	계
	1,5	2,5	3	3	2	12
12. 기대효과 및 파급효과	- 도심지 지반침하에 대한 영향인자를 분석함으로써 도심 개발시 지반침하 방지 대책의 기준을 제시하고 세부지침을 작성하여 정부나 민간기업이 도시개발 계획시 활용할 수 있음.					

## 후보과제카드

1. 과제명	- 지하수 대수층 및 지질분포에 따른 지반함몰 위험성 평가														
2. 연구목적 및 배경	- 도심지 굴착공사 시 지반의 지질특성에 따라서 대수층의 지하수위 변화 특성이 상이하게 나타나는 현상을 정량화하고, 이러한 지하수위의 급변이 지반함몰 재해에 영향을 미치는 위험성을 평가할 필요가 있음 - 지질특성별 대수층 변화특성을 3차원으로 모델링하고, 지반함몰 유형을 분석하여 위험지역에 대하여 기존의 안정화 공법을 적용할 시 최적의 시공 가이드라인을 제시하고자 함														
3. 연구개발 목표	- 도심지 대수층 변화 관련 3차원 지반구조 및 지질이상대 분석 기술 개발 - 지반굴착에 따른 지질별 대수층 변화 특성 분석을 위한 3D 모델링 기술 개발 - 지질특성별 지하수 대수층 변화에 따른 지반함몰 안정성 평가 기법 개발 - 지질특성별 지반함몰 위험지역 안정화 공법 시공 가이드라인 제시														
4. 기술 개발 및 산업/시장 동향	기술 동향	<table border="1"> <thead> <tr> <th>구분</th> <th>보유기술명</th> <th>보유기관</th> <th>성능수준 및 기능</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>국내</td> <td>-</td> <td>-</td> <td>-</td> </tr> <tr> <td>국외</td> <td>굴착공사에 따른 지반함몰 예방 안정 해석 기술</td> <td>미국 일리노이대학</td> <td>굴착공사와 연관된 지반침하 및 함몰 특성 분석을 위한 지하수흐름 상태 분석 기술</td> </tr> </tbody> </table>		구분	보유기술명	보유기관	성능수준 및 기능	국내	-	-	-	국외	굴착공사에 따른 지반함몰 예방 안정 해석 기술	미국 일리노이대학	굴착공사와 연관된 지반침하 및 함몰 특성 분석을 위한 지하수흐름 상태 분석 기술
	구분	보유기술명	보유기관	성능수준 및 기능											
국내	-	-	-												
국외	굴착공사에 따른 지반함몰 예방 안정 해석 기술	미국 일리노이대학	굴착공사와 연관된 지반침하 및 함몰 특성 분석을 위한 지하수흐름 상태 분석 기술												
시장 동향	- 국내의 경우 굴착공사 시 대수층 변화 특성을 파악하기 위해 단순 시추조사에 의해 개략적인 2차원 지반단면도 작성 수준에 그치고 있으며, 다양한 지질조건을 고려하여 대수층 변화 및 지반함몰 위험성을 평가하기 위한 3차원의 해석 분야의 기술에 대한 연구는 매우 미흡한 상태임 - 지하구조물 건설을 위한 굴착 시 주변지반의 지질특성에 따른 토사유출, 지반이완, 공동발생, 침하 및 함몰 등의 거동에 관한 연구는 전무한 실정임 - 국외의 경우 미국, 영국, 캐나다 등에서 관련 기술 연구가 활발히 진행되었으나, 해당 지역의 지질특성을 반영한 안정해석 모델링 기술이므로 국내에 직접 사용하기에는 어려움이 있으며 국내 환경에 최적화된 기술개발이 별도로 이루어져야 함														
5. 기존 기술 활용 방안	- 기존의 3차원 지하지질정보 가시화 시스템 구축 기술을 본 기술의 기초자료로 활용할 수 있을 것으로 예상되며, 관련 시스템의 데이터베이스와 호환성을 가질 수 있도록 해석 및 모델링 기술 개발 시 반영하여야 함														
6. 기술개발 필요성	- 최근 서울 등 도심지 지반함몰 현상이 빈번하게 발생하여 지반함몰 방재에 대한 연구 개발이 시급하게 이루어질 필요성이 있음. 지반침하 및 함몰은 굴착공사 중 지하수의 유출과도 밀접하게 연관되어 발생되므로 도심지 굴착공사 전에 지하 지반구조의 3차원 도면과 지반이상대의 위치를 파악하여 지반의 침하나 붕괴를 사전에 예방할 필요가 있음. - 현재 굴착공사와 관련된 지반구조의 파악은 대부분 시추조사에 의하여 단편적으로 지반단면도가 작성되는 경우가 많으며 신뢰성도 검증 되지 못한 상태임. 또한 정확한 3차원 지하 지반구조도 작성 기준 및 조사 방법과 수량에 대한 명확한 기준이 없는 상태임. 따라서 굴착공사 주변의 침하나 함몰의 원인이 되는 도심지 광역 지하수관리를 위해서 국책 연구 과제를 통하여 3차원 지반구조도 작성 체계와 지반이상대 파악 및 관리를 위한 안정성 평가 기술이 필요함														
7. 주요 연구개발	(1차년도) - 기존 도심지 대수층 변화 관련 3차원 지반구조 및 지반이상대 분석 기술 자료 수집 및 동향 조사														

<p>내용</p>	<p>- 3차원 지반구조 및 지반이상대 관련 지반조사 방법, 항목 및 기준 설정</p> <p>(2차년도)</p> <p>- 지형 및 기존 지하정보를 활용한 지반구조 및 지질이상대 분석 기법 개발</p> <p>- 도심지 대수층 변화 관련 3차원 지반구조 및 지질이상대 분석 기술 개발</p> <p>(3차년도)</p> <p>- 지반굴착에 따른 지질별 대수층 변화 특성 분석 기법 개발</p> <p>- 지반굴착에 따른 지질별 대수층 변화 및 지반거동 3D 모델링 기술 개발</p> <p>(4차년도)</p> <p>- 지질특성별 지하수 대수층 변화에 따른 지반함몰 유형 분석 및 표준화</p> <p>- 지질특성별 지하수 대수층 변화에 따른 지반함몰 안정성 평가 기법 개발</p> <p>(5차년도)</p> <p>- 지질특성별 지반함몰 안정성 평가 기법 현장 적용 및 검증</p> <p>- 지질특성별 지반함몰 위험지역 안정화 공법 시공 가이드라인 제시</p>																	
<p>8. 정부지원의 타당성</p>	<p>- 해당 기술은 실제로 민간에서 활용하게 될 기술이지만, 기술을 활용하게 되는 목적이 국가나 지자체가 굴착공사 시 지반함몰 재해를 예방하기 위한 관리, 감독의 성격이므로 정부 차원에서 표준화된 해석 및 평가 기술을 개발하여 민간에 보급하는 것이 타당함. 물론 연구개발은 민간과 공동으로 추진하여 연구개발 비용을 정부와 분담하는 방안이 적절함</p>																	
<p>9. 기술확보 전략</p>	<p>- 해당 기술은 국가나 지자체가 굴착공사 시 지반함몰 재해를 예방하기 위한 예방적 영향평가 성격이므로 공신력 있는 정부출연연구기관이 주관하여 수행하는 것이 타당함</p> <p>- 연구 내용 중 메커니즘 분석 등 기초연구 분야에 있어서는 학계와 공동으로 연구를 수행하고, 최종적으로 개발되는 성과의 검증 및 실용화를 위하여 민간기업과의 참여도 유도하는 것이 타당함</p> <p>- 개발된 기술은 지침 및 가이드라인을 구체적으로 작성하여 실무에 보급할 수 있도록 하여야 함</p>																	
<p>10. 기술개발 최종성과물 및 활용방안</p>	<table border="1" style="width:100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="width:33%;">최종성과물</th> <th style="width:33%;">수요처</th> <th style="width:33%;">실용화 방안</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>지반굴착에 따른 지질별 대수층 변화 특성 분석을 위한 3D 모델링 기술</td> <td>지반굴착 공사 설계사</td> <td>민간기업과 공동연구를 통하여 기술이전 및 실용화 추진</td> </tr> <tr> <td>지질특성별 지하수 대수층 변화에 따른 지반함몰 안정성 평가 기법</td> <td>지반굴착 공사 설계사</td> <td>민간기업과 공동연구를 통하여 기술이전 및 실용화 추진</td> </tr> <tr> <td>지질특성별 지반함몰 위험지역 안정화 공법 시공 가이드라인</td> <td>지반굴착 공사 시공사</td> <td>민간기업과 공동연구를 통하여 기술이전 및 실용화 추진</td> </tr> </tbody> </table>						최종성과물	수요처	실용화 방안	지반굴착에 따른 지질별 대수층 변화 특성 분석을 위한 3D 모델링 기술	지반굴착 공사 설계사	민간기업과 공동연구를 통하여 기술이전 및 실용화 추진	지질특성별 지하수 대수층 변화에 따른 지반함몰 안정성 평가 기법	지반굴착 공사 설계사	민간기업과 공동연구를 통하여 기술이전 및 실용화 추진	지질특성별 지반함몰 위험지역 안정화 공법 시공 가이드라인	지반굴착 공사 시공사	민간기업과 공동연구를 통하여 기술이전 및 실용화 추진
최종성과물	수요처	실용화 방안																
지반굴착에 따른 지질별 대수층 변화 특성 분석을 위한 3D 모델링 기술	지반굴착 공사 설계사	민간기업과 공동연구를 통하여 기술이전 및 실용화 추진																
지질특성별 지하수 대수층 변화에 따른 지반함몰 안정성 평가 기법	지반굴착 공사 설계사	민간기업과 공동연구를 통하여 기술이전 및 실용화 추진																
지질특성별 지반함몰 위험지역 안정화 공법 시공 가이드라인	지반굴착 공사 시공사	민간기업과 공동연구를 통하여 기술이전 및 실용화 추진																
<p>11. 소요기간 및 예산</p>	<p style="text-align: right;">(단위 : 억원)</p> <table border="1" style="width:100%; border-collapse: collapse; text-align: center;"> <thead> <tr> <th style="width:16.6%;">1차년도</th> <th style="width:16.6%;">2차년도</th> <th style="width:16.6%;">3차년도</th> <th style="width:16.6%;">4차년도</th> <th style="width:16.6%;">5차년도</th> <th style="width:16.6%;">계</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>2</td> <td>3</td> <td>4</td> <td>4</td> <td>2</td> <td>15</td> </tr> </tbody> </table>						1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	5차년도	계	2	3	4	4	2	15
1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	5차년도	계													
2	3	4	4	2	15													
<p>12. 기대효과 및 파급효과</p>	<p>- 도심지 지반함몰과 붕괴는 최근에 언론을 통해 발생 사례들이 보도되면서 사회 이슈화되어 큰 관심을 모으고 있음. 특히 사전에 감지하지 못하고 갑작스레 도로가 붕괴하는 현상에 대하여 불안감과 함께 정확한 원인과 대처가 어려워 국민적 신뢰성을 확보하기 어려움</p> <p>- 따라서, 국가 차원에서의 대비책을 준비하여 현장에서 발생할 수 있는 다양한 지반종류별 지하구조물 주변지반의 급격한 지하수 변화 등에서 초래할 수 있는 도심지 지반 재해에 대한 효과적 대응책에 가장 기본이 되는 기초 이론으로 활용될 수 있으며, 이러한 측면에서 본 연구는 큰 의미를 갖는다고 할 수 있음</p> <p>- 또한 개발 기술은 민간 기업으로 기술이전을 통하여 실용화를 추진함으로써 침체된 국내 건설시장에서 지반굴착 및 지하수 관련 분야 관련 시장에 경제적 파급효과도 기대할 수 있음</p>																	

## 후보과제카드

1. 과제명		- 시공현장 시험을 통한 지하수 및 토사유출에 의한 주변지반 공동형성 원인분석			
2. 연구목적 및 배경		<ul style="list-style-type: none"> <li>- 도심지 지하 굴착 시 지하수가 굴착 공간으로 유입되면서 상부 또는 배면 지반이 침하되는 사례 다수 발생</li> <li>- 현재 지하수 유출 방지를 위한 토사지반개량 및 주입공법은 급결주입재를 사용하지 않을 경우에는 투수성이 크고 지하수 유속이 빠른 지반에서 적용에 한계가 있으며, 급결주입재를 사용할 경우 시간 경과에 따른 급결주입재의 용탈 등에 따른 품질 저하 등의 문제가 발생하고 있음</li> <li>- 도심지 지하 굴착 시 지하수 유출에 따른 지반침하 방지를 위하여 고내구성 지반개량 기술(공법) 개발 필요</li> <li>- 지하연속벽 벽체 시공이 불량한 경우 지하수 유입으로 인하여 배면 지반이 침하되는 사례 다수 발생</li> <li>- 현재 지하연속벽 시공 후 지반 굴착 전까지 지하수 유입의 사전 예측이 어려움</li> <li>- 지반침하 방지를 위하여 지반 굴착 전 지하연속벽 벽체의 건전도 평가기술 및 지하수 유출 예측 기술개발 필요</li> </ul>			
3. 연구개발 목표		<ul style="list-style-type: none"> <li>- 고내구성 주입 재료 개발</li> <li>- 지반개량 시공 장비·장치 및 공법 개발</li> </ul>			
4. 기술 개발 및 산업/시장 동향	기술 동향	구분	보유기술명	보유기관	성능수준 및 기능
	시장 동향	국내	없음	-	-
		국외	없음	-	-
		<ul style="list-style-type: none"> <li>- 최근 도심지 대형 굴착 공사 중 주변 지반의 침하에 따른 문제가 사회적 이슈가 되고 있는 만큼, 이를 방지할 수 있는 기술이 절대적으로 필요함</li> <li>- 향후 도심지 주거 및 상업용 고층건물 시공을 위한 굴착 공사 및 지하철 공사가 확대될 전망으로, 지반침하 방지를 위한 지반개량 기술은 각종 시공 현장에서 확대 적용될 것임</li> </ul>			
5. 기존 기술 활용 방안		<ul style="list-style-type: none"> <li>- 기존 지반개량 공법 중 고압분사주입공법(JSP공법)은 지반을 천공하여 다중 주입관을 통해 주입재, 공기, 물 등을 고압으로 분사함으로써 원주형의 고결체를 형성하는 공법으로 도심지 굴착공사 시 지반개량 공법으로 적용되고 있음</li> <li>- 토사지반 주입공법으로 급결재료를 함께 주입하는 LW 그라우팅, SGR 그라우팅 등의 공법이 적용되고 있으며, 이러한 기술의 원리를 도심지 지하 굴착공사의 지반개량에 활용할 가능성 있음</li> <li>- 기존 물리탐사 기술 중 Crosshole Sonic Logging(CSL)은 공내 탄성파를 이용하여 매질에서의 파형 변화로써 구조물의 상태를 검측하는 방법으로 현재까지는 주로 현장 타설 콘크리트 말뚝에 대해서 적용되는 실정이며, 지하연속벽 벽체의 건전도 평가에 활용할 가능성 있음</li> <li>- 실시간 전기비저항 측정 기술은 댐, 제방과 같은 수리구조물을 대상으로 지중 유출 수 감지에 주로 사용되고 있으며, 도심지 굴착공사에서 지하수 유입 예측에 활용할 가능성 있음</li> </ul>			
6. 기술개발 필요성		<ul style="list-style-type: none"> <li>- 최근 도심지 굴착 중 지반 침하 문제 사례가 늘어나고 있으며, 특히 흙막이 벽체 시공 후 지반을 굴착하거나 터널을 굴착하면서 굴착공간 내부로 지하수가 유입되면서 배면·상부 지반이 침하되는 사례가 많이 발생하고 있음</li> <li>- 기존에는 굴착공간으로 지하수 유입을 방지하기 위해 다양한 지반개량 공법 또는 차수 그라우팅 공법이 적용되고 있으나, 현재의 기술로는 지하수 유속이 빠르거나 장기간 개량 효과를 발휘해야 하는 현장에 적용하는데 한계가 있으며, 지중연속벽 토류벽, 앵커 등 가시설과 인접 건축물에 대해 경사계, 수위계, 응력계 등의 계측센서를 위주로 구조물 변형의 계측을 목적으로 수행되고 있으나, 해당 기술만으로는 굴착 전 지하수 유입의 사전 예측이 어려워 침하를 방지하는데 한계가 있음</li> <li>- 현재까지는 지하수 유속이 빠르거나 장기간 지반 개량 효과를 발휘해야 하는 현장에 효과적으로 지하수 유입을 방지할 수 있는 기술 및 지반 굴착 전까지 지중 연속벽의 상태 평가 및 지하수가</li> </ul>			

	유출되는 구간을 사전에 예측 할 수 있는 기술이 부재한 상태이며, 따라서, 관련 기술의 개발이 필요한 상황임																	
7. 주요 연구개발 내용	(1차년도) - 선행 기술 조사 및 분석 - 도심지 지하굴착 시 지하수 유출 방지를 위한 지반개량공법 개념 도출 - 지중 연속벽 벽체 건전도 평가 및 지하수 유입예측 기술 메커니즘 도출  (2차년도) - 고내구성 주입재료 개발 - 고내구성 주입재료 실내실험 및 성능 평가 - 지중 연속벽 벽체 건전도 평가 및 지하수 유입예측 시스템 시제품 개발  (3차년도) - 지반개량 시공 장비·장치 제작 - 시제품 개선 - 실내 시험 및 검증  (4차년도) - 개발 기술 현장 검증 및 성능 평가 - 현장 모니터링  (5차년도) - 개발 기술 현장 적용 - 개발기술 적용 가이드라인 및 시방서/시공지침서/유지관리지침서 개발																	
8. 정부지원의 타당성	- 최근 싱크홀로 통칭되는 도로, 인도 등의 함몰사고가 빈번히 발생하여 국민의 불안이 가중되고 있어 이를 해소하고 안전한 국가관리라는 목표를 수립한 정부정책과 매우 부합하는 과제임 - 본 과제는 지하수, 수리지질, 토목계측, 지반공학 등 여러 분야의 전문가 연구팀을 구성하여야 하므로 단일 민간 기관의 수행이 곤란함 - 아울러 지반굴착에 의해 지반변형이 발생하고 재해로 이어질 경우 해당 사업주체 뿐만 아니라 다수의 피해가 발생하므로 정부가 지원하여 본 과제의 성과에 대해 공공성을 확보하는 것이 중요하다고 판단됨																	
9. 기술확보 전략	- 타 분야 선행 기술 활용 - 다수 현장 검증을 통한 개발기술 신뢰성 확보																	
10. 기술개발 최종성과물 및 활용방안	최종성과물		수요처	실용화 방안														
	- 도심지 지하굴착 시 지하수 유출 방지를 위한 고내구성 지반개량 및 주입 공법 - 지하연속벽 굴착 중 사전 지하수 유출 가능성 평가 및 벽체 건전도 모니터링 시스템		시공사	전문업체 기술 이전														
11. 소요기간 및 예산	(단위 : 억원) <table border="1" data-bbox="438 1742 1391 1818"> <thead> <tr> <th>1차년도</th> <th>2차년도</th> <th>3차년도</th> <th>4차년도</th> <th>5차년도</th> <th>계</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>0,8</td> <td>1,2</td> <td>1,5</td> <td>1,5</td> <td>1,0</td> <td>6,0</td> </tr> </tbody> </table>						1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	5차년도	계	0,8	1,2	1,5	1,5	1,0	6,0
1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	5차년도	계													
0,8	1,2	1,5	1,5	1,0	6,0													
12. 기대효과 및 파급효과	- 도심지 굴착 시 지반침하(싱크홀) 방지 - 도심지 지하굴착으로 인한 인적·물적 피해 방지 - 도심지 지하굴착 공사현장 인접 주민들의 불안감을 해소하여 불필요한 사회적 갈등을 방지함으로써 사회적 갈등비용 절감																	

