

지하 콘크리트구조물의 성능극대화를 위한 전주기적 통합유지관리 시스템 개발 기획

2016. 10.

Infrastructure
R&D Report

주관연구기관 / 군산대학교 산학협력단
공동연구기관 / 한국건설기술연구원
한국시설안전공단
(주)날리지웍스

국 토 교 통 부
국토교통과학기술진흥원

제 출 문

국토교통부장관 귀하

이 보고서를 “지하 콘크리트구조물의 성능극대화를 위한 전주기적 통합유지관리 시스템 개발”기획과제의 최종보고서로 제출합니다.

2016 . 10 .

주관연구기관명: 군산대학교 산학협력단

주관연구책임자: 이 승 태 교수 군산대학교

연 구 원: 신 상 범 연구원 군산대학교

강 철 호 연구원 군산대학교

공동연구기관명: 한국건설기술연구원

공동연구책임자: 김 도 겸 연구위원 한국건설기술연구원

연 구 원: 문 재 흠 수석연구원 한국건설기술연구원

이 호 재 전임연구원 한국건설기술연구원

공동연구기관명: 한국시설안전공단

공동연구책임자: 김 중 호 책임연구원 한국시설안전공단

연 구 원: 박 원 주 선임연구원 한국시설안전공단

정 재 훈 연구원 한국시설안전공단

양 홍 민 연구원 한국시설안전공단

공동연구기관명: (주)날리지웍스

공동연구책임자: 이 재 회 부사장 (주)날리지웍스

연 구 원: 방 영 민 책임컨설턴트 (주)날리지웍스

김 민 섭 전임컨설턴트 (주)날리지웍스

과제고유번호	15RDPP-C 107246-01	해 당 단 계 연 구 기 간	10개월	단 계 구 분	1차/1단계
연 구 사 업 명	국토교통연구기획사업				
연 구 과 제 명	최 상 위 과 제 명	지하 콘크리트구조물의 성능극대화를 위한 전주기적 통합유지관리 시스템 개발 기획			
	단위과제명	지하 콘크리트구조물의 성능극대화를 위한 전주기적 통합유지관리 시스템 개발 기획			
연 구 책 임 자	이 승 태	총연구기간 참 여 연구원수	총 : 13 명 내부 : 3명 외부 : 10명	총연구비	정부 : 7200천원 기업 : 천원 계 : 7200천원
연구기관명 및 소 속 부 서 명	군산대학교 산학협력단		참여기업명		
국제공동연구	상대국명 :		상대국연구기관명 :		
요약(연구결과를 중심으로 개조식 500자 이내)			보고서면수	249	
- ‘지하 콘크리트구조물의 성능극대화 기획’과 관련한 핵심기술을 도출하기 위하여 총 4단계로 기획연구를 수행함. 1) 기술개발 동향 수요조사 실시, 2) 기술개발 전략 수립 및 연구내용 설정, 3) 연구개발과제 기획, 4) 핵심기술 도출 및 타당성 분석 - 그 결과, 기술로드맵과 RFP를 도출하였으며, 도출된 핵심 기술은 다음과 같이 3개 분야로 구성함. 1) 지하 콘크리트구조물의 유지관리 체계 플랫폼 개발, 2) 지하 콘크리트구조물의 성능평가 표준화 기술 개발, 3) 지하 콘크리트구조물의 성능회복 및 공영기간 연장기술 개발					
색 인 어 (각 5개 이상)	한 글	지하 구조물, 콘크리트, 유지관리, 성능, 평가			
	영 어	Underground structures, concrete, maintenance, performance, evaluation			

제 목

: 지하콘크리트 구조물의 성능극대화를 위한 전주기적 통합유지관리시스템 개발 기획

I. 기술의 정의 및 필요성

1. 기술의 정의 및 목표

□ 기술의 정의

- “지하 콘크리트구조물의 성능극대화를 위한 전주기적 통합유지관리 시스템 개발 기획”은 재난재해 사고의 주요 요인을 내재하고 있는 지하 콘크리트 구조물을 대상으로, 성능중심의 진단, 점검, 평가 기법 개발, 보수보강 전/후 지하구조물의 성능예측 기법 개발을 통해, 지하구조물 관리주체의 유지보수 의사결정을 지원하는 시스템 개발을 핵심기술로 정의함

지하구조물의 성능중심 유지관리체계 도입을 통한 국민 안전 향상 및 사회적 비용절감

지하구조물의 성능중심 진단평가기법과 보수보강 전/후의 성능예측 기법 개발을 통한 유지보수 의사결정을 지원하는 시스템 개발 및 실용화



<그림 1> 연구 최종 목표 및 중점추진분야 정의

□ 목표

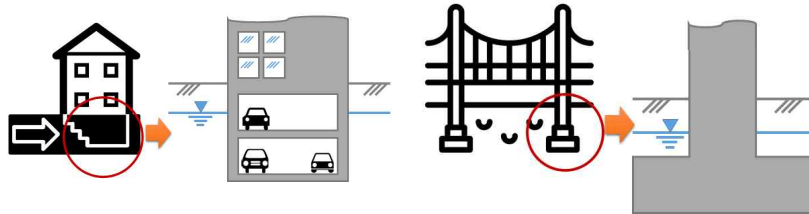
- “성능중심 평가 기법 및 성능회복 예측 기법”을 반영한 지하 콘크리트 구조물의 점검주기를 포함한 유지관리 의사결정 시스템 개발
- 지하 콘크리트 구조물의 성능중심 평가지표, 평가기법의 개발 및 표준화
- 지하 콘크리트 구조물의 성능회복, 공용기간 예측기술 개발

□ 대상구조물

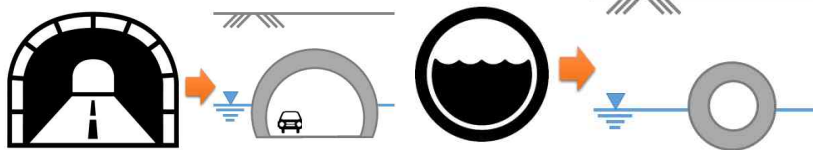
- “시설물 안전관리에 관한 특별법” 관리대상 구조물[1,2종 시설물과 그 외의 시설물(3종 시설물 - 2018년 제난 및 안전관리 기본법 포함) 및 구조물을 포함한 지하 콘크리트 구조물]

〈표 1〉 지하구조물에 포함되는 대상구조물

1) 지표면 아래 매립 구조물(교각/교대의 하부구조, 건축물의 지하공간 등)



2) 지중 매설된 구조물(지하철, 지하차도, 지하보도, 지하상가, 상하수도, 공동구 등)



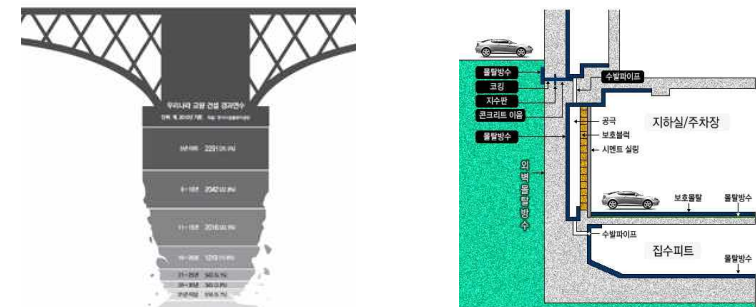
2. 연구개발의 필요성

□ 국민이 안심할 수 있는 안전한 생활환경 조성

- 1970년대 경제성장과 더불어 급증한 SOC가 급속히 노후화됨에 따라 안전 확보와 함께 지속가능한 유지관리가 요구됨
- 시설관리주체가 소관 시설물에 대해 안전성뿐만 아니라, **내구성, 사용성 등이 포함된 성능평가**를 실시하고 시설물이 제공해야 하는 성능수준 이상을 유지하도록 시설물의 유지관리의 강화가 지속적으로 요구됨
- 지하 콘크리트구조물의 경우 일시적 발생으로 인한 영향은 엄청나기 때문에 전문적인 관리가 필요함



〈그림 2〉 지하콘크리트구조물의 성능과 관련된 의문점들



〈그림 3〉 교량의 교각, 교대 등 지하 구조물 관련 이슈, “남아가는 도시에 땀질 보수 ‘제2 성수대교’ 조마조마” - 동아일보, 2014.11.18

〈그림 4〉 지하구조물 중 건축물의 지하공간 관련된 콘크리트 구조

□ 현존하는 대규모 지하공간에 대한 성능평가 대책 수립 필요

- 지하시설물 및 지하구조물은 조사된 수준에서만도 그 연장이 지구를 약 5바퀴(지구둘레: 46,250km) 회전할 구조물이 지하에 건설됨. 만약 조사되지 않았거나 반영되지 않은 지하구조물까지 포함된다면 그 연장과 넓이는 더욱 넓어질 것임
- 매립된 대부분의 지하구조물 및 지하시설물은 콘크리트로 구성되어 있으며, 경제 발전과 함께 건설되어 매립된 지 20~30년의 수명을 거친 지하구조물도 다수의 비율을 차지하고 있지만, 구조물의 매립시기 및 수명에 대한 현황은 정량적인 평가가 없음

□ 지하공간 개발의 가속화에 따른 성능평가 중요성 대두

- 기존 지하구조물 뿐 아니라 향후 개발될 지하공간에 대한 가이드라인 개발 및 제공이 필요
- 2016년 서울시가 지하 공간 개발에 박차를 가하고 있으며, 지하화 공사를 시작한 서부간선도로와 서울제물포터널, 지하 공간 개발 계획을 세운 영동대로와 세종대로, 잠실역 등에 이어 동부간선도로 지하화 계획을 발표, 2026년이면 서울 땅 아래 100만평(330만㎡) 가까운 지하 공간이 만들어질 것으로 예상
- 대구 또한 도시화율이 100%에 육박했으며, 이용 가능한 땅이 거의 없기 때문에 지하공간 개발 활성화를 추진하고자 개발계획, 기금마련 등의 사업 방향을 추진하고자 함
- ‘지하공간 종합개발계획’ 수립 및 중장기, 단계적 개발 로드맵 마련
- 민간투자사업방식과 지역개발기금, 시민펀드 등을 활용한 지하공간 개발 활성화 전략 수립
- 부산은 도시재생의 한 축으로 지하공원 개발에 대한 구상을 갖고 미국의 세계 최초 지하공원 프로젝트인 뉴욕 “로우라인(Lowline)” 사례를 벤치마킹하고자 모색 중임

시도별 지하공공보도시설 현황(73개소)					
지역	개소(개)	연장(m)	총연면적(m ²)	상가면적(m ²)	점포수(개)
서울특별시	29	5,820	146,374	50,547	2,776
부산광역시	7	2,517	65,383	25,673	1,234
대구광역시	6	2,146	119,677	34,002	1,412
인천광역시	15	6,504	92,100	32,637	2,607
광주광역시	2	730	30,368	9,648	510
대전광역시	2	1,481	47,300	14,935	817
강원도	2	1,013	34,546	8,245	360
경기도	7	1,809	90,083	31,552	2,054
경상남도	3	1,228	27,608	10,356	703
전라남도	1	250	4,823	1,823	135
제주도	1	440	10,086	3,896	382
충청남도	1	384	9,722	3,116	290
충청북도	1	246	5,424	1,853	120
소계	77	24,568	683,494	228,283	13,400

전국 지하공공주차장 현황			
지역	개소(개)	수용대수(대)	
서울특별시	22	2,789	
대구광역시	10	2,385	
광주광역시	4	912	
울산광역시	4	586	
강원도	1	210	
경기도	59	10,515	
경상남도	1	29	
전라남도	1	225	
소계	102	17,651	

전국 상수도 및 하수도 현황			
지역	상수도연장(km)	하수도연장(km)	
서울특별시	14,064	1,928	
대구광역시	7,327	5,015	
광주광역시	5,133	3,613	
울산광역시	2,207	2,813	
강원도	7,266	4,263	
경기도	20,007	16,961	
충청북도	5,245	3,674	
충청남도	6,753	3,529	
경상북도	12,830	7,021	
경상남도	11,048	7,861	
전라북도	9,559	5,730	
전라남도	7,866	46,112	
제주도	4,786	2,695	
소계	114,090	111,215	

전국 공동구 및 전력구 현황			
지역	공동구연장(km)	전력구연장(km)	비고
서울특별시	32.8	2.4	
대구광역시	0.0	22.4	통신구15.183km 별도
광주광역시	1.8	7.2	
울산광역시	0.0	2.3	
전라남도	0.6	0.0	
전라북도	0.0	6.0	
경상남도	5.4	26.9	
경상북도	1.5	2.5	
경기도	91.8	0.0	
충청북도	2.5	5.0	
소계	136.4	74.7	

출처:
지하공간 활용 및 관리개선 연구
국토해양부
지하공간 종합기본계획 수립
서울시정개발연구원

전국 지하철 현황			
도시	노선	연장 (km)	역수 (개)
서울특별시	1호선	9.9	10
	2호선	62.1	37
	3호선	37.7	29
	4호선	33.4	21
	5호선	54.8	51
	6호선	36.7	38
	7호선	48.9	42
	8호선	20.9	17
	9호선	25.5	25
부산광역시	분당선	25.1	19
	1호선	32.5	34
	2호선	46.0	42
대구광역시	3호선	18.3	17
	1호선	28.4	30
	2호선	29.0	26
인천광역시	1호선	22.9	23
	광주광역시	1호선	12.1
대전광역시	1호선	22.6	22
소계		566.8	497

전국 지하비축기지 현황				
지역	명칭	규모(배월)	저장내용	건설연도
경기 구리	한국석유공사 구리지사	300만	경유, 등유	1981
경기 평택	한국석유공사 평택지사	440만	LPG	1989
경남 거제	U2 원유 비축기지	4750만(면적 87만m ²)	원유	1차(1985), 2차(1997), 3차(2006)
전남 여수	삼일자원비축기지	4970만(면적 396만m ²)	원유	1998

<그림 5> 지하구조물의 분류별 건설 및 운영 현황

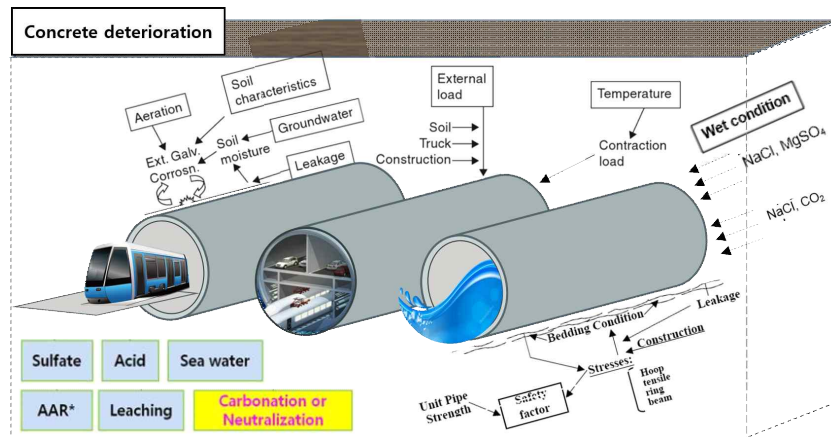


<그림 6> “땅속으로 파고드는 서울…2026년엔 100만평 지하 도시” - 한겨레신문, 2016.12.15

- 대도시를 기점으로 지하공간의 개발이 가속화되고 있으므로 향후 유지관리에 대한 문제점이 발생되기 전, 지하 콘크리트 구조물의 성능에 대한 명확한 가이드라인의 개발이 필요함

□ 지하 콘크리트 구조물의 위치 및 환경에 따른 성능저하 메커니즘

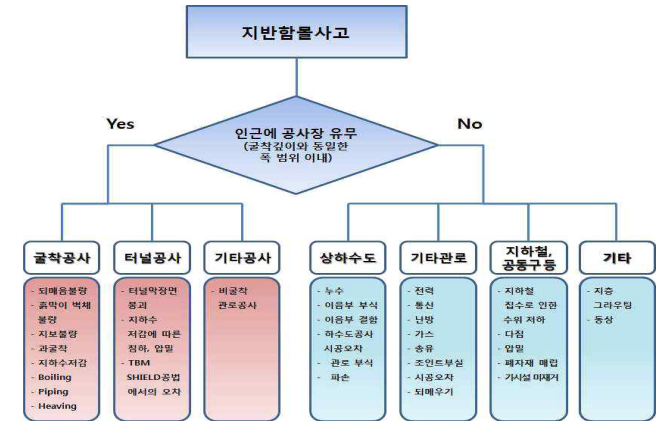
- 지하 콘크리트 구조물은 도심지, 해안가, 산악지 등 다양한 지형에 위치
- 다양한 위치에 놓여있으며, 토양, 지반, 지하수, 오수 등 다양한 환경에 접하고 있음 따라서 공간 및 열화인자에 대한 분류화가 필요
- 공간, 위치 및 열화인자 등의 다양한 성능저하 요인에 따른 지하 콘크리트 구조물의 성능평가 기법의 개발이 필요
- 다양한 위치 및 메커니즘에 따른 성능평가 및 성능회복에 대한 기술 개발이 필요하며, 성능 평가, 성능 회복으로 인한 성능예측에 대한 종합적인 평가방법이 필요



〈그림 7〉 지하콘크리트구조물의 내/외부 성능저하 요인

□ 지하 안전관리를 위한 지하 콘크리트 구조물 평가 대책 필요

- 지하 콘크리트 구조물과 관련하여, 2015년 8월 국토교통부에서 안전대책을 마련, 매뉴얼을 발간함. “지반침하(함몰) 안전관리 매뉴얼”의 경우, 지반 침하에 대한 원인분석과 안전관리 방안에 대한 내용으로 구성됨
- 그 중 안전관리 방안은 예방과 대비, 대응, 복구에 관한 내용으로 구성
- 예방은 “3D 지하공간 통합지도 구축 및 관리”, “지하공간 개발행위 안전 관리 강화”, “지반과 시설물의 상시적 안전관리” 편으로 구성



〈그림 8〉 지반함몰사고 발생원인
(국토교통부 지반침하(함몰) 안전관리 매뉴얼 - 2015.08.31.)

- 특히 지반함몰사고의 경우 그 원인에 대해서 지반함몰이 아닐 경우 위의 그림과 같이 다양한 지하구조물을 원인으로 파악하고 있으며, 원인을 알 수 없는 다양한 지하 구조물이 지반함몰 및 도시안전에 위협을 가한다는 사실을 확인할 수 있음
- 그러나, 지반 함몰에 대한 대책으로 지하정보를 3D 기반으로 통합구축, 지층구조, 지반특성 평가를 하지만, 실제 가장 큰 원인인 지하에 매설/매립된 콘크리트 구조물의 상태는 알 수 없음
- 또한 지반탐사반의 운영을 통해 노후 상하수도관에 대한 정밀조사를 진행할 예정이지만 실제 지하 콘크리트 구조물의 성능을 평가하는 Tool을 마련되어 있지 않기 때문에 반쪽 점검이 될 수밖에 없음
- 따라서 다양한 열화요인에 따른 지하 콘크리트 구조물의 사고방지 대책 마련이 시급함

□ 국가 안전 정책을 뒷받침할 과학적이고 검증적인 연구 필요

- 시설향상 시설물 7만1109개 중 준공 후 30년 이상 SOC는 2292개로 전체 SOC(2만1878개)의 10.5% 수준이지만 10년 후 23.96%(5241개)로 늘어날 것이 예상됨(지하구조물은 포함되지 않아 사각지대에 존재).
- 시설물의 안전관리에 관한 특별법(시특별) 2017년 개정안에는 국토부 장관은 국가 시설물이 안전하게 유지관리 될 수 있도록 5년마다 시설물의 안전 및 유지관리 기본계획을 수립하고 이행함.

- 그러나, 개정안에는 도로, 철도, 항만, 댐 등 대통령령으로 정하는 시설물은 성능평가를 하도록 규정되어 있지만, 공항 및 일부구조물을 제외한 지하구조물은 개정안에서 제외된 실정임
- 지하구조물의 특수한 지하노출환경을 반영한 전문적인 유지관리가 필요하지만, 지하구조물의 내구성, 사용성을 반영한 정량적 성능평가, 정책제언, 표준화 추진 등의 정량적인 지하구조물 성능 평가 연구는 아직 미흡한 실정임
- 지하 콘크리트구조물의 성능평가를 토대로 설계단계에서 설정한 사용목적, 기능 및 성능을 반영한 시설물의 현 상태를 객관적·정량적으로 평가할 수 있는 방향으로 유도할 수 있는 기술 개발이 필요함

□ 지하구조물 안전관리주체의 의사결정을 지원할 체계적인 지원시스템 필요

- 관리주체에게 시설물관리계획 수립과 안전점검 의무와 안전조치를 취할 수 있는 권한이 부여됨
- 시장군수와 구청장 등은 민간관리주체 소관 시설물은 시설물관리계획 이행에 대해 연 1회 이상 실태점검 실시 의무화
- 정량화된 점검 기법, 표준을 근간으로 수행한 점검결과를 활용하여 지하구조물의 성능을 예측, 예측결과를 바탕으로 안전관리 주체의 의사결정을 체계적으로 지원하는 시스템이 필요
- 지하 콘크리트구조물의 성능극대화를 위한 통합유지관리는 구조적 안전은 물론 성능유지 및 향상, 감가상각 등을 고려하는 종합적 비용편익 분석을 통해 한정된 재정을 효율적으로 투자할 수 있는 근거 확보를 위한 성능평가체계 마련이 시급

II. 동향 및 환경 분석

1. 정책 동향 분석

□ 시특별 개정 [시행 2018.1.18.][법률 제14545호, 2017.1.17., 전부개정]

- 시설물 규모에 따라 국민안전처와 국토부가 따로 관리했던 시설물의 안전관리체계를 국토부 중심으로 일원화하고, 시설물의 중요도 및 안전취약도 등을 고려하여 안전점검 등의 안전관리체계를 정비하고 성능중심의 유지관리체계를 도입하기 위해 시특별을 ‘시설물의 안전 및 유지관리에 관한 특별법’으로 개정함
- 관리주체는 시설물의 유지관리·성능평가지침에 따라 소관 시설물을 유지관리하여야 하며, 도로, 철도, 항만, 댐 등 대통령령으로 정하는 시설물의 관리주체는 시설물에 대한 성능평가를 실시하여야 함(제39조 및 제40조)

□ 지하안전관리에 관한 특별법 [시행 2018.1.1.][법률 제13749호, 2016.1.7., 제정]

- 최근 도심지에서 지반침하가 잇달아 발생하면서 지하안전에 대한 국민의 불안감이 커지고 있으며 지반침하 사고로 인한 인적·물적 손해가 증가하고 있어 지반침하 예방을 위한 체계적인 지하안전관리가 필요한 실정임
- 이에 국토교통부장관 및 지방자치단체의 장으로 하여금 지하안전관리계획을 수립·시행하도록 하고, 일정한 규모 이상의 지하 굴착공사를 수반하는 사업에 대하여 지하안전영향평가 및 사후지하안전영향조사를 실시하도록 하는 등 지하안전관리제도를 시행하며, 지하정보통합체계 등을 구축·운영하도록 하는 등 지하안전을 확보하기 위한 안전관리체계를 규정함으로써 지반침하로 인한 위해를 방지하고 공공의 안전을 확보함
- 지하안전관리에 관한 특별법은 상·하수도, 전기, 통신시설, 에너지 공급시설, 공동구, 도로, 철도, 건축물을 지하 시설물로 규정함
- 지하개발 완료 후에도 지하시설물과 관련하여 지속적으로 지하안전관리가 이행될 수 있도록, 지하에 매설 또는 설치되는 상·하수도, 전기·통신시설, 가스공급시설 등을 지하시설물로 규정하고, 지하시설물관리자는 소관 지하시설물의 사용 개시 전에 지하시설물 및 주변지반의 안전관리대책 등을 포함한 안전관리규정을 수립하여 시장·군수·구청장에게 제출하고, 연 1회 이상 확인을 받아야 함

□ 도로합몰 공동관리

- 서울시는 도시노후화로 인해 증가하고 있는 신종 도시재난인 도로합몰사고의 선제적 예방을 위해 31일 서울지역 지하매설물을 관리하는 22개 기관과 '도로합몰 복구업무에 관한 협약'을 체결함
- 2018년 1월부터 시행되는 지하안전관리에 관한 특별법은 지하시설을 관리하는 기관별로 안전점검 책임을 부여하고 있다. 그러나 서울시와 서울지역 지하매설물 보유 22개 관리기관은 법 시행 이전에 전국 최초로 안전관리 공동대응체계를 구축하고 합몰사고 발생 시 긴급출동 및 원인조사를 합동으로 실시하고 원인자가 복구하게 됨
- 서울시와 지하매설물 관리기관은 연간 1회 이상 사전 안전점검 및 실태점검을 실시하여 도로합몰을 사전에 방지, 안전사고와 복구비 낭비 가능성을 줄이기로 함

□ 성동구, 국내 최초 지하공간 안전관리시스템 설치·운영

- 성동구(구청장 정원오)는 국내 최초로 왕십리역사 부근에 '지하공간 안전관리시스템'을 설치 운영할 계획임(왕십리역이 지하철 4개 노선이 교차하는 쿼드러플 역세권이기 때문임)
- 지하공간 안전관리시스템'은 도시 노후화 등으로 인해 발생하는 도로합몰사고를 사전에 예방하기 위해 지하매설물에 감지센서를 설치, 실시간 측정된 이상 징후를 사물인터넷(IoT) 무선통신 기술을 활용해 센터 운영시스템으로 전송하고 365일간 상시 모니터링하는 지하공간 안전관리 기술임
- 이 시스템은 UGS융합연구단(ETRI, 한국건설기술연구원, 한국철도기술연구원, 한국지질자원연구원 등 4개의 정부출연기관 참여)이 수행한 연구 결과물과 서울시와 UGS융합연구단의 '도로합몰 예방기술 공동연구' 결과를 바탕으로 구축됨
- 시스템이 가동되면 왕십리역 일대의 지질환경과 지하수 분포·변화 상황, 도시철도구조물과 주변지반 그리고 인접한 상하수관의 변화상태 등 지하공간 구조와 이상 징후를 국내 최초로 원격 실시간 모니터링하면서 관리할 수 있게 됨
- 성동구는 이를 위해 최근 ETRI(한국전자통신연구원 원장 이상훈)와 '지하공간 안전관리시스템 기술 현장 적용' 추진을 위한 업무 협약을 체결, 2017년 3월부터 9월까지 7개월에 걸쳐 왕십리역사 부근의 상·하수도관, 철도 지반, 지하수 유입로에 감지 센서를 설치, 10월부터는 이를 IoT(사물인터넷)망을 통해 정보를 수집, 상시적으로 모니터링 함으로써 도로합몰 징후

를 사전에 예측 방지에 활용할 예정임

- 시스템이 가동되면 왕십리역 일대의 지질환경과 지하수 분포 변화 상황, 도시철도구조물과 주변지반 그리고 인접한 상하수관의 변화상태 등 지하공간 구조와 이상 징후를 국내 최초로 원격 실시간 모니터링하면서 관리할 수 있게 될 전망이다

2. 시장 동향 분석

□ 시설물 안전점검 및 정밀안전진단 시장

- 국내 안전시장의 투자규모는 '15년 기준 총 15.4조원으로 공공기관과 민간기업의 대대적 안전투자 확대를 통해 국민 안전 증진과 경제 활성화에 기여하고자 함
- 정밀안전진단 실시 자격기관인 안전진단 전문기관은 1995년 시설물의 안전 관리에 관한 특별법(이하 시특법) 제정 이후 등장해 '11년 기준 528개로, 2000년대 초반 20%대의 급성장 이후 성장률은 하락했지만 시장 규모가 정체인데 반해 그 수는 매년 꾸준히 증가함
- 정밀점검 규모는 '11년 기준 15,672건에 약 520억 규모이며, 정밀점검 건수는 '03년 이후 꾸준히 증가 중이지만 시장 규모는 등락폭이 크게 변화한 편임

〈표 2〉 국내 안전시장 규모 및 특징

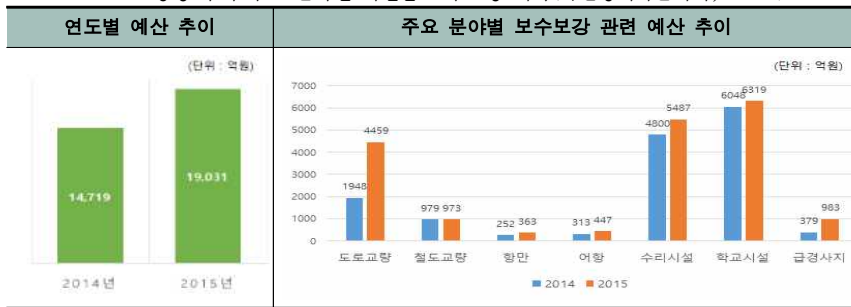
분야	시장규모	특징
소방	12조원	- 소방공사 및 소방제조가 76.6% 점유
방재	14조원	- 정부 발주가 다수이며, 50인 미만 소규모 업체가 95.3% 점유
사업장	3조원	- 안전제품 제조, 안전교육, 컨설팅 관련 시장
시설물	3.1조원	- 주로 시설유지 및 보수 관련 시장으로 4,500여개 업체가 활동 중
보안	3.5조원	- CCTV 등 물리보안 1.2조원 (연평균 13% 상승, 3대 기업(에스원, ADT, KT텔레캅) 점유율 85%) - 인증 등 정보보안 2.3조원 (연평균 11% 상승) - SW 안전분야(컨설팅, 시험·인증 등) 4천억 원

※ 출처 : 제5차 국민경제자문회의 관계부처, 안전산업 활성화 방안 (2015.03)

□ SOC 시설물 보수·보강 시장

- 정부/공공기관은 SOC 및 건설, 시설물 보수/보강이 필요한 부문에 전년대비 17% 증가된 수준인 12.4조원을 투자함 ('14년 10.6조 → ' 15년 12.4조)
- 구조물 유지관리 관련 시장은 2006년 6,000억 원 규모에서 연평균 20%의 성장률을 기록, 2009년에 1조원, 2015년에는 3조원의 시장을 형성하고 있음
- 국내의 노후화된 상수도, 하수도, 전기선로, 가스관로 교체공사 등으로 인하여 근접지역 도로함몰위험이 내재되어 있어 이에 대한 붕괴지역의 보수보강의 수요는 해마다 늘어날 것으로 예상됨
- 노후 구조물 급증에 따라 건설시장은 유지보수 중심으로 개편이 예상되고 이에 따라 2030년 시설물 유지관리비는 약 11조에 달할 것으로 전망됨

〈표 3〉 중앙 부처 주요 분야별 시설물 보수보강 계획(국민경제자문회의, 2015)



□ 비파괴 검사 시장

- 기존의 방식은 주로 정적인 환경에서 작업자가 직접 장비를 휴대하여 측정 지점을 측정하는 방식이 거의 대부분을 차지하고 있으며, 이러한 기존의 비파괴검사 시장의 경우 2006년부터 2015년까지 연평균 5.5%(국내)에서 6%(해외) 수준으로 꾸준한 시장 성장률로 규모가 확대되고 있음
- 최근 3년간 비파괴 검사 시장과 IT건설 유지관리 시장의 국내외 시장 규모가 5% ~ 6% 사이에서 꾸준한 성장세를 나타내고 있으며 이동성, 고정밀성, 비접촉성의 장점을 가지는 경우 상당한 성장세로 시장 진입할 것으로 예측됨
- 또한 향후 원천기술 시장 및 유지관리시장의 지속적 성장과 개발 기술의 적용 시장이 지속적으로 확대될 것으로 예상되며 비파괴 및 IT건설 유지 관리 시장은 2014년에는 약 10조원에 이를 것으로 예상됨

○ 비파괴 진단시장(비 차량형 GPR 제품군시장)의 경우 2016년 6조2천억 원 기준으로 5%를 점유할 경우 3,150억 원의 시장규모 확보가 가능함

○ 건설 유지관리시장(안전점검 시스템 부문, 차량형 GPR시장)의 경우 2016년 5조 5천억 원 기준으로 약 5%를 점유할 경우 2,600억 원의 시장규모 확보가 가능함

3. 기술 동향 분석

□ 의사결정지원시스템

- 지하시설물 통합정보시스템은 상, 하수도 등 16개 기관에서 개별적으로 관리하던 6종(상수도, 하수도, 전기, 통신, 가스, 난방) 시설물 48,472km의 데이터를 체계적 관리와 안전사고 예방을 위해 통합 구축하여 2003년부터 웹 서비스 중에 있음
- 각종 도로굴착 공사에서 효율적 굴착 계획을 수립하기 위한 기본 정보를 제공하며, 공사가 진행되는 도중에 지하시설물의 상태를 파악할 수 있도록 도와줘 지하시설물이 손상되는 것을 방지함
- 지하시설물 안전사고 예방 및 점검에 기초 정보로 활용되고 사고 발생 시에는 신속히 조치할 수 있도록 정보를 얻는데 활용할 수 있음
- 지하구조물 열화 및 손상의 원인인 지하수, 상하수도관, 도시철도 지하시설물 등 지하콘크리트 구조물에 대한 통합된 지하공간정보 기반의 모니터링 및 종합적인 상관성 분석이 필요

〈표 4〉 지하구조물의 유지관리 의사결정 지원을 위한 시스템의 문제점 및 해결방안

현재 문제점	문제해결 방안
- 현재 운용되고 있는 지하시설물 통합정보시스템은 지하시설물 유지보수 관리만을 위해 구축되어 있으나, 지하시설물 기능 유지에 밀접한 관계가 있는 지질 및 지반 특성, 지하구조물, 지하수 등에 대한 정보는 제외되어 있어 지하공간 재난 시 정확한 원인규명이 어려움 - 지하공간정보를 종합적으로 분석하여 안전사고에 대한 능동적인 의사결정 지원과 종합적인 대책에 한계	- 도시 지하공간에 대한 입체적인 분석을 통한 능동적인 의사결정을 지원하기 위한 지하구조물의 성능정보가 포함된 지하공간정보 통합 기술 제안 - 기존에 수행중인 통합된 지하공간 정보 기반의 3D 모델링 및 가시화 방안에 본 과제를 통한 융합 분석 도구 제공

- 국토교통부 자료에 의하면 2009년부터 2013년까지 ‘지하시설물 통합체계 고도화’ 사업을 통해 7대 지하시설물(상수도, 하수도, 가스, 전기, 통신, 송유, 난방) 정보통합은 완료되었으나, 여전히 지하구조물의 상태 평가, 향후 보수 보강 시기 예측 등의 안전사고 사전 예측이 불가능함 (인천 지하철 공

사장 봉곡('12.2), 목포시내 침하('10.11), 서울 시흥동 도로침하('11.9))

- 국토교통부는 2014년 9월에 민간합동 특별 팀을 구성하여 ‘지하공간 통합지도’를 중심으로 하는 ‘지하공간 통합 안전관리체계’ 구축 계획을 발표. ‘지하공간 통합지도’는 지하매설물, 지하구조물, 지반 등 관련 기관마다 보유하고 있는 정보를 3차원 기반으로 한 지하정보 통합을 고려하고 있음



〈그림 9〉 2차원 기반의 7대 지하시설물 통합관리

□ 성능평가

- (지하매설물의 이상 거동 모니터링) 지하구조물 파손, 지반 굴착, 상하수도 누수, 지하수위 저감 등 복합적인 요인에 의해 발생하고, 도심지 노후화에 따라 지하 콘크리트 구조물의 손상 발생빈도 및 위험성이 더욱 증가할 것으로 예상되며, 다양한 위험 인자들의 모니터링이 요구됨

〈표 5〉 지하구조물의 성능평가에 대한 문제점 및 해결방안

현재 문제점	문제해결 방안
• 국내 건설유지관리 분야의 경쟁력 저하는 비단 관련 전문인력의 부족 및 시장의 부재에서만 기인하고 있는 것은 아니며 국가 정책 및 인식의 부족에 따른 것으로 판단됨 • 국내 시설물의 평가기술은 도로의 주요시설인 교량 구조물 위주로 개발이 진행되었으며, 최근에 타 분야에 대한 평가기술개발이 진행	• 국내의 유지관리체계는 1995년 급조된 안전성 확보차원의 시설물관리체계이며, 관련 규정에는 안전성 확보를 위한 최소한의 기준만 정립된 상태이므로 개선이 필요 • 시설물의 평가기술은 선진국과 약 10년 정도 기술격차가 있는 것으로 평가되므로 유지관리 부문의 기술수준을 강화하여 문제점 해결이 중요하고, 시설물 유지관리 시장의 양적 성장 지속, 치열한 수주경쟁과 업체의 영세성으로 인한 취약한 기술역량의 조속한 강화가 필요함

- 건설 분야 내 유지관리 및 안전계측에 대한 인식과 제도의 부족으로 안정적인 시장으로 정착되지 못함
- 안전점검 및 정밀안전진단 시장규모 정체와 대형 안전진단전문기관의 편중현상 심화로 인하여 新시장 개척 및 경쟁경쟁의 필요성이 증가
- 국내 시설물은 외국에 비해 공용 연수가 매우 짧으며, 이에 따라 해당 시설물의 설계, 시공, 유지관리 경험과 기술축적이 미흡한 실정이므로 강화가 시급함
- 현재, 우리나라의 성능평가, 유지관리계측은 엔지니어링 분야에서 상대적으로 낙후된 분야로 수주실적에서도 30위권 밖에 머물고 있음
- 신규건설 대비 성능평가, 유지관리 투자가 57%가 넘는 이탈리아의 7분의 1 수준에 불과하고 38%인 영국의 4분의 1수준, 26%인 독일의 3분의 1수준이며, EU국가 중 유지관리 투자비율이 가장 낮은 프랑스와 비교하더라도 80% 수준임
- 국내의 경우, 시설물 자산가치 대비 유지관리 투자는 외국 1.0%의 1/3 수준인 0.3% 정도로서, 이를 근거로 국내 유지관리 투자실태를 추산하면 신규건설의 약 8% 수준으로 신규건설 대비 유지관리 투자가 21.7%인 일본의 약 3분의1 수준임

□ 보수보강, 복구 관련 기술

- 계측기기(특히 센서) 분야의 기술은 매우 학제적이고 복잡적이라 미개척분야가 많은 지식 집약적 첨단기술이며, 현대의 모든 산업 및 연구분야에 사용되는 핵심기반기술이나, 건설계측 용 센서제조 및 연구개발 기반의 부족으로 인한 센서업체의 경쟁력이 취약
- 국내 센서 생산업체의 인력현황은 디지털시대로 접어들면서 자동화기기, 항공, 환경, 자동차 등 수요시장의 규모 확대와 휴대용전화기 및 디지털카메라 등 디지털가전기기에서 센서부품 채용이 증가되면서 센서 사업체수와 함께 종사자수도 증가하고 있는 추세
- 직종별로 살펴보면 생산인력이 약 75%, 사무행정직이 약 21%, 연구개발직이 약 4%를 차지하는 것으로 나타나 동 산업은 비교적 노동집약적 산업군에 속함
- 이러한 추세는 새로운 센서의 개발이나 경쟁력 있는 센서의 생산을 목표로 하고 있는 일본, 대만, 미국, 유럽의 추세와는 반하는 방향으로 후발업체인 중국에 비해서도 가격경쟁력이 떨어지는 현상을 초래

- 가격경쟁력지수를 100으로 볼 때, 독일의 가격경쟁력지수가 80으로 가장 낮게 나타났으며, 미국의 지수가 85, 일본의 지수가 90으로 나타나 선진국에 비해 가격경쟁력은 있는 것으로 나타났으나 중국은 130으로 우리나라보다 우위를 점하고 있음을 알 수 있음
- 가격경쟁력은 온도, 습도 센서 등 대규모 양산이 필요한 분야에 집중되어 있어 고정밀도가 요구되는 초음파센서, 스마트센서분야에서는 큰 경쟁력 우위를 가지고 있다고 볼 수 없음
- 우리나라의 경우 첨단 센서분야의 기술개발 능력 부족(핵심소재, 렌즈기술 특허권 부재)와 센서 업체들의 연구개발 노력 부족, 전문 기술인력 양성 소홀 및 전문가 부재 그리고 세계적인 국산 자체 브랜드 부재가 약점으로 작용하고 있는 것으로 분석됨
- 이러한 센서기술 개발력은 품목에 따라 다소 차이가 있지만 평균적으로 볼 때 일본이 앞서가고 있는 것으로 나타나 다음으로는 독일, 미국 등 순으로 나타났으며, 대만, 중국 등은 원재료 기술, 생산, 설계, 조립, 평가 등 대부분 의 기술력에서 아직까지 낮게 평가되고 있음
- 원재료기술 및 설계기술의 경우 일본이 130, 125점으로 가장 앞서고 있는 것으로 분석되었고 시험평가, 양산화기술 및 전문인력의 보유정도는 독일과 일본이 우위를 점하고 있음을 알 수 있음
- 건설 산업의 설계, 시공, 유지관리, 서비스 단계에서 첨단화, 지능화를 위한 IT 융합 기술 개발이 향후 건설 기술 경쟁력 확보에 관건이 될 것임
- 첨단 IBS 빌딩을 중심으로 구조물 관리에 유무선 네트워크, 환경 및 에너지 센서, 에너지 관리시스템 등 첨단 IT 기술 개발에 대한 국내·외 업체 간 기술 개발 경쟁이 더욱 가속화 될 전망이다
- 지능형 능동 SOC 시설물 분야에서는 인프라 네트워크의 융합센서, 핵심부품 등은 선진국의 기술력을 뒤따르는 추세이며, 센서를 건설 인프라에 융합하는 분야는 세계적으로 아직 보편화되고 있지 않은 실정임
- u-Eco City 등을 중심으로 국토/도시의 다양한 인프라에 대한 감시, 보안, 안전 관리를 위한 통합 관제 서비스가 광범위하게 적용될 것이므로 IT 업체와 건설 업체 간의 긴밀한 기술개발 체계가 요구됨

〈표 6〉 지하구조물의 보수보강 및 복구 기술에 대한 문제점 및 해결방안

현재 문제점	문제해결 방안
• 시장 변화를 고려할 때, 현행 시설물의 안전 및 유지관리 기준, 보수 보강공법 등의 매뉴얼을 시설물의 상태 등에 따라 보다 차별화하고, 지침, 매뉴얼 등의 연구개발을 지속하여 그 결과를 관리주체 및 유관기관에 보급하는 것이 우선적으로 요구됨	• 안전진단전문기관, 시설물 유지관리업체 등의 기술수준이 발전하기 위하여 시설물 안전 및 유지관리 분야의 신기술 개발기능을 지속적으로 강화하여야 할뿐만 아니라, 연구개발 결과를 체계적으로 보급하여 활용도를 제고하는 방안의 수립, 시행이 필요 • 이를 위해서 합리적 시설물 안전상태 평가체계 구축 및 평가결과를 적정히 반영할 수 있는 보수보강 공법 체계의 구축도 병행되어야 할 것으로 판단

- 하수관로의 경우 상수도관로와 다르게 광역시 단위의 통합시스템이 요구되지 않음. 최근 국내에서 200만 화소 이상의 고해상도 정적 이미지를 촬영하는 시스템 및 관로 내 위치 인식 장치를 개발하여 이미지 촬영시간 및 장치의 위치를 동기화할 수 있는 시스템을 개발하고 있음
- 측정된 위치정보와 이미지 정보를 이미지 프로세싱하여 결합하고 다수의 정적이미지를 하나의 프로파일 이미지로 변환하여 DB에 저장하여 이를 통해 하수관로의 손상, 연결부 단차, 접속부 주변의 수밀성 등을 분석하고 하수관로 주변 지반에 발생할 수 있는 공동을 파악할 수 있는 시스템이 개발중임
- 하수관로 배면 공동 분석 시스템은 하수관로 내부에서 공동과 최대한 접근하여 조사를 수행함으로써 탐지의 신뢰성을 높이기 위한 기술로, 최적의 조사 방법을 선정하고 다양한 조사 조건에 따른 복합 조사 및 분석기법으로 구성됨
- 시스템의 성능 목표는 하수관 배면 1m 이내의 구간에서 탐지 신뢰성 80% 이상을 확보하는 것이며, 관내조사가 용이하도록 관경 600mm 이하의 공간에서 활용이 가능한 탐지장치의 소형화, 경량화 기술개발이 추진되고 있음
- 획득된 공동의 유무 및 규모에 대한 정보는 하수관로 배면 거동 예측 시스템을 통해 지반침하 위험도를 평가함

4. 기획과제 1차 중점연구분야 도출

- 정책, 시장 및 기술 동향을 분석하여 ISSUE 별로 검토한 각각의 연구 분야를 유사기술 군으로 정리하여 다음의 중분류 단계의 중점 연구분야를 도출

〈표 7〉 1차 중점연구분야 도출

중점연구분야 (중분류)	포함 기술
지하 콘크리트 구조물 안전성 평가 기술	- 지하구조물 열화 환경 및 하중조건 정량화 기술 - 구조물 유형별/중요도별 성능평가 및 열화등급 산정기술 - 유형별/중요도별 파괴(수명)모델 기반 노후도 판정 기술 - 장기계측 및 진단 데이터 기반 구조안전성 평가 기술
지하 콘크리트 구조물의 통합 유지관리 시스템 및 운영기술	- 지하 콘크리트 구조물 유지관리 정보 DB 체계 구축 기술 - 지하 콘크리트 구조물 사고 발생 시나리오/긴급 대응 기술 - 통합유지관리시스템-GIS/BIM 연계 기술 - 통합유지관리시스템-클라우드 연계 기술
지하 콘크리트 구조물의 종류 및 노출 환경을 고려한 수명평가 기술	- 지하 콘크리트 구조물의 종류 및 노출 환경별 성능저하 원인 조사 - 지하 콘크리트구조물의 종류 및 노출 환경에 따른 구조물 잔존수명 예측 기법 기술 - 내구성 기반의 지하 콘크리트 구조물의 수명평가/예측 모델 표준화
지하 콘크리트 구조물의 성능극대화를 위한 유지관리 기술 분류 및 적용기술 표준화	- 지하 콘크리트구조물의 열화등급별 보수·보강 기술 체계분류 - 구조물 종류, 상태, 환경조건을 고려한 최적 보수·보강 공법 표준화 기술 및 신기술 - 3D IT기술을 활용한 유지관리 기술 적용 후 구조물의 수명화를 위한 점검 모니터링 기술 - 열화 지하 콘크리트구조물의 상태지수 및 보수·보강 기술 결정 기준(안)

- 1차 중점 연구분야 도출 후, 연구진과 자문위원간 토의를 거쳐 2차 중점연구분야를 도출 후 중점연구분야에 맞춘 기술수요 및 수준 예측 조사를 실시함
- 중점연구분야는 크게 3개의 중분류로 구분됐으며 각각의 중분류는 2개의 소분류로 구분 총 6개의 중점 기술로 구성함
- 각각의 중분류와 소분류를 기준한 기술수요조사를 실시하여 약 43개의 기술아이템 및 과제아이디어를 도출했으며, 각각의 아이터들은 델파이 기법을 이용하여 평가를 수행함

〈표 8〉 최종 중점연구분야 도출(연구진 및 자문위원간 조율 결과)

중점연구분야(중분류)	포함 기술
① 지하 콘크리트 구조물 성능관리 의사결정 시스템 개발	▪ 지하 콘크리트 구조물 종합성능 관리체계 구축 기술 개발 ▪ 성능관리 의사결정 시스템 구축 및 시험적용 추진
② 지하 콘크리트구조물 성능 검사·평가 기술개발 및 절차화	▪ 지하 콘크리트 구조물 영향인자 검사·평가기술 개발 ▪ 지하 콘크리트 구조물 성능 검사·평가에 대한 제도화 전략 수립
③ 지하 콘크리트 구조물의 공용기간 예측기술 개발	▪ 환경평가 기반 미래성능 예측 기술 개발 ▪ 지하 콘크리트 구조물 성능회복을 위한 최적 기술 개발

Ⅲ. 기술수요 및 수준·예측 조사

1. 기술수요조사 분석결과

- ☐ 동 기술수요조사에는 산, 학, 연 전문가 31명이 참여함
- ☐ 산업계 10명, 학계 13명, 연구소 전문가 8명이 참여함
- ☐ 제안 받은 기술아이템은 총 42건임
- ☐ 기술분야별로 통합유지관리 체계 기술 10건, 안전성능 평가 표준화 기술 15건, 성능극대화 기술 16건, 기타 1건을 제안받음. 기술수요조사에는 산, 학, 연 전문가 45명이 참여함

2. 기술수준 및 예측 분석결과

- ‘지하 콘크리트 구조물의 성능극대화를 위한 전주기적 통합유지관리시스템 기획’ 연구의 기술수준/예측조사는 관련 기술의 실현시기, 기술수준 등 기술혁신 동향을 정량적으로 평가하여 과제우선순위평가를 위한 기초자료로 활용하는 것을 목적으로 함
- 산·학·연 전문가를 대상으로 지하 콘크리트 구조물의 성능극대화를 위한 전주기적 통합유지시스템 기술의 실현시기, 기술수준, TRL단계, 중요도 등을 조사함

- 연구개발 사업 계획과 전략 수립에 활용하기 위해 적합한 자료와 다양한 예측방법을 사용하여 미래의 기술변화 파악에 필요한 정보를 수집함
- 현재 기술의 수준을 살펴봄으로써 기술변화를 예측하고, 이를 기반으로 기술개발의 방향을 설정함

□ 기술수준 및 기술격차

- 전체 기술수준 평균은 59.6%, 기술격차는 5.2년으로 기술격차는 유지되는 추세로 나타났으며, 3개 대분류 중 통합유지관리 체계 기술의 기술수준이 높은 것으로 분석됨
- 국내 전체 기술수준 평균은 최고기술보유국의 59.6%이고, 기술격차는 평균 5.2년으로 나타남
- 통합유지관리 체계 기술의 기술수준은 해외의 66.7%로 타 대분류 기술보다 높고, 기술격차도 4.9년으로 가장 작은 것으로 나타남

□ 기술성숙도(TRL)

- 국외 지하 콘크리트구조물의 성능극대화를 위한 전주기적 통합유지관리 시스템 기술의 TRL 단계는 5~7단계로, 시작품의 제작 및 성능평가와, 신뢰성/수요기업 평가 단계로 접어들고 있음
- 국내 지하 콘크리트구조물의 성능극대화를 위한 전주기적 통합유지관리 시스템 기술의 TRL 단계는 3~4단계로 실험실 규모의 기본/핵심성능평가가 수행되고 있음

□ 최고기술보유국

- 각 기술분야별 최고기술보유국은 일본(34.8%), 미국(24.3%), 호주(10.2%), 캐나다(8.7%), 독일(6.8%) 등으로 조사되었으며, 이를 동향 및 환경분석 대상국가로 고려할 수 있음

□ 기술기반(인프라) 성숙도

- 지하 콘크리트구조물의 성능극대화를 위한 전주기적 통합관리시스템의 기술기반(인프라) 성숙도는 2.0~2.5로, 대부분 부족한 수준인 것으로 나타남

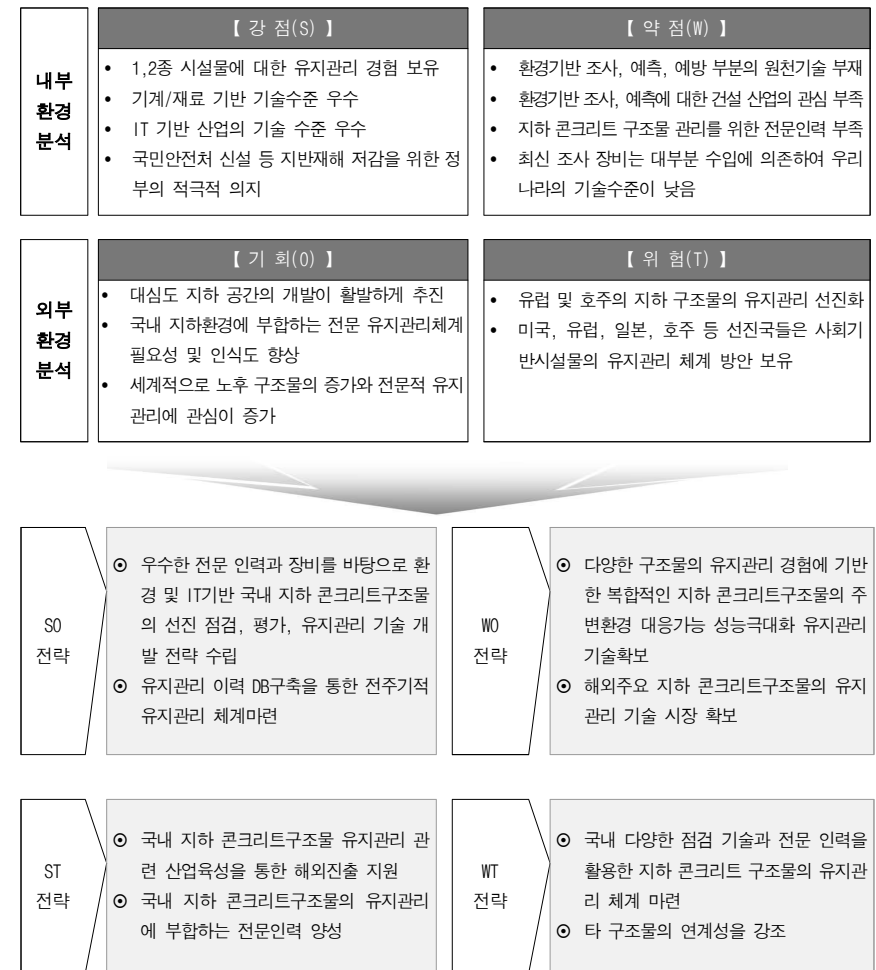
□ 기술획득 방식

- 기술획득방식은 정부주도추진(51.4%), 정부-민간 공동추진(44.6%) 순으로 높게 나타났으며, 정부-민간 공동추진이 높은 기술분야의 경우 연구개발 추진주체 및 매칭펀드 설정 시 고려해야 함

□ 정부우선 시행방안

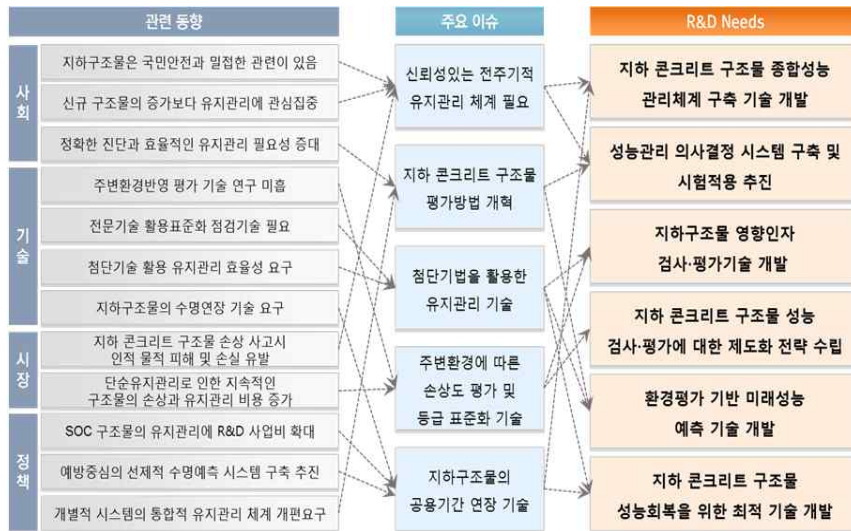
- 기술개발을 위해 정부가 우선적으로 시행해야 할 방안은 연구비 확대(60.9%), 인프라 구축(15.9%), 제도개선(11.9%) 순으로 나타남
- 지하 콘크리트 구조물 성능극대화 관련 기술개발을 위해 정부가 우선적으로 시행해야 할 방안이 연구비 확대라는 응답 비중이 60.9%로 가장 큼

3. SWOT 분석



〈그림 10〉 지하콘크리트구조물 연구 SWOT 분석

4. ISSUE TREE 분석



〈그림 11〉 지하콘크리트구조물 ISSUE TREE 분석

IV. 연구개발과제 구성 및 추진전략

1. 비전 및 목표

□ 비 전

**안전한 도시환경 구축을 위한
지하 콘크리트 구조물 종합성능 평가기술 구현**

□ 연구목표

- 정량적인 성능 평가 기술 개발을 통한 지하 콘크리트 구조물의 장기적 유지관리 소요예산 30% 절감
- 신뢰도 90% 이상의 지하구조물 종합성능평가기술 개발
- 경제성/정확성/효율성 30% 이상 향상된 진단 기술 개발
- 공용기간 예측 정확도 95% 확보
- 지하 콘크리트 구조물의 성능회복 신규구조물 대비 70% 확보

□ 단계별 개발 목표



〈그림 12〉 단계별 연구개발 목표

2. 후보과제 Pool 구성 및 우선순위 평가

- 기획위원, 자문위원 및 외부 산학연 전문가를 중심으로 기술 수요조사를 실시하고 수집된 기술수요조사서를 연구 비전과 목표에 맞는 후보과제들을 선별
- 연구개발 목표에 해당하는 기술을 보유한 기업들에게 연구기획 의도를 설명하고 목표를 달성하기 위한 추가 후보과제 대상 의뢰
- 산·학·연 전문가를 대상으로 진단/평가, 건설자재 개발 및 적용기술 기획에서 도출된 후보과제의 기술적 중요도, 기술개발 실현가능성, 사회경제적 파급효과, 정부지원 필요성 등에 대한 평가를 수행하여 우선순위를 결정

〈표 9〉 중점추진분야별 후보과제 Pool 구성

중점추진분야	우선순위, 후보과제명
중점추진분야 I (1세부과제)	1. 사용자 중심의 지하 콘크리트구조물의 상태 성능지표 정량화 기술 2. 지하 콘크리트 구조물의 노출환경에 따른 상태 지수 평가 기술 개발 3. 지하 콘크리트구조물의 안전성능 수준 판정 기술 4. 확률론적 방법을 이용한 빅 데이터 기반 통합유지관리 기술 개발 5. 지하 콘크리트구조물 통합 유지관리를 위한 cloud platform 개발 6. 지하 콘크리트 구조물의 계측 데이터 처리기술 및 운용기술 개발
중점추진분야 II (2세부과제)	1. 지하콘크리트 구조물의 열화 판정을 위한 적정 기술 개발 2. 사용환경을 고려한 지하 콘크리트구조물의 점검 및 평가 매뉴얼 개발 3. 지하 박스구조물의 재하시험 기법 개발 및 표준화 4. 특정환경 / 열화조건에 따른 지하콘크리트구조물 적정 균열보수재료 선정을 위한 성능평가 및 기술개발 5. 지하 구조물 상태평가를 위한 IT/BIM 융합 첨단 진단기술개발 6. 지하 콘크리트 구조물의 예방적 유지관리 기술 7. 지하구조물 상태안전성 강화를 위한 접촉식 열화부위 산정기술 개발 8. 지하구조물 장기 안전성 평가를 위한 열화 및 하중환경 계측, 모니터링 및 데이터 기반 진단 기술 개발 9. 장기계측 및 진단용 센싱 패키지 및 모니터링 데이터 기반 지하 콘크리트 구조물 안전성 수준 정량화 평가 기술 10. 분포형 센서를 이용한 장거리 지하 콘크리트 구조물 연결부 모니터링 기술개발 11. 카메라의 가속도 & 자이로 센서 정보를 이용한 현장 사진 매핑 보조 기술 12. 영상 시스템을 이용한 구조물 모니터링 및 상태평가 기술 개발
중점추진분야 III (3세부과제)	1. 지하 콘크리트 구조물 구조성능 예측 기술 2. IoT기반 환경요인에 따른 지하 콘크리트구조물의 상태변화 예측 기술 3. 지하 콘크리트 구조물의 콘크리트 온도 변화에 따른 화학적 침식 손상 원인 평가 기술 4. 지하 콘크리트 구조물의 내부 유해이온에 대한 손상 원인 평가 기술 5. 지하 콘크리트 구조물의 콘크리트 손상원인 대응 보수·보강 기술 개발 6. 손상 목표 수준 맞춤형 지진에 의한 지하구조물 설계 및 복구·보강 기술 개발 7. 지하 콘크리트 구조물의 장수명화를 위한 보수·보강 표준화 기술 8. 지하철 구조물의 성능극대화를 위한 보수 보강 재료 및 공법 개발 9. 상시 모니터링 기술 활용 주요 지하 콘크리트 구조물 긴급 재난 대응기술 개발 10. 하이브리드 수치해석기법을 통한 지하구조물 균열 생성 및 전파 예측 11. 열화상태를 고려한 지하 콘크리트 구조물의 내진성능 평가 기술 12. 지하철 구조물의 성능극대화를 위한 보수 보강 재료 및 공법 개발

3. 연구개발 추진과제 구성 및 주요 내용

- 도출된 후보과제의 우선순위를 바탕으로 연구개발 추진과제를 선정
- 연구개발 추진과제는 국토교통 R&D 연구개발사업 특성 중점적으로 검토하고 1,2차 기획타당성 중간평가를 통하여 결정
- 또한 중간평가회의를 통하여 유사과제의 경우는 통합하는 과정을 거침

가. 1세부과제 : 지하 콘크리트 구조물 성능관리 의사결정 시스템 개발

〈표 10〉 1세부과제 목표 및 세세부 과제 구성

세부과제 목표	◦ 지하 콘크리트 구조물의 종합성능등급 산정기법 및 종합 성능관리 매뉴얼 개발 ◦ 지하 콘크리트 구조물의 성능평가 및 예측자료가 반영된 통계학적 모형과 기법을 활용한 최적점검주기 의사결정 체계 개발
세세부과제 구성	1-1 : 지하 콘크리트 구조물 종합성능 관리체계 구축 기술 개발 1-2 : 성능관리 의사결정 시스템 구축 및 시험적용 추진

나. 2세부과제 : 지하 콘크리트구조물 성능 검사·평가 기술개발 및 절차화

〈표 11〉 2세부과제 목표 및 세세부 과제 구성

세부과제 목표	◦ 지하환경이 지하 콘크리트 구조물에 미치는 영향에 대한 평가 등급화 기술 개발 ◦ 지하 콘크리트 구조물의 성능평가 기반 유지관리 절차서 개발
세세부과제 구성	2-1 : 지하구조물 영향인자 검사·평가기술 개발 2-2 : 지하 콘크리트 구조물 성능 검사·평가에 대한 제도화 전략 수립

다. 3세부과제 : 지하 콘크리트 구조물의 공용기간 예측기술 개발

〈표 12〉 3세부과제 목표 및 세세부 과제 구성

세부과제 목표	◦ 노출환경 및 손상 수준 맞춤형 유지보수 및 지하구조물 내구성능 예측기술 개발 ◦ 성능회복 전후의 정량적 평가와 효과분석 절차 및 성능회복 매뉴얼 개발
세세부과제 구성	3-1 : 환경평가 기반 미래성능 예측 기술 개발 3-2 : 지하 콘크리트 구조물 성능회복을 위한 최적 기술 개발

4. 주요 성과물 및 성과지표

〈표 13〉 주요성과물 및 성과지표

세부과제	성과물	성과물 유형	성과지표
지하 콘크리트 구조물 성능관리 의사결정 시스템 개발	- 지하 콘크리트 구조물의 종합성능등급 산정기법	매뉴얼	- 종합산정등급 신뢰도 95% 이상 확보
	- 지하 콘크리트 구조물 종합 성능관리 매뉴얼	매뉴얼	- 성능관리 매뉴얼 제시
	- 모형화 기법을 활용한 최적점검주기 의사결정 모델	프로그램 (S/W)	- 수치해석 검증을 통한 최적점검주기 정확도 90% 이상 확보
	- Optimization 기술을 활용한 환경인자, 손상영향이 적용된 사회적 비용 산정 기술 개발	프로그램 (S/W)	- 사회적 비용 산정 평가 신뢰도 95% 확보
	- Recommender System 기법을 활용한 지하 콘크리트 구조물의 종합성능과 경제성이 반영된 최적 점검주기 산정체계 구축	프로그램 (S/W)	- 최적 점검주기 제시 및 대안 확보
지하 콘크리트 구조물 성능 검사·평가 기술개발 및 절차화	- 지하 콘크리트 구조물 성능 검사/평가/예측을 위한 테스트베드 구축 및 시험 적용	테스트 베드	- 1,2,3세부 성과 종합 평가 검증 확보
	- 지상환경을 고려한 지하환경 추정 기술	특허, 장치	- 환경 예측 신뢰도 95% 확보
	- Virtual Reality 기술을 활용한 지하 콘크리트 구조물의 이상징후 검출 기술	특허, 장치	- 기술수준 선진국 대비 90% 확보
	- 지하 콘크리트 구조물의 성능평가 기반 유지관리 절차서	매뉴얼	- 지하구조물 유지관리 절차서 제시
지하 콘크리트 구조물의 공용기간 예측기술 개발	- 지하 콘크리트 구조물의 성능 검사/평가에 대한 제도화(안) 마련	매뉴얼	- 성능 검사/평가 절차서 제시
	- 열화환경별 유지보수를 통한 지하 콘크리트 구조물의 성능예측 기술 개발	시작품	- 열화환경별 성능예측 알고리즘 제시
	- 손상 원인 맞춤형 지하구조물의 성능회복을 위한 보수 및 유지관리 기술 개발	시작품	- 손상 원인 맞춤형 성능회복 보수 시작품 제시
	- 이상 징후 발생에 따른 지하환경 최적화 긴급 성능회복 기술 개발	시작품	- 긴급 성능 회복 시작품 제시
	- 지하 콘크리트 구조물의 성능회복 매뉴얼 개발	매뉴얼	- 성능회복 매뉴얼 제시

V. 연구개발과제 구성 및 추진전략

1. 인력투입계획

〈표 14〉 중점추진분야별 인력투입계획

(단위 : Man·Year)

분류		1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	5차년도	합계
총괄		28.04	22.97	26.96	23.50	32.95	134.42
중점 추진 분야 1	1세부기술	4.17	3.36	4.03	3.04	5.24	19.84
	2세부기술	6.70	5.38	6.71	5.06	9.16	33.01
	소계	10.87	8.74	10.74	8.10	14.40	52.85
중점 추진 분야 2	1세부기술	7.11	6.17	6.28	7.16	7.63	34.35
	2세부기술	-	-	1.88	2.16	3.06	7.10
	소계	7.11	6.17	8.16	9.32	10.69	41.45
중점 추진 분야 3	1세부기술	5.03	4.03	4.03	3.04	3.93	20.06
	2세부기술	5.03	4.03	4.03	3.04	3.93	20.06
	소계	10.06	8.06	8.06	6.08	7.86	40.12

○ 연구인력 투입 단위는 기본으로 참여율 50%를 기준으로 Man·Year 단위로 산출

○ 각 세부기술별로 다소 차이는 있으나 전체 연구비 중에서 인건비 비율을 25~38% 사이로 설정한 후 이에 적합하게 투입 인원을 산정가능하도록 도출

○ 인건비 기준은 2016년 학술연구용역 표준단가를 기준으로 작성함

2. 소요예산

〈표 15〉 연차별 소요예산

(단위: 백만 원)

구분	1차년도		2차년도		3차년도		4차년도		5차년도		합계	
	정부	민간	정부	민간	정부	민간	정부	민간	정부	민간	정부	민간
총괄	3,500	1,166.67	3,500	1,166.67	4,100	1,366.66	4,100	1,366.66	4,800	1,600	20,000	6,666.66
중점추진분야 1	1,300	433.34	1,300	433.34	1,600	533.33	1,600	533.33	2,200	733.34	8,000	2,666.68
1세부기술	500	166.67	500	166.67	600	200	600	200	800	266.67	3,000	1,000.01
2세부기술	800	266.67	800	266.67	1,000	333.33	1,000	333.33	1,400	466.67	5,000	1,666.67
중점추진분야 2	1,000	333.33	1,000	333.33	1,300	433.33	1,300	433.33	1,400	466.66	6,000	1,999.98
1세부기술	1,000	333.33	1,000	333.33	1,000	333.33	1,000	333.33	1,000	333.33	5,000	1,666.65
2세부기술	-	-	-	-	300	100	300	100	400	133.33	1,000	333.33
중점추진분야 3	1,200	400	1,200	400	1,200	400	1,200	400	1,200	400	6,000	2,000
1세부기술	600	200	600	200	600	200	600	200	600	200	3,000	1,000
2세부기술	600	200	600	200	600	200	600	200	600	200	3,000	1,000

※ 특기사항

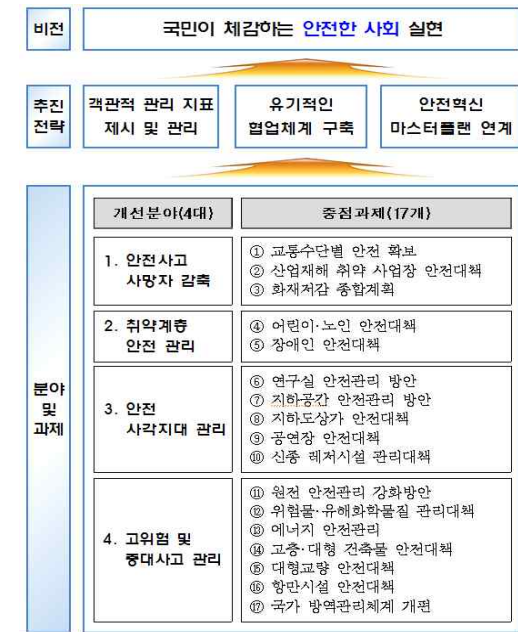
- 중점추진분야 1 : 1~3차년도 성능등급 산정기법, 통계학적 모형화 기법 개발, 4~5차년도 종합성능관리 체계 구축, 테스트 베드 적용
- 중점추진분야 2 : 1~3차년도 지하구조물 성능 검사·평가기술 개발, 4~5차년도 지하구조물 성능 검사·평가에 대한 제도화(안)마련
- 중점추진분야 3 : 1~3차년도 지하구조물 성능, 공용기간 예측기술 개발, 4~5차년도 환경별 예측기술을 반영한 구조물의 성능예측 기술 개발

VI. 사전타당성 검토

1. 정책적 타당성

가. 국민안전 중점과제 추진계획과의 부합성

- 관계부처 합동으로 발표된 「국민안전 중점과제 추진계획」에 따르면 “지하공간 안전관리 방안”은 17대 중점과제 중 하나 (출처: 안전관계장관회의, 관계부처 합동, 2016.3.31.)