## 후보과제카드

1. 과제명	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 굴착 지반 주변 지하수위 유지 및 복원 기술</li> <li>- 지하수 상태에 따른 차수그라우팅 벽체의 건전도 평가 및 계층기법 개발</li> </ul>																					
2. 연구목적 및 배경	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 지반 굴착에 따른 굴착 배면 지반의 지하수위 저하가 지반침하로 인한 표층 공동(空洞)의 주요 요인으로 지적되는 만큼 시공 과정 동안 또는 시공 후 중단기적인 지반 굴착 지점 주변에서의 지하수위를 유지시킬 수 있는 기술 개발이 필요하며 이와 관련된 현장 적용 방법 및 지침 등의 확보가 요구됨</li> <li>- 현재 통상적인 차수 토류벽 공법은 배면에서 굴착면으로의 직접적인 지하수의 흐름을 차단할 수는 있으나, 굴착과정 중 굴착바닥면의 완전차수는 불가하여, 속도와 그 정도의 차는 있으나 배면 지반의 지하수위 변동은 불가피하다.</li> <li>- 굴착면으로의 지하수 유입 차단으로 침투압을 감소시켜, 침하 및 배면토사 유출을 방지하는 기술과 굴착 배면에 지하수 재주입으로 지하수위면 하강에 의한 유효응력 증가에 의한 지반 침하를 방지하는 2가지 측면으로의 기술개발을 목표로 함.</li> <li>- 아울러, 유입수 차단 기술의 도구로 적용될 수 있는 차수재료의 적절한 선정으로부터 장기적으로 환경수리학적 환경이 원상으로 유지될 수 있는 기술개발이 필요함.</li> </ul>																					
3. 연구개발 목표	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 인접 지반의 지하수위 저하율 최소화(기존 공법 저하율의 60% 이하 수준) 지반 굴착 시공 기술(지하수위 굴착면 유입 차단 및 굴착배면 지하수 재주입 기술) 개발 및 성능 평가</li> <li>- 굴착 바닥면 차수를 위한 환경친화적 재료 선정을 통한 지하수위 유지 및 회복 기술 개발</li> </ul>																					
4. 기술 개발 및 산업/시장 동향	<table border="1"> <thead> <tr> <th>구분</th> <th>보유기술명</th> <th>보유기관</th> <th>성능수준 및 기능</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="4">국내</td> <td>지하수 인공함양 기술</td> <td>한국지질자원연구원</td> <td>제주도에 실증 적용 및 운영중</td> </tr> <tr> <td>소규모 지하수 인공함양 기술</td> <td>한국지질자원연구원, 한서엔지니어링</td> <td>비닐하우스 수막재배의 지하수 재주입 기술 운영중</td> </tr> <tr> <td>건축 기초공사용 토류벽 차수 구조</td> <td>부림종합건축사사무소</td> <td>건축물 터파기 시 흠막이 및 차수를 위한 흠막이 벽의 구조로 하부 차수는 없는 특허기술</td> </tr> <tr> <td>지반 침하 방지 방법 및 장치</td> <td>삼림컨설턴트</td> <td>굴착 배면에 물을 재주입하기 위한 부분적 장치 특허. 운영사례는 알려지지 않음.</td> </tr> <tr> <td>국외</td> <td>도시철도 건설을 위한 굴착 및 임시 흠막이 시스템</td> <td>싱가포르 토지교통국</td> <td>경험적인 굴착면 차단 및 주입정 혼합 운영안 제안 수준</td> </tr> </tbody> </table>	구분	보유기술명	보유기관	성능수준 및 기능	국내	지하수 인공함양 기술	한국지질자원연구원	제주도에 실증 적용 및 운영중	소규모 지하수 인공함양 기술	한국지질자원연구원, 한서엔지니어링	비닐하우스 수막재배의 지하수 재주입 기술 운영중	건축 기초공사용 토류벽 차수 구조	부림종합건축사사무소	건축물 터파기 시 흠막이 및 차수를 위한 흠막이 벽의 구조로 하부 차수는 없는 특허기술	지반 침하 방지 방법 및 장치	삼림컨설턴트	굴착 배면에 물을 재주입하기 위한 부분적 장치 특허. 운영사례는 알려지지 않음.	국외	도시철도 건설을 위한 굴착 및 임시 흠막이 시스템	싱가포르 토지교통국	경험적인 굴착면 차단 및 주입정 혼합 운영안 제안 수준
	구분	보유기술명	보유기관	성능수준 및 기능																		
국내	지하수 인공함양 기술	한국지질자원연구원	제주도에 실증 적용 및 운영중																			
	소규모 지하수 인공함양 기술	한국지질자원연구원, 한서엔지니어링	비닐하우스 수막재배의 지하수 재주입 기술 운영중																			
	건축 기초공사용 토류벽 차수 구조	부림종합건축사사무소	건축물 터파기 시 흠막이 및 차수를 위한 흠막이 벽의 구조로 하부 차수는 없는 특허기술																			
	지반 침하 방지 방법 및 장치	삼림컨설턴트	굴착 배면에 물을 재주입하기 위한 부분적 장치 특허. 운영사례는 알려지지 않음.																			
국외	도시철도 건설을 위한 굴착 및 임시 흠막이 시스템	싱가포르 토지교통국	경험적인 굴착면 차단 및 주입정 혼합 운영안 제안 수준																			
<p style="text-align: center;">시장 동향</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 현재 기초터파기 시공시 대부분 토류벽 또는 차수벽 등을 설치하여 주변 토양의 소실 및 지하수 유입을 최소화하는 공법을 적용하고 있으나, 경제적인 측면에서 지하수 유입을 근본적으로 차단하거나 배면 지반의 지하수위를 유지하는 기술을 적용하기는 어려운 실정으로서, 본 연구에서 관련 저비용 고효율의 시공 기술을 확보한다면 기초 굴착 현장에의 적용성을 높이고 항구적인 굴착 현장 주변에서의 표층 공동에 따른 위험성이 크게 감소될 수 있을 것으로 전망됨</li> <li>- 최근 굴착 주변 지역에서의 땅꺼짐 현상에 따른 인적 피해와 대국민 심리적 피해를 크게 경감시킬 수 있음.</li> <li>- 국내 국토의 효율적 이용 수요 측면에서 대부분의 굴착공사가 기존 구조물이나 시민시설에 인접하는 경향의 증가로, 관련 기술의 기술수요 및 기술 보유 기업의 매출이 크게 증대될 것으로 예상됨.</li> </ul>																						
5. 기존 기술 활용 방안	<ul style="list-style-type: none"> <li>- “지반침하재해 저감기술 개발”(2004, 한국지질자원연구원) 지반침하의 유형과 사례분석 및 보강 대책 분석</li> <li>- SCW, Sheet pile wall 등의 차수 흠막이 공법들은 기 상용화되어 있는 배면과 굴착면과의 직접적인 지하수의 유입을 차단하는 공법으로서 새로운 공법 적용의 각각의 요소로서 적용될 수 있음.</li> </ul>																					

	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 지반의 강도와 차수증진을 목적으로 사용되어지는 JSP 등과 같은 치환 그라우팅 공법이나 기존의 지반과의 교반을 통해서 이러한 점을 개선하는 DCM(Deep Cement Mixing) 공법 등은 마찬가지로 일반적인 지반 개량 공법에 적용되는 방법으로서 굴착하부 및 흙막이벽 선단 주변의 차수를 위한 수단으로 적용될 수 있음.</li> <li>- 일련의 지하수 함양이나 주입공법의 경우, 굴착 배면에 재주입에 의한 지하수위 유지 기술 개발에 활용될 수 있음.</li> <li>- 차수그라우팅 벽체와 주변 지반과의 지지, 접촉상태 및 그라우팅구체의 구조적 결함을 파악할 수 있는 조사법과 충분한 기술력이 축적되지 않은 실정.</li> <li>- 차수그라우팅벽체의 품질이 불량할 경우 지하수 유출로 인한 배면지반의 공동(Cavity) 화 현상 발생 및 주변지반 침하를 유발하므로 공동 및 누수 위치 파악을 위해 제한적으로 물리 탐사방법을 사용하고 있으나 현장 여건에 따라 제한적임.</li> <li>- 차수그라우팅 벽체의 시공시 품질 확인과 시공후 유지관리 기술 및 차수 그라우팅 벽체의 보수, 보강 공법 개발이 요구됨</li> <li>- 건전도 평가를 위한 검측공, 비검측공 시험법의 현장적용에 있어서 기술자들이 용이하게 사용할 수 있는 차수 그라우팅벽체의 건전도 평가를 위한 사용자 중심의 프로그램이 전무함.</li> <li>- 차수그라우팅벽체의 안전한 시공 및 유지관리는 계측을 통해 이루어져야 하므로 계측시스템 개발이 필요함.</li> </ul>
<p>6. 기술개발 필요성</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 협소한 도심지역에서 기존 구조물에 인접한 구조물 및 기반시설 건설이 20여 년 간 증가세를 보여 왔고, 이에 대한 결과로 최근 서울 등 전국에 걸쳐 지하철 및 인근 굴착공사에 따른 땅꺼짐 현상 등에 의한 피해가 속출하고 있는 실정임.</li> <li>- 잦은 땅꺼짐 현상의 발생과 증대된 안전의식을 반영하여, 안전 한국을 완성하여 안정적인 사회유지를 위한 출발점으로서 기술개발의 시점이 최적기임.</li> </ul>
<p>7. 주요 연구개발 내용</p>	<p>(1차년도)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 인접지반 굴착에 따른 지하수위 변화 연구 사례 분석</li> <li>- 차단 및 재주입에 의한 배면 지하수위 유지 기술 문헌 분석</li> <li>- 실험 현장 선정 및 연구 현장 설계</li> </ul> <p>(2차년도)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 실험 현장 지하수·지반조사, 지층 특성 분석 및 계측</li> <li>- (모형실험)그라우팅에 의한 지하수 유입차단 및 지하수 주입 기술 타당성 실험</li> <li>- 지하수 유입 차단 그라우팅 재료 파악 및 재료별 환경 유해성 분석</li> <li>- 실험용 현장 구축(지반 굴착) 및 Testbed 가시설물 설치</li> </ul> <p>(3차년도)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- (현장실험)지하수 차단기법 현장 적용 및 효과 분석</li> <li>- (현장실험)현장 배면 지하수 재주입 기술 현장 적용 및 효과 분석</li> </ul> <p>(4차년도)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 굴착 저면 지하수 유입 차단을 위한 신개념 토류법 시공기법 정립</li> <li>- 차단 및 재주입을 통한 굴착 인접지반 지하수위 유지 기법 정립</li> </ul> <p>(5차년도)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 굴착 지반 주변 지하수위 유지 및 복원 기술 현장 시험 시공 및 검증</li> </ul>
<p>8. 정부지원의 타당성</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 국민안전처 부처 신설 등 최근 국민의 안전을 꾀하는 정부정책과 부합함.</li> <li>- 해당 과제와 관련된 내용은 불특정 국민 다수가 이용하는 기간 및 생활 시설과 직결되는 것으로 특정 민간 기업의 시설물에 국한되지 않고, 국민의 생명과 재산에 직결되는 문제이므로 정부지원 및 주도하의 연구개발이 필요함.</li> </ul>

<p>9. 기술 확보 전략</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 지하수위 유지를 위한 시공 기법 개발을 위한 사전 연구결과 분석 및 개발 기법의 사전 타당성 분석을 위한 모형실험 부분은 학계 및 연구소를 중심으로 추진하며, 개발 기법의 적용을 위한 현장실험과 검증 실험은 민간 설계사와 시공업체가 담당하는 등 민간 및 학계의 공동 참여가 필수적임</li> <li>- 국가 기준 및 지침으로의 반영, 외국 사례 및 전문가 자문을 위하여 국기출연연 또는 공기업 등의 참여가 필요함</li> <li>- 차수 그라우팅벽체의 건전도 평가 시스템 개발, 품질관리 및 유지관리 시스템 개발, 보수.보강 공법 개발, 건전도 평가 프로그램 개발, 통합 계측시스템 개발여부</li> </ul>																	
<p>10. 기술개발 최종성과물 및 활용방안</p>	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="width: 33%;">최종성과물</th> <th style="width: 33%;">수요처</th> <th style="width: 33%;">실용화 방안</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>신개념 흠막이 시공 기법</td> <td>설계 및 시공사</td> <td>시공 현장 적용</td> </tr> <tr> <td>구조물 주변 지하수위 복원 기술</td> <td>설계 및 시공사</td> <td>구조물 주변 현장 적용</td> </tr> <tr> <td>시공 기준(지침)</td> <td>정부, 공공기관</td> <td>설계 등에 반영</td> </tr> </tbody> </table>						최종성과물	수요처	실용화 방안	신개념 흠막이 시공 기법	설계 및 시공사	시공 현장 적용	구조물 주변 지하수위 복원 기술	설계 및 시공사	구조물 주변 현장 적용	시공 기준(지침)	정부, 공공기관	설계 등에 반영
최종성과물	수요처	실용화 방안																
신개념 흠막이 시공 기법	설계 및 시공사	시공 현장 적용																
구조물 주변 지하수위 복원 기술	설계 및 시공사	구조물 주변 현장 적용																
시공 기준(지침)	정부, 공공기관	설계 등에 반영																
<p>11. 소요기간 및 예산</p>	<p style="text-align: right;">(단위 : 억원)</p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="width: 16.6%;">1차년도</th> <th style="width: 16.6%;">2차년도</th> <th style="width: 16.6%;">3차년도</th> <th style="width: 16.6%;">4차년도</th> <th style="width: 16.6%;">5차년도</th> <th style="width: 16.6%;">계</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="text-align: center;">10</td> <td style="text-align: center;">20</td> <td style="text-align: center;">20</td> <td style="text-align: center;">15</td> <td style="text-align: center;">10</td> <td style="text-align: center;">75</td> </tr> </tbody> </table>						1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	5차년도	계	10	20	20	15	10	75
1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	5차년도	계													
10	20	20	15	10	75													
<p>12. 기대효과 및 파급효과</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 도심지 대규모 굴착중 주변 토양내 지하수 변화로 인한 지반 침하의 위험성을 사전에 차단하기 위한 신공법의 적용으로 도시지역 안전 확보에 기여</li> <li>- 그 동안 시공 비용 등의 측면에서 지하수 유입을 차단하는 신공법의 개발에 민간의 참여가 미흡 하였으나, 본 연구를 통하여 보다 선진화되고 고도 기술을 접목한 차단 공법이 지속적으로 개발 될 것으로 기대됨</li> <li>- 국민안전처 출범에 즈음하여 Safety Korea 안전 의식 제고</li> </ul>																	

## 후보과제카드

1. 과제명	- 지하구조물 굴착 및 시공에 따른 지하수 유동 및 영향분석 관리기법
2. 연구목적 및 배경	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 도심지 지반굴착에 따른 지표수-지하수 유동 및 물수지 평가기술 개발</li> <li>- 지하수와 지하구조물에 의한 지반 변상기법 연구</li> <li>- 도심지 지반함몰 예방을 위한 지하수 모니터링 기법 및 보강방안 연구</li> </ul>
3. 연구개발 목표	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 다양한 현장상태를 고려한 지반굴착 시 지표수-지하수의 유동량 및 지하수 물수지 변화를 분석 및 예측</li> <li>- 도심지 지반굴착시 현장에서 가능한 여러 환경요인을 고려한 다양한 시나리오를 실내모형실험을 통해 지하수-지반변상의 상관관계를 도출 및 분석</li> <li>- 지반 굴착시 유출되는 토사 유출량을 예측하고 토사 유출에 의해 발생할 수 있는 지반 침하의 영향범위 제시</li> <li>- 지하수 모형시험을 통해 여러 환경인자의 지하수 유동 및 지반 함몰에 대한 영향 정량적 평가</li> <li>- 지하수에 의한 지반 함몰의 Pre-signs를 도출하여 지하수 모니터링 기법의 메카니즘 개발</li> <li>- 지중 상·하수관로 주변 지반재료 동결융해 특성 분석</li> <li>- 도심지 지반함몰 예방을 위한 지반 보강방법 개발</li> </ul>
4. 기술개발 및 산업/시장동향	-
5. 기존 기술 활용방안	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 도심지 지반굴착에 따른 지표수-지하수 유동 및 물수지 평가기술 개발</li> <li>- 지하수와 지하구조물에 의한 지반 변상기법 연구</li> <li>- 도심지 지반함몰 예방을 위한 지하수 모니터링 기법 및 보강방안 연구</li> </ul>
6. 기술개발 필요성	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 지반 굴착시 지하수 상태에 따른 흙막이 벽체에 작용하는 토압 및 수압에 대한 정량적인 분석은 제시되지 않은 상태이며 굴착공사시 명확한 설계 및 해석에 있어 어려움을 겪고 있는 상황이다.</li> <li>- 지반 굴착시 지하수 유동에 따른 흙막이 벽체 배면 지반에서의 지반 거동 에 대한 연구가 전무한 상태임.</li> <li>- 지하수의 유출이 예상되는 지반에서의 굴착공사 설계시 사전에 지하수 처 리 방법(배수공법과 차수공법)에 따라 구조물과 주변에 미치는 영향에 대 한 연구가 필요함.</li> </ul>
7. 주요 연구개발 내용	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 도심지 지반굴착에 따른 지표수-지하수 유동 및 물수지 평가기술 개발             <ul style="list-style-type: none"> <li>○ 도심지 지반굴착에 따른 지표수-지하수 유동 분석 및 예측을 위한 3차원 Groundwater Modeling 수치해석</li> </ul> </li> <li>- 지반굴착 깊이 및 넓이에 의한 지표수-지하수 유동변화를 정량적 산정</li> <li>- 지반굴착 진행에 따른 지표수-지하수 유동변화 및 물수지 변화 정량적 산정</li> <li>- 지반굴착에 의한 지하수-물수지 변화(drawdown)의 정량적 산정</li> <li>2. 지하수와 지하구조물에 의한 지반 변상기법 연구             <ul style="list-style-type: none"> <li>○ 도심지 지반굴착에 의한 지하수 흐름 변화를 최적 디자인할수 있는 지하수 모형시험 시뮬레이터 제작</li> <li>- 2-D Plexiglas를 이용 지하수 흐름시 토사의 유출 및 지반변상을 확인할수 있도록 제작</li> <li>- 지하수의 수직흐름 및 수평흐름을 고려한 지하수 모형 시험 시뮬레이터 제작</li> <li>- Multi-location monitoring 기술을 이용하여 지하수 흐름 및 물수지 변화를 tempo-spatial pattern analysis 방법으로 분석</li> <li>○ 원심모형시험을 이용한 도심지 지반공동 영향 인자의 정량적 분석</li> <li>- 서울지역의 모델지반 조건에 따른 원심모형시험 수행</li> </ul> </li> </ol>

- 원심장에서의 지반공동 영향인자의 조건변화에 따른 영향치 검토
- 원심장에서의 도심지 굴착 방법에 따른 상부지층의 지반공동 발생 평가
- 1G 및 원심장 조건에서의 실험 비교 분석
  - 수치해석(LiQCA-SF)을 통한 도심지 지반공동 위험도 평가
- 불포화 지반 및 포화지반 수위 변동 조건에서의 응력-변형 해석 수행
- 지반 조건에 따른 탄소성 및 탄점소성 모델 적용
- 원심모형시험 결과와의 비교 분석 수행
  - 수치해석 및 실내토조시험을 이용한 지하구조물 및 지반에 따른 토사 유출 거동 분석
- 3차원 해석(ABAQUS) 토사유출 시뮬레이션 기법 수립
- 수치해석을 통한 지반정보별 토사유출 여부 예측 기법 수립
- 토사유출에 따른 지반 침하량 및 침하 영향범위 산정
- 토사유출 조건을 만족시키는 한계지반상태 도출
- 실내토조시험을 통한 토사유출량 산정
- 수치해석과 실내실험 비교분석

3. 도심지 지반함몰 예방을 위한 지하수 모니터링 기법 및 보강방안 연구

- 문헌정보에서 도출된 도로 함몰 영향인자를 지하수 모형실험을 통해 각 영향 인자의 정량적 해석
  - 지하수위, 지하수 수두차이, 지반구조, 토질 물성치등의 상태를 변화시키며 지반변상 및 토사유출을 정량적으로 평가 및 분석
  - 지하수 흐름변화에 의한 지반변상과 물수지 변화를 모니터링 함으로써 지하수와 지반침하의 상관관계 도출
  - 지반함몰의 예방을 위한 지하수 모니터링 기법의 메카니즘 개발을 통한 지반함몰이 일어나기 이전의 Pre-signs들을 지하수 변화의 tempo-spatial pattern analysis를 통해 사전 발견

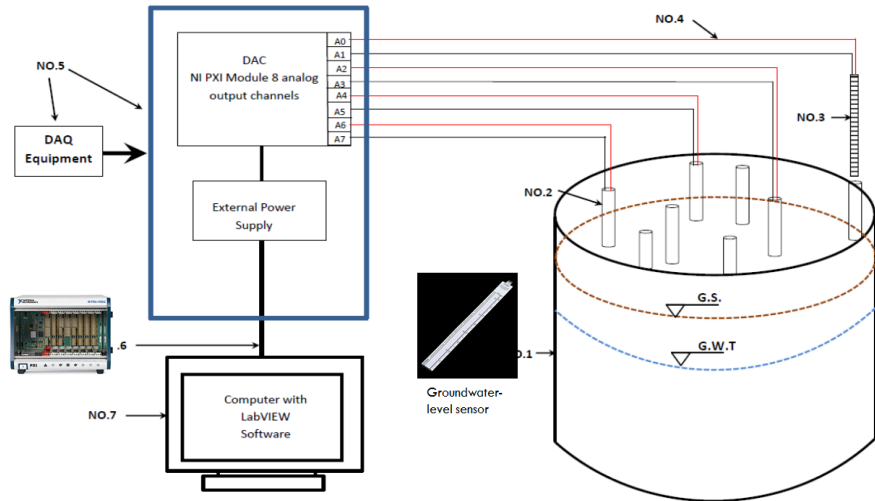


Fig. 1 지하수의 변화에 의한 지반함몰을 분석하는 Sinkhole Simulator

- 지중 상·하수관로 주변 지반재료 동결융해 특성 분석
  - 원심모형시험용 동결융해시험 장치 개발
  - 상·하수관로 주변 지반재료의 시간에 따른 열화 거동 특성 분석
  - 다짐도, 온도, 내구성 등 기후 및 토질 특성에 따른 분석
  - 노후 상·하수관로 지반재료에 따른 장기적 거동 특성 규명
- 지오그리드를 이용한 지반함몰 보강공법 개발
  - 원심모형시험을 이용한 원심장 조건의 Soil-groundwater 모델 축소 및 시험
  - 무보강 및 Geosynthetics 보강 조건에서의 지반 거동 평가

	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 원심모형시험 및 수치해석을 이용한 Geosynthetics의 보강 효과 평가</li> <li>- Geotextile 활용 지반함몰 보강공법 검증</li> </ul>												
<p>8. 정부지원의 타당성</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 최근 싱크홀로 통칭되는 도로, 인도 등의 함몰사고가 빈번히 발생하여 국민의 불안이 가중되고 있어 이를 해소하고 안전한 국가관리라는 목표를 수립한 정부정책과 매우 부합하는 과제임</li> <li>- 본 과제는 지하수, 수리지질, 토목계측, 지반공학 등 여러 분야의 전문가 연구팀을 구성하여야 하므로 단일 민간 기관의 수행이 곤란함</li> <li>- 아울러 지반굴착에 의해 지반변형이 발생하고 재해로 이어질 경우 해당 사업주체 뿐만 아니라 다수의 피해가 발생하므로 정부가 지원하여 본 과제의 성과에 대해 공공성을 확보하는 것이 중요하다고 판단됨</li> </ul>												
<p>9. 기술확보 전략</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 본 과제는 지하수, 수리지질, 토목계측, 지반공학 등 여러 분야의 전문가 연구팀을 구성하여야 함.</li> <li>- 본 기술은 다수의 실제 시공 현장을 testbed로 지정 활용하여야 하며, 기존의 장기 계측 자료와 신규 계측 자료를 종합적으로 검토하여 해석되어야 함</li> <li>- 또한, 물리적·수치적 모델링이 수행되어야 함. 따라서, 실제 규모를 축소한 물리 모형을 통하여 발생 메커니즘을 규명하고, 수치 모델과의 비교 분석을 통하여 거동 특성을 파악하여야 함</li> <li>- 지반 굴착의 유형별로 다양한 실험이 수행되어야 하므로 관련 testbed 확보가 매우 중요함</li> </ul>												
<p>10. 기술개발 최종성과물 및 활용방안</p>	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; text-align: center;"> <thead> <tr style="background-color: #cccccc;"> <th style="width: 33%;">최종성과물</th> <th style="width: 33%;">수요처</th> <th style="width: 33%;">실용화 방안</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>분석보고서</td> <td>-</td> <td></td> </tr> <tr> <td>모니터링시연</td> <td>-</td> <td></td> </tr> </tbody> </table>	최종성과물	수요처	실용화 방안	분석보고서	-		모니터링시연	-				
최종성과물	수요처	실용화 방안											
분석보고서	-												
모니터링시연	-												
<p>11. 소요기간 및 예산</p>	<p style="text-align: right;">(단위 : 억원)</p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; text-align: center;"> <thead> <tr style="background-color: #cccccc;"> <th style="width: 16.6%;">1차년도</th> <th style="width: 16.6%;">2차년도</th> <th style="width: 16.6%;">3차년도</th> <th style="width: 16.6%;">4차년도</th> <th style="width: 16.6%;">5차년도</th> <th style="width: 16.6%;">계</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>4</td> <td>4</td> <td>4</td> <td>4</td> <td>4</td> <td>20</td> </tr> </tbody> </table>	1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	5차년도	계	4	4	4	4	4	20
1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	5차년도	계								
4	4	4	4	4	20								
<p>12. 기대효과 및 파급효과</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 도심지 굴착 시 지표수·지하수 유출로 인한 지반침하 방지</li> <li>- 도심지 굴착 시 지반공동 영향 인자의 정량적 분석하여 사전에 예측함에 따라 지반 굴착 전 침하 가능성을 예측할 수 있어 도심지 굴착 시 지반침하(싱크홀) 방지</li> <li>- 도심지 지하굴착으로 인한 인적·물적 피해 방지</li> <li>- 도심지 지하굴착 공사현장 인접 주민들의 불안감을 해소하여 불필요한 사회적 갈등을 방지함으로써 사회적 갈등비용 절감</li> </ul>												

## 후보과제카드

1. 과제명	- 침하 및 함몰 예방을 위한 도심지 굴착 공사 지하수 관리 및 계측 가이드 라인
2. 연구목적 및 배경	- 지하구조물 특성별 지하수 관리 기술 개발 및 도심지 굴착공사시의 지하수 관리 및 계측 가이드 라인 설정
3. 연구개발 목표	- 지하구조물 타입에 따라 주변 지하수 흐름에 미치는 영향을 분석하여 지하구조물 특성별 지하수 관리기술개발 - 지반굴착을 수반하는 개발공사가 지반, 지하수 환경에 미치는 영향을 분석하고 그로 인해 건전화에 취약한 도시하천을 평가하는 기술개발 - 지하수 배출 및 함양지역에서의 대규모 지하굴착, 지하구조물 설치에 따른 지하수위 변화를 파악하고 주변지역의 지반침하 및 구조물에 미치는 영향 평가기법 도출
4. 기술개발 및 산업/시장동향	- -
5. 기존 기술 활용방안	- 기존 법제도 및 가이드라인 자료 수집
6. 기술개발 필요성	- 대규모 지하개발 시 주변지역의 수리지질학적 특성 및 물수지 평가방법 개발 - 지하수두를 지속적으로 관측하기 위한 계측방법, 관리기준 개발 - 연속적인 차수 가시설, 대규모 절토, 구조물 설치가 기존 지하수두 변동 및 이에 따른 지반침하에 미치는 영향평가 방법 개발 - 지하개발 주변의 지하수 수량관리 방안을 도출 - 지하수위 변동에 따른 지반침하 및 구조물 영향저감을 위한 법제도 개선
7. 주요 연구개발 내용	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 1차년도                             <ul style="list-style-type: none"> <li>- 국내 지하구조물(지하실, 터널, 연료비축기지) 형태 분석 및 현황 조사</li> <li>- 국내 지하실 형태의 지하구조물 주변의 사회기반시설 현황 분석</li> <li>- 지하실 형태의 지하구조물 주변의 지하수 유동 분석</li> <li>- 지속가능한 사회기반시설 확보를 위한 지하실 형태의 지하구조물 주변의 지하수관리 기술 개발</li> <li>- 지반굴착에 의한 지반 및 지하수환경영향 고찰</li> <li>- 지반굴착에 의한 지표수-지하수 유동 및 하천 기저유출량 분석 기술개발</li> <li>- 분석기술의 시범적용을 통한 검증</li> </ul> </li> <li>○ 2차년도                             <ul style="list-style-type: none"> <li>- 국내 터널 형태의 지하구조물 개발이용 현황 조사</li> <li>- 국내 터널 형태의 지하구조물 주변의 사회기반시설 현황 분석</li> <li>- 터널 형태의 지하구조물의 유출지하수 현황 조사</li> <li>- 터널 형태의 지하구조물 주변의 지하수 유동 분석</li> <li>- 터널 형태의 지하구조물 주변의 지하수관리 기술 개발</li> <li>- 도시하천 건전화 현황 조사</li> <li>- 지반굴착에 의한 도시하천 건전화 평가기술 개발</li> <li>- 도시하천 건전화 방지를 위한 유출지하수 활용 및 지반굴착기준 마련</li> </ul> </li> <li>○ 3차년도                             <ul style="list-style-type: none"> <li>- 국내 지하 연료비축기지 현황 조사</li> <li>- 국내 지하 연료비축기지 주변의 지하수 이용(수량, 수질) 현황 조사</li> </ul> </li> </ul>

	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 지하 연료비축기지 주변의 지하수 유동 및 수질</li> <li>- 도시하천 평가기술 개발 적용을 통한 건천취약도 평가</li> <li>- 건천취약도를 활용한 지하수관리기술 제안</li> <li>- 도심지 굴착공사시의 지하수 관리 및 계측 가이드라인 작성</li> </ul>												
<p>8. 정부지원의 타당성</p>	<p>- 민간 연구기관 및 업체에서 방대한 도심개발 계획 등을 파악하여 지하수위 분포 및 지하 매설물 구조 관리하기에는 인력 및 구조상의 어려움이 있다. 도심 개발을 허가, 감독하는 정부에서 가이드라인을 마련하여 지하수관리에 효율성을 높일수 있음</p>												
<p>9. 기술확보 전략</p>													
<p>10. 기술개발 최종성과물 및 활용방안</p>	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="width: 33%;">최종성과물</th> <th style="width: 33%;">수요처</th> <th style="width: 33%;">실용화 방안</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>지하수관리 가이드라인</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>지하수계측 가이드라인</td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>	최종성과물	수요처	실용화 방안	지하수관리 가이드라인			지하수계측 가이드라인					
최종성과물	수요처	실용화 방안											
지하수관리 가이드라인													
지하수계측 가이드라인													
<p>11. 소요기간 및 예산</p>	<p style="text-align: right;">(단위 : 억원)</p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; text-align: center;"> <thead> <tr> <th style="width: 16.6%;">1차년도</th> <th style="width: 16.6%;">2차년도</th> <th style="width: 16.6%;">3차년도</th> <th style="width: 16.6%;">4차년도</th> <th style="width: 16.6%;">5차년도</th> <th style="width: 16.6%;">계</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>2</td> <td>3</td> <td>3</td> <td>3</td> <td>4</td> <td>15</td> </tr> </tbody> </table>	1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	5차년도	계	2	3	3	3	4	15
1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	5차년도	계								
2	3	3	3	4	15								
<p>12. 기대효과 및 파급효과</p>	<p>- 지하구조물 특성별 지하수 관리 기술 개발 및 도심지 굴착공사시의 지하수 관리 및 계측 가이드라인을 작성하여 대도심의 지하공간 개발시 안전한 굴착에 대한 기본 자료가 되며 사고 및 재난 예방을 위한 가이드라인으로 활용될 수 있음</p>												

## 후보과제카드

1. 과제명	- 지반 굴착중 지하수위 급변에 따른 단기 변형 예측 기술				
2. 연구목적 및 배경	- 대규모 지반 굴착시 지하수위의 변화로 인하여 발생하는 단기 지반변형 특성을 규명하여 실제 시공시 단기 변형을 예측하는 기술을 확보하고 이를 토대로 시공중의 가시설에 대한 최적 설계 방안을 제시하고자 함				
3. 연구개발 목표	- 지반굴착 유형별 지하수위 변화에 따른 단기 지반변형 특성 규명 - 지반굴착 유형별 단기 지반변형 예측 모형 개발 및 설계 기준 수립				
4. 기술개발 및 산업/시장 동향	기술 동향	구분	보유기술명	보유기관	성능수준 및 기능
		국내	지하수 수위의 관리방법  흙막이 공사현장의 붕괴 안전성 평가 방법	한국원자력연구원 한국석유공사  한국표준과학연구원	시설물 운영중 관측지하수위의 기준 초과여부의 상시계측, 원인분석 및 비상조치 기술  공사현장에 설치된 계측기에서 획득된 계측정보를 이용한 안전관리시스템 구축 기술
	시장 동향	국외			
	<p>- 현재까지 흙막이 공법과 관련한 지반 침하 및 지하수 유입에 대한 연구는 사례 연구 및 실내 모형 중심으로 이루어져 왔으나, 발생 메커니즘에 대한 연구는 거의 이루어지지 않고 있음</p> <p>- 현장 조사 및 관련 연구는 대형 건축물 등의 기초 터파기시의 흙막이와 관련된 분석이 수행되었으나, 지하철 및 지하 공동 굴착에 따른 상부 지층의 단기간 변형 등에 대한 조사 연구는 매우 미미한 실정임</p>				
	<p>- 최근 대형 지반 굴착 공사에서는 주변 지역의 침하 등이 발생하여 사회적 이슈가 되고 있는 만큼, 지하수위 변화에 따른 단기 지반침하 현상에 대한 정확한 예측 및 설계 기술 개발은 시공 현장에서 절대적으로 필요한 것임</p> <p>- 현재 지반 굴착 공사이전 설계 단계에서는 굴착으로 인한 지하수위 변화에 대한 개략적인 예측과 지하수위 강하로 인한 주변 지반의 변형에 대한 해석학적인 분석이 주로 이루어지고 있음</p> <p>- 수도권외 광역 급행철도, 심부 지하철, KTX 등의 대규모 지반 굴착 공사가 확대될 전망으로서, 지반침하 방지를 위한 설계 기술은 각종 시공 현장에서 확대 적용될 것임</p>				
5. 기존 기술 활용방안	<p>- 지반굴착과 관련된 연구 과제가 일부 수행중에 있으며, 이들 기술을 최대한 연계 활용하여 본 과업을 수행할 필요가 있음</p> <p>- '지하굴착 공사에 따른 주변구조물 보호 및 관리방법 개발(2010)'은 지반과 구조물의 상호작용을 반영한 굴착현장 주변 구조물의 체계적 보호, 관리를 위한 기준의 개발과 지반 및 구조물 계측기술의 활용방법 제시를 목표로 수행되었음</p> <p>- '포화-불포화 지질매체 내에서의 지하굴착에 의한 지하수위 변동 및 지반변형의 통합적 예측, 평가 연구(2005)', 는 범용 다차원 수리지질역학적 수치 모델을 개발하여 지하수 유동과 지반변형을 예측, 평가하는데 적용하고자 하였음</p> <p>- '지하수 양수에 의한 지하수위 변동 및 지반변형의 통합적 예측, 방지기술개발(2003)'연구는 지하수 양수에 따른 지하수위 변동과 지반변형을 예측하여 최적 양수량 결정법 개발을 목표로 수행되었음</p> <p>- '지반-구조물-지하수 상호작용이론에 기초한 지속가능한 스마트 지반배수시스템 연구(2011)'는 이론과 실험을 통해 IT 기술을 접목한 지하구조물의 배수시스템을 개발에 관한 연구임</p> <p>- 이중 '포화-불포화 지질매체 내에서의 지하굴착에 의한 지하수위 변동 및 지반변형의 통합적 예</p>				

	<p>측, 평가 연구(2005)'는 수리지질역학적 수치모델 개발을 통해 지하수 변동과 지반변형을 예측하고자하는 연구로서 본 과제의 테스트베드에 적용하여 지하수위 변화 및 지반변형계측 결과와 비교분석하여 기존 모델의 개선점을 도출하고 개량함</p>
<p>6. 기술개발 필요성</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 현재 국내 굴착현장에서는 토류벽, 앵커 등 가시설과 인접 건축물에 대해 경사계, 수위계, 응력계 등의 계측센서를 위주로 구조물 변형의 계측을 목적으로 수행되고 있음</li> <li>- 단순 계측값의 측정, 기재 중심의 낮은 기술 수준으로 이루어지고 있으며 지반변형의 가장 중요한 인자인 지하수위 변동과 연계한 계측계획이나 연관된 계측자료와의 종합적 분석과 예측은 이루어지지 않고 있음</li> <li>- 도심밀집과 개발이익 측면으로 인해 굴착심도와 굴착규모가 점차 증대되고 있고 구조물 역시 대형화되는 추세여서 지하수위 변동에 따른 영향은 증가하고 있음</li> <li>- 따라서, 단순 계측관리수준에서 벗어나 지하수 변동과 연계된 지반 변형의 예측기술의 확보는 매우 시급한 상황임</li> </ul>
<p>7. 주요 연구개발 내용</p>	<p>(1차년도)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 지반 굴착에 따른 지반변형 요인 평가를 위한 계측(지하수, 변위 등) 및 운영</li> <li>- 지하수위의 단기 강하 및 회복 개념 모델 구축</li> </ul> <p>(2차년도)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 기초 터파기 굴착시 지질분포 및 지하수 영향에 따른 지반침하 특성 물리모형 실험</li> <li>- 기초 터파기 굴착시 지하수 유출과 지반변형 복합 모델링을 활용한 단기 지반변형 예측</li> <li>- 굴착중 지하수위 변화 및 구조물 완공후 지하수위 복원에 대한 평가</li> </ul> <p>(3차년도)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 지하철 굴착시 지질분포 및 지하수 영향에 따른 지반침하 특성 물리모형 실험</li> <li>- 지하철 굴착시 지하수 변화와 지반변형 복합 모델링을 활용한 단기 지반변형 예측</li> <li>- 지하수위 강하 및 회복을 고려한 보급형 지반변형 평가 모델 구성</li> </ul> <p>(4차년도)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 지하수위 강하 및 회복을 고려한 보급형 지반변형 평가 모델 개발</li> <li>- 물리모형과 수치모형의 비교를 통한 지하수의 지반변형에 미치는 영향 평가</li> </ul> <p>(5차년도)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 지반 굴착 유형별 단기 지반변형 방지를 위한 설계 기준 수립</li> </ul>
<p>8. 정부지원의 타당성</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 최근 싱크홀로 통칭되는 도로, 인도 등의 함몰사고가 빈번히 발생하여 국민의 불안이 가중되고 있어 이를 해소하고 안전한 국가관리라는 목표를 수립한 정부정책과 매우 부합하는 과제임</li> <li>- 아울러 지반굴착에 의해 지반변형이 발생하고 재해로 이어질 경우 해당 사업주체 뿐만 아니라 다수의 피해가 발생하므로 정부가 지원하여 본 과제의 성과에 대해 공공성을 확보하는 것이 중요하다고 판단됨</li> </ul>
<p>9. 기술확보 전략</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 본 과제는 지하수, 수리지질, 토목계측, 지반공학 등 여러 분야의 전문가 연구팀을 구성하여야 하므로 단일 민간 기관의 수행이 곤란함</li> <li>- 본 기술은 실제 시공 현장을 testbed로 지정 활용하여야 하며, 기존의 장기 계측 자료와 신규 계측 자료를 종합적으로 검토하여 해석되어야 함</li> <li>- 또한, 단기 예측에 대한 기술이므로 다양한 물리적·수치적 모델링이 수행되어야 함. 따라서, 실제 규모를 축소한 물리 모형을 통하여 발생 메커니즘을 규명하고, 수치 모델과의 비교 분석을 통하여 단기 변형을 파악하여야 함</li> <li>- 지반 굴착의 유형별(기초 터파기, 지하철 등 터널 굴착) 다양한 실험이 수행되어야 하므로 관련 testbed 확보가 매우 중요함</li> </ul>

10. 기술개발 최종성과물 및 활용방안	최종성과물		수요처		실용화 방안	
	표준 물리모델 시험 기준 수립		정부 및 공공기관		지반굴착 설계 기준 반영	
	지반 굴착 평가 프로그램 개발		설계사, 시공사		프로그램 판매	
	지반굴착시 지하수 영향 최소화 설계 기준		정부 및 공공기관		정부 설계 지침에 활용	
11. 소요기간 및 예산	(단위 : 억원)					
	1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	5차년도	계
	5	15	15	15	15	65
12. 기대효과 및 파급효과	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 기술적 측면으로는 국내 계측기술의 수준향상을 도모하고, 굴착현장 지하수 양수, 집중호우 등 지하수위 변동을 유발하는 다른 재해요인에 의한 영향을 예측하는 분야로 확장적용이 가능함</li> <li>- 사회경제적 측면으로는 지반 변형의 단기 예측이 가능해짐으로써 굴착공사 현장의 안전성이 제고되며, 공사현장 인접 주민들의 불안감을 해소하여 불필요한 사회적 갈등을 방지함으로써 사회적 갈등비용의 절감이 가능할 뿐 아니라 계측센서·자동측정시스템·예측분석시스템을 통합한 시스템의 형태로 고부가가치 기술로 수출이 가능할 것으로 판단된다.</li> <li>- 정책적 측면에서는 지반굴착현장 관리에 관한 지침, 고시 등의 가이드라인의 제정이 가능함</li> </ul>					