〈그림 13〉 지하공간 안전관리 강화를 통한 안전사회 실현 (안전관계 장관회의, 2016.03.31)

- 본 기획 연구단의 기술개발을 통한 정부 정책 실현

- 지하 콘크리트 구조물의 성능중심 검사·평가 기술 개발을 통해 지하구조물의 안전에 대한 사전대응 체계 마련
- 공용기간 연장기술 및 성능 예측 기술 개발을 통해 지하구조물의 정량적인 점검주기를 점검주체에 제안하는 의사결정 시스템 제시

나. 지반침하 예방을 위한 지하안전관리 강화 대책 부합성

- 정부에서는 국토교통부가 중심이 되어 관계장관회의에서 「지반침하 예방을 위한 지하안전관리 강화 대책」을 발표 (출처:국토부, 지하공간 안전관리 강화 대책 마련, 안전 관계장관회의, 2016.08.23)
- 국토교통 R&D 사업 추진을 통한 정부 정책을 보조
 - “노후 하수관 부식, 침식에 대한 점검 및 정밀조사 실시 추진”을 안전관리 강화 대책의 주요 내용 중 하나로 설정
 - 본 연구에서는 지하구조물의 부식, 침식을 포함한 지하 콘크리트 구조물의 내구성 및 사용성의 관점에서 성능중심 검사, 평가하는 기술의 개발과 철거화를 수행하여, 지하안전관리 강화 대책을 지원

다. 시설물의 안전관리에 관한 특별법(2018.1 시행)의 보완책

- 변화된 시설물 안전관리에 관한 특별법
 - 시설물 규모에 따라 국민안전처(재난 및 안전관리 기본법·재난법)와 국토부(시특법)로 시설물 안전관리가 이원화되던 것을 국토부 중심으로 일원화
 - 재난법상 특종관리대상시설을 시특법상 3종 시설물로 편입·신설해 대·중형 시설물 뿐 아니라, 소형 시설물까지 전문가가 안전관리
 - 국토부 장관은 국가 시설물이 안전하게 유지관리 될 수 있도록 5년마다 시설물의 안전 및 유지관리 기본계획을 수립하고 이행
 - 시설물 안전관리가 국토교통부에 일원화되고, 국가가 집중 관리하는 중대형 시설물(1·2종)에서 소외됐던 소규모 시설물도 3종 시설물로 편입해 전문가가 안전관리
- 시설물 안전관리를 위한 평가방법에 성능중심 평가기법 적용
 - 사회간접자본(SOC) 노후화에 사전 대응하기 위해 현행 안전진단에 내구성과 사용성 등을 추가해 시설물 성능을 종합평가하고, 평가결과를 반영해 유지관리 실시
 - 시설물의 객관적 현황과 장래의 성능 변화를 파악·예측하고, 보수·개량·교체의 최적시기를 결정해 시설물을 건강하게 유지하는 것이 목표
 - 그러나, 본 개정안에서 지하구조물은 제외되어 본 연구과제에서 지하구조물에 대한 성능 중심 평가 기법 개발 및 성능예측 기법 개발을 수행, 시설물의 안전관리에 관한 특별법에 대한 보완책으로 활용 가능

2. 기술적 타당성

가. 기술개발 계획의 적절성

- 본 연구 비전 및 목표를 구체적으로 제시
 - 본 연구의 비전은 “안전한 도시환경 구축을 위한 지하 콘크리트 구조물 중 합성능평가기술 구현”임
- 비전과 목표 달성을 위한 단계별 연구사업 구성
 - ▶ 1단계 (핵심기술 개발) ;
 - 지하 콘크리트 구조물의 정량적인 성능 점검·평가 기술 개발
 - 지하 콘크리트 구조물의 성능예측 및 공용기간 연장기술 개발
 - ▶ 2단계 (실용화 기술 개발)
 - 지하 콘크리트 구조물의 종합적인 성능 평가기술 개발
 - 지하 콘크리트 구조물의 점검주기 의사결정 지원 시스템 개발
 - 지하 콘크리트 구조물의 종합적인 성능회복 기술 개발

나. 기술수준 및 성공가능성

- 기술개발을 위한 전문인력 보유 정도, 기술 구축정도, 연구시설 및 설비, 기술 투자지원 등은 선진국에 비교하여 다소 부족하지만 5년의 연구기간이면 개발 가능함
 - 각 세부과제 관련 전문인력은 선진국 대비 부족하지만 대부분의 분야에서는 국내 연구진들로 기술개발이 가능
 - 현장 테스트베드 등의 인프라 구축은 보유하고 있지 않지만, 국내 관리주체 또는 점검주체의 협의를 거친다면 충분히 성공적인 수행이 가능

다. 기존 사업과의 중복성 검토

- 본 기획과제에서는 기획과정과 자문위원회 검토를 통해 기존 연구와의 중복성을 검토하였으며, 기존 연구와 연계, 활용, 차별화 전략을 제시하여 중복성을 최소화하였음
- 중복성 조사는 1차적으로 NTIS 자료 및 각 부처 R&D 계획 자료를 이용하여 중복가능성이 있는 사업과 과제들을 스크리닝 하였음
- 기획과정에서 전문가 워크숍을 추진하여, 1차 스크리닝 결과에 대해 검토를

하였으며, 기획 타당성 검토 시 제기된 중복과제에 대해 면밀한 검토를 하였음

〈표 16〉 기존연구와의 중복성 검토

연구과제명	주요연구내용	중복성 검토
도심지 지반함몰 저감을 위한 지하매설물 설치 기술 개발 (2014. 12. 29 ~ 2016. 06. 28)	지하매설물 설치기술 분야 연구기획 (하수관거에만 국한하지 않고 7대 매설물 설치에 따른 지반함몰 문제점 분석과 이를 해결하기 위해 개발이 필요한 기술에 대한 기획 수행) -고유동성 채움재 개발 고유동성 채움재 설계, 시공기법 및 시공지침 개발	고유동성 뒤통재 개발이 목적으로 본 사업과 관련이 적음
국토 라이프라인 연구개발사업 기획 (2014. 06. 19 ~ 2015. 06. 18)	-국토 공간 내 기반시설과 이의 연결망으로 구성되는 “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 하는 사업으로 본 사업과 관련이 적음
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 조사기술과 보수기술의 개발이 목적임.
하수관로로 인한 지반침하 방지를 위한 가소성 뒤통재 현장적용기술개발 (2014. 12. 01 ~ 2016. 09 .30)	하수관로 누수 방지, 다짐특성 개선을 위한 가소성 채움재 개발 -가소성 채움재를 이용한 하수관로 뒤통재 다짐특성 평가 및 현장적용 기술개발	하수관로 누수 방지를 위한 뒤통재 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 도시배수시스템 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, 광역교통시설물을 관리하기 위한 신개념 도출이 목적임. 본 연구사업과 관련이 없음.

□ 지하구조물 유지관리 및 모니터링 관련 연구사업 검토

○ “사물인터넷(IoT) 기반 도시 지하매설물 모니터링 및 관리시스템 기술 개발”

- 위의 과제는 지하구조물을 대상으로 균열, 파손, 침하 등 구조적 성능적 이상 발생을 즉시 감지하는 기술로, 본 연구에서는 지하 콘크리트 구조물의 이상 발생 이전 내구성 및 사용성 관점에서의 사전대응적 시각에서의 접근을 하고 있으므로, 차별화된 연구로 평가됨

○ “안전한 지반굴착기술 및 지하수, 지반구조 영향 예측·평가·관리기술 개발 기획”

- 위의 과제는 굴착으로 인한 지반과 지하수에 대한 영향을 검토하고 있으므로, 본 연구에서 지하 환경과 콘크리트 구조물의 열화와 관련된 관점에서의 접근과는 다른 시각이기 때문에 차별화된 연구로 평가됨

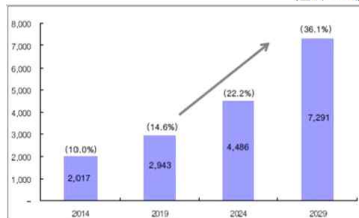
○ “사회기반시설(SOC)의 성능중심 관리·운영을 위한 한국형 성능등급 산정기술 개발”

- 위의 과제는 사회기반 시설의 성능중심적 관점에서의 관리 운영을 위한 평가기술 개발이라는 점에서는 유사하나, 본 연구에서의 대상 구조물은 지하 구조물로 기존과제에서 다루고 있는 사회기반시설과는 나뉘어 있는 환경이 전혀 다르기 때문에 차별화된 연구로 평가됨

3. 경제적 타당성

- 시설물안전관리에 관한 특별법 관리 대상 1, 2종 시설물 중 30년 이상 경과 자산의 비율은 2019년에는 약 15%, 2024년에는 22%, 그리고 2029년에는 약 36%로 그 증가 비율이 점차 가속화되는 것을 알 수 있음
- 서울시의 상·하수도 연령별 분포 자료에 의하면 2014년 현재 사용 연수가 30년 이상 경과한 자산의 비율이 48.3%에 이르며, 50년 이상 경과한 자산의 비율도 30%를 초과하는 것으로 나타남

〈그림 14〉 노후시설물 비중 증가추세
(단위 : 개)



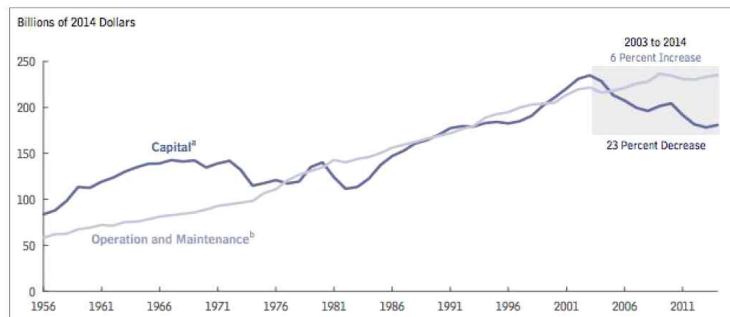
자료 : 한국시설안전공단(2015).

〈그림 15〉 서울시 상·하수도 연령별 분포



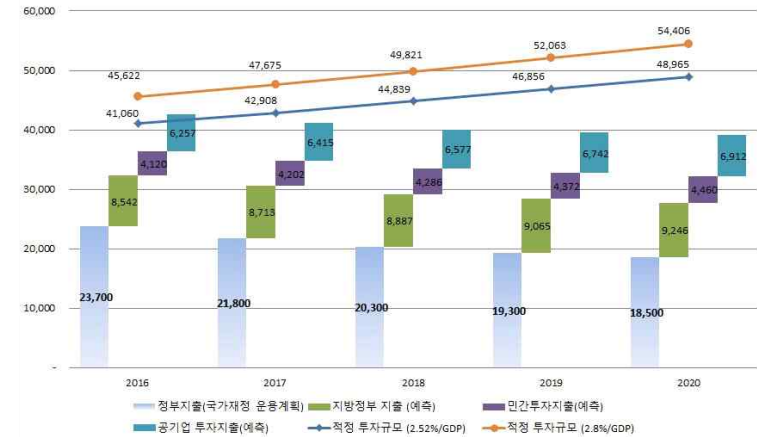
자료 : 서울시, (2015) 도로합물 특별관리대책.

- 미국의 경우. 1940년대부터 본격적으로 SOC 건설을 시작하고 60년이 지난 2000년대부터 유지·관리비가 신규 투자비용을 지속적으로 초과하기 시작하여, 이미 재투자과 개량 투자 비중이 상당히 높아졌음을 알 수 있음
- 2010년대 초반까지 GDP의 4~5%를 꾸준히 SOC에 투자하였음에도 불구하고 평균 시설물 등급이 지속적으로 하락하였으며, 2009년 이후부터는 막대한 재투자과 개량 투자비용으로 인하여 유지와 보수에 급급한 실정임



〈그림 16〉 미국의 SOC 투자 추이

- 우리 정부는 2016년 23.7조원의 SOC 투자 예산을 2020년 18.5조원까지 연평균 6%씩 감축하는 것으로 계획하고 있지만, 한국건설산업연구원이 우리나라 장기 재정전망을 근거로 교통인프라 유지·보수 예산을 예측한 결과적정 SOC 투자금액은 매년 현저히 증가하고 있음



〈그림 17〉 SOC 투자금액 현황 및 예측

- SOC에 본격적으로 투자하기 시작한 1960년대부터 약 50년 간 누적되어 온 감가상각비는 향후 50년 동안 재투자 수요로 나타날 것이며, 이로 인하여 2010년대 후반부터 재투자과 개량 투자 비중이 급격히 증가될 것으로 전망됨
- 신설 투자는 선택에 따라 실시하지 않을 수도 있지만, 재투자과 개량 투자는 국민의 안전과 직결되므로 자산을 폐기하지 않는 한 투자에 대한 선택의 여지가 없다는 점에서 시설물 유지관리 시장의 확대가 전망됨

목 차

1장. 기획 필요성	1
1절. 기획배경	1
1. 기획과제의 정의 및 기획배경	1
2. 기획 과제 대상 구조물의 정의	10
2절. 지하 콘크리트 구조물의 안전성 향상	13
1. 지하 콘크리트 구조물의 사고발생 요인 분석	13
2. 지하 콘크리트 구조물의 사고방지 대책	15
 2장. 국내외 동향 및 환경분석	 17
1절. 국내외 정책 동향 및 분석	17
1. 국내 정책 동향 및 분석	17
2. 해외 정책 동향 및 분석	23
2절. 국내외 시장 현황 및 분석	28
1. 국내 시장 현황	28
2. 해외 시장현황 및 전망	42
3절. 국내외 기술현황 및 분석	47
1. 국내 구조물 상태평가 분야 현황	47
2. 해외 구조물 상태평가 분야 현황	57
3. 특허 분석	63
4. 논문분석	78
4절 국내 연구개발 인프라 분석	86
1. 연구 실험시설 인프라	86

5절. 종합 분석	92
1. 국내외 동향분석	92
2. 해외 기술동향 분석을 통한 방향설정	94
3. 특허 및 지적재산권 분석	95
4. 논문 분석	95
5. 분석 결과	96
 3장. 기술수요 및 수준 · 예측조사	 97
1절. 기술수요조사	97
1. 개요	97
2. 기술수요조사 분석결과	99
2절. 기술수준 및 예측조사	101
1. 개요	101
2. 기술수준/예측조사 결과	107
3. 연구개발 추진과제 구성 및 주요 내용	114
4. 기술수준/예측분석 결과	115
3절. SWOT / Issue-Tree 분석	157
1. SWOT분석	157
2. Issue-Tree 분석	160
 4장. 연구개발과제 구성 및 추진전략	 163
1절. 비전 및 목표	163
1. 비전	163
2. 목표	163
2절. 중점추진분야	165

1. 중점추진분야 설정 과정	165
2. 중점추진분야 구성	166
3. 후보과제 Pool 구성 및 우선순위 평가	169
4. 연구개발 추진과제 구성 및 주요 내용	170
5. 주요 성과물 및 성과지표	171
6. 기대효과 및 파급효과	172

5장. 인력투입계획 및 소요예산 산정 174

1절. 연구일정에 따른 인력계획 174

1. 전체사업 인력투입계획	174
2. 중점추진분야별 인력투입계획	175

2절. 소요예산 산정 178

1. 예산 산정방법	178
2. 전체사업 소요예산	179
3. 중점추진분야별 소요예산	181

6장. 사전타당성 검토 184

1절. 정책적 타당성 184

2절. 기술적 타당성 185

1. 기술개발 계획의 적절성	185
2. 기존 사업과의 중복성 검토	186

3절. 경제적 타당성 187

1. 경제적 타당성 평가	187
2. 편익분석	188

7장. 과제 제안요구서 작성 및 평가기준 설정 193

1절. 과제 제안요구서(RFP) 193

1. 연구단 제안요구서(RFP)	193
2. 1세부과제 제안요구서(RFP)	201
3. 2세부과제 제안요구서(RFP)	205
4. 3세부과제 제안요구서(RFP)	210

2절. 평가기준 설정 215

1. 평가항목	215
2. 가점 및 감점기준	217

부록. 소분류 기술별 포트폴리오 분석결과 222

1장. 기획 필요성

1절. 기획배경

1. 기획과제의 정의 및 기획배경

가. 기획 과제의 정의

□ 본 기획연구에서는 관련 시장 및 기술 전망 분석을 통해 “지하 콘크리트구조물의 성능극대화를 위한 전주기적 통합유지관리 시스템 개발 기획” 기획연구의 적용 대상과 예상 연구내용을 다음과 같이 설정하였음

□ “지하 콘크리트구조물의 성능극대화를 위한 전주기적 통합유지관리 시스템 개발 기획”에서 정의하는 기술은 재난재해 사고의 주요 요인을 내재하고 있는 지하 구조물을 대상으로,

- ① 성능중심의 진단, 점검, 평가 기법 개발,
- ② 보수보강 전/후 지하구조물의 성능예측 기법 개발 및 적용을 통해,
- ③ 지하구조물 관리주체의 유지보수 의사결정을 지원하는 시스템 개발에 이르는 세 기술분야를 핵심기술로 정의함

□ 본 기획연구에서의 대상 구조물은
 “시설물 안전관리에 관한 특별법(이하 시특법)” 관리대상 구조물인
 1,2종 시설물과 그 외의 시설물(3종 시설물 - 2018년 재난 및 안전관리 기본
 법 포함 구조물) 및 구조물을 포함한 지하 콘크리트 구조물로 정의함

지하구조물의 성능중심 유지관리체계 도입을 통한 국민 안전 향상 및 사회적 비용절감



<그림 1-1> 과제 정의 및 범위

□ 대상 구조물 지정근거

- 대상 지하구조물은 2015년부터 수행되는 지하공간통합정보를 통해 수집되는 정보와의 통일성을 갖고, 추후 정보의 공유 및 연계가 가능하게 하고자 지하구조물의 범위를 정의

<표 1-1> 지하공간통합정보에 포함된 지하시설물, 지하구조물, 지반관련 정보

지하공간정보	종류	소계
지하시설물	①상수도 ②하수도 ③통신 ④전력 ⑤가스 ⑥난방	6
지하구조물	①공동구 ②지하철 ③지하보도 ④차도 ⑤상가 ⑥주차장	6
지반	①시추 ②관정 ③지질	3

- 또한 기존 연구에서 조사한 지하공간 내 시설, 지하공간계획의 물리적 대상의 정의와 비교했을 때, 본 기획에서 정의하는 대상 지하구조물의 정의와 크게 다르지 않아 당위성에 부합함을 확인함

- 국내 지하공간의 현황 부분에서, 물리적 지하시설의 범위는 크게 두 가지로 정리 할 수 있는데, 사용목적에 기반한 분류, 구조물형식에 따른 분류 가능

- 사용목적에 따른 구분은 교통상업관련시설, 생활기반시설, 치수관련시설, 환경기초시설로 구분 가능하며, 구조물형식에 따라 건축 및 토목분야로 구분 가능

<표 1-2> 서울시 행정구역 지하공간에 설치된 각종시설(서울시정개발연구원, 2006)

분류	대상시설	분류	대상시설
생활기반시설	상수도(정수장, 취수장 등)	교통상업관련시설	지하보·차도, 지하도로 및 지하광장
	하수도		지하철
	통신시설		지하상가, 지하주차장
	전력시설(전력구)	치수관련시설	복개하천, 유수지, 저수지 등 저류시설
	가스시설		하수도 및 폐기물 처리시설
	열공급시설	환경기초시설	
	공동구		

<표 1-3> 지하공간계획의 물리적 대상(국토해양부, 2008)

대분류	중분류	내용	비고
건축부문 (Architecture)	A1. 건물지하	건물 지하층에 설치되는 생활시설 및 주차장	유인(有人)시설
	A2. 지하공공보도시설	도로 등의 하부에 설치되는 보행통로와 상가가 결합되는 시설	유인(有人)시설
	A3. 지하공공주차장	공원이나 광장하부에 도시계획시설로 설치되는 공공주차장	-
토목부문 (Civil)	A4. 지하저장시설	석유류비축기지	무인(無人)시설
	C1. 지하철	지하철	무인(無人)시설
	C2. 지하도로	지하차도/지하보도	무인(無人)시설
	C3. 인프라스트럭처	공동구, 전력구, 상하수도 등 Life line	무인(無人)시설
	C4. 지하발전소	지하양수발전소	무인(無人)시설

나. 배경 및 필요성

□ 지하 콘크리트 구조물의 성능평가 체계의 부재

- 지하 콘크리트 성능평가 체계의 가장 큰 필요성은 역설적이게도 지하콘크리트 구조물의 상태에 대한 부지(不知)에 있음
- 최근, 싱크홀 및 포트홀의 발생에 따라 지반 침에 대한 사회적 관심이 발생했으며, 싱크홀과 포트홀의 원인 중 하나로 지하 상/하수 시설이 지목되어 상/하수 시설에 대한 안전 점검 법령, 체계 마련이 가속화 되고 있는 실정임
- 하지만 여타의 지하 콘크리트 구조물들의 경우, 다른 SOC 시설물들과 함께 1970년대부터 건설된 상태로 현재까지 매립되어 운영중이지만, 지하 콘크리트 구조물에 대한 관심의 부재(不在)가 가장 큰 문제임
- 특히, 지하콘크리트 구조물은 다양한 지하환경하에 매설된 특성에도 불구하고 그 성능에 대해 별도의 관리 및 성능평가 체계가 없음
- 2017년 개정된 시득법에도 지하 콘크리트 구조물의 성능평가에 대한 영향은 터널과 공항시설물의 일부를 제외하고 반영되지 않아, 본 기획과제를 통해 지하콘크리트 구조물에 대한 성능평가에 대한 중요성을 강조하고자 함
- 국토교통부에서는 급증한 사회기반 시설물이 급속히 고령화되고 있어 노후 시설물의 수명 연장을 위한 대책이 시급함을 인지하고 체계적인 유지관리가 필요한 시설물에 대해 정기적인 성능평가를 실시하고 목표성능 구현에 필요한 유지관리부터 전략적으로 시행할 수 있도록 관련 제도를 정비 중에 있음.
 - 교통과 관련된 지하 구조물(차도, 주차장, 상가 등), 지하철, 상하수도, 송유관, 통신시설, 전력시설, 가스시설, 열공급시설, 공동구 등
 - 초고층 빌딩에 의한 지하주차장 심도 증가, 교통시스템 정비에 따른 지하철 건설, 혐오시설의 지하화, 기후변화 대응 시설의 지하화 등 지하공간 활용의 증가
- 또한 지하라는 육안검사의 한계를 가진 환경 하의 콘크리트 시설물 및 구조물에 대한 특화된 통합 유지관리 모니터링 및 보수보강 기술의 확보를 위해서는 정부에서 수립한 전략에 부흥할 수 있는 R&D 투자 및 지원이 필요함.

□ 현존하는 대규모 지하공간에 대한 성능평가 대책 수립 필요

- 지하시설물 및 지하구조물은 그 연장이 조사된 수준에서만도 지구를 약 5번(지구둘레: 46,250km) 가까이 돌아갈 수준의 구조물이 지하에 묻혀있다는 것이다. 만약 조사되지 않았거나 반영되지 않은 지하구조물까지 포함된다면 그 연장과 넓이는 더욱 넓어질 것임
- 매립된 대부분의 지하구조물 및 지하시설물은 콘크리트로 구성되어 있으며, 경제 발전과 함께 건설되어 매립된지 20~30년의 수명을 거친 지하구조물도 다수의 비율을 차지하고 있지만, 구조물의 매립시기 및 수명에 대한 현황은 정량적인 평가가 없음

지역	개소 (개)	연장 (m)	중연면적 (m²)	상가면적 (m²)	점포수 (개)
서울특별시	29	5,820	146,374	50,547	2,776
부산광역시	7	2,517	65,383	25,673	1,234
대구광역시	6	2,146	119,677	34,002	1,412
인천광역시	15	6,504	92,100	32,637	2,607
광주광역시	2	730	30,368	9,648	510
대전광역시	2	1,481	47,300	14,935	817
강원도	2	1,013	34,546	8,245	360
경기도	7	1,809	90,083	31,552	2,054
경상남도	3	1,228	27,608	10,356	703
전라남도	1	250	4,823	1,823	135
제주도	1	440	10,086	3,896	382
충청남도	1	384	9,722	3,116	290
충청북도	1	246	5,424	1,853	120
소계	77	24,568	683,494	228,283	13,400

지역	개소 (개)	수용대수 (대)
서울특별시	22	2,789
대구광역시	10	2,385
광주광역시	4	912
울산광역시	4	586
강원도	1	210
경기도	59	10,515
경상남도	1	29
전라남도	1	225
소계	102	17,651

지역	상수도연장 (km)	하수도연장 (km)
서울특별시	14,064	1,928
대구광역시	7,327	5,015
광주광역시	5,133	3,613
울산광역시	2,207	2,813
강원도	7,266	4,263
경기도	20,007	16,961
충청북도	5,245	3,674
충청남도	6,753	3,529
경상북도	12,830	7,021
경상남도	11,048	7,861
전라북도	9,559	5,730
전라남도	7,866	46,112
제주도	4,786	2,695
소계	114,090	111,215

지역	공동구연장 (km)	전력구연장 (km)	비고
서울특별시	32.8	2.4	
대구광역시	0.0	22.4	통신구15.183km 별도
광주광역시	1.8	7.2	
울산광역시	0.0	2.3	
전라남도	0.6	0.0	
전라북도	0.0	6.0	
경상남도	5.4	26.9	
경상북도	1.5	2.5	
경기도	91.8	0.0	
충청북도	2.5	5.0	
소계	136.4	74.7	

출처:
지하공간활용 및 관리개선연구
국토해양부
지하공간 종합기본계획 수립
서울시정개발연구원

도시	노선	연장 (km)	역수 (개)
서울특별시	1호선	9.9	10
	2호선	62.1	37
	3호선	37.7	29
	4호선	33.4	21
	5호선	54.8	51
	6호선	36.7	38
부산광역시	7호선	48.9	42
	8호선	20.9	17
	9호선	25.5	25
대구광역시	분당선	25.1	19
	1호선	32.5	34
	2호선	46.0	42
	3호선	18.3	17
	1호선	28.4	30
인천광역시	2호선	29.0	26
	1호선	22.9	23
광주광역시	1호선	12.1	14
	1호선	22.6	22
대전광역시	1호선	566.8	497

지역	명칭	규모(배월)	저장내용	건립연도
경기 구리	한국석유공사 구리지사	300만	경유, 등유	1981
경기 평택	한국석유공사 평택지사	440만	LPG	1989
경남 거제	U2 원유 비축기지	4750만(면적 87만m²)	원유	1차(1985), 2차(1997), 3차(2006)
전남 여수	삼일자원비축기지	4970만(면적 396만m²)	원유	1998

<그림 1-2> 지하구조물의 분류별 건설 및 운영 현황

□ 지하공간 개발의 가속화에 따른 성능평가 중요성 대두

- 기존 지하구조물 뿐 아니라 향후 개발될 지하공간에 대한 가이드라인 제공이 필요
- 2016년 서울시가 지하공간 개발에 박차를 가하고 있으며, 지하화 공사를 시작한 서부간선도로와 서울제물포터널, 지하공간 개발 계획을 세운 영동대로와 세종대로, 잠실역 등에 이어 동부간선도로 지하화 계획을 발표, 2026년이면 서울 땅 아래 100만평(330만㎡) 가까운 지하공간이 만들어질 것으로 예상
- 대구 또한 도시화율이 100%에 육박했으며, 이용 가능한 땅이 거의 없기 때문에 지하공간 개발 활성화를 추진하고자 개발계획, 기금마련 등의 사업 방향을 추진하고자 함
 - ‘지하공간 종합개발계획’ 수립 및 중장기, 단계적 개발 로드맵 마련
 - 민간투자사업방식과 지역개발기금, 시민펀드 등을 활용한 지하공간 개발 활성화 전략 수립
- 부산은 도시재생의 한 축으로 지하공원 개발에 대한 구상을 갖고 미국의 세계 최초 지하공원 프로젝트인 뉴욕 “로우라인(Lowline)” 사례를 벤치마킹하고자 모색 중임



<그림 1-3> “땅속으로 파고드는 서울…2026년엔 100만평 지하 도시” - 한겨레신문, 2016.12.15

- 대도시를 기점으로 지하공간의 개발이 가속화되고 있으므로 향후 유지관리에 대한 문제점이 발생되기 전, 지하 콘크리트 구조물의 성능에 대한 명확한 가이드라인의 개발이 필요함

□ 지하 콘크리트구조물의 안전성(함몰 문제 포함)에 대한 논란이 야기

- 지하에서 각종 구조물이 서로 교차하고 근접 시공되는 사례가 증가하고 있음. 터널 및 도로 등과 같은 구조물 뿐 아니라 상하수도관, 가스 및 전기 같은 라이프라인 등이 지중에서 상하로 교차하고 복잡하게 얽혀 있어서 공사 중 뿐 아니라 공사 후에도 지반침하로 인한 사고가 발생
- 국민의 불안을 해결하기 위하여, 건물밀도가 높은 도심지에서의 안전한 지하 콘크리트구조물 유지관리 기술을 개발하여 재해를 저감하여야 함
- 도심지 안전 유지관리 기술은 국내 기반산업의 장점을 융합하여 고부가가치 및 신규 고용을 창출해 낼 수 있기 때문에 기술 국산화를 통한 주력산업으로의 육성 전략이 필요
 - 유지관리 기술은 건설, 기계, 소재, ICT 산업 등 전후방 산업과의 연관도가 높아 기존의 주력산업인 중공업, 철강, ICT 등과 융합 가능

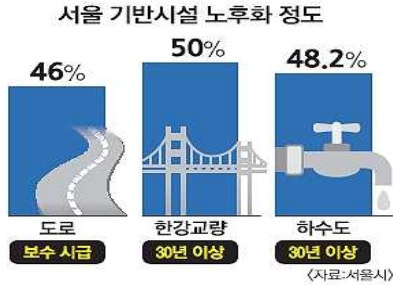
□ 지하콘크리트구조물 노후화로 인한 사고 발생 및 시설물의 유지관리 비용 증가

- 지하 콘크리트 구조물은 지하에 묻혀서 운용되기 때문에 지상의 일반적인 구조물과 달리 외부의 점검이 용이하지 않으며, 구조물 내부 또한 열악한 환경, 좁은 공간 및 각종 시설물 및 장치들의 교차 등으로 인하여 점검 및 유지관리가 용이하지 않음
- 최근 발생한 일련의 지하구조물 붕괴사고 및 지하구조물의 노후화 현황을 종합적으로 분석한 결과, 다음과 같은 평가를 내릴 수 있음

- 1) 국민의 안전과 관련된 도로함몰 등의 일련의 사고는, 지하구조물의 노후화, 열화와 밀접한 관계가 있음
- 2) 지하구조물의 균열, 붕괴 등의 사고발생 전, 사전대응형 안전확보 시스템 필요
- 3) 지하구조물의 성능예측 뿐 아니라, 지하환경-지하구조물-지반에 대한 상호작용 분석 기반 성능평가 및 예측 필요

- 지하 콘크리트구조물의 유지관리 미흡으로 매년 지하 함몰사고로 이어지고 매년 20% 이상 사고 발생률이 증가하고 있는 실정임

- 서울시의 경우 사회기반 시설물의 노후화를 조사한 결과, 30년 이상 된 구조물이 약 50%에 육박하는 것으로 조사되었으며, 지하 콘크리트구조물의 특성상 열화 환경에 노출되어 이를 반영한 표준화된 유지관리 기술이 반드시 필요한 실정임



〈그림 1-4〉 서울시 기반시설 노후화 정도 (서울시, 2015)



〈그림 1-5〉 서울시 지하 구조물 점검 (조선일보, 2015)

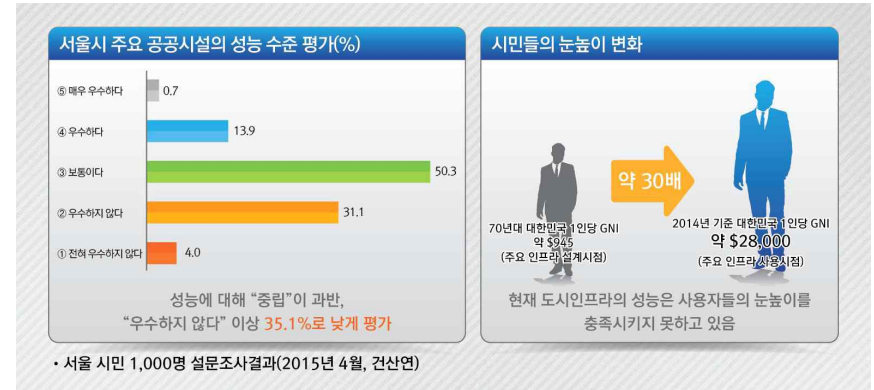
□ 국민이 안심할 수 있는 안전한 생활환경 조성 필요

- 1970년대 경제성장과 더불어 급증한 SOC가 급속히 노후화됨에 따라 안전 확보와 함께 지속가능한 유지관리가 요구됨
- 시설관리주체가 소관 시설물에 대해 안전성뿐만 아니라, 내구성, 사용성 등 성능평가를 실시하고 시설물이 제공해야 하는 성능수준 이상을 유지하도록 시설물의 유지관리의 강화가 지속적으로 요구됨



〈그림 1-6〉 36년 된 복개지하구조물의 균열상태(부산) 〈그림 1-5〉 지하공동구 손상

- 국민들의 인프라성능에 대한 안전체감 및 성능기대수준의 질적 향상에 따른 안전한 생활환경에 대한 수요가 지속적으로 증대(해외 선진 도시에서는 건강의 핵심 요소로 시설 안전과 성능을 강조 - 서울 시민의 35.1%가 주요 공공시설 성능 수준에 대해 불만족)



〈그림 1-7〉 서울시 주요 공공시설 성능수준평가



〈그림 1-8〉 서울시 주요 공공시설 투수수준 및 예산비중 추이

□ 사회기반시설물의 성능평가에 대한 관심 증대

- 압축성장기(7~80년대)에 건설된 SOC가 급속하게 노후화됨에 따라 안전확보와 지속가능한 유지관리체계 구축 필요
 - * 「시특법」상(‘14년) 준공 후 30년 이상 SOC는 10.1%수준, 10년 후 21.5%로 급증 전망
- SOC 노후화는 국민생활의 안전을 위협하고, 이용불편 등과 같은 사회적 비용 증가와 함께 유지보수에 막대한 예산 소요
 - * ’ 50년대부터 건설 붐이 시작된 미국은(우리나라와 약 20년 차이) 현재 인프라 평균 등급이 D등급(위험 수준)에 도달하였으며 5년간 2,500조원 투입 필요



〈그림 1-9〉 서울시 관내 구조물들의 노후화 현황

- 따라서, SOC의 수명을 연장하고 경제·사회적 비용절감과 국민의 안전을 확보할 수 있는 “안전+성능” 중심의 유지관리체계로 전환 필요가 있어 새로이 성능평가 제도가 도입됨에 따라 이의 시행을 위하여 성능평가 대상 시설물, 실시주기 등 제도의 시행을 세부기준을 마련할 필요성 제기

〈표 1-1〉 제1·2종 시설물 경과년수 분포 추이

구분	5년 이하	6~10년	11~15년	16~20년	21~25년	26~30년	31년 이상	합계
항만	71	49	53	62	31	17	49	332
	21.40%	14.80%	16.00%	18.70%	9.30%	5.10%	14.80%	100%
댐	18	38	52	29	32	53	300	522
	3.40%	7.30%	10.00%	5.60%	6.10%	10.20%	57.50%	100%
하천	945	89	98	129	125	86	264	1,736
	54.40%	5.10%	5.60%	7.40%	7.20%	5.00%	15.20%	100%
상하수도	238	284	297	177	130	125	137	1,388
	17.10%	20.50%	21.40%	12.80%	9.40%	9.00%	9.90%	100%
기타	13,280	14,498	14,839	9,841	1,809	969	1,213	56,449
	23.53%	25.68%	26.29%	17.43%	3.20%	1.72%	2.15%	100%
전체	14,481	41,909	15,286	10,176	1,096	1,233	1,914	86,095
	24.10%	24.80%	25.40%	16.90%	3.50%	2.10%	3.20%	100%

지하 구조물 유지관리 비용의 증가

지하 구조물을 포함한 사회 기반 시설물의 유지관리 비용 증가

- 사회기반 시설물의 유지관리 비용 '15년 기준 12.4조원으로 '14년 대비 17%증가 매년 증가
- 사회기반시설물의 안전관련 시스템 운영 및 구축에 매년 24%의 투자 비용 증가
- 2009년 기준 지하 시설물은 지구 7배에 달하는 27만km 운영 중
- 무분별한 지하 시설물의 운영으로 시설물 보호를 위한 지하 콘크리트구조물의 손상이 급증하고 있는 실정
- **지반함몰 사고의 주요 원인으로 지하 콘크리트구조물 중 하수구조물에 대한 지적이 약 85%**
- 서울시의 경우 '15년 기준 지하 콘크리트구조물 유지관리에 4,000억 이상 투입 매년 급속 증가



〈그림 1-10〉 사회기반시설물 중 지하구조물 성능 평가에 대한 관심 증대

지하 콘크리트구조물의 손상에 주목

사회기반 시설물의 사고 증가 원인에 대한 현상 조사 실시

- 지하 콘크리트구조물로 인한 사고 연간 20%이상 증가예상
- 유지관리 체계 미흡 및 콘크리트의 내구성능 저하가 주요원인
- 유지관리 비용 4,000억원 이상 소요 예상
- 지하 콘크리트구조물의 노후환경을 고려한 유지관리 시스템 필요



〈그림 1-11〉 지하콘크리트구조물의 손상원인 규명 및 맞춤형 성능회복 기법 개발 필요

□ 시설안전에 대한 미래 이슈에 대한 선제대응필요

- 시설 및 구조물 안전에 대한 정치, 경제, 환경 등 다양한 분야에서의 미래 트렌드에 대한 선제적 대응 필요
- 지하구조물 안전성 향상을 통해, 사회/정치적 시각에서의 안전에 대한 대국민 신뢰도 향상, 환경적 측면에서의 기후변화에 대한 선제적 대응, 기술적 측면에서의 최신트렌드 반영 등 다각적인 효과 반영

〈표 1-2〉 시설안전 메가 트렌드별 미래 이슈

구분	메가트렌드	시설안전 미래 이슈
정치	안전 위협성 증대	- 복지재원으로 인한 신규 SOC 건설 저주 - 노후화로 인한 안전관리 필요 시설물 및 사회적 불안감 증가 - 환경변화에 따른 시설안전관리 체계 정비 - 시설안전 운영시스템 테러대응방안 강구
경제	국민의 삶을 증시하는 복지경제	- 높은 수준의 시설물 사용성능 요구 - 공공 시설물 유지관리 중요성 대비 투자 미흡 - 안전·사용성능, 유지관리 투자 효율성 확보를 위한 자산관리 활성화
환경	기후변화	- 이상기후 선제대응 시설안전 요구증대 - 저탄소·친화경형 보수·보강재료 및 신공법 개발
기술	기술의 융·복합화	- 시설물의 장수명화 기술 개발 촉진 - 시설물 손상 및 자기치유 기술 부각 - 시설물간 구조물 모니터링 기술 및 정보시스템 고도화 - BIM 안전진단 및 유지 관리 업무 접목 가속
사회	양극화	- 노후 소규모 시설물 및 민간 시설물의 안전 취약현상 심화 - 대형 안전진단기관, 유지관리업체 위주로 시장 및 기술력 편중

□ 국가 안전 정책을 뒷받침할 과학적이고 검증적인 연구 필요

- 시특법상 시설물 7만1109개 중 준공 후 30년 이상 SOC는 2292개로 전체 SOC(2만1878개)의 10.5% 수준이지만 10년 후 23.96%(5241개)로 늘어날 것이 예상됨(지하구조물은 미포함 되어 사각지대에 존재)
- 시설물의 안전관리에 관한 특별법(시특법) 2017년 개정안에는 국토부 장관은 국가 시설물이 안전하게 유지관리 될 수 있도록 5년마다 시설물의 안전 및 유지관리 기본계획을 수립하고 이행함
- 그러나, 개정안에는 도로, 철도, 항만, 댐 등 대통령령으로 정하는 시설물은 성능평가를 하도록 규정되어 있지만, 공항 및 일부구조물을 제외한 지하구조물은 개정안에서 제외된 실정임
- 지하구조물의 특수한 지하노출환경을 반영한 전문적인 유지관리가 필요하지만, 지하구조물의 내구성, 사용성을 반영한 정량적 성능평가, 정책제언, 표준화 추진 등의 정량적인 지하구조물 성능 평가 연구는 미흡한 실정임
- 지하 콘크리트구조물의 성능평가를 토대로 설계단계에서 설정한 사용목적,

기능 및 성능을 반영한 시설물의 현상태를 객관적·정량적으로 평가할 수 있는 방향으로 유도할 수 있는 기술 개발이 필요함

□ 지하구조물 안전관리주체의 의사결정을 지원할 체계적인 지원시스템 필요

- 시설물의 안전관리에 관한 특별법(시특법) 2017년 개정안 및 ‘지하안전관리에 관한 특별법’ (법률 제 13749호, 시행 2018.1.1.) 등의 법률에 따라 관리주체에게 시설물관리계획 수립과 안전점검 의무와 안전조치를 취할 수 있는 권한이 부여됨
- 시장군수와 구청장 등은 민간관리주체 소관 시설물은 시설물관리계획 이행에 대해 연 1회 이상 실태점검 실시 의무화
- 정량화된 점검 기법, 표준을 근간으로 수행한 점검결과를 활용하여 지하구조물의 성능을 예측, 예측결과를 바탕으로 안전관리 주체의 의사결정을 체계적으로 지원하는 시스템이 필요
- 한정된 재정을 효율적으로 투자할 수 있는 근거 확보를 위한 성능평가체계가 반영된 의사결정 지원시스템 마련이 시급
- 지하 콘크리트구조물의 성능극대화를 위한 통합유지관리는 구조적 안전은 물론 성능유지 및 향상, 감가상각 등을 고려하는 종합적 비용편익 분석이 필요



〈그림 1-12〉 지하구조물 안전관리 주체 의사결정 지원 필요성

2. 기획 과제 대상 구조물의 정의

가. 대상구조물의 정의

□ 시설물의 안전관리에 관한 특별법(시특법) 1, 2, 3종 시설물 중 지하콘크리트 구조물

○ 1, 2 종 시설물(시특법 대상), 3종 시설물(특정관리대상, 재난안전법)의 대상 구조물 중 지하에 매설된 콘크리트 구조물을 대상으로 함(1, 2, 3종 시설물은 일원화 된 관리를 위해 2017년부터 국토교통부 소관으로 편입)

○ 2015년 현재, 시특법 대상 구조물은 1, 2, 3종 시설물 대상, 공공/민간, 중앙/지방의 모든 구조물을 대상으로 구조물 수를 산출할 경우, 약 23만여 개의 구조물이 될 것으로 예상

□ 관리법령별 현황

〈표 1-3〉 관리법령별 구조물 현황

구 분	시특법 대상							특정관리 대상						
	합계	중 앙			지 방			합계	중 앙			지 방		
		계	1종	2종	계	1종	2종		계	시설물 분야	건 축 분 야	계	시설물 분야	건 축 분 야
'15년	71,104	13,577	3,885	9,692	57,527	4,289	53,238	164,047	64,632	7,950	56,712	99,385	13,711	85,674

□ D·E등급 시설

〈표 1-4〉 구조물 관리법령별 등급현황

구 분	시특법 대상							특정관리 대상						
	합계	D등급			E등급			합계	D등급			E등급		
		계	중앙	지방	계	중앙	지방		계	중앙	지방	계	중앙	지방
'15년	47	47	24	23	0	0	0	1,171	1,071	270	801	100	42	58

□ 시설물 기준 비교

〈표 1-5〉 교량시설물 안전관리체계 예시

구 분	시특법 대상		특정관리 대상 (3종 시설물로 편입)
	1종 시설물	2종 시설물	
교량	연장 500m이상 교량	연장 100m이상 500m 미만 교량	도로법상 연장 20m 이상 100m 미만 도로교량 농어촌도로정비법상 연장 20m 이상 도로교량
터널	연장 1,000m이상 터널	연장 300m이상 1,000m 미만 터널	연장 300m 미만 터널
공동주택		16층 이상 공동주택	5층 이상 15층 이하 공동주택
건축물	21층 이상, 또는 연면적 50,000㎡ 이상 건축물	16층 이상 21층 미만, 또는 연면적 30,000㎡ 이상 50,000㎡ 미만 건축물	11층 이상 16층 미만 건축물, 또는 연면적 5,000㎡ 이상 30,000㎡ 미만 건축물
판매시설 등		연면적 5,000㎡ 이상 건축물	연면적 1,000㎡ 이상 5,000㎡ 미만 건축물

〈표 1-6〉 시설물 구분

구분	1종 시설물	2종 시설물	특정관리대상시설	3종 시설물
1. 교량 가. 도로교량	- 상부구조형식이 현수교, 사장교, 아치교 및 트러스교인 교량 - 최대 경간장 50미터 이상의 교량 (한 경간 교량은 제외한다) - 연장 500미터 이상의 교량 - 폭 12미터 이상이고 연장 500미터 이상인 복개구조물	- 경간장 50미터 이상인 한 경간 교량 1종시설물에 해당하지 않는 교량으로서 연장 100미터 이상의 교량 1종시설물에 해당하지 않는 복개 구조물로서 폭 6미터 이상이고 연장 100미터 이상인 복개구조물	- 준공 후 10년이 경과된 교량으로 「도로법」상 도로교량 연장 20m 이상~100m 미만 교량 「농어촌도로정비법」상 도로교량 연장 20m 이상 교량 - 비법정도로 상 도로교량 연장 20m 이상 교량 *그 외 도로시설 - 보도육교: 설치된 지 10년 이상 경과 - 지하차도: 연장 100m 미만으로 설치된 지 10년 이상 경과 - 지하도상가: 상가가 설치된 지하도	1. 3종시설물 정의 - 안전처가 관리해 오던 특정관리대상시설이 국토부 시특법 상 제3종 시설로 규정돼 국토부가 관리할 예정임 - 재난발생의 위험이 높거나 재난발생으로 인한 피해가 우려되는 시설물, 노후화 또는 결함으로 보수·보강 등의 정비가 필요한 시설물 등을 제3종시설물의 지정대상으로 정함 2. 제3종시설물의 해제 - 보수·보강 등으로 재난 발생 위험이 해소되거나 용도변경 등으로 계속적 관리가 불필요한 시설물 등을 제3종시설물 해제대상으로 정함 3. 3종 시설물 현황 - 관리주체가 대부분 공공인 토목시설(교량, 터널, 육교, 지하차도 등) 및 건축물 중 공공업무시설, 교육연구시설, 교정 및 군사시설, 지자체에서 점검을 수행하는 공동주택(연립주택) 제외 「2016년 특정관리대상시설 일체조사 결과」를 기준으로 산정 - 총 158,135개 시설 중 66,158개 시설물이 3종 시설물로 분류됨 (국민안전처, 2017.3)
나. 철도교량	- 고속철도 교량 - 도시철도의 교량 및 고가교	- 상부구조형식이 트러스교 및 아치교인 교량 - 연장 500미터 이상의 교량		
2. 터널 가. 도로터널	연장 1천미터 이상의 터널	1종시설물에 해당하지 않는 터널로서 고속국도, 일반국도, 특별시도 및 광역시도의 터널 1종시설물에 해당하지 않는 터널로서 연장 300미터 이상의 지방도, 시도, 군도 및 구도의 터널	- 준공 후 10년이 경과된 터널로 - 연장 300m 미만의 지방도, 시도, 군도 및 구도의 터널 - 농어촌도로의 터널	
나. 철도터널	- 고속철도 터널 - 도시철도 터널 - 연장 1천미터 이상의 터널	3차로 이상의 터널 - 터널구간의 연장이 500미터 이상인 지하차도 1종시설물에 해당하지 않는 지하차도로서 터널구간의 연장이 100미터 이상인 지하차도 1종시설물에 해당하지 않는 터널로서 특별시 또는 광역시에 있는 터널		
3. 항만 가. 갑문 나. 방파제, 파체제 및 호안	- 갑문시설 - 연장 1,000미터 이상인 방파제	1종시설물에 해당하지 않는 방파제로서 연장 500미터 이상의 방파제 - 연장 500미터 이상의 파체제 - 방파제 기능을 하는 연장 500미터 이상의 호안		
다. 계류시설	20만톤급 이상 선박의 하역시설로서 원유부이(BUOY)식 계류시설(부대시설인 해저송유관을 포함한다) - 말뚝구조의 계류시설(5만톤급 이상의 시설만 해당한다)	1종시설물에 해당하지 않는 원유부이(BUOY)식 계류시설로서 1만톤급 이상의 원유부이(BUOY)식 계류시설(부대시설인 해저송유관을 포함한다) 1종시설물에 해당하지 않는 말뚝구조의 계류시설로서 1만톤급 이상의 말뚝구조의 계류시설 1만톤급 이상의 중력식 계류시설		
4. 댐	다목적댐, 발전용댐, 홍수전용댐 및 총저수용량 1천만톤 이상의 용수전용댐	1종시설물에 해당하지 않는 댐으로서 지방상수도전용댐 및 총저수용량 1백만톤 이상의 용수전용댐		

5. 건축물 가. 공동주택 나. 공동주택 외의 건축물	• 21층 이상 또는 연면적 5만 제곱미터 이상의 건축물 • 연면적 3만제곱미터 이상의 철도역시설 및 관람장 • 연면적 1만제곱미터 이상의 지하도상가(지하보도면적을 포함한다)	• 16층 이상의 공동주택 • 1중시설물에 해당하지 않는 건축물로서 16층 이상 또는 연면적 3만제곱미터 이상의 건축물 • 1중시설물에 해당하지 않는 철도 역시설로서 고속철도, 도시철도 및 광역철도 역시설 • 1중시설물에 해당하지 않는 건축물로서 연면적 5천제곱미터 이상(각 용도별 시설의 합계를 말한다)의 문화 및 집회시설, 종교시설, 판매시설, 운수시설 중 여객용 시설, 의료시설, 노유자시설, 수련시설, 운동시설, 숙박시설 중 관광숙박시설 및 관광 휴게시설 • 1중시설물에 해당하지 않는 지하도상가로서 연면적 5천 제곱미터 이상의 지하도상가(지하보도면적을 포함한다)	
6. 하천 가. 하구둑 나. 수문 및 통문 다. 제방 라. 보 마. 배수펌프장	• 하구둑 • 포용조수량 8천만톤 이상의 방조제 • 특별시 및 광역시에 있는 국가하천의 수문 및 통문(通門) • 국가하천의 제방[부속시설인 통관(通管) 및 호안(護岸)을 포함한다] • 국가하천에 설치된 높이 5미터 이상인 다기능 보 • 특별시 및 광역시에 있는 국가하천의 배수펌프장	• 1중시설물에 해당하지 않는 방조제로서 포용조수량 1천만톤 이상의 방조제 • 1중시설물에 해당하지 않는 수문 및 통문으로서 국가하천의 수문 및 통문 • 특별시, 광역시, 특별자치시 및 시에 있는 지방하천의 수문 및 통문 • 국가하천의 제방[부속시설인 통관(通管) 및 호안(護岸)을 포함한다] • 1중시설물에 해당하지 않는 보로서 국가하천에 설치된 다기능 보 • 1중시설물에 해당하지 않는 배수펌프장으로서 국가하천의 배수펌프장 • 특별시, 광역시, 특별자치시 및 시에 있는 지방하천의 배수펌프장	
7. 상하수도 가. 상수도 나. 하수도	• 광역상수도 • 공업용수도 • 1일 공급능력 3만톤 이상의 지방상수도	• 1중시설물에 해당하지 않는 지방상수도 • 공공하수처리시설(1일 최대 처리용량 500톤 이상인 시설만 해당한다)	
8. 옹벽 및 절토사면		• 지면으로부터 노출된 높이가 5미터 이상인 부분의 할이 100미터 이상인 옹벽 • 지면으로부터 연직(鉛直)높이(옹벽이 있는 경우 옹벽상단으로부터의 높이) 30미터 이상을 포함한 절토부로서 단일 수평연장 100미터 이상인 절토사면	
9. 공동구		• 공동구	

2절. 지하 콘크리트 구조물의 안전성 향상

1. 지하 콘크리트 구조물의 사고발생 요인 분석

□ 최근의 사례에서 발생하는 지하 콘크리트 구조물의 붕괴 또는 사고 발생의 경우, 아래와 같이 다양한 원인으로 발생할 수 있음

○ 70-80년대 급속한 경제성장에 따른 저품질의 지하 콘크리트 매설

○ 지하 콘크리트 구조물이 지속적인 열화에 의해 한계수명에 도달

○ 매립된 지하 콘크리트 인근의 환경변화(특수 지장물의 설치 등)

○ 동결방지용 세설제 살포 등의 화학 물질의 누적

○ 기 설계된 성능 이상의 하중부하(상재하중의 변화, 우수 및 하수의 과밀 현상 등)

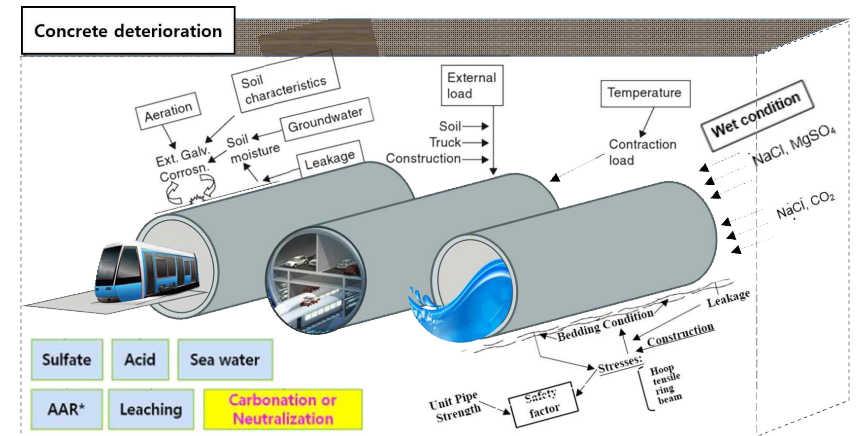
〈표 1-7〉 지하 콘크리트 구조물의 성능저하 원인

열화 발생 조건	발생 문제	발생 원인
재료조건	시멘트의 이상응결	• 시멘트의 품질, 콘크리트의 배합, 골재 및 배합수에 포함된 성분, 기상조건, 시공조건
	시멘트의 수화열	• 대형 구조물의 증가에 따라 매스 콘크리트로 구성되는 구조물에서 발생하는 콘크리트 수화열
	시멘트의 이상팽창	• 불연속한 그물 모양의 형태로 균열이 발생, 깊이는 최대 철근깊이
	점토분이 많은골재	• 점토질 성분으로 인한 이러한 영향은 콘크리트의 인장강도를 저하
	저품질의 골재	• 70년 이후부터 건설공사가 급격히 증대하였기 때문에 골재 공급의 부족을 초래
	알칼리 골재 반응	• 콘크리트의 수산화알칼리를 주성분으로 하는 세공용액이 골재중의 알칼리 반응성 광물과 반응
	콘크리트 중의 염화물	• 해수나 동결방지제에 포함되는 염분에 의해서 염화물이 콘크리트 내에 침투
	콘크리트의 침하, 불리딩	• 굵지 않은 콘크리트에서는 불리딩이 크고 이것에 상당하는 침하
시공환경	콘크리트의 건조수축	• 콘크리트의 타설 초기에 시멘트 풀은 수분의 손실이 발생하여 건조수축이 유발
	운반시간 지연	• 운반차의 성능과 수송시간에 따라 콘크리트의 품질이 변화
	급속한 타설속도	• 레미콘이 한꺼번에 수급이 되어 현장에서 무리하게 타설작업을 실시하면 콘크리트의 낙하가 거꾸집의 측압에 변화를 주거나 재료분리 발생

	부적절한 타설 순서	• 건조수축저감에 시공단계에서 유효한 대책으로 사용되는 분할타설과 같은 경우에서 타설순서의 잘못된 순서로 발생
	콜드 조인트	• 시공이음(construction joint)이란 경화한 콘크리트 혹은 경화하기 시작한 콘크리트에 접하여 새로운 콘크리트를 타설 할 때 생기는 신·구 콘크리트의 이음매에서 발생
	부적절한 다짐	• 콘크리트의 타설시 재료분리가 일어나든가 밀실하게 타설되지 못한 경우
	급속한 건조	• 노출면이 건조한 바람이나 고온 저습한 외기에 노출될 경우에 발생하는 급격한 습윤의 손실에 기인하여 발생
	양생의 불량	• 콘크리트를 타설 한 후 콘크리트가 상당한 강도를 발현하기 전에 충격이나 하중 등의 유해한 영향을 받거나 그 외 수분증발등의 문제 발생
	배관의 피복두께 부족	• 건축물 매립 배관의 이동에 따른 철근 변경 등의 이유로 콘크리트의 피복두께 부족 현상 발생
사용, 환경조건	초기동해	• 타설한 후 초기 동해를 받은 콘크리트는 표면부가 취약하게 된다든지 경우에 따라서는 스케일링(scaling)발생
	환경온도의 변화	• 연속구조물의 경우, 환경온도의 변화로 인해 부재 중의 큰 온도구배 발생으로 구조체에 영향 발생
	부재양면의 온도 습도 차이	• 최근 건축물의 벽체 콘크리트는 냉·난방의 발달로 인하여 여름철·겨울철에는 실내외의 온도도차가 커짐
	동결융해의 반복	• 동결심도 이하의 구조물(예: 서울의 경우 1.2m)들은 동결융해에 의한 열화가 발생, 균열, 박리, 손상 발생
	공동	• 고속으로 물이 흘러가는 수리구조물의 수로표면에 요철이나 급한 굴곡면을 갖는 경우 등 수중에 녹아있던 공기의 기화나 수증기의 발생으로 공동부 발생
	화학적 침식	• 산, 황산염, 염화물, 부식성가스 등으로 인해 부식
구조, 외력조건	전식	• 콘크리트중의 철근이 부식하는 요인 중 중성화와 염화물 이온에 의한 부식 외에 미주전류(迷走電流)에 의해 부식하는 경우
	구조설계	• 설계기준이 확실하지 않거나 잘못되어 있는 경우, 그것을 기준으로 하여 설계되어 건축된 구조물
	응력집중부 (개구부, 부피변화)	• 개구부 모서리, 구조물 끝부분에서 응력집중으로 인한 손상 발생
	하중 변화	• 지하 콘크리트 구조물의 위치에 따라 상재하중의 변화는 시간에 따라 다양한 폭으로 발생, 따라서 상재하중과 구조물의 지지성능에 따른 손상이 발생 가능

□ 지하 콘크리트 구조물의 위치 및 환경에 따른 성능저하 메커니즘

- 지하 콘크리트 구조물은 도심지, 해안가, 산악지 등 다양한 지형에 위치
- 다양한 위치에 놓여있으며, 토양, 지반, 지하수, 오수 등 다양한 환경에 접하고 있음
- 따라서 공간 및 열화인자에 대한 분류화가 필요
- 공간, 위치 및 열화인자 등의 다양한 성능저하 요인에 따른 지하 콘크리트 구조물의 성능평가 기법의 개발이 필요
- 다양한 위치 및 메커니즘에 따른 성능평가 및 성능회복에 대한 기술 개발이 필요하며, 성능 평가, 성능 회복으로 인한 성능예측에 대한 종합적인 평가방법이 필요

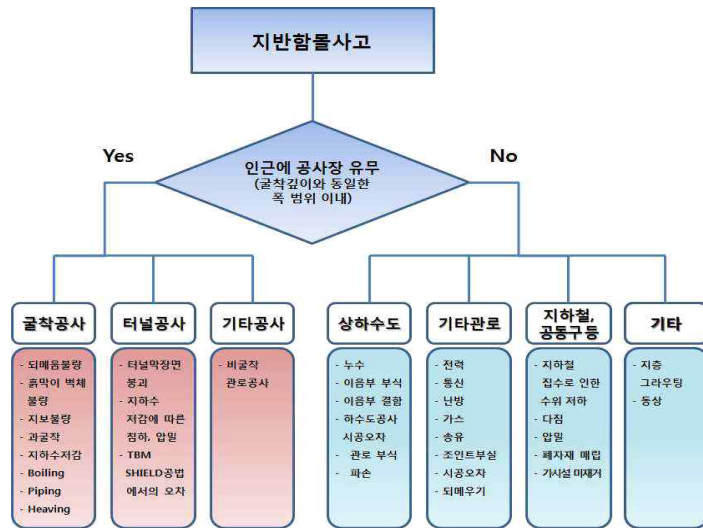


〈그림 1-13〉 지하 콘크리트 구조물의 성능저하 메커니즘

2. 지하 콘크리트 구조물의 사고방지 대책

□ 지반침하 및 함몰 안전관리 매뉴얼

- 2015년 8월 국토교통부에서 발간된 “지반침하(함몰) 안전관리 매뉴얼”의 경우, 지반 침하에 대한 원인분석과 안전관리 방안에 대한 내용으로 구성됨
- 그 중 안전관리 방안은 예방과 대비, 대응, 복구에 관한 내용으로 구성
- 예방은 “3D 지하공간 통합지도 구축 및 관리”, “지하공간 개발행위 안전관리 강화”, “지반과 시설물의 상시적 안전관리” 편으로 구성



〈그림 1-14〉 지반침하(함몰) 발생원인 - 지반침하(함몰) 안전관리 매뉴얼(국토교통부, 2015)

- 특히 지반함몰사고의 경우 그 원인에 대해서 지반함몰이 아닐 경우 위의 그림과 같이 다양한 지하구조물을 원인으로 파악하고 있으며, 원인을 알 수 없는 다양한 지하 구조물이 지반함몰 및 도시안전에 위협을 가한다는 사실을 확인할 수 있음
- 그러나, 지반 함몰에 대한 대책으로 지하정보를 3D 기반으로 통합구축, 지층구조, 지반특성 평가를 하지만, 실제 가장 큰 원인인 지하에 매설/매립된 콘크리트 구조물의 상태는 알 수 없음
- 또한 지반탐사반의 운영을 통해 노후 상하수도관에 대한 정밀조사를 진행할 예정이지만 실제 지하 콘크리트 구조물의 성능을 평가하는 Tool을 마련되어 있지 않기 때문에 반쪽 점검이 될 수밖에 없음
- 따라서 다양한 열화요인에 따른 지하 콘크리트 구조물의 사고방지 대책 마련이 시급함

2장. 국내외 동향 및 환경분석

1절. 국내외 정책 동향 및 분석

1. 국내 정책 동향 및 분석

가. 정부정책기조

□ 시설물 안전 대책관련, 범부처 협력 방안 마련

- 안전관계장관회의, 국민안전 중점과제 추진계획, 2016.03.31. 관계부처 합동
- 국토부, 지하공간 안전관리 강화 대책 마련, - 안전 관계장관회의 「지반침하 예방을 위한 지하안전관리 강화 대책」 보고 - 2016.08.23. 관계부처 합동
- 시설물 안전관리체계 일원화, 3중시설물 신설 SOC시설물 성능평가 실시 - 2017.01.10

〈표 2-1〉 국민안전 중점과제 추진계획 중 지하공간 관련(2016.03.31.)

구분	주요내용
지하공간	· 지반탐사반 강화(장비·인력 확충, 탐사대상 확대) 및 지하안전관리법 하위법령 제정(지하안전영향지반위험도 평가 등의 시행에 필요한 대상, 기술자 자격 등)
지하도상가	· 안전관리 실태점검(구조·설치 기준, 불연재료 여부 및 사고대응 조치 등)

- 국토부, 지하공간 안전관리 강화 대책 마련 중 지하 구조물 관련(2016.08.23.)
 - 하수관 주변부 굴착공사에 대한 관리·감독 강화
 - 노후 하수관 정비사업 확대 추진(환경부)
 - 지하매설물 설치공사에 대한 하자담보책임 명확화
 - 지반탐사를 인도(人道)까지 확대 실시
 - 지하안전 분야 전문교육을 통한 지하안전 전문가 양성
 - 지자체의 지하안전관리 역량 향상을 위한 교육·홍보 강화
 - 지하안전관리 전문업 육성

○ 국토부, 시설물 안전관리 체계 일원화 정책 국무회의 통과(2017.01.10.)

- 시설물 안전관리체계 일원화 및 SOC 성능중심 유지관리 도입 등의 내용을 담은 「시설물의 안전관리에 관한 특별법」(이하 시특법) 전부개정법률안이 국무회의(1.10.)를 통과.(2016.12.29일 국회 본회의 통과)
- 2015년 3월 정부합동으로 발표한 안전혁신 마스터플랜의 후속조치로 그동안 시설물의 규모에 따라 국민안전처(「재난 및 안전관리 기본법」 이하 「재난법」)와 국토부(「시특법」)로 시설물 안전관리가 이원화되어 있었으나, 이번 개정으로 국토부 중심으로 일원화
- 「재난법」상 특정관리대상시설을 「시특법」상 3종시설물로 편입·신설하여 대·중형 시설물뿐만 아니라, 소형 시설물까지 전문가가 안전관리
- 사화간접자본(SOC)에 대해서도 노후화에 사전 대응하기 위해 현행 안전진단에 내구성, 사용성 등을 추가하여 시설물 성능을 종합평가하고, 평가결과를 반영하여 유지관리
- 「시특법」상 시설물(71,109개) 중 준공 후 30년 이상 경과 SOC는 2,292개소이며, 전체 SOC(21,878개소)의 10.5% 수준, 10년 후에는 5,241개소로 23.96%로 예상

〈표 2-2〉 시설물 안전관리 체계 일원화 정책관련 주요사항

구분	주요내용
제명변경	• 법률 제명을 SOC 성능중심 유지관리체계 도입에 따라 「시설물의 안전 및 유지관리에 관한 특별법」으로 변경함
3종 시설물 신설	• 기존 시설물의 규모, 중요도 등으로 구분한 1·2종시설물 외에 소규모 시설물로 3종시설물을 신설 • 중앙 행정기관의 장 또는 지자체의 장이 재난위험이 높거나 재난을 예방하기 위해 관리가 필요한 3종시설물을 지정하도록 함
안전점검실시	• 원칙적으로 관리주체에게 시설물관리계획 수립 및 안전점검 의무를 부여함 • 3종시설물 중 「공동주택관리법」상 의무관리대상이 아닌 공동주택 등 민간관리 시설물 중 대통령령에서 정하는 소규모 시설물은 기존 「재난법」과 같이 지자체장이 시행하도록 함
긴급안전조치	• 시설물 기초의 세굴, 부등침하 등 시설물에 중대한 결함이 발견되는 등 긴급한 조치가 필요한 경우에는 관리주체가 사용제한·사용금지·철거·주민대피 등의 안전조치를 해야 함
성능평가실시	• 도로, 철도 등 대통령령으로 정하는 시설물의 관리주체는 시설물의 성능을 유지하기 위해 성능평가를 실시 • 관리주체는 성능평가를 한국시설안전공단과 안전진단전문기관이 대행할 수 있도록 함
지원센터 설치·운영	• 시설물의 안전 및 유지·관리를 효율적으로 지원하기 위해 한국시설안전공단에서 지원센터를 운영하도록 함
실태점검	• 국토부장관, 주무부처의 장 또는 지자체의 장은 시설물의 안전 및 유지·관리 실태를 점검함 • 시장군수·구청장은 민간관리주체 소관 시설물에 대하여 시설물관리계획 이행 등에 대해 연 1회 이상 실태점검을 실시하도록 함

□ 시특법, 재난안전법 관리 대상 시설물의 일원화

- ‘재난안전법(국민안전처)’ 과 ‘시설물의 안전관리에 관한 특별법(국토부)’ 으로 이원화되었던 시설물 안전관리체계를 시설물 사고예방과 국민안전 강화를 위해 일원화
- 국민안전처에서 관리해 오던 특정관리대상시설을 ‘시설물의 안전관리에 관한 특별법’ 상의 제3종 시설로 규정하여 국토부에서 관리토록 함으로써 시설물이 보다 체계적으로 관리

〈표 2-3〉 「시특법 시행령·시행규칙」 전부개정(안) 中

구분	주요내용					
성능등급 기준	• 시설물의 성능에 따른 안전성등급, 내구성 등급, 사용성 등급, 종합등급 평가					
성능평가의 실시 등	안전등급	정기안전점검	정밀안전점검		정밀안전진단	성능평가
			건축물	그 외 시설물		
	A등급	반기에 1회 이상	4년에 1회 이상	3년에 1회 이상	6년에 1회 이상	5년에 1회 이상
	B·C등급		3년에 1회 이상	2년에 1회 이상	5년에 1회 이상	
	D·E등급	1년에 3회 이상	2년에 1회 이상	1년에 1회 이상	4년에 1회 이상	
주요 부위에 대한 유지관리	• “대통령령으로 정하는 유지관리”란 제12조 각 호의 부분에 대한 구조안전과 관련된 보수·보강 등을 말한다.					
유지관리 결과보고서	• 보수·보강 및 사용제한에 관한 조치실적 • 시설물 제원(諸元)의 변경에 관한 사항 • 그 밖에 시설물의 유지관리에 관한 것으로서 국토교통부장관이 정하는 사항					
유지관리 결과보고서 제출	• 유지관리 결과보고서를 제출하는 경우에는 해당 유지관리를 완료한 날부터 30일 이내에 제출하여야 함					
유지관리·성능평가 지침	• 유지관리·성능평가에 필요한 설계도면, 시방서, 사용재료명세 등 시공 관련 자료의 수집 및 검토에 관한 사항 • 유지관리·성능평가 실시자의 구성에 관한 사항 • 유지관리·성능평가 실시계획의 수립·시행에 관한 사항 • 유지관리·성능평가 장비에 관한 사항 • 사용재료의 시험에 관한 사항 • 시설물의 성능목표 설정에 관한 사항 • 시설물의 종류에 따른 성능평가의 수준 • 유지관리·성능평가의 항목별 점검·평가방법에 관한 사항 • 유지관리·성능평가 결과보고서의 작성에 관한 사항 • 그 밖에 유지관리 및 성능평가 시행에 필요한 것으로 국토교통부령으로 정하는 사항					

□ 3종 시설물의 안전점검 범위에 대한 개정

- **정기안전점검**은 경험과 기술을 갖춘 사람에 의한 세심한 외관조사 수준의 점검으로서 시설물의 기능적 상태를 판단하고 시설물이 현재의 사용요건을 계속 만족시키고 있는지 확인하기 위한 관찰로 이루어짐(「시설물의 안전점검 및 정밀안전진단 등에 관한 지침」 제10조제1항).
- **정밀안전점검**은 시설물의 현 상태를 정확히 판단하고 최초 또는 이전에 기록된 상태로부터의 변화를 확인하며 구조물이 현재의 사용요건을 계속 만족시키고 있는지 확인하기 위하여 면밀한 외관조사와 간단한 측정·시험장비로 필요한 측정 및 시험을 실시(「시설물의 안전점검 및 정밀안전진단 등에 관한 지침」 제11조제1항).
- 정밀안전점검은 시설물의 규모에 따라 상이하기는 하나, 일반적으로 정기안전점검 비용의 5배가량 비용이 소요되는 것으로 나타나며, 기존 1:2종시설물은 정기안전점검과 정밀안전점검을 모두 실시하고 있음.
- 제3종시설물은 기존 1:2종시설물에 비하여 소규모 시설물로서 「재난법」상 특정관리대상시설이 육안조사 위주의 점검을 실시하였다는 점과 1:2종시설물과 같은 수준의 안전점검을 시행하는 경우 관리주체의 안전관리 비용이 크게 증가한다는 점에서 과도한 규제로 작용될 우려가 있음
- 제3종시설물의 관리주체에게 정밀안전점검 실시 의무를 부여할 가능성이 적으며, 정기안전점검 시 문제점이 발견되어 보다 면밀한 조사가 필요한 경우 개정 「시득법」 제12조제2항에 따라 정밀안전진단을 실시하는 방향으로 개정 중

〈표 2-4〉 1,2종 시설물 정밀안전진단 과업(참고자료)

구분	주요내용	
기본 과업	현장조사 및 시험	- 전체부재의 외관조사 및 외관조사망도 작성 - 콘크리트 구조물: 균열, 누수, 박리, 박락, 층분리, 백태, 철근노출 등 - 강재 구조물 : 균열, 도장상태, 부식 및 접합(연결부) 상태 등
	현장 재료시험	- 콘크리트 시험 : 비파괴강도(반발경도시험, 초음파전달속도시험 등), 탄산화 깊이 측정, 염화물함유량시험 - 강재 시험 : 강재 비파괴시험(시험량, 시험부위 등) - 기계·전기설비 및 계측시설의 작동유무
	상태평가	- 외관조사 결과분석 - 현장시험 및 재료시험 결과 분석 - 콘크리트 및 강재 등의 내구성 평가 - 부재별 상태평가 및 시설물 전체의 상태평가 결과에 대한 소견

선택 과업	안전성 평가	- 조사, 시험, 측정 결과의 분석 - 기존의 구조계산서 또는 안전성평가 자료 검토·분석 - 내하력 및 구조 안전성평가 - 시설물의 안전성평가 결과에 대한 소견
	종합평가	- 시설물의 안전상태 종합평가 결과에 대한 소견 - 안전등급 지정
	현장조사 및 시험	- 시료채취 및 실내시험 - 재하시험 및 계측 - 지형, 지질, 지반조사 및 탐사, 토질조사 - 수중조사 - 누수탐사 - 침하, 변위, 거동 등의 측정(안전점검 실시결과, 원인 규명이 필요하다고 평가한 경우 필수) - 콘크리트 제체 시추조사 - 수리·수충격·수문조사 - 시설물조사에 필요한 임시접근로, 가설물의 안전시설 설치 및 해체 등 - 조사용 접근장비 운용 - 조사부위 표면청소 - 마감재의 해체 및 복구 - 기본과업 범위를 초과하는 강재비파괴시험 - CCTV 조사, 단수시키지 않는 내시경 조사 등 - 기타 관리주체의 추가 요구 및 필요한 조사·시험
	안전성 평가	- 구조·지반·수리·수문 해석(구조계의 변화 또는 내하력 및 구조 안전성 저하가 예상되는 경우 필수) - 구조 안전성평가 등 전문기술을 요하는 경우의 전문가 자문 - 내진성능 평가 및 사용성 평가 - 제시한 보수·보강방법에 따라 보수·보강 시 예상되는 임시 고정하중 등에 대한 안전성평가

나. 국토교통부 정책 동향

□ 시설물의 안전관리에 관한 특별법에 의거 5년 단위로 “시설물의 안전 및 유지관리 기본계획” 을 수립

○ 제2차 기본계획(2008~2012)

- 비전 : 안전한 삶을 누릴 수 있는 시설물 안전 확보
- 3대 목표 : 시설물 무사고 실현, 시설물 안전상태 개선, 부실진단 방지

○ 제3차 기본계획(2013~2017)

- 비전 : 시설안전의 Blue화를 통한 행복사회 구현

- ※ Blue 의미 : 미래, 새로운 변화, 자발성, 희망, 약속, 신뢰, 소통, 조화, 평화, 안정, 재생
- ※ 행복사회 : 시설물의 안전·사용성능이 확보되어 국민이 안심하고 유익한 삶을 누리는 복지·안전사회가 결합된 사회

- 3대 목표 : 안전한 시설물, 자연과 함께 하는 시설물, 스마트한 시설물



〈그림 2-1〉 제 3차 시설물의 안전 및 유지관리 기본계획 수립 방향

□ 제3차 기본계획의 추진방향

○ 기본 방향

- 한국사회 15대 메가 트렌드(Mega-Trend) 중 하나가 ‘국민의 삶의 질이 증시되는 복지사회’와 ‘증대되는 안전 위험성으로부터 국민이 적극 보호되는 안전사회’
- 시설물 유지관리는 국가 주요자산인 SOC 장수명화와 효율적 활용을 유도하여 미래의 경제적 부담 완화

○ 성과 지표

- 시설물 무사고 지속
- 안전등급 A, B 시설물 비중 95% 유지
- 시설안전에 대한 국민 불만족률 5%p 개선(22%→17%)

- 시설안전체계의 개선 및 기술개발을 통해 시설물 안전수준은 향상되고 있

으나, 복지·안전사회 구현까지는 아직 미흡

- 국민 안전을 확보하기 위해 3S(Safe, Sustainable, Smart) 시설물로의 전환을 통한 종합적인 시설안전을 구현을 목표로 전략과제를 도출

2. 국외 정책 동향 및 분석

가. 제도적 동향

□ 국가별 정책동향

- 미국, 영국, 호주, 캐나다, 남아공 등 국가에서 일정 주기별로 도로, 철도, 댐, 상수도, 공항 등 사회기반시설의 현재 물리적 상태, 관리현황, 요구되는 조치, 재원 조달, 개선 방안 등의 내용을 담은 인프라 보고서를 발행하고 있으며, 사회기반시설의 예방적 유지관리를 위한 제도를 마련하여 예산을 투입 중
- 미국과 일본 등의 선진국에서는 시설물 사고 방지를 위하여 교량 등의 시설물을 위주로 유지관리지침 등을 제정하여 운영 중이며 정기안전점검 및 정밀안전진단을 실시 중
- (미국) 1968년부터 교량유지관리지침을 제정하여 운영 중에 있으며, 주정부 지역사무소에서 정기점검을 실시하고 있음
- (영국) 안전에 관한 법률과 교량 및 시설물 평가지침을 제정하여 운영 중이며, 지역사무소 및 도시사무소에서 정기점검과 정밀안전진단을 실시하고 있음
- (일본) 관리주체별, 시설물별 안전관리 지침을 제정하여 운영 중이며, 도로공단 등에서 정기진단, 특별진단을 실시하고 있음

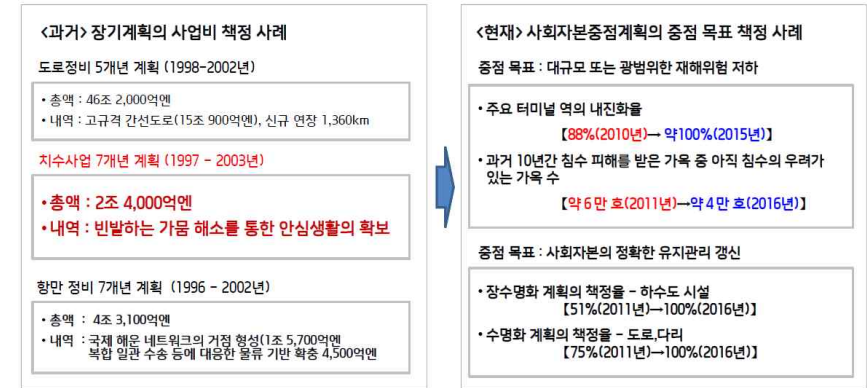
〈표 2-5〉 국외 정책동향 주요내용

국가	주요내용
미국	- 2012년 관련 법안(MAP-21, Moving Ahead for Progress in 21st Century Act) 제정 - 2013~14년 \$1,050 예산 투자방안(TIFIA, Transportation Infrastructure Finance and Innovation Act) 마련
호주	- 1993년 예산회계법 변경으로 자산관리 체계 도입 - 2008년 관련 법안(Infrastructure Australia Act) 제정 및 정부부처(국토부와 기획재정부 기능을 융합한 형태) 신설 - 2013년 약\$800억 소요예산 산정, '14~15년 약 \$500의 예산 책정
뉴질랜드	- 2009년 관련 조직(National Infrastructure Unit) 설립 - Dept. of Treasury에서 예산 총괄, 지방정부에서 집행하도록 함 - 2030년까지의 SOC 개발 계획 수립(The National Infrastructure Plan 2011) - 2020년까지 10년간 약 \$300 규모 예산 편성
캐나다	- 2000년 정부부처(Infrastructure Canada) 신설 - 2001년 관련 법안(Canada Strategic Infrastructure Fund Act) 제정 - 2007년 예산 투자방안(Building Canada Plan) 마련(7년간 \$330억) - 2014년 2차 예산 투자방안(New Building Canada Plan) 마련(10년간 \$700억)

〈표 2-6〉 해외 시설물 안전관리 제도 비교

구 분	미 국	영 국	일 본
규정	- 교량유지관리지침 (1968년 제정)	- 안전에 관한 법률 ▪ 교량검사지침 ▪ 교량 및 시설물 평가지침	- 관리주체별, 시설물별 지침 * '88년 점검실시 방법 통일(국토교통성 토목연구소)
관리 조직	- 중앙 ▪ 교통성 연방도로국(FHWA) - 지방 ▪ 주정부 지역 사무소(DOT)	- 중앙 ▪ 교통부 교통국 - 지방 ▪ 지방자치단체 ▪ 지역사무소 ▪ 도시사무소	- 중앙 ▪ 국토교통성 도로국 - 지방 ▪ 도로별 관리주체 ▪ 도로공단 ▪ 고속도로공단등
점검, 진단 실시시기	- 2년1회 정기점검	- 2년1회 정기점검 - 6년1회 정밀안전진단	- 정기진단 ▪ 통상점검 - 1년1회 정기점검 - 5년1회 정밀안전진단 - 특별진단
점검 진단 실시	- 지역사무소 ▪ 교량조사팀 * 특별한 경우 안전점검전문업체	- 지역사무소, 도시사무소 소속 기술자	- 도로공단, 고속도로공단 ▪ 소속 기술자 - 국가연구소 *필요시 민간업체

- 사회 자본 정비 중점화 계획 : 사업의 정량화된 정책적 목표 설정, 설정된 목표를 달성하기 위한 효율적인 사업추진 방안 제시, 정부 재정 부족으로 정책 자원의 중점적인 투자가 필요한 사업을 선정하기 위한 ‘선택과 집중’의 기준 설정, 계획기간별 중점 목표를 수립



〈그림 2-2〉 SOC 유지관리사업 사례

나. 성능 평가 동향

□ 인프라시설물의 거버넌스 확립 : 영국 사례

- Infrastructure 건설 및 운영의 컨트롤 타워 역할 확립
 - 선진국가의 Infrastructure Governance 확립을 위한 컨트롤타워 조직 구성 : 호주(Infrastructure Australia), 영국(Infrastructure UK) 등
- Infrastructure의 투자 우선순위 결정 : 재정만으로 자원조달의 한계 → 민간 자본 유치 활성화: 영국의 ‘Infrastructure UK’의 사례
- 국가/지자체 단위의 인프라평가보고서의 주기적 발행 : 국가/지자체 인프라 전략 차원에서 ‘안전 + 성능’ 이외의
- 다양한 관점(재정조달, 미래수요, 관리, 안전, 회복력 등)에서의 평가 및 전략방향을 제시

□ 국가 아젠다 : 일본사례

- 주요 정책 : 사회 자본 정비 중점 계획 (2003년부터 시행, 현재 3년차 계획 시행)
- 기존 9개 사업분야 (도로, 공항, 항만, 하수도, 치수 등)의 SOC시설물의 5년 단위 투자 계획 통합 운영

□ 미국 인프라평가보고서의 사례

- 용량, 구조상태, 재정조달, 미래수요, 관리, 안전, 회복력 등 8개 요소로 평가
 - 인프라 평가보고서는 한 국가의 모든 인프라의 건강(물리적 상태) 및 서비스 현황을 밝히는 보고서로, 향후 건설 및 유지관리 정책 결정에 참고가 될 수 있는 기초 자료집
 - 최초의 인프라 평가보고서는 1988년 미국에서 발행된 “Fragile Foundations: A Report on America’s Public Works”
 - 당시 교량의 붕괴 사고와 노후화된 인프라 때문에 국가 경제의 미래가 암울할 것이란 기술자들의 전망이 발행의 배경
 - 이후 미국에서는 1998년, 2001년, 2003년, 2005년, 2009년, 2013년에 인프라 평가보고서가 발행되었는데, 최근 들어 4년을 주기로 발행
 - 이에 영향을 받은 호주, 영국, 캐나다 등에서 잇따라 인프라 평가보고서를 발행
 - 각 국가별로 자기 사정에 맞는 인프라평가 보고서를 발행하고 있으며, 이 보고서는 대통령의 연두교서에서 언급될 정도로 영향력이 큼



〈그림 2-3〉 미국 사례

〈표 2-7〉 국가별 인프라 평가보고서

구분	미국	캐나다	호주	영국
평가대상 (시설유형)	공항, 댐, 상수, 하수, 에너지, 유해 폐기물, 고형 폐기물, 수로, 제방, 공원, 철도, 도로, 교량, 학교, 운송	상수, 하수, 우수, 도로, 대중교통, 빌딩, 스포츠 및 여가시설	도로, 철도, 공항, 항만, 상수도, 하수도, 우수시설, 관개시설, 전기, 가스, 통신	에너지, 교통, 지역교통, 상·하수, 홍수관리, 폐기물 및 자원관리
주관기관	미국토목공학회	관·산·학으로 구성된 프로젝트 운영위원회	호주엔지니어협회	영구토목공학회
발행연도	1988, 1998, 2001, 2003, 2005, 2009, 2013	2012, 2016	1999, 2001, 2005, 2010	2003, 2004, 2005, 2006, 2009, 2010
평가주체	전문가집단 (미국토목공학회)	지자체 인프라 관리 담당 공무원, 전문가 집단	전문가 집단 (호주엔지니어협회)	전문가 집단 (영국토목공학회)
평가요소	용량, 물리적 상태, 재정조달, 미래수요, 운영 및 유지관리 공중안전, 회복력	물리적 상태, 관리 실태 및 역량	물리적생태, 안전성, 지속 가능성(경제, 환경, 사회적 이슈 관점), 회복력 등	물리적 상태 및 용량, 회복력, 지속 가능성, 재정삭감의 영향, 향후 5년 전망
특징	- 권역별(주, 테리토리)로 발행 - 재정적 측면 강조	- 가장 객관적인 평가 방법을 제시함 - 가장 넓은 범위(각 계각층)의 자문위원회를 보유하여 신뢰도 제고 - 정책 제언 언급 없음	2005년 보고에서 인프라국 설립을 제안 2008년 인프라교통부 산하에 인프라국 설립	2009년 재무부 산하에 인프라국 설립 - 포괄적인 개념으로 평가 대상을 구분하고 있음

〈표 2-8〉 1988년부터 2013년까지 미국의 인프라 평가보고서 요약

구분	1988	1998	2001	2005	2009	2013
항공, 공항	B-	C-	D	D+	D	D
교량	-	C-	C	C	C	C+
댐	-	D	D	D+	D	D
상수도	B-	D	D	D-	D-	D
에너지	D	-	D+	D	D+	D+
유해폐기물	B-	D-	D+	D	D	D
내륙수로	-	-	D+	D-	D-	D-
제방	-	-	-	-	D-	D-
공원 및 여가시설	-	-	-	C-	C-	C-
철도	C+	-	-	C-	C-	C+
도로	C-	D-	D+	D	D-	D
학교	C-	C-	C+	C+	C+	B-
고체폐기물	C-	C-	C+	C+	C+	B-
대중교통	C	C-	C-	D+	D	D
하수도	-C	D+	D	D-	D-	D
항만	-	-	-	-	-	C
총평점	C	D	D+	D	D	D+
개선 비용	-	-	1.3조달러	1.6조달러	2.2조달러	3.6조달러

2절. 국내외 시장 현황 및 분석

1. 국내 시장 현황

가. 시장 환경

- 시설물 수 및 각 시설의 등급은 「2016년 특정관리대상시설 일제조사 결과」(국민안전처, '17.3)을 기준으로 산정
- (민간관리주체 시설물) 관리주체가 대부분 공공인 토목시설(교량, 터널, 육교, 지하차도 등) 및 건축물 중 공공업무시설, 교육연구시설, 교정 및 군사시설, 지자체에서 점검을 수행하는 공동주택(연립주택) 제외
※ 총 158,135개시설('16.12월 기준) 중 66,158개 시설물

표 2-9 민간관리주체 시설물

항목	3종 시설물 수	비 고
공동주택	44,369	아파트
다중이용시설	15,769	숙박시설, 판매시설, 종교시설 등
대형건축물	3,856	
기타	2,373	
합 계	66,367	

표 2-10 정기안전점검 시기(제12조제1항, 제15조제1항 및 제40조제1항 관련)

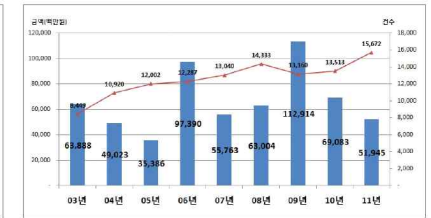
안전등급	정기안전점검
A등급	반기에 1회 이상
B·C등급	
D·E등급	1년에 3회 이상

표 2-11 시설물별 등급('16년 특정관리대상시설 일제조사 결과 시설물별 등급 분포)

시설유형	관리대상 시설 수	중점관리시설				재난위험시설		
		소계	A등급	B등급	C등급	소계	D등급	E등급
계 (비율 %)	66,367 (100)	65,985 (99.4)	21,546 (32.4)	39,831 (60.0)	4,608 (6.9)	382 (0.6)	353 (0.5)	29 (0.04)
공동주택 (아파트)	44,369	44,134	9,846	31,302	2,986	235	231	4
중소형건축물 (다중이용시설)	15,769	15,710	8,828	6,253	629	59	49	10
대형건축물	3,856	3,856	1,987	1,661	208	0	0	0
기 타	2,373	2,285	885	615	785	88	73	15

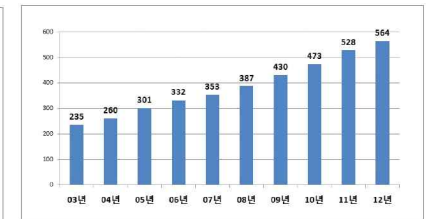
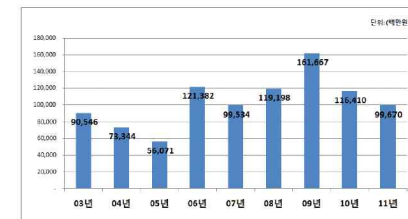
표 2-12 연간 안전점검 시행 수(시설물 등급에 따른 민간에서 수행해야 할 안전점검 횟수)

시설유형	총 계	중점관리시설			재난위험시설			
		소계	A등급	B등급	C등급	소계	D등급	E등급
계	133,116	131,970	43,092	79,662	9,216	1,146	1,059	87
시설물수	66,367	65,985	21,546	39,831	4,608	382	353	29
점검수/연	-	-	2	2	2	-	3	3



(a) 정밀안전진단 건수 및 금액

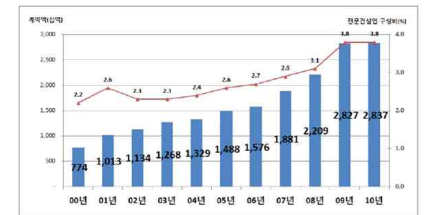
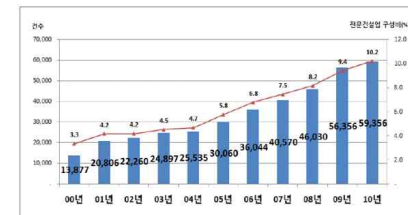
(b) 정밀점검 건수 및 금액



(c) 정밀점검 및 정밀안전진단 금액

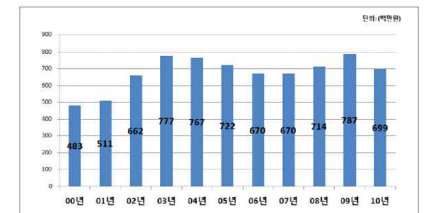
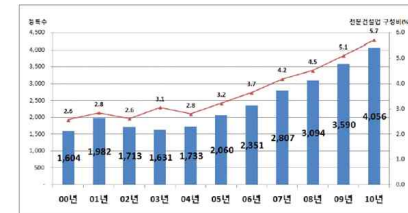
(d) 안전진단전문기관

〈그림 2-4〉 안전점검 및 정밀안전시장 동향



(a) 시설물 유지·보수공사 연간 건수

(b) 시설물 유지·보수공사 연간 시장규모



(c) 시설물 유지관리업체 등록수

(d) 시설물 유지관리업체당 계약금액

〈그림 2-5〉 시설물 유지관리 시장 동향

나. 안전 관련 시장

□ 안전 수요에 대한 증가로 전 세계 안전시장은 294조 619억 원(2530억 달러) 규모에 달하고 '21년까지 연평균 8% 성장을 전망하고 있으며, 국내 안전시장 규모는 35.6조원, 이 중 시설물 유지보수시장은 3.1조원에 달함

○ 글로벌 안전시장은 '11년 기준, 295조원에 달하며 중동 등 해외진출 유망

○ 국내 안전시장은 크게 소방, 방재, 사업장, 시설물, 보안 분야로 구분되며, 이 중 시설물 안전시장은 3.1조원, 4,500여개 기업이 활동 중임

〈표 2-13〉 국내 안전시장 규모 및 특징

분야	시장규모	특징
소방	12조원	- 소방공사 및 소방제도가 76.6% 점유
방재	14조원	- 정부 발주가 다수이며, 50인 미만 소규모 업체가 95.3% 점유
사업장	3조원	- 안전제품 제조, 안전교육, 컨설팅 관련 시장
시설물	3.1조원	- 주로 시설유지 및 보수 관련 시장으로 4,500여개 업체가 활동 중
보안	3.5조원	- CCTV 등 물리보안 1.2조원 (연평균 13% 상승, 3대 기업(에스원, ADT, KT텔레캅) 점유율 85%)
		- 인증 등 정보보안 2.3조원 (연평균 11% 상승)
		- SW 안전분야(컨설팅, 시험·인증 등) 4천억 원

※ 출처 : 제5차 국민경제자문회의의 관계부처, 안전산업 활성화 방안 (2015.03)

○ 국내 안전시장의 투자규모는 '15년 기준 총 15.4조원으로 공공기관과 민간 기업의 대대적 안전투자 확대를 통해 국민 안전 증진과 경제 활성화에 기여하고자 함

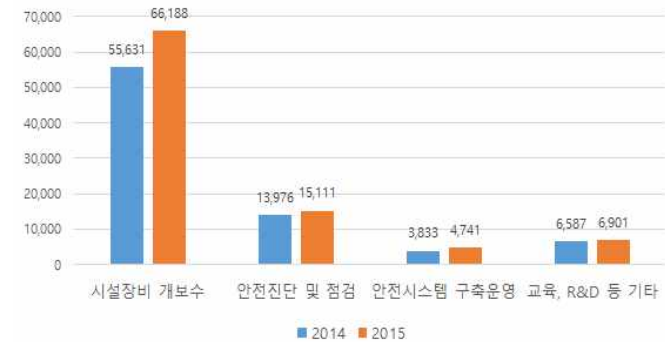
- 정부/공공기관은 SOC 및 건설, 시설물 보수/보강이 필요한 부문에 전년 대비 17% 증가된 수준인 12.4조원을 투자함 ('14년 10.6조 → '15년 12.4조)

- 특히 정부는 교통, 항만, 학교 급경사지 등 정부 주요 노후 시설물의 보수 보강에 전년 대비 29.3% 증가한 1.9조원을 투자하고, 재해위험개선사업에 1.2조 투자

〈그림 2-6〉 중앙 부처 주요 분야별 시설물 보수보강 계획(국민경제자문회의, 2015)



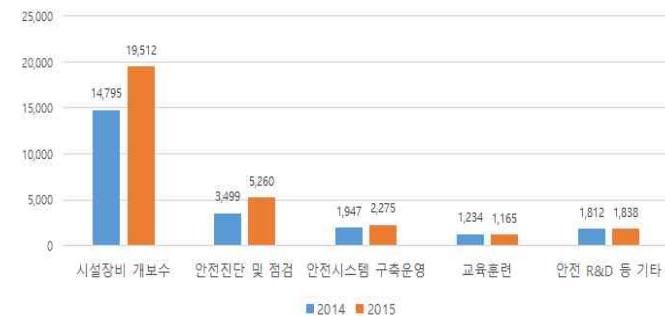
- 에너지, 도로, 철도, 항만관련 주요 29개 공공기관을 대상으로 안전부문 관련 투자 계획을 살펴본 결과, '15년에 전년도 대비 16% 증가된 수준인 9.3조원의 투자 계획을 갖고 있었으며 특히 안전시스템 구축 및 운영과 관련해 24% 증가율을 보였으나, 전반적으로 안전진단 및 점검이나 시스템 구축에 비해 시설장비 개·보수에 집중된 경향을 보임



〈그림 2-7〉 공공기관 안전부문 투자 계획(국민경제자문회의, 2015)

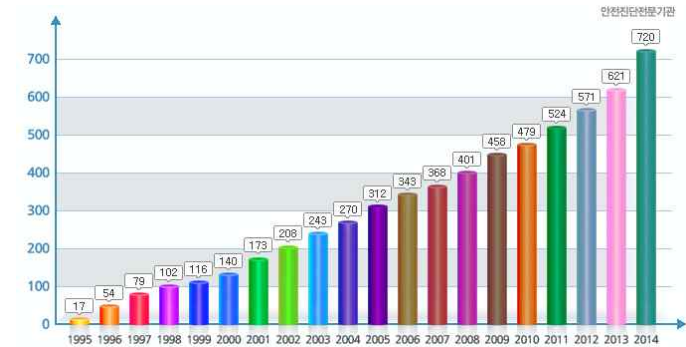
- 민간기업의 경우 26개 주요 대기업의 안전투자 계획은 총 3조원 규모이며, 공공기관과 마찬가지로 시설장비 개·보수가 가장 높은 비율을 차지하고 있으나, 안전진단 및 점검과 안전시스템 구축운영에 대한 관심은 다소 높은 편이고, 교육 및 R&D와 관련된 비중은 낮은 편임

○ 도로 안전예산에서 도로유지보수를 포함한 도로보수 분야는 도로안전예산 중에서 가장 큰 비율을 차지하고 있지만, '04년부터 '14년까지 5천억 원 대에 머물러 있는 상태임

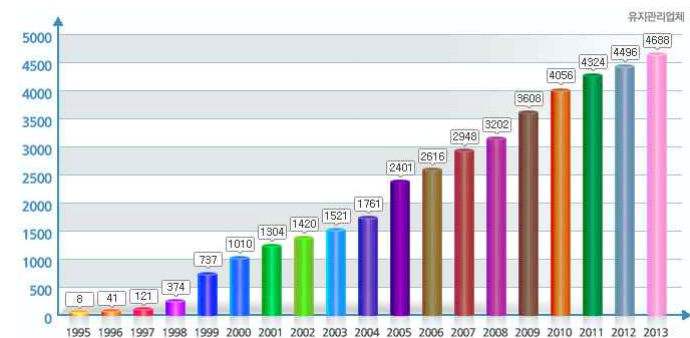


〈그림 2-8〉 민간기업 안전부문 투자 계획(국민경제자문회의, 2015)

- 국내 안전시장은 정부 의존도가 높아 안전 관련 규제에 의해 시장 규모가 좌우되며, 단순 제품 제조 중심의 저부가가치 산업구조로 진단 및 점검 관련 기술 수준이 낮은 이슈가 존재함
- 주요 선진국은 안전관리에 있어서 민간의 자율 규제가 중심이 되는 반면, 국내는 재난·안전관리는 공공의 역할로 인식하여 정부에 대한 시장 의존성이 높음
 - '14년 국내 안전투자의 12.9조 원 중 82% 10.6조원이 정부를 포함한 공공 부문 예산으로 집행
 - 안전진단 및 점검 기능을 공공부문이 상당수 독점함에 따라, 간혹 현실화되지 못한 안전 관련 규제가 수립되거나 불합리하고 중복된 안전기준이 난립하는 경우가 있음
- 국내 안전 관련 기술 시장은 저부가가치 산업구조로 단순 제품 및 제조 중심으로 유지. 제품을 생산하는 기업 규모가 영세하고 시장을 선도하는데 한계에 따라 고기술 제품은 기술과 자본력을 갖춘 선진국이 주도함
 - 국내 안전 시장은 정부 조달, 관련 법령에 따른 단순 제조, 시공 등의 수동적 역할을 담당하고 있어 기업 규모가 영세해 시장을 선도하거나 기술을 혁신하는데 제한적임
 - 이에 따라 고기술 제품은 기술과 자본력을 갖춘 선진국이 주도하고, 저기술 제품군은 가격경쟁력을 갖춘 중국과 같은 개발도상국이 국내 시장을 점유하고 있어 국내 시장의 경쟁력이 약한 편임
 - 실제로 국립표준원과 KIET의 자료에 따르면, 국내 안전 진단 및 점검 시장의 50.3%를 스위스의 SGS와 같은 외국계 기업이 차지하고 있어 시장구조 전환에 대한 검토 필요
- 안전점검 및 정밀안전진단 시장 규모는 '11년 기준, 996억 원이며, 최근 10년간 시장규모가 1,000억 원대에 머물고 있는 안전진단 시장은 양적으로 더 이상 성장하지 않는 한계상황 진입
- 정밀안전진단 실시 자격기관인 안전진단 전문기관은 1995년 시설물의 안전관리에 관한 특별법(이하 시특법) 제정 이후 등장해 '11년 기준 528개로, 2000년대 초반 20%대의 급성장 이후 성장률은 하락했지만 시장 규모가 정체된데 반해 그 수는 매년 꾸준히 증가함
 - 시장 규모는 안전에 대한 사회 이슈가 발생하고 관련 규제가 강화되는지예 큰 영향을 받는 경향이 있어, 지속적으로 증가 추세를 나타내는 것이 아니라, 3~4년에 한 번씩 변화

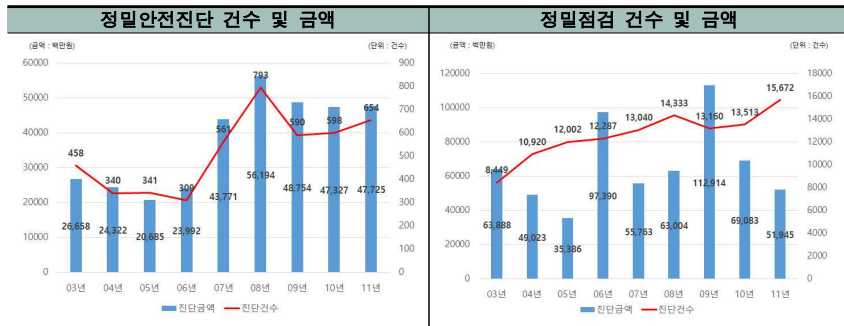


〈그림 2-9〉 안전진단 전문기관 수(FMS, 2015)



〈그림 2-10〉 시설물 유지관리업 등록현황(대한시설물유지관리협회, 2014)

- 정밀안전진단 규모는 '11년 기준 654건에 약 477억 규모이며, '08년에 진단 건수 및 금액이 최고점에 달한 이후 규모 및 건수의 성장률 하락
- 정밀점검 규모는 '11년 기준 15,672건에 약 520억 규모이며, 정밀점검 건수는 '03년 이후 꾸준히 증가 중이지만 시장 규모는 등락폭이 크게 변화한 편임



〈그림 2-11〉 정밀안전진단과 정밀점검 관련 세부 규모국토해양부, 2012)

- 안전진단전문기관의 분야별 등록 현황은 건축 분야의 수와 증가세가 가장 크고 다음으로 교량 및 터널, 수리, 항만 분야의 순으로 시장을 점유하고 있음. 해마다 건축 분야와 다른 분야 간의 격차는 벌어지는 추세임. 이는 우리나라가 일반 건설에 비해 교량을 비롯한 SOC 시설물에 대해 투자와 관심이 부족했음을 나타냄

〈표 2-14〉 안전진단기관 전문분야별 현황(한국시설물안전진단협회, 2015)

구분	합계	토목 및 건축분야				토목분야	건축분야
		소계	4개 분야	3개 분야	2개 분야	1개 분야	1개 분야
총등록업체	763	204	26	30	148	296	263
회원가입	총회원수	211	72	17	15	40	95
	2014년까지	203	69	17	15	37	92
	2015년부터	8	0	0	0	3	3

〈표 2-15〉 안전진단기관 시도별 현황(한국시설물안전진단협회, 2015)

구분		계	서울	부산	인천	대구	광주	대전	울산	강원	경기	충청	전라	경상	세종	제주
총등록업체		763	221	42	18	16	11	23	9	37	132	61	79	100	7	7
회원 가입	총회원수	211	98	10	7	5	6	6	1	2	45	6	5	19	0	1
	2014년 까지	203	97	10	6	5	6	6	1	2	43	3	4	19	0	1
	2015년 부터	8	1	0	1	0	0	0	0	0	2	3	1	0	0	0

다. 유지보수/보강 시장

- 2014년 16차 국가과학기술자문회의 ‘과학기술을 활용한 효과적인 재난대응’에 보고된 내용에 따르면, 구조물 안전진단 센서를 이용하여 상시감시가 필요하거나 육안점검이 어려운 시설물의 상태를 실시간으로 파악하는 것에 대한 필요성이 제기 되었으며, 정부는 과학기술을 재난재해 부문에 접목해 국민들의 안전에 기여하고자, 현재 6조원 수준의 구조물 안전진단 관련 매출액은 2017년 12조원으로 발전시킨다는 방침
- 대한시설물유지관리협회에 따르면 2014년 시설물 보수·보강공사 실적은 3조7000억 원으로 2013년 3조4000억 원 대비 7%증가함. 이는 유지관리시장이 업종 도입 후 첫 실적을 냈던 1999년(5448억 원)과 견주면 15년 동안 700% 증가한 규모임
- 2013년 말 구조물 유지관리 관련 업체 수는 4688 곳으로 10년 새 3088곳(193%)이나 급격하게 증가하는 등 구조물 유지관리 산업은 새롭게 부상하는 블루오션으로, 구조물 유지관리 업체의 수는 연간 300여개씩 증가 추세임
- 구조물 유지관리 관련 시장은 2006년 6,000억 원 규모에서 연평균 20%의 성장률을 기록, 2009년에 1조원, 2015년에는 3조원의 시장을 형성하고 있음
- 도로하부에 시공된 국내의 상하수도물 포함한 관로의 유지보수 비용이 연간 2조원 정도로 추산되고, 이중 하부기초 및 뒤통음재 등에 의한 유지보수 비율을 10% 수준으로 고려하면 약 2000억 원. 이중 도로하부에 시공된 비율을 50% 정도 고려하면 약 1000억 원 관련 분야 시장이 있는 것으로 추정됨
- 2008년 정부는 5조를 투입하여 누수율이 46%에 달하는 취약계층 거주지역 25,000개소의 노후 상수도관을 교체해 나갈 것을 발표하였으며 1960년대 산업화 시작이후 대도시 및 중소도시의 임박한 상수도관 등 관로 교체주기를 고려할 때 도로굴착 및 복구 공사물량은 앞으로 기하급수로 증가할 것으로 판단됨
- 따라서 국내의 노후화된 상수도, 하수도, 전기선로, 가스관로 교체공사 등으로 인하여 근접지역 도로함몰위험이 내재되어 있어 이에 대한 붕괴지역의 보수보강의 수요는 해마다 늘어날 것으로 예상됨
- 지반 굴착시 지하수맥의 흐름이상을 초래하여 도심지 곳곳에서 돌발적 도로 함몰 및 침하피해 사례가 다수 발생하고 있으며 이러한 피해는 피해복구에 필요한 기술인력의 양성과 소요기술의 개발 및 이에 유관된 비용의 지출이 클 것으로 판단되며 향후 유관산업의 새로운 시장이 창출될 것으로 판단됨
- 노후 구조물 급증에 따라 건설시장은 유지보수 중심으로 개편이 예상되고 이에 따라 2030년 시설물 유지관리비는 약 11조에 달할 것으로 전망됨

- 30년 이상 노후 기반 시설물이 '08년 말 기준 건축물을 제외한 1,2종 기반 시설물 중 8.4%에서 '14년 3월 기준 9.5%로 증가하고, 1990년대 토목 시설물 급증에 따라 '20년 이후 30년 이상 된 시설물의 증가세가 매우 빨라질 전망이다. 이에, '24년에 준공 후 30년경과 1,2종 기반 시설물이 현재 대비 2배 이상 급증해 그 비중 21.6%에 달할 것으로 전망됨

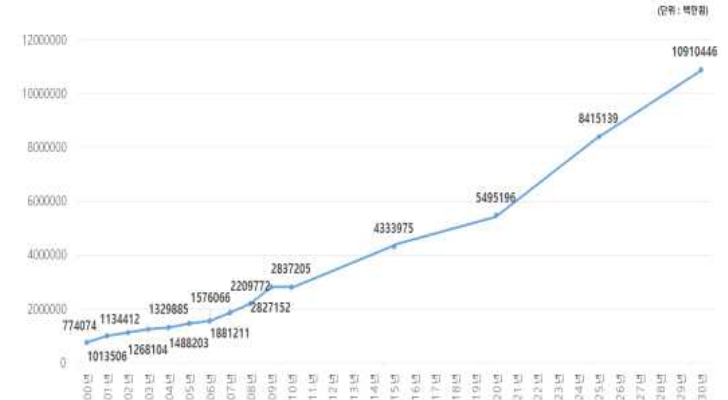


<그림 2-12> 30년 이상 노후 기반시설물 변화 추이(한국건설산업연구원, 2015)

- 유지관리 시장은 2010년대 중반까지는 현재의 증가율(10%내외)이 유지되다가, 2020년 이후부터 증가세가 보다 확대될 것으로 예상됨
- 국내 건설투자의 연평균 증가율은 '13~ '20년에 0.8%~0.15%, '20~ '30년에 0.6% ~0.7%로 다소 하락할 것으로 전망됨. 다만 '20년 이후에도 마이너스 성장 보이지 않는 이유는 신규 시설물의 신축 시장이 축소되어 쇠퇴국면에 진입하는 반면, 대신 유지보수 시장은 성장 국면에 진입하기 때문이라고 판단됨

<표 2-16> 향후 시설물 유지관리 시장의 증가율 전망(건설교통부, 2007)

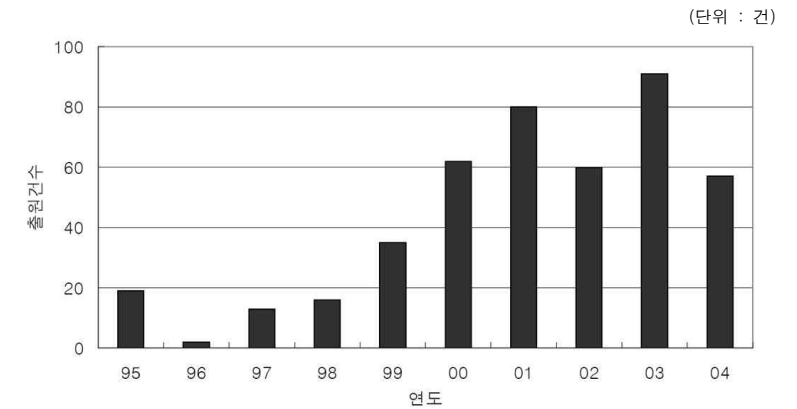
연도	'06~ '10	'11~ '20	'21~ '30	'31~ '40	'41~ '50	'51~ '60	'61~
연평균 증가율	7~10%	9~12%	12~15%	14~17%	12~15%	9~12%	6%내외



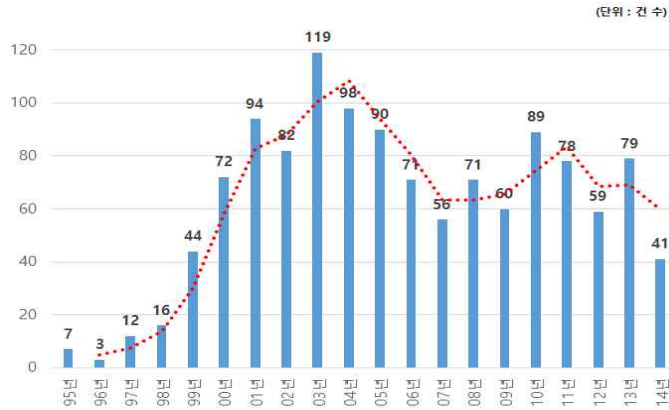
<그림 2-13> 시설물 고령화에 따른 유지관리비 증감 추이(서울과학기술대학교 외, 2014)

□ 보수보강 재료 및 공법 기술 현황

- 보수·보강 기술과 관련된 특허출원은 '95년에 19건, '96년에 2건에 불과하던 것이 '03년에 91건으로 폭발적 증가세를 보이다 '04년에 57건으로 증가율을 반복하며 점차 하락

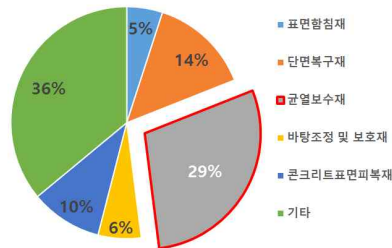


<그림 2-14> 보수·보강 기술의 특허·실용신안 출원 추이(특허청, 2005)

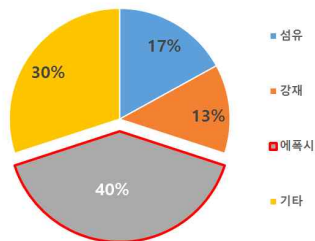


〈그림 2-15〉 KIPRIS 기반 교량 보수보강 관련 연도별 출원건수

- 인터넷 및 물가정보 등을 통해 보수재가 378개, 보강재가 77개 조사. 보수재 가운데서는 콘크리트의 시공 및 사용과정에서 발생하는 상태변화 요인 중 가장 많이 발생하는 균열에 관련된 제품이 많이 출시됨. 보강재에서는 예폭시계 재료와 섬유계 재료 그리고 강재순으로 사용비율이 높은 것으로 조사됨

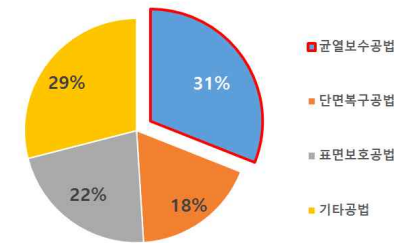


〈그림 2-16〉 국내 대표적 보수재료 현황(한국시설안전공단)