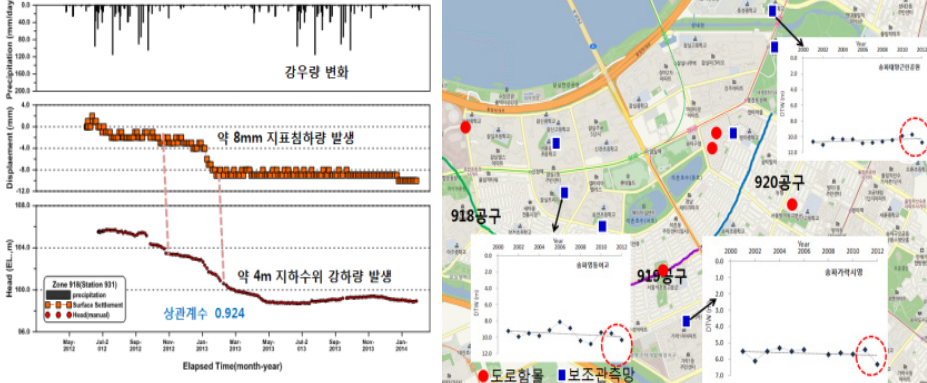
## 후보과제카드

1. 과제명	- 지반굴착 주변의 지하수 함양 및 유출량 예측 기술 개발																		
2. 연구목적 및 배경	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 대규모 지반 굴착의 유형별로 지하수위의 시공간적 변동 프로세스에 대한 실증적 연구를 수행하여 시공 방법과 절차 등에 대한 개선점을 도출할 필요가 있음</li> <li>- 지반 굴착시 지하수 유출량의 파악을 통하여 상류 지층에서의 물의 유입 및 지반 변형 규모를 예측하는데 활용하고자 함</li> </ul>																		
3. 연구개발 목표	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 지반굴착 유형별 지하수 함양, 유출 및 침투의 시공간적 변동 예측 및 설계 기술 개발</li> <li>- 지반 굴착시 지하수 유출량의 자동 측정 기술 확보</li> </ul>																		
4. 기술개발 및 산업/시장 동향	<table border="1" data-bbox="434 703 1391 891"> <thead> <tr> <th>구분</th> <th>보유기술명</th> <th>보유기관</th> <th>성능수준 및 기능</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="2">국내</td> <td>-</td> <td>-</td> <td>-</td> </tr> <tr> <td>-</td> <td>-</td> <td>-</td> </tr> <tr> <td rowspan="2">국외</td> <td>-</td> <td>-</td> <td>-</td> </tr> <tr> <td>-</td> <td>-</td> <td>-</td> </tr> </tbody> </table> <p data-bbox="434 936 1398 1281"> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 국내 지하수 유출량 측정은 웨어에 의한 방법과 배수펌프의 배수량을 적산유량계를 통하여 측정하는 방법으로 제시되고 있으며, 측정기술 자체는 보편적으로 이용하는 기술이지만, 구체적인 측정방식에 대한 기준이 제시되어 있지 않으며 자동측정 기술은 전무함.</li> <li>- 지하수 유출량 예측은 주로 지하수유동모델링을 통하여 이루어지고 있으며, 경우에 따라 2D 또는 3D로 수행하고 있으나, 모델링을 위하여 필요한 현장조사가 제대로 수행되지 않고 있으며, 사후 실측 유출량을 이용한 모델의 보정과 개선이 이루어지고 있지 않아 정확도에 있어서 선진국에 비하여 부족함</li> <li>- 외국의 경우도 지하수 유출량을 측정하는 개별기술 보다는 현장조건에 따른 측정기준과 기술이 제시되어 있으며, 지하수 유출량 예측의 경우 광범위한 현장자료를 바탕으로 정교한 모델링 또는 해석해로 제시하고 있음</li> </ul> </p>	구분	보유기술명	보유기관	성능수준 및 기능	국내	-	-	-	-	-	-	국외	-	-	-	-	-	-
	구분	보유기술명	보유기관	성능수준 및 기능															
국내	-	-	-																
	-	-	-																
국외	-	-	-																
	-	-	-																
<p data-bbox="434 1308 1398 1729"> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 지하수법에 제9조에 의거하여 지하구조물을 설치하려는 국토교통부령으로 정하는 규모이상의 건축물(특별시 또는 광역시에 2층 이상 또는 연면적 10만제곱미터 이상)에서 기준이상의 지하수 유출량이 나오는 경우 지하수 유출량을 신고하고 저감 대책을 시행하여야 하나 실제 지하수 유출량을 정상적으로 신고하는 경우가 드물기 때문에 지하수 유출량 관련 국내 시장은 따로 정의하기 어려운 수준임</li> <li>- 지하수 유출량을 예측하는 업무는 지하굴착 공사의 종류와 규모에 따라 차이가 있지만 환경영향평가, 설계 등에 반영하기 위하여 해당 업무 중 일부를 몇몇 지하수전문회사, 지반조사회사 등에서 수행하고 있으며, 지하수 유출량 실측은 감리회사나 사후환경영향조사를 맡은 회사에서 다른 업무와 병행하여 수행하고 있음</li> <li>- 전문성을 요구하는 지하수 함양, 유출량 측정과 예측 등의 업무가 관련 법 규정에 의하여 강제되어야 전문기업이 활성화 될 수 있으며, 환경문제에 대하여 엄격한 해외 토목, 건축시장에서 적극 활용되어 해외시장 진출에서도 기여할 수 있을 것임</li> </ul> </p>																			
5. 기존 기술 활용방안	- 해당사항 없음																		
6. 기술개발 필요성	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 현재 각종 구조물이 지하 심부에 설치되면서 지하수 유출량에 대한 정확한 측정 및 파악이 이루어지지 못하고 있는 실정임.</li> <li>- 실제 지하 굴착 과정에서의 배수 작업 등이 공사용 작업수와 혼합되어 배출됨으로 인하여 상류 지반의 변형 규모를 예측하고 파악하는데 한계점을 갖고 있음</li> </ul>																		

	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 현장의 배수량 규모를 정확히 예측하는 것은 설계의 효율성을 제고하여 시공시 나타날 수 있는 주변 지층 붕괴, 공기 연장 등과 같은 예측하지 못한 문제점을 줄일 수 있으므로, 정확한 예측 기법이 개발된다면 중대형 건설 시공 분야에 적극 활용될 것으로 전망됨</li> <li>- 터널의 경우, 배수공법과 비배수공법에 따라 지하수유출량 측정방법 및 측정간격(거리 및 시간)에 차이가 있으며, 개착공사에서도 개착공사의 규모, 지형, 지질조건 등에 따라 방법을 달리해야 함. 특히 개착공사의 경우, 공사면적과 조건에 따라 강우와 지표유출(run-off)가 혼수될 수 있으므로, 현장특성에 대한 반영이 필요함</li> <li>- 따라서 단순히 지하수 유출량을 자동 측정하는 기술을 개발하는 것 뿐만 아니라 현장조건과 공법에 따른 정확한 유출량 측정에 대한 지침이 함께 개발되어야 하며, 이러한 방법에 의한 실측 유출량은 유출량을 예측하는 기법에 피드백되어 보다 정교한 예측기법이 가능하게 함</li> <li>- 나아가 동기술은 공사현장에서 발생할 수 있는 지하수 유출형태를 정확히 예측하여, 단순히 지하수 유출량을 예측하고, 측정하는 형태에서 지하수 유출로 인한 문제를 해결할 수 있는 적극적인 지하수 관리 공정을 설계에 반영할 수 있음</li> <li>- 지하수 함양 및 유출량 평가를 통하여 설계기준을 제시할 수 있을 뿐만 아니라 장기적인 주변 지하수 변동과 물수지를 분석하여 단기적인 지하수 관리대책 뿐만 아니라 장기적이며, 광역적인 지하수 관리의 기본자료를 제공할 수 있음</li> </ul>
<p>7. 주요 연구개발 내용</p>	<p>(1차년도)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 공사 현장 유형별 지하수 유출량 측정 방법 및 장치 고안</li> <li>- 지반 굴착(기초터파기)에 대한 지하수위 변동 계측 및 함양량 평가 기술 개발</li> </ul> <p>(2차년도)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 공사 현장 유형별 지하수 유출량 측정 방법 및 장치 개발</li> <li>- 지반 굴착(기초터파기)에 대한 지하수 변동량 예측 기술 개발</li> </ul> <p>(3차년도)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 지하수 유출량 측정 방법 및 장치 공사 현장 유형별 적용</li> <li>- 지반 굴착(터널)에 대한 지하수위 변동 계측 및 함양량 평가 기술 개발</li> </ul> <p>(4차년도)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 지하수 유출량 측정 방법 및 장치 공사 현장 적용성 평가</li> <li>- 지반 굴착(터널)에 대한 지하수위 변동 계측 및 함양량 평가 기술 개발</li> </ul> <p>(5차년도)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 지반 굴착시 지하수 유출량 측정 지침 개발</li> <li>- 지반 굴착시 지하수 함양 및 유출량을 고려한 설계기준 개발</li> </ul>
<p>8. 정부지원의 타당성</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 2001년 지하수법 개정으로 유출지하수의 감소 및 이용을 강조하고 있으나, 실제 유출지하수의 저감 및 이용 실적은 저조하며, 유출지하수의 측정도 정확하지 않으며 관리감독도 소홀함</li> <li>- 2009년 유출지하수 관리요령을 만들었으나 실제 유출지하수의 측정 방법에 있어서는 개략적으로만 제시되어 있어 지반조건과 공법이 다른 실제 현장에서 적용하기 어려움</li> <li>- 유출 지하수로 인한 문제와 사회적인 관심을 볼 때, 공공관점에서 정확한 지하수 유출량을 측정하는 기준과 방법을 제시하여 유출 지하수 관리에 만전을 기해야 함</li> </ul>
<p>9. 기술확보 전략</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Testbed내에 각종 계측기(수위, 변위, 토양 등) 설치 운영을 통하여 지하수위 실제 배출량과 모델 예측량의 비교 평가를 통하여 고안된 유출량 측정 장치의 정확성을 평가함</li> <li>- 계측전문가, 수리적 특성 분석을 위한 연구자 및 시공 현장을 잘 이해하는 기술자의 상호 협력에 의하여 testbed를 구성하고 계측 디자인을 체계적으로 수행하며, 최종적으로 변형과 계측자료의 관계 및 유출량의 신뢰도를 평가하고자 함</li> <li>- 지하수 유출량의 측정방법, 간격, 위치 등에 대한 다양한 접근을 통하여 구체적인 지침을 제시토록 함</li> </ul>

10. 기술개발 최종성과물 및 활용방안	최종성과물		수요처		실용화 방안	
	굴착 유형별 지하수 유출량 자동 측정 방법 및 장치		지반 굴착 공사 시공사(건설사 및 공공 발주기관)		설계 및 시공시 설치 활용	
	굴착 유형별 지하수 변동 평가 모델링		설계사		T/K등 지반 공사 설계시 활용	
	지하수 유출량 평가 설계 기준		정부 및 공공기관		정부 설계 지침에 활용	
<p>※ 기술개발 완료 시 예상되는 최종 성과물을 구체적으로 제시하여 주시고, 성과물이 활용될 것으로 예상되는 수요처 및 구체적인 실용화 방안을 제시해 주십시오. (후보과제 관련 기술수요조사서의 8. 예상성과 및 활용처 참고)</p>						
11. 소요기간 및 예산	(단위 : 억원)					
	1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	5차년도	계
	5	10	10	10	10	45
12. 기대효과 및 파급효과	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 경제적 관점: 사전에 지하수 함양 및 유출량을 예측 평가한 설계기술을 통하여 지하수 유출을 감소시키고, 유출량 실측을 통하여 주변 지역의 영향을 정량화하여 사전에 문제 발생을 예측하여 설계에 반영할 수 있으므로, 지하수 유출로 인한 주변지역의 피해를 저감시켜 경제적으로도 리스크를 줄일 수 있음</li> <li>- 기술적 관점: 지하수 함양과 유출 문제는 지하수관리의 핵심적인 요소이나 실측자료의 부족으로 기술적인 발전이 더딘 분야로서 지하수위 관측과 유출량의 실측을 통하여 해당 평가 및 설계 기술이 발전되면, 지하수 유동 예측기술 뿐만 아니라 지하수 관리기술의 발전을 기대할 수 있음</li> <li>- 정책적 관점: 도시지역 지하수 관리에 있어서 지하수 이용량은 지속적으로 감소하는 반면, 지하철, 통신구 등의 터널에서 유출되는 지하수와 건축물 등 지하굴착시 발생하는 유출 지하수는 꾸준히 증가하고 있어 유출 지하수 관련된 정책이 제시되고 있으나 유출 지하수를 평가하고 실측하는 기준과 기술이 부족하여 유출수 저감대책 역시 실효성이 크게 떨어졌음. 본 기술의 개발을 통하여 도시지역의 지하수 관리 및 이를 통한 시민의 안전증대에 큰 기여를 할 것으로 예상됨</li> </ul>					

## 후보과제카드

1. 과제명	<p>- 장기 지하수위 변화를 반영한 기존 구조물 주변 지반변형 위험도 평가 기술</p>														
2. 연구목적 및 배경	<p>- 최근 빈발하고 있는 지하공동으로 인한 도로 함몰과 지반 침하(싱크홀) 등 지하공간 관련 재난 사고가 급증하고 있어 중요한 사회적 이슈로 등장하고 있으며, 이에 따른 막대한 사회적 경제적 손실이 발생하고 있음.</p>  <p>그림 1. 서울지하철 9호선 시공 중 대규모 지반침하 발생(2014년 8월)</p> <p>- 최근 싱크홀 발생 빈도가 높은 서울시 송파구 일대 자료에 의하면 지하철 공사구간을 따라 지하수위 저하현상이 나타났던 것으로 조사된 바 있음. 이러한 지하수의 흐름변동 및 급격한 지하수위 변화는 상하수도 관로의 누수, 도시철도 배수, 지하구조물 건설을 위한 대형굴착 등에 의해 발생되며, 대부분 이들의 복합적 원인으로 인해 발생되고 있음. 따라서 도심지 난개발에 따른 지하수 흐름 교란에 의한 지반침하, 지하공동 발생 등에 대한 관리가 필요함.</p>  <p>그림 2. 서울시 9호선 공사현장 및 송파구 일대 지하수위 변화</p>														
3. 연구개발 목표	<p>- 장기적인 지반변위 및 지하수 변동에 대한 실제 관측자료, 현장 응력 상태 및 지하수위 조건을 모사한 원심모형실험 및 지표수와 지하수의 Head-controlled 싱크홀 모형실험을 통한 실험적 분석으로 장기 변화 특성 평가</p> <p>- Groundwater-Geomechanics를 고려하는 Coupling 수치해석 모델의 해석적 분석</p> <p>- 노후화 구조물 주변의 장기적 지반변형 위험도 평가 방안 개발</p>														
4. 기술개발 및 산업/시장 동향	<table border="1" data-bbox="438 1758 1390 1989"> <thead> <tr> <th>구분</th> <th>보유기술명</th> <th>보유기관</th> <th>성능수준 및 기능</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="3">국외</td> <td>MODFLOW</td> <td>Schlumberger Water Service社 (캐나다)</td> <td>지하수 유동 해석프로그램</td> </tr> <tr> <td>SEEP/W, SEEP 3D</td> <td>Geo-slope社 (프랑스)</td> <td>침투류 해석 프로그램</td> </tr> <tr> <td>PlaxFlow 2D</td> <td>Plaxis社 (네덜란드)</td> <td>2차원 지하수 전용 유한요소 해석 프로그램</td> </tr> </tbody> </table>	구분	보유기술명	보유기관	성능수준 및 기능	국외	MODFLOW	Schlumberger Water Service社 (캐나다)	지하수 유동 해석프로그램	SEEP/W, SEEP 3D	Geo-slope社 (프랑스)	침투류 해석 프로그램	PlaxFlow 2D	Plaxis社 (네덜란드)	2차원 지하수 전용 유한요소 해석 프로그램
구분	보유기술명	보유기관	성능수준 및 기능												
국외	MODFLOW	Schlumberger Water Service社 (캐나다)	지하수 유동 해석프로그램												
	SEEP/W, SEEP 3D	Geo-slope社 (프랑스)	침투류 해석 프로그램												
	PlaxFlow 2D	Plaxis社 (네덜란드)	2차원 지하수 전용 유한요소 해석 프로그램												

	시장 동향	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 현재 개발되어 있는 지하수 유동과 관련한 프로그램의 대부분은 지하수 변화에 따른 지반변형을 고려하지 못하고 있음.</li> <li>- 지하공간정보(구조물, 지질, 지하수위 등)를 종합적으로 분석하여 안전사고에 대한 능동적인 의사결정 지원과 종합적인 대책에 대한 통합된 지하공간정보 기반의 지반변동 위험도 평가기술의 필요성이 대두되고 있음.</li> </ul>
5. 기존 기술 활용방안		<ul style="list-style-type: none"> <li>- UCF에서 현재 사용중인 싱크홀 시뮬레이터의 한계점을 보완하여, 지표수와 지하수의 수두조절이 가능한 싱크홀 시뮬레이터를 제작하고자 함.</li> <li>- 침투 해석프로그램(SEEP/W) 혹은 지하수 유동 모델링 프로그램(MODFLOW)등 현재 상용화된 수치해석의 장단점을 분석하여 Groundwater-Geomechanics를 동시에 고려하는 융합 수치해석 모델을 개발하고자 함.</li> </ul>
6. 기술개발 필요성		<ul style="list-style-type: none"> <li>- 최근 우리나라에 발생하는 싱크홀은 인위적인 원인에 의해 형성된 것이 대부분이며, 앞으로도 서울과 같은 대도시에서의 각종 지하구조물 건설공사는 계속 될 것이므로 대규모 싱크홀의 발생 위험이 항상 존재함.</li> <li>- 토목구조 및 건축물의 대형화와 지하화로 인한 지하수위 아래에서 진행되는 대형 굴착 공사장 증가로 지질 취약 지역에서 동시 다발적으로 지반이 침하될 가능성이 있고 사회불안 요소 제거가 필요함.</li> <li>- 지반내부 공동의 크기, 주변지반 이완 상태 등의 정확한 평가를 통한 근본적인 대책 없이 보강사업에 치중되는 수동적인 대처가 대부분인 실정임.</li> <li>- 도심지 대규모 난개발에 따른 지하수 흐름 교란, 지반침하, 지하공동 발생 등에 대한 관리가 필요하며 지하수위는 지하 매질의 변화에 직접적으로 영향을 받는 중요한 지질요소임.</li> <li>- 따라서 지반변위 및 지하수변동에 대한 실제 관측자료를 기반으로 원심모형실험 및 지표수와 지하수의 Head-controlled 싱크홀 모형실험을 통한 실험적 분석과 Groundwater-Geomechanics를 고려하는 수치해석 모델의 해석적 검토를 근간으로 예방적 차원의 지반공동 위험도 평가시스템을 제공함으로써 싱크홀과 같은 문제에 대처할 수 있음.</li> </ul>
7. 주요 연구개발 내용		<p>(1차년도)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 구조물 유형별 지반굴착 시공 및 보강 특성 평가</li> <li>- 구조물 주변 지반의 장기 변화 계측 특성 자료 수집 및 분석</li> <li>- 물리 실험 계획 수립</li> <li>- 구조물 유형별 지반굴착에 의한 지하수변화와 지반변상을 시뮬레이션 할 수 있는 실내 지하수-토조(Groundwater Soil) 모형시험기 제작</li> </ul> <p>(2차년도)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 구조물 유형별 주변 지반의 장기 변화 특성 평가</li> <li>- 구조물 유형별(지하철 상부, 기초 터파기 등) 모형실험 수행</li> <li>- 장기 지반침하에 미치는 영향인자(e.g. 지하수위, 지질종류 등)별 모형 실험 결과 비교 평가</li> </ul> <p>(3차년도)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 장기적인 지하수 변화와 지반 거동을 동시에 고려할 수 있는 Coupling 3차원 Groundwater-Geomechanics 융합 모델 개발</li> <li>- 구조물(기초 터파기)주변 장기 지하수 변동 및 공동 발생 조건을 모사한 원심모형실험을 통한 지반공동 발생 영향 평가 및 지반재료의 특성에 따른 거동특성 규명</li> </ul> <p>(4차년도)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Coupling 3차원 모형을 활용한 구조물 주변 장기 지하수위 변화에 따른 지반공동 위험도 분석 및 평가</li> <li>- 구조물(지하철 굴착 상부)주변 장기 지하수 변동 및 공동 발생 조건을 모사한 원심모형실험을</li> </ul>

	<p>통한 지반공동 발생 영향 평가 및 지반재료의 특성에 따른 거동특성 규명</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 구조물 유형별 주변 지하수 변동 및 공동발생 지반의 응력-변형 해석 수행</li> <li>- 모형실험 및 수치해석 결과 기반의 장기 지반변화 위험도 평가 방안 제시</li> </ul> <p>(5차년도)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 노후화 시설물(고층 건축, 지하철 상부 등) 주변의 장기 지반변화 위험도 평가</li> <li>- 지하수 지반 계측, 모델링, IT 등의 타 연구 성과가 종합적으로 취합, 통합하여 수행되어야 함</li> <li>- 시설물 주변 장기 지반변화 위험도 제작</li> <li>- 시설물 주변 장기 지반변화 위험도 SMART 서비스 시스템 개발</li> </ul>												
<p>8. 정부지원의 타당성</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 지하공간과 같은 극한 환경에서 재난재해를 효율적으로 예방하기 위해서는 지하매설물, 지하구조물, 지질 및 지하수 등의 전문 기술분야의 융합을 통한 문제해결방안의 추진이 필요함.</li> <li>- 지하수위는 지하매질의 변화에 직접적으로 영향을 받는 중요한 지질요소로 지하공간의 변화를 감지 및 예측하는 데 있어 정밀하게 평가할 수 있는 관측시스템의 구축이 필요함.</li> <li>- 사전적 재해예방을 위한 조치로 지질 및 지하수위에 대한 객관적인 평가방안 제시가 필요하며 이를 위한 기술개발에 소요되는 비용도 상당하므로 민간 단독으로 수행하기 어려움.</li> </ul>												
<p>9. 기술확보 전략</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 지하수의 수직/수평흐름을 고려한 모형실험 및 지하수와 지반거동을 동시에 고려하는 3차원 융합 모델(Coupling model)을 활용하여 지하수위, 지반구조, 지질 등의 상태를 다양하게 고려할 수 있는 실험을 수행함으로써 지하수위 변화에 따른 지반변동을 정량적으로 평가하고, 이를 실제 관측 자료와 비교함으로써 개발 기술의 신뢰성을 확보하고자 함.</li> <li>- 본 연구는 풍부한 현장 경험과 시설물 운영관리 Know-how 등이 복합적으로 요구되며, high technology인 coupling 모델을 사용해야 하며, 최신 물리 모델인 고난이도의 원심모형실험 설계와 실험이 병행되어야 함</li> <li>- 따라서, 학계, 실험기관, 시공사 등이 복합적으로 연계하여 수행되어야 함</li> </ul>												
<p>10. 기술개발 최종성과물 및 활용방안</p>	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="width: 33%;">최종성과물</th> <th style="width: 33%;">수요처</th> <th style="width: 33%;">실용화 방안</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Groundwater-Geomechanics 융합 모델 개발</td> <td>설계회사, 시공사 등 관련업계</td> <td>프로그램 판매 및 기술이전을 통한 보급</td> </tr> <tr> <td>지반공동 위험도 평가 방안</td> <td>공공기관 및 관련 민간업계</td> <td>기술이전을 통한 보급</td> </tr> <tr> <td>주요 구조물 주변 지반변화 위험도 제작</td> <td>국가, 공공기관</td> <td>-</td> </tr> </tbody> </table>	최종성과물	수요처	실용화 방안	Groundwater-Geomechanics 융합 모델 개발	설계회사, 시공사 등 관련업계	프로그램 판매 및 기술이전을 통한 보급	지반공동 위험도 평가 방안	공공기관 및 관련 민간업계	기술이전을 통한 보급	주요 구조물 주변 지반변화 위험도 제작	국가, 공공기관	-
최종성과물	수요처	실용화 방안											
Groundwater-Geomechanics 융합 모델 개발	설계회사, 시공사 등 관련업계	프로그램 판매 및 기술이전을 통한 보급											
지반공동 위험도 평가 방안	공공기관 및 관련 민간업계	기술이전을 통한 보급											
주요 구조물 주변 지반변화 위험도 제작	국가, 공공기관	-											
<p>11. 소요기간 및 예산</p>	<p style="text-align: right;">(단위 : 억원)</p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; text-align: center;"> <thead> <tr> <th style="width: 16.6%;">1차년도</th> <th style="width: 16.6%;">2차년도</th> <th style="width: 16.6%;">3차년도</th> <th style="width: 16.6%;">4차년도</th> <th style="width: 16.6%;">5차년도</th> <th style="width: 16.6%;">계</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>10</td> <td>15</td> <td>20</td> <td>15</td> <td>10</td> <td>70</td> </tr> </tbody> </table>	1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	5차년도	계	10	15	20	15	10	70
1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	5차년도	계								
10	15	20	15	10	70								
<p>12. 기대효과 및 파급효과</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 도심지 지반변동 예측을 통해 지반 침하 발생가능성을 사전 예지함으로써 사회적 안정감 제고를 통한 국민 안전 확보 및 행복 증진</li> <li>- 도심지 싱크홀 발생의 예측에 따른 직접적 복구비용 및 간접적 사회비용 절감 가능</li> <li>- 지하수와 지반거동을 동시에 고려하는 3차원 융합 모델 개발을 통해 도심지 지반변동의 정확한 예측 가능</li> <li>- 정확도가 향상된 해석결과에 근거하여 계획 및 설계가 가능하므로 국토의 이용, 개발 및 국가예산 집행 등에 관한 효율성 및 신뢰성 향상</li> <li>- 도심지 지반구조물의 내구성 향상 및 장기적 안정성 확보에 기여</li> </ul>												

## 후보과제카드

1. 과제명	- 기완공 구조물 주변 유출지하수 평가·관리 기법 개발																
2. 연구목적 및 배경	- 지하철 및 건축물의 기초 부분은 습윤화 및 물의 유입을 차단하기 위하여 주변의 지하수위를 강제로 저하시키는 시스템을 갖추고 있으며, 이와 같은 유출지하수의 효율적인 평가 및 관리를 위한 기법을 개발함으로써 발생가능한 지반침하를 예측하는데 활용하고자 함																
3. 연구개발 목표	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 유출지하수의 정량적 평가 기법 개발</li> <li>- 유출지하수의 재활용을 위한 활용 기술 개발</li> <li>- 유출지하수 저감을 위한 사후 시공 기술 개발</li> </ul>																
4. 기술개발 및 산업/시장 동향	기술 동향	구분	보유기술명	보유기관	성능수준 및 기능												
		<table border="1" data-bbox="432 736 1396 981"> <tr> <td data-bbox="432 736 568 835">국내</td> <td data-bbox="568 736 780 835">지하수 인공함양 기술</td> <td data-bbox="780 736 986 835">한국지질자원연구원</td> <td colspan="2" data-bbox="986 736 1396 835">제주도에 대규모 실증 적용 및 운영중으로서 도시지역의 소규모 설비는 개발되어 있지 않음</td> </tr> <tr> <td data-bbox="432 835 568 981" rowspan="2">국외</td> <td data-bbox="568 835 780 902">지하매관법을 활용한 인공함양 기술</td> <td data-bbox="780 835 986 902">from Huisman and Olsthoorn</td> <td colspan="2" data-bbox="986 835 1396 902">지표면에 굴착 수로를 만들어 자갈을 채우고 유출지하수를 재충진하는 기술</td> </tr> <tr> <td data-bbox="568 902 780 981">인공연못</td> <td data-bbox="780 902 986 981">일본 동경</td> <td colspan="2" data-bbox="986 902 1396 981">국분사 자연연못에 인공함양 습지 형성 운영중</td> </tr> </table>	국내	지하수 인공함양 기술	한국지질자원연구원	제주도에 대규모 실증 적용 및 운영중으로서 도시지역의 소규모 설비는 개발되어 있지 않음		국외	지하매관법을 활용한 인공함양 기술	from Huisman and Olsthoorn	지표면에 굴착 수로를 만들어 자갈을 채우고 유출지하수를 재충진하는 기술		인공연못	일본 동경	국분사 자연연못에 인공함양 습지 형성 운영중		
국내	지하수 인공함양 기술	한국지질자원연구원	제주도에 대규모 실증 적용 및 운영중으로서 도시지역의 소규모 설비는 개발되어 있지 않음														
국외	지하매관법을 활용한 인공함양 기술	from Huisman and Olsthoorn	지표면에 굴착 수로를 만들어 자갈을 채우고 유출지하수를 재충진하는 기술														
	인공연못	일본 동경	국분사 자연연못에 인공함양 습지 형성 운영중														
시장 동향	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 외국의 경우에는 건축물 주변의 수위를 강하시키기 위하여 양수하는 유출지하수를 하수구를 통하여 방류하지 않고 재주입하는 기술을 적극 활용하여 수자원의 보존에도 기여하고 있음.</li> <li>- 국내에서는 빗물의 인공함양에 대한 연구가 최근 수년간 진행되었으나, 강우보다 많은 수량을 갖고 있는 유출지하수는 바로 배출되는 시스템으로 되어 있어 수자원의 손실을 가져오고 있음</li> <li>- 유출지하수의 재주입이 이루어진다면, 정부나 공공기관 등에서 수자원의 총량을 추가로 확보하여 기후변화시대의 물부족에도 대비하고 지하수위 강하로 인하여 발생하는 지반침하 현상도 감소시킬 수 있는 첨단 기술로서의 역할을 담당하게 될 것임</li> <li>- 또한, 유출된 지하수를 재활용할 수 있는 시스템을 마련함으로써 도심지 열섬효과 차단 등 수자원 활용을 증대시킬 수 있음. 선진 외국의 경우 지하수열을 활용한 하절기 도시 냉각 시스템 운영중</li> </ul>																
	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 지하철 유출지하수의 경우에는, 도시 하천유지용수 또는 생활용수로 재활용하는 시스템을 구축 운영중에 있으나, 과도한 양수로 인한 주변 지역 지반 침하 등의 문제를 야기시킬 소지를 내포하고 있음</li> <li>- 대형 지하수 인공함양 기술은 제주도 testbed 지역에서 한국지질자원연구원의 연구 개발에 의하여 기 확보되어 있으며, 농촌 지역의 소규모 지하수 함양 기술은 “수변지하수활용고도화연구단 (K-water, 2012~2016)”에서 기술을 개발한 바 있음. 이와 같은 농촌지역(농경지)의 소규모 인공함양 시설이 도시지역에 적용 가능한 기술로 이해되며, 도시의 복잡한 지하 환경에 최적화된 함양 시스템을 갖추도록 함으로써 기 개발 기술을 최대한 활용할 수 있음</li> </ul>																
5. 기존 기술 활용방안	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 지하철, 건축물 등 시설물의 준공 이후에는 주변 지하수위 강하를 억제하기 위한 추가적인 사업의 시행이 용이하지 않아 그 동안 기 준공된 시설물 주변에서의 지하수위 강하를 최소화하는 시설 및 시스템 구축에 대한 연구가 수행되지 못하였음</li> <li>- 그러나, 최근의 도시지역에서의 지반침하가 빈번하게 발생되고 있어 시설물 준공 이후에도 지하수위 강하를 추가적으로 차단하거나 수위를 유지하기 위한 시설의 사후 설계 및 시공에 대한 기술 확보가 요구됨</li> <li>- 도시지역에서 구조물 건설이 종료된 이후의 지하수위를 유지하기 위한 인공함양 또는 토목 구조적인 기술은 지하 구조물이 복잡하게 형성되어 있기 때문에 기존의 농촌지역의 인공함양이나 기존 설계단계에서의 토목 기술과는 차이가 있기 때문에 별도의 도시지역에 적합한 기술 개발이 요구됨</li> </ul>																
6. 기술개발 필요성	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 지하철, 건축물 등 시설물의 준공 이후에는 주변 지하수위 강하를 억제하기 위한 추가적인 사업의 시행이 용이하지 않아 그 동안 기 준공된 시설물 주변에서의 지하수위 강하를 최소화하는 시설 및 시스템 구축에 대한 연구가 수행되지 못하였음</li> <li>- 그러나, 최근의 도시지역에서의 지반침하가 빈번하게 발생되고 있어 시설물 준공 이후에도 지하수위 강하를 추가적으로 차단하거나 수위를 유지하기 위한 시설의 사후 설계 및 시공에 대한 기술 확보가 요구됨</li> <li>- 도시지역에서 구조물 건설이 종료된 이후의 지하수위를 유지하기 위한 인공함양 또는 토목 구조적인 기술은 지하 구조물이 복잡하게 형성되어 있기 때문에 기존의 농촌지역의 인공함양이나 기존 설계단계에서의 토목 기술과는 차이가 있기 때문에 별도의 도시지역에 적합한 기술 개발이 요구됨</li> </ul>																

7. 주요 연구개발 내용	(1차년도) - 유출지하수 현황 및 특성 분석 - 시험 현장 구축 방안 수립					
	(2차년도) - 구조물별 유출지하수의 정량적 평가 기법 개발 - 도시지역 완공 구조물 주변의 지하수 유지 시공기술 고안 및 설계					
	(3차년도) - 물리 모형 및 수치 모델을 통한 시공기술의 효과 평가 - 구조물별 시험 현장 구축					
	(4차년도) - 구조물별 유출지하수 산정 및 재활용 기술 개발 - 유출지하수 저감 사후 시공 기술의 시험현장 적용					
	(5차년도) - 시험 현장 운영 및 평가 - 시공후 유출지하수 저감 공법 표준화 설계 및 지침 개발					
8. 정부지원의 타당성	- 도시지역의 경우 복잡한 지하 구조 및 과도한 지반 굴착으로 인하여 지반 침하의 문제가 발생하고 있는 만큼, 국민의 안전과 시설물의 보호를 위하여 국가의 지원이 요구됨 - 본 연구의 경우, 시험 현장을 통하여 실증 실험이 수행되어야 하는 만큼 민간의 단독 수행보다는 공공기관의 참여를 통하여 객관화된 장소에서 객관화된 기술로 개발되는 것이 필요함					
9. 기술확보 전략	- 본 연구는 지반 굴착 현장, 유출지하수의 측정 및 관리, 물리 및 수치 모델의 활용, 시험 지역의 운영관리 등이 복합적으로 연계된 과제로서 시공사, 학계, 공공기관 등이 함께 참여할 필요가 있음 - 아울러, 시설물 준공 이후의 사후에 개발되는 지하수 유지관리 기술이므로 그 동안 거의 개발 및 적용된 바가 없어 외국의 전문가의 참여가 필수적으로서 일본, 싱가포르 및 중국(상하이) 등의 기술력 참여가 요구됨					
10. 기술개발 최종성과물 및 활용방안	최종성과물		수요처		실용화 방안	
	구조물 주변 사후 지하수 유출 저감 시공 기술 시공 기준(지침)		설계 및 시공사 정부, 공공기관		구조물 주변 현장 적용 설계 등에 반영	
11. 소요기간 및 예산	(단위 : 억원)					
	1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	5차년도	계
	5	15	20	10	10	60
12. 기대효과 및 파급효과	- 도시지역에서 수십년 이전에 준공된 고령화된 건축 및 시설물 주변의 유출 지하수를 최소화하여 장기적으로 발생되어 오는 지반침하를 근본적으로 차단할 수 있는 기술을 확보하고자 함 - 본 기술을 개발함으로써 노후 시설물 주변에서의 지반침하를 차단할 수 있는 신산업 분야를 도출할 수 있고, 이를 통하여 도시지역 지반침하를 예방할 수 있음					

## 후보과제카드

1. 과제명	- 건축물 주변 초정밀변형 평가 기법 개발												
2. 연구목적 및 배경	- 국외에서 보편적으로 활용되고 있는 위성 레이더 기술을 활용하여 미세 변위를 조사, 분석하는 기술을 확보하여 건축물 주변의 정밀 변위를 파악하고 예측하고자 함												
3. 연구개발 목표	- SAR 및 LiDAR 등을 활용한 대형 건축물 정밀 변형 평가 기술 개발 - 건축물 주변 지반 침하 및 파쇄 분포도 작성 기법 개발												
4. 기술개발 및 산업/시장 동향	<table border="1" data-bbox="437 629 1390 808"> <thead> <tr> <th data-bbox="437 629 603 667">구분</th> <th data-bbox="603 629 826 667">보유기술명</th> <th data-bbox="826 629 1023 667">보유기관</th> <th data-bbox="1023 629 1390 667">성능수준 및 기능</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td data-bbox="437 674 603 741">국내</td> <td data-bbox="603 674 826 741"></td> <td data-bbox="826 674 1023 741"></td> <td data-bbox="1023 674 1390 741"></td> </tr> <tr> <td data-bbox="437 741 603 808">국외</td> <td data-bbox="603 741 826 808">Land subsidence monitoring program</td> <td data-bbox="826 741 1023 808">ADWR, NASA 등</td> <td data-bbox="1023 741 1390 808">광역 지반침하 원격 정밀 계측</td> </tr> </tbody> </table> <p data-bbox="437 853 1398 1173">- SAR 계측 자료는 연간 수 mm 이내의 지반 변형을 탐지할 수 있는 기술로서 광역 지반침하 분야에 널리 활용되고 있음 - 2000년대 이후 세계적으로(중국, 일본, 미국, 태국 등) SAR 자료를 활용한 지반침하 연구가 매우 다양하게 이루어지고 있으나, 국내의 경우에는 일부 학자에 의하여 연구가 진행된 바 있으며, 지반침하와 연계된 지속적인 연구는 전혀 이루어지지 않고 있음 - 최근의 SAR 연구는 장기적인 지반침하에 대한 변형 평가 뿐 아니라, 계절적인 지반 변위(상승, 침하 등), 자연적 및 인위적 함양에 대한 평가, 지질도 작성, 지각의 파쇄대에 대한 조사, 댐의 변형 및 위치 이동, 지반침하 모델링 분야까지 매우 다양하게 적용되고 있어, 국내의 기술수준을 고려할 때 빠른 시일 내에 기술력 제고가 필요한 분야임</p> <p data-bbox="363 1189 1398 1480">- 국가적으로 최근의 지반침하 및 함몰과 관련한 안전에 대한 우려는 대형 구조물 및 그 주변의 안전성 확보에 대한 정밀한 계측과 평가를 요구하고 있음 - 특정 규모의 시설에 대해서는 정기적인 SAR 계측에 의한 지반 변형 평가가 필요시 되며, 이와 관련한 제도 개선을 통하여 향후 시장성이 지속 확대될 것으로 전망됨 - 아울러, 외국의 경우 SAR 자료의 해석과 평가에 대한 다양한 접근이 이루어지고 있어 국내 기술력이 확보된다면 외국의 지반침하 관련 사업에의 접근이 가능할 것임 - 또한, 지반침하 분야 뿐 아니라, 국내의 30년 이상 노후화된 대형 댐들의 변위, 최근 보다 활성화되고 있는 지진과 지각 변위에 대한 평가 등의 사업 분야에도 적극 활용될 수 있을 것임</p>	구분	보유기술명	보유기관	성능수준 및 기능	국내				국외	Land subsidence monitoring program	ADWR, NASA 등	광역 지반침하 원격 정밀 계측
	구분	보유기술명	보유기관	성능수준 및 기능									
국내													
국외	Land subsidence monitoring program	ADWR, NASA 등	광역 지반침하 원격 정밀 계측										
5. 기존 기술 활용방안	- 미국 및 중국(상하이, 북경 등) 등에서 활발히 연구하고 있는 전문가의 Know-how를 적극 활용함으로써 기술 개발 초기의 시행착오를 최소화하는 방안으로 추진되어야 함												
6. 기술개발 필요성	- 최근 고층 건물의 신축이 활발히 이루어지고 있어 지반 변형 발생시 건축물 안전에 대한 우려가 증대되고 있어 지속적이고 정기적인 지반 변위를 파악하고 관리해 나가야 함 - 특히, SAR를 활용한 지반변위 측정 및 분석은 최첨단 기술을 활용한 초정밀 변형까지 파악할 수 있어 대형 구조물 주변의 변위에 대한 평가 방법과 해석 기술을 개발할 필요가 있음. - 또한, 국내 대도시에는 50층 이상 건물이 완공 및 신축 중으로서 고층 건물의 하중 및 지하수 배출에 의한 미세한 변형을 분석하여 안전성을 확보하여야 함												
7. 주요 연구개발 내용	(1차년도) - 국내 초고층 건물 부지 특성 조사 - SAR 기술 특성 분석 및 연구지역 선정												

	(2차년도) - 연구지역 지반특성 조사 및 계측 - SAR 데이터 취득 및 기초 해석  (3차년도) - SAR 해석 및 모델 시뮬레이션 수행 - 계측 및 해석결과의 연계 평가 및 분석  (4차년도) - SAR를 활용한 지반침하 분포도 작성 기법 개발  (5차년도) - SAR를 활용한 지반침하 분석 매뉴얼 개발					
8. 정부지원의 타당성	- SAR를 활용한 지반 변형 분석 기술은 외국에서는 10여년 이전부터 보편화된 침하 평가 기술로 활용되고 있으나, 국내의 경우에는 그간 침하에 대한 위험도가 상대적으로 낮아 소홀히 다루었던 분야임 - 본 기술은 도시지역의 지반침하 뿐 아니라 해안 매립지 등에 설치되는 신규 도시 및 산업단지 등에도 광범위하게 적용될 수 있는 기술로서 정부의 지원을 통하여 선진국 수준으로 발전할 수 있는 Seed 역할의 지원이 필요함					
9. 기술확보 전략	- 본 연구는 지질, 지하수, 계측을 기반으로 SAR와 관련된 첨단 기술이 요구되는 만큼, 국내의 관련분야 전문가와 함께 국외의 SAR 전문가가 공동으로 참여하여 선진국의 기 개발 기술을 조속히 습득하고 국내에 최적화된 기술로 발전시켜 나가는 것이 요구됨					
10. 기술개발 최종성과물 및 활용방안	최종성과물		수요처		실용화 방안	
	SAR를 활용한 정밀 침하 평가 매뉴얼		설계사 및 시공사		고층 건축물 설계 및 시공시 활용	
11. 소요기간 및 예산	(단위 : 억원)					
	1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	5차년도	계
	5	15	10	10	10	50
12. 기대효과 및 파급효과	- 본 연구를 통하여 대형 건축물 주변에서의 지반 변형을 장기적이고 정밀하게 해석할 수 있는 기술을 확보하고 지상에서 수행하는 계측과의 연계 해석을 통하여 국내 기술을 한단계 발전시키며, 구조물 주변의 침하에 대한 안전성을 확보할 수 있음					