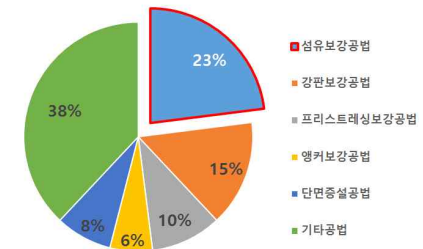


〈그림 2-17〉 국내 대표적 보강재료 현황(한국시설안전공단)

- 특허 및 건설신기술 등의 지적재산권을 획득한 기술을 위주로 조사한 결과, 보수공법이 56개, 보강공법이 119개가 조사됨. 보수공법에서는 균열보수공법, 표면보호공법, 단면복구공법 이 주된 공법을 차지함. 보강공법에서는 크게 섬유보강공법, 강판보강공법, 프리스트레싱보강공법, 단면증설공법, 앵커공법이 주공법으로 많이 사용됨. 하지만 보수·보강 공법 모두 기술된 범주에 포함되지 않는 기타 공법들도 다양하게 조사됨



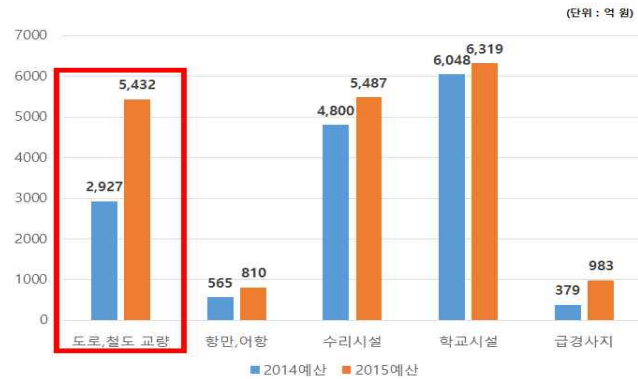
〈그림 2-18〉 국내 대표적 보수공법 현황(한국시설안전공단)



〈그림 2-19〉 국내 대표적 보강공법 현황(한국시설안전공단)

□ 보수보강 시장규모

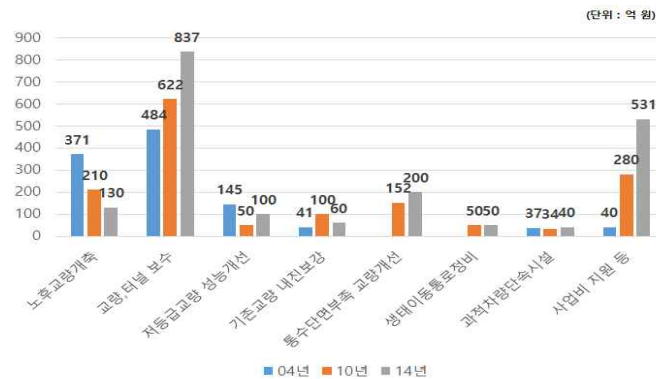
- 정부기관의 노후 시설물 등의 보수·보강 투자는 전년대비 0.4조원, 29.3% 증가한 1.9조원 규모로, 특히 도로, 철도 교량 시설물에 대한 투자는 '14년 대비 2,505억 원, 85.6%증가한 5,432억 규모로 증가 규모와 비율 모두 가장 큼



※상기 보수·보강 예산은 '안전대진단 5대분야' 안전투자 기준

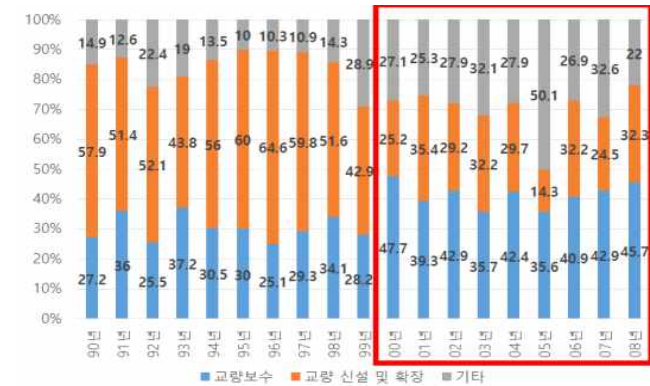
〈그림 2-20〉 2015년 주요 부처 시설물 보수·보강 계획(국민경제자문회의, 2015)

- 정부의 도로안전예산 중 구조물기능 개선 항목에서 교량, 터널 보수 항목이 규모와 성장을 측면에서 가장 두드러짐. 하지만 최근 5년간 도로교량 보수 보강 관련 예산이 전체 도로안전예산에서 차지하는 비중은 대동소이함



〈그림 2-21〉 구조물 성능 개선 분야 및 도로안전예산 중 교량 보수보강 관련 예산 추이 (국토교통부, 2014)

- 1995년 시설물의 안전관리에 관한 특별법 제정 이후 1·2종 시설물 중심의 유지관리 시장이 본격화 되었고, 2000년 이후 도로교량에 대한 유지보수 비용이 신설 및 확장비용을 상회하기 시작함



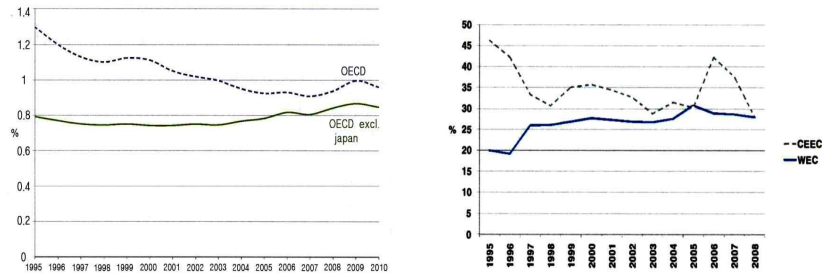
〈그림 2-22〉 연도별 도로교량 투자 추이(한국건설산업연구원, 2015)

2. 국외 시장현황 및 전망

□ 국내·외 사회기반시설물 유지·보수 투자 현황

○ OECD 회원국은 GDP의 0.3%를 SOC(교통)의 유지·보수로 투자

- SOC 투자 : GDP의 1%(신규건설 0.7%, 유지·보수 : 0.3%, 서유럽 기준)



〈그림 2-23〉 OECD 회원국의 SOC(교통) 유지·보수 투자 추이(1995~2010년)
(OECD International Transport Forum, Statistics Brief 2012
(CEEC : 중앙 및 동유럽 국가, WEC : 서유럽 국가))

〈표 2-17〉 개발도상국의 SOC(교통) 유지·보수 투자 추정(2008~2015년)

지역별 SOC투자(GDP의 %)						형태별 SOC 투자 (GDP의 %)		전체 (GDP의 %)
동아시아	동유럽	라틴 아메리카	북아프리카	남아시아	남아프리카	신규 건설	유지 보수	
1.7	3.1	1.5	3.0	4.0	3.0	0.5	1.8	2.3

※ European Investment Bank, Infrastructure Finance in Developing Countries, 2010

〈표 2-18〉 우리나라의 SOC(교통) 유지·보수 투자 추정(2008~2015년)

구분	GDP	도로			철도			합계		
		신규 건설	유지 보수	전체	신규 건설	유지 보수	전체	신규 건설	유지 보수	전체
투자액(조원)	1,173	5.60	2.21	7.81	4.40	0.81	5.21	10.00	3.02	13.02
GDP의 %	100.00	0.48	0.19	0.67	0.38	0.07	0.44	0.85	0.26	1.11

※ 전 체: 국회예산정책처, 2010년도 SOC 예산 및 국가재정운용계획(안) 참조
유지보수: 국토해양부의 2010 도로보수현황, 한국철도공사 연도별 시설업무자료(고속철 포함), 서울메트로, 서울도시철도공사, 대전·대구·광주·부산 도시철도공사 경영공시 자료 참조
신규건설: 전체 투자액에서 유지·보수 투자액을 차감한 금액

○ 개발도상국은 GDP의 1.8%를 SOC(교통)의 유지·보수로 투자

- SOC 투자: GDP의 2.3%(신규건설 0.5%, 유지·보수 1.8%)

○ 한국은 GDP의 0.26%를 SOC(교통)의 유지·보수로 투자

○ 2005년 세계 건설 시장의 35%가 신흥시장이었다면, 2020년에는 우리나라를 비롯한 BRICs 등의 신흥시장 규모가 확대되어 전 세계 시장의 55%를 점유할 것으로 추정

○ 특히 고성능 콘크리트, 고성능 강재, FRP 등 신재료를 활용한 국외 구조물 시장은 연간 100~200억 달러에 이를 것으로 추산됨

○ 1970년대 이후 미국에서는 사회간접자본 투자가 많지 않았으나 2000년 이후 노후 교량의 대체 등으로 매년 94억 달러씩의 비용을 투입

○ 미국의 경우 20년간의 교량 보수보강이 필요함에 따라 향후 총 1,880억 달러 이상의 시장 규모 형성될 것으로 전망됨

○ 또한, 수명 50년 이상의 교량은 2010년 기준으로 약 20만개이고, 2050년에는 54만개로의 증가가 예상됨에 따라 향후 6년간 약 4,000억 달러의 예산 투입 계획됨

○ 유럽 5개국(오스트리아, 체코, 덴마크, 스웨덴, 영국)의 구조물 교체수요에 추정된 비용은 860억 유로 이상으로 추산

○ 일본은 1990대에는 신규(70%), 유지관리(20%), 교체(5%), 재해복구(5%)로 신규시장의 규모가 가장 컸으나, 2005년 이후로는 교체시장이 꾸준히 증가하여 유지관리 및 교체 비율이 증가하고 있음(일본 유지관리 및 교체 시장 규모 : 2010년(38%), 2020년(45%), 2030년(60%))

○ 사회기반시설물 투자: GDP의 1.11%(신규건설 0.85%, 유지·보수 0.26%)

- 한국건설산업연구원의 건설산업동향 리포트에 따르면, 세계 건설시장의 총 규모는 2007년 1월 기준으로 약 4조 5천억 달러로 추산되며, 연 평균 5~6%의 성장세가 당분간 지속될 것이라고 전망됨

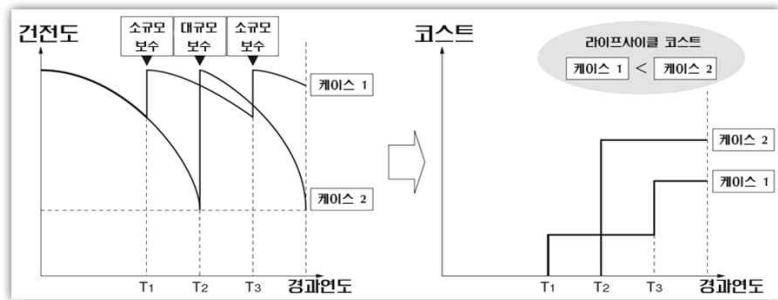
- 선진국은 이미 사회기반 시설물에 투자된 규모가 막대하고 대체로 사회가 안정기에 들어서 있으므로, 시설물의 노후화 및 재난에 대응하는 유지관리에 많은 투자 진행

- 일본의 경우 지난 10년간 건설시장의 규모가 10% 정도 감소하였으나 유지관리 관련 시장은 20% 가량 증가

- 일본을 제외한 아시아권 국가들에서는 2000년 기준으로 2016년까지 평균

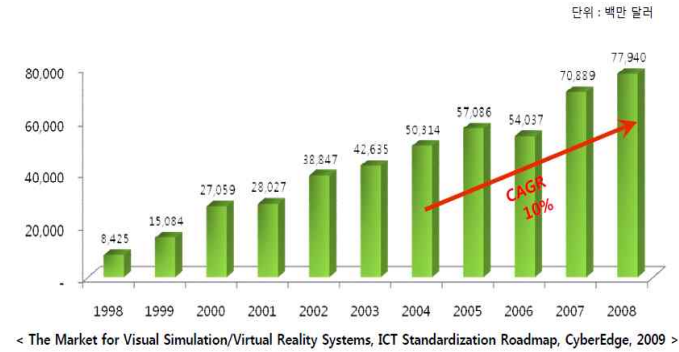
5.5배까지 성장할 것으로 전망

- 사회가 성숙된 유럽의 경우 주요 15개국의 보수시장 규모는 1997년 2천 5백 10억 유로로 추정되며 전체 건설시장에서 차지하는 비중은 평균 35%에 이르고 있음
- 보수사업의 경우 유럽지역에서 매우 중요한 건설사업의 한 영역으로 서유럽 국가의 경우 90년대에도 리모델링 시장의 규모는 지속 상승
- 전체 건설시장에서 보수가 차지하는 비중은 15개국 평균 1992년의 33.2%에서 2000년도 35.7%로 상승
- 적절한 보수시기의 선정은 시설의 수명연장과 안전 및 경제성 확보 유리하며, 대규모 보수보다 소규모 보수를 자주하는 것이 효과적



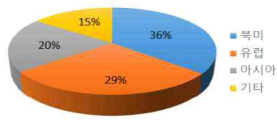
〈그림 2-24〉 예방과 보전에 있어서 시설물의 생애비용 감소 모식도
(미래이 사회환경 포럼 홈페이지(<http://www.mirai-forum.com>))

- 미국의 경우 증강현실안경, 여행객을 위한 ‘투어링 머신’, 군사 및 여행자를 위한 GPS칩 장착 헤드셋, 복강경 수술 등에, 일본의 경우 마그네틱 센서, CCD 카메라가 부착된 헤드셋, 아바타(분신)를 이용한 증강현실게임 등에 활용

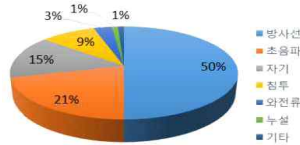


〈그림 2-25〉 증강현실 시장

- 선진국의 진단기술 시장 현황 및 향후 예측
- Frost & Sullivan에 의하면 안전 진단 센서 관련 부가가치는 약 100억 달러에 이르는 높은 경제성을 갖고 있는 것으로 분석됨
- 2012년 기준 해외 안전 진단 센서 시장의 규모는 약 41,928억 원
- 해외 안전 진단 센서 시장의 성장률은 연평균 6.0%로 전망되며, 2012년 41,928억 원 규모에서 오는 2017년 56,109억 원 규모로 성장
- 첨단장비일수록 수입의존도가 더 높고, 관련 소모품 등 일부만 국내생산되며 비파괴 검사 및 안전 진단 분야의 센서의 경우 90% 가량 수입에 의존
- 방사선 센서의 비율이 50% 수준으로 지배적이었으나, 안전 문제로 인해 규제가 강화되면서 최근에는 초음파와 기타 비접촉식 센서로 시장 이동 중
- 세계를 기준으로 이미지 센서 시장은 2014년 88억 달러에서 2020년까지 연평균 성장률 10.6%를 보일 것으로 전망되고 3D 센서 시장은 2015년부터 연평균 성장률 25.51%를 보일 것으로 예상되며 2020년까지 33억 달러에 이를 것으로 보이는 등 가파른 성장 동향을 보임
- 비접촉센서의 대표주자격인 이미지센서 업체는 트루센스와 애플 나간 인수 합병 사례와 같이 최근 인수합병을 통해 사업 확장에 매진하고 있는 추세임
- 적외선 센서 시장은 2012년 8억 달러에서 2019년 70억 달러에 이를 것으로 예측되며 27%의 시장점유율을 가지는 FLIR사와 21%를 차지하는 GE/SenseAir가 시장을 주도하고 있음



세계 안전진단 센서 시장 비율

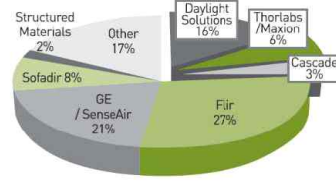


안전진단 센서 종류별 비율

<그림 2-26> 안전진단 센서 시장 동향(광주테크노파크, 2014)



세계 적외선 센서 시장 전망



적외선 센서 업계 점유율

<그림 2-27> 적외선 센서 시장 동향(한국산업기술평가관리원, 2012)

3절. 국내외 기술현황 및 분석

1. 국내 구조물 상태평가 분야 현황

가. 시설물 안전관리 관련 최신 기술 및 연구동향

<표 2-19> 시설물 안전관리 기술 및 연구 동향

제목	목적	기간 및 담당기관
시설물 안전관리 일원화 연구	• 특정관리대상시설의 「시특법」 편입에 따른 체계적 안전관리를 위해시행	’ 15.9~12, 한국재난안전기술원
사회기반시설 성능중심 유지관리를 위한 법제화 연구	• 성능중심 SOC 유지관리체계 구축	’ 15.4~11, 고려대
시설물 안전관리체계 개선 TF	• 안전점검의 실효성 확보와 SOC노후화 등에 따른 제도개선	’ 16.3~6, 민관합동팀 15명
시설물 안전관리체계 종합개선대책 수립 연구	• 시설물의 안전 및 유지관리체계 재정립과 실효성 확보	’ 16.6~’ 17.3, 유지관리공학회
「시설물의 안전 및 유지관리에 관한 특별법」	• 시설물관리계획의 수립·이행 절차, 3종 시설물의 지정·관리, 성능평가 대상 시설물 및 성능평가의 실시절차 등 등 법률에서 위임한 사항을 구체적으로 규정	’17.1.17. 공포, ’18.1.18.시행

○ 국내 시설물의 유지관리에 관한 상태평가 및 안전성평가 등이 체계적으로 시작된 것은 『시설물의 안전관리에 관한 특별법』(이하『시특법』이라 함)이 제정(’95.1.5)되면서부터 시설물에 대한 유지관리를 법령으로 통제하여 국가 사회기반시설물에 대한 안전성을 확보 추진

- 일반적으로『시특법』에 따른 시설물의 점검·진단 실시에서는 구조물의 내하성, 내구성, 사용성, 주변환경의 영향 등을 종합적으로 고려하여 조사한 결과로부터 안전등급을 지정하고 현 상태의 시설물을 평가
- 현행의『시특법』에 따른 “안전점검 및 정밀안전진단 세부지침”(이하 ‘세부지침’이라 함) 및 시설물 유지관리 관련 규정 또는 요령 등에서는 시설물의 유지관리를 구조안전성과 내구성 및 내진성 등을 위주로 그 평가 기준이 마련

- 공용 중인 시설물의 구조안전성(내하성), 내구성 등에 관한 상태평가, 구조안전성평가 등은 ‘세부지침’에 따라 시설물평가를 실시하고, 내진성능은 ‘기존 시설물의 내진성능 평가 및 향상요령40)’이 발간되어 시설물별로 사용
 - 국토해양부 고시 “시설물의 안전점검 및 정밀안전진단 지침”(이하 “지침”이라 함)에서 시설물의 사용성평가는 정밀안전진단(이하 ‘진단’이라 함) 실시에서 선택과업으로 구분되어 시설물의 사용성에 관한 별도의 안전기준은 부재
 - 시설물은 안전함에도 불구하고 진동, 소음 등으로 사용상의 불안감과 불편감을 유발시키는 등의 문제로 인해 많은 사회적인 문제를 발생
- 국내에서는 이러한 상태평가 및 안정성평가에 추가하여 시설물의 성능을 고려하는 방안에 대한 연구가 진행
- 시설물은 건축물 및 교량이 대부분이며, 콘크리트 구조물에 대한 자료 등이 있었으나, 내구성 및 안전성 등 시설물의 자체에 대한 성능평가가 주를 이루고 있으며, 건축의 거주성능 분야에서 사람을 고려하는 평가 기준이 존재하는 것으로 검토
 - 교량의 경우에는 2000년 ‘교량의 진동·처짐에 대한 사용성 측면에서의 평가절차 수립41)’에서 실제 교량의 변위 및 가속도의 진동계측을 통하여 일반 도로교량의 진동·처짐에 대한 진동사용성 평가절차 및 평가기준을 제시하고자 하였으며, 이후 연구에서는 차량에 의한 상부구조의 처짐 및 진동에 대한 사용성 검토가 주를 이룸
 - 한편, 2009년 ‘사회기반 콘크리트 구조물의 성능평가 통합시스템 구축42)’ 최종보고서에서는 교량과 건축 시설물에 대해서 ‘사용성 평가지침(안)’을 제시하고 있으며, 2011년 ‘성능중심의 건설 기준 표준화 연구보고서43)’에서는 성능중심 콘크리트 구조설계기준(안)을 제시 하였으나, 시설물 준공 이후 안전점검과 정밀안전진단(이하 ‘점검·진단’이라 함) 실시결과 평가에서 적용하는 방법 등에 대한 세부적인 내용이 없는 관계로 이를 그대로 점검·진단 실시결과에 적용하기에는 어려움

〈표 2-20〉 시설물 성능평가 관련 기존 연구개발 결과 사례

	보고서명	대상시설	주요 내용	발행처
1	철근콘크리트조 건축물의 내구성 향상기술	건축물	내구성	일본국토개발기술연구센터(1986)
2	철근콘크리트 건축물의 진단과 보수	건축물	내구성	시설안전기술공단(1999.12)
3	고층건축물 구조안전성 및 사용성 장기계측 시스템을 이용한 상시 안전진단기술 개발	건축물	안전성 사용성	건설교통부/한국건설기술연구원 (2001.11)
4	건축물 진동에 관한 거주성능 평가지침 동해설	건축물	거주성능	일본건축학회(2004)
5	공동주택의 하자평가 매뉴얼 개발	공동주택	성능	국토해양부/한국시설안전공단/한국건설관리학회(2010.11)
6	주택성능등급 표시제도의 발전방안 연구(매뉴얼)	주택	성능	국토해양부(2011.05)
7	강교의 피로손상 분석 및 평가	강교량	피로	시설안전기술공단(1998.12)
8	교량의 진동·처짐에 대한 사용성 측면에서의 평가절차 수립	교량	진동 처짐	건설교통부/한국건설기술연구원 (200.09)
9	콘크리트 균열조사, 보수·보강지침	콘크리트 구조물	균열	일본콘크리트공학협회 (2009.06)
10	사회기반 콘크리트 구조물의 성능평가 통합시스템 구축-사용성 평가지침(안)	콘크리트 구조물	성능	국토해양부/ 한국건설교통기술평가원(2009.11)
11	성능중심의 건설기준 표준화-도로 포장 및 콘크리트 구조물 중심-(3세부과제:성능중심 콘크리트 구조 설계기준 개발) 연구보고서	콘크리트 구조물	성능	국토해양부/ 한국건설교통기술평가원(2011.05)
12	이상기후에 대비한 시설기준 강화 연구보고서	공통	재난	국토해양부/ 한국건설교통기술평가원(2010.06)

나. 안전점검 및 정밀안전진단 분야

□ 시설물 점검 및 평가 절차

- 국내에서는 시설물의 점검을 통하여 시설물을 상태를 평가하고 안전성평가와의 종합적인 결과를 바탕으로 시설물의 등급을 정하고 있음
- 국내 시설물의 종합평가는 구조물 부재의 결함, 손상 및 열화에 대하여 평가기준 및 상태평가 절차에 따라 수행한 상태평가 결과와 시설물의 안전성평가 결과를 고려하여 개별시설물의 종합평가를 실시
- 교량 등 각 시설물에 대한 종합평가는 상태평가만 실시하거나 또는 상태평가와 안전성평가를 각각 실시한 후 이들 결과를 기초로 종합
- 상태평가만 실시하는 경우에는 상태평가 결과를 종합평가 결과로 가름하여 상태평가 결과가 종합평가 결과로 결정되지만 상태평가와 안전성평가가 동시에 실시한 경우에는 상태평가 결과와 안전성평가 결과를 비교 검토하여 최종적인 종합평가 결과를 부여
- 보수·보강 필요성을 판단하기 위한 대표적인 기준을 살펴보면, 「안전점검 및 정밀안전진단 지침 및 세부지침 - 교량편」에서는 상태평가 또는 상태평가와 안전성평가의 낮은 값을 선택하여 종합평가를 하고 이로 안전등급(시설물 등급)을 정함
- 상태평가의 경우 1차부재(주부재)와 2차부재(부부재)로 나누어 부재별로 차등된 상태등급을 적용하고 여기에 또다시 가중치를 부여하여 하나의 시설물에 대한 상태평가 결과를 산정
- 안전성평가의 경우 구조점토와 안전율 및 내하력을 계산한 후 그 결과를 산정
- 「안전점검 및 정밀안전진단 세부지침」에는 안전점검 및 정기점검에서는 상태평가 결과를 종합평가로 간주하여 안전등급을 정하고, 정밀안전진단에서는 상태평가와 안전성평가 결과를 비교하여 안전등급을 결정
- 상태평가의 국내 점검기준을 살펴보면 각 부재별로 조금씩 차이를 보이고 있지만 대부분의 부재에서 균열에 대한 기준을 중요하게 제시
- 열화 및 손상에 대한 평가기준으로는 표면손상(면적), 철근부식 손상(면적)으로 크게 구분되고 바닥판의 경우에만 누수에 대한 언급이 있으며, 박리 및 박락으로 인한 콘크리트의 심한 파손의 경우 가장 낮은 등급을 취함
- 「안전점검 및 정밀안전진단 세부지침」에서는 보수를 위해서는 상태평가 결과 등을, 보강을 위해서는 상태평가 및 안전성평가 결과 등을 상세히 검토하고 발생한 상태변화의 종류 및 정도, 구조물의 중요도, 사용 환경조건

및 경제성 등에 의해서 필요한 보수·보강 방법 및 수준을 정하도록 하고 있지만 보수·보강의 실시여부를 판단하는 명확한 기준은 아직까지 없으며 전문가의 판단에 의해 결정되고 있는 한계가 존재

〈표 2-21〉 안전등급 기준 (시특법 개정안 제19조 관련, 2017.01)

안전등급	시설물의 상태
A (우수)	• 문제점이 없는 최상의 상태
B (양호)	• 보조부재에 경미한 결함이 발생하였으나 기능 발휘에는 지장이 없으며 내구성 증진을 위하여 일부의 보수가 필요한 상태
C (보통)	• 주요부재에 경미한 결함 또는 보조부재에 광범위한 결함이 발생하였으나 전체적인 시설물의 안전에는 지장이 없으며, 주요부재에 내구성, 기능성 저하방지를 위한 보수가 필요하거나 보조부재에 간단한 보강이 필요한 상태
D (미흡)	• 주요부재에 결함이 발생하여 긴급한 보수·보강이 필요하며 사용제한 여부를 결정하여야 하는 상태
E (불량)	• 주요부재에 발생한 심각한 결함으로 인하여 시설물의 안전에 위험이 있어 즉각 사용을 금지하고 보강 또는 개축을 하여야 하는 상태

〈표 2-22〉 안전점검 및 성능평가의 실시범위(시특법 개정안 제24조 및 제41조제3항 관련)

종류	직무 분야	실시 대상 시설물
안전점검 및 긴급안전 점검	1. 토목 분야	교량, 복개구조물, 터널, 지하차도, 갑문, 방파제, 파제제, 호안, 계류시설, 댐, 하구둑, 방조제, 수문 및 통문, 제방, 다기능 보, 배수펌프장, 광역상수도, 공업용수도, 지방상수도, 공공하수처리시설, 옹벽 및 절토사면, 공동구, 공동주택, 대형건축물, 철도 역시설, 관람장, 문화 및 집회시설, 종교시설, 판매시설, 운수시설 중 여객용 시설, 의료시설, 노유자시설, 수련시설, 운동시설, 숙박시설 중 관광숙박시설, 관광 휴게시설, 지하도상가
	2. 건축 분야	교량, 복개구조물, 터널, 지하차도, 공동구, 옹벽 및 절토사면, 댐, 하구둑, 방조제, 수문 및 통문, 제방, 다기능 보, 배수펌프장, 광역상수도, 공업용수도, 지방상수도, 공공하수처리시설, 옹벽 및 절토사면, 갑문, 방파제, 파제제, 호안, 계류시설, 옹벽 및 절토사면, 공동주택, 대형건축물, 철도 역시설, 관람장, 문화 및 집회시설, 종교시설, 판매시설, 운수시설 중 여객용 시설, 의료시설, 노유자시설, 수련시설, 운동시설, 숙박시설 중 관광숙박시설, 관광 휴게시설, 지하도상가
정밀안전 진단 및 성능평가	1. 토목 분야	가. 교량 및 터널 분야 교량, 복개구조물, 터널, 지하차도, 공동구, 옹벽 및 절토사면 나. 수리시설분야 배수펌프장, 광역상수도, 공업용수도, 지방상수도, 공공하수처리시설, 옹벽 및 절토사면 다. 항만 분야 갑문, 방파제, 파제제, 호안, 계류시설, 옹벽 및 절토사면
	2. 건축 분야	공동주택, 대형건축물, 철도 역시설, 관람장, 문화 및 집회시설, 종교시설, 판매시설, 운수시설 중 여객용 시설, 의료시설, 노유자시설, 수련시설, 운동시설, 숙박시설 중 관광숙박시설, 관광 휴게시설, 지하도상가
	3. 종합 분야	토목·건축 분야 시설물

비고 :

1. 유지관리업자는 분야별 책임기술자를 보유한 경우에만 해당 분야의 시설물에 대한 안전점검을 실시할 수 있다.
2. 종합 분야 안전진단전문기관 및 한국시설안전공단은 모든 분야의 안전점검 등 및 성능평가를 수행할 수 있다.

〈표 2-23〉 성능등급 기준 (시책법 개정안 제19조 관련, 2017.01)

구분	시설물의 성능
안전성	A (우수)
	B (양호)
	C (보통)
	D (미흡)
	E (불량)
내구성	A (우수)
	B (양호)
	C (보통)
	D (미흡)
	E (불량)
사용성	A (우수)
	B (양호)
	C (보통)
	D (미흡)
	E (불량)
종합등급	A (우수)
	B (양호)
	C (보통)
	D (미흡)
	E (불량)

다. 국내 주요 시설물 관리시스템 현황

□ 시설물 점검 및 평가 절차

○ 현행 안전점검 및 정밀안전진단 결과는 시설물정보관리종합시스템(FMS)에 등록하여 관리됨

- FMS에 등록된 자료는 실질적인 데이터가 아닌 보고서 형태의 자료이기 때문에 자료의 공유 및 활발한 사용에는 한계가 있음

- 현재, FMS 등록 자료를 전산화(데이터화)하여 시스템의 기능 고도화를 추진하고 있으며, 향후 시스템 등록 정보를 상시 공유하여 성능평가 수행에 활용할 수 있을 것으로 기대

번호	점검기간구분	점검기간구분	책임자	주요 점검결과	작성일자	승인일자	e-보고서
1	20130101 ~ 20130319	자재수행	김진호	0월부 미세균열, 도장박리	2013-06-25	승인	
2	20130101 ~ 20130319	정기점검	김진호	양호	2013-06-25	승인	제출 (완료)
3	20130101 ~ 20130319	정기점검	서동진	8등급	2013-06-25	승인	
4	20130101 ~ 20130319	정기점검	김진호	양호	2012-11-12	승인	
5	20130101 ~ 20130319	정기점검	하영진	보통	2012-05-03	승인	
6	20130101 ~ 20130319	정기점검	하영진	양호	2012-06-05	승인	
7	20130101 ~ 20130319	정기점검	하영진	양호	2011-04-12	승인	제출

〈그림 2-28〉 FMS 예시

○ 주요 시설물별 데이터베이스 구축 관련 국내 주요 관리시스템은 국토해양부를 중심으로 운용되고 있으며, 주요 시스템 현황은 다음과 같음

- 교량관리시스템(BMS): 가장 활발하게 진행되고 있는 시스템이며, 국토부, 도로공사, 안행부 각 시별 등 다양한 유형으로 운용중(성능, 비용 등과 관련된 항목 존재). 또한 매년 교량현황조서 발간 기능 존재.



〈그림 2-33〉 설계 및 준공도면 관리 화면 예

2. 국외 구조물 상태평가 분야 현황

가. 미국의 기술동향

□ 미국 내 점검기준

- 미국 내 시설물 점검기준은 AASHTO 기준을 따르고 있으며, 이는 점검에 의하여 구조물의 상태변화를 파악하고, 그 결과로서 수명을 재 산출하며 실 하중과 안전을 검토하는 방식으로 구성
- 점검방법은 초기점검, 정기점검, 손상점검, 정밀 점검 및 특별점검의 5종류로 구분하고 있다. 초기점검은 교량 신설 혹은 개축 시 실시하고, 정기점검은 매 2년마다 실시하며, 그 외에는 필요 시 실시하도록 규정
- 미국에서는 시설물의 점검 및 의사결정을 위한 매뉴얼이 각 주마다 상이하지만 대다수의 주에서 AASHTO의 기준을 바탕으로 각 주의 특성을 고려하여 사용하고 있다. 대표적으로 미국의 점검 기준이 되는 AASHTO에서 발행한 'Bridge Element Inspection Manual'에서는 국내에서와 마찬가지로 부재별로 상태변화의 단계를 규정

〈표 2-24〉 FHWA의 판정기준

등급	상태
N	판정 곤란 상태
0	파괴상태 : 폐쇄, 보수불능
1	위험상태 : 폐쇄, 보수가능
2	심각한 상태 : 보수·보강 시까지 교량 폐쇄
3	불량한 상태 : 즉시 보수·
4	한계상태 : 주요 보강이 필요할 수 있음
5	보통상태 : 경미한 보강이 필요할 수 있음
6	비교적 양호한 상태 : 보수가 필요할 수 있음
7	양호한 상태 : 경미한 보수가 필요할 수 있음
8	매우 양호한 상태 : 보수 불필요
9	건설 당시의 상태

〈표 2-25〉 뉴욕시 교통국의 관정기준

등급	상태
1	위험한 상태
2	1과 3사이의 상태
3	불량한 상태이며 설계기능이 발휘되지 못함
4	3과 5사이의 상태
5	경미한 손상이 존재하지만 설계기능은 발휘되고 있음
6	5와 7사이의 상태
7	건설 당시의 상태

〈표 2-26〉 뉴욕시 교통국의 교량상태 등급

등급	상태
poor	내화성능을 보증하기 위해서는 항시 감시해야 할 정도로 손상이 발생되어 있고, 경우에 따라서는 하중제한을 실시할 필요가 있으나 특별히 위험한 상태는 아님
fair	1차 또는 2차 부재에 손상이 있지만 내화성능에는 큰 영향은 없으며 복구가 필요한 상태
good	1차 또는 2차 부재에 약간의 손상이 있고, 도장 또는 약간의 복구가 필요하지만 내화성능에는 영향이 없는 상태
very good	도장, 청소, 기름칠 등의 작업 이외에는 특별한 보수작업을 필요로 하지 않는 상태

〈표 2-27〉 AASHTO 상태평가 등급

Defect	Condition State 1	Condition State 2	Condition State 3	Condition State 4
Cracking	None to hairline	Narrow size and/or density	Medium size and/or density	The condition is beyond the limits established in condition state three and/or warrants a structural review to determine or serviceability of the element or bridge
Spalls/Delaminations/Patched Area	None	Moderate spall or patch areas that are sound	Severe spall or patched area showing distress	
Efflorescence	None	Moderate without rust	Severe with rust staining	
Settlement	None	Less than 1.5inch (40mm)	More than 1.5inch (40mm)	
load Capacity	No reduction	No reduction	No reduction	
Feasible Actions	Do nothing protect	Do nothing protect	Do nothing protect repair rehab	Do nothing rehab replace

〈표 2-28〉 AASHTO 상태평가 기준

Defect	Hairline-Minor	Narrow-Moderate	Medium-Severe
Cracking	<0.0625 inches (1.6mm)	0.0625-0.125 inches (1.6-3.2mm)	>0.125 inches (3.2mm)
Spalls/Delaminations	N/A	Spall less than 1 inch(25mm) deep or less than 6 inches in diameter	Spall greater than 1 inch(25mm) deep or greater than 6 inches in diameter or exposed rebar
Cracking Density	Spacing Greater than 3.0feet(0.33m)	Spacing of 1.0 and 3.0 feet(0.33-1.0m)	Spacing of less than 1 feet (0.33m)
Efflorescence	N/A	Surface white without build-up or leaching	Heavy build-up with rest staining

○ AASHTO의 ‘Bridge Element Inspection Manual’은 국내의 지침보다는 더욱 세분화되어 부재를 구분하고 각 부재의 상태를 Hairline-Minor, Narrow-Moderate, Medium-Severe로 구분하였으며 상태변화는 Cracking, Spalls/Delaminations, Cracking Density, Efflorescence로 구분

○ 또한 각 부재의 컨디션은 Crack, Spalls/Delaminations/Patched Area, Efflorescence, Load Capacity 등의 상태변화에 따라 4단계로 정의하여 각 부재의 단계별로 수행해야하는 조치를 제시

○ 컨디션 1과 2의 경우는 보수·보강이 필요 없는 단계이고 컨디션 3은 보수가 필요하며, 컨디션 4의 경우는 안전점검을 통해 강도와 사용성을 평가하여 보강 및 교체를 해야 하는 단계

□ 미국 유지관리 의사결정 지원 소프트웨어

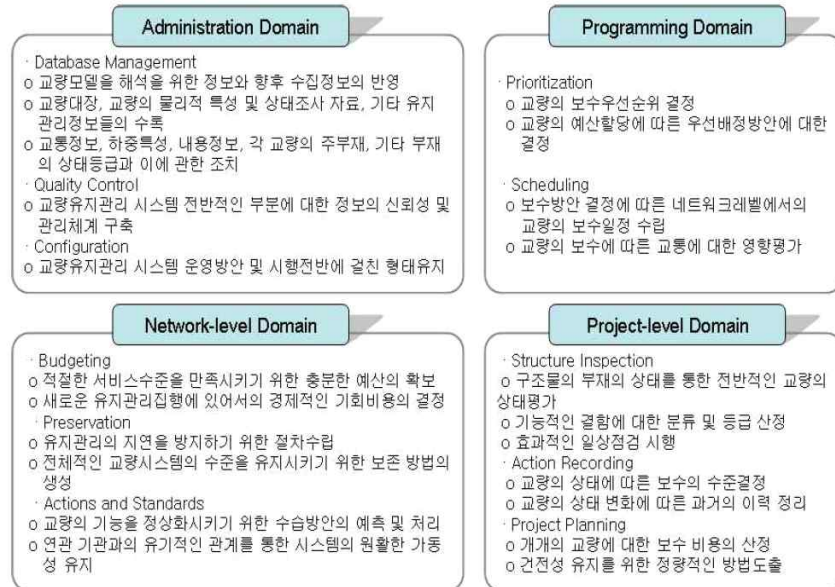
○ 미국에서는 유지관리 소프트웨어를 개발하여 이를 이용하여 유지관리를 수행하고 있으며 유지관리에 필요한 의사결정도 함께 수행하고 있다. 미국에서의 프로그램에 의한 유지관리는 시설물을 자산으로 등록하여 이를 자산으로 평가하는 방식의 유지관리를 수행

○ 미국 PONTIS를 이용한 관리흐름도에서 나타낸 바와 같이 관리 목표를 설정하고 자산목록을 구축한 후에 이를 평가하며, 그 이후 대안을 마련하고 이를 분석하고 예산을 배분하여 단기와 장기로 구분된 관리 프로그램에 의하여 유지관리를 수행

○ 특히 대표적인 PONTIS는 1989년 미연방도로청의 시험용 PONTIS 프로젝트를 통해 지원되어 개발되었고, 후에 6개 주가 참여하였고 두 명의 컨설턴트가 지원

○ 개발된 프로그램은 AASHTO의 많은 프로젝트 하에서 많은 주에 의해서 평

가를 통하여 성능개선을 수행



〈그림 3-34〉 PONTIS의 기능



〈그림 2-35〉 국내의 시설물유지관리시스템 개발 및 적용현황

나. 유럽의 기술동향

□ 유럽의 점검방법

- 유럽에서는 시설물의 점검방법으로서 크게 일상점검, 정기점검, 특별점검의 3가지로 분류하고 있으며, 특히 정기점검을 다시 일반정기점검과 상세정기점검으로 분류하고 있음
- 점검에는 상당한 인력과 예산이 소요되므로 점검의 주기를 합리적으로 결정하여야 할 필요가 있는데 OECD의 연구결과에 따르면 점검주기의 상한값으로 일상점검은 1년, 일반정기점검은 3년, 상세정기점검은 10년으로 제시하고 있음
- 교량의 실제 상태는 선택된 점검주기에 따라 많은 영향을 받을 수 있으며, 어떤 경우에는 특별점검 또는 계속적인 관찰이 필요하기도 함

□ 점검주기 및 판정기준

- 안전성, 기능성, 교통량, 경제성, 교량 손상율 등은 점검의 종류를 결정하는 주요한 요인이며, 교량의 구조형식, 시공재료, 설계의 난이도는 점검주기를 결정하는 주요 요인임
- FIP의 보고서에 따르면 점검주기는 다음과 같은 요인에 의하여 지배된다고 설명되어 있음
- 한편 외관조사 시 사용되는 판정기준은 6등급으로 분류되며, 각 B~F 등급마다 상세하게 기술된 도해(圖解) 카탈로그를 사용하여 매뉴얼화 되어 있음

〈표 2-29〉 프랑스 교통국의 판정기준

등급	상태
A	건전한 상태
B	손상이 명확하지 않고 그 영향이 크지 않은 경우
C	손상이 진전될 가능성이 있는 경우
D	열화가 진행되는 결함
E	구조물의 거동변화를 일으키고 내력에 영향을 미치는 결함
F	결함으로 인하여 극한상태에 이르거나 상용제한 또는 사용 부적합을 초래하는 결함

다. 일본의 기술동향

□ 일본의 점검방법

- 일본의 경우는 점검의 종류 및 방법이 시설물의 종류에 따라 각기 용어 및 주기가 달라서 이를 통일시키기 위한 작업의 일환으로서 1988년 건설성 토목연구소에서 이에 대한 연구를 실시하여 점검방법을 통상점검, 정기점검,

이상 시 점검, 추적조사, 상세조사의 5단계로 분류

- 시설물의 종류를 A, B, C, D로 구분하여 각 시설물의 종류에 따라 점검의 종류를 구분
 - A는 예방 보전을 위한 유지관리로 열화가 밖에 나타나서는 곤란하며 열화가 현저히 진행된 후에는 대책이 곤란하고 설계 내용기간이 긴 시설물이 포함
 - B는 사후 유지관리로 사후 보전을 기초로 한 유지관리로써 열화에 대책이 가능하고 기능에 영향을 주지 않는 시설물을 포함
 - C는 관찰 유지관리로 육안 관찰을 주체로 한 유지관리 시설물
 - 마지막으로 D의 경우 무점검 유지관리로써 직접적인 유지관리가 어려운 시설물로 구분

〈표 2-30〉 일본 토목연구소의 판정 기준(안)

등급	상태
I	손상이 현저하고 안전 확보에 지장이 있는 경우
II	손상이 크고 상세조사를 실시해 보수 여부를 검토할 필요가 있는 경우
III	손상이 보이고 추적조사를 실시할 필요가 있는 경우
IV	손상이 보이고 기록할 필요가 있는 경우
OK	손상이 보이지 않는 경우

- 일본토목학회의 콘크리트구조물 유지관리지침에서는 육안관찰을 주체로 한 점검결과에 기초한 평가판정과 상세점검결과에 기초한 평가판정 2단계로 구분하여 실시
- 구조물의 공용가부, 보수와 보강의 실시 여부는 구조물의 내구성과 기능성, 주변 환경에의 영향성에 대한 평가결과와 구조물의 부재별 중요도 등을 고려하여 종합적으로 판정
- 일본 북해도 교량유지관리 매뉴얼에 따르면 국내에서와 같이 중요부재와 기타부재로 구분하여 점검을 실시하지만 그 상태점검의 기준은 상태변화에 따른 기준이 제시되고 각 부재별로 세분화 되어있다. 또한 각 위치별 균열의 형태 등을 자세하게 보여주어 객관적인 점검을 유도
- 일본 국토개발기술센터의 「콘크리트 건축물의 내구성 향상기술」에서는 콘크리트 균열 등과 같은 상태변화에 대하여 1차, 2차, 3차 점검을 실시한 후 점검결과에 따라 보수의 여부를 판단할 수 있는 기준을 제시
- 「콘크리트 건축물의 내구성 향상기술」의 균열의 2차 3차 진단의 기준과 보수 여부 판정 기준을 정하였고, 「콘크리트 균열조사 보수·보강 지침」의 각 판정 방법에 따른 보수의 필요성 판단 기준을 결정

3. 국내 및 국외 기술 수준 비교 분석

가. 구조물 상태평가 기술

- 국내·외 구조물 상태 평가 점검기술과 기준은 국가별로 조금씩 상이한 점이 있으나, 대부분 부재의 균열에 대한 평가 기준을 중요하게 제시함
- 기존 구조물의 상태평가 기술은 평가자의 주관적인 의사결정에 의한 정성적인 평가에 집중되고 있으며, 공용기간 등의 수명과 내구성에 대한 고려가 부재한 실정임
- 또한 지하구조물에 대한 정량적인 상태평가 기준이 제시되고 있지 않으며, 기존 구조물의 상태평가 기준이 균열평가에 중점 되어 균열관찰이 불가능한 지하구조물에 대한 적용이 어려움
- 따라서, 지하 콘크리트 구조물에 대한 상태 평가 뿐 아니라 종합적인 성능을 평가할 수 있는 방안이 마련되어야 하며, 그 결과의 객관성과 정량성을 입증할 수 있는 기술이 개발되어야 함

〈표 2-31〉 국내·외 구조물 점검기술 분석

	구조물 점검 기준	주요 내용
국내	시설물의 안전관리에 관한 특별법	- 구조물의 내하성, 내구성, 사용성, 주변환경의 영향 등을 종합적으로 고려하여 조사한 결과로부터 안전등급을 지정하고 현 상태의 시설물을 평가 - 시설물의 유지관리를 구조안전성과 내구성 및 내진성 등을 위주로 그 평가기준이 마련됨
미국	AASHTO 기준	- 미국에서는 시설물의 점검 및 의사결정을 위한 매뉴얼이 각 주마다 상이하지만 대다수의 주에서 AASHTO의 기준을 바탕으로 각 주의 특성을 고려하여 사용함 - 초기점검, 정기점검, 손상점검, 정밀 점검 및 특별점검의 5종류로 구분됨 - 미국의 점검 기준이 되는 AASHTO에서 발행한 'Bridge Element Inspection Manual'에서는 국내에서와 마찬가지로 부재별로 상태변화의 단계를 규정
유럽	국가별로 상이함 (점검방법은 일상점검, 정기점검, 특별점검으로 분류됨)	- OECD의 연구결과에 따르면 점검주기의 상한값으로 일상 점검은 1년, 일반정기점검은 3년, 상세정기점검은 10년으로 제시하고 있음 - 외관조사 시 사용되는 판정기준은 6등급으로 분류되며, 각 B~F 등급마다 상세하게 기술된 도해 카탈로그를 사용하여 매뉴얼화 되어 있음

일본	일본토목학회의 콘크리트구조물 유지관리지침	육안관찰을 주체로 한 점검결과에 기초한 평가판정과 상세점검결과에 기초한 평가판정 2단계로 구분하여 실시
	일본 북해도 교량유지관리 매뉴얼	- 국내에서와 같이 중요부재와 기타부재로 구분하여 점검을 실시하지만 그 상태점검의 기준은 상태변화에 따른 기준이 제시되고 각 부재별로 세분화됨 - 위치별 균열의 형태 등을 자세하게 보여주어 객관적인 점검을 유도
	국토개발기술센터의 「콘크리트 건축물의 내구성 향상기술」	- 콘크리트 균열 등과 같은 상태변화에 대하여 1차, 2차, 3차 점검을 실시한 후 점검결과에 따라 보수의 여부를 판단할 수 있는 기준을 제시 - 균열의 2차 3차 진단의 기준과 보수 여부 판정 기준을 정하였고, 「콘크리트 균열조사 보수·보강 지침」의 각 판정 방법에 따른 보수의 필요성 판단 기준을 결정

나. 구조물 관리 시스템 기술

- ☐ 일반적으로 SOC 구조물의 관리는 정부주체로 관리되고 있어, 구조물 관리시스템은 관리주체 따른 의사결정지원을 위한 기능이 부재함
- ☐ 국내에서 운영 중인 대표적 시설물관리 시스템에는 시설물정보관리종합시스템(FMS), 국가재난관리정보시스템(NDMS), 시설물유지관리시스템(CALS), 도로유지관리시스템(HMS) 및 교량유지관리시스템(NBMS) 등이 있으며, 이 밖에도 도로 유지관리 분야의 도로비탈면관리시스템(CSMS), 도로포장관리시스템(PMS), 교통량조사시스템(TMS), 도로점용허가시스템(ROAS)과 원전구조물 수명관리시스템(SLMS) 등 다양한 시스템이 혼재되어 있는 실정임
- ☐ 기존 구조물 관리 시스템은 각각의 평가 항목에 따른 구조물 상태 및 안전성 평가결과가 개별적으로만 반영됨
- ☐ 따라서 구조물 관리 시스템에서 평가항목에 따른 개별적인 평가결과 반영이 아닌 종합적인 결과반영 및 관리주체에 따른 의사결정 지원기술이 필요함

〈표 2-32〉 국내·외 구조물 관리 시스템 분석

	시스템명	주요 내용
국내	시설물 정보관리 종합시스템 (FMS)	- 현행 안전점검 및 정밀안전진단 결과는 시설물정보관리종합시스템(FMS)에 등록하여 관리됨 - FMS에 등록된 자료는 실질적인 데이터가 아닌 보고서 형태의 자료이기 때문에 자료의 공유 및 활발한 사용에는 한계가 있음 - 현재, FMS 등록 자료를 전산화(데이터화)하여 시스템의 기능 고도화를 추진하고 있음
	교량관리시스템 (BMS)	가장 활발하게 진행되고 있는 시스템이며, 국토부, 도로공사, 안행부 각 시별 등 다양한 유형으로 운용중(성능, 비용 등과 관련된 항목 존재). 또한 매년 교량현황조사 발간 기능 존재
미국	PONTIS	- 관리 목표를 설정하고 자산목록을 구축한 후에 이를 평가하며, 그 이후 대안을 마련하고 이를 분석하고 예산을 배분하여 단기와 장기로 구분된 관리 프로그램에 의하여 유지관리를 수행 - 개발된 프로그램은 AASHTO의 많은 프로젝트 하에서 많은 주에 의해서 평가를 통하여 성능개선을 수행

4. 특허 분석

가. 특허 조사방법

- ☐ 검색엔진은 톱슨 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 2-33〉 분석 범위

자료 구분	국 가	검색 DB	분석구간	검색범위
공개등록특허 (공개등록일 기준)	한국	WIPSON, Thomson Innovation, 국토교통 창조경제 R&D포털, 한국특허정보원, NDSL	~ 2015년	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

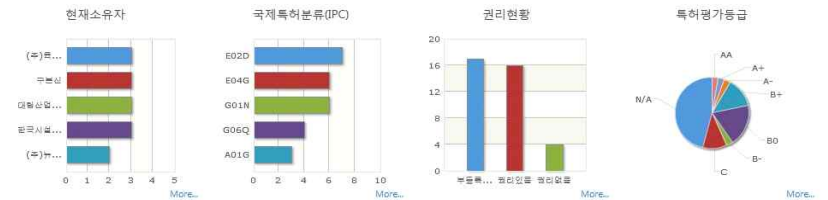
나. 특허 정량분석

- ☐ 정량적인 특허 분석을 위하여 단어의 조합을 통하여 관련 특허 분석을 실시하였으며, 연구와 관련된 keyword를 선택하여 검색하였음

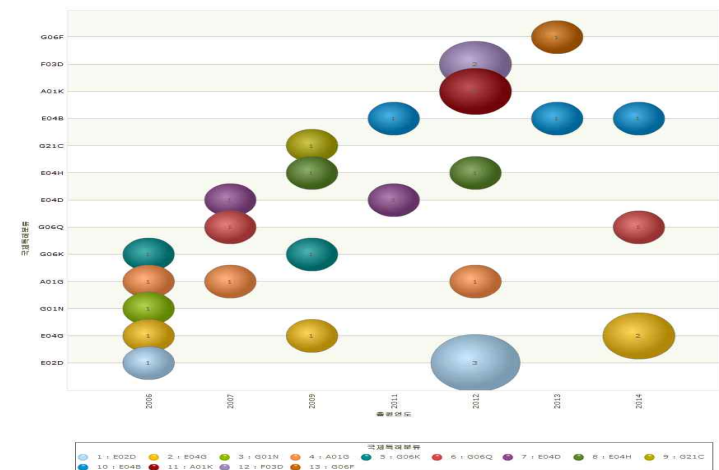
〈표 2-34〉 연구관련 keyword

검색연구분야	한국	미국	일본	PAJ	유럽	합계
지하 콘크리트구조물 통합유지관리 시스템 개발	381	553	261	212	44	1,451
지하 콘크리트구조물 성능극대화 기술체계 마련	76	199	37	65	15	392

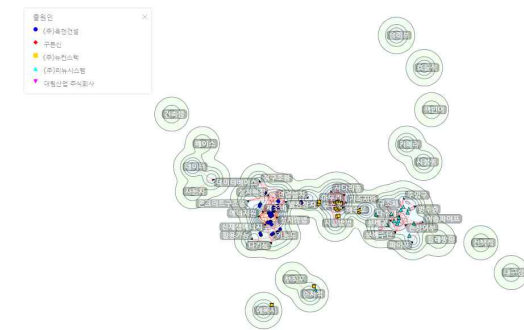
○ 지하 and 콘크리트 and 유지관리 and 시스템



〈그림 2-36〉 지하+콘크리트+유지관리+시스템



〈그림 2-37〉 지하+콘크리트+유지관리+시스템



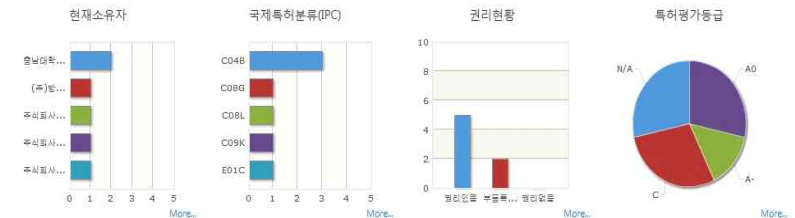
〈그림 2-38〉 지하+콘크리트+유지관리+시스템

〈표 2-35〉 지하+콘크리트+유지관리+시스템 특허정보

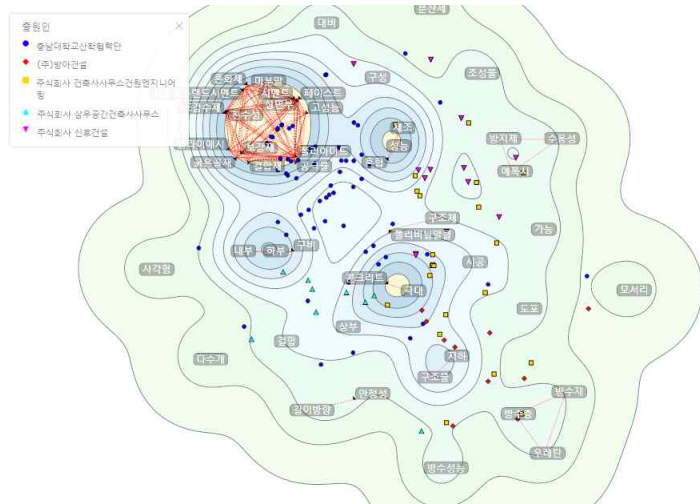
특허명	출원인	출원번호	출원일	등록번호	등록일
• 외부로 노출된 교량용 강선 긴장시스템	주식회사 인터컨텍	KR2000041123A	2000. 07. 18	KR0554026B1	2006. 02. 14
• 무선 주파수 인식 기술을 이용한 산업기간 시설물의 정보관리시스템	한국유지관리 주식회사	KR20040107487A	2004. 12. 17	KR0739445B1	2007. 07. 09
• 벽천 꽃조형물과, 이를 이용한 생태방음벽녹화시스템의 설계방법	주식회사 일진글로벌	KR20060027901A	2006. 03. 28	KR0647211B1	2006. 11. 10
• 콘크리트 구조물 유지 관리 시스템	デ・ファクト・スタンダード合同会社	JP2014010722A	2014. 01. 23	JP5688533B9	2015. 02. 06
• 평가 시스템, 평가방법, 프로그램, 기록 매체	鹿島建設株式会社	JP2004306762A	2004. 10. 21	JP4627173B9	2010. 11. 19
• 기상환경을 고려한 콘크리트 구조물의 열화 평가 시스템 및 라이프 사이클 비용 평가 시스템, 열화 평가방법 및 라이프 사이클 비용 평가방법, 프로그램, 기록 매체	鹿島建設株式会社	JP2001361226A	2001. 11. 27	JP3811392B9	2006. 06. 02
• 대규모 천공을 활용한 혼합형 지열시스템 및 그 시공방법	주식회사 산하이앤서	KR20110053731A	2011. 06. 03	KR1303575B1	2013. 08. 29
• 터널 유지 관리 자동 계속 분석 방법	에스케이건설 주식회사	KR20010033760A	2001. 06. 15	KR0457245B1	2004. 11. 04
• 콘크리트 구조물의 품질 정보 관리 시스템	株式会社間組	JP2007336533A	2007. 12. 27	JP5148991B9	2012. 12. 07
• 무선 IC 태그의 콘크리트 매설 구조 및 그 매설 방법, 및 콘크리트 정보 관리 시스템	獨立行政法人土木研究所 戸田建設株式会社	JP2006048602A	2006. 02. 24	JP4824427B9	2011. 09. 16
• 콘크리트 상태 측정 시스템 및 내부 상태 측정 방법	大成建設株式会社	JP2000365993A	2000. 11. 30	JP4262883B9	2009. 02. 20
• 자체적인 부식방지 기능을 갖춘 언본디드 강연선과 내시경 카메라를 이용한 콘크리트 구조물 보강용 포스트텐서닝 장치 및, 이를 이용한 콘크리트 구조물의 유지관리 방법	이현우	KR20090067545A	2009. 07. 24	KR0966457B1	2010. 06. 18
• 열화 콘크리트 및 시공 중 숏크리트의 강도 분석 방법	한국시설안전공단	KR20060035389A	2006. 04. 19	KR0835848B1	2008. 05. 30
• 콘크리트 구조물의 사후방수 유지관리시스템	주식회사 리플시스템 (주)리뉴시스템	KR19990056283A	1999. 12. 09	KR0381548B1	2003. 04. 10
• 교량의 유지보수 이력관리 시스템 및 방법	대림산업주식회사	KR19970022105A	1997. 05. 30	KR0217822B1	1999. 06. 07
• 철근콘크리트 구조물 및 그 방식보수 / 보강 시스템	주식회사 콘크리닉	KR20050077460A	2005. 08. 23	KR0552347B1	2006. 02. 08
• 콘크리트 구조물의 열화 진단 지원시스템	東京大學長 株式会社建設技術研究所	JP2000171158A	2000. 06. 07	JP4685214B9	2011. 02. 18
• 콘크리트 건축물의 유지관리 시스템	(주)해밀이앤씨 유철중	KR20140152186A	2014. 11. 04	KR1553871B1	2015. 10. 02
• 내구성 예측맵을 활용한 효율적인 터널 유지 관리 방법 및 그 시스템	조성우 이창수	KR20130114859A	2013. 09. 27	KR1506537B1	2015. 03. 23
• 복합재료판넬을 이용한 오각형 지중구조물 시스템 및 이를이용한 시공방법	대림산업 주식회사 (주)뉴컨스텍 한국시설안전기술공단	KR20050024432A	2005. 03. 24	KR0766805B1	2007. 10. 08
• 시스템 구성 구조 세로 복합 여러 가지 물건의 제조 방법과 구성 재료	須知 晃一	JP2013133448A	2013. 06. 26		

• 콘크리트 구조물의 품질 관리 방법	株式會社演算工房	JP2009040891A	2009. 02. 24		
• 고층 빌딩에서의 소화 활동, 구조 및 건설을 위한 기자재	コ-チャギン・バヴエル・ヴラディミロヴィッチ コ-チャギナ・マリナ・エフゲニ-フナ チルスキー・アンドレー-グリ・ゴリ-ヴィッチ	JP2006525633A	2004. 09. 13		
• 콘크리트 구조물의 열화 원인 및 열화 때의 추정 시스템	保坂 公一	JP2005010000A	2005. 01. 18		
• 구조물 점검차	株式會社帝國設計事務所 三洋技研工業株式會社	JP2004179135A	2004. 06. 17		
• 콘크리트 구조물의 유지 관리 시스템	株式會社間組	JP04012211A	1992. 01. 27		
• 지하이동통로 유지관리 점검구를 구비한 어도 시설물	경북대학교 산학협력단	KR20130168820A	2013. 12. 31		
• 친환경 주차장	이용봉	KR20120069153A	2012. 06. 26		
• 어초로 활용가능한 해상풍력발전기 설치 시스템	(주)육천건설 구본신	KR20120045277A	2012. 04. 30		
• 어초로 활용가능한 해상풍력발전기 기초구조물	(주)육천건설 구본신	KR20120045278A	2012. 04. 30		
• 신개념의 해상풍력발전기 설치 시스템	(주)육천건설 구본신	KR20120033318A	2012. 03. 30		
• 탄약과 내부 과열에 의한 탄약의 폭발 방지, 누수, 결로에 의한 탄약의 불량탄 발생 감소를 위한 시공, 보수 시스템	신영우	KR20110099591A	2011. 09. 29		
• 하천, 도로 및 철도상공 여유공간을 이용한 터널형 빌딩복합구조 및 케이블카 정거장 시스템	조태준	KR20090024234A	2009. 03. 21		
• 옥상녹화를 위한 옥상방수공법 및 그 구조	(주)리뉴시스템	KR20070118171A	2007. 11. 19		
• 복합재료판넬을 이용한 아치형 지중구조물 시스템 및 이를이용한 시공방법	대림산업 주식회사 (주)뉴컨스텍 한국시설안전기술공단	KR20050024431A	2005. 03. 24		
• 기간산업 시설물의 점검용 로봇	한국유지관리 주식회사	KR20040001481A	2004. 01. 09		
• 스트레인 계측 시스템을 이용한 스마트 보수기법	주식회사 아이세스	KR200000086267A	2000. 12. 29		