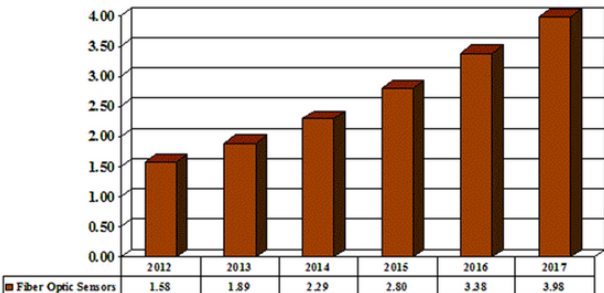
후보과제카드

1. 과제명	- 3차원 토양, 지하수, 변형 계측 센서 개발															
2. 연구목적 및 배경	- 그 동안 계측 센서는 시추 등을 통하여 지하수위, 토양 수분, 지반변형 등을 계측하는 방식으로 개발되어 왔으나, 복잡한 도시의 특성을 고려할 때 시추 방식은 효율적이지 못함 - 따라서, 지반, 지하수, 토양 등을 통합적으로 계측하기 위하여 기존의 시추 방식과 차별화된 통합 계측 센서를 개발하여 3차원의 지하 특성 변화를 감지할 수 있는 계측 시스템을 개발하고자 함															
3. 연구개발 목표	- 비 시추 방식의 지반, 지하수, 토양 통합 계측 센서 개발 - 통합 항목에 대한 초소형 통신 시스템 개발 - 3차원 계측자료의 공간 해석 및 표출 기술 개발															
4. 기술개발 및 산업/시장 동향	<table border="1" data-bbox="440 736 1391 952"> <thead> <tr> <th>구분</th> <th>보유기술명</th> <th>보유기관</th> <th>성능수준 및 기능</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="2">국내</td> <td>지하수위 측정장치</td> <td>하이드로넷</td> <td>시추 및 착정 공내에 지하수위계를 삽입하여 지하수위 변화를 계측</td> </tr> <tr> <td>토양 수분 측정장치</td> <td>금오공대</td> <td>심도별 토양 수분 변화를 계측시스템 개발</td> </tr> <tr> <td>국외</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>	구분	보유기술명	보유기관	성능수준 및 기능	국내	지하수위 측정장치	하이드로넷	시추 및 착정 공내에 지하수위계를 삽입하여 지하수위 변화를 계측	토양 수분 측정장치	금오공대	심도별 토양 수분 변화를 계측시스템 개발	국외			
	구분	보유기술명	보유기관	성능수준 및 기능												
국내	지하수위 측정장치	하이드로넷	시추 및 착정 공내에 지하수위계를 삽입하여 지하수위 변화를 계측													
	토양 수분 측정장치	금오공대	심도별 토양 수분 변화를 계측시스템 개발													
국외																
<p><b>기술 동향</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 기존의 지하수위 측정 장치는 시추 및 착정 등을 통하여 포화대면을 측정하는 방식으로 압력계 방식이 주를 이루고 있음</li> <li>- 지하수위 측정 방식은 수변지하수연구단에서 측정센서 등을 기 개발하여 95% 이상 국산화가 이루어져 있으나, 지반침하와 연계된 지하수위계 측정을 위해서는 고가의 가격을 유지하고 있어 활용성이 낮음.</li> <li>- 토양 수분 측정 장치는 심도별로 측정할 수 있는 패키지형으로 개발되어 있으나 매우 고가로 판매되고 있어 지반 침하용으로 사용하는데는 한계가 있음</li> <li>- 도시지역의 대도시의 특성상, 포장도로, 지하구조물 다수 분포 등과 같이 시추의 하계점을 내포하고 있어 시추 방식으로는 지하수위, 토양 수분 및 지반변위를 측정하는데 한계가 있으며, 공간적으로도 시추 방식의 적용은 한계가 있음.</li> </ul> <p><b>시장 동향</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 최근 지하수법에 의한 지하수 관측망이 지자체별로 설치 확대되고 있으나, 설치 간격이 매우 넓고 광역적인 지하수 변화만을 관측하는 용도로 활용되고 있어 대형 건축물 주변 및 공사현장 주변에서의 지하수, 토양 등의 변화를 관측하는 용도로 사용할 수 없음</li> <li>- 지반 침하가 사회적 이슈로 되면서 시공현장 주변에서의 연약지반 등과 관련한 지하수위 측정, 토양 수분 측정, 지반변위 측정이 보다 활발히 이루어지고 있으나 시추 공간의 제약점 등으로 인하여 충분한 설치가 이루어지지 못하고 있음</li> </ul>																
5. 기존 기술 활용방안	- 지하수위 측정 센서의 경우 “수변지하수연구단”에서 기 개발된 부분을 활용하되 지하수위, 토양 수분, 지반변위 등을 일체화된 구조로 제작하는 것이 필요할 것임															
6. 기술개발 필요성	- 지하수위, 토양수분, 지반변위 등의 계측기는 지하수 및 지반 분야에서 널리 사용되는 것임에도 불구하고 도시지역의 지하 굴착 및 터파기의 경우에 공간 확보 및 인허가 등의 문제로 인하여 극히 일부 지점에 대하여 제한적으로 사용되어 왔으나, 본 연구를 통하여 소형화, 일체화 및 3차원 측정이 가능한 시스템으로 제작함으로써 제한된 공간내에서 쉽게 적용할 수 있는 계측 시스템 개발이 필요함															
7. 주요 연구개발 내용	(1차년도) - 소형화를 위한 body 재료 조사 및 실내 실험 - 토양 수분 측정 센서 기초 조사 및 개발 방향 수립															

	(2차년도) - 토양 수분 센서 개발 및 현장 테스트 - 소형화 body 재료 개발 및 실내 실험  (3차년도) - 지하수위, 토양수분, 지반변위 일체화 장치 시제품 제작 - 현장 실험 시공 및 테스트  (4차년도) - 사용화 제품 개발 및 현장 테스트 - SMART 통합 계측과 연계 실험  (5차년도) - 3차원 해석 기술 개발 및 침하 평가											
8. 정부지원의 타당성	- 최근 도시지역의 이슈로 제기되는 지반침하 문제와 관련하여 쉽게 사용하고 적용할 수 있는 계측 장치의 개발 및 3차원 해석 기술은 지반침하를 사전에 방지하고 평가할 수 있는 핵심 기술로 판단됨. 정부의 지원하에 본 기술이 개발되고 제도적인 보완을 통하여 상용화할 수 있는 방향으로 추진된다면 국내 지반침하 및 기초 터파기 등과 관련한 체계적이고 과학적인 관리가 가능해 질 것으로 봄. 본 기술 개발은 기술적 측면에서의 개발 뿐 아니라 제도와 병행되어야 할 부분이 있으므로 정부에서 적극적으로 지원을 함으로써 개발 기술의 상용화를 권장할 필요가 있음											
9. 기술확보 전략	- 수직 및 점 측정 방식의 3차원 측정 기기로서 기존 시추 방식을 대체하기 위한 계측 body와 관련된 재료 분야의 기술이 접목될 필요가 있음 - 기 개발되어 있는 지하수위 센서, 지반변위 센서 등을 통합적으로 연계하여 단일화된 계측기를 개발함											
10. 기술개발 최종성과물 및 활용방안	<table border="1"> <thead> <tr> <th>최종성과물</th> <th>수요처</th> <th>실용화 방안</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>지하수위, 토양수분, 지반변위 통합 점 계측기</td> <td>시공사 및 공공기관</td> <td>고층 건축물 설계 및 시공시 활용</td> </tr> </tbody> </table>		최종성과물	수요처	실용화 방안	지하수위, 토양수분, 지반변위 통합 점 계측기	시공사 및 공공기관	고층 건축물 설계 및 시공시 활용				
최종성과물	수요처	실용화 방안										
지하수위, 토양수분, 지반변위 통합 점 계측기	시공사 및 공공기관	고층 건축물 설계 및 시공시 활용										
11. 소요기간 및 예산	(단위 : 억원)											
	1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	5차년도	계						
	5	10	10	10	5	40						
12. 기대효과 및 파급효과	- 기존과 차별화된 계측기를 개발함으로써 공간 제약없이 지하수위, 토양수분 및 지반변위를 측정할 수 있는 방안이 확보됨 - 또한, 공간 제약없는 계측기를 설치 운영함으로써 대형 건축물 주변 및 터파기 주변에서의 지반 변형을 충분히 인지, 예측할 수 있음 - 또한, SMART 통합 관제와 연계함으로써 센서의 신뢰도를 제고하여 지반침하 해석 및 평가에 기여											

## 후보과제카드

1. 과제명	- 광섬유 스마트 센서 기술 개발 및 적용을 통한 지반굴착 주변 변형 특성 평가																		
2. 연구목적 및 배경	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 지반굴착시 발생하는 지하공간의 환경변화는 다양한 형태로 영향을 줄 수 있으며 이를 지질, 지하수, 토목 등 개별 기술해석만으로는 지하공간에서 복합적으로 상호영향을 주는 인자들의 위험성에 대해서 효율적인 예측이 불가능하므로 위험성을 예방하고 대응하기 어려운 실정임</li> <li>- 환경 영향 및 주변의 전자기적 변화에 영향을 받지 않는 광학식 센서를 IOT기반의 노드로 스마트화 하여 통합계측하고 이를 해석하는 방법과 융합함으로써 문제를 해결 할 수 있음</li> </ul>																		
3. 연구개발 목표	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 항목별 계측데이터의 퍼지논리를 적용한 퍼지해석알고리즘 개발.</li> <li>- 광섬유센서를 적용한 통합계측기용 다항목 점 단위 측정 스마트 센서 개발</li> <li>- 지하수, 지반 및 구조물을 연계한 지반변형 해석 기술 개발</li> </ul>																		
4. 기술개발 및 산업/시장 동향	<table border="1" data-bbox="440 775 1390 956"> <thead> <tr> <th>구분</th> <th>보유기술명</th> <th>보유기관</th> <th>성능수준 및 기능</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="2">국내</td> <td>광섬유변위센서</td> <td>이제이텍</td> <td>변위측정</td> </tr> <tr> <td>광섬유격자센서</td> <td>에프비지 코리아</td> <td>압력, 변위, 각도측정</td> </tr> <tr> <td rowspan="2">국외</td> <td>광섬유 온도/ 가속도</td> <td>HBM</td> <td>온도, 가속도측정</td> </tr> <tr> <td>광섬유격자센서</td> <td>RocTest</td> <td>압력, 변위, 각도측정</td> </tr> </tbody> </table>	구분	보유기술명	보유기관	성능수준 및 기능	국내	광섬유변위센서	이제이텍	변위측정	광섬유격자센서	에프비지 코리아	압력, 변위, 각도측정	국외	광섬유 온도/ 가속도	HBM	온도, 가속도측정	광섬유격자센서	RocTest	압력, 변위, 각도측정
	구분	보유기술명	보유기관	성능수준 및 기능															
국내	광섬유변위센서	이제이텍	변위측정																
	광섬유격자센서	에프비지 코리아	압력, 변위, 각도측정																
국외	광섬유 온도/ 가속도	HBM	온도, 가속도측정																
	광섬유격자센서	RocTest	압력, 변위, 각도측정																
<p data-bbox="371 1081 421 1144">기술 동향</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 광섬유센서는 국내에서도 최근 많은 연구자들이 관심을 가지고 선진국의 결과들을 확인하고 나름대로의 독창적인 연구를 추진하기 시작하였다. 쌍용중앙연구소와 호서대학교가 중심이 되어 광섬유 센서의 토목·건축 구조물에의 적용과 이를 통한 안전진단 시스템 구축에 대한 연구를 추진하였고, 표준과학연구원의 안전계측 연구센터에서도 유사한 연구로 광섬유 센서를 콘크리트 보에 적용하고 대전에 위치하고 있는 홍도 육교에 부착하여 모니터링 시스템을 구축한 바 있다.</li> <li>- 과학기술원에서는 항공·우주공학과에서 광섬유 센서를 복합재료에 매설 또는 부착하여 비행기 또는 우주선 등에 적용하는 연구를 하고 있으며, 경희대, 서울대 및 KIST 등 에서도 광섬유센서에 관심을 가지고 연구하고 있는데, 주로 국내 연구자들의 관심은 센서 자체에 대한 연구와 진단 시스템에의 적용에 대한 연구로 초점이 맞추어져 있다.</li> <li>- 미국에서는 Stanford 대학의 Springer 교수 팀에서 다년간 광섬유와 복합재료로 된 복합구조물에서의 손상된 부재와 광섬유센서에서의 응답특성을, 메릴랜드대학의 Sitkis 교수가 응력과 광섬유센서간의 Sensitivity관계를 연구하는 등 다양한 연구자들이 센서 및 신호처리에 대하여 연구력을 집중하고 있다.</li> </ul> <p data-bbox="371 1709 421 1771">시장 동향</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 미국의 Naval Research Lab.에서는 광섬유를 토목구조물에 부착 또는 내장시켜 붕괴감시를 위한 모니터링 시스템을 구축하는 작업을 하고 있으며 이 외에도 최근 들어 상당히 많은 연구 그룹이 이 분야에서 많은 연구를 하고 있다. 유럽에서는 스위스, 독일 등에서 연구를 진행시키고 있으며, 업체로는 3M, Blue Road Research, RocTest, Smartec 등에서 광섬유센서의 상품화를 진행시키고 있다.</li> <li>- 일본의 경우는 미국보다 뒤떨어지기는 했으나 건설성에서도 수년 전부터 7-8개의 민간업체와 공동으로 광섬유센서의 건설 분야의 붕괴감시 시스템에의 적용에 관한 연구를 진행시키고 있다. 일본 역시 이런 대형 프로젝트를 통해 연구를 집중함으로써 미국에 비해 뒤떨어진 기술을 따라잡기 위하여 노력하고 있다.</li> </ul>																			

	<p style="text-align: center;"><b>Fiber Optic Sensor Global Consumption Market Forecast</b> (Value Basis, \$Billion)<sup>1)</sup></p>  <table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <thead> <tr> <th>Year</th> <th>2012</th> <th>2013</th> <th>2014</th> <th>2015</th> <th>2016</th> <th>2017</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Fiber Optic Sensors</td> <td>1.58</td> <td>1.89</td> <td>2.29</td> <td>2.80</td> <td>3.38</td> <td>3.98</td> </tr> </tbody> </table> <p style="text-align: center;">출처 : ElectroniCast 에서 2015년 02월 에 발행한 「세계의 광섬유 센서 시장 예측과 분석」 보고서</p>	Year	2012	2013	2014	2015	2016	2017	Fiber Optic Sensors	1.58	1.89	2.29	2.80	3.38	3.98
Year	2012	2013	2014	2015	2016	2017									
Fiber Optic Sensors	1.58	1.89	2.29	2.80	3.38	3.98									
<p>5. 기존 기술 활용방안</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 기존에 개발되어있는 광섬유 온도센서 및 광섬유 압력센서를 활용하여 스마트센서화 하고 본 연구과제에서 해결하고자하는 구조물 주변에서 발생할 수 있는 지반 변형과 구조물 변위 등을 계측하는 센서를 개발하여 통합 스마트 계측기화 함</li> <li>- (주)이제이텍의 국토교통부 R&amp;D 정책인프라사업 터널계측용광섬유센서및모니터링시스템을 통해 개발되었던 광섬유 지중변위계, 광섬유 간극수압계 등의 기술자료 활용</li> <li>- 센서특성별로 BOTDA(Brillouin Optical Time Domain Analysis 산란광의 중심주파수측정), OTDR(Optical Time Domain Reflectometry 누설광량측정), FBG(Fiber Bragg Gratings 굴절률 및 파장특성) 방식을 이용하여 지하수질 계측용 광섬유센서 개발</li> </ul>														
<p>6. 기술개발 필요성</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 우리나라는 1960년대를 시작으로 2000년대에 이르기까지 경제성장을 최우선 목표로 삼고 추진 하며 사회기반시설의 확충이 시급하여 품질향상보다는 공기단축 및 원가절감에 초점을 맞춰 대 다수의 시설물이 건설되었음. 이러한 시설물들은 그동안의 환경변화와 지속적 유지관리에 대한 인식부족, 관리인력의 부재, 기술적·제도적 낙후에 따른 노후화 진행 등으로 대형 안전사고의 발생가능성이 매우 높으며 신규 지반 굴착시 고려해야할 부분임.</li> <li>- 특히 우리나라의 시설물 안전관리는 예방차원의 필수적인 관리·점검이 아닌 사후처리형태의 보수·보강이 이루어져 근본적으로 안전성을 확보할 수 없으며, 유지관리 매뉴얼이 구축되지 않은 상태에서의 안전관리로 효율성이 미비함.</li> <li>- 국내 시설물 안전관리는 법적 의무사항에 따른 피동적인 형태로 수행되어 사고예방을 위한 안정 성의 확보 차원에서 매우 취약하며 이에 대한 개선방안으로써 예방·예측차원에서 지반굴착 구조 물 주변의 환경변화 계측 및 이를 토대로 한 해석 기법의 개발이 필요함.</li> <li>- 그러므로 시설물 공사시의 사회적 피해를 미리 예방하고 예측하기 위해서 지반굴착 구조물 주변 SMART 통합 계측에 대해서 전자기의 영향에서 자유롭고 환경의 영향을 덜 받는 보다 독립적이 고 정확한 값의 계측이 가능한 광섬유를 이용한 광학식 센서를 활용하고 이를 IOT 기반으로 통합 계측하는 것이 필요함</li> <li>- 한편 부정확함을 표현할 수 있는 규칙 기반기술(rule-based technology)인 퍼지논리(Fuzzy logic)를 적용함으로써 각 항목별 센서노드에서 수집된 근사치나 주관적 값을 분석하는 체계를 통해 상이한 위험요인 상호간의 규칙들을 생성하고 규명하여 신규 복합 사고를 조기에 감지하고 사전 예방할 수 있는 의사결정 시스템을 제공하는 해석 기술 개발이 시급한 실정임.</li> </ul>														
<p>7. 주요 연구개발 내용</p>	<p>(1차년도)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 광섬유센서 관련 기술자료 조사</li> <li>- LTE Gateway 설계</li> </ul> <p>(2차년도)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 광섬유센서 트랜스듀서 개발</li> <li>- LTE Gateway 개발</li> </ul>														