○ 지하 and 콘크리트 and 성능 and 극대화



〈그림 2-39〉 지하+콘크리트+성능+극대화

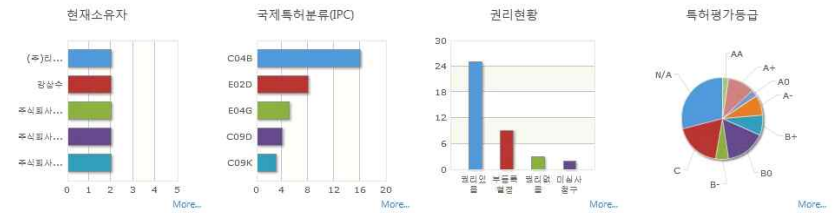


〈그림 2-40〉 지하+콘크리트+성능+극대화 키워드맵

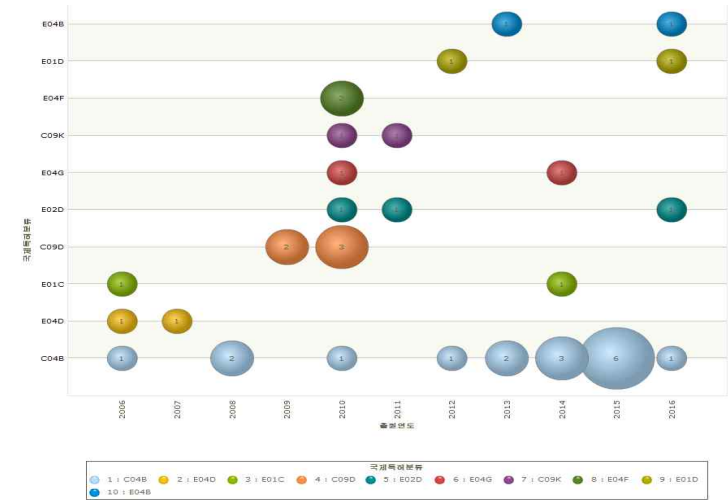
〈표 2-36〉 지하+콘크리트+성능+극대화 특허정보

특허명	출원인	출원번호	출원일	등록번호	등록일
• 천연제올라이트, 합성제올라이트, 칼슘형 인공 제올라이트 및 활성탄소를 이용한 수질 및 환경 정화용 고기능 콘크리트의 제조방법	충남대학교산학협력단	KR20100023838A	2010. 03. 17	KR0961564B1	2010. 05. 27
• 침투성 물 흡수 방지제 조성물 및 그의 제조방법과 이를이용한 복합 방수시공방법	주식회사 한화 주식회사 한양엔티 주식회사 건축사사무소건원엔지니어링	KR200000087088A	2000. 12. 30	KR0394466B1	2003. 07. 30
• 저탄소 혼합시멘트, 기능성 진사토, 친수성 단섬유 신소재, 경관명색용 안료 및 무기계수용액과 보강용 매쉬를 이용한 고내구성 친환경 투수성 콘크리트 조성물 및 이를 이용한 투수성 포장의 제조방법	충남대학교산학협력단	KR20100044789A	2010. 05. 13	KR0975671B1	2010. 08. 06
• 비스페놀 에프형-사이클로알리파틱 에폭시 혼합 수지조성물과 이러한 조성물과 혼합하여 사용하는 바닥마감재칼라몰탈 및 이의 시공방법	주식회사 신후건설 주식회사 우송건설	KR20080067207A	2008. 07. 10	KR0869911B1	2008. 11. 17
• 공동주택 복도용 바닥패널 설치구조	주식회사 삼우공간건축사사무소	KR20060068060A	2006. 07. 20	KR0681248B1	2007. 02. 05
• 하우스 보강형 파일 연속기초	태성이앤씨(주)	KR20130087889A	2013. 07. 25		
• 건축물의 방수구조 및 그 방수공법	(주)방아건설	KR20040078628A	2004. 10. 04		

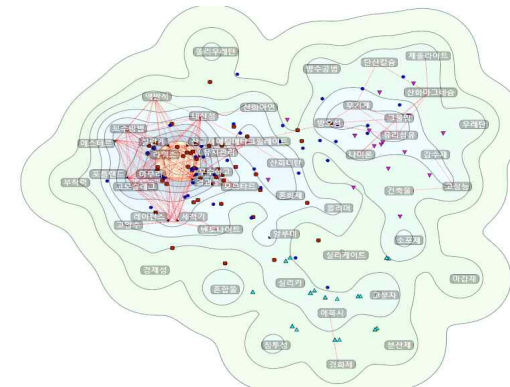
○ 지하 and 콘크리트 and 구조물 and 열화



〈그림 2-41〉 지하+콘크리트+구조물+열화



〈그림 2-42〉 지하+콘크리트+구조물+열화 버블차트국제특허분류 출원연도



〈그림 2-43〉 지하+콘크리트+구조물+열화 키워드 맵

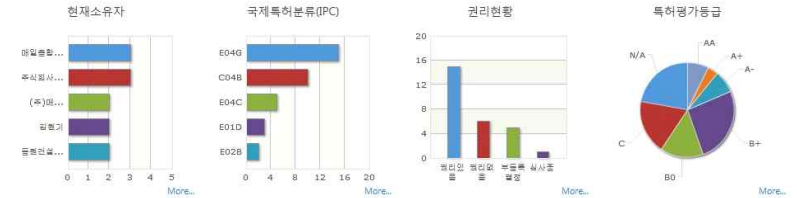
〈표 2-37〉 지하+콘크리트+구조물+열화 특허정보

특허명	출원인	출원번호	출원일	등록번호	등록일
• 콘크리트 표면을 라이닝 하는 거꾸집과 이 거꾸집을 이용한 콘크리트 구조물, 콘크리트 구조물의 성형 및 콘크리트 표면 라이닝 방법	유용진	KR20050030299A	2005. 04. 12	KR0843974B1	2008. 06. 28
• 지반 주입 공법	強化土株式會社 強化土エンジニアリング株式會社	JP2011048976A	2011. 03. 07	JP4827039B9	2011. 09. 22
• 지반 주입 공법	強化土株式會社 強化土エンジニアリング株式會社	JP2010113470A	2010. 05. 17	JP4766532B9	
• 내구성이 우수한 콘크리트 구조물 보수용 칼라 시멘트 모르타르 조성물 및 이를 이용한 콘크리트 구조물의 보수방법	주식회사 지엔시에코 이용교	KR20140065527A	2014. 05. 30	KR1446245B1	2014. 09. 24
• 혐기성 부패 억제와 탈취 기능이 있는 내구성이 우수한 시멘트 모르타르 조성물 및 이를 이용한 콘크리트 구조물의 보수방법	주식회사 지엔시에코 이용교	KR20140065518A	2014. 05. 30	KR1446239B1	2014. 09. 24
• 나노세라믹과 고분자수지를 포함한 콘크리트 중성화 및 염해 방지용 도로 조성물 및 이를 이용한 방수방식공법	한토산업 (주)	KR20090096696A	2009. 10. 12	KR1035904B1	2011. 05. 13
• 콘크리트 구조물 방수용 조성물 및 이를 이용한 콘크리트 구조물의 방수공법	강상수	KR20130058047A	2013. 05. 23	KR1311701B1	2013. 09. 17
• 세라믹 및 고분자수지를 함유한 중성화, 염해, 오염 방지 및 방수방식 도로 조성물 및 콘크리트 열화예방 및 표면보호공법	한토산업 (주) 대림건설(주)	KR20100031487A	2010. 04. 06	KR0959415B1	2010. 05. 14
• 콘크리트 구조물의 다기능 복합 방수 공법	(주)리뉴시스템	KR20070025554A	2007. 03. 15	KR0739044B1	2007. 07. 06
• 콘크리트 구조물 표면보호용 유무기 복합 조성물 및 이를 이용한 콘크리트 구조물의 표면보호공법	(주) 우리아엔씨	KR20150032907A	2015. 03. 10	KR1547882B1	2015. 08. 21
• 콘크리트 구조물 줄눈재용 조성물 및 이를 이용한 콘크리트 구조물 줄눈부 보수공법	주식회사 이에스피소재 서울메트로	KR20140043548A	2014. 04. 11	KR1478757B1	2014. 12. 26
• 수중콘크리트 구조물 보수보강제	주식회사 리폼시스템	KR19970012276A	1997. 04. 03	KR0220553B1	1999. 06. 22
• 개질 폴리머를 이용한 유·무기 복합 방수제 조성물 및 그 제조방법	동창기업주식회사	KR20130108449A	2013. 09. 10	KR1535351B1	2015. 07. 02
• 중성화, 염해 및 화학침식 방지를 위한 무기계 콘	김성열	KR20090069847A	2009. 07. 30	KR0944512B1	2010. 02. 19

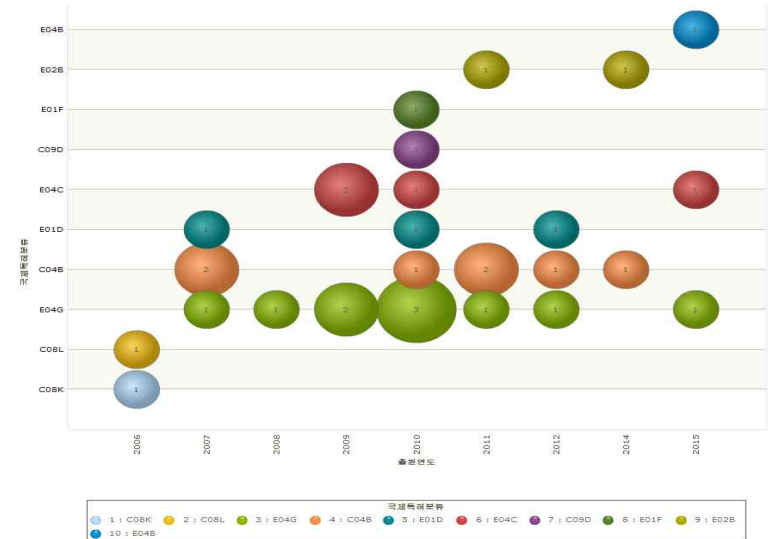
크리트 표면 처리제 및 그의 시공방법					
• 스프레이 공법을 이용한 폴리머 모르타 단면수복 보수공법	중앙크리텍 주식회사 하경개발 주식회사 동원건설주식회사	KR200000036149A	2000. 06. 28	KR0412783B1	2003. 12. 12
• 콘크리트 구조물의 다기능 복합 방수 공법	(주)리뉴시스템	KR200600031448A	2006. 04. 06	KR0739030B1	2007. 07. 06
• 콘크리트 구조물의 열화억제를 위한 침투성 방수 공법	(주)콘테크 곽주호	KR20050070481A	2005. 08. 02	KR0542423B1	2006. 01. 04
• 콘크리트내부 벽면의 복합 방수 보수방법	우신건축환경크리닉(주)	KR20020030186A	2002. 05. 30	KR0354135B1	2002. 09. 11
• 균열 방지용 이중 파형 슬라이딩 신축이음장치	(주)드림이엔지 (주)우암건설	KR20140017573A	2014. 02. 17	KR1431634B1	2014. 08. 12
• 경량 애시를 이용한 콘크리트 구조물 단면 복구용 경량 폴리머 시멘트 보수 모르타르 조성물	오환원	KR20100034733A	2010. 04. 15	KR0970004B1	2010. 07. 06
• 콘크리트 구조물 방수용 유무기 복합 조성물 및 이를 이용한 콘크리트 구조물의 방수공법	최현욱	KR20160005722A	2016. 01. 18	KR1645510B1	2016. 07. 29
• 콘크리트 구조물 방수용 유무기 복합 조성물, 그 제조방법 및 이를 이용한 콘크리트 구조물의 방수공법	주식회사 포인머티리얼 이영상	KR20150156357A	2015. 11. 09	KR1615916B1	2016. 04. 21
• 콘크리트 구조물 보수용 경량 시멘트 모르타르 조성물 및 이를 이용한 콘크리트 구조물의 보수방법	주식회사 모던비엔씨	KR20150114494A	2015. 08. 13	KR1609700B1	2016. 03. 31
• 차집관로 보수용 시멘트 모르타르 조성물 및 차집관로 이중 차단 물막이 장치를 이용한 차집관로 보수방법	강상수	KR20150122063A	2015. 08. 28	KR1599241B1	2016. 02. 25
• 콘크리트용 방식 혼화제	(주)대우건설 충청대학 산학협력단 (주)아텍스 주식회사 동아기술공사 주식회사 도우엔지니어즈 한국기술개발 주식회사	KR20080115895A	2008. 11. 20	KR1176774B1	2012. 08. 16
• 철 미분말 (Steel powder) 을 이용하여 내구성·내부식 특성을 향상시킨 콘크리트 혼화재용 조성물 및 이를 이용한 터널용 프리캐스트 패널	한국건설생활환경시험연구원 한국건설기술연구원 주식회사 태명실업 주식회사 에스코건설턴트 해양기계 주식회사 주식회사 태영건설	KR20080126279A	2008. 12. 12	KR1084506B1	2011. 11. 11
• 하이브리드 시스템을 이용한 콘크리트 표면 보호용 도막재 및 이의 시공방법	피엔에이건설 주식회사	KR20100139618A	2010. 12. 30	KR1039833B1	2011. 06. 01

나라의 전액 빗 변제와 도도부현 시동면구의 전액 빗 변제 후에 대하여 자금 자족 형의 농업 및 어업 및 임업 및 중소기업이 세계 톱의 일본엔 은행 단체와 세계 최고 은행 단체에 되는 이익의 완전 자금 자족을 유동 시스템에 대한 지적 곳(것) 유재산을 사용한 재단 경영의 미래 적 농업 어업 임업 1 체형 중소기업체 시스템.	野 和夫	JP2015125737A	2015. 06. 23		
시스템 구성 구조 세포 복합 여러 가지 물건체의 제조 방법과 구성 재료	須知 晃一	JP2013133448A	2013. 06. 26		
식물의 생액 원리에 의한 복합 1구 구조물 제조 방법과 재료와 응용	須知 晃一	JP2012224822A	2012. 10. 10		
미래의 다른 비에이가에 할 수 있는 세계 유산을 목표로 하는 이익이 영원히 깨뜨리지 않은 크리스탈 다이어그램 유리 빌딩에 수반하는 종신 구완 시스템의 저작권 원본.	野 和夫	JP2013176432A	2013. 08. 28		
나라의 전액 빗 변제와 도도부현 시동면구의 전액 빗 변제를 위한 세계 최고 빠르다의 초전도 리니아모타카시스템 전체의 저작권 발명 원본.(기업과 나라 및 도도부현 시동면이 특허권으로 없는 기업의 특허 제출에 따라서 세계 최고 빠르다의 초전도 리니아모타카시스템의 지적 곳(것) 유재산을 기술을, 만들고 기업 이익을, 올린다고 나라의 기관도 지적 곳(것) 유재산을 기술 힘의 이익을, 얻는 쪽의 힘의 공모전에 됩니다.). 약마도 국익 100퍼센트와 도도부현 시동면구 이익 100퍼센트를, 목적으로 한 나라와 도도부현 시동면구의 빗 전액 변제를 위한 저작권 기술 문서도 주장의 지적 곳(것) 유재산의 저작권 원본.	野 和夫	JP201300077A	2013. 01. 04		
투수성 포장재, 투수성 성형 가공품을 작성하는 공법	原口 敏則 津曲 麻衣子	JP2006202561A	2006. 06. 26		
콘크리트 구조물의 재생화 방법	エヌ・ティ・ティ・インフラネット株式会社	JP2004232684A	2004. 08. 09		
지반 공동부의 동결 공법	南馬越 光弘	JP11225600A	1999. 08. 09		
구조물의 면진 구조	株式会社大林組	JP10348049A	1998. 12. 08		
역 치고 공법에 있어서 중심이 붐비고 방법	三井建設株式会社	JP06268271A	1994. 10. 06		
친환경 유·무기 복합 실리케이트 화합물을 이용한 강재 및 콘크리트 표면과 콘크리트 바닥마감용 조성물 및 그 제조방법	에코케이엔씨 주식회사	KR20120096091A	2012. 08. 31		
방충패널과 충격흡수재를 이용한 충격흡수시설	이선구 정성운	KR20020028636J	2002. 09. 17	KR0299258Y1	2002. 12. 12

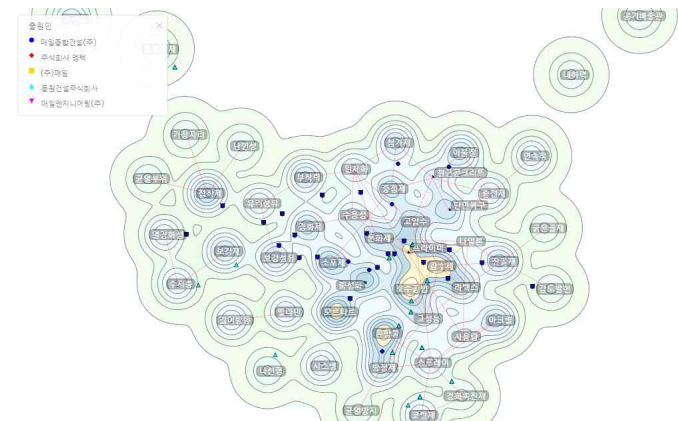
○ 지하 and 콘크리트 and 보수 and 보강 and 성능



<그림 2-44> 콘크리트+열화+보수+보강+성능



<그림 2-45> 콘크리트+열화+보수+보강+성능



<그림 2-46> 콘크리트+열화+보수+보강+성능 키워드맵

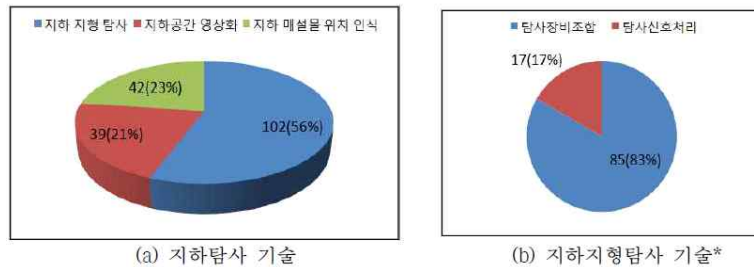
〈표 2-38〉 콘크리트+열화+보수+보강+성능 특허정보

특허명	출원인	출원번호	출원일	등록번호	등록일
• 콘크리트 표면을 라이닝 하는 거푸집과 이 거푸집을 이용한 콘크리트 구조물, 콘크리트 구조물의 성형 및 콘크리트 표면 라이닝 방법	유용진	KR20050030299A	2005. 04.12	KR0843974B1	2008. 06.28
• 프리캐스트경량내화콘크리트 복합보강패널 및 그를 이용한구조물의 보강방법	(주)태창 에스엠에스 (주)엠프로	KR20000064018A	2000. 10.30	KR0367096B1	2002. 12.20
• 만곡면을 가지는 콘크리트 구조물의 보강 구조체	清水建設株式會社 日石三菱株式會社 日石菱油エンジニアリング株式會社	JP2000264335A	2000. 08.31	JP3399918B9	2003. 02.21
• 콘크리트 구조물 보수용 수용성 라텍스 모르타르 및 이의 제조 및 시공방법	매일종합건설(주) (주)매일 매일엔지니어링(주) 주식회사 엠텍	KR20140161053A	2014. 11.18	KR1547895B1	2015. 08.21
• 보수/보강용 드라이 콘크리트 조성물과 그 제조방법 및 이를 이용한 보수시공방법	한일시멘트 (주)	KR20040109143A	2004. 12.21	KR0670458B1	2007. 01.10
• 하이브리드 외벽 개수 공법	建設索建築研究所 富士川建材工業株式會社 株式會社建築構工法研究所	JP08140098A	1996. 06.03	JP2913275B9	1999. 04.16
• 염해방지용 침투식 방수제를 이용한 철근콘크리트 구조물 보수 보강공법	주식회사 드림이앤씨	KR20100127172A	2010. 12.13	KR1058157B1	2011. 08.12
• 유연성을 가진 폴리머 시멘트 보수재 및 콘크리트 구조물의 보수 및 보강공법	영광건설산업주식회사 주식회사 삼림엔지니어링 김원기 지마이트 프로덕츠 인코포레이티드	KR20100078248A	2010. 08.13	KR0994380B1	2010. 11.09
• 시멘트 모르타르의 성능 최적화 및 균열 제어를 위한 보강 섬유인 균등분산용 특수 분사장치를 사용하는 열화 콘크리트 보수공법	세기하이테크건설 주식회사 이현케미칼(주)	KR20090023292A	2009. 03.18	KR0926526B1	2009. 11.05
• 난연성 실란변성 에폭시 조성물 및 이를 이용한 콘크리트구조물의 섬유보강방법	(주)콘스코 주식회사 콘크리닉	KR20060025778A	2006. 03.21	KR0615565B1	2006. 08.17
• 콘크리트 구조물의 격자형섬유보강재 정착장치	(주)케어콘 (주)오래건설	KR20050071359A	2005. 08.04	KR0642086B1	2006. 10.27
• 변형 경화형 시멘트 복합체를 사용한 철근콘크리트구조물의 보수/보강 공법	(주)에이엠에스 엔지니어링	KR20050061035A	2005. 07.07	KR0549724B1	2006.01. 31
• 시멘트 모르타르 보강용 섬유의 균등 분산 시스템을 이용한 열화 콘크리트 보수공법	세기하이테크건설 주식회사 이현케미칼(주)	KR20070137114A	2007. 12.26	KR0841892B1	2008. 06.20

• 철골 및 철근콘크리트구조물 보수·보강용 방청제 및 이를이용한 방청몰탈과 이들을 이용한 구조물 보수·보강공법	매일종합건설(주) 주식회사 엠텍 씨카코리아(주)	KR20070071305A	2007. 07.16	KR0786998B1	2007. 12.12
• 스프레이 공법을 이용한 폴리머 모르타 단면수복 보수공법	중앙크리텍 주식회사 하경개발 주식회사 동원건설주식회사	KR20000036149A	2000. 06.28	KR0412783B1	2003. 12.12
• 아질산계 하이드로탈사이트 또는 하이드로칼루마이트를 함유하는 단면복구용 모르타르 조성물 및 이를 이용한 철근콘크리트 구조물의 철근부식억제 보수공법	한일시멘트 (주)	KR20050012272A	2005. 02.15	KR0515948B1	2005. 09.12
• 콘크리트 구조 야외 관람석의 보수, 보강 공법	주식회사 한국콘크리트시스템	KR20120004893A	2012. 01.16	KR1367095B1	2014. 02.19
• 석재판재를 이용한 콘크리트 교량의 리모델링 시스템	주식회사 피피에스브릿지	KR20120058593A	2012. 05.31	KR1188729B1	2012. 09.28
• 섬유시트와 푸쉬핀을 이용한 콘크리트 구조물 보수공법	(주)안풍건설	KR20090034334A	2009. 04.20	KR1172808B1	2012. 08.03
• 탄소판 접착 및 주입방식에 의한 콘크리트 구조물의 보강 및 보수공법	재신건설 (주)	KR20080082148A	2008. 08.22	KR1065050B1	2011. 09.07
• 섬유강화 폴리머 보강재와 이의 제조 방법 및 이를 이용한 콘크리트 구조물의 보수보강 공법	동원건설주식회사	KR20100088965A	2010. 09.10	KR1043809B1	2011. 06.16
• 콘크리트제 용수로의 보수 방법	株式會社ビルドランド	JP2011050546A	2011. 03.08		
• 콘크리트 구조물 보수보강용 섬유보강 불연패널과 이의 제조 및 시공방법	매일종합건설(주) (주)매일 매일엔지니어링(주) 주식회사 엠텍	KR20150160403A	2015. 11.16		
• 염해방지패널	주식회사 삼주에스엠씨	KR20140012388A	2014. 02.04		
• 보수용 폴리머 혼입 초속경 콘크리트 조성물 및 이를 이용한 콘크리트 구조물의 보수 공법	주식회사 흥서이앤씨	KR20110072794A	2011. 07.22		
• 복합재료로 이루어진 보강 가드레일	박병준	KR20100118514A	2010. 11.26		
• 분사식 섬유보강 코팅을 이용한 콘크리트 구조물의보수/보강공법	한국과학기술원	KR20070098655A	2007. 10.01		

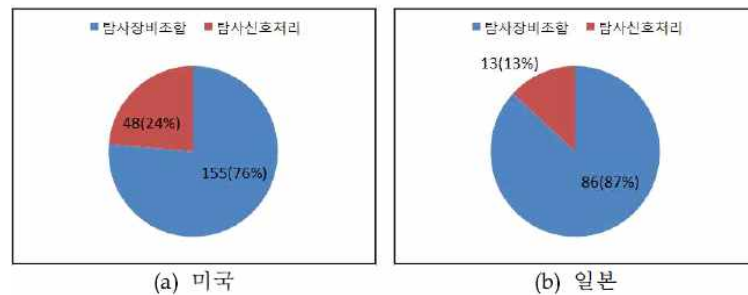
□ 도로함물 탐지를 위한 이동형 고정밀 투과영상탐지 시스템 개발 분야는 국내의 출원/등록된 건과 거의 동일하고 유사도 또한 대등하나, 상용화 실적에서 차이를 나타냄

□ 최근 5년('09~'13)간 지하탐사관련 특허출원(총 183건) 중 '지하 동공' 등 지하지형탐사 기술 분야가 56%에 이르고 있으며, 연도별로 지속적으로 증가하고 있으나, 그 속내를 들여다보면, 지하탐사장비 배치나 조합에 관한 특허출원이 83%로 대부분을 차지하고, 탐사신호를 처리·분석하는 등 싱크홀 진단을 위한 핵심기술 분야의 특허출원은 17% 수준에 머무르고 있음



<그림 2-47> 최근 5년('09 ~ '13)간 국내 지하탐사 관련 기술 특허출원 현황

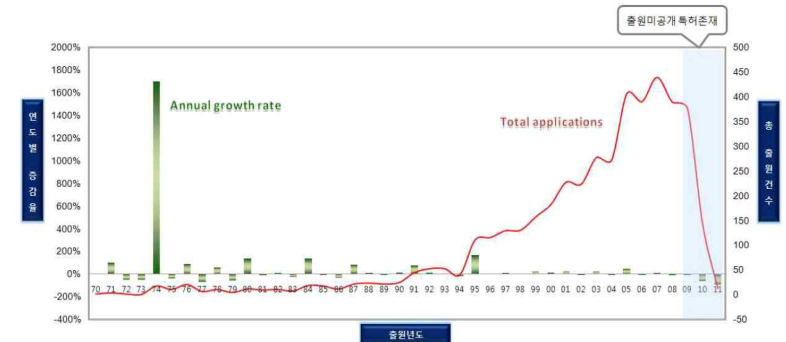
□ 미국의 경우, 지하탐사 정확도를 향상하기 위한 탐사신호 처리·분석 등의 특허출원 비중이 한, 미, 일 3국 중 가장 높은 24%를 차지하고 있으며, 이는 지질특성 및 지하 동공 지도 정보를 활용한 도심 지하 이상 유무를 신속·정확하게 파악하기 위한 연구개발이 활발히 이루어지고 있기 때문임



<그림 2-48> 최근5년('09 ~ '13)간 미, 일의 지하지형탐사 기술 특허출원 현황

□ 반면, 국내는 아직 최적화된 탐사신호 선택을 위한 도심 '지하 지도'가 부족하고, 탐사신호 처리·분석 기술 등의 특허출원도 현장 취득 탐사신호를

실내에서 단순 분석하는 기술 등으로 국한되어, 다양한 지질특성이 있는 도심에 적용하는 데는 어려움이 따름. 따라서 거미줄처럼 얽힌 대도시 지하의 지질특성의 정보화 및 지하 이상 유무를 신속·정확하게 찾아낼 수 있는 한국형 탐사신호 처리·분석기술 개발이 필요



<그림 2-49> 네트워크 기반 SOC 운영 및 관리 분야 연도별 특허동향

<표 2-39> 기술분류 체계에 따른 검색건수

대분류	중분류	검색건수				
		KR	JP	US	EP	합계
재해감시·예·경보 및 재해방지를 위한 센싱 및 모니터링 시스템 구축	센서기반 재해 감지 기술	1,246	1,285	1,089	283	3,903
	재해 모니터링 및 평가 기술	397	354	377	84	1,212
	재해 예경보 자동화 기술	922	1,149	1,076	380	3,527
재해·재난 이력 등에 대한 시설물별 위험도 지도 구축	재난 관리기반 시설물 DB 구축 및 위험도 평가 기술	111	217	328	58	714
	실시간 재난관리 위험도 지도 구축 기술	198	159	504	108	969
SOC 시설물 위험등급 설정 및 안전을 확보를 위한 네트워크 구축	재해별 시설물 건전도 평가 기술	506	512	602	130	1,750
	위험등급별 안전을 확보 기술	1,491	324	1,019	483	3,317
	IT 기반 스마트 센싱 기술	512	286	1,012	274	2,084
국가 주요시설물에 대한 헬스 모니터링 및 붕괴방지 기술	SOC 시설물 자가 진단 및 상태 평가 기술	455	203	726	141	1,525
	SOC 시설물 붕괴 방지 및 지속성 향상 기술	596	253	398	102	1,349
기초·지반 재해 위기 대응 및 체계적 복구기술	재해조사 기법/장비	255	409	734	37	1,436
	재해조사/대응체계	461	1,028	532	75	2,096
	재난 대응 네트워크 기술	349	304	311	30	994
	재해복구기술	135	241	1,002	90	1,468
총계		7,634	6,724	9,710	2,275	26,343

□ 네트워크 기반 SOC 운영 및 관리 기획 분야의 전체적인 연도별 특허동향을 살펴보면, 1990년대 초중반 기술 도입이 본격화되기 시작함에 따라, 서서히 특허출원이 증가하기 시작하여, 2007년에는 특허출원건수 440건으로 최다 특허건수를 나타내고 있음

□ 2010년 이후 출원이 감소하고 있는 것은 특허출원 후 1년 6개월이 경과하여야 공개되는 특허제도의 특성상, 실제 출원이 이루어졌으나 아직 공개되지 않아 특허분석 데이터 상에 포함되지 않았을 수 있음을 유의해야 함

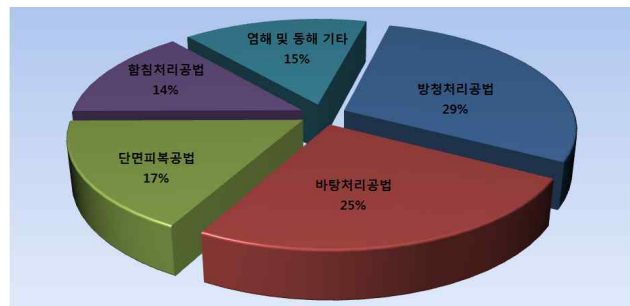
□ 미국등록특허의 경우, 증가와 감소를 반복하고 있지만 전체적으로 증가하고 있는 추세를 보이고 있으며, 1990년대 중반부터 특허 건수가 급격히 증가 추세에 있으며, 2010년도에 60건으로 최다 특허등록건수를 나타내고 있음

□ 유럽공개특허가 90년 이후 증가와 감소를 반복하며 점진적인 증가세를 보이는 이유 중의 하나로 90년대 중반 유로 터널(Euro Tunnel), 항공교통관리, 유럽 횡단철도터널, 신원현 공항 건설 등 사회간접자본 시설을 대규모로 증대 시킨 건설사업을 들 수 있음. 특히 영국은 1998년부터 ‘건설산업 재인식 운동’을 전개하여 건설교통부, 재정경제부, 감사원 등 정부부처, 지방자치단체, 산학연관의 파트너십에 기반, 15개분야에 대한 7대 목표 달성을 추진함

□ 특허출원의 경향을 통해 살펴본 단면보수공법의 개발 동향은 1980년대 중반까지는 간헐적으로 특허가 출원되다가 1980년대 중반부터 증가하기 시작하여 1980년대 말 이후 급격한 증가를 나타내고 있음

□ 1980년대 말 이후 리모델링이 대두됨에 따라 단면복구공법 및 관련분야의 기술 개발에 기인한 것으로 분석되며, 또 1990년부터 지적재산권에 대한 사회적 인식이 높아진 것도 이러한 상승의 원인으로 작용하였다고 볼 수 있음

□ 전체 400건 중 방청처리공법이 29%, 바탕처리공법이 25%로 전체의 절반 이상을 차지하며, 단면피복공법, 합침처리공법 및 중성화억제공법이 각각 17%, 14% 및 8%로 총 39%를 차지하는 것으로 나타남



〈그림 2-50〉 보수 · 보강 특허 동향

4. 논문분석

가. NDSL을 활용한 논문경향검토

〈표 2-40〉 NDSL을 활용한 논문 경향 분석

	지하 콘크리트 구조물	지하구조물
관련 논문수	46편(국내13, 학위논문 32, 기타 1)	285편(국내171, 학위논문 113, 기타 1)
연관 검색어	Non-destructive test, Impact-Echo method, Height of relaxed rock mass, Tunnel structure, Cyclic loading, Wirecooling, RPS, AE parameters, S-N line, 지하구조물, Fatigue, AE 파라미터, Kaiser effect, Box culvert, Compressed air energy storage (CAES), Depth section imaging, Humidity variation, confinement, Monte Carlo simulation, Power transmission line	Deflection ratio, Geothermal Well, Chemical attack, 3차원 GPR 탐사, convergence, Surface roughness, stability, Digital image analysis, Lattice girder, Carbonation, Numerical analysis, settlement, earthquake, Durability, Geomembrane, Geotextile, Reservoir, 지하구조물, Direct shear test, 수차해석, Tunnel, TBM, Underground Structure, Generation, interface, underground structure, USFSS, underground structures, Angular distortion, Horizontal strain, Drilling Technique, Drilling Design, Shear mechanism, numerical model
분야별 연관성		
저자 연관성		
연도별 발행 논문수		

□ NDSL을 활용한 지하구조물과 지하콘크리트구조물에 대한 논문 경향 검토

○ 지하구조물 관련 연구의 경우

- 연관검색어로 크게 분류하자면 수치해석, 3차원 탐사, 내구성과 같은 연관검색어가 표현됨
- 지하구조물의 경우 분야별로는 터널, 지반과 관련된 논문이 주를 이루고 있음
- 주요 저자로는 배규진(한국건설기술연구원), 김동규, 신휴성 등의 연구자들이 지하구조물에 대해서 활발하게 연구하고 있음

○ 지하콘크리트구조물 관련 연구의 경우

- 연관검색어로 크게 분류하자면 비파괴검사, Acoustic emission, 내구성과 같은 연관검색어가 표현됨
- 지하구조물의 경우 분야별로는 콘크리트, 구조물분야 논문이 주를 이루고 있음
- 주요 저자로는 오상근(서울과기대), 변근주 등의 연구자들이 지하콘크리트구조물에 대해서 활발하게 연구하고 있음

○ 연구논문 통계분석을 통한 시사점 도출

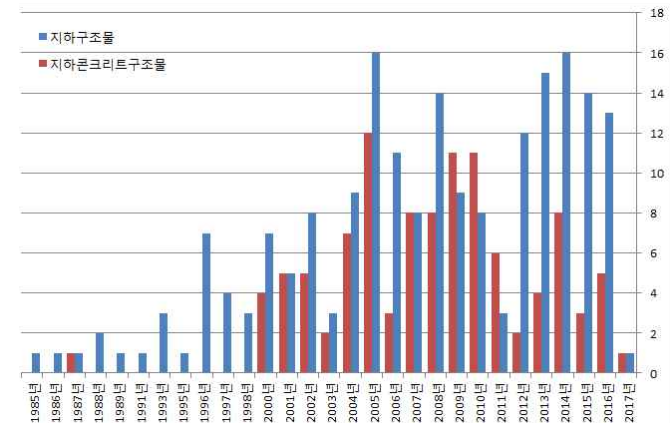
- 지하구조물의 경우 연관검색어를 통해 검토한 결과, 구조물의 지하매설시 안전성을 고려한 설계와 시공에 초점을 맞춘 연구를 수행 중임
- 지하구조물에 대한 유지관리 예측에 대한 연구도 지하구조물과 맞닿은 지반에 대한 변형 등을 위주로 평가하고 있으며, 따라서 그에 대한 수치해석 등의 연구도 활발히 이루어지는 것을 확인함
- 특히 지하구조물과 관련된 최근의 연구는 지진 등의 이상 하중에 의한 취약도 및 안전성을 평가하는데 초점이 맞춰져 있는 것으로 평가됨
- 지하콘크리트구조물의 경우, 지하구조물에 비해 상대적으로 적은 연구가 이루어지고 있으며 연구분야는 대체적으로 지하콘크리트구조물의 방수에 초점을 맞추고 있음
- 지하구조물의 성능평가 및 보수보강에 대한 연구는 대체적으로 음향방출특성 평가 등의 비파괴 검사가 주로 이뤄지고 있는데 이는 지하매설 콘크리트 구조물의 위치탐지, 성능평가를 직접적으로 수행할 수 없지만, 성능평가에 대한 필요성이 높다는 의미임

나. DBPIA를 활용한 논문검색 결과

□ DBPIA을 활용한 지하구조물과 지하콘크리트구조물에 대한 논문 경향 검토

○ 기간별 연구동향

- 지하구조물과 지하콘크리트구조물에 대한 연도별 연구동향을 분석한 결과, 큰 틀에서 점차적으로 연구 논문 수가 증가하는 경향을 볼 수 있음
- 세부적으로는 연구의 동향이 2011~2012년 이전과 이후로 변곡점이 생기는 것을 알 수 있음
- 2011년 이전의 지하구조물, 지하콘크리트구조물에 대한 연구는 비파괴검사, 화재, 내구성과 관련된 연구가 주를 이뤘다면, 2011~2012년 이후에는 지진, 내진에 대한 연구가 주를 이루는 것을 확인할 수 있음
- 이는, 2011년 동일본 대지진의 영향으로 인해 국내 지하구조물들에도 지진에 대한 영향 검토와 내진성능 검증의 요구가 반영됨을 확인할 수 있음
- 또한 2011년 이후, 다른 하나의 연구동향은 지반탐사와 관련된 연구가 “지하구조물” 키워드에서 많이 발견되고 있는데 이는 싱크홀, 포트홀과 같은 문제가 발생됨에 따라 지반 침하에 대한 연구가 활발히 이뤄지고 있음을 확인할 수 있음



〈그림 2-51〉 연도별 지하구조물 및 지하콘크리트구조물 관련 논문 현황(DBPIA 2017)

○ 연구논문 통계분석을 통한 시사점 도출

- 지하구조물과 지하콘크리트구조물의 키워드를 활용하여 연구경향을 분석한 결과, 지하구조물의 성능평가 관점에서 해석할 경우, 구조성능, 방수성능, 내구성능, 내화성능 등의 성능에 대한 평가 기법 연구가 주요 연구분야로 분석됨
- 대부분의 연구에서 정량적인 성능평가 기법 개발 및 기준 제시에 대한 필요성에 대해서 공감하고 있음
- 그러나, 상기의 논문들은 지하구조물, 지하콘크리트구조물에 대한 단편적인 성능에 대한 연구를 진행하여, 종합적인 성능대책 마련의 방향 제시가 부족함

〈표 2-41〉 기존 연구논문 분석

No	발행 기관명	전자저널/전자책 시리즈	논문/챗터	저자명
1	한국콘크리트학회	한국콘크리트학회 학술대회 논문집	공동주택 지하구조물 누수예방, 진단 및 성능복원 기술개발	김수연, 송제영
2	대한건축학회	대한건축학회 논문집 - 구조계	지하구조물의 철골철근콘크리트 기둥과 철근콘크리트 보 접합부의 구조성능 평가	주영규, 천성철
3	한국콘크리트학회	한국콘크리트학회 학술대회 논문집	지하구조물에 적용되는 방수공법 및 재료 성능의 정량적 평가방법 제안 연구	선윤숙, 권시원, 최성민, 오상근
4	대한토목학회	대한토목학회 학술대회	유로코드와 콘크리트 구조설계기준에 따른 지하박스 구조물의 구조성능 비교 연구	김상훈, 임선택, 유제남, 이성민
5	한국콘크리트학회	콘크리트학회지	지하 전력구조물의 거동에 대한 방수층의 대응 성능 평가 방법 개발	권기주, 오상근
6	한국콘크리트학회	한국콘크리트학회 학술대회 논문집	지하구조물에 적용하는 누수균열 보수용 방수셀의 성능평가 방법에 관한 연구	권시원, 권기주, 이종용, 오상근
7	대한토목학회	대한토목학회논문집 A	지하공간 콘크리트 구조물의 역학적 특성 및 내화성능 향상을 위한 이브리드섬유보강 콘크리트의 성능 평가	원종필, 박경훈, 박찬기, 이상우

8	한국콘크리트학회	한국콘크리트학회 학술대회 논문집	지하주차장 구조물의 성능기반 화재거동 해석	허인욱, 송여진, 강현, 이득행, 김강수, 김홍열
9	한국콘크리트학회	한국콘크리트학회 학술대회 논문집	지하 콘크리트 구조물의 염해 방지를 위한 1Step 보수·보강 재료의 성능 평가	김민성, 정이석, 조용인, 김미정
10	한국콘크리트학회	한국콘크리트학회 학술대회 논문집	싱가포르 지하구조물 방수성능 개선을 위한 Diaphragm wall 콘크리트 성능개선	김대건, 나경웅
11	한국콘크리트학회	한국콘크리트학회 학술대회 논문집	지하 구조물에 적용되는 역타설용 방수시트재의 성능 평가에 관한 연구	송제영, 곽규성, 김정일, 오상근
12	한국지반 환경공학회	지반환경	Si/Al 복합 무기염 및 다환형 올리고머 축합물을 이용한 해안 매립지 지하 구조물용 콘크리트(PHDC) 성능 향상 기술	한국지반환경공 학회
13	대한건축학회	대한건축학회 학술발표대회 논문집 - 구조계	지하구조물에 적용되는 균열 자가치유 특성을 갖는 방수 혼화제를 사용한 방수콘크리트의 성능 평가 연구	송제영, 강효진, 곽규성, 윤우욱, 오상근
14	한국건설순환자원 학회	한국건설순환자원학회 논문집	2액형 점착 실링재의 누수보수재 평가에 관한 연구	조일규, 김근허, 오상근
15	한국콘크리트학회	콘크리트학회 논문집	탄산화에 노출된 콘크리트 구조물의 배합설계에 대한 연구	이성철, Maria, Q. Feng, 권성준
16	한국콘크리트학회	콘크리트학회 논문집	압출성형 ECC 패널을 이용하여 제작된 복합바닥슬래브의 휨 거동	조창근, 한병찬, 이정환, 김윤용
17	한국화재소방학회	한국화재소방학회 학술대회 논문집	장대터널의 성능적 화재안전설계를 위한 국내·외 터널 화재사례분석	강승구, 김세종, 김동준, 권영진
18	한국철도학회	한국철도학회 학술발표대회논문집	철도시설에 있어서의 구조물 거동대응형 방수기술의 적용	조일규, 이종용, 오상근
19	대한토목학회	대한토목학회논문집 C	터널 및 지하 공간 콘크리트 구조물의 폭렬방지를 위한 하이브리드 폴리프로필렌섬유의 효과	원종필, 박경훈, 박찬기, 이시원

다. SCOPUS를 활용한 논문검색 결과

〈표 2-42〉 논문 검색 결과

검색연구분야	Scopus	합계
지하 콘크리트구조물 통합유지관리 시스템 개발	300	300
지하 콘크리트구조물 성능극대화 기술체계 마련	64	64

□ 국내저널 주요 연구자는 신은철(인천대학교 건설환경 공학과)이, “해안매립 지반의 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 지하수지열연구부)가 주요 저자이고, “도수토터널 굴착에 따른 주변 지역의 지하수 위 변동과 단열구조의 관련성 연구”를 지질공학 논문집에 수록하는 등 가장 많은 연구개발을 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

□ 도심지 광역 지하수 관리 기술 분야에서 주요 논문이 게재된 국내 학술지를 검토함

○ 지질공학회에는 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 관리기술 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 도심지광역 지하수 관리 기술 분야의 논문이 게재된 것으로 조사됨

□ 도심지 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.E가 지하수 계측 및 모니터링 기술(AC) 분야에서 논문을 발표한 것으로 조사되어 본 도심지 광역 지하수 관리 기술 분야에서 연구개발을 하는 것으로 조사됨

○ Chen. Lilbrahim 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

〈표 2-43〉 국내외 핵심논문

논문제목	저자	논문개요 및 상세
1 콘크리트 지하박스 구조의 온도균열제어에 관한 연구	연세대 학교 석사학위 논문	시공 초기단계에서 발생하는 지하박스 콘크리트구조물의 균열 발생 시기 및 원인을 포함한 균열 저항성을 평가하였고, 균열제어를 위한 적정 타설길이와 배합을 도출하였다. 또한, 실제 시공되고 있는 구조단면을 설정하여 배합재료와 타설길이 및 타설높이별 수화열 및 온도균열에 대한 수치해석을 통하여 콘크리트 초기 균열 제어에 관한 검증을 수행하였다.
2 지하박스 콘크리트구조물(지하철)의 결함 원인 및 대책	콘크리트 학회지 기술기사, 2002	지하박스 콘크리트구조물을 특별한 문제없이 예정된 공용 기간까지 사용하기 위해서는 계획 및 설계 단계에서부터 내구성 및 내구수명을 보다 효과적이고 정확하게 평가하고 예측할 수 있는 기법을 체계화하고 문제점 발생 시 적절한 보수 보강공법을 선택 시공할 수 있는 체계화가 필요함.
3 지하 콘크리트구조물의 열화 억제에 의한 내구성 증진에 관한 연구	한국지반공학회 논문집 2004년 Vol.20, No.3	콘크리트를 보호하기 위해 폴리머와 세라믹을 합성시켜 개발된 코팅제의 물리 성능과 내구 성능 및 용출 안전성에 대한 시험을 하였다. 개발된 코팅제에 대하여 유기계 코팅제 및 에폭시와 비교하였으며, 시험결과 개발된 코팅제는 콘크리트를 보호하기 위한 유기계 코팅제에 비해 성능이 떨어지지 않았고, 반면 용출 안전성 측면에서는 에폭시보다 더 우수함을 보였다. 특히 물과 접촉 있는 지하 콘크리트구조물을 보호하는데 적합하며, 무기계와 유기계 코팅제의 장점을 갖춘 콘크리트 보호용 코팅제라고 판단된다.
4 Damage Evolution of Underground Structural Reinforced Concrete Small-Scale Static Loading Experiments	World Academy of Science, Engineering and Technology Vol:6 2012-01-28	지하 관로로 널리 사용되는 철근 콘크리트구조물 박스의 파손 경향을 파악하기 위하여 흙으로 구속된 조건에서 RC 박스 구조물의 거동을 실내 실험실에서 평가 실시하였다. 흙의 구속력이 강해지면 짧은 전단길이 감소로 전단파괴 위험성이 증가하게 된다

5	EXISTING CONDITIONS ASSESSMENT & FEASIBILITY EVALUATION	McMillan Slow Sand Filtration Plant Site	구조물 평가를 위한 구조물의 파손 진행 단계를 다음과 같이 정리함. New crack formation and existing crack propagation Vault slab cracks around the top of the piers Cracks at perimeter and divider wall springing line Concrete spalls. Rotation at the intersection between the top of pier and the ceiling vault slab. Vertical displacements Horizontal separations Entrance portal, ramp and adjacent bays. Areas with collapsed vault slabs and areas where collapse appears imminent.
---	--	--	---

라. 논문분석을 통한 연구동향 분석

□ 다양한 논문분석 Tool을 활용한 연구동향 분석 결론

○ 지하구조물과 지하콘크리트구조물의 연구주제

- 지하구조물과 관련한 연구는 대부분 지반, 터널 등의 지반거동과 관련된 연구가 주를 이루고 있음
- 지하콘크리트구조물과 관련한 연구는 비파괴검사, 성능평가(구조, 방수, 내구성, 화재, 지진 등)와 같은 연구가 주를 이루고 있음
- 지하구조물과 관련해서 현재 다양한 연구개발사업이 이뤄지고 있으나 지하콘크리트구조물과 관련해서 연구개발사업이 거의 없음을 확인할 수 있음
- 따라서 지하구조물은 콘크리트구조물에 대한 관점을 위주로 성능평가 방법 개발이 필요하다는 점을 알 수 있음

○ 시기별 연구동향

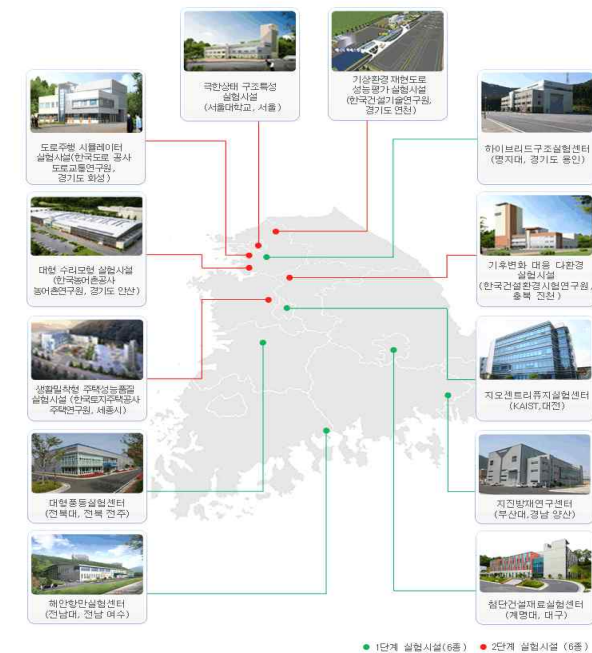
- 2011년 이전, 지하구조물(有人시설)의 경우 구조물 내부에서의 화재에 대한 영향이 주를 이뤘다면
- 2011년 이후, 지하구조물의 침하에 대한 사회적 이슈가 발생되며 지반관점에서의 연구는 다수 이뤄졌지만, 지반침하 및 지하안전의 주요 원인으로 지목되는 지하콘크리트구조물에 대한 연구가 미흡한 실정임
- 따라서, 지하콘크리트구조물의 잔존수명, 현존성능평가 기법의 정량화 및 관련 연구가 필요함

4절 국내 연구개발 인프라 분석

1. 연구 실험시설 인프라

가. 건설연구 인프라 운영원 실험센터 실험시설 현황

- 국내 분산공유시설인 건설연구 인프라 운영원이 보유한 실험센터는 아래 그림과 같이 전국에 걸쳐 1단계 실험시설(6종) 6개소로 나누어 구축되어 있음
- 또한 현재 추가로 인프라 운영원에서 구축 중인 실험센터는 2단계 실험시설(6종)으로 총 6개소가 전국에 걸쳐 구축 중임
- 이 기획과제와 연관된 분야는 계명대의 첨단건설재료실험센터와 KCL의 기후변화 대응 다환경 실험센터 2개소로 구분할 수 있으며 이 2개 실험센터가 보유한 실험장비 현황을 조사하여 활용 가능 여부를 파악하였음



<그림 2-52> 건설연구 인프라 운영원 실험센터 현황

(1) 첨단건설재료 실험센터

- 첨단건설재료 실험센터는 건설재료의 내구성능, 화학성능 및 미세구조 분석 실험뿐만 아니라 구조부재 및 콘크리트, 암석포장재료의 성능평가를 실시할 수 있는 곳임
- 이 기획과제의 특성상 재료개발에 따른 평가를 위한 일부 분야에서 활용성을 가질 수 있으며 광촉매 콘크리트 및 건설자재의 강도와 내구성 평가에 유효하게 활용이 가능할 것으로 판단됨

〈표 2-44〉 첨단건설재료 실험센터 연구 인프라 조사 현황

주요시설/장비	제원 및 특징	활용도
환경습도실	- 다양한 시편에 대한 온도, 습도, 온습도 조건으로 극한상태의 조건 - 대형크기 - 온도조건(3 Type) · +80℃~-50℃ · +80℃~+20℃ · +26℃~-20℃	△
동강압축시험기	· 3면 반력벽을 갖춘 장비로 대형구조재료의 휨, 압축, 전단 실험 · 장비사양 - Capacity : 2,000kN - Main Size : 7,850 12,080 7,050 - Column to Column : 3,000mm - 휨 압축 시험 높이: 4,000mm - Bending Span : 6,000mm - Actuator Stroke : 400mm - 제작사 : 삼연기술	×
응급압축시험기	· 5MN 용량의 콘크리트 및 암석 등의 재료특성 실험 · 장비사양 - Capacity : 5MN - Pressure plates : 380x520mm - Actuator Stroke : 100mm - Load measuring range : 100 ~ 5,000kN - Piston stroke : 100mm - Deformation at max.load : 1.2mm - 제작사 : SHIMADZU	×
구조실험실	- Capacity : 5MN - Force range : 6steps(x1, x2, x5, x10, x20, x50) - Main Size : 8,200(H:Max) - Column to Column : 3,000mm - 휨 압축 시험 높이: 5,000mm - Bending Span : 23,000mm - Actuator Stroke : 500mm - Frequency : 3Hz - 제작사 : SHIMADZU	△
3면 반력벽	· 3면 반력벽을 갖춘 장비로 대형구조재료의 휨, 압축, 전단 실험 · 장비사양 - Capacity : 2,000kN - Main Size : 7,850 12,080 7,050 - Column to Column : 3,000mm - 휨 압축 시험 높이: 4,000mm - Bending Span : 6,000mm - Actuator Stroke : 400mm - 제작사 : 삼연기술	×

5MN 압축시험기		· 5MN 용량의 콘크리트 및 암석 등의 재료특성 실험 · 장비사양 - Capacity : 5MN - Pressure plates : 380x520mm - Actuator Stroke : 100mm - Load measuring range : 100 ~ 5,000kN - Piston stroke : 100mm - Deformation at max.load : 1.2mm - 제작사 : SHIMADZU	△
강재피로 시험기 (500,250kN)		- capacity : 500, 250kN - Stroke between grips : 950mm - Load Accuracy : 6kN to 600kN - Strain measurement accuracy : ±0.5% of indicated value - Test space : Width Between Columns - 762mm - Maximum Vertical Test Space - 2,057mm - Overall height : 3,677mm - Position Transducer stroke : 250mm - Maximum operating pressure : 21MPa - 제작사 : MTS	△
미세구조 분석실		· 장비사양 - 4kw X-Ray Tube, Rh target - 4 analyzing crystals, LiF(200), PET, TAP, Ge - Automatic On-Off control - Mask diameter : 10, 30mm dia - Materials : SUS, Al, Ni, Cu - 제작사 : SHIMADZU	△
		· 장비사양 - X-Ray Tube : Type - Sealed type, Anode - Cu / Rating - 3.0kW - Scan range : -6 ~ +162°(2θ) / -180 ~ +180°(φ) - Chamber for High Temperature : 1,500°C (in air) or higher - Sample atmosphere : Air, Vacuum - Heating Filament : Pt or equivalent - Reproducibility : ± 0.002° or better - 2 θ range : -3 to +154° or wider - Scan speed : 50°/min or faster - Slow speed : 700°/min or faster - 제작사 : SHIMADZU	△
		· 장비사양 - Vicatronic Automatic Computerised vicat recording apparatus : 400x200mm - Thermostatically controlled Heating/cooling system : 615x375x400mm - The unit is manufactured with anticorrosion and tropicalised components to be used in places with humidity not below 90% and 20°C - Resolution : 0.1mm - Timer : 0 ~ 999minutes - 제작사 : MTS	×

(2) 극한 환경 기후 실험센터

- 국내 기후변화 대응 요구 및 다양한 기후환경 (고온다습, 고온건조, 한랭건조, 극냉, 극서등)의 해외 건설 시장 진출 필요성이 급증함에 따라, 실물 규모 시설의 종합 성능(Overall Performance) 평가, Mock-up 시험체 규모 시설 및 부재 단위(Component scale) 성능 평가, 자재/건축설비/기기의 특정 환경성능 평가 실험이 이루어 질 수 있도록 구축된 실험시설
- 이 기획과제의 특성상 개발한 부재의 평가를 위한 일부 분야에서 활용성을 가질 수 있으며 광촉매 콘크리트 및 건설자재의 강도와 내구성 평가에 유효하게 활용이 가능할 것으로 판단됨

〈표 2-45〉 기후변화 대응 다환경 실험시설 연구 인프라 조사 현황

대형 기후환경 실험실		
규 모	• 20m(L) × 25m(D) × 20m(H)	
온/습도	• 온도 : -10 ~ +60℃ • 습도 : 10 ~ +98%	
일사	• 일사 : 800 W/m² ~ 1,200 W/m² • 조사 면적 : 10 m(L) X 10 m(W)	
강우	• 강우 : 150 mm/h 이상	
강설	• 강설 : 최대 50 mm/h	
중형 기후환경 실험실		
규 모	• 10m(L) × 10m(D) × 4.5m(H) - 2개실	
온/습도	• 온도 : -30 ~ +80℃ • 습도 : 10 ~ +98%	
일사	• 일사 : 800 W/m² ~ 1,200 W/m² • 조사 면적 : 2 m(L) X 2 m(W)	
강우	• 강우 : 150 mm/h 이상	
강설	• 강설 : 최대 50 mm/h	
소형 기후환경 실험실		
규 모	• 5m(L) × 5m(D) × 3.5m(H) - 2개실	
온/습도	• 온도 : -40 ~ +80℃ • 습도 : 10 ~ +98%	
일사	• 일사 : 800 W/m² ~ 1,200 W/m² • 조사 면적 : 1.5 m(L) X 1.5 m(W)	
강우	• 강우 : 150 mm/h 이상	
강설	• 강설 : 최대 50 mm/h	
60m 개방형 고층타워		
규 모	• 높이 60m	
온/습도	• 고층 환경 모사	
일사	• 고층 환경 모사	
강우	• 고층 환경 모사	
강설	• 고층 환경 모사	

그림 교체(중공되고 있는 그림으로

그림 교체(중공되고 있는 그림으로)

나. 정부출연기관 실험시설 인프라 현황

- 국내 이공계 정부출연연구기관은 현재 25개소가 있으며 이들 출연연은 각 산업 및 기술 분야에 적합 실험시설과 연구개발 장비를 갖추고 있음
- 본 연구와 관련된 출연연으로는 건설연, 화학연, 생기연과 기타 출연연구기관은 들 수 있으며 이들의 인프라 구축현황은 아래와 같음
- 한국건설기술연구원 실험 인프라
 - 한국건설기술연구원은 국내 최고의 건설 재료 및 건설재료에 대한 구조실험 인프라시설을 갖추고 있음. 그 중에서 이 기획과제와 관련된 분야의 실험 인프라시설은 4개의 실험동 및 관련 장비가 구축되어 있음
 - 특히 광축매 건설재료 및 자재의 재료적 특성과 건축환경적 특성과 관련된 실험시설을 갖추고 있음. 이 실험시설은 도로시설물 광축매 건설재료/자재 및 생활환경 광축매 건설자재의 개발에 활용도가 매우 높음

〈표 2-46〉 한국건설기술연구원 연구 인프라 조사 현황

주요시설	장비명	활용도
구조실험동	- 하중재하프레임 - 정적계측기 및 센서 - 동적계측기 및 센서 - TILTMETER 4set - 레이저 동정적변위측정기 - 메가닥 콘솔박스 - 350톤 정적액추에이터 - 구조실험유압장치 - 가속도계 - 정적 데이터로거 및 스위칭 박스 - 만능시험기(100, 200ton) - 교량받침 대형시험장치 - 400KN 동적액추에이터	○
윤하중실험동	- 동적 액추에이터(static actuator) - 동적 데이터로거(UCAM 500-A) - 데이터로거	×
고성능 콘크리트 실험동	- 초고성능 콘크리트 믹서기(1.5m³, 2대) - 집진장치 - 트윈샤프트형 콘크리트 믹서기(0.08m³) - 고인성 전용 콘크리트 믹서기(0.12m³)	○
재료실험동	- 탄소함유량계 - 동결융해시험기 - 압축강도 시험기(200ton) - 압축인장시험기	○

		- 콘크리트 내구력 측정기 - 철근부식도 측정기 - 중성화축진 시험장치 - 건설재료 공극 구조 측정 장치 - 데이터 로거 및 스위칭박스 - 만능재료시험기(300ton) - 광학현미경 - 소성점도 측정기 - 콘크리트 고온양생기	
--	--	---	--

다. 대학 부설 연구소 인프라 현황

□ KAIST 건설 및 환경공학과 실험인프라

- KAIST에는 본 기획과제와 관련하여 건설 재료의 특성과 구조 특성을 분석할 수 있는 인프라 시설이 구축되어 있음
- 이 실험시설은 광축매 콘크리트 제조 기술 개발관련 강도 및 내구성 평가에 유효하게 활용 가능할 것으로 판단됨

〈표 2-47〉 KAIST 연구 인프라 조사 현황

주요시설	장비명	활용도
콘크리트 구조실험동	- 시편연마기 - 콘크리트 Creep 시험기 - 정적계측기 - 공기량측정기 - 항온&항습 챔버 - 동결융해시험기 - 슈미트햄머 - 데이터로거 - 콘크리트 믹서(HOBART) - 아폴러형 믹서기 - 콘크리트 팬믹서 - 굽은골재 비중측정장치 - 체가름시험기 - 만능재료시험기(300ton) - 누설저항시험기	○
재료실험동	- LVDT - 데이터로거 - 가열형 진공 함침기 - 디지털 멀티미터 - 잔류열소 측정기 - 물탈관입 시험기 - 굽은골재 체가름 시험기 - 골재 불밀 분쇄기 - 버티칼믹서 - 고온가압로(Autoclave) - 인발시험기 - 그라우트팽창률시험기 - 소형분쇄기 - 골재건조기 - 초음파 처리장치 - 중성화축진시험기	○