	<p>(3차년도) - 다항목(수온, 압력, pH, DO, EC 등) 광섬유센서 개발 및 적용</p> <p>(4차년도) - 광섬유를 활용한 지하수, 지반의 연계해석 기술 검증</p>																	
<p>8. 정부지원의 타당성</p>	<p>- 1994년 성수대교의 붕괴 이후 정부는 “시설물 안전에 대한 특별법”을 제정하였으며, 이에 따라 주요시설물의 정기점검 및 정밀점검을 주기적으로 수행하고 있고, 필요시 전기식 센서를 부착하여 시공·공용중인 구조물의 상태를 실시간으로 평가하고 있다.</p> <p>- 하지만 대규모 지반굴착이 필요한 공사의 경우 사고의 대형화에 비해 안전관리에 대한 주변데이터의 계측이 이루어지지 않고 있으며 지하 변형과 구조물변위 등을 사전에 예측하여 사회적 피해를 방지하기 위해서는 지반, 토양, 진동 등과 관련된 데이터의 계측이 반드시 필요한 상황이다.</p> <p>- 현재 주요 시설물에 사용된 기존의 전기식 센서들은 내구성, 시공성, 정확성 등이 결여 되어 계측된 Data의 신뢰도에 문제가 발생하는 등 여러 문제점을 가지고 있으므로 효율성을 기해야 할 상황이다. 즉, 구조물 계측은 주로 진동현식 및 전기식 센서를 이용하여 수행되고 있으며, 이러한 전기식 센서들은 여러 지점을 동시에 계측하기 어렵고, 시공성이 떨어지며, 센서 설치 시 많은 시간이 소요된다. 또한 주위의 전기적인 노이즈들에 의해 정확한 계측이 어렵고, 각 센서에 연결된 케이블이 4가닥 이상이기 때문에 라인이 복잡하며, 케이블 길이가 길어질수록 전기적인 노이즈 간섭으로 인해 긴 거리를 포설할 수 없는 단점을 가지고 있다.</p> <p>- 따라서 본 연구는 지반굴착 구조물 주변을 실시간 감시할 수 있는 시스템을 구축하되 기존의 전기식 센서의 단점을 보완할 수 있는 첨단 광섬유 센서를 활용하고 통합 계측하여 위험요소를 해석할 수 있는 기술이 있어야 할 것이다.</p> <p>- 더불어 본 연구의 결과물은 국가재난, 재해 시스템에도 확대 적용 할 수 있으며 안전장치가 필요한 모든 규모의 현장에 손쉽게 적용 가능하므로 사회적 시스템으로 쉽게 발전시킬 수 있다.</p> <p>- 광섬유센서는 전기적으로 절연구조가 확실하고 센서에 전기 공급을 하지 않으며 소형화가 가능하고 가벼우며 전자기파영향을 받지 않고 감전의 우려가 없으며 무엇보다도 내구성이 뛰어나 부식에 강하므로 매설/매립 후 반영구적인 설치 및 사용이 가능하다.</p> <p>- 이렇게 반영구적으로 매설/매립 설치가 가능한 센서로부터의 계측 데이터를 취합하고 자료간의 연관성을 판단하는데 퍼지논리를 적용하여 그 결과를 해석하는 알고리즘을 적용함으로써 사전에 위험을 예측하고 대비 할 수 있도록 하는 첨단 시스템이 필요한 시점이다.</p> <p>- 그러나 광섬유센서를 활용한 계측시스템은 국내에 종합적으로 개발되어 적용된 사례가 없으며 특히 지하수 변화를 관측하는 수위, 전도도, pH 등에 대한 광섬유센서는 없는 실정이므로 국산화 개발을 추진해야 하는 상황으로서, 정부의 경제적 지원이 절실하게 필요한 실정이다.</p>																	
<p>9. 기술확보 전략</p>	<p>- 원격관측망기술의 경우 국내에서 첨단 기술을 보유하고 있으며 기존 기술을 휴대폰 공중망인 LTE망에 접속 가능하도록 구성하고 게이트웨이화 하여 아래로는 무선센서네트워크 와 연동하고 위로는 IOT 기반과 접속하여 서버에서 해석기법을 적용하도록 한다.</p> <p>- 국내 광섬유 센서를 연구하는 대학과 연계연구를 진행함으로써 독자적인 추가 기술개발이 가능하도록 할 것이다.</p>																	
<p>10. 기술개발 최종성과물 및 활용방안</p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th data-bbox="438 1628 762 1666">최종성과물</th> <th data-bbox="762 1628 1082 1666">수요처</th> <th data-bbox="1082 1628 1396 1666">실용화 방안</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td data-bbox="438 1666 762 1727">센서무선노드</td> <td data-bbox="762 1666 1082 1727">지반 굴착 공사 시공사(건설사 및 공공 발주기관)</td> <td data-bbox="1082 1666 1396 1727">설계 및 시공시 설치 활용</td> </tr> <tr> <td data-bbox="438 1727 762 1794">LTE 원격 데이터 전송장치 (게이트웨이)</td> <td data-bbox="762 1727 1082 1794">지반 굴착 공사 시공사(건설사 및 공공 발주기관)</td> <td data-bbox="1082 1727 1396 1794">설계 및 시공시 설치 활용</td> </tr> <tr> <td data-bbox="438 1794 762 1861">광섬유 센서 데이터의 지반-지하수 연계 해석 기술</td> <td data-bbox="762 1794 1082 1861">설계사</td> <td data-bbox="1082 1794 1396 1861">설계 및 시공시 설치 활용</td> </tr> </tbody> </table>						최종성과물	수요처	실용화 방안	센서무선노드	지반 굴착 공사 시공사(건설사 및 공공 발주기관)	설계 및 시공시 설치 활용	LTE 원격 데이터 전송장치 (게이트웨이)	지반 굴착 공사 시공사(건설사 및 공공 발주기관)	설계 및 시공시 설치 활용	광섬유 센서 데이터의 지반-지하수 연계 해석 기술	설계사	설계 및 시공시 설치 활용
최종성과물	수요처	실용화 방안																
센서무선노드	지반 굴착 공사 시공사(건설사 및 공공 발주기관)	설계 및 시공시 설치 활용																
LTE 원격 데이터 전송장치 (게이트웨이)	지반 굴착 공사 시공사(건설사 및 공공 발주기관)	설계 및 시공시 설치 활용																
광섬유 센서 데이터의 지반-지하수 연계 해석 기술	설계사	설계 및 시공시 설치 활용																
<p>11. 소요기간 및 예산</p>	<p style="text-align: right;">(단위 : 억원)</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th data-bbox="438 1921 595 1960">1차년도</th> <th data-bbox="595 1921 754 1960">2차년도</th> <th data-bbox="754 1921 914 1960">3차년도</th> <th data-bbox="914 1921 1074 1960">4차년도</th> <th data-bbox="1074 1921 1233 1960">5차년도</th> <th data-bbox="1233 1921 1396 1960">계</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td data-bbox="438 1960 595 1998">5</td> <td data-bbox="595 1960 754 1998">15</td> <td data-bbox="754 1960 914 1998">15</td> <td data-bbox="914 1960 1074 1998">15</td> <td data-bbox="1074 1960 1233 1998">-</td> <td data-bbox="1233 1960 1396 1998">50</td> </tr> </tbody> </table>						1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	5차년도	계	5	15	15	15	-	50
1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	5차년도	계													
5	15	15	15	-	50													

12. 기대효과  
및  
파급효과

- 광섬유를 활용한 광학식 스마트 센서 개발로 다양한 분야에 활용성 증대
- 타공 방식의 통합센서 개발로 건설 분야에 확대적용 가능
- 퍼지논리를 이용한 데이터의 퍼지해석기술 알고리즘을 개발함으로써 타 분야의 퍼지해석기술 활용 기대
- 기존 시설물과 신축 시설물 모두에 적용이 가능하므로 광범위한 사회적 피해방지에 기여
- 퍼지논리를 이용한 위험도 해석알고리즘은 기존 건축물의 안전도 평가에 활용 가능
- 광섬유센서의 자체 개발로 기상 및 재난재해예측용 다양한 센서가 광섬유센서로 개발될 것을 기대
- 센서 노드간 무선네트워크 및 게이트웨이는 다양한 분야의 원격모니터링에 직접 활용이 가능할 것으로 기대

후보과제카드

1. 과제명	- 지반굴착 구조물 주변 SMART 통합 관제 및 해석 기술 개발															
2. 연구목적 및 배경	<p>- 대규모 지반 굴착은 대형 건물이나 지하철 등의 공공성 시설물 공사시 이루어지는데 건물 계층에 대해서는 지진 등에 대비하여 일부 계층이 진행되고 있으나, 지반 및 지하수 상태에 대한 계층은 이루어지지 않고 있음</p> <p>- 따라서, 지반, 지하수, 토양, 진동, 건축물 변위 등을 종합적으로 계측하고 연계된 특성을 규명하며, 통합 해석 기술을 개발함으로써 구조물 주변에서 발생할 수 있는 지반 변형과 구조물 변위 등을 사전에 예측함으로써 사회적 피해를 방지하고자 함</p>															
3. 연구개발 목표	<p>- 항목별 계측기의 통합 연계 프로세스 개발</p> <p>- 지하수, 지반 및 구조물을 연계한 통합 해석 기술 개발</p> <p>- SMART 통합 계측 시스템 설계 및 통합관제 시스템 구축</p>															
4. 기술개발 및 산업/시장 동향	<table border="1" data-bbox="434 799 1390 1055"> <thead> <tr> <th>구분</th> <th>보유기술명</th> <th>보유기관</th> <th>성능수준 및 기능</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="2">국내</td> <td>GPS를 이용한 고층건물 변위 계측</td> <td>연세대, 삼성물산</td> <td>건축물 변위 측정</td> </tr> <tr> <td>GPS 이용 풍진동 변위 계측시스템</td> <td>포스코 건설</td> <td>고층 건물 변위 측정</td> </tr> <tr> <td>국외</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>	구분	보유기술명	보유기관	성능수준 및 기능	국내	GPS를 이용한 고층건물 변위 계측	연세대, 삼성물산	건축물 변위 측정	GPS 이용 풍진동 변위 계측시스템	포스코 건설	고층 건물 변위 측정	국외			
	구분	보유기술명	보유기관	성능수준 및 기능												
국내	GPS를 이용한 고층건물 변위 계측	연세대, 삼성물산	건축물 변위 측정													
	GPS 이용 풍진동 변위 계측시스템	포스코 건설	고층 건물 변위 측정													
국외																
<p>- 현재 IOT 기반의 지반침하 계측에 대한 연구 (IOT 기반 지하공간 그리드 시스템 개발, 미래창조과학부, 2014~2017)가 수행 중에 있으나, 지반 침하 감시 및 예측에 집중되어 있음.</p> <p>- 하수관로 노후와 및 손상으로 인한 지반침하와 관련하여 GPR 및 CCTV 등의 기술을 활용한 연구(하수관로 지반침하 탐지 및 평가기법 개발, 환경부, 2014~2016)가 수행중에 있으나, 탐사 기술 및 진단 매뉴얼을 확보하는 과제임</p> <p>- 지하수 계측, 지반 변위 계측, 토양 수분 측정, 광섬유 센서 등의 요소기술들은 일부 개발되어 있으나, 이들을 건축물 변위와 연계하여 통합적으로 평가하는 기술은 확보되어 있지 않음</p> <p>- 국내 대형 건물의 경우(예, 동북아무역센터 빌딩), 수십 개의 모니터를 활용하여 건물에 장착된 위성항법장치(GPS) 센서 등을 통해 바람과 같은 외부 요인에 따른 건물의 진동, 변위, 변형 등도 실시간으로 계측하고 있어 구조물 안전에 대한 관리 기술이 적용되고 있다.</p> <p>- 그러나, 실제 주변 지반의 변형상태와 고층 건축물의 변위에 대한 연계 통합 관제 및 해석 기술은 미흡한 실정으로서, 본 연구를 통하여 SMART 기법을 활용한 통합 관제 및 해석 기술을 확보하고자 함</p>																
5. 기존 기술 활용방안	<p>- 기존의 GPS를 활용한 고층 건물 변위 시스템은 지진에 대비한 건축물의 안전 확보 시스템으로서 이를 최대한 활용하되, 생산되는 데이터의 정밀도와 데이터를 연계할 수 있는 연계 시스템을 구축하여야 함</p>															

	<ul style="list-style-type: none"> <li>- GPS와 연계하여 지반변위, 지하수 변형 등을 종합적으로 연계 평가하고 통합적인 관제 시스템 기술은 확보되어 있지 않음.</li> <li>- GPS 이용 풍진동 변위 계측시스템(포스코 건설, 2012)을 개발하여 인천 송도 사옥에 적용한 바 있음.</li> </ul>
<p>6. 기술개발 필요성</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 최근 고층 건물의 신축이 활발히 이루어지고 있어 지반 변형 발생시 건축물 안전에 대한 우려가 증대되고 있음</li> <li>- 국내 지반변형과 연계한 건축물의 변위에 대한 연구 및 기술 개발 사례는 거의 없는 실정으로서, 본 연구를 통하여 관련 기술을 조속히 확보할 필요가 있음</li> <li>- 또한, 이와 같은 지반 및 건축물의 연계 통합 관제 시스템은 외국의 경우에도 일반화되지 않은 기술로서, 기술 개발시 국내 기업이 추진하고 있는 외국의 대규모 건축물 공사에 적용할 수 있어 기술의 우위성을 확보할 수 있음</li> </ul>
<p>7. 주요 연구개발 내용</p>	<p>(1차년도)</p> <p>(2차년도)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 지하수, 지반, 토양, 건축변위 등 데이터 연계 모듈 개발</li> <li>- 지하수, 지반, 토양, 건축변위 데이터 연계 해석 개념 구축</li> </ul> <p>(3차년도)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 지반 및 건축 통합 관제 시스템 설계</li> <li>- 지하수, 지반, 토양, 건축변위 데이터 연계 해석 알고리즘 개발</li> </ul> <p>(4차년도)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- SMART 지반 및 건축 통합 관제 시스템 개발 및 시범 적용</li> <li>- 지하수, 지반, 토양, 건축변위 데이터 연계 해석 및 평가</li> <li>- 구조물 주변 지반안전 정보 SMART 서비스 시스템 개발</li> </ul> <p>(5차년도)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 지반 및 건축 통합 관제 및 SMART 서비스 시스템 운영 및 보완</li> <li>- SMART 지반 및 건축 통합 관제 시스템 설치 매뉴얼 개발</li> </ul>
<p>8. 정부지원의 타당성</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 최근 대형 및 고층 건축물의 건설이 활발히 추진되고 있어, 건축물의 안전에 대한 관심이 급증하고 있으며, 깊은 지반 굴착에 의하여 이루어지는 건축물의 안전에 대한 종합적인 평가 및 관제 시스템이 건축물 주변에서의 안전성 확보를 위하여 시급히 요구되며, 기술 개발에 필요한 초기 투자비가 많이 소요되는 만큼 정부의 지원하에 기술개발을 수행할 필요가 있으며, 특히, 지질, 지하수, 지반, 계측, 건축 등의 다양한 분야가 공동으로 참여해야하는 만큼 정부의 지원이 필요함. 또한, 본 통합 관제 시스템 구축은 국내에서 최초로 이루어지는 만큼 개발 기술의 어려움, 기술의 수준 고도화 등을 위하여 국가의 투자가 요구되고 있음</li> </ul>
<p>9. 기술확보 전략</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 지반·지하수와 연계한 고층 건축물의 통합관제 시스템은 국내 뿐 아니라 국외에서도 활발히 연구되는 분야가 아닌 만큼, 관련 분야의 전문가의 적극적인 참여가 필요함. 이를 위하여 주 분야의 경우에는 과제 공동 참여, 단위 분야의 경우에는 자문 등의 과정을 통하여 기술을 개발하며, 건축 분야의 경우에는 미국이나 일본의 기존 기술 보유 기관과 협력할 필요가 있음</li> <li>- 지하수, 지반, 토양, 광섬유 등의 분야별 센서 기술 및 데이터 확보 기술을 연계하여야 하며, 각 센서에서 취득된 데이터와 건축 변위 자료간의 연계성에 대한 해석 기술이 중요한 의미를 갖고 있음</li> </ul>

10. 기술개발 최종성과물 및 활용방안	최종성과물		수요처		실용화 방안	
	통합관제 시스템 개발		설계사 및 시공사		고층 건축물 설계 및 시공시 활용	
	SMART 서비스 시스템 구축		국민		서비스 체계 구축	
	지하수, 지반, 건축 등 통합연계 해석 프로그램		설계사, 공공기관		프로그램 판매	
11. 소요기간 및 예산	(단위 : 억원)					
	1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	5차년도	계
	-	5	10	15	10	40
12. 기대효과 및 파급효과	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 지반 변형 및 건축물별로 분리된 센서 기능을 탈피하여 종합적으로 연계된 통합 관제 시스템을 개발함으로써 고층 건축물의 보다 안정적인 유지관리에 기여함</li> <li>- 국내 최초의 통합 관제 시스템 개발로서 건축물 안전 관리의 수준을 한단계 제고할 수 있으며, 국제적으로도 손색없는 통합 관리 기술을 제공함으로써 건축 관제 산업 분야에 크게 기여할 것으로 예상됨</li> </ul>					

## 후보과제카드

1. 과제명	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 지하수 상황정보를 이용한 지반침하 측정용</li> <li>- 광섬유 센서 네트워크 시스템 개발</li> </ul>
2. 연구목적 및 배경	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 연구목적:                             <ul style="list-style-type: none"> <li>o 자연적 및 인위적으로 발생하는 지하수 수량, 수질 등 지하수 상태변화 때문에 발생하는 지반의 물리적인 움직임을 예측하는 알고리즘의 개발</li> <li>o 개발된 알고리즘을 지하수 모니터링 USN 시스템에 탑재하고 실제상황과 유사한 시스템에서 예측 시스템의 성능 및 안전성의 검증</li> </ul> </li> <li>- 연구배경                             <ul style="list-style-type: none"> <li>o 지하수 및 주변 구조물의 자연적 및 인위적 변동으로 싱크홀 또는 지반침하의 위험성이 불특정 다수에게 노출되어 국민 불안감이 사회 전반으로 확산</li> <li>o 지하수 및 주변 구조물의 자연적 및 인위적 변화를 검출하여 지반침하를 예보/경보함으로써 인적 물적 피해를 최소화할 시도</li> <li>o 그러나 예측에 사용되는 알고리즘은 확률기법의 활용으로 오경보의 가능성이 상존함. 추가적으로 센서 및 부품 고장의 발생이 가능하므로 예보/경보의 신뢰성이 문제가 될 수 있음</li> <li>o 확률기반 솔루션의 정확성 문제를 개선하는 방법의 하나가 증거기반 솔루션 (evidence based solution)의 활용임. 이 기법에서는 판정의 증거로 활용할 수 있는 정보들을 센서를 이용하여 수집하므로 오경보 가능성이 매우 적음</li> <li>o 실제상황과 유사한 광역 지하수-지반침하 시뮬레이션 환경을 구축하고 개발된 예측 알고리즘을 실행하여 다차원적 및 복합적인 분석을 실시하여 지반침하 예보/경보의 정확도 향상 및 지반침하 오경보(false positive/true negative)의 감소를 실현하여 고신뢰성 예경보 체계 구축</li> </ul> </li> </ul>
3. 연구개발 목표	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 제한된 지역 지하수-지반침하 시뮬레이션 모델을 개발하고 이 모델을 검증할 수 있는 지역 지반침하 시뮬레이션 환경을 개발</li> <li>- 광역 지역 지하수-지반침하 시뮬레이션 모델을 개발하고 이 모델을 검증할 수 있는 광역 지반침하 시뮬레이션 환경을 개발</li> <li>- 개발된 지하수-지반침하 예측 알고리즘 및 지반침하 상황관제용 USN을 통합하여 지역 및 광역 지반침하 시뮬레이션 수행 및 성능 평가</li> </ul>
4. 기술개발 및 산업/시장 동향	<p style="margin-left: 20px;">기술 동향</p> <p>국내:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- GIS 및 확률모델을 이용한 폐탄광 지역의 지반침하 위험 예측연구(2007)                             <ul style="list-style-type: none"> <li>o 확률기법인 빈도비 모델 (frequency ratio model) 및 지리정보시스템 (Geographic Information System: GIS)의 공간분석기법을 이용하여 강원도 삼척지역 폐탄광 주변의 지반침하 발생 취약지역을 예측</li> <li>o 지반침하에 영향을 주는 요인들의 결정계수를 계산하고 중첩분석하여 지반침하 위험예측도를 계산</li> </ul> </li> <li>- GIS 및 확률모델을 이용한 폐탄광 지역의 지반침하 위험 예측연구(2007)                             <ul style="list-style-type: none"> <li>o 설명</li> </ul> </li> </ul> <p>국외:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Groundwater-Flow and Land-Subsidence Model of Antelope Valley, California (2014)                             <ul style="list-style-type: none"> <li>o LA 외곽지역의 Antelope Valley 지역의 지하수 시뮬레이션을 수행하여 지하수 활용에 따른 5피트의 지반침하 분석</li> </ul> </li> <li>- Analysis and simulation of regional subsidence accompanying groundwater abstraction and compaction of susceptible aquifer systems in the USA(2013)</li> </ul>

		<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 미국의 지하수 함양과 지반침하의 상관관계를 MODFLOW 지반침하 패키지와 대수층 시뮬레이션을 이용하여 분석</li> </ul>				
	시장 동향	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 시뮬레이션 시장동향</li> </ul>				
5. 기존 기술 활용방안	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 지역시뮬레이션 방법론 확장</li> <li>○ 기존의 한정된 지역의 지하수, 대수층, 및 지하수 활용패턴에 따른 지반침하 분석내용을 광역의 지하수, 대수층에 대한 분석으로 확장</li> </ul>					
6. 기술개발 필요성	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 현재 기술 수준</li> <li>○ 광역 지하수-지반침하 시뮬레이션은 초기단계임</li> <li>- 필요성</li> <li>○ 지반침하 예측 알고리즘 검증</li> <li>○ 지반침하 예측 USN 시스템을 재난 교육 및 재난 발생시 대피 훈련시스템</li> </ul>					
7. 주요 연구개발 내용	(1차년도)					
	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 국내외 지하수에 의한 지반침하 시뮬레이션 사례 조사; 시뮬레이션 모델 제작, 시뮬레이션 환경 비교 및 평가결과 분석</li> </ul>					
8. 정부지원의 타당성	(2차년도)					
	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 광역 지하수-지반침하 시뮬레이션 모델 및 시뮬레이터 환경 구축 및 시뮬레이션 평가결과 분석</li> </ul>					
9. 기술확보 전략	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 정부정책</li> <li>정부 3.0 정책의 국민안정 및 복지 지원에 적합.</li> <li>도시에서 발생하는 싱크홀의 위험으로부터 국민의 안전한 생활권을 보장</li> </ul>					
10. 기술개발 최종성과물 및 활용방안	최종성과물		수요처		실용화 방안	
	지반변위 시뮬레이터		안전처, 지자체, 중앙정부		재난상황관제실에서 예측시스템으로 활용	
	지반이상 경보훈련 시스템		안전처, 지자체, 중앙정부		재난 방재를 위한 국민 대피 시나리오 (정책마련)	
11. 소요기간 및 예산	(단위 : 억원)					
	1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	5차년도	계
	1	2	2			
12. 기대효과 및 파급효과	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 경제적 기대효과</li> <li>○ 직접적인 시장 창출 : 상하수도, 지하수 및 지질환경 등에서 발생하는 정보를 처리·분석·가공 등을 수행하기 위한 플랫폼 및 인프라에 실질적으로 적용되는 제품들로 시장 형성이 가능함.</li> <li>- 기술적 기대효과</li> <li>○ 재난재해 발생에 따른 최적화 대응 시나리오 : 실시간 모니터링이 가능한 다양한 스마트기기를 통하여 장소에 상관없이 발생하는 각종 재난에 능동적으로 정보를 제공 받을 수 있도록 하여, 신속한 대응 및 피해의 최소화가 가능함.</li> </ul>					

- 정책적 기대효과
  - o 국가 재난 방지를 위한 시나리오 확보 : 지반변화 단계별 시나리오 구축을 통해 이상단계별 신속한 대처가 가능함.
  - o 국민생활 보장을 통한 성장 동력으로 작용 : 행복하고 안전한 국민생활을 보장함으로써 건강한 사회 환경 조성을 통하여 지속적인 미래발전을 위한 성장 동력으로 작용할 수 있음.
- 파급효과
  - o 사회적 안정감 확보를 통한 국민 행복 증진 : 안전행정부가 실시한 안전의식조사에 따르면 전체 국민 중 26.5%가 재난, 안전사고, 범죄 등으로부터 불안감을 느끼고 있으며, OECD 국가 중 국내 안전점수는 3.89점으로 OECD 평균점수인 4.95점과 비교할 때 1점 이상 낮은 수준에 머물고 있음(안전행정부, 2013). 최근 도시화 및 기후변화 등 다양한 요인에 의해 발생하는 재난사고에 대해 국민들이 위험을 느끼고 있다고 조사됨에 따라 이를 제고할 수 있는 기술이 될 수 있음.
  - o 사고예방을 통한 관리 및 사고 비용 절감 : 지하시설물의 복잡성이 증대됨에 따라 파생 가능한 여러 재난재해를 미연에 대비함은 물론 불필요한 보수비용을 절감할 수 있을 것으로 기대됨.