5절. 종합 분석

1. 국내외 동향분석

- 앞서 국내외 정책, 시장, 기술동향에서의 분석결과를 토대로 현재 지하콘크리트구조물의 점검체계의 현재위치와 앞으로 추가적인 기술개발이 필요한 분야에 대한 고찰 실시

〈표 2-48〉 국내외 동향분석

동향	국내	국외
정책동향	• 시설물 안전 대책관련, 범부처 협력 방안 마련 • 시특법, 재난안전법 관리 대상 시설물의 일원화 • 3중 시설물의 안전점검 범위에 대한 개정 • 시설물의 안전관리에 관한 특별법에 의거 5년 단위로 “시설물의 안전 및 유지관리 기본계획”을 수립	• 인프라 보고서 발행, 사회기반시설의 예방적 유지관리를 위한 제도를 마련 • 시설물을 위주로 유지관리지침 등을 제정하여 운영중이며 정기안전점검 및 정밀안전진단을 실시 • 각 국가별로 상황에 맞는 인프라평가 보고서를 발행하고 있으며, 영향력이 큼
시장동향	• 정부/공공기관은 SOC 및 건설, 시설물 보수/보강이 필요한 부문에 전년 대비 17% 증가된 수준인 12.4조원을 투자함 ('14년 10.6조 → ' 15년 12.4조) • 특히 정부는 교통, 항만, 학교 급경사지 등 정부 주요 노후 시설물의 보수 보강에 전년 대비 29.3% 증가한 1.9조원을 투자하고, 재해위험개선 사업에 1.2조 투자 • 구조물 유지관리 관련 시장은 2006년 6,000억원 규모에서 연평균 20%의 성장률을 기록, 2009년에 1조원, 2015년에는 3조원의 시장을 형성하고 있음	• OECD 회원국은 GDP의 0.3%를 SOC(교통)의 유지·보수로 투자 • SOC 투자 : GDP의 1%(신규건설 0.7%, 유지·보수 : 0.3%, 서유럽 기준) • 개발도상국은 GDP의 1.8%를 SOC(교통)의 유지·보수로 투자 • SOC 투자: GDP의 2.3%(신규건설 0.5%, 유지·보수 1.8%) • 한국은 GDP의 0.26%를 SOC(교통)의 유지·보수로 투자 • 2005년 세계 건설 시장의 35%가 신흥시장이었다면, 2020년에는 우리나라를 비롯한 BRICs 등의 신흥시장 규모가 확대되어 전 세계 시장의 55%를 점유할 것으로 추정
기술동향	• 국내에서는 시설물별 상태평가 및 안정성평가에 추가하여 시설물의 성능을 고려하는 방안에 대한 연구가 진행	• 미국 내 시설물 점검기준에 의하여 구조물의 상태변화를 파악하고, 그 결과로서 수명을 재 산출하며 실하중과 안전을 검토하는 방식

• 국내 시설물의 종합평가는 구조물 부재의 결함, 손상 및 열화에 대하여 평가기준 및 상태평가 절차에 따라 수행한 상태평가 결과와 시설물의 안전성평가 결과를 고려하여 개별시설물의 종합평가를 실시 • 현행 안전점검 및 정밀안전진단 결과는 시설물정보관리종합시스템(FMS)에 등록하여 관리됨	• 각 부재의 컨디션은 상태변화에 따라 4단계로 정의하여 각 부재의 단계별로 수행해야하는 조치를 제시 • 미국 PONTIS를 이용한 관리 목표를 설정하고 자산목록을 구축한 후에 이를 평가, 대안 마련, 분석하고 예산을 배분하여 단기와 장기로 구분된 관리 프로그램에 의하여 유지관리를 수행
--	---

- 지하콘크리트구조물의 수명을 연장하고 경제·사회적 비용절감과 국민의 안전을 확보할 수 있는 “안전+성능” 중심의 유지관리체제로 전환 필요가 있어 새로이 성능평가 제도가 도입됨에 따라 이의 시행을 위하여 성능평가 대상시설물, 실시주기 등 제도의 시행을 세부기준을 마련할 필요성 제기
- 지하 콘크리트 구조물들의 경우, 다른 SOC 시설물들과 함께 1970년대부터 건설된 상태로 현재까지 매립되어 운영중이지만, 지하 콘크리트 구조물에 대한 관심의 부재(不在)가 가장 큰 문제임
- 국토교통부에서는 급증한 사회기반 시설물이 급속히 고령화되고 있어 노후 시설물의 수명 연장을 위한 대책이 시급함을 인지하고 체계적인 유지관리가 필요한 시설물에 대해 정기적인 성능평가를 실시하고 목표성능 구현에 필요한 유지관리부터 전략적으로 시행할 수 있도록 관련 제도를 정비 중에 있음.
- 지하라는 육안검사의 한계를 가진 환경 하의 콘크리트 시설물 및 구조물에 대한 특화된 통합 유지관리 모니터링 및 보수보강 기술의 확보를 위해서는 정부에서 수립한 전략에 부흥할 수 있는 R&D 투자 및 지원이 필요함.
- 시특별상 시설물 7만1109개 중 준공 후 30년 이상 SOC는 2292개로 전체 SOC(2만1878개)의 10.5% 수준이지만 10년 후 23.96%(5241개)로 늘어날 것이 예상됨(지하구조물은 비포함되어 사각지대에 존재)
- 시설물의 안전관리에 관한 특별법(시특별) 2017년 개정안에는 국토부 장관은 국가 시설물이 안전하게 유지관리 될 수 있도록 5년마다 시설물의 안전 및 유지관리 기본계획을 수립하고 이행함
- 그러나, 개정안에는 도로, 철도, 항만, 댐 등 대통령령으로 정하는 시설물은 성능평가를 하도록 규정되어 있지만, 공항 및 일부구조물을 제외한 지하구조물은 개정안에서 제외된 실정임

- 지하구조물의 특수한 지하노출환경을 반영한 전문적인 유지관리가 필요하지만, 지하구조물의 내구성, 사용성을 반영한 정량적 성능평가, 정책제언, 표준화 추진 등의 정량적인 지하구조물 성능 평가 연구는 미흡한 실정임
- 지하 콘크리트구조물의 성능평가를 토대로 설계단계에서 설정한 사용목적, 기능 및 성능을 반영한 시설물의 현상태를 객관적·정량적으로 평가할 수 있는 방향으로 유도할 수 있는 기술 개발이 필요함

2. 국외 기술동향 분석을 통한 방향설정

- 외국의 경우에도 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 실시시간으로 측정되는 반사파 자료를 분석하여 지하 이상유무 파악 기술과 같은 지하구조 파악기법 개발 등이 국산화 및 실용화 되어야 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, 위험성평가가 같은 지하굴착공사의 최적화된 설계를 위한 지구물리학적 기술(지오레이더, 지전기탐사, 탄성과 굴절법 토모그래피)과 MASW같은 지질공학적인 분석을 복합적으로 수행함
- 보수보강 주요 기술은 부재안전율 기준에 따라 증설공법, 강판보강법, 연속섬유 보강법, 외부프리스트레싱 보강법 등이 있으며 보수공법은 주로 발생된 손상(균열 등)의 크기에 따라 표면피복공법, 주입공법, 충전공법 및 전기화학적공법 등으로 구성됨
- 보수보강 기술 트렌드는 과거에 외부강선 보강 중심의 보강 공법, 내진성능 향상을 위한 부품교체 중심의 공법 연구에서 최근에는 급속교체 관련 공법 연구가 활발함

3. 특허 및 지적재산권 분석

- 지하콘크리트구조물의 열화, 보수/보강, 유지관리, 성능평가, 성능극대화 등의 키워드를 활용해 특허 분석을 실시
- 특허분석 결과, 국내외 특허 중 대부분의 지하콘크리트구조물과 관련된 지적재산권은 보수 보강 공법 및 재료가 약 70%이상을 차지할 정도로 상당히 연구가 이루어진 것을 확인
- 지하구조물의 성능평가와 관련된 국내 지적재산권은 검색결과에 노출되지 않음
- 그러나 동시에 진행한 국외 지적재산권 분석결과 일본에서 열화진단 평가 시스템, 구조물의 유지관리 시스템과 관련된 특허가 1990년대 초반부터 이미 다양하게 등록됨
- 따라서 이미 콘크리트 구조물에 대한 열화관리를 일찍부터 시작했음을 충분히 예측할 수 있으며, 지하구조물과 관련한 기술에 대한 검증도 다양한 방법으로 시도됐음을 예측할 수 있음

〈표 2-49〉 특허 분석

특허명	출원인/등록인	출번호	출원일자	등록번호	등록일자
콘크리트 구조물의 열화 진단 지원시스템	東京大學長 株式會社建設技術研究所	JP2000171158A	2000.06.07	JP4685214B9	2011.02.18
기상환경을 고려한 콘크리트 구조물의 열화 평가 시스템 및 라이프 사이클 비용 평가 시스템, 열화 평가방법 및 라이프 사이클 비용 평가방법, 프로그램, 기록 매체	鹿島建設株式會社	JP2001361226A	2001.11.27	JP3811392B9	2006.06.02
콘크리트 구조물의 유지 관리 시스템	株式會社間組	JP04012211A	1992.01.27		

4. 논문 분석

- ☐ 다양한 논문분석 Tool을 활용한 연구동향 분석 결론
- 지하구조물과 지하콘크리트구조물의 연구주제

- 지하구조물과 관련한 연구는 대부분 지반, 터널 등의 지반거동과 관련된 연구가 주를 이루고 있음
- 지하콘크리트구조물과 관련한 연구는 비파괴검사, 성능평가(구조, 방수, 내구성, 화재, 지진 등)와 같은 연구가 주를 이루고 있음
- 지하구조물과 관련해서 현재 다양한 연구개발사업이 이뤄지고 있으나 지하콘크리트구조물과 관련해서 연구개발사업이 거의 없음을 확인할 수 있음
- 따라서 지하구조물은 콘크리트구조물에 대한 관점을 위주로 성능평가 방법 개발이 필요하다는 점을 알 수 있음

5. 분석 결과

- 지하콘크리트구조물의 성능중심의 진단, 점검, 평가 기법 개발 및 정량적 평가기법의 제시가 필요함
- 기 개발된 다양한 보수/보강 기법들의 D/B화를 통해 성능평가 손상에 따른 필요기술 제안이 가능한, 보수보강 전/후 지하콘크리트구조물의 성능예측 기법 개발이 필요함
- 최종적으로 유지보수에 대한 관리주체의 책임과 소명을 지원할 지하콘크리트구조물 종합성능 제시 및 유지보수 의사결정을 지원하는 의사결정지원시스템 개발이 필요함

3장. 기술수요 및 수준 · 예측조사

1절. 기술수요조사

1. 개요

가. 기술수요조사의 목적

- ☐ 동 기술수요조사는 지하 콘크리트 구조물의 성능극대화를 위한 전주기적 통합유지관리시스템 기술 확보를 위해 기술개발이 필요한 기술아이템 도출을 목적으로 함
- ☐ 산·학·연 전문가를 대상으로 열화된 지하 콘크리트 구조물의 성능극대화를 위한 전주기적 통합유지관리시스템 기술 확보를 위해 기술개발이 필요한 기술아이템에 대한 기술수요를 조사함
- ☐ 기술수요조사는 기술개발 우선순위를 파악하고 기술개발 과제간의 효율적인 자원배분 방안을 마련하기 위한 사전 조사에 해당됨
 - 지하 콘크리트 구조물의 성능극대화를 위한 전주기적 통합유지관리시스템 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

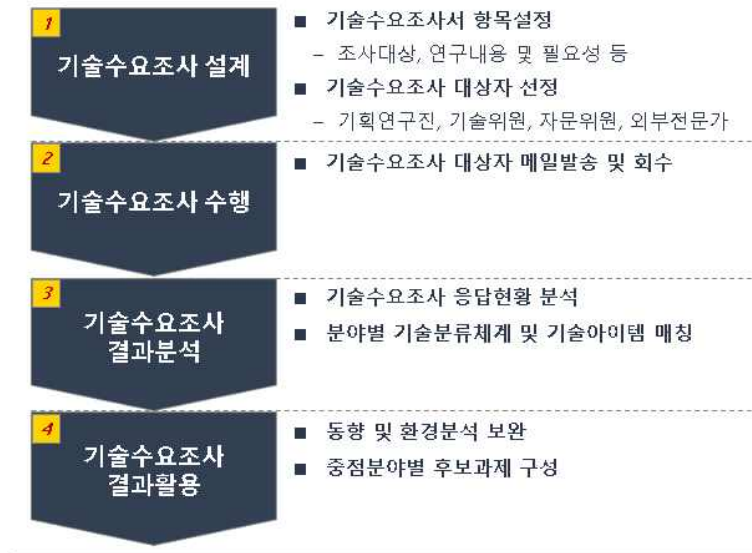
나. 기술수요조사의 절차

- ☐ 기술수요조사는 기술수요조사 설계, 기술수요조사 수행, 기술수요조사 결과 분석, 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 매칭

하고, 응답현황 및 기술분류체계별 기술수요를 분석함

- ☐ 기술수요조사 결과활용단계에서는 회신 조사서 내용으로 동향 및 환경분석 내용을 보완하고, 기술아이템은 중점분야별 후보과제 구성에 활용함

조사 절차



〈그림 3-1〉 기술수요조사 프로세스

다. 기술수요조사 발송 및 응답개요

- ☐ 기술수요조사는 내부 기획연구진 및 외부전문가를 대상으로 E-mail을 통해 조사함

〈표 3-1〉 기술수요조사 발송 및 응답개요

구분	내용
조사기간	- 1차 조사기간 : 2016년 4월 08일 ~ 4월 29일 (3주간) - 2차 조사기간 : 2016년 5월 03일 ~ 5월 10일 (1주간)
조사대상	내부 기획연구진, 외부 전문가
조사방법	E-mail을 통한 설문조사

2. 기술수요조사 분석결과

□ 동 기술수요조사에는 산, 학, 연 전문가 31명이 참여함

○ 산업계 10명, 학계 13명, 연구소 전문가 8명이 참여함

□ 제안 받은 기술아이템은 총 42건임

○ 기술분야별로 통합유지관리 체계 기술 10건, 안전성능 평가 표준화 기술 15건, 성능극대화 기술 16건, 기타 1건을 제안받음

〈표 3-2〉 기술분야별 기술아이템

기술분야 (대분류)	기술분야 (중분류)	기술아이템
지하 콘크리트 구조물 성능관리 의사결정 시스템 개발	지하 콘크리트 구조물 종합성능 관리체계 구축 기술 개발	#1.1.1 사용자 중심의 지하 콘크리트구조물의 상태 성능지표 정량화 기술
		#1.1.2 지하 콘크리트 구조물의 노출환경에 따른 상태 지수 평가 기술 개발
		#1.1.3 지하 콘크리트구조물의 안전성능 수준 판정 기술
	성능관리 의사결정 시스템 구축 및 시험적용 추진	#1.2.1 확률론적 방법을 이용한 빅 데이터 기반 통합유지관리 기술 개발
		#1.2.2 지하 콘크리트구조물 통합 유지관리를 위한 cloud platform 개발
		#1.2.3 지하 콘크리트 구조물의 계측 데이터 처리기술 및 운용기술 개발
지하 콘크리트구조물 성능 검사·평가 기술개발 및 절차화	지하구조물 영향인자 검사·평가기술 개발	#2.1.1 지하콘크리트 구조물의 열화 판정을 위한 적정 기술 개발
		#2.1.2 지하 구조물 상태평가를 위한 IT/BIM 융합 첨단 진단기술개발
		#2.1.3 지하 콘크리트 구조물의 예방적 유지관리 기술
		#2.1.4 지하구조물 상태안전성 강화를 위한 접촉식 열화부위 산정기술 개발
		#2.1.5 지하구조물 장기 안전성 평가를 위한 열화 및 하중환경 계측, 모니터링 및 데이터 기반 진단 기술 개발
		#2.1.6 카메라의 가속도 & 자이로 센서 정보를 이용한 현장 사진 매핑 보조 기술

	지하 콘크리트 구조물 성능 검사·평가에 대한 제도화 전략 수립	#2.2.1 특정환경 / 열화조건에 따른 지하콘크리트구조물 적정 균열보수재료 선정을 위한 성능평가 및 기술개발
		#2.2.2 장기계측 및 진단용 센싱 패키지 및 모니터링 데이터 기반 지하 콘크리트 구조물 안전성 수준 정량화 평가 기술
		#2.2.3 분포형 센서를 이용한 장거리 지하 콘크리트 구조물 연결부 모니터링 기술개발
		#2.2.4 사용환경을 고려한 지하 콘크리트구조물의 점검 및 평가 매뉴얼 개발
		#2.2.5 영상 시스템을 이용한 구조물 모니터링 및 상태평가 기술 개발
		#2.2.6 지하 박스구조물의 재하시험 기법 개발 및 표준화
지하 콘크리트 구조물의 공용기간 예측기술 개발	환경평가 기반 미래성능 예측 기술 개발	#3.1.1 지하 콘크리트 구조물 구조성능 예측 기술
		#3.1.2 IoT기반 환경요인에 따른 지하 콘크리트구조물의 상태변화 예측 기술
		#3.1.3 지하 콘크리트 구조물의 콘크리트 온도 변화에 따른 화학적 침식 손상 원인 평가 기술
		#3.1.4 지하 콘크리트 구조물의 내부 유해이온에 대한 손상 원인 평가 기술
		#3.1.5 상시 모니터링 기술 활용 주요 지하 콘크리트 구조물 긴급 재난 대응기술 개발
	지하 콘크리트 구조물 성능회복을 위한 최적 기술 개발	#3.2.1 지하 콘크리트 구조물의 콘크리트 손상원인 대응 보수/보강 기술 개발
		#3.2.2 손상 목표 수준 맞춤형 지진에 의한 지하구조물 설계 및 복구/보강 기술 개발
		#3.2.3 지하 콘크리트 구조물의 장수명화를 위한 보수·보강 표준화 기술
		#3.2.4 지하철 구조물의 성능극대화를 위한 보수 보강 재료 및 공법 개발
		#3.2.5 하이브리드 수치해석기법을 통한 지하구조물 균열 생성 및 전파 예측
		#3.2.6 열화상태를 고려한 지하 콘크리트 구조물의 내진성능 평가 기술
		#3.2.7 지하철 구조물의 성능극대화를 위한 보수 보강 재료 및 공법 개발

2절. 기술수준 및 예측조사

1. 개요

가. 기술수준/예측조사의 목적

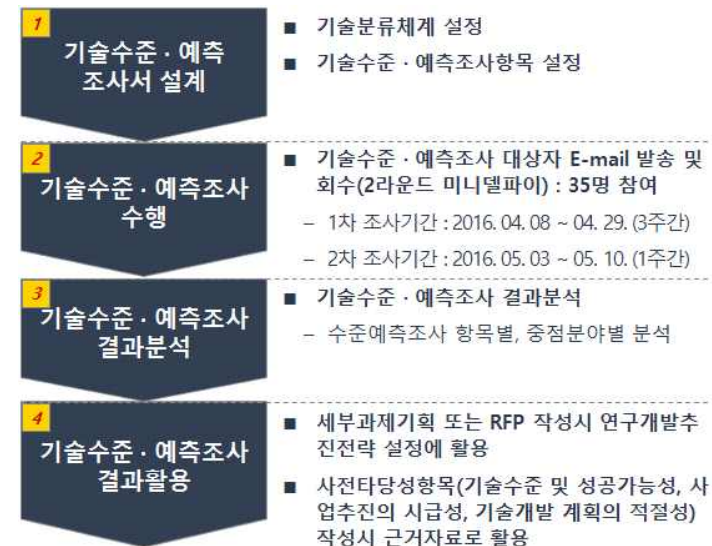
- ‘지하 콘크리트 구조물의 성능극대화를 위한 전주기적 통합유지관리시스템 기획’ 연구의 기술수준/예측조사는 관련 기술의 실현시기, 기술수준 등 기술혁신 동향을 정량적으로 평가하여 과제우선순위평가를 위한 기초자료로 활용하는 것을 목적으로 함
- 산·학·연 전문가를 대상으로 지하 콘크리트 구조물의 성능극대화를 위한 전주기적 통합유지시스템 기술의 실현시기, 기술수준, TRL단계, 중요도 등을 조사함
- 연구개발 사업 계획과 전략 수립에 활용하기 위해 적합한 자료와 다양한 예측방법을 사용하여 미래의 기술변화 파악에 필요한 정보를 수집함
- 현재 기술의 수준을 살펴봄으로써 기술변화를 예측하고, 이를 기반으로 기술개발의 방향을 설정함

나. 기술수준/예측조사의 절차

- 기술수준/예측조사는 기술수준/예측조사 설계, 기술수준/예측조사 수행, 기술수준/예측조사 결과분석, 기술수준/예측조사 결과 활용 순으로 추진함
- 기술수준/예측조사 설계단계에서는 기술수준/예측조사서 항목을 결정하고 기술수준/예측조사 대상자를 설정함
 - 조사항목은 기술수준/예측조사를 수행한 선행연구의 기술수준/예측조사항목을 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
- 기술수준/예측조사 수행단계에서는 기술수준/예측조사 대상자에게 조사서를 발송하고 회신하며, 2Round에 걸친 Mini-델파이 방법을 활용함
 - 2Round조사에서는 응답자별로 본인의 1Round 응답결과와 전체 조사대상자

응답 통계자료를 함께 제공하고 통계자료를 확인 후 1Round 응답결과를 수정할 수 있도록 하여 조사항목별로 전문가의 합의를 유도함

- 기술수준/예측조사 결과분석단계에선 기술분류체계별 조사 결과에 대한 통계분석과 기술수준-중요도, 기술격차-격차추세, 기술기반 성숙도-중요도의 포트폴리오 분석을 수행함
- 기술수준/예측조사 결과활용단계에서는 분석결과를 기반으로 세부과제기획 또는 RFP 작성 시 연구개발추진전략 설정에 활용하고 사전타당성(기술수준 및 성공가능성, 사업추진의 시급성, 기술개발 계획의 적절성) 작성 시 근거자료로 활용함



〈그림 3-2〉 기술수준/예측조사 프로세스

다. 기술수준/예측조사 발송 및 응답개요

- 기술수준/예측조사는 내부 기획연구진 및 외부전문가들을 대상으로 E-mail을 발송하여 조사함

〈표 3-3〉 기술수준/예측조사 발송 및 응답개요

구분	내용
조사기간	- 1차 조사기간 : 2016년 4월 08일 ~ 4월 29일 (3주간) - 2차 조사기간 : 2016년 5월 03일 ~ 5월 10일 (1주간)
조사대상	- 내부 기획연구진 및 외부전문가
조사방법	- E-mail을 통한 설문조사

라. 기술수준/예측조사 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 상업화되거나 해당기술이 사회적으로 널리 활용되는 예상시점(Single Point Time)임

(2) 국내 기술수준 및 기술격차

- ☐ ‘국내 기술수준’은 ‘16년 현재 시점에서 해당기술의 최고기술보유국 대비 국내 기술수준임
- 기술수준의 평가 기준은 다음과 같음

〈표 3-4〉 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 5점 척도로 평가함
- 기술격차추세의 평가 기준은 다음과 같음

〈표 3-5〉 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 3-6〉 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

- ☐ ‘최고기술 보유국’은 ‘16년 현재 시점에서 해당기술의 최고기술을 보유한 국가임

(5) 기술기반 성숙도

- ☐ ‘기술기반 성숙도’는 ‘16년 현재 시점에서 해당 기술과 관련된 국내 산업/기술 연구인력, 장비 등 인프라 수준을 나타내는 지표로 5점 척도로 제시함
- 기술기반 성숙도의 평가 기준은 다음과 같음

〈표 3-7〉 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 ‘지하 콘크리트 구조물의 성능극대화를 위한 전주기적 통합유지관리 시스템’ 내에서 차지하는 상대적인 중요도를 나타내는 지표로 5점 척도로 제시함

○ 기술 핵심성의 평가 기준은 다음과 같음

〈표 3-8〉 기술 핵심성 평가 기준

구분	설명
5	해당기술이 ‘지하 콘크리트 구조물의 성능극대화를 위한 전주기적 통합유지관리 시스템 기술’ 내에서 차지하는 상대적인 중요도가 매우 높음
4	해당기술이 ‘지하 콘크리트 구조물의 성능극대화를 위한 전주기적 통합유지관리 시스템 기술’ 내에서 차지하는 상대적인 중요도가 높음
3	해당기술이 ‘지하 콘크리트 구조물의 성능극대화를 위한 전주기적 통합유지관리 시스템 기술’ 내에서 차지하는 상대적인 중요도가 보통임
2	해당기술이 ‘지하 콘크리트 구조물의 성능극대화를 위한 전주기적 통합유지관리 시스템 기술’ 내에서 차지하는 상대적인 중요도가 낮음
1	해당기술이 ‘지하 콘크리트 구조물의 성능극대화를 위한 전주기적 통합유지관리 시스템 기술’ 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 3-9〉 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 3-10〉 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 3-11〉 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 정부출연 연구소 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 3-12〉 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. 기술수준/예측조사 결과

〈표 3-13〉 후보과제, 기술아이템명 조사 항목

중점추진분야	후보과제, 기술아이템명
중점추진분야 I	• 사용자 중심의 지하 콘크리트구조물의 상태 성능지표 정량화 기술 • 지하 콘크리트 구조물의 노출환경에 따른 상태 지수 평가 기술 개발 • 지하 콘크리트구조물의 안전성능 수준 판정 기술 • 확률론적 방법을 이용한 빅 데이터 기반 통합유지관리 기술 개발 • 지하 콘크리트구조물 통합 유지관리를 위한 cloud platform 개발 • 지하 콘크리트 구조물의 계속 데이터 처리기술 및 운용기술 개발
중점추진분야 II	• 지하콘크리트 구조물의 열화 판정을 위한 적정 기술 개발 • 사용환경을 고려한 지하 콘크리트구조물의 점검 및 평가 매뉴얼 개발 • 지하 박스구조물의 재하시험 기법 개발 및 표준화 • 특정환경 / 열화조건에 따른 지하콘크리트구조물 적정 균열보수재료 선정을 위한 성능평가 및 기술개발 • 지하 구조물 상태평가를 위한 IT/BIM 융합 첨단 진단기술개발 • 지하 콘크리트 구조물의 예방적 유지관리 기술 • 지하구조물 상태안전성 강화를 위한 접촉식 열화부위 선정기술 개발 • 지하구조물 장기 안전성 평가를 위한 열화 및 하중환경 계측, 모니터링 및 데이터 기반 진단 기술 개발 • 장기계측 및 진단용 센싱 패키지 및 모니터링 데이터 기반 지하 콘크리트 구조물 안전성 수준 정량화 평가 기술 • 분포형 센서를 이용한 장거리 지하 콘크리트 구조물 연결부 모니터링 기술개발 • 카메라의 가속도 & 자이로 센서 정보를 이용한 현장 사진 매핑 보조 기술 • 영상 시스템을 이용한 구조물 모니터링 및 상태평가 기술 개발
중점추진분야 III	• 지하 콘크리트 구조물 구조성능 예측 기술 • IoT기반 환경요인에 따른 지하 콘크리트구조물의 상태변화 예측 기술 • 지하 콘크리트 구조물의 콘크리트 온도 변화에 따른 화학적 침식 손상 원인 평가 기술 • 지하 콘크리트 구조물의 내부 유해이온에 대한 손상 원인 평가 기술 • 지하 콘크리트 구조물의 콘크리트 손상원인 대응 보수/보강 기술 개발 • 손상 목표 수준 맞춤형 지진에 의한 지하구조물 설계 및 복구/보강 기술 개발 • 지하 콘크리트 구조물의 장수명화를 위한 보수·보강 표준화 기술 • 지하철 구조물의 성능극대화를 위한 보수 보강 재료 및 공법 개발 • 상시 모니터링 기술 활용 주요 지하 콘크리트 구조물 긴급 재난 대응기술 개발 • 하이브리드 수치해석기법을 통한 지하구조물 균열 생성 및 전파 예측 • 열화상태를 고려한 지하 콘크리트 구조물의 내진성능 평가 기술 • 지하철 구조물의 성능극대화를 위한 보수 보강 재료 및 공법 개발

〈표 3-14〉 후보과제, 기술아이템명 연구개발 목표 및 연구개발 내용

No.	제안기술명	연구개발 목표	연구개발내용
1	• 지하 콘크리트구조물 통합 유지관리를 위한 cloud platform 개발	• 지하 콘크리트구조물 통합 유지관리를 위한 cloud platform 개발	• 지하 콘크리트구조물 통합 유지관리를 위한 cloud platform 개발 • 구조물 상태평가 알고리즘 개발 • 상태평가 알고리즘에 따른 의사결정 기준 관리지 개발 • 상태평가 알고리즘에 따른 데이터 분석 및 의사결정 시스템 개발 • 데이터 DB 연계 구조물 상태정보 전달 서비스 방법 개발 • APP기반 Platform상태 Auto Reporting 기

No.	제안기술명	연구개발 목표	연구개발내용
2	• 지하구조물 장기 안전성 평가를 위한 열화 및 하중환경 계측, 모니터링 및 데이터 기반 진단 기술 개발	• 열화 및 하중환경 계측 및 정량화 기술 • 모니터링 및 데이터 기반 진단 기술 개발	• 열화환경, 환경하중 정량화 기술 • 열화등급산정 및 평가방법의 정량화 기술 • 지하구조물의 지리학적/지형학적 위치에 따른 열화도 평가 기술 • 주요 관리 대상 지하구조물 인접 지역의 열화 환경 점검 기술 • 지하구조물 안전성 평가를 위한 원격 모니터링 기술 • 모니터링 데이터 기반의 구조물 상태 평가 및 향후 안전성 예측 기술
3	• 상시 모니터링 기술 활용 주요 지하 콘크리트 구조물 긴급 재난 대응기술 개발	• 주요 지하 콘크리트 구조물 상시 모니터링 기반 사고발생 가능성 사전 예측 기술 및 긴급 복구기술 개발	• 지하 콘크리트 구조물 안전성 상시 모니터링 기술 개발 • 사고발생 가능성 사전 탐지, 예측기술 개발 • 지하, 지중 콘크리트 구조물 긴급 복구, 보수, 보강 기술 개발 (구조물 내측, 외측별 적용기술 구분)
4	• 분포형 센서를 이용한 장거리 지하 콘크리트 구조물 연결부 모니터링 기술개발	• 분포형 센서를 이용한 지하 콘크리트 구조물 연결부의 장거리 모니터링 기술 개발	• 구조형식별 지하 콘크리트 구조물의 연결부 손상유형 파악 • 대표적인 손상유형별 정량적인 검출이 가능한 분포형 센서 최적 설계 • 지하 콘크리트 구조물 유형별 연결부 손상 모니터링을 위한 장거리 분포형 센서 시제품 제작 • 실내외 검증연구 • 획득된 신호를 이용한 검출 알고리즘 개발 및 통합시스템 개발 • Test bed 적용 연구
5	• 지하 콘크리트 구조물의 계측 데이터 처리 기술 및 운용기술 개발	• 지하 콘크리트 구조물의 계측 데이터 처리기술 및 운용기술 개발	• 지하 콘크리트 구조물의 계측 데이터 처리 기술 및 운용기술 개발 • 계속 데이터 처리를 위한 상태평가 알고리즘 개발 • 상태평가 알고리즘에 따른 의사결정 기준 관리지 개발 • 상태평가 알고리즘에 따른 데이터 분석 및 의사결정 시스템 개발 • 무선 기반 데이터 전송을 위한 통신모듈 개발 • 빅데이터 관리 및 운용을 위한 platform 개발
6	• 지하 콘크리트 구조물 이상징후 및 붕괴 전조 감시를 위한 자기전조 패턴 감시센서 (AMPDS)와 분석 알고리즘의 개발	• 측정물리량의 신호주기 (Frequency)와 진폭 (Amplitude)을 기계적 또는 전자적인 방법으로 추출 생성시키는 자기전조 패턴감시센서 및 이상징후 감지분석 알고리즘 개발	1. 이상징후 감시용 자기전조기능을 갖는 절전형 무선센서 2. 자기전조 센서를 이용한 구조물 붕괴 감지 알고리즘 개발
7	• 확률론적 방법을 이용한 빅 데이터 기반 통합유지관리 기술 개발	• 본 연구는 열화 된 지하 콘크리트 구조물의 성능 극대화를 위한 「확률론적 방법을 이용한 빅 데이터 기반 통합유지관리 기술 개발」을 목적으로 함.	• [템플릿 구축] 빅 데이터 기반 통합유지관리 기술 템플릿 구축 • [기술 개발] 빅 데이터 기반 통합유지관리 프로그램 개발 • [현장적용/실용화] 빅 데이터 기반 통합유지관리 가이드라인 개발 및 현장적용
8	• 카메라의 가속도 & 자이로 센서 정보를 이용한 현장 사진 매핑 보조 기술	• 균열, 파손 및 부식 등 구조물의 장기적인 손상 관찰을 위한 카메라의 가속도 & 자이로 센서 정보	- 가속도, 자이로센서를 이용하여 좌표 및 위치 추적 가능한 카메라 활용기술 검토 - 현장사진을 촬영한 카메라의 위치 및 자세 정보 추정 알고리즘 개발

No.	제안기술명	연구개발 목표	연구개발내용
		를 이용한 현장사진 매핑 기술	- 추정된 위치 및 자세 정보를 이용한 매핑 기술 - 현장사진의 매핑위치를 조사자에게 제안할 수 있는 UI 개발 - 지하구조물 환경 모니터링 기술 - 환경조건을 고려한 고내구성 센서 패키징 기술 - 지하구조물용 센싱 패키지 데이터 처리용 DAQ기술 - 지하구조물 안전성 평가를 위한 데이터 처리 기술 - 지하구조물 안전성 정량화 시스템화 기술
9	장기계측 및 진단용 센싱 패키지 및 모니터링 데이터 기반 지하 콘크리트 구조물 안전성 수준 정량화 평가 기술	지하구조물 환경조건을 고려한 장기계측 및 진단 겸용 센싱 패키지 및 모니터링 데이터를 활용한 신뢰도 95% 수준의 안전 수준 정량화 기술 및 시스템 개발	
10	영상 시스템을 이용한 구조물 모니터링 및 상태평가 기술 개발	- 콘크리트 균열 영상 계측 정밀도 $\pm 3\text{mm}$ 이내 - 웨어블 장기 계측 모니터링 상용화 - 영상 처리 소프트웨어 프로그램 등록 및 판매	- 구조물에 대한 영상·열화상 카메라 적용 방안 및 영상처리방법 연구 - 계측된 데이터의 분석 프로그램 개발 - 개발 기술을 활용한 실 구조물 상태평가 적정성 및 적용 연구
11	LWIR 초분광영상을 활용한 지하 콘크리트 구조물 손상 탐지 기술	LWIR 초분광영상을 이용하여 지하 콘크리트 구조물의 외관에서 균열 및 백태를 정의하고 이를 정량화하는 기술을 개발함	(1차년도): LWIR 초분광영상을 이용한 콘크리트 손상 인식 기술 개발 (2차년도): LWIR 초분광 카메라를 이용한 지하 콘크리트 손상 탐지 기술 개발 (3차년도): LWIR 초분광영상을 이용한 지하 콘크리트 손상 탐지 기술 고도화
12	지하 구조물 상태평가를 위한 IT/BIM 융합 첨단 진단기술개발	IT / BIM 기술을 기반으로 하는 지하구조물 상태 평가 진단 기술 개발	- IT기술을 기반으로 지하구조물에 대한 빠르고 정확한 진단기술 개발 - 진단 정보의 수집과 분석이 동시에 이루어질 수 있는 평가기술 개발 - BIM 기법을 활용하여 진단 및 평가정보를 통합적으로 분석할 수 있는 정보시각화 기술 개발
13	지하 콘크리트 구조물의 상태변화 조사를 위한 영상 기술 적용 및 활용	- 구조물의 사전유지관리 체계 마련 - 구조물의 안전성 확보 - 취약한 작업 환경으로 인한 인체 사고 방지 (유해가스 방지)	- 지하 콘크리트 구조물에 접근이 양호한 영상 장비 개발 - 영상데이터 기반 열화 상태 감지 기술 개발 - 영상데이터 및 계측데이터의 상호 열화 상태 평가 매칭 기술 개발
14	점검 효율화를 위한 이미지 프로세싱 기반 육안점검 장비 개발 기술	지하 구조물의 내부 점검 시 점검자가 조사하기 어려운 장소에 대하여 사진 촬영 및 이미지를 통한 구조물 상태 판독 기술을 개발	- 지하 콘크리트 구조물의 사용환경에 따른 조사부위 DB 선정 및 분석 - 내부 상태 이미지 프로세싱이 가능한 장비 개발 - 이미지 판독에 따른 열화 및 손상 시나리오 알고리즘 개발
15	지하 콘크리트 구조물 구조성능 예측 기술	지하 콘크리트 구조물의 성능 변화를 예측할 수 있는 방법을 개발	- 지하 콘크리트 구조물의 열화환경별 구조 성능 변화 예측 기술 - 지하 콘크리트 구조물의 열화환경별 점검 주기 제안 - 지하 콘크리트 구조물의 구조성능 변화에 따른 교체 주기 제안 - 현장기반의 지하 콘크리트 구조물의 구조성능 평가기술 개발
16	열화상태를 고려한 지하 콘크리트 구조물의 내진성능 평가 기술	- 평가 기술 정확도 80% 달성 - 구조물별 열화상태 종류 및 심각도에 따른 내진성능 감소폭 제안	- 열화상태에 따른 물성치 변화분석 - 열화상태의 위치에 따른 국부/전체 정적거동 변화 분석 - 구조물별 열화상태에 따른 동적특성(고유치, 모드형상) 계측 기술 개발 - 극한환경 지진시나리오(지진방향과 크기, 여진과의 조합 등) 결정에 관한 연구 - 열화상태별 내진성능 분석 및 평가 기술 개발

No.	제안기술명	연구개발 목표	연구개발내용
			- 열화정도에 따른 내진성능 감소폭 정량화 방법 개발 - 연속체·지반 - 지하 콘크리트구조물 균열 발생 연계 해석이 가능한 하이브리드 해석 기술 개발 - 발파 하중에 대한 지하구조물 균열 발생 모사 해석 툴 구축 - 노후화 지하 콘크리트 구조물 설계 하중으로 인한 균열 발생 예측 - 지하구조물 균열 예측 상세 가이드라인 개발 - 균열 발생 범위 및 패턴별 지하 콘크리트 구조물 장기 성능 및 수명 영향 평가 - 균열 보수 기술 개발
17	하이브리드 수치해석 기법을 통한 지하구조물 균열 생성 및 전파 예측	하이브리드 수치해석 기법을 통한 지하 콘크리트 구조물 균열 생성 예측 및 보수 기술 개발	
18	손상 목표 수준 맞춤형 지하구조물 설계 및 복구/보강 기술 개발	- 손상 수준 맞춤형 지하구조물 설계 기술 개발 - 손상 수준별 지하구조물 복구 기술 개발 - 지하구조물 내진보강 기술 개발	- 지하 철근콘크리트 구조물 중요도 결정 알고리즘 및 손상 수준 개발 - 지진 시 지하 철근콘크리트 구조물 손상 사례 및 유형 분석 - 지진하중에 대한 지하 철근콘크리트 구조물 손상 해석 기술 개발 - 손상 수준 맞춤형 지하구조물 설계기술 개발 - 손상 지하구조물 복구 및 보강 기술 개발
19	자연재해에 따른 지하 콘크리트구조물의 위험도 평가 기술 개발	사용환경에 따른 지하 콘크리트구조물의 점검 및 평가 기준 제시	- 자연재해에 따른 지하 콘크리트구조물의 취약요소 분석 - 취약요소를 통한 자연재해별 중요도 산정 - 자연재해별 중요도를 고려한 구조물의 안전성 평가 - 평가결과를 토대로한 위험재해도 작성
20	자연재해 발생 후 시설물의 안전성, 사용성 변화 예측 및 평가 기술	홍수, 지진 등 자연재해 발생 후 기존의 안전성능 대비 저하된 안전성능을 예측할 수 있는 기술 및 평가방법 개발	- 자연재해 발생 시 지하 콘크리트 시설물의 취약도 및 위험도 분석 - 기존 안전성능 대비 저하된 안전성능 평가 및 DB 구축 - 확률기반 시설물의 안전성능 검증 방법 개발
21	MPC (Magnesia Phosphate Composite)를 활용한 지하구조물의 급속 단면복구기술	- 보수보강효과 및 시공성 증진을 위한 고내구성 MPC 배합기술개발 - 시공속도증진 및 품질유지를 위한 뿔어붙이기 기술개발 - 보수보강부 품질확보를 위한 관련 기준 정립	- 열화원인 및 위치별 부작성능증진을 위한 MPC 배합기술개발 - 뿔어붙이기를 위한 MPC의 리바운드 감소기술 및 섬유보강기술 개발 - MPC의 광각분사를 위한 노즐 및 압력분산 기술개발 - MPC의 분사효율증진을 위한 고효율, 고압력 분사기술개발 - MPC의 배합 및 관리방법에 관한 가이드라인 및 기준정립 - 최적 시공품질확보를 위한 시공방안 도출 및 기준정립 - 국내 현장을 고려한 시방지침(안) 작성
22	지하구조물 상태안전성 강화를 위한 비부식성 고내구성 FRP재료 활용 보강기술개발	- 지하구조물 콘크리트의 다양한 노출특성에 따른 비부식성 고내구성 재료를 활용한 보수보강 방법 개발 - 비부식성 고내구성 FRP계 재료를 활용한 지하구조물 콘크리트의 보수보강을 통한 상태안전성 증대	- 열화 노출별 비부식성 고내구성 FRP재료의 적용성 분석 - 비부식성 고내구성 FRP 적용 재료의 열화 특성별 보수보강 방안 개발 - 고비부식성 고내구성 FRP재료 활용 보강 기술의 장수명화 장기 공용성 분석 - 국내 현장을 고려한 시방지침(안) 작성

No.	제안기술명	연구개발 목표	연구개발내용
23	지하구조물 상태안전성 강화를 위한 고성능 모르타르 스프레이를 활용한 보강기술개발	- 기술 개발 - 지하구조물 콘크리트의 다양한 노출특성과 제한된 시공공간에 따른 고성능 재료를 활용한 보수보강 방법 개발 - 고성능 모르타르를 스프레이 형식으로 제한된 공간 및 복잡한 형상의 지하구조물의 상태안전성 증가 및 장수명화 보강 기술의 개발	- 열화 노출별 비부식성 고성능 모르타르 적용성 분석 - 복잡하고 제한된 공간에서의 고성능 모르타르 스프레이 시공방법 개발 - 고성능 모르타르 스프레이 시공 기술의 장수명화 장기 공용성 분석
24	지하구조물 상태안전성 강화를 위한 접촉식 열화부위 산정기술 개발	- 지하구조물 콘크리트의 열화발생 시 보수 보강 범위 결정을 위한 체계적인 방안 개발 - 지하구조물 콘크리트의 상태를 비파괴 방법으로 추정하여 보수 필요성 및 보수 보강 면적 산정에 활용	- 기존 비파괴검사 방식인 충격식 및 초음파 검사 방식에서 벗어나 새로운 개념의 콘크리트 비파괴검사 방식 개발 - 지하구조물의 열화가 발생한 콘크리트(표면 스케일링, 각종 화학물질 및 농도 002 등으로 인한 열화)를 대상으로 장비 시험 적용 - 지하구조물 콘크리트의 깊이별 역학적 내구적 특성과 열화의 상관관계 분석
25	콘크리트 자가충전 기술을 활용한 지하구조물 상태안전성 강화 보강기술개발	- 지하구조물 콘크리트의 다양한 노출특성과 제한된 시공공간에 따른 고성능 자가충전 기술을 활용한 보수보강 방법 개발 - 고성능 자가충전 콘크리트 형식으로 제한된 공간 및 복잡한 형상의 지하구조물의 상태안전성 증가 및 장수명화 보강 기술의 개발	- 열화 노출별 비부식성 고성능 자가충전 콘크리트 적용성 분석 - 복잡하고 제한된 공간에서의 고성능 자가충전 콘크리트 시공방법 개발
26	지하철 구조물의 성능 극대화를 위한 보수 보강 재료 및 공법 개발	지하 콘크리트 구조물 중, 지하철 구조물은 균열 및 구조성능 노후화로 인해 이에 구조 부재 특성에 적합한 보수 보강 재료 및 공법 개발	- 지하철 구조물의 노후화 원인 평가 기술 - 지하철 구조물의 구조 부재에 적합한 보수 보강 재료 개발 - 지하철 구조물의 구조 부재에 적합한 보수 보강 공법 개발 - 지하철 구조물의 유지관리 기법 정립 - 환경요인에 따른 계측시스템 개발 - 지하 콘크리트구조물의 계측 위치 및 방법 선정 - 지하 콘크리트구조물의 환경요인별 상태변화 패턴 분석 - 지하 콘크리트구조물의 환경요인별 상태변화 패턴 D/B 구축
27	IoT기반 환경요인에 따른 지하 콘크리트구조물의 상태변화 예측 기술	환경요인에 따른 지하 콘크리트구조물의 상태변화 예측 기술 개발	- 지하 콘크리트구조물의 환경요인별 상태변화 패턴 분석 - 지하 콘크리트구조물의 환경요인별 상태변화 패턴 D/B 구축
28	지하 콘크리트 구조물의 콘크리트 온도 변화에 따른 화학적 침식 손상 원인 평가 기술	지하 콘크리트 내·외부 모두 물을 접하게 되며 내부의 경우 생활배수와 각종 공업용 화학약품 등으로 인한 손상이 있고 외부의 경우 지하수로부터 지속적인 접촉으로 인한 화학적 침식이 발생하게 됨으로 이러한 환경에서의 온도와 대표 화학물질에 대한 침식으로 부터의 구조물에 대한 수명 평가 기술 제시	- 구조물 내부의 폐수 및 공업용 화학약품 등에 콘크리트 손상 원인 평가 기술 - 구조물 내부의 폐수 및 공업용 화학약품으로 부터 손상된 콘크리트의 수명 예측 기술 - 화학적 침식의 온도 변화에 대한 콘크리트의 손상 평가 기술 - 화학적 침식의 온도 변화로 손상된 콘크리트의 수명 예측기술
29	지하 콘크리트 구조물	지하 콘크리트 내부의 경	구조물 내부의 가스에 의한 손상 원인 평

No.	제안기술명	연구개발 목표	연구개발내용
	의 내부 유해이온에 대한 손상 원인 평가 기술	우 복개 구조물 및 하수 박스 구조물은 내부에 생활하수와 같은 오염 물질이 많이 함유된 물이 흐름으로 이에 대한 대표 유해 이온에 대한 수명평가 기술 제시	- 가 기술 - 구조물 내부의 가스로부터 손상된 콘크리트의 수명 예측 기술 - 황산, 염산, 다중의 염류 등 유해 이온의 침식에 대한 평가 기술 - 황산, 염산, 다중의 염류 등 유해 이온 영향으로 손상된 콘크리트의 수명 예측기술
30	지하 콘크리트 구조물의 내부 유해이온에 대한 손상 원인 평가 기술	지하 콘크리트 내부의 경우 복개 구조물 및 하수 박스 구조물은 내부에 생활하수와 같은 오염 물질이 많이 함유된 물이 흐름으로 이에 대한 대표 유해 이온에 대한 수명평가 기술 제시	- 지하 콘크리트 구조물 내부의 가스에 의한 손상 원인 평가 기술 - 구조물 내부의 가스로부터 손상된 콘크리트의 등급산정 및 수명 예측 기술 - 다중의 염류 등 유해 이온의 침식에 대한 구조물의 손상등급산정 및 평가 손상된 콘크리트 구조물의 수명 예측기술
31	내화학 저항성능이 우수한 바이너를 이용한 콘크리트 구조물의 수명 증대	생활하수와 같은 오염 물질이 많이 함유된 오염수의 유해 이온의 저항 성능이 우수한 바이너를 활용하여 지하 콘크리트 구조물의 수명 증대 기술 제시	- 지하 콘크리트 구조물 내부의 열화 요인 조사 - 지하 콘크리트 구조물 유해 이온의 정량적인 손상 예측 - 황산, 염산, 다중의 염류 등 유해 이온의 침식에 대한 평가 기술
32	지하 콘크리트 구조물의 장수명화를 위한 보수·보강 표준화 기술	보수·보강 후의 구조물의 장수명화 검증 및 표준화	- 노후도 및 노출 환경별 보수·보강 기술 매칭 기법 - 보수·보강 재료, 공법 및 요구 성능별 실험절차 표준화 - 보수·보강 전후의 성능 평가 정량화 및 효과 분석 - 보수·보강 기술 장기 성능 검증 및 내구성 모니터링 - 보수·보강용 신재료 및 공법 발굴 및 적용성 평가 - 보수·보강 공법의 표준화
33	지하 콘크리트 구조물의 노출환경에 따른 상태 지수 평가 기술 개발	지하 콘크리트 구조물의 주변 상태하중 및 지반의 영향으로 인한 균열 발생 평가 기술 개발 및 균열 누수에 따른 유지관리 기술 개발	- 지하 콘크리트구조물 자체 하중으로 인한 지하 콘크리트 구조물의 영향 평가 기술 - 지반의 영향으로 인한 지하 콘크리트 구조물의 변형 및 균열 평가 기술 - 지하 콘크리트구조물의 균열 발생으로 인한 손상 대응 유지관리 기술 개발
34	지하 콘크리트 구조물의 콘크리트 손상원인 대응 보수/보강 기술 개발	지하 콘크리트는 내·외부 모두 손상을 받게 되는 구조물로 그 원인에 대응하는 유지관리 기법 정립과 구조물의 장수명화 및 성능극대화 기술 개발	- 지하 콘크리트구조물 다양한 내구성 원인에 따른 대응 유지관리기술 - 대응 유지관리 기술 개발적용에 따른 모니터링 기술 - 지하 콘크리트구조물의 유지관리 기술 적용 후 수명예측평가 기술
35	지하콘크리트 구조물의 열화 판정을 위한 적정 기술 개발	지하 콘크리트 구조물의 운영 체계를 고려한 주요 파손 원인을 고려하여 열화발생 원인에 따른 열화 등급 판정기술 개발	- 지하 콘크리트 구조물의 환경적인 원인에 의한 열화 거동 분석 - 지하 콘크리트 구조물의 역학적인 원인에 의한 열화 거동 분석 - 지하 콘크리트 구조물의 환경 원인에 의한 열화 평가 방법 - 지하 콘크리트 구조물의 열화정도 평가를 통한 우선보수 기준 값 도출
36	저주파 초음파 단층촬영기를 활용한 지하구조물 상태안전성 점검 기술 개발	지하구조물 상태안전성 점검을 위한 저주파 초음파 단층촬영장비(Ultrasonic low frequency tomograph)를 활용한 점검 기술 개발	- 현재의 비파괴검사 방식인 충격식 및 초음파 검사 방식에서 벗어나 새로운 개념의 콘크리트 비파괴검사 방식 개발 - 열화 깊이 판단을 위한 응용 평가 기술 개발(유지보수 시공 중 절삭 이후 재평가 / 적정 열화 깊이 코어 채취 후 재평가 등

No.	제안기술명	연구개발 목표	연구개발내용
		지하구조물 콘크리트의 상태를 비파괴 방법으로 추정하여 보수 필요성 및 보수 보강 면적 산정에 활용	아이디어 도출 필요)
37	지하철 구조물의 성능 극대화를 위한 보수 보강 재료 및 공법 개발	지하 콘크리트 구조물 중, 지하철 구조물은 균열 및 구조성능 노후화로 인해 이에 구조 부재 특성에 적합한 보수 보강 재료 및 공법 개발	- 지하철 구조물의 노후화 원인 평가 기술 - 지하철 구조물의 구조 부재에 적합한 보수 보강 재료 개발 - 지하철 구조물의 구조 부재에 적합한 보수 보강 공법 개발 - 지하철 구조물의 유지관리 기법 정립
38	사용자 중심의 지하 콘크리트구조물의 상태 성능지표 정량화 기술	점검시 조사되는 손상항목(균열, 누수, 열화 등)에 대해 체계적으로 우선순위를 선정하고, 사용자가 상태에 대한 성능을 쉽게 인지할 수 있도록 표준화된 성능 지표 개발	- 지하 콘크리트구조물의 종류에 따른 상태 지표(항목) 설정 - 전문가 및 우선순위 선정기법을 통한 지표별 가중치 선정 - 지하 콘크리트구조물의 표준화된 상태성능 지표 개발 및 검증
39	사용환경을 고려한 지하 콘크리트구조물의 점검 및 평가 매뉴얼 개발	사용환경에 따른 지하 콘크리트구조물의 점검 및 평가 기준 제시	- 지하 콘크리트구조물의 사용환경 별 열화 인자 분석 - 사용환경별 지하 콘크리트구조물의 점검 방법 제시 - 사용환경별 지하 콘크리트구조물의 평가 기준 제시
40	지하 박스구조물의 재하시험 기법 개발 및 표준화	- 지하박스구조물의 재하시험을 통한 기본/공용내하력 선정 기법 도출 - 재하시험 시, 지하박스 구조물 내부에서의 하중 가력시스템 개발 (시작품) - Test-bed 적용 및 실용화	- 지하박스구조물의 적정 재하시험 위치, 재하하중 크기 등 지표값 선정 - 지하수위 측정 및 선정 기법 개발 - 구조해석을 통한 기본/공용내하력 선정 기법 도출 - 재하시험 시, 지하박스 구조물 내부에서의 하중 가력시스템 개발 (시작품) - Test-bed 적용 및 실용화
41	지하 콘크리트구조물의 안전성능 수준 판정 기술	점검 및 진단시 판정되는 상태성능, 내구성능, 안전성능 등을 하나의 지표로 판단할 수 있는 성능 수준 지표를 개발하고, 점검 및 진단을 실시할 수 있는 지하구조물의 유지관리 매뉴얼 개발	- 지하 콘크리트구조물의 안전성능 지표에 따른 등급 선정기법 개발 - 지하 콘크리트구조물의 성능관리 수준 및 목표 설정
42	지하 콘크리트 구조물의 예방적 유지관리 기술.	지하 콘크리트 구조물의 노출 환경 요인에 의한 성능평가 기술을 통하여 구조물의 수명연장 및 성능극대화를 위한 예방적 유지관리 기술 개발	- 콘크리트 구조물의 염소이온, 온도 및 습도 모니터링을 통한 구조물의 성능평가 유지관리 기술 - 열화 콘크리트 구조물의 균열 모니터링을 통한 상태평가 유지관리 기술 - 열화 콘크리트 구조물의 응력 모니터링을 통한 성능평가 유지관리 기술 - 상태 및 성능평가에 따른 보수 및 보강방법 유지관리 기술
43	특정환경 / 열화조건에 따른 지하콘크리트 구조물 적정 균열보수 재료 선정을 위한 성능평가 및 기술개발	습윤환경, 진동구조물, 동결융해, 염해, 지속하중 등의 환경조건에 따른 적정 보수재(아크릴계, 에폭시계, 시멘트계, 개선허보수재 등) 선정을 할 수 있는 설계 지침을 개발	- 특수한 환경에 따른 열화조건 사전 연구 수행 (습윤환경, 진동, 동결융해, 염해, 지속하중 등 지하구조물의 특수한 환경의 열화조건에 대한 사전 연구 수행) - 지하 환경의 주요 열화요인(Key degradation factor)을 선정 - 선정된 주요 열화요인에 따른 부착강도 및 파괴에너지 측정시험 제작

3. 연구개발 추진과제 구성 및 주요 내용

○ 도출된 후보과제의 우선순위를 바탕으로 연구개발 추진과제를 선정

- 연구개발 추진과제는 국토교통 R&D 연구개발사업 특성 중점적으로 검토하고 1,2차 기획타당성 중간평가를 통하여 결정
- 또한 중간평가회의를 통하여 유사과제의 경우는 통합하는 과정을 거침

□ 1세부과제 : 지하 콘크리트 구조물 성능관리 의사결정 시스템 개발

세부과제 목표	- 지하 콘크리트 구조물의 종합성능등급 선정기법 및 종합 성능관리 매뉴얼 개발 - 지하 콘크리트 구조물의 성능평가 및 예측자료가 반영된 통계학적 모형과 기법을 활용한 최적점검주기 의사결정 체계 개발
세세부과제 구성	1-1 : 지하 콘크리트 구조물 종합성능 관리체계 구축 기술 개발 1-2 : 성능관리 의사결정 시스템 구축 및 시험적용 추진

□ 2세부과제 : 지하 콘크리트구조물 성능 검사·평가 기술개발 및 절차화

세부과제 목표	- 지하환경이 지하 콘크리트 구조물에 미치는 영향에 대한 평가 등급화 기술 개발 - 지하 콘크리트 구조물의 성능평가 기반 유지관리 절차서 개발
세세부과제 구성	2-1 : 지하구조물 영향인자 검사·평가기술 개발 2-2 : 지하 콘크리트 구조물 성능 검사·평가에 대한 제도화 전략 수립

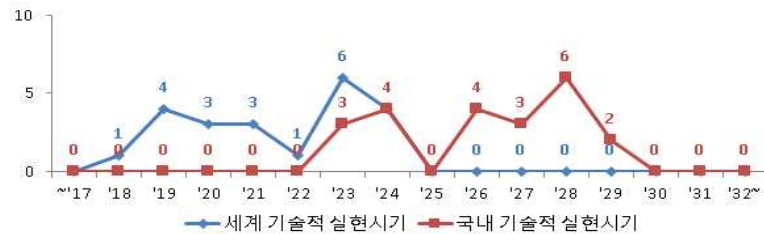
□ 3세부과제 : 지하 콘크리트 구조물의 공용기간 예측기술 개발

세부과제 목표	- 노출환경 및 손상 수준 맞춤형 유지보수 및 지하구조물 내구성능 예측기술 개발 - 성능회복 전후의 정량적 평가와 효과분석 절차 및 성능회복 매뉴얼 개발
세세부과제 구성	3-1 : 환경평가 기반 미래성능 예측 기술 개발 3-2 : 지하 콘크리트 구조물 성능회복을 위한 최적 기술 개발

4. 기술수준/예측분석 결과

가. 국내·외 기술 실현시기

- 지하 콘크리트구조물의 전주기적 통합유지관리 시스템 기술의 최고기술보유국과 국내의 기술적 실현시기 및 사회경제적 실현시기는 기술분야 특성에 따라 넓게 분포되어 있음
- 최고기술국의 기술적 실현시기는 '21년 전후, 국내는 '26년 전후로 예측됨
- 각 소분류별 기술적 실현시기는 최고기술보유국의 경우 '18년~'24년까지 분포되어 있고, 국내의 경우 '23년~'29년까지 분포되어 있음



〈그림 3-3〉 지하 콘크리트 구조물관련 기술의 기술적 실현시기 예측 결과

- 최고기술국의 사회경제적 실현시기는 '25년 전후, 국내는 '30년 전후로 예측됨
- 각 소분류별 사회경제적 실현시기는 최고기술보유국의 경우 '20년~'28년까지 분포되어 있고, 국내의 경우 '25년~'32년 이상까지 분포되어 있음
- 기술적 실현 이후 상용화까지는 국내외 모두 약 4년 정도 소요되는 것으로 예측되었으며, 상용화를 고려한 계획수립을 통해 국내외 격차를 줄일 수 있을 것으로 판단됨



〈그림 3-4〉 지하 콘크리트 구조물관련 기술의 사회경제적 실현시기 예측 결과

(1) 지하 콘크리트 구조물 성능관리 의사결정 시스템 개발

- 지하 콘크리트 구조물 성능관리 의사결정 시스템 기술은 3개 대분류 중 최고기술보유국의 기술적 실현시기가 빠른 편으로 나타났으며, 사회경제적 실현시기는 기술분야별로 차이가 있음
- 최고기술국의 기술적 실현시기는 '20년 전후, 국내의 기술적 실현시기는 '24년 전후로 예측됨
- 각 소분류별 기술적 실현시기는 최고기술보유국의 경우 '18년부터 도래하여 빠른 편이며, 국내의 경우 5년 뒤인 '23년부터 실현될 것으로 예측됨



〈그림 3-5〉 성능관리 의사결정 시스템 기술의 기술적 실현시기 예측 결과

- 최고기술국의 사회경제적 실현시기는 '24년 전후, 국내는 '28년 전후로 예측됨
- 각 소분류별 사회경제적 실현시기는 최고기술보유국의 경우 '21년~'28년까지, 국내의 경우 '26년~'31년까지 폭넓게 분포되어 있음



〈그림 3-6〉 성능관리 의사결정 시스템 기술의 사회경제적 실현시기 예측 결과

- 전반적으로 최고기술국의 기술적 실현시기는 '20년인데 비해, 장기모니터링용 원격 센싱/모니터링 기술은 '18년으로 빠르게 나타났고, 빅데이터 기반 유지관리 기술은 '24년으로 가장 늦게 나타남

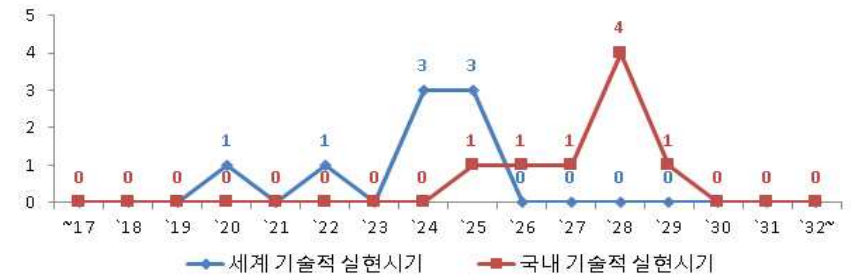
- 국내외 모두 각 기술별 기술적 실현시기 추이는 유사한 것으로 나타남
- 최고기술국의 기술적 실현시기는 국내보다 4~5년 앞서는 것으로 예측되어, 향후 이를 고려한 기술개발 추진계획(기술로드맵) 수립이 필요함
- 1.2.1 기술 1.2.2 기술의 경우 국내외 모두 가까운 시일내에 기술적 실현이 이루어 질 것으로 나타남
- 1.2.3. 기술의 국내외 기술적 실현시기가 가장 늦은 것으로 나타남
- 각 기술별 사회경제적 실현시기는 기술적 실현 이후 기술분야별로 짧게는 2년, 길게는 5년까지 다양하게 나타났으며, 이에 따라 기술분야 특성을 고려한 상용화 계획 수립이 필요할 것으로 분석됨
- 국내외의 각 기술별 사회경제적 실현시기 추이는 유사한 것으로 나타남
- 기술적 실현 이후 상용화 까지 국내외 모두 2~5년 소요되는 것으로 예측되며, 상용화를 고려한 계획수립을 통해 국내외 격차 감소가 가능할 것으로 판단됨
- 해외에서 1.2.1. 기술의 사회경제적 실현시기가 '21년으로 가장 빠른 것으로 예측됨
- 국내의 경우 1.2.3. 기술의 사회경제적 실현시기가 '31년으로 가장 늦음
- 국내의 경우 1.2.3. 기술의 상용화 기간이 2년으로 가장 짧은 것으로 분석됨

〈표 3-15〉 지하 콘크리트 구조물 성능관리 의사결정 시스템 개발

기술분류체계		기술적 실현시기(년)		사회경제적 실현시기(년)	
중분류	소분류	세계	국내	세계	국내
1.1 지하 콘크리트 구조물의 통합유지관리 시스템 및 운영 기술	1.1.1 사용자 중심의 지하 콘크리트구조물의 상태 성능지표 정량화 기술	2020	2024	2024	2028
	1.1.2 지하 콘크리트 구조물의 노출환경에 따른 상태 지수 평가 기술 개발	2020	2025	2025	2030
	1.1.3 지하 콘크리트구조물의 안전성능 수준 판정 기술	2020	2024	2025	2029
1.2 성능관리 의사결정 시스템 구축 및 시험적용 추진	1.2.1 확률론적 방법을 이용한 빅 데이터 기반 통합유지관리 기술 개발	2018	2023	2021	2026
	1.2.2 지하 콘크리트구조물 통합 유지관리를 위한 cloud platform 개발	2019	2023	2022	2026
	1.2.3 지하 콘크리트 구조물의 계속 데이터 처리기술 및 운용기술 개발	2024	2029	2028	2031

(2) 지하 콘크리트구조물 성능 검사·평가 기술개발 및 절차화

- 최고기술보유국과 국내의 기술적 실현시기 차이는 약 4년으로, 국내의 경우 과반수 기술은 사회경제적 실현시기가 ' 32년 이후에야 도래할 것으로 예측됨
- 최고기술국의 기술적 실현시기는 ' 24년 전후, 국내의 기술적 실현시기는 ' 28년 전후로 예측됨
- 각 소분류별 기술적 실현시기는 최고기술보유국의 경우 ' 24~' 25년에 집중되어 있고, 국내의 경우 3~4년 뒤인 ' 28년에 집중되어 있음



〈그림 3-7〉 성능 검사·평가 기술개발 및 절차화의 기술적 실현시기 예측 결과

- 최고기술국의 사회경제적 실현시기는 ' 28년 전후, 국내는 ' 32년 전후로 예측됨
- 각 소분류별 사회경제적 실현시기는 최고기술보유국의 경우 ' 25년~' 30년까지 분포되어 있고, 국내의 경우 일부 기술은 ' 32년 이상까지 실현시기가 늦을 것으로 예측됨



〈그림 3-8〉 성능 검사·평가 기술개발 및 절차화의 사회경제적 실현시기 예측 결과

- 자연재해 및 극한환경 고려 위험도 평가기술은 국내외 기술적 실현시기가

빠른 것으로 예측되었으나, 국내외 기술적 실현시기 차이가 5년으로 타 기술 분야에 비해 크게 나타남

- 국내외 모두 각 기술별 기술적 실현시기 추이는 유사한 것으로 나타남
- 최고기술국의 기술적 실현시기는 국내보다 3~4년 앞서는 것으로 예측되어, 향후 이를 고려한 기술개발 추진계획(기술로드맵) 수립이 필요함
- 2.2.3. 기술의 경우 가까운 시일내에 기술적 실현이 이루어 질 것으로 나타나며, 국내외 기술적 실현시기 차이는 5년으로 타 기술분야보다 가장 차이가 큰 것으로 나타남
- 국내의 경우 각 분야 기술의 사회경제적 실현시기가 모두 ' 30년 이후로 예측되며, 사용환경별 열화요인 조사, 점검기술은 기술적 실현 이후 사회경제적 실현까지 6년이 소요되는 것으로 나타남
- 국내외의 각 기술별 사회경제적 실현시기는 3년에서 6년까지 소요되는 것으로 예측되며, 상용화를 고려한 계획수립을 통해 국내외 격차 감소가 가능할 것으로 판단됨
- 국내의 경우 5개 기술분야는 사회경제적 실현시기가 ' 32년 또는 그 이후로 늦은 것으로 예측됨
- 2.2.3. 기술의 국외에서의 사회경제적 실현시기가 동 기술분야 중 가장 빠른 것으로 예측됨
- 2.1.1. 기술, 2.2.1. 기술의 경우 국내 사회경제적 실현시기가 각 6년으로 동 기술분야 중 가장 긴 것으로 나타남

〈표 3-16〉 지하 콘크리트구조물 성능 검사·평가 기술개발 및 절차화

기술분류체계		기술적 실현시기(년)		사회경제적 실현시기(년)	
중분류	소분류	세계	국내	세계	국내
2.1 지하구조물 영향인자 검사·평가기술 개발	2.1.1 지하콘크리트 구조물의 열화 판정을 위한 적정 기술 개발	2022	2026	2027	2032
	2.1.2 지하 구조물 상태평가를 위한 IT/BIM 융합 첨단 진단기술개발	2025	2028	2029	2033
	2.1.3 지하 콘크리트 구조물의 예방적 유지관리 기술	2025	2029	2030	2034
	2.1.4 지하구조물 상태안전성 강화를 위한 접촉식 열화부위 선정기술 개발	2025	2028	2029	2032
	2.1.5 지하구조물 장기 안전성 평가를 위한 열화 및 하중환경 계측, 모니터링 및 데이터 기반 진단 기술 개발	2024	2028	2029	2031

	2.1.6 카메라의 가속도 & 자이로 센서 정보를 이용한 현장 사진 매핑 보조 기술	2020	2025	2025	2030
2.2 지하 콘크리트 구조물 성능 검사·평가에 대한 제도화 전략 수립	2.2.1 특정환경 / 열화조건에 따른 지하콘크리트구조물 적정 균열보수재료 선정을 위한 성능평가 및 기술개발	2024	2028	2028	2032
	2.2.2 장기계측 및 진단용 센싱 패키지 및 모니터링 데이터 기반 지하 콘크리트 구조물 안전성 수준 정량화 평가 기술	2024	2028	2029	2031
	2.2.3 분포형 센서를 이용한 장거리 지하 콘크리트 구조물 연결부 모니터링 기술개발	2024	2028	2029	2031
	2.2.4 사용환경을 고려한 지하 콘크리트구조물의 점검 및 평가 매뉴얼 개발	2024	2027	2027	2030
	2.2.5 영상 시스템을 이용한 구조물 모니터링 및 상태평가 기술 개발	32024	2027	2027	2030
	#2.2.6 지하 박스구조물의 재하시험 기법 개발 및 표준화	2024	2028	2029	2031

(3) 지하 콘크리트 구조물의 공용기간 예측기술 개발

- 최고기술보유국과 국내의 기술적·사회경제적 실현시기는 3~4년에 걸쳐 집중되어 있음
- 최고기술국의 기술적 실현시기는 '23년 전후, 국내의 기술적 실현시기는 '27년 전후로 예측됨
- 국내외 각 소분류별 기술적 실현시기는 3~4년 기간에 집중되어 있음



〈그림 3-9〉 공용기간 예측기술의 실현시기 예측 결과

○ 최고기술국의 사회경제적 실현시기는 '26년 전후, 국내는 '30년 전후로 예측됨

○ 국내외 각 소분류별 사회경제적 실현시기는 약 3년에 걸쳐 집중되어 있음



〈그림 3-10〉 공용기간 예측 기술의 사회경제적 실현시기 예측 결과

□ 노출환경별 성능저하 원인분석기술의 경우 국내외 기술적 실현시기가 타 소분류별 기술대비 빠르게 나타났으며, 국내외 기술적 실현시기 차이는 약 4~5년으로 나타남

○ 국내외 모두 각 기술별 기술적 실현시기 추이는 유사한 것으로 나타남

○ 최고기술국의 기술적 실현시기는 국내보다 4~5년 앞서는 것으로 예측되어, 향후 이를 고려한 기술개발 추진계획(기술로드맵) 수립이 필요함

○ 3.1.1 기술의 경우 해외에서 가까운 시일내에 기술적 실현이 이루어 질 것으로 나타남

□ 소분류별 기술의 국내외 사회경제적 실현시기는 3년 이내에 밀집되어 있는 것으로 나타남

○ 국내외 모두 각 기술별 기술적 실현시기 추이는 유사한 것으로 나타남

○ 최고기술국의 기술적 실현시기는 국내보다 4~5년 앞서는 것으로 예측되어, 향후 이를 고려한 기술개발 추진계획(기술로드맵) 수립이 필요함

○ 국내외 각 기술의 사회경제적 실현시기는 3년 이내에 밀집되어 있는 것으로 나타남

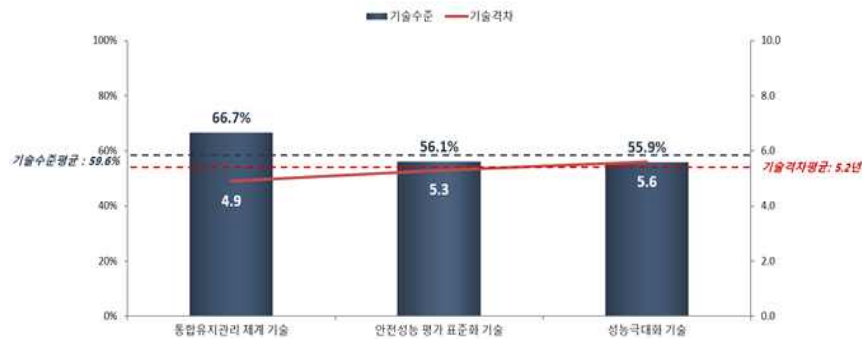
○ 3.1.3. 기술의 경우 국내에서의 상용화 기간이 가장 짧은 것으로 예측됨

〈표 3-17〉 지하 콘크리트 구조물의 공용기간 예측기술 개발

기술분류체계		기술적 실현시기(년)		사회경제적 실현시기(년)	
중분류	소분류	세계	국내	세계	국내
3.1 지하 콘크리트구조물의 노출환경을 고려한 수명평가 기술	3.1.1 지하 콘크리트 구조물 구조성능 예측 기술	2021	2026	2025	2029
	3.1.2 IOT기반 환경요인에 따른 지하 콘크리트구조물의 상태변화 예측 기술	2024	2028	2027	2031
	3.1.3 지하 콘크리트 구조물의 콘크리트 온도 변화에 따른 화학적 침식 손상 원인 평가 기술	2022	2027	2025	2029
	3.1.4 지하 콘크리트 구조물의 내부 유해이온에 대한 손상 원인 평가 기술	2023	2028	2027	2031
	3.1.5 상시 모니터링 기술 활용 주요 지하 콘크리트 구조물 긴급 재난 대응기술 개발	2022	2027	2025	2029
3.2 지하 콘크리트구조물의 성능극대화 유지관리 기술	3.2.1 지하 콘크리트 구조물의 콘크리트 손상원인 대응 보수/보강 기술 개발	2024	2028	2027	2031
	3.2.2 손상 목표 수준 맞춤형 지진에 의한 지하구조물 설계 및 복구/보강 기술 개발	2022	2026	2025	2029
	3.2.3 지하 콘크리트 구조물의 장수명화를 위한 보수·보강 표준화 기술	2023	2028	2027	2031
	3.2.4 지하철 구조물의 성능극대화를 위한 보수 보강 재료 및 공법 개발	2021	2026	2025	2029
	3.2.5 하이브리드 수치해석기법을 통한 지하구조물 균열 생성 및 전파 예측	2024	2028	2027	2031
	3.2.6 열화상태를 고려한 지하 콘크리트 구조물의 내진성능 평가 기술	2023	2028	2026	2031
	3.2.7 지하철 구조물의 성능극대화를 위한 보수 보강 재료 및 공법 개발	2024	2028	2027	2031

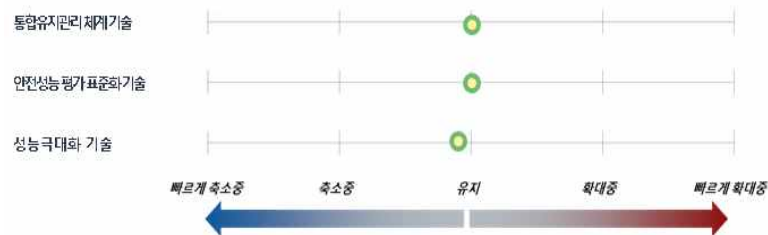
나. 기술수준 및 기술격차

- 전체 기술수준 평균은 59.6%, 기술격차는 5.2년으로 기술격차는 유지되는 추세로 나타났으며, 3개 대분류 중 통합유지관리 체계 기술의 기술수준이 높은 것으로 분석됨
- 국내 전체 기술수준 평균은 최고기술보유국의 59.6%이고, 기술격차는 평균 5.2년으로 나타남
- 통합유지관리 체계 기술의 기술수준은 해외의 66.7%로 타 대분류 기술보다 높고, 기술격차도 4.9년으로 가장 작은 것으로 나타남



〈그림 3-11〉 공공기간 예측 기술의 기술수준 및 기술격차

- 통합유지관리 체계 기술, 안전성능 평가 표준화 기술, 성능 극대화 기술 모두 해외와 국내의 기술격차가 유지되는 것으로 나타남



〈그림 3-12〉 공공기간 예측 기술의 기술격차 추세

(1) 지하 콘크리트 구조물 성능관리 의사결정 시스템 개발

- 의사결정 시스템 기술 내 2개 중분류의 해외 대비 국내 기술수준 평균은 66.7%, 기술격차는 4.9년으로, 해외와 국내의 기술격차는 유지되는 추세로 나타남
- 의사결정 시스템 기술의 해외 대비 국내 기술수준 평균은 66.7%, 기술격차는 평균 4.9년으로 나타남
- 지하콘크리트 구조물의 성능관리 의사결정 시스템 및 운영기술의 기술수준은 67.2%로, 타 중분류 기술보다 높고, 기술격차도 4.7년으로 가장 작은 것으로 나타남



〈그림 3-13〉 성능관리 의사결정 시스템 기술의 기술수준 및 기술격차

- 지하콘크리트 구조물의 성능관리 의사결정 시스템 및 운영기술, 지하콘크리트 구조물 거동 장기 모니터링 기술 모두 해외와 국내의 기술격차가 유지되는 것으로 나타남



〈그림 3-14〉 성능관리 의사결정 시스템 기술의 기술격차 추세

□ 의사결정 시스템 체계 기술 소분류 중 GIS/BIM 연계기술 수준이 가장 높고, 빅데이터기반 통합유지관리기술 수준이 가장 낮게 나타남



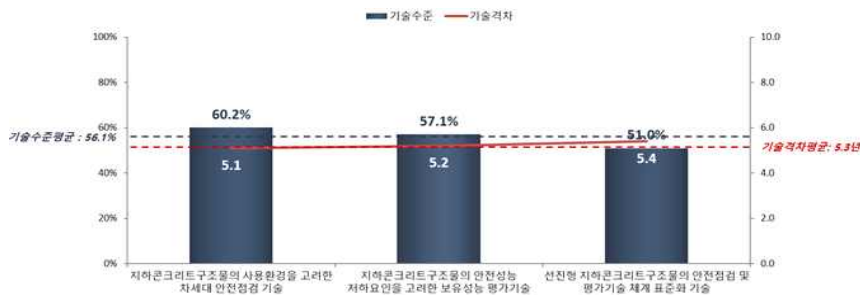
〈그림 3-15〉 성능관리 의사결정 시스템 기술의 소분류별 기술수준, 기술격차 및 기술격차 추세

(2) 지하 콘크리트구조물 성능 검사·평가 기술개발 및 절차화

□ 성능 검사·평가 기술개발 및 절차화 기술 내 3개 중분류의 해외 대비 국내 기술수준 평균은 56.1%, 기술격차는 5.3년으로, 해외와 국내의 기술격차는 유지되는 추세로 나타남

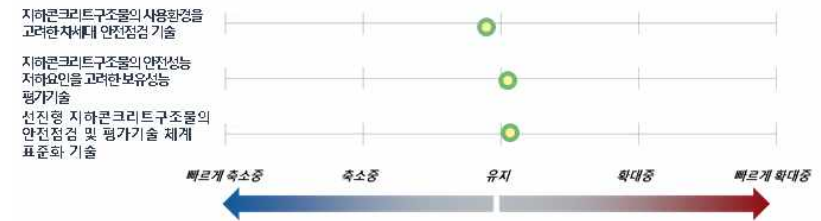
○ 성능 검사·평가 기술 및 표준화 기술의 해외 대비 국내 기술수준 평균은 56.1%, 기술격차는 평균 5.3년으로 나타남

○ 지하콘크리트 구조물의 사용환경을 고려한 차세대 안전점검 기술의 기술수준은 60.2%로 타 중분류 기술보다 높고, 기술격차도 5.1년으로 가장 작은 것으로 나타남



〈그림 3-16〉 성능 검사·평가 기술개발 및 절차화의 기술수준 및 기술격차

○ 동 중분류 단위의 기술 모두 해외와 국내의 기술격차가 유지되는 것으로 나타남



〈그림 3-17〉 성능 검사·평가 기술개발 및 절차화의 기술격차 추세

□ 안전성능 평가 표준화 기술 소분류 중 사용환경별 상태변화 예측기술의 수준이 가장 높게 나타났으며, 점검결과에 따른 사용상태 정량평가기술의 수준이 가장 낮게 나타남



〈그림 3-18〉 성능 검사·평가 기술개발 및 절차화의 소분류별 기술수준, 기술격차 및 기술격차 추세

(3) 지하 콘크리트 구조물의 공용기간 예측기술 개발

□ 공용기간 예측기술 기술 내 2개 중분류의 해외 대비 국내 기술수준 평균은 55.9%, 기술격차는 5.6년으로, 해외와 국내의 기술격차는 유지되는 추세로 나타남

□ 공용기간 예측 기술의 해외 대비 국내 기술수준 평균은 55.9%, 기술격차는 평균 5.6년으로 나타남

- 지하 콘크리트 구조물의 공용기간 예측기술의 기술수준은 56.5%로 타 중분류 기술보다 높고, 기술격차도 5.4년으로 가장 작은 것으로 나타남



〈그림 3-19〉 공용기간 예측기술의 기술수준 및 기술격차

- 동 중분류 단위의 기술 모두 해외와 국내의 기술격차가 유지되는 것으로 나타남



〈그림 3-20〉 공용기간 예측 기술의 기술격차 추세

- 공용기간 예측기술 기술 내 소분류 기술은 전반적으로 50%대의 기술수준을 보이고 있으며, 상태안전성 기반 유지관리 기술의 수준이 가장 높게 나타남



〈그림 3-21〉 공용기간 예측 기술의 소분류별 기술수준, 기술격차 및 기술격차 추세

다. 기술성숙도(TRL)

- 대분류 별 국외 TRL은 5~7단계, 국내는 3~4단계에 있는 것으로 나타났으며, 안전성 평가 표준화 기술의 국내의 TRL 단계가 가장 낮은 것으로 나타남

- 국외 지하 콘크리트구조물의 성능극대화를 위한 전주기적 통합유지관리 시스템 기술의 TRL 단계는 5~7단계로, 시작품의 제작 및 성능평가와, 신뢰성/수요기업 평가 단계로 접어들고 있음

- 국내 지하 콘크리트구조물의 성능극대화를 위한 전주기적 통합유지관리 시스템 기술의 TRL 단계는 3~4단계로 실험실 규모의 기본/핵심성능평가가 수행되고 있음

- 국내외 모두 통합유지관리 체계 기술의 TRL 단계가 타 기술분야보다 앞선 것으로 나타남



〈그림 3-22〉 공용기간 예측 기술의 대분류별 기술성숙도

- 중분류 별 국내의 TRL의 경우 구조물 거동 장기모니터링 기술분야의 TRL이 높게 나타났으며, 사용환경을 고려한 차세대 안전점검기술은 TRL이 낮게 나타남

- 국외 지하 콘크리트구조물의 성능극대화를 위한 전주기적 통합유지관리 시스템 세부기술의 TRL 단계는 5~7단계로, 시작품의 제작 및 성능평가와, 신뢰성/수요기업 평가 단계로 접어들고 있음

○ 국내 지하 콘크리트구조물의 성능극대화를 위한 전주기적 통합유지관리 시스템 기술의 TRL 단계는 2~4단계로 실험실 규모의 기본/핵심성능평가가 수행되고 있음

○ “2.1. 지하 콘크리트구조물의 사용환경을 고려한 차세대 안전점검 기술”의 TRL 단계가 가장 낮아, 개념 정립 단계인 것으로 나타남



〈그림 3-23〉 공용기간 예측 관련 기술의 중분류별 기술성숙도

(1) 지하 콘크리트 구조물 성능관리 의사결정 시스템 개발

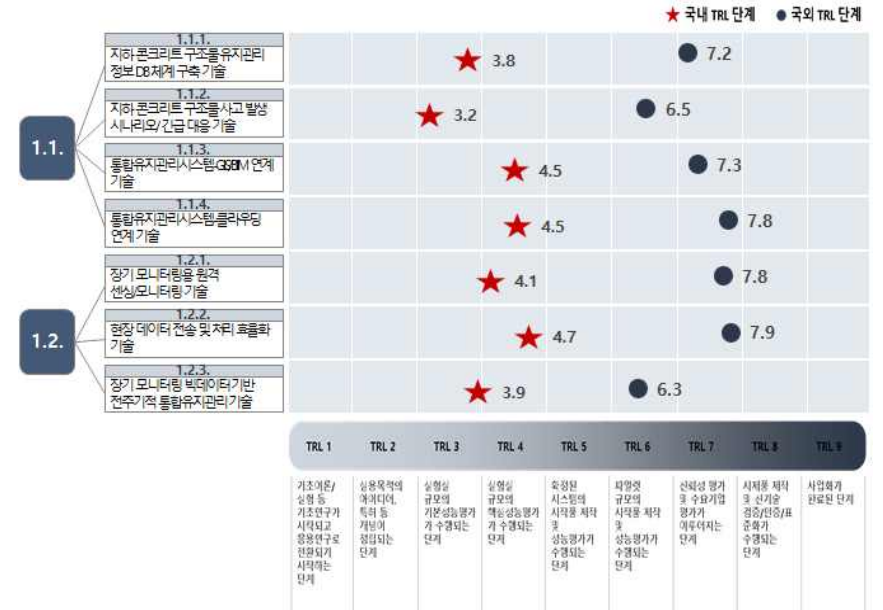
□ 소분류별 국외 TRL은 6~7단계, 국내 TRL은 3~4단계로, 국내의 경우 구조물 사고발생 시나리오/긴급 대응기술의 TRL이 가장 낮게 나타남

○ 해외 TRL 단계는 6.5~7.9단계로 파일럿 규모의 시제품 제작 및 성능평가, 신뢰성 평가 및 수요기업 평가가 이루어지는 것으로 나타남

○ 국내 TRL 단계는 3.2~4.7단계로 실험실 규모의 기본성능평가 및 핵심성능평가가 이루어지는 것으로 나타남

○ 1.1.2. 기술의 국내 TRL 단계는 3.2단계로 가장 낮은 것으로 파악됨

○ 1.2.2. 기술의 해외 TRL 단계는 7.9단계로 가장 높은 것으로 파악됨



〈그림 3-24〉 성능관리 의사결정 시스템 기술의 기술성숙도

(2) 지하 콘크리트구조물 성능 검사·평가 기술개발 및 절차화

□ 소분류별 국외 TRL은 5~6단계, 국내 TRL은 2~3 단계이며, 전반적으로 낮은 TRL 단계에 있는 것으로 나타남

○ 해외 TRL 단계는 5.0~6.4단계로 확정된 시스템과 파일럿 규모의 시제품 제작 및 성능평가가 이루어지는 것으로 나타남

○ 국내 TRL 단계는 2.7~3.3단계로 실용목적의 아이디어, 특허 등 개념이 정립되거나, 실험실 규모의 기본성능평가가 이루어지는 것으로 나타남

○ 2.1.1. 기술의 국내 TRL 단계는 2.7단계로 가장 낮은 것으로 파악됨

○ 2.3.2. 기술의 해외 TRL 단계는 6.4단계로 가장 높은 것으로 파악됨



〈그림 3-25〉 성능 검사·평가 기술개발 및 절차화

(3) 지하 콘크리트 구조물의 공용기간 예측기술 개발

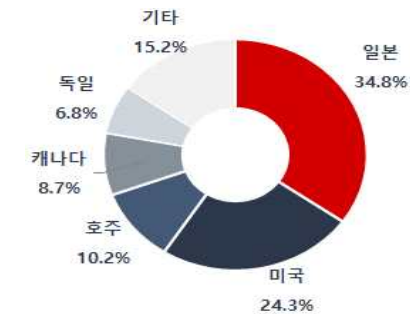
- 소분류별 국외 TRL은 6~7단계, 국내 TRL은 3단계로, 소분류별 TRL이 유사하게 나타남
- 해외 TRL 단계는 6.1~7.1단계로 파일럿 규모의 시제품 제작 및 성능평가, 신뢰성 평가 및 수요기업 평가가 이루어지는 것으로 나타남
- 국내 TRL 단계는 3.1~3.8단계로 실험실 규모의 기본성능평가가 이루어지는 것으로 나타남
- 3.1.1., 3.1.2. 기술의 국내 TRL 단계는 3.1단계로 가장 낮은 것으로 파악됨
- 3.2.3. 기술의 해외 TRL 단계는 7.1단계로 가장 높은 것으로 파악됨



〈그림 3-26〉 공용기간 예측 기술의 기술성숙도

라. 최고기술보유국

- 지하 콘크리트 구조물의 성능극대화를 위한 전주기적 통합유지관리 시스템 기술의 최고기술국을 조사한 결과 동 기술 최고기술보유국은 일본으로 나타남
- 각 기술분야별 최고기술보유국은 일본(34.8%), 미국(24.3%), 호주(10.2%), 캐나다(8.7%), 독일(6.8%) 등으로 조사되었으며, 이를 동향 및 환경분석 대상국가로 고려할 수 있음

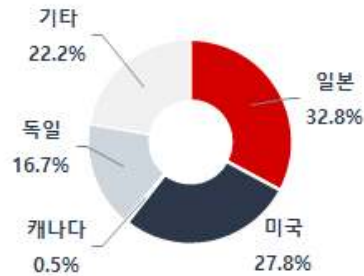


〈그림 3-27〉 공용기간 예측 기술의 최고기술보유국 응답 비중

※ 기타는 네덜란드, 프랑스, 영국, 대만, 유럽, 한국 등

(1) 지하 콘크리트 구조물 성능관리 의사결정 시스템 개발

- 지하 콘크리트 구조물 성능관리 의사결정 시스템을 조사한 결과 일본의 기술수준이 가장 높은 것으로 나타남
- 각 세부기술분야별 최고기술보유국은 일본(32.8%), 미국(27.8%), 독일(16.7%) 등으로 조사됨



〈그림 3-28〉 성능관리 의사결정 시스템 기술의 최고기술보유국 응답 비중

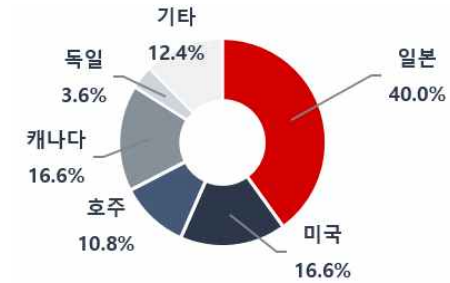
〈표 3-18〉 성능관리 의사결정 시스템 기술의 최고기술보유국 조사 결과

중분류	최고기술보유국(비중, (%))					
	일본	미국	호주	캐나다	독일	기타
1-1. 지하 콘크리트 구조물 종합성능 관리체계 구축 기술 개발	27.9%	26.9%	0.0%	0.0%	12.5%	32.7%
1-2. 성능관리 의사결정 시스템 구축 및 시험적용 추진	38.3%	28.7%	0.0%	1.1%	21.3%	10.6%

* 기타는 프랑스, 영국, 대만을 의미

(2) 지하 콘크리트 구조물 성능 검사·평가 기술개발 및 절차화

- 최고기술보유국을 조사한 결과 일본의 기술수준이 가장 높은 것으로 나타남
- 각 세부기술분야별 최고기술보유국은 일본(40.0%), 미국(16.6%), 호주(10.8%), 캐나다(16.6%), 독일(3.6%) 등으로 조사됨



〈그림 3-29〉 성능 검사·평가 기술개발 및 절차화 기술의 최고기술보유국 응답 비중

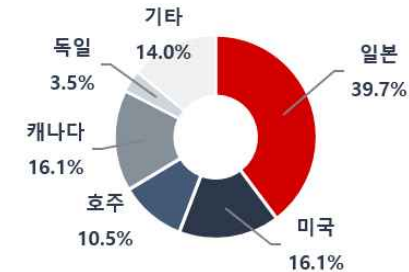
〈표 3-19〉 성능 검사·평가 기술개발 및 절차화 기술의 최고기술보유국 조사 결과

중분류	최고기술보유국(비중, (%))					
	일본	미국	호주	캐나다	독일	기타
2-1. 지하구조물 영향인자 검사·평가기술 개발	47.5%	7.5%	41.3%	0.0%	1.3%	2.5%
2-2. 지하 콘크리트 구조물 성능 검사·평가에 대한 제도화 전략 수립	31.1%	48.9%	0.0%	0.0%	0.0%	20.0%

* 기타는 프랑스, 영국, 유럽, 한국을 의미

(3) 지하 콘크리트 구조물의 공용기간 예측기술 개발

- 최고기술보유국을 조사한 결과 일본의 기술수준이 가장 높은 것으로 나타남
- 각 세부기술분야별 최고기술보유국은 일본(39.7%), 미국(16.1%), 호주(10.5%), 캐나다(16.1%), 독일(3.5%) 등으로 조사됨



〈그림 3-30〉 공용기간 예측기술의 최고기술보유국 응답 비중

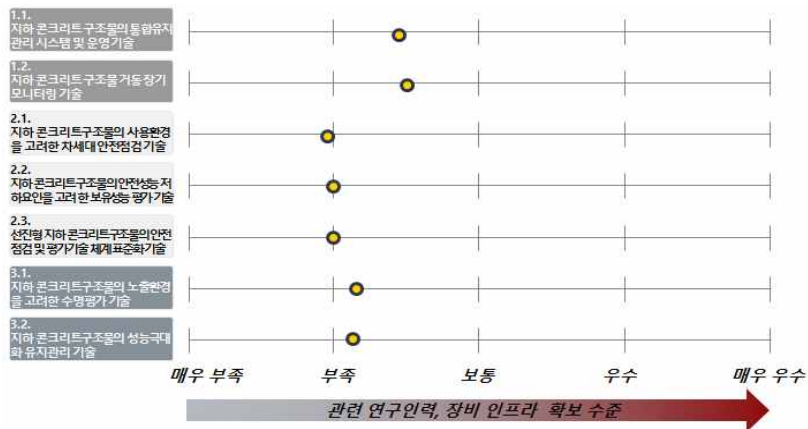
〈표 3-20〉 공용기간 예측기술의 최고기술보유국 조사 결과

중분류	최고기술보유국(비중, (%))					
	일본	미국	호주	캐나다	독일	기타
3.1. 환경평가 기반 미래성능 예측 기술 개발	29.7%	14.6%	0.0%	23.6%	6.9%	25.2%
3.2. 지하 콘크리트 구조물 성능회복을 위한 최적 기술 개발	47.2%	17.3%	18.5%	10.5%	0.9%	5.6%

* 기타는 네덜란드, 프랑스, 영국을 의미

마. 기술기반(인프라) 성숙도

- 전반적으로 동 기술과 관련된 연구인력, 장비 인프라 확보수준은 부족한 것으로 나타났으며, 향후 과제 추진시 관련 인프라 확보방안에 대해 검토할 필요가 있음
- 지하 콘크리트구조물의 성능극대화를 위한 전주기적 통합관리시스템의 기술기반(인프라) 성숙도는 2.0~2.5로, 대부분 부족한 수준인 것으로 나타남
- ‘1. 지하 콘크리트구조물의 통합유지관리 시스템 및 운영 기술’ ‘2. 지하 콘크리트구조물 거동 장기 모니터링 기술’ 비교적 타 분야보다 인프라 성숙도가 높은 것으로 나타남
- ‘1. 지하 콘크리트구조물의 사용환경을 고려한 차세대 안전점검 기술’ 기술기반(인프라)이 가장 미흡한 것으로 나타남



〈그림 3-31〉 공용기간 예측기술의 성숙도

바. 기술획득 방식

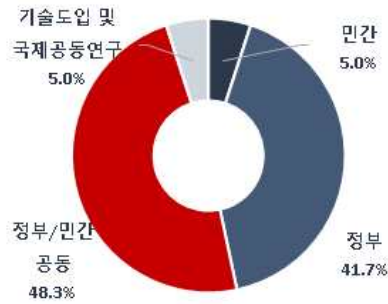
- 기술획득방식은 정부주도추진(51.4%), 정부-민간 공동추진(44.6%) 순으로 높게 나타났으며, 정부-민간 공동추진이 높은 기술분야의 경우 연구개발 추진 주체 및 매칭펀드 설정 시 고려해야 함
- 지하 콘크리트구조물 성능극대화 관련 기술의 기술획득방식으로 정부주도형이 중요하다는 응답이 51.4%로 가장 높게 나타남
- 민간주도에 의한 기술획득이 중요하다는 응답은 1.9%로 가장 낮게 나타남



〈그림 3-32〉 공용기간 예측기술의 성숙도 기술획득 방식 비중

(1) 지하 콘크리트 구조물 성능관리 의사결정 시스템 개발

- 기술획득 방식으로 정부-민간 공동추진의 중요성이 가장 높은 것으로 나타남
- 기술획득방식으로 정부-민간 공동추진형이 중요하다는 응답이 48.3%로 가장 높게 나타남
- 기술도입 및 국제공동연구 / 민간주도에 의한 기술획득이 중요하다는 응답은 각각 5.0%로 가장 낮은 비중을 차지하였음



〈그림 3-33〉 성능관리 의사결정 시스템의 기술획득 방식 비중

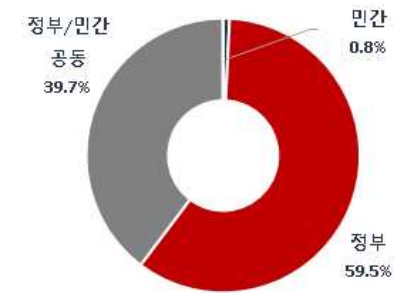
- 기술획득방식으로 중분류 중 지하 콘크리트 구조물의 통합유지관리 시스템 및 운영 기술의 경우 정부주도 방식이 가장 중요하고, 지하 콘크리트 구조물 거동 장기 모니터링 기술의 경우 정부-민간 공동추진이 가장 중요한 것으로 나타남

〈표 3-21〉 성능관리 의사결정 시스템의 기술획득 방식 조사결과

중분류	기술획득방식(%)			
	민간주도	정부주도	정부-민간 공동	기술도입 및 국제공동연구
1-1. 지하 콘크리트 구조물 종합성능 관리체계 구축 기술 개발	4.5%	48.5%	47.0%	0.0%
1-2. 성능관리 의사결정 시스템 구축 및 시험적용 추진	5.6%	33.3%	50.0%	11.1%

(2) 지하 콘크리트구조물 성능 검사·평가 기술개발 및 절차화

- ☐ 기술획득 방식으로 정부주도 추진의 중요성이 가장 높은 것으로 나타남
- 기술획득방식으로 정부주도 추진이 중요하다는 응답이 59.5%로 가장 높게 나타남
- 민간주도에 의한 기술획득이 중요하다는 응답은 0.8%에 그쳤으며, 기술도입 및 국제공동연구가 중요하다는 응답은 없었음



〈그림 3-34〉 성능 검사·평가 기술개발 및 절차화의 기술획득 방식 비중

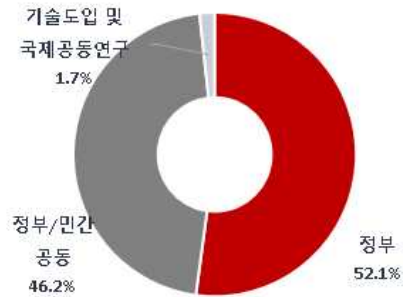
- 중분류 별로 모두 정부주도 추진 방식이 중요하다고 응답한 비중이 가장 큼

〈표 3-22〉 성능 검사·평가 기술개발 및 절차화의 기술획득 방식 조사결과

중분류	기술획득방식(%)			
	민간주도	정부주도	정부-민간 공동	기술도입 및 국제공동연구
2-1. 지하구조물 영향인자 검사·평가기술 개발	0.0%	59.6%	40.4%	0.0%
2-2. 지하 콘크리트 구조물 성능 검사·평가에 대한 제도화 전략 수립	2.0%	56.0%	42.0%	0.0%

(3) 지하 콘크리트 구조물의 공용기간 예측기술

- ☐ 기술획득 방식으로 정부주도 추진의 중요성이 가장 높은 것으로 나타남
- 기술획득방식으로 정부주도 추진이 중요하다는 응답이 52.1%로 가장 높게 나타남
- 민간주도에 의한 기술획득이 중요하다는 응답은 나타나지 않았음



〈그림 3-35〉 공용기간 예측 기술의 기술획득 방식 비중

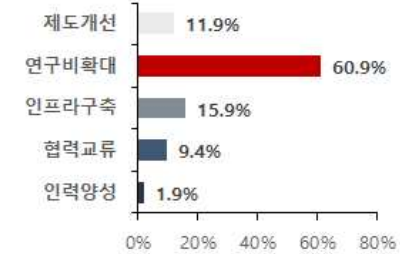
- 중분류 중 지하 콘크리트구조물의 노출환경을 고려한 수명평가 기술에서는 정부주도 추진 방식이 가장 높게 나타났으며, 지하 콘크리트구조물의 성능 극대화 유지관리 기술은 정부주도와 정부-민간 공동추진 방식의 응답률이 동일하였음

〈표 3-23〉 공용기간 예측 기술의 기술획득 방식 조사결과

중분류	기술획득방식(%)			
	민간주도	정부주도	정부-민간 공동	기술도입 및 국제공동연구
3.1. 환경평가 기반 미래성능 예측 기술 개발	0.0%	56.3%	41.7%	2.1%
3.2. 지하 콘크리트 구조물 성능회복을 위한 최적 기술 개발	0.0%	49.3%	49.3%	1.4%

사. 정부우선 시행방안

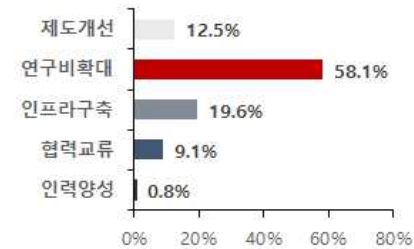
- 기술개발을 위해 정부가 우선적으로 시행해야 할 방안은 연구비 확대(60.9%), 인프라 구축(15.9%), 제도개선(11.9%) 순으로 나타남
- 지하 콘크리트 구조물의 공용기간 예측개발을 위해 정부가 우선적으로 시행해야 할 방안이 연구비 확대라는 응답 비중이 60.9%로 가장 큼
- 그 외 응답은 인프라 구축(15.9%), 제도개선(11.9%), 협력교류 활성화(9.4%) 순으로 조사됨



〈그림 3-36〉 공용기간 예측 기술의 정부우선 시행방안 비중

(1) 지하 콘크리트 구조물 성능관리 의사결정 시스템 개발

- 기술적 실현을 위해 정부가 우선적으로 시행해야 할 방안은 연구비 확대인 것으로 나타남
- 기술적 실현을 위해 정부가 우선적으로 시행해야 할 방안으로 연구비 확대를 택한 비중은 각 58.1%로 가장 높았음



〈그림 3-37〉 성능관리 의사결정 시스템 기술의 정부우선 시행방안 비중

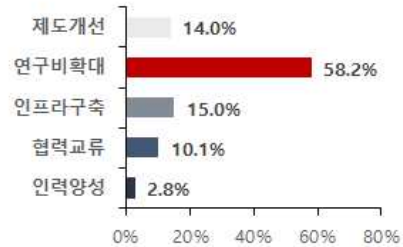
- 중분류 중 지하 콘크리트 구조물의 통합유지관리 시스템 및 운영 기술과 지하 콘크리트 구조물 거동 장기 모니터링 기술 모두 연구비 확대가 가장 중요한 것으로 나타났으며, 콘크리트 구조물의 통합유지관리 시스템 및 운영 기술의 경우 제도개선의 응답 비율이 20.5%로 상대적으로 높음

〈표 3-24〉 성능관리 의사결정 시스템 기술의 정부우선 시행방안 조사결과

중분류	정부 우선 시행방안(%)				
	인력양성	협력교류 활성화	인프라 구축	연구비 확대	제도개선
1-1. 지하 콘크리트 구조물 종합성능 관리체계 구축 기술 개발	1.4%	7.9%	16.9%	53.3%	20.5%
1-2. 성능관리 의사결정 시스템 구축 및 시험적용 추진	0.0%	10.5%	22.8%	64.0%	2.6%

(2) 지하 콘크리트구조물 성능 검사·평가 기술개발 및 절차화

- ☐ 기술적 실현을 위해 정부가 우선적으로 시행해야 할 방안은 연구비 확대인 것으로 나타남
- ☐ 기술적 실현을 위해 정부가 시행해야 할 방안으로 연구비 확대를 택한 비중은 58.2%로 가장 높음



〈그림 3-38〉 성능 검사·평가 기술개발 및 절차화 기술의 정부우선 시행방안 비중

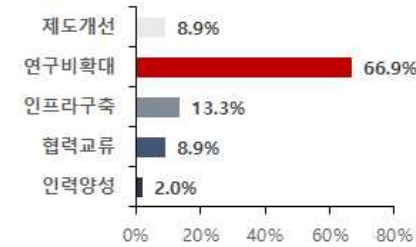
- ☐ 중분류 기술 모두 연구비 확대가 중요한 것으로 나타나며, 지하 콘크리트구조물의 사용환경을 고려한 차세대 안전점검 기술의 경우 인프라 구축과 제도개선의 응답 비중이 상대적으로 높음

〈표 3-25〉 성능 검사·평가 기술개발 및 절차화 기술의 정부우선 시행방안 조사결과

중분류	정부 우선 시행방안(%)				
	인력양성	협력교류 활성화	인프라 구축	연구비 확대	제도개 선
2-1. 지하구조물 영향인자 검사·평가기술 개발	1.0%	10.3%	22.7%	49.3%	16.7%
2-2. 지하 콘크리트 구조물 성능 검사·평가에 대한 제도화 전략 수립	1.9%	11.0%	15.1%	59.1%	12.9%

(3) 지하 콘크리트 구조물의 공용기간 예측기술 개발

- ☐ 기술적 실현을 위해 정부가 우선적으로 시행해야 할 방안은 연구비 확대인 것으로 나타남
- ☐ 기술적 실현을 위해 정부가 시행해야 할 방안으로 연구비 확대를 택한 비중은 66.9%로 가장 높음



〈그림 3-39〉 공용기간 예측 기술의 정부우선 시행방안 비중

- ☐ 중분류에서는 모두 연구비 확대의 비중이 매우 큰 것으로 나타났음

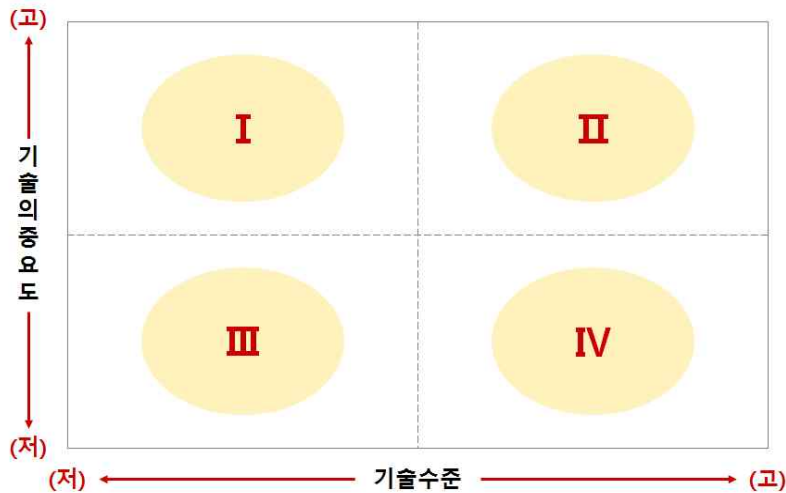
〈표 3-26〉 공용기간 예측 기술의 정부우선 시행방안 조사결과

중분류	정부 우선 시행방안(%)				
	인력 양성	협력교류 활성화	인프라 구축	연구비 확대	제도개 선
3.1. 환경평가 기반 미래성능 예측 기술 개발	1.0%	7.8%	13.7%	71.6%	5.9%
3.2. 지하 콘크리트 구조물 성능회복을 위한 최적 기술 개발	2.7%	9.6%	13.0%	63.7%	11.0%

아. 기술수준-중요도 포트폴리오 분석

- ☐ 4분면별 전략은 기술 수준과 기술의 중요도를 축으로 함
- ☐ I : 재원에 따라 적극적인 투자로 기술수준향상을 추구해야 하는 영역
- ☐ II : 기술혁신을 통해 더 넓은 시장창출이 가능한 유망한 영역
- ☐ III : 기술 및 시장변화에 따른 대응이 필요한 영역
- ☐ IV : 기술시급성이나 파급효과는 높지 않으나 수익성이 양호하여 다른 핵심

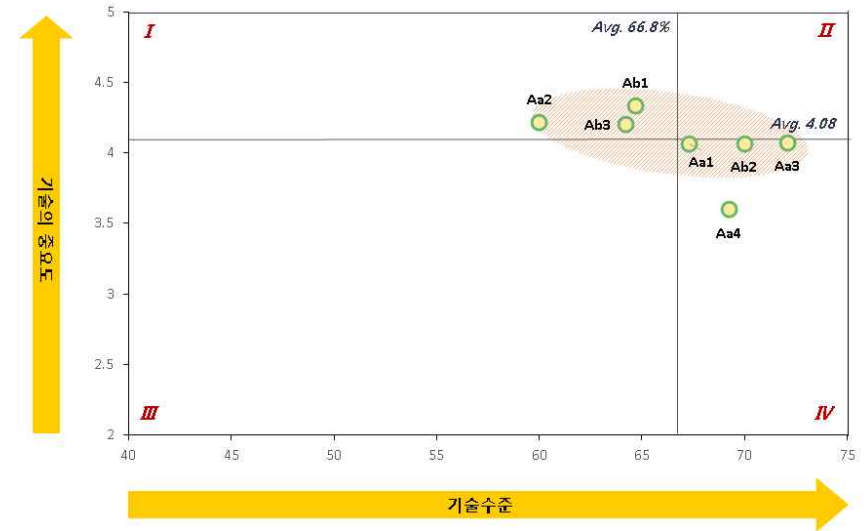
기술과 연계성을 전략적으로 고려해야 하는 영역



<그림 3-40> 기술수준-중요도 포트폴리오 영역구분

(1) 지하 콘크리트 구조물 성능관리 의사결정 시스템 개발

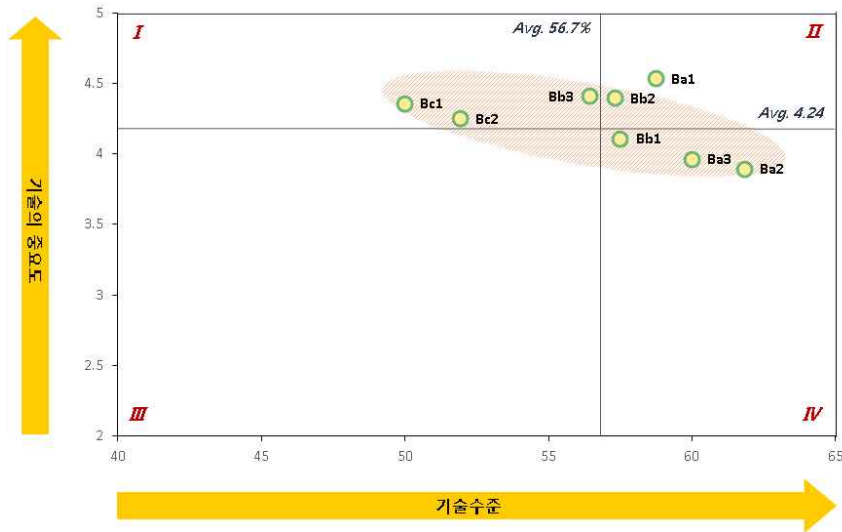
- 기술수준-중요도 포트폴리오 분석 결과 주로 I, IV 영역에 해당되는 것으로 분석됨
- Aa2(지하 콘크리트 구조물 사고 발생 시나리오/긴급 대응 기술), Ab1(장기 모니터링용 원격 센싱/모니터링 기술), Ab3(장기 모니터링 빅데이터 기반 주기적 통합유지관리 기술)은 I 영역에 포함되어 적극적 투자로 기술수준향상을 추구해야 함
- Aa1(지하 콘크리트 구조물 유지관리 정보 DB 체계 구축 기술), Aa3(통합유지관리시스템-GIS/BIM 연계 기술), Aa4(통합유지관리시스템-클라우드 연계 기술), Ab2(현장 데이터 전송 및 처리 효율화 기술)는 IV 영역에 포함되어 기술시급성이나 파급효과는 높지 않으나 수익성이 양호하여 다른 핵심기술과 연계성을 전략적으로 고려해야함



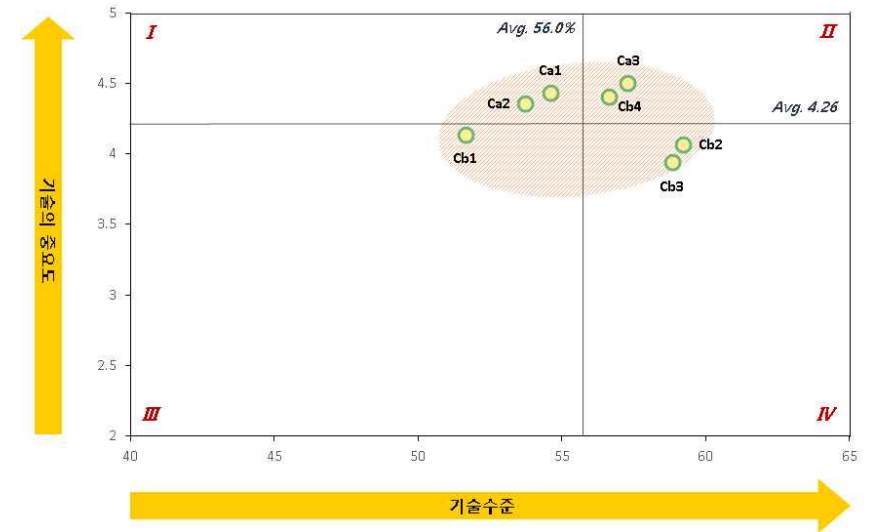
<그림 3-41> 성능관리 의사결정 시스템 기술 분야 기술수준-중요도 포트폴리오

(2) 지하 콘크리트구조물 성능 검사·평가 기술개발 및 절차화

- 기술수준-중요도 포트폴리오 분석 결과 주로 I, II, IV 영역에 해당되는 것으로 분석됨
- Bb3(자연재해 및 극한환경을 고려한 지하 콘크리트구조물의 위험도 및 평가 기술), Bc1(지하 콘크리트구조물의 점검결과에 따른 사용상태 평가 정량화 기술), Bc2(지하 콘크리트구조물의 사용환경별 점검 및 평가기술 모델 표준화 기술)는 I 영역에 포함되어 적극적인 투자로 기술수준향상을 추구해야 함
- II 영역에 포함된 Ba1(사용환경별 열화요인 조사 및 점검 기술), Bb2(주변환경 변화에 따른 지하 구조물의 구조적 성능 예측 및 평가 기술)는 더 넓은 시장창출이 가능할 것으로 분석됨
- Ba2(사용환경별 상태변화 예측가능 계측 기술), Ba3(열화인자를 고려한 보유 성능 검증시험 기술), Bb1(구조물의 사용환경별 열화인자를 고려한 보유 성능 평가 기술)은 IV 영역에 포함되어 기술시급성이나 파급효과는 높지 않으나 수익성이 양호하여 다른 핵심기술과 연계성을 전략적으로 고려해야함



〈그림 3-42〉 성능 검사·평가 기술개발 및 절차화 분야 기술수준-중요도 포트폴리오



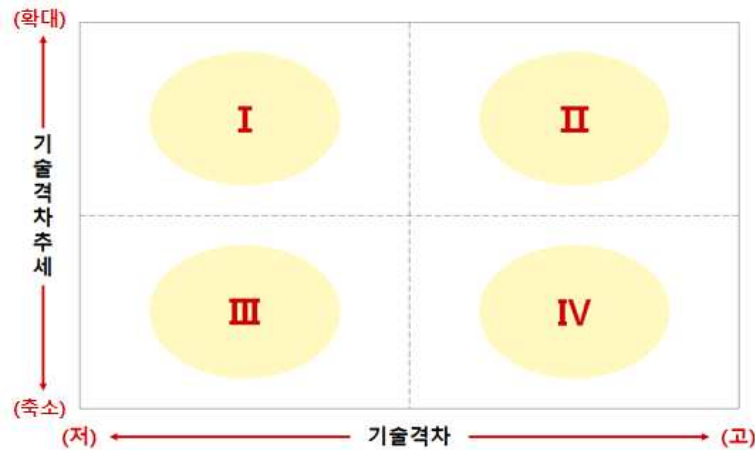
〈그림 3-43〉 공용기간 예측기술 분야 기술수준-중요도 포트폴리오

(3) 지하 콘크리트 구조물의 공용기간 예측기술 개발

- 기술수준-중요도 포트폴리오 분석 결과 I, II, III, IV 영역에 해당되는 것으로 분석됨
- Ca1(지하 콘크리트 구조물 노출환경별 성능저하 원인 분석 기술), Ca2(지하 콘크리트구조물의 노출환경에 따른 잔존수명 예측 기술)는 I 영역에 포함되어 적극적 투자로 기술수준향상을 추구해야 함
- II 영역에 포함된 Ca3(지하 콘크리트구조물의 상태지수 및 보수·보강 결정 기준 확립 기술), Cb4(지하 콘크리트구조물의 유지관리 기법 적용성 및 활용화 기술)는 더 넓은 시장창출이 가능할 것으로 분석됨
- Cb1(지하 콘크리트 구조물의 열화 원인별 기술 분류 정립 기술)은 III 영역에 포함되어 기술 및 시장변화에 따른 대응이 필요함
- Cb2(지하 콘크리트 구조물의 상태안정성기반 유지관리 기술), Cb3(지하 콘크리트 구조물의 내구성기반 유지관리 기술)은 IV 영역에 포함되어 기술시급성이나 파급효과는 높지 않으나 수익성이 양호하여 다른 핵심기술과 연계성을 전략적으로 고려해야함

자. 기술격차-격차추세 포트폴리오 분석

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



〈그림 3-44〉 기술격차-격차추세 포트폴리오 영역구분

(1) 지하 콘크리트 구조물 성능관리 의사결정 시스템 개발

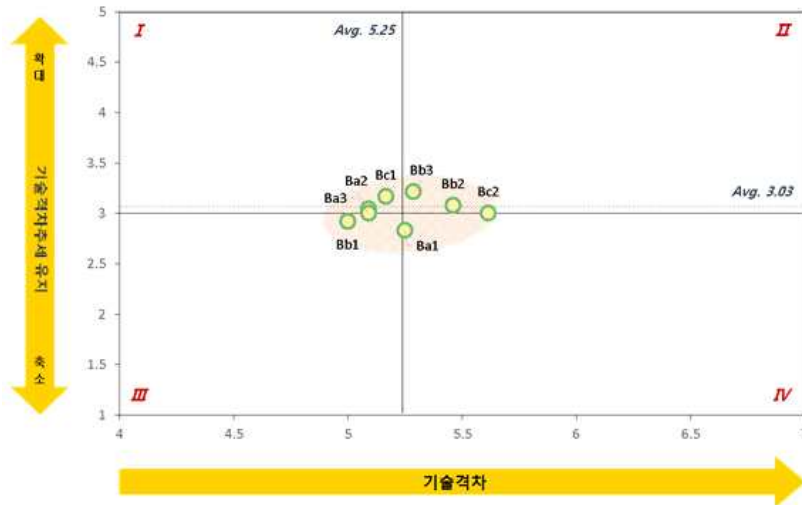
- 기술격차-격차추세 포트폴리오 분석 결과 I, II, III, IV 영역에 해당되는 것으로 분석됨
- Aa4(통합유지관리시스템-클라우드 연계 기술), Ab2(현장 데이터 전송 및 처리 효율화 기술)는 I 영역에 속하여 기술격차가 확대되는 이유를 조기에 파악하여 이에 대한 대응이 필요함
- Aa2(지하 콘크리트 구조물 사고 발생 시나리오/긴급 대응 기술), Ab3(장기 모니터링 빅데이터 기반 전주기적 통합유지관리 기술)은 II 영역에 속하여 기술개발을 가속화할 필요가 있는 것으로 분석됨
- Aa3(통합유지관리시스템-GIS/BIM 연계 기술)은 III 영역에 속하여 지속적인 모니터링 및 관리-유지하거나 최고 기술 수준에 이르기 위한 기술개발 고려가 필요함
- Aa1(지하 콘크리트 구조물 유지관리 정보 DB 체계 구축 기술), Ab1(장기 모니터링 원격 센싱/모니터링 기술)은 IV 영역에 속하여 효과적인 기술개발 전략이 마련되지 않는다면 자체 개발 이외의 전략이 필요함



〈그림 3-45〉 성능관리 의사결정 시스템 기술 분야 기술격차-격차추세 포트폴리오

(2) 지하 콘크리트구조물 성능 검사·평가 기술개발 및 절차화

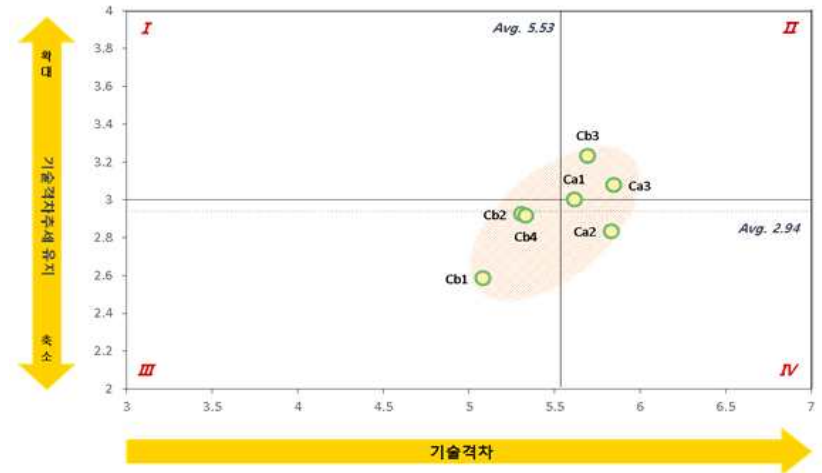
- 기술격차-격차추세 포트폴리오 분석 결과 I, II, III, IV 영역에 해당되는 것으로 분석됨
- Ba2(사용환경별 상태변화 예측가능 예측 기술), Ba3(열화인자를 고려한 보유 성능 검증시험 기술), Bc1(지하 콘크리트구조물의 점검결과에 따른 사용상태 평가 정량화 기술)은 I 영역에 속하여 기술격차가 확대되는 이유를 조기에 파악하여 이에 대한 대응이 필요함
- Bb2(주변환경 변화에 따른 지하 구조물의 구조적 성능 예측 및 평가 기술), Bb3(자연재해 및 극한환경을 고려한 지하 콘크리트구조물의 위험도 및 평가 기술), Bc2(지하 콘크리트구조물의 사용환경별 점검 및 평가기술 모델 표준화 기술)는 II 영역에 속하여 기술개발을 가속화할 필요가 있는 것으로 분석됨
- Bb1(구조물의 사용환경별 열화인자를 고려한 보유성능 평가 기술)은 III 영역에 속하여 지속적인 모니터링 및 관리-유지하거나 최고 기술 수준에 이르기 위한 기술개발 고려가 필요함
- Ba1(사용환경별 열화요인 조사 및 점검 기술)은 IV 영역에 속하여 효과적인 기술개발 전략이 마련되지 않는다면 자체 개발 이외의 전략이 필요함