## 후보과제카드

<p>1. 과제명</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 해외 진출형 테스트베드 구축 (지상 및 지하 시설물 (가로등 및 CCTV)을 활용한 지하수-지반침하 센서 네트워크 시스템 및 지반이상 예경보시스템 개발)</li> </ul>
<p>2. 연구목적 및 배경</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 연구목적                     <ul style="list-style-type: none"> <li>o 지하수 및 지하 구조물에 설치된 부품들의 수명단축, 환경적 요인으로 인한 결함, 공사장의 부주위하 시공 등의 원인으로 지반침하 또는 싱크홀이 발생</li> <li>o 지반침하를 예보/경보 할 수 있는 지하수-지반침하 USN을 개발하여 비상상황 발생의 예경보 기능이 요구됨</li> <li>o USN 시스템의 가격을 낮추면서 동시에 높은 기능을 확보하기 위하여 기존에 포설된 지하시설물 및 관제시스템을 활용</li> <li>o 지하시설물에 부착할 수 있는 지하수 상황정보센서모듈 및 지하시설물 기반 통신망을 이용한 지하수-지반침하 관제용 지하시설물 센서 네트워크 (Underground Infrastructure Sensor Network or UISN) 시스템 개발</li> <li>o 위 시스템 개발을 통한 국내 및 해외 진출 테스트베드 구축</li> </ul> </li> <li>- 연구배경                     <ul style="list-style-type: none"> <li>o 최근 싱크홀이 불특정 다수에게 노출되어 국민 불안감이 사회 전반으로 확산되고 있음</li> <li>o 지하수-지반침하 상황을 관제하는 USN 시스템을 넓은 지역에 광범위하게 구축하려면 경제성이 매우 중요하므로 고품질/저비용의 시스템 개발이 필요함.</li> <li>o 따라서 새로운 네트워크 및 감시센서를 장착하기 위한 구조물을 신규로 개발하는 것보다 기존의 사용 중인 기간시설물 (예를 들면 가로등, 전봇대, 기지국, 지하 광통신 네트워크 등)을 구조물로 활용하면 모니터링 인프라를 저비용으로 구축 가능</li> <li>o 기간 시설물들 중에서 지하수에 의한 지반침하 예경보가 가능한 지자체 및 기간산업의 지상매설물을 식별하고, 그 구조물에 지반침하 센서모듈을 장착하여 지하수-지반침하 USN을 구축하여 지반침하 예보/경보 시스템으로 활용하여 안전한 사회 구현</li> <li>o 한전 전신주, 가로등, 지자체 CCTV 구조물 등에 부착하여 지반침하의 검출이 가능한 저비용/고신뢰성 지상구조물 부착형 지반침하 센서모듈 개발</li> <li>o 지반침하 센서모듈과 기간시설의 통신망을 연동하여 지하수-지반침하 USN을 개발</li> </ul> </li> </ul>
<p>3. 연구개발 목표</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 전신주 부착형 지반변위 센서 및 지반침하 USN 시스템 개발                     <ul style="list-style-type: none"> <li>o GPS 센서를 장착하여 모듈의 좌표 검출</li> <li>o 가속도/자이로 센서, 고도 (높이) 센서를 장착하여 모듈의 높이 및 변위 검출</li> <li>o 저비용 가시광선 통신장치를 장착하여 인접한 두 전신주 사이에서 발생하는 지반변위 또는 지반이상 현상 검출용 센서모듈 개발</li> <li>o 센서모듈을 장시간 활용하기 위한 저전력 운영을 위한 전원관리 시스템 및 장주기 운영을 위한 고신뢰성 및 자가진단(self-diagnosis) 시스템 개발</li> <li>o 기존에 설치된 지상 시설물과 지하수 상황정보 검출 지역의 상관관계 분석</li> <li>o 전신주 고정장치 및 장주기 전원공급 장치</li> <li>o 저전력, 고신뢰성 센서정합 임베디드 시스템 개발</li> <li>o 전신주 등 지상시설물에 장착된 N개의 센서정합 임베디드 시스템으로부터 정보를 획득하여 관제센터로 전송하기 위한 센서-게이트웨이 임베디드 시스템 및 관제 SW 개발</li> </ul> </li> <li>- CCTV 구조물 부착형 지반변위 센서 및 지반침하 USN 시스템 개발                     <ul style="list-style-type: none"> <li>o CCTV 영상센서 기반 위치 확인 기능 개발</li> <li>o CCTV 영상정보를 이용한 지반변위 또는 지반이상현상 검출 기능 개발</li> </ul> </li> </ul>

	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ CCTV 구조물 고정장치 개발</li> <li>○ 저전력, 고신뢰성 센서정합 임베디드 시스템 개발</li> <li>○ 다수의 센서정합 임베디드 시스템으로부터 정보를 획득하여 관제센터로 전송하기 위한 센서-게이트웨이 임베디드 시스템 개발</li> </ul>																																																																																					
	<table border="1"> <thead> <tr> <th>구분</th> <th>보유기술명</th> <th>보유기관</th> <th>성능수준 및 기능</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="4">국외</td> <td rowspan="4">가속도 센서</td> <td>Analog Devices</td> <td rowspan="4">1g 이하의 낮은 가속도 수준에서부터, 50g 이상의 높은 가속도 수준에 이르기까지 차체 섀시제어, 노킹제어, 충돌 및 전복 시의 안전 제어용으로 많이 활용. 벌크 및 표면 마이크로 머시닝 기술과 압전형, 압저항형, 정전용량형 등의 다양한 센싱 방법을 활용한 센서가 있음.</td> </tr> <tr> <td>robert Bosch</td> </tr> <tr> <td>VTI Hamin</td> </tr> <tr> <td>Eudevco</td> </tr> <tr> <td rowspan="3">GPS 및 자이로센서</td> <td rowspan="3"></td> <td>Delphi</td> <td rowspan="3">정전용량형자이로 센서는 회전속도에 비례하는 코리올리힘에 의한 미세기계구조물의 변형을 정전용량 변화로 검출하는 방식</td> </tr> <tr> <td>Daimler Benz</td> </tr> <tr> <td>robert Bosch</td> </tr> </tbody> </table>	구분	보유기술명	보유기관	성능수준 및 기능	국외	가속도 센서	Analog Devices	1g 이하의 낮은 가속도 수준에서부터, 50g 이상의 높은 가속도 수준에 이르기까지 차체 섀시제어, 노킹제어, 충돌 및 전복 시의 안전 제어용으로 많이 활용. 벌크 및 표면 마이크로 머시닝 기술과 압전형, 압저항형, 정전용량형 등의 다양한 센싱 방법을 활용한 센서가 있음.	robert Bosch	VTI Hamin	Eudevco	GPS 및 자이로센서		Delphi	정전용량형자이로 센서는 회전속도에 비례하는 코리올리힘에 의한 미세기계구조물의 변형을 정전용량 변화로 검출하는 방식	Daimler Benz	robert Bosch																																																																				
구분	보유기술명	보유기관	성능수준 및 기능																																																																																			
국외	가속도 센서	Analog Devices	1g 이하의 낮은 가속도 수준에서부터, 50g 이상의 높은 가속도 수준에 이르기까지 차체 섀시제어, 노킹제어, 충돌 및 전복 시의 안전 제어용으로 많이 활용. 벌크 및 표면 마이크로 머시닝 기술과 압전형, 압저항형, 정전용량형 등의 다양한 센싱 방법을 활용한 센서가 있음.																																																																																			
		robert Bosch																																																																																				
		VTI Hamin																																																																																				
		Eudevco																																																																																				
GPS 및 자이로센서		Delphi	정전용량형자이로 센서는 회전속도에 비례하는 코리올리힘에 의한 미세기계구조물의 변형을 정전용량 변화로 검출하는 방식																																																																																			
		Daimler Benz																																																																																				
		robert Bosch																																																																																				
<p>4. 기술개발 및 산업/시장 동향</p>	<p>- 세계 센서시장 추이</p> <p style="text-align: right;">(단위:백만불)</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>년 도</th> <th>1995년</th> <th>2000년</th> <th>2001년</th> <th>2002년</th> <th>2003년</th> <th>2004년</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>시 장</td> <td>15,141</td> <td>21,624</td> <td>23,165</td> <td>24,677</td> <td>26,242</td> <td>27,906</td> </tr> </tbody> </table> <p>- 세계 센서시장은 세계 전자산업과 더불어 성장함</p> <p>- 전자산업은 아날로그 시대에서 디지털 시대로 전환되면서 각 분야에서 정보화, 자 동화의 물결이 휘몰아치고 있음.</p> <p>- 컴퓨터, 휴대폰, 반도체로 상징되는 디지털 신기술과 신제품들은 세계 곳곳에 확산되고 있음</p> <p>- 세계 센서시장은 2004년 기준 279억6백만불에 달함</p> <p>- 품목별 세계센서 시장 규모</p> <p style="text-align: right;">(단위:백만불)</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>구 분</th> <th>레 벨</th> <th>유 량 유 속</th> <th>압 력</th> <th>가 속 도</th> <th>하 중 힘</th> <th>근 접</th> <th>위 치</th> <th>변 위</th> <th>이 미 지</th> <th>광 도</th> <th>방 사 선</th> <th>음 향</th> <th>습 도</th> <th>가 스</th> <th>바 이 오</th> <th>합 계</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1995</td> <td>1,120</td> <td>3,000</td> <td>2,410</td> <td>500</td> <td>210</td> <td>1,400</td> <td>1,780</td> <td>390</td> <td>710</td> <td>560</td> <td>1,200</td> <td>166</td> <td>370</td> <td>118</td> <td>1,040</td> <td>167</td> <td>15,141</td> </tr> <tr> <td>2000</td> <td>1,460</td> <td>3,530</td> <td>3,490</td> <td>1,040</td> <td>260</td> <td>2,150</td> <td>2,510</td> <td>500</td> <td>1,040</td> <td>890</td> <td>1,880</td> <td>180</td> <td>470</td> <td>166</td> <td>1,840</td> <td>236</td> <td>21,642</td> </tr> <tr> <td>2004</td> <td>1,690</td> <td>3,780</td> <td>4,640</td> <td>1,850</td> <td>305</td> <td>2,950</td> <td>3,110</td> <td>630</td> <td>1,320</td> <td>1,170</td> <td>2,630</td> <td>194</td> <td>560</td> <td>212</td> <td>2,560</td> <td>305</td> <td>27,906</td> </tr> </tbody> </table>	년 도	1995년	2000년	2001년	2002년	2003년	2004년	시 장	15,141	21,624	23,165	24,677	26,242	27,906	구 분	레 벨	유 량 유 속	압 력	가 속 도	하 중 힘	근 접	위 치	변 위	이 미 지	광 도	방 사 선	음 향	습 도	가 스	바 이 오	합 계	1995	1,120	3,000	2,410	500	210	1,400	1,780	390	710	560	1,200	166	370	118	1,040	167	15,141	2000	1,460	3,530	3,490	1,040	260	2,150	2,510	500	1,040	890	1,880	180	470	166	1,840	236	21,642	2004	1,690	3,780	4,640	1,850	305	2,950	3,110	630	1,320	1,170	2,630	194	560	212	2,560	305	27,906
년 도	1995년	2000년	2001년	2002년	2003년	2004년																																																																																
시 장	15,141	21,624	23,165	24,677	26,242	27,906																																																																																
구 분	레 벨	유 량 유 속	압 력	가 속 도	하 중 힘	근 접	위 치	변 위	이 미 지	광 도	방 사 선	음 향	습 도	가 스	바 이 오	합 계																																																																						
1995	1,120	3,000	2,410	500	210	1,400	1,780	390	710	560	1,200	166	370	118	1,040	167	15,141																																																																					
2000	1,460	3,530	3,490	1,040	260	2,150	2,510	500	1,040	890	1,880	180	470	166	1,840	236	21,642																																																																					
2004	1,690	3,780	4,640	1,850	305	2,950	3,110	630	1,320	1,170	2,630	194	560	212	2,560	305	27,906																																																																					
<p>5. 기존 기술 활용방안</p>	<p>- 가속도계</p> <p>가속도계(가속도진동센서, Accelerometer)는 1880년 프랑스 피에르 형제에 의하여 압전효과를 갖는 물질이 발견된 이후, 다양한 센서로 응용, 발전됨. 압전소자(Piezo-electric material)위에 부착된 질량이 움직일 때 압전소자에 작용하는 관성력(Inertia force)를 측정, 관성질량으로 관성력을 나누어 줌으로써 진동가속도를 측정해 낼 수 있음.</p> <p>- 활용 및 연계를 위한 방안</p> <p>기존에 있는 가속도계를 활용하여 지하시설물(유류저장탱크)에 설치, 지하시설물의 변위를 측정함으로써 지반의 변화 및 이상을 감지할 수 있음.</p>																																																																																					
<p>6. 기술개발 필요성</p>	<p>- 현재 기술 수준</p> <p>현재 적용된 적이 없음</p>																																																																																					

	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 필요성 기존의 설치되어 운용중인 기간시설의 구조물을 활용하여 저비용/고품질의 지반침하를 예측, 국민의 안전을 보장함</li> </ul>												
<p>7. 주요 연구개발 내용</p>	<p>(1차년도)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 사전조사 및 시장조사, 장비 구축, 측정 시스템 구축, 전신주/CCTV 구조물을 이용한 고정형 지반변위 센서 개발 및 제작</li> </ul> <p>(2차년도)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 통신 네트워크 개발 및 제작, 센서 제작 및 신뢰성 평가, 공인기관 시험</li> </ul> <p>(3차년도)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 지상 구조물을 이용한 고정형 지반변위 센서 및 네트워크를 부착한 지반침하 예경보 시스템 구축</li> </ul>												
<p>8. 정부지원의 타당성</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 정부정책 정부 3.0 정책에 부합. 싱크홀 및 지반침하의 위험으로부터 국민의 안전한 생활권을 보장</li> </ul>												
<p>9. 기술확보 전략</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 지반 변위 센서 : 회사 자체 개발</li> <li>- 모니터링 관제를 위한 USN 시스템 : 통신기관사업자와 연계하여 개발 진행</li> <li>- 지반이상 경보 시나리오 : 국가 공인 연구기관과 연계하여 개발을 진행</li> </ul>												
<p>10. 기술개발 최종성과물 및 활용방안</p>	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="width: 33%;">최종성과물</th> <th style="width: 33%;">수요처</th> <th style="width: 33%;">실용화 방안</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>지반변위센서</td> <td>지자체, 소방방재청, 중앙정부</td> <td>재난 방재를 위한 시스템</td> </tr> <tr> <td>지반변위 모니터링 시스템</td> <td>지자체, 소방방재청, 중앙정부</td> <td>재난 방재를 위한 시스템</td> </tr> <tr> <td>지반이상 경보 시나리오</td> <td>지자체, 소방방재청, 중앙정부</td> <td>재난 방재를 위한 국민 대피 시나리오 (정책마련)</td> </tr> </tbody> </table>	최종성과물	수요처	실용화 방안	지반변위센서	지자체, 소방방재청, 중앙정부	재난 방재를 위한 시스템	지반변위 모니터링 시스템	지자체, 소방방재청, 중앙정부	재난 방재를 위한 시스템	지반이상 경보 시나리오	지자체, 소방방재청, 중앙정부	재난 방재를 위한 국민 대피 시나리오 (정책마련)
최종성과물	수요처	실용화 방안											
지반변위센서	지자체, 소방방재청, 중앙정부	재난 방재를 위한 시스템											
지반변위 모니터링 시스템	지자체, 소방방재청, 중앙정부	재난 방재를 위한 시스템											
지반이상 경보 시나리오	지자체, 소방방재청, 중앙정부	재난 방재를 위한 국민 대피 시나리오 (정책마련)											
<p>11. 소요기간 및 예산</p>	<p style="text-align: right;">(단위 : 억원)</p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; text-align: center;"> <thead> <tr> <th style="width: 16.6%;">1차년도</th> <th style="width: 16.6%;">2차년도</th> <th style="width: 16.6%;">3차년도</th> <th style="width: 16.6%;">4차년도</th> <th style="width: 16.6%;">5차년도</th> <th style="width: 16.6%;">계</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>7</td> <td>7</td> <td>7</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>	1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	5차년도	계	7	7	7			
1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	5차년도	계								
7	7	7											
<p>12. 기대효과 및 파급효과</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 경제적 기대효과 <ul style="list-style-type: none"> <li>o 직접적인 시장 창출 : 상하수도, 지하수 및 지질환경 등에서 발생하는 정보를 처리·분석·가공 등을 수행하기 위한 플랫폼 및 인프라에 실질적으로 적용되는 제품들로 시장 형성이 가능함.</li> </ul> </li> <li>- 기술적 기대효과 <ul style="list-style-type: none"> <li>o 재난재해 발생에 따른 최적화 대응 시나리오 : 실시간 모니터링이 가능한 다양한 스마트기기를 통하여 장소에 상관없이 발생하는 각종 재난에 능동적으로 정보를 제공 받을 수 있도록 하여, 신속한 대응 및 피해의 최소화가 가능함.</li> </ul> </li> <li>- 정책적 기대효과 <ul style="list-style-type: none"> <li>o 국가 재난 방지를 위한 시나리오 확보 : 지반변화 단계별 시나리오 구축을 통해 이상단계별 신속한 대처가 가능함.</li> <li>o 국민생활 보장을 통한 성장 동력으로 작용 : 행복하고 안전한 국민생활을 보장함으로써 건강한 사회 환경 조성을 통하여 지속적인 미래발전을 위한 성장 동력으로 작용할 수 있음.</li> </ul> </li> <li>- 파급효과 <ul style="list-style-type: none"> <li>o 사회적 안정감 확보를 통한 국민 행복 증진 : 안전행정부가 실시한 안전의식조사에 따르면 전</li> </ul> </li> </ul>												

체 국민 중 26.5%가 재난, 안전사고, 범죄 등으로부터 불안감을 느끼고 있으며, OECD 국가 중 국내 안전점수는 3.89점으로 OECD 평균점수인 4.95점과 비교할 때 1점 이상 낮은 수준에 머물고 있음(안전행정부, 2013). 최근 도시화 및 기후변화 등 다양한 요인에 의해 발생하는 재난사고에 대해 국민들이 위험을 느끼고 있다고 조사됨에 따라 이를 제거할 수 있는 기술이 될 수 있음.

- 사고예방을 통한 관리 및 사고 비용 절감 : 지하시설물의 복잡성이 증대됨에 따라 파생 가능한 여러 재난재해를 미연에 대비함은 물론 불필요한 보수비용을 절감할 수 있을 것으로 기대됨.