〈그림 3-46〉 성능 검사·평가 기술개발 및 절차화 분야 기술격차-격차추세 포트폴리오

(3) 지하 콘크리트 구조물의 공용기간 예측기술 개발

- 기술격차-격차추세 포트폴리오 분석 결과 II, III, IV 영역에 해당되는 것으로 분석됨
- Ca1(지하 콘크리트 구조물 노출환경별 성능저하 원인 분석 기술), Ca3(지하 콘크리트구조물의 상태지수 및 보수·보강 결정 기준 확립 기술), Cb3(지하 콘크리트 구조물의 내구성기반 유지관리 기술)은 II 영역에 속하여 기술개발을 가속화할 필요가 있는 것으로 분석됨
- Cb1(지하 콘크리트 구조물의 열화 원인별 기술 분류 정립 기술), Cb2(지하 콘크리트 구조물의 상태안정성기반 유지관리 기술), Cb4(지하 콘크리트구조물의 유지관리 기법 적용성 및 활용화 기술)는 III 영역에 속하여 지속적인 모니터링 및 관리-유지하거나 최고 기술 수준에 이르기 위한 기술개발 고령이 필요함
- Ca2(지하 콘크리트구조물의 노출환경에 따른 잔존수명 예측 기술)는 IV 영역에 속하여 효과적인 기술개발 전략이 마련되지 않는다면 자체 개발 이외의 전략이 필요함

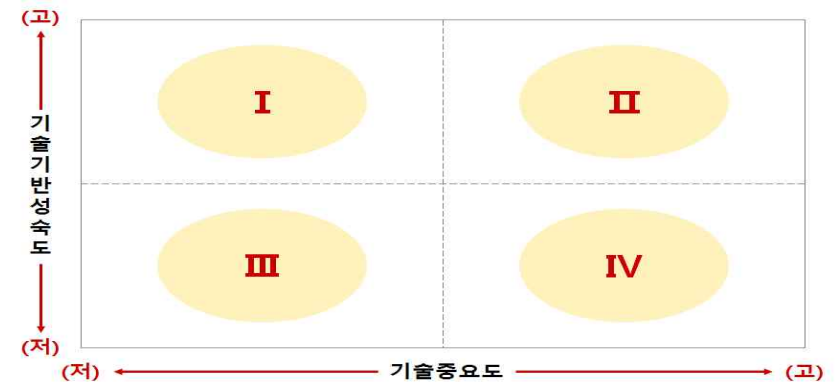


〈그림 3-47〉 공용기간 예측기술 분야 기술격차-격차추세 포트폴리오

차. 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



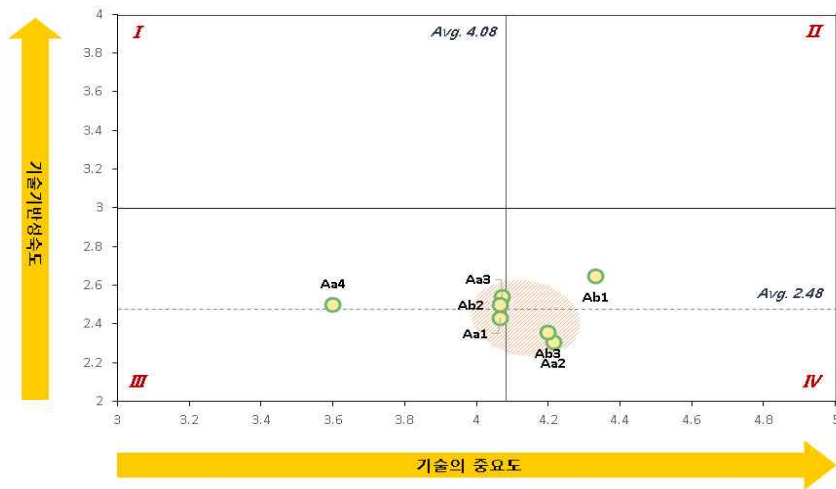
〈그림 3-48〉 기술기반성숙도-중요도 포트폴리오 영역구분

(1) 지하 콘크리트 구조물 성능관리 의사결정 시스템 개발

□ 기술기반성숙도-중요도 포트폴리오 분석 결과 III, IV 영역에 해당되는 것으로 분석됨

○ Aa1(지하 콘크리트 구조물 유지관리 정보 DB 체계 구축 기술), Aa3(통합유지관리시스템-GIS/BIM 연계 기술), Aa4(통합유지관리시스템-클라우드 연계 기술), Ab2(현장 데이터 전송 및 처리 효율화 기술)는 III영역에 포함되어 점진적으로 기술기반을 확보해야 함

○ Aa2(지하 콘크리트 구조물 사고 발생 시나리오/긴급 대응 기술), Ab1(장기 모니터링용 원격 센싱/모니터링 기술), Ab3(장기 모니터링 빅데이터 기반 전주기적 통합유지관리 기술)은 IV영역에 포함되어 기술기반 확보가 시급함



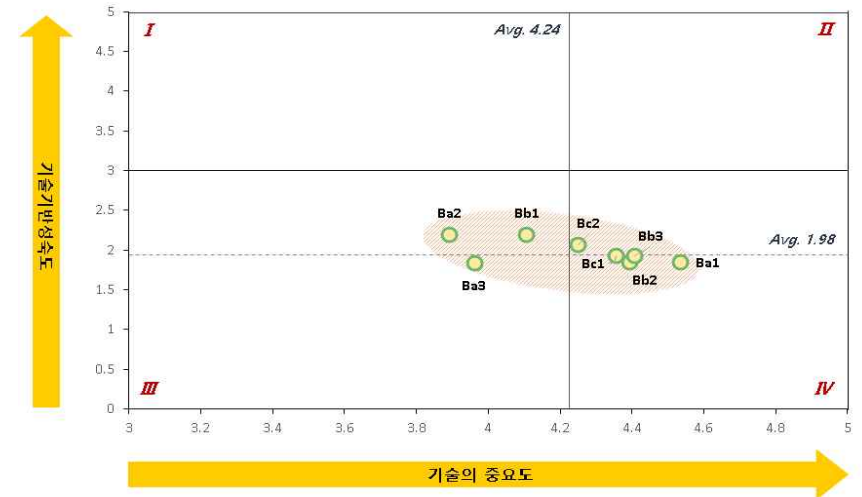
〈그림 3-49〉 성능관리 의사결정 시스템 기술 분야의 기술기반성숙도-중요도 포트폴리오

(2) 지하 콘크리트구조물 성능 검사·평가 기술개발 및 절차화

□ 기술기반성숙도-중요도 포트폴리오 분석 결과 III, IV 영역에 해당되는 것으로 분석됨

○ Ba2(사용환경별 상태변화 예측가능 계측 기술), Ba3(열화인자를 고려한 보유 성능 검증시험 기술), Bb1(구조물의 사용환경별 열화인자를 고려한 보유 성능 평가 기술)은 III영역에 포함되어 점진적으로 기술기반을 확보해야 함

○ Ba1(사용환경별 열화요인 조사 및 점검 기술), Bb2(주변환경 변화에 따른 지하 구조물의 구조적 성능 예측 및 평가 기술), Bb3(자연재해 및 극한환경을 고려한 지하 콘크리트구조물의 위험도 및 평가 기술), Bc1(지하 콘크리트구조물의 점검결과에 따른 사용상태 평가 정량화 기술), Bc2(지하 콘크리트구조물의 사용환경별 점검 및 평가기술 모델 표준화 기술)는 IV영역에 포함되어 기술기반 확보가 시급함



〈그림 3-50〉 성능 검사·평가 기술개발 및 절차화 기술 분야의 기술기반성숙도-중요도 포트폴리오

(3) 지하 콘크리트 구조물의 공용기간 예측기술 개발

□ 기술기반성숙도-중요도 포트폴리오 분석 결과 III, IV 영역에 해당되는 것으로 분석됨

○ Cb1(지하 콘크리트 구조물의 열화 원인별 기술 분류 정립 기술), Cb2(지하 콘크리트 구조물의 상태안정성기반 유지관리 기술), Cb3(지하 콘크리트 구조물의 내구성기반 유지관리 기술)은 III영역에 포함되어 점진적으로 기술기반을 확보해야 함

○ Ca1(지하 콘크리트 구조물 노출환경별 성능저하 원인 분석 기술), Ca2(지하 콘크리트구조물의 노출환경에 따른 잔존수명 예측 기술), Ca3(지하 콘크리트구조물의 상태지수 및 보수·보강 결정 기준 확립 기술), Cb4(지하 콘크리트구조물의 유지관리 기법 적용성 및 활용화 기술)는 IV영역에 포함되어 기술기반 확보가 시급함



〈그림 3-51〉 공용공간 예측기술 분야의 기술기반성숙도-중요도 포트폴리오

3. 각 중점추진분야별 종합평가

가. 지하 콘크리트 구조물 성능관리 의사결정 시스템 개발

〈표 3-27〉 성능관리 의사결정 시스템 기술

구분		1. 지하 콘크리트 구조물 성능관리 의사결정 시스템 개발	
		1.1 지하 콘크리트 구조물 종합성능 관리체계 구축 기술 개발	1.2 성능관리 의사결정 시스템 구축 및 시험적용 추진
기술수준(%)		67.2	66.3
기술격차(년)		4.7	5.1
기술적중요도(5점척도)		4.0	4.2
시급성(5점척도)		4.0	4.2
파급효과(5점척도)		4.1	4.3
기술적 실현시기(년)	최고기술국	2020	2021
	국내	2024	2025
사회경제적 보급시기(년)	최고기술국	2024	2023
	국내	2029	2028
기술획득 방식(%)	민간	1.2	1.9
	정부	50.2	34.6
	정부/민간 공동	48.6	51.9
	기술도입 및 국제공동연구	0.0	11.5
정부우선 시행방안(%)	인력양성	1.4	0.0
	협력교류 활성화	7.9	10.5
	인프라구축	16.9	22.8
	연구비 확대	53.3	64.0
	제도개선	20.5	2.6

나. 지하 콘크리트구조물 성능 검사·평가 기술개발 및 절차화

〈표 3-28〉 지하 콘크리트구조물성능 검사·평가 기술개발 및 절차화

구분		2. 지하 콘크리트구조물 성능 검사·평가 기술개발 및 절차화	
		2.1 지하구조물 영향인자 검사·평가기술 개발	2.3 지하 콘크리트 구조물 성능 검사·평가에 대한 제도화 전략 수립
기술수준(%)		57.1	51.0
기술격차(년)		5.2	5.4
기술적중요도(5점척도)		4.3	4.3
시급성(5점척도)		4.7	4.7
파급효과(5점척도)		4.2	4.2
기술적 실현시기(년)	최고기술국	2023	2024
	국내	2027	2028
사회경제적 보급시기(년)	최고기술국	2028	2028
	국내	2031	2031
기술획득 방식(%)	민간	0.7	0.0
	정부	56.8	64.7
	정부/민간 공동	42.6	35.3
	기술도입 및 국제공동연구	0.0	0.0
정부우선 시행방안(%)	인력양성	1.9	6.5
	협력교류 활성화	11.0	8.3
	인프라구축	15.1	4.2
	연구비 확대	59.1	69.0
	제도개선	12.9	12.0

다. 지하 콘크리트 구조물의 공용기간 예측기술 개발

〈표 3-29〉 지하 콘크리트 구조물의 공용기간 예측기술

구분		3. 지하 콘크리트 구조물의 공용기간 예측기술 개발	
		3.1 환경평가 기반 미래성능 예측 기술 개발	3.2 지하 콘크리트 구조물 성능회복을 위한 최적 기술 개발
기술수준(%)		55.2	56.6
기술격차(년)		5.8	5.4
기술적중요도(5점척도)		4.4	4.1
시급성(5점척도)		4.7	4.6
파급효과(5점척도)		4.5	4.5
기술적 실현시기(년)	최고기술국	2022	2023
	국내	2027	2028
사회경제적 보급시기(년)	최고기술국	2026	2026
	국내	2030	2030
기술획득 방식(%)	민간	0.0	0.0
	정부	56.3	49.3
	정부/민간 공동	41.7	49.3
	기술도입 및 국제공동연구	2.1	1.4
정부우선 시행방안(%)	인력양성	1.0	2.7
	협력교류 활성화	7.8	9.6
	인프라구축	13.7	13.0
	연구비 확대	71.6	63.7
	제도개선	5.9	11.0

3절. SWOT / Issue-Tree 분석

1. SWOT분석

□ SWOT 분석은 “지하콘크리트구조물의 성능극대화를 위한 통합

가. 내외부 요인 분석

□ 국내외 동향 및 환경분석을 바탕으로 “지하 콘크리트구조물의 성능극대화를 위한 통합유지관리 시스템 개발”의 경쟁력에 영향을 끼치는 인자로서 5종류의 거시적 환경요인 (사회적/기술적/경제적/환경적/정치적 요인)을 분석 (STEEP분석)하고 기술개발 방향 설정에 활용함

〈표 3-30〉 STEEP분석

Social	• 사회기반 시설물 사고 증가 • 안전에 대한 국민신뢰성 회복 필요 • 유지관리의 필요성 대두
Technology	• 첨단기술을 활용한 유지관리 발달 • 획기적인 점검, 평가, 성능극대화 방법 요구 • LCC 개념의 유지관리 기술 발달
Economic	• 30년 이상의 사회기반 시설물 급격한 증가 • 유지관리 비효율로 인한 경제적 손실증가 • 지속적인 구조물 유지관리 비용 증가
Environment	• 환경요소를 반영한 구조물의 유지관리 요구 • 이상기후 등으로 인한 구조물의 유지관리 요구 • 이상하중으로 인한 구조물의 하중부담 증가
Political	• 사회기반시설물의 유지관리 규제의 확대 • 국민 안전에 대한 신뢰성 회복을 위한 연구 증가 • 지속적인 사회기반 시설물에 대한 정책 확대 운영

□ STEEP 분석 결과를 바탕으로 내부환경과 외부환경 요인들을 분석하여 강점 (Strength)/약점(Weakness)/기회(Opportunity)/위협(Threat) 요인들을 도출함. 이를 통해 기술개발 전략을 수립하는데 활용함

〈표 3-31〉 SWOT 분석

강점(Strength)	• 1,2종 시설물에 대한 유지관리 경험 보유 • 시설물 안전 및 유지관리 환경분석은 향후 국내 시설물의 안전 및 유지관리체계의 바람직한 변화 방향과 국내 지하콘크리트구조물의 안전 및 유지관리 수요의 변화에 대해 분석하고, 이러한 변화에 대응하기 위해 적합한 역할제고방안 도출 가능 • 기계/재료 기반 기술수준 우수 • IT 기반 산업의 기술 수준 우수 • 국민안전처 신설 등 지반재해 저감을 위한 정부의 적극적 의지
약점(Weakness)	• 우리나라 지하콘크리트구조물 안전 및 유지관리 역량의 전반적 미흡 • 지자체를 비롯한 관리주체의 안전 및 유지관리 역량 미흡 • 지하콘크리트구조물 안전 및 유지관리 분야 국내 기술수준 부족 • 지하콘크리트구조물 안전 및 유지관리 분야 국내 전문인력 부족 • 시특법에 의한 지자체 안전관리 운영실태의 개선 필요 • 시특법 대상 시설 중 취약 시설에 대한 관리개선 필요 • 향후 민간진단업체의 육성 및 영세 민간진단업체의 개선 필요
기회(Opportunity)	• 향후 지하콘크리트구조물 안전 및 유지관리 수요 지속 증가 • 지하콘크리트구조물 안전관리에 대한 국민관심의 증가 • 시특법 개정 이후 안전/유지관리 대상 시설물 대폭증가 • 향후 지하콘크리트구조물안전/유지관리 수요의 지속적 증가 전망 • 보수/보강에 대한 확인 필요성 존재 • 향후 지하콘크리트구조물 안전 및 유지관리 관련 기술개발, 인력양성, 정보관리, 정책지원 등 수요 지속 증가 • 향후 지하콘크리트구조물 안전/유지관리 기술개발, 교육, 정보관리 수요의 지속 증가 • 지하콘크리트구조물건설 전 단계에서 안전/유지관리에 대한 정보의 원활한 공유 필요 • 지하콘크리트구조물별 안전점검/진단주기의 차별화 위한 연구 및 제도개선 필요 • 지하콘크리트구조물 상태평가 기준의 정교화 위한 지속적 연구 및 제도개선 필요 • 지하콘크리트구조물 안전 및 유지관리 분야 정부 정책지원 위한 전문가 집단 필요
위협(Threat)	• 유럽 및 호주의 지하 구조물의 유지관리 선진화 • 미국, 유럽, 일본, 호주 등 선진국들은 사회기반시설물의 유지관리 체계 방안 보유

다. 포지셔널 전략 수립

강점(Strength) - 기회(Opportunity)	- 우수한 전문 인력과 장비를 바탕으로 환경 및 IT기반 국내 지하 콘크리트구조물의 선진 점검, 평가, 유지관리 기술 개발 전략 수립 - 유지관리 이력 DB구축을 통한 전주기적 유지관리 체계마련
강점(Strength) - 위협(Threat)	- 다양한 구조물의 유지관리 경험에 기반한 복합적인 지하 콘크리트구조물의 주변 환경 대응가능 지하 콘크리트구조물의 성능극대화 유지관리 기술확보 - 해외주요 지하 콘크리트구조물의 유지관리 기술 시장 확보
약점(Weakness) - 기회(Opportunity)	- 국내 지하 콘크리트구조물 유지관리 관련 산업육성을 통한 해외진출 지원 - 국내 지하 콘크리트구조물의 유지관리에 부합하는 전문인력 양성
약점(Weakness) - 위협(Threat)	- 국내 다양한 점검 기술과 전문 인력을 활용한 지하 콘크리트 구조물의 유지관리 체계 마련 - 타 구조물의 연계성을 강조

내부 환경 분석	【 강 점(S) 】 1,2종 시설물에 대한 유지관리 경험 보유 - 기계/재료 기반 기술수준 우수 - IT 기반 산업의 기술 수준 우수 - 국민안전처 신설 등 지반재해 저감을 위한 정부의 적극적 의지	【 약 점(W) 】 - 환경기반 조사, 예측, 예방 부분의 원천기술 부재 - 환경기반 조사, 예측에 대한 건설 산업의 관심 부족 - 지하 콘크리트 구조물 관리를 위한 전문인력 부족 - 최신 조사 장비는 대부분 수입에 의존하여 우리나라의 기술수준이 낮음
외부 환경 분석	【 기 회(O) 】 - 대심도 지하 공간의 개발이 활발하게 추진 - 국내 지하환경에 부합하는 전문 유지관리체계 필요성 및 인식도 향상 - 세계적으로 노후 구조물의 증가와 전문적 유지관리에 관심이 증가	【 위 험(T) 】 - 유럽 및 호주의 지하 구조물의 유지관리 선진화 - 미국, 유럽, 일본, 호주 등 선진국들은 사회기반시설물의 유지관리 체계 방안 보유

SO 전략	○ 우수한 전문 인력과 장비를 바탕으로 환경 및 IT기반 국내 지하 콘크리트구조물의 선진 점검, 평가, 유지관리 기술 개발 전략 수립 ○ 유지관리 이력 DB구축을 통한 전주기적 유지관리 체계마련	WO 전략	○ 다양한 구조물의 유지관리 경험에 기반한 복합적인 지하 콘크리트구조물의 주변환경 대응가능 성능극대화 유지관리 기술확보 ○ 해외주요 지하 콘크리트구조물의 유지관리 기술 시장 확보
ST 전략	○ 국내 지하 콘크리트구조물 유지관리 관련 산업육성을 통한 해외진출 지원 ○ 국내 지하 콘크리트구조물의 유지관리에 부합하는 전문인력 양성	WT 전략	○ 국내 다양한 점검 기술과 전문 인력을 활용한 지하 콘크리트 구조물의 유지관리 체계 마련 ○ 타 구조물의 연계성을 강조

<그림 3-52> 타 구조물의 연계성

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 사회·기술·시장·정책 동향

(1) 주요 사회동향

- ☐ 지하 콘크리트구조물의 국민생활과 밀접
- ☐ 신규 구조물의 증가보다 유지관리에 관심 집중
- ☐ 정확한 진단과 효율적 유지관리 필요성 증대
- ☐ 이상기후로 인한 구조물 유지관리 신뢰성 필요

(2) 주요 기술동향

- ☐ 주변 환경반영 평가 기술 미흡
- ☐ 전문 기술 활용 표준화 점검기술 필요
- ☐ 첨단기술 활용 유지관리 효율성 증대
- ☐ 체계적 관리 및 운영기술 부족

(3) 주요 시장동향

- ☐ 지하 콘크리트구조물의 손상 사고시 인적 물적 피해 및 손실 유발
- ☐ 단순 유지관리로 인한 지속적인 유지관리 비용 증가
- ☐ 해외시장에서의 경쟁력 확보를 위한 원천기술의 필요
- ☐ 지속적인 모니터링 설비에 대한 해외시장 의존

(4) 주요 정책동향

- ☐ 사회기반시설물의 유지관리에 R&D사업비 확대
- ☐ 예방중심의 선제적 사고예방 시스템 구축 추진
- ☐ 개별적 시스템의 통하적 유지관리 체계 개편 요구
- ☐ 예방중심의 선제적 재난대비 시스템 구축 추진
- ☐ 이상기후 및 재해에 대한 안정성 확보에 대한 제도 마련 필요

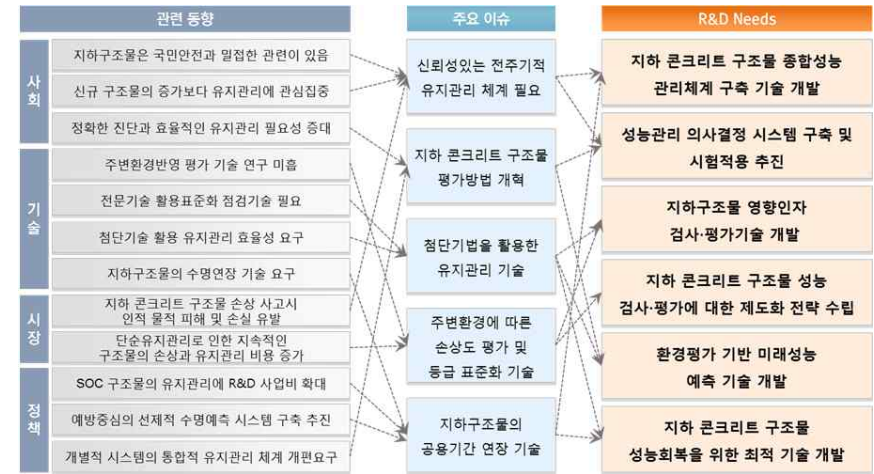
다. 주요 이슈 및 R&D Needs

(1) 주요 이슈

- ☐ 신뢰성 있는 전주기적 유지관리 체계 필요
- ☐ 지하 콘크리트구조물 평가 방법 개혁
- ☐ 첨단기법을 활용한 유지관리 기술 필요
- ☐ 주변환경에 따른 손상도 평가 및 등급 표준화 기술
- ☐ 체계적 유지관리에 필요한 기술 및 인력양성

(2) R&D Needs

- ☐ 지하 콘크리트구조물 통합유지관리시스템 필요
- ☐ 성능평가를 위한 IT기술 접목 신개념 계측 시스템 필요
- ☐ 빅데이터를 활용한 전주기적 유지관리 기술 필요
- ☐ 구조물 주변환경 평가 기술 필요
- ☐ 환경평가 기반 내구성능 예측 및 향상기술 필요
- ☐ 환경기반 구조성능 예측 및 향상기술 필요
- ☐ 성능극대화를 위한 유지관리 표준화 기법 필요



〈그림 3-53〉 Issue-Tree

4장. 연구개발과제 구성 및 추진전략

1절. 비전 및 목표

1. 비전

- 지하 콘크리트구조물 성능극대화 통합유지관리 시스템 연구개발사업의 비전은 ‘안전한 도시환경 구축을 위한 지하 콘크리트 구조물 종합성능평가기술 구현’으로 설정함

안전한 도시환경 구축을 위한 지하 콘크리트 구조물 종합성능평가기술 구현

- 비전 설정 근거
 - 도심지 지하 콘크리트구조물의 안전성 확보를 통해 국민이 안심하고 생활하는 도심지 건설
 - 주변 환경과 첨단 IT기술 기반 국내 지하 콘크리트구조물의 특수 환경에 부합하는 선진 점검 및 평가 기술을 통한 성능극대화 유지관리 기술 확보
 - 국내 지하 콘크리트구조물의 유지관리 산업육성 및 전문인력 양성을 통한 기존 해외 장비/인력 대체
 - 1,2종 구조물의 유지관리 경험 기반 다양한 지하 콘크리트구조물의 환경 대응가능 성능극대 유지관리 기술확보 및 해외 기술 시장 선도
 - 해외 선진국가 벤치마킹을 통한 지하 콘크리트구조물 사고 대응체계 수립

2. 목표

- 연구목표
 - 정량적인 성능 평가 기술 개발을 통한 지하 콘크리트 구조물의 장기적 유지관리 소요예산 30% 절감
 - 신뢰도 90% 이상의 지하구조물 종합성능평가기술 개발
 - 경제성/정확성/효율성 30% 이상 향상된 진단 기술 개발

- 공용기간 예측 정확도 95% 확보
- 지하 콘크리트 구조물의 성능회복 신규구조물 대비 70% 확보
- 목표 설정 근거
 - 지하 콘크리트구조물 통합유지관리 시스템 기술 확보
 - IT기술 기반의 첨단 지하 콘크리트구조물 성능평가용 신개념 계측 기술 확보
 - 지하 콘크리트구조물 유지관리 빅데이터를 활용한 전주기적 유지관리 기술
 - 구조물 주변환경의 구조물 영향 평가 기술 개발
 - 환경평가 기반 지하 콘크리트구조물 내구성능 예측 및 성능향상 기술 확보
 - 지하 콘크리트구조물의 환경기반 구조성능 예측 및 향상기술 개발
 - 유지관리 성능극대화를 위한 지하 콘크리트구조물 유지관리 표준화 개발

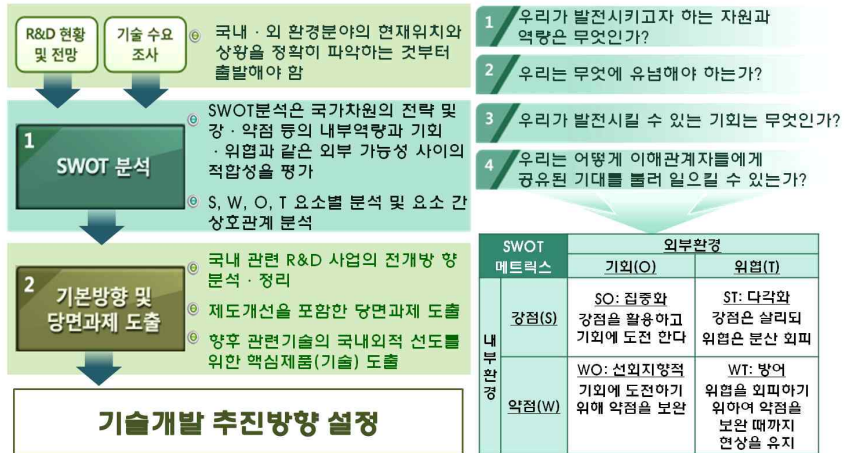
□ 단계별 개발 목표



〈그림 4-1〉 단계별 연구개발 목표

2절. 중점추진분야

1. 중점추진분야 설정 과정



〈그림 4-2〉 중점추진분야 설정 프로세스

- 기획초기의 공고문의 RFP에 제시된 3개의 중점추진분야에 따라 기획연구를 수행하였으며, 전문가 위위원회와 전문가 그룹을 적극 활용하여 수정/보완을 실시함

〈표 4-1〉 중점추진분야

중점연구분야	세세부명
○ 지하 콘크리트 구조물 성능관리 의사결정 시스템 개발	- 지하 콘크리트 구조물 종합성능 관리체계 구축 기술 개발 - 성능관리 의사결정 시스템 구축 및 시험적용 추진
○ 지하 콘크리트구조물 성능 검사·평가 기술개발 및 절차화	- 지하 콘크리트 구조물 영향인자 검사·평가기술 개발 - 지하 콘크리트 구조물 성능 검사·평가에 대한 제도화 전략 수립
○ 지하 콘크리트 구조물의 공용기간 예측기술 개발	- 환경평가 기반 미래성능 예측 기술 개발 - 지하 콘크리트 구조물 성능회복을 위한 최적 기술 개발

2. 중점추진분야 구성

가. 개요

- 지하구조물 유지관리 체계 플랫폼 구축
 - 지하 콘크리트 구조물 성능관리 의사결정 시스템 개발
 - 지하 콘크리트구조물 성능 검사·평가 기술개발 및 절차화
 - 지하 콘크리트 구조물의 공용기간 예측기술 개발

〈표 4-2〉 중점추진분야 1 개요

개념	지하 콘크리트 구조물에 대한 효율적인 유지보수/보강 계획 수립, 의사결정권자의 의사결정지원을 위해 종합적인 성능평가를 기반으로 한 통합적인 유지관리 의사결정 시스템 개발.
설정배경	- 관리주체에게 시설물관리계획 수립과 안전점검 의무와 안전조치를 취할 수 있는 권한이 부여됨 - 시장군수와 구청장 등은 민간관리주체 소관 시설물은 시설물관리계획 이행에 대해 연 1회 이상 실태점검 실시 의무화 - 정량화된 점검 기법, 표준을 근간으로 수행한 점검결과를 활용하여 지하구조물의 성능을 예측, 예측결과를 바탕으로 안전관리 주체의 의사결정을 체계적으로 지원하는 시스템이 필요 - 지하 콘크리트구조물의 성능극대화를 위한 통합유지관리는 구조적 안전은 물론 성능유지 및 향상, 감가상각 등을 고려하는 종합적 비용편익 분석을 통해 한정된 재정을 효율적으로 투자할 수 있는 근거 확보를 위한 성능평가 체계 마련이 시급
목표	- 지하 콘크리트 구조물의 종합성능 관리체계 구축기술 개발 - 성능관리 의사결정 시스템 구축 및 시험적용 추진
주요 내용	- 지하 콘크리트 구조물의 종합성능등급 산정기법 개발 - 지하 콘크리트 구조물의 종합성능 평가 체계구축 - 종합성능 평가체계 전문가 검증 및 실무적합성 평가를 통한 적정성 검토 - 지하구조물 손상 시나리오 개발 및 가상 시뮬레이션 평가, 개선(안) 도출 - 지하 콘크리트 구조물 종합 성능관리 매뉴얼 개발 - 지하 콘크리트 구조물의 성능평가 및 예측 자료가 반영된 통계학적 모형화 기법 개발 - 모형화 기법을 활용한 최적점검주기 의사결정 모델 개발 - Optimization 기술을 활용한 환경인자, 손상영향이 적용된 사회적 비용 산정 기술 개발 - Recommender System 기법을 활용한 지하 콘크리트 구조물의 종합성능과 경제성이 반영된 최적 점검주기 산정체계 구축 - 지하 콘크리트 구조물 성능 검사/평가/예측을 위한 테스트베드 구축 및 시험 적용 - 테스트베드 적용 결과 피드백 및 보완

〈표 4-3〉 중점추진분야 2 개요

개념	지하 콘크리트 구조물의 성능저하를 발생시키는 주변환경의 영향인자의 정량화 및 주변 환경을 반영한 구조물의 점검, 평가 기술을 개발하고 개발된 기술의 표준화 체계를 마련
설정배경	- 시특법상 시설물 7만1109개 중 준공 후 30년이상 SOC는 2292개로 전체 SOC(2만1878개)의 10.5% 수준이지만 10년 후 23.96%(5241개)로 늘어날 것이 예상됨(지하구조물은 비포함되어 사각지대에 존재). - 시설물의 안전관리에 관한 특별법(시특법) 2017년 개정안에는 국토부 장관은 국가 시설물이 안전하게 유지관리 될 수 있도록 5년마다 시설물의 안전 및 유지관리 기본계획을 수립하고 이행함. - 그러나, 개정안에는 도로, 철도, 항만, 댐 등 대통령령으로 정하는 시설물은 성능평가를 하도록 규정되어 있지만, 공항 및 일부구조물을 제외한 지하 구조물은 개정안에서 제외된 실정임 - 지하구조물의 특수한 지하노출환경을 반영한 전문적인 유지관리가 필요하지만, 지하구조물의 내구성, 사용성을 반영한 정량적 성능평가, 정책제언, 표준화 추진 등의 정량적인 지하구조물 성능 평가 연구는 아직 미흡한 실정임 - 지하 콘크리트구조물의 성능평가를 토대로 설계단계에서 설정한 사용목적, 기능 및 성능을 반영한 시설물의 현상태를 객관적·정량적으로 평가할 수 있는 방향으로 유도할 수 있는 기술 개발이 필요함
목표	- 지하 콘크리트 구조물 영향인자 검사·평가기술 개발 - 지하 콘크리트 구조물 성능 검사·평가에 대한 제도화 전략 수립
주요 내용	- 지하 콘크리트 구조물 주변의 내구성 및 사용성 영향인자 도출 및 검사 기술 개발 - 지하수위 관측 기존 기술 검토 및 적용기술 개발 - 지하수위 및 지반을 고려한 위험도 등급화 기술 개발 - 지상환경을 고려한 지하환경 추정 기술 개발 - Virtual Reality 기술을 활용한 지하 콘크리트 구조물의 이상징후 검출 기술 개발 - 지하수위 및 지하수 성분의 지하 콘크리트 구조물에 대한 영향 평가 기술 개발 - 지반 및 지질의 지하 콘크리트 구조물 영향 평가 기술 개발 - 지하환경(지반상태, 지하수위, 지하수 성분, 토양성분 등)이 지하 콘크리트 구조물에 미치는 영향에 대한 평가 등급화 기술 개발 - 지하 콘크리트 구조물에 미치는 지하환경에 대한 검사/평가 절차 개발 - 지하 콘크리트 구조물의 노후화 검사/평가 절차 개발 - 지하 콘크리트 구조물의 성능평가 기반 유지관리 절차서 개발 - 지하 콘크리트 구조물의 성능 검사/평가에 대한 제도화(안) 마련

〈표 4-4〉 중점추진분야 3 개요

개념	지하 콘크리트구조물의 성능저하는 지하콘크리트 구조물이 노출 또는 접해 있는 환경에 따라 영향을 받는 인자가 다르게 발현되기 때문에, 성능저하를 야기시킨 원인분석을 통해 성능을 예측하고 최적의 성능회복 방법을 적용
설정배경	- 정부/공공기관은 SOC 및 건물, 시설물 보수/보강이 필요한 부문에 전년대비 17% 증가된 수준인 12.4조원을 투자함 ('14년 10.6조 → ' 15년 12.4조) - 구조물 유지관리 관련 시장은 2006년 6,000억원 규모에서 연평균 20%의 성장률을 기록, 2009년에 1조원, 2015년에는 3조원의 시장을 형성하고 있음 - 국내의 노후화된 상수도, 하수도, 전기선로, 가스관로 교체공사 등으로 인하여 근접지역 도로함몰위험이 내재되어 있어 이에 대한 붕괴지역의 보수보강의 수요는 해마다 늘어날 것으로 예상됨 - 이에 따라 성능평가에 기반한 성능회복 및 공용기간 연장기술에 대한 조기확보를 통해 지하구조물 성능저하에 사전대응이 필요함
목표	- 환경평가 기반 미래성능 예측 기술 개발 - 지하 콘크리트 구조물 성능회복을 위한 최적 기술 개발
주요 내용	- 노출 환경기반(화학적 침식, 철근부식, 염해, 탄산화 등) 지하 콘크리트 구조물의 성능저하 원인 분석 기술 개발 - 손상 수준 맞춤형 지하구조물 성능 예측 절차 개발 - 지하 콘크리트 구조물의 열화환경별 내구성능 예측 기술 개발 - 지하환경 변화 추세에 따른 미래 지하환경 예측 기술 개발 - 미래 지하환경 예측 기술을 반영한 지하 콘크리트 구조물의 미래성능 예측기술 개발 - 열화환경별 유지보수를 통한 지하 콘크리트 구조물의 성능예측 기술 개발 - 손상 원인 맞춤형 지하구조물의 성능회복을 위한 보수 및 유지관리 기술 개발 - 이상 징후 발생에 따른 지하환경 최적화 긴급 성능회복 기술 개발 - 성능회복 전후의 평가 정량화 및 효과 분석 기술 개발 - 성능회복 전후의 효과분석 표준 절차 개발 - 지하 콘크리트 구조물의 성능회복 매뉴얼 개발

3. 후보과제 Pool 구성 및 우선순위 평가

- 기획위원, 자문위원 및 외부 산학연 전문가를 중심으로 기술 수요조사를 실시하고 수집된 기술수요조사서를 연구 비전과 목표에 맞는 후보과제들을 선별
- 연구개발 목표에 해당하는 기술을 보유한 기업들에게 연구기획 의도를 설명하고 목표를 달성하기 위한 추가 후보과제 대상 의뢰
- 산·학·연 전문가를 대상으로 진단/평가, 건설자재 개발 및 적용기술 기획에서 도출된 후보과제의 기술적 중요도, 기술개발 실현가능성, 사회경제적 파급효과, 정부지원 필요성 등에 대한 평가를 수행하여 우선순위를 결정

〈표 4-5〉 중점추진분야별 후보과제 Pool 구성

중점추진분야	우선순위, 후보과제명
중점추진분야 I (1세부과제)	1. 사용자 중심의 지하 콘크리트구조물의 상태 성능지표 정량화 기술 2. 지하 콘크리트 구조물의 노출환경에 따른 상태 지수 평가 기술 개발 3. 지하 콘크리트구조물의 안전성능 수준 판정 기술 4. 확률론적 방법을 이용한 빅 데이터 기반 통합유지관리 기술 개발 5. 지하 콘크리트구조물 통합 유지관리를 위한 cloud platform 개발 6. 지하 콘크리트 구조물의 계측 데이터 처리기술 및 운용기술 개발
중점추진분야 II (2세부과제)	1. 지하콘크리트 구조물의 열화 판정을 위한 적정 기술 개발 2. 사용환경을 고려한 지하 콘크리트구조물의 점검 및 평가 매뉴얼 개발 3. 지하 박스구조물의 재하시험 기법 개발 및 표준화 4. 특정환경 / 열화조건에 따른 지하콘크리트구조물 적정 균열보수재료 선정을 위한 성능평가 및 기술개발 5. 지하 구조물 상태평가를 위한 IT/BIM 융합 첨단 진단기술개발 6. 지하 콘크리트 구조물의 예방적 유지관리 기술 7. 지하구조물 상태안전성 강화를 위한 접촉식 열화부위 산정기술 개발 8. 지하구조물 장기 안전성 평가를 위한 열화 및 하중환경 계측, 모니터링 및 데이터 기반 진단 기술 개발 9. 장기계측 및 진단용 센싱 패키지 및 모니터링 데이터 기반 지하 콘크리트 구조물 안전성 수준 정량화 평가 기술 10. 분포형 센서를 이용한 장거리 지하 콘크리트 구조물 연결부 모니터링 기술개발 11. 카메라의 가속도 & 자이로 센서 정보를 이용한 현장 사진 매핑 보조 기술 12. 영상 시스템을 이용한 구조물 모니터링 및 상태평가 기술 개발
중점추진분야 III (3세부과제)	1. 지하 콘크리트 구조물 구조성능 예측 기술 2. IoT기반 환경요인에 따른 지하 콘크리트구조물의 상태변화 예측 기술 3. 지하 콘크리트 구조물의 콘크리트 온도 변화에 따른 화학적 침식 손상 원인 평가 기술 4. 지하 콘크리트 구조물의 내부 유해이온에 대한 손상 원인 평가 기술 5. 지하 콘크리트 구조물의 콘크리트 손상원인 대응 보수/보강 기술 개발 6. 손상 목표 수준 맞춤형 지진에 의한 지하구조물 설계 및 복구/보강 기술 개발 7. 지하 콘크리트 구조물의 장수명화를 위한 보수·보강 표준화 기술 8. 지하철 구조물의 성능극대화를 위한 보수 보강 재료 및 공법 개발 9. 상시 모니터링 기술 활용 주요 지하 콘크리트 구조물 긴급 재난 대응기술 개발 10. 하이브리드 수치해석기법을 통한 지하구조물 균열 생성 및 전파 예측 11. 열화상태를 고려한 지하 콘크리트 구조물의 내진성능 평가 기술 12. 지하철 구조물의 성능극대화를 위한 보수 보강 재료 및 공법 개발

4. 연구개발 추진과제 구성 및 주요 내용

- 도출된 후보과제의 우선순위를 바탕으로 연구개발 추진과제를 선정
- 연구개발 추진과제는 국토교통 R&D 연구개발사업 특성 중점적으로 검토하고 1,2차 기획타당성 중간평가를 통하여 결정
- 또한 중간평가회의를 통하여 유사과제의 경우는 통합하는 과정을 거침

가. 1세부과제 : 지하 콘크리트 구조물 성능관리 의사결정 시스템 개발

〈표 4-6〉 1세부과제 목표 및 세세부 과제 구성

세부과제 목표	◦ 지하 콘크리트 구조물의 종합성능등급 산정기법 및 종합 성능관리 매뉴얼 개발 ◦ 지하 콘크리트 구조물의 성능평가 및 예측자료가 반영된 통계학적 모형과 기법을 활용한 최적점검주기 의사결정 체계 개발
세세부과제 구성	1-1 : 지하 콘크리트 구조물 종합성능 관리체계 구축 기술 개발 1-2 : 성능관리 의사결정 시스템 구축 및 시험적용 추진

나. 2세부과제 : 지하 콘크리트구조물 성능 검사·평가 기술개발 및 절차화

〈표 4-7〉 2세부과제 목표 및 세세부 과제 구성

세부과제 목표	◦ 지하환경이 지하 콘크리트 구조물에 미치는 영향에 대한 평가 등급화 기술 개발 ◦ 지하 콘크리트 구조물의 성능평가 기반 유지관리 절차서 개발
세세부과제 구성	2-1 : 지하구조물 영향인자 검사·평가기술 개발 2-2 : 지하 콘크리트 구조물 성능 검사·평가에 대한 제도화 전략 수립

다. 3세부과제 : 지하 콘크리트 구조물의 공용기간 예측기술 개발

〈표 4-8〉 3세부과제 목표 및 세세부 과제 구성

세부과제 목표	◦ 노출환경 및 손상 수준 맞춤형 유지보수 및 지하구조물 내구성능 예측기술 개발 ◦ 성능회복 전후의 정량적 평가와 효과분석 절차 및 성능회복 매뉴얼 개발
세세부과제 구성	3-1 : 환경평가 기반 미래성능 예측 기술 개발 3-2 : 지하 콘크리트 구조물 성능회복을 위한 최적 기술 개발

5. 주요 성과물 및 성과지표

〈표 4-9〉 주요성과물 및 성과지표

세부과제	성과물	성과물 유형	성과지표
지하 콘크리트 구조물 성능관리 의사결정 시스템 개발	- 지하 콘크리트 구조물의 종합성능등급 산정기법	매뉴얼	- 종합산정등급 신뢰도 95% 이상 확보
	- 지하 콘크리트 구조물 종합 성능관리 매뉴얼	매뉴얼	- 성능관리 매뉴얼 제시
	- 모형화 기법을 활용한 최적점검주기 의사결정 모델	프로그램 (S/W)	- 수치해석 검증을 통한 최적점검주기 정확도 90% 이상 확보
	- Optimization 기술을 활용한 환경인자, 손상영향이 적용된 사회적 비용 산정 기술 개발	프로그램 (S/W)	- 사회적 비용 산정 평가 신뢰도 95% 확보
	- Recommender System 기법을 활용한 지하 콘크리트 구조물의 종합성능과 경제성이 반영된 최적 점검주기 산정체계 구축	프로그램 (S/W)	- 최적 점검주기 제시 및 대안 확보
지하 콘크리트 구조물 성능 검사·평가 기술개발 및 절차화	- 지하 콘크리트 구조물 성능 검사/평가/예측을 위한 테스트베드 구축 및 시험 적용	테스트 베드	- 1,2,3세부 성과 종합 평가 검증 확보
	- 지상환경을 고려한 지하환경 추정 기술	특허, 장치	- 환경 예측 신뢰도 95% 확보
	- Virtual Reality 기술을 활용한 지하 콘크리트 구조물의 이상징후 검출 기술	특허, 장치	- 기술수준 선진국 대비 90% 확보
	- 지하 콘크리트 구조물의 성능평가 기반 유지관리 절차서	매뉴얼	- 지하구조물 유지관리 절차서 제시
지하 콘크리트 구조물의 공용공간 예측기술 개발	- 지하 콘크리트 구조물의 성능 평가 기준 유지관리 절차서	매뉴얼	- 성능 검사/평가 절차서 제시
	- 열화환경별 유지보수를 통한 지하 콘크리트 구조물의 성능예측 기술 개발	시작품	- 열화환경별 성능예측 알고리즘 제시
	- 손상 원인 맞춤형 지하구조물의 성능회복을 위한 보수 및 유지관리 기술 개발	시작품	- 손상 원인 맞춤형 성능회복 보수 시작품 제시
	- 이상 징후 발생에 따른 지하환경 최적화 긴급 성능회복 기술 개발	시작품	- 긴급 성능 회복 시작품 제시
	- 지하 콘크리트 구조물의 성능회복 매뉴얼 개발	매뉴얼	- 성능회복 매뉴얼 제시

6. 기대효과 및 파급효과

기술 개발 전 현황

- ◆ 우리나라의 지하 구조물은 **다양한 기관에서 관리**
- ◆ 지하 콘크리트구조물의 **유지관리는 전담부서 없음**
- ◆ 국토해양부 **국토정책국에서 업무를 총괄**
- ◆ 광역시·도 및 공동구 설치지역은 **기초 자치단체의 시설물 담당자가 업무를 수행**하고 있는 실정



기술 개발 후 미래상

- ◆ 구조물 유지관리 시스템의 상호간 **데이터 공유와 자료 활용 Platform** 개발
- ◆ 고효율의 Platform 개발기반 현장 **중복 작업 최소화**로 **비용도 감소**
- ◆ 국가적으로 관리하는 시스템의 다양성 문제 해결과 다양한 **시스템 연계로 많은 정보 공유** 추진
- ◆ 구조물의 효율적 유지관리를 통한 **유지관리 비용 절감, LCC절감** 효과 가능



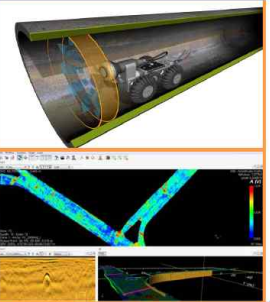
기술 개발 전 현황

- ◆ 지하 콘크리트구조물은 **규격화 되거나 PC BOX를 활용하지 않고 현장에서 타설**하는 방식 축조로 **점검에 어려움**
- ◆ 사고 발생시 **긴급대응 방식의 유지관리가 주를 이루고, 노출환경을 고려한 표준화된 점검체계 부재**
- ◆ 환경기반 구조물의 **현상태를 객관적·정량적**으로 평가 부재
- ◆ 안전점검 및 정밀안전진단 방식이 아닌 **지하 콘크리트 구조물 유지관리 체계 요구**



기술 개발 후 미래상

- ◆ **IT기법**을 활용한 다양한 구조물의 현재 상태 파악과 지속적으로 **유지관리가 용이함**
- ◆ 구조물의 **진단 및 점검 표준화 실현**으로 정확한 진단과 성능향상 기술을 제안함
- ◆ 환경기반의 신뢰성 있는 유지관리 평가로 **타구조물에 활용 가능함**
- ◆ 시설물의 설계단계에서부터 유지관리 반영하여 **안전한 도시설명 구축 가능함**
- ◆ 지속적인 관리로 **지자체 및 사용자의 편의성 제공**과 지속적인 전문 인력pool의 관리로 경제적 이익 창출



◆ 기술 개발 전 현황

- 지하 콘크리트구조물의 **다양한 손상 원인에 대한 정확한 평가 없는** 유지관리는 **효율성이 낮음**
- 지하 콘크리트구조물의 **다양한 노후환경에 대한 조사 자료를** 기반으로 하는 평가 체계 필요
- 구조물의 사용성 및 수명 극대화를 위하여 **구조물의 노후 환경(지반상황, 지하수 온도, 이온의 종류 및 농도 등)을 고려한 평가 기법**이 필요함
- 환경을 고려한 성능향상 기법**이 적용되어야 구조물의 유지관리 효율성을 극대화 할 수 있음
- 노후 환경에 적합한 재료의 개발과 평가 표준화** 필요



◆ 기술 개발 후 미래상

- 노후 환경기반(화학적 침식, 철근부식, 염해, 탄산화 등) 지하 콘크리트 구조물의 성능저하 원인 분석 기술** 개발
- 지하 콘크리트 구조물의 **열화환경별 내구성능 변화 예측** 기술 개발
- 열화환경별 유지보수**를 통한 지하 콘크리트 구조물의 성능향상 기술 개발
- 지하 구조물의 내부 점검 **영상촬영 및 이미지**를 통한 **구조물 상태 판독 기술** 개발
- 손상 원인 맞춤형 **지하구조물 성능(원구조물 대비 80%) 확보 보수 및 유지관리** 기술 개발



〈표 4-10〉 기대효과 및 파급효과

지하 콘크리트 구조물 성능관리 의사결정 시스템 개발	- 지하 콘크리트구조물 통합 유지관리를 위한 의사결정 시스템 개발시 유지관리 및 안전진단 분야에서 효율성을 증대시킬수 있으며 비용 감소 기대 - 지하 콘크리트구조물의 무인 및 원격에 의한 유지관리 및 안전진단 가능 - 지하구조물의 점검 및 평가 방법의 구체화/정량화를 통한 안전성 향상 - 데이터 기반의 향후 지하구조물 건설정책 결정 지원
지하 콘크리트 구조물 성능 검사평가 기술개발 및 절차화	- 열화환경, 환경하중과 열화등급산정 및 평가방법의 정량화 기술 확보 - 지하구조물의 지리학적/지형학적 위치에 따른 열화도 평가 방법론 개발 - 주요 관리 대상 지하구조물 인접 지역의 열화 환경 점검 방향 제시 - 지하구조물 안전성 평가 및 절차 정량화 - 데이터 기반의 구조물 상태 평가 및 향후 안전성 예측 기술
지하 콘크리트 구조물 공용기간 예측기술 개발	- 지하구조물 콘크리트의 유지보수 의사결정에 대한 데이터 제공으로 효율적인 보수기간 판정 - 열화정도 판정에 따른 유지보수범위 선택으로 보수 후 공용성 증대 및 유지보수비용 절감 - 최근 빈발하는 구조물 열화에도 적용할 수 있는 기반기술 확보 - 기존의 충격식 및 초음파 등을 이용한 건전도 평가방식보다 보다 효과적인 콘크리트 건전도 평가방법 개발로 콘크리트 안전진단 등의 관련분야 활용 가능

5장. 인력투입계획 및 소요예산 산정

1절. 연구일정에 따른 인력계획

1. 전체사업 인력투입계획

가. 연차별 투입 연구인력

- 연구인력 투입 단위는 기본으로 참여율 평균 50%를 기준으로 설정
- 즉, 참여율 50 %를 1인 투입 인력으로 산정함
- 각 세부기술별로 다소 차이는 있으나 전체 연구비 중에서 인건비 비율을 25~38% 사이로 설정한 후 이에 적합하게 투입 인원을 산정함
- 인건비 기준은 2016년 학술연구용역 표준단가를 기준으로 작성함

〈표 5-1〉 연차별 투입 연구인력

(단위 : 명)

분류		1차년	2차년	3차년	4차년	5차년	합계
총괄		28.04	22.97	26.96	23.5	32.95	134.42
중점 추진 분야 1	1세부과제	4.17	3.36	4.03	3.04	5.24	19.84
	2세부과제	6.7	5.38	6.71	5.06	9.16	33.01
	계	10.87	8.74	10.74	8.1	14.4	52.85
중점 추진 분야 2	1세부과제	7.11	6.17	6.28	7.16	7.63	34.35
	2세부과제	-	-	1.88	2.16	3.06	7.1
	계	7.11	6.17	8.16	9.32	10.69	41.45
중점 추진 분야 3	1세부과제	5.03	4.03	4.03	3.04	3.93	20.06
	2세부과제	5.03	4.03	4.03	3.04	3.93	20.06
	계	10.06	8.06	8.06	6.08	7.86	40.12

나. 상세 투입연구인력

〈표 5-2〉 상세 투입연구인력

(단위 : 명)

분류	총 개발인력(명)						비고
	1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	5차년도	계	
책임연구원	4.78	2.88	3.4	4.08	6.49	21.63	
연구원	5.29	6.36	7.57	7.79	11.11	38.12	
연구보조원	12.52	9.15	10.65	7.5	9.27	49.09	
보조원	5.45	4.58	5.34	4.13	6.08	25.58	
합계	28.04	22.97	26.96	23.5	32.95	134.42	

2. 중점추진분야별 인력투입계획

가. 중점추진분야 1

〈표 5-3〉 중점추진분야 1 인력투입계획

(단위 : 명)

분류		총 개발인력(명)						비고
		1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	5차년도	계	
계	책임연구원	1.77	0.99	1.22	1.5	3	8.48	
	연구원	2.01	2.42	2.97	2.9	5	15.3	
	연구보조원	5.08	3.59	4.42	2.4	3.8	19.29	
	보조원	2.01	1.74	2.13	1.3	2.6	9.78	
	합계	10.87	8.74	10.74	8.1	14.4	52.85	
1 세부 기술	책임연구원	0.68	0.38	0.46	0.56	1.09	3.17	
	연구원	0.77	0.93	1.11	1.09	1.82	5.72	
	연구보조원	1.95	1.38	1.66	0.9	1.38	7.27	
	보조원	0.77	0.67	0.8	0.49	0.95	3.68	
	합계	4.17	3.36	4.03	3.04	5.24	19.84	
2 세부 기술	책임연구원	1.09	0.61	0.76	0.94	1.91	5.31	
	연구원	1.24	1.49	1.86	1.81	3.18	9.58	
	연구보조원	3.13	2.21	2.76	1.5	2.42	12.02	
	보조원	1.24	1.07	1.33	0.81	1.65	6.1	
	합계	6.7	5.38	6.71	5.06	9.16	33.01	

나. 중점추진분야 2

〈표 5-4〉 중점추진분야 2 인력투입계획

(단위 : 명)

분류		총 개발인력(명)						비고
		1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	5차년도	계	
계	책임연구원	1.37	0.97	1.26	1.46	1.85	6.91	
	연구원	1.42	1.72	2.38	2.71	3.39	11.62	
	연구보조원	2.74	2.24	2.91	3.3	3.39	14.58	
	보조원	1.58	1.24	1.61	1.85	2.06	8.34	
	합계	7.11	6.17	8.16	9.32	10.69	41.45	
1 세부 기술	책임연구원	1.37	0.97	0.97	1.12	1.32	5.75	
	연구원	1.42	1.72	1.83	2.08	2.42	9.47	
	연구보조원	2.74	2.24	2.24	2.54	2.42	12.18	
	보조원	1.58	1.24	1.24	1.42	1.47	6.95	
	합계	7.11	6.17	6.28	7.16	7.63	34.35	
2 세부 기술	책임연구원	-	-	0.29	0.34	0.53	1.16	
	연구원	-	-	0.55	0.63	0.97	2.15	
	연구보조원	-	-	0.67	0.76	0.97	2.4	
	보조원	-	-	0.37	0.43	0.59	1.39	
	합계	-	-	1.88	2.16	3.06	7.1	

다. 중점추진분야 3

〈표 5-4〉 중점추진분야 3 인력투입계획

(단위 : 명)

분류		총 개발인력(명)						비고
		1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	5차년도	계	
계	책임연구원	1.64	0.92	0.92	1.12	1.64	6.24	
	연구원	1.86	2.22	2.22	2.18	2.72	11.2	
	연구보조원	4.7	3.32	3.32	1.8	2.08	15.22	
	보조원	1.86	1.6	1.6	0.98	1.42	7.46	
	합계	10.06	8.06	8.06	6.08	7.86	40.12	
1 세부 기술	책임연구원	0.82	0.46	0.46	0.56	0.82	3.12	
	연구원	0.93	1.11	1.11	1.09	1.36	5.6	
	연구보조원	2.35	1.66	1.66	0.9	1.04	7.61	
	보조원	0.93	0.8	0.8	0.49	0.71	3.73	
	합계	5.03	4.03	4.03	3.04	3.93	20.06	
2 세부 기술	책임연구원	0.82	0.46	0.46	0.56	0.82	3.12	
	연구원	0.93	1.11	1.11	1.09	1.36	5.6	
	연구보조원	2.35	1.66	1.66	0.9	1.04	7.61	
	보조원	0.93	0.8	0.8	0.49	0.71	3.73	
	합계	5.03	4.03	4.03	3.04	3.93	20.06	

2절. 소요예산 산정

1. 예산 산정방법

- ☐ 세부과제를 수행하는데 소요되는 적정 비용을 산정하고, 이를 토대로 중점추진분야의 연구비를 산정하여 총 사업예산 규모를 확정함
- ☐ 인건비는 ‘2016년 학술연구용역 인건비 기준단가’를 적용하여 작성
 - 2016년 학술연구용역 인건비 기준단가의 참여율 100% 기준으로 연봉을 계산한 후 인건비 단가를 예산 작성에 적용
 - 책임연구원 73,390천원, 연구원 56,270천원, 연구보조원 37,610천원, 보조원 28,210천원을 적용함
- ☐ 세부 소요예산 내역은 중점추진분야별 연구 내용을 토대로 장비개발이나 현장 실험과 같은 연구비 규모가 커야하는 세부기술에 예산을 추가 배치하였음
- ☐ 기타 항목별 예산은 ‘국토교통부소관 연구개발사업 운영규정’의 ‘별표 2 연구개발비 비목별 계상기준’을 작성기준으로 활용함
- ☐ 간접비는 기관과 학교의 참여를 고려하여 전체예산대비 15%를 기준으로 작성하였음
- ☐ 소요예산은 정부출연금에 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

2. 전체사업 소요예산

가. 총괄 소요예산

〈표 5-5〉 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	3500	1,166.67	3,500	1,166.67	4100	1,366.66	4,100	1,366.66	4,800	1,600	20,000	6,666.66
중점추진분야 1	1300	433.34	1300	433.34	1,600	533.33	1,600	533.33	2200	733.34	8,000	2,666.68
1-1(세부과제)	500	166.67	500	166.67	600	200	600	200	800	266.67	3,000	1,000.01
1-2(세부과제)	800	266.67	800	266.67	1000	333.33	1,000	333.33	1400	466.67	5,000	1,666.67
중점추진분야 2	1,000	333.33	1,000	333.33	1,300	433.33	1,300	433.33	1,400	466.66	6,000	1,999.98
2-1(세부과제)	1,000	333.33	1,000	333.33	1,000	333.33	1,000	333.33	1,000	333.33	5,000	1,666.65
2-2(세부과제)	0	0	0	0	300	100	300	100	400	133.33	1000	333.33
중점추진분야 3	1,200	400	1,200	400	1,200	400	1,200	400	1,200	400	6,000	2,000
3-1(세부과제)	600	200	600	200	600	200	600	200	600	200	3,000	1,000
3-2(세부과제)	600	200	600	200	600	200	600	200	600	200	3,000	1,000

나. 예산 항목별 소요예산

〈표 5-6〉 예산 항목별 소요예산

(단위 : 백만원)

예산 항목	세부 항목	구분						소계	비율
		단가 (연봉)	1차 년도	2차 년도	3차 년도	4차 년도	5차 년도		
인건비	책임 연구원	73.39	350.64	210.65	248.68	299.98	475.48	1,585.43	7.93%
	연구원	56.27	297.37	358.27	426.29	437.96	625.54	2,145.43	10.73%
	연구 보조원	37.61	470.47	344.00	400.46	282.23	348.36	1,845.52	9.23%
	보조원	28.21	153.54	129.06	150.85	116.12	171.54	721.11	3.61%
소계			1,272.03	1,041.95	1,226.25	1,136.32	1,620.92	6,297.47	31.49%
직접비	연구장비/ 재료비	1,106.45	1,348.32	1,588.93	1,646.25	1,574.42	7,264.37	7,264.37	36.32%
	연구활동비	225.21	237.9	271.03	273.79	327.4	1,335.33	1,335.33	6.68%
	과제추진비	204.08	214.01	247.68	257.56	314.21	1,237.54	1,237.54	6.19%
	연구수당	175.32	177.6	202.07	208.03	254.71	1,017.73	1,017.73	5.09%
소계			1,711.08	1,977.83	2,309.71	2,385.62	2,470.75	10,854.99	54.27%
간접비			516.89	480.2	564	578.1	708.31	2,847.5	14.24%
합계			3,500	3,500	4,100	4,100	4,800	20,000	100.00%

*인건비=소요인력(ManPower) × 단가

3. 중점추진분야별 소요예산

가. 중점추진분야 1

<표 5-7> 중점추진분야 1 소요예산

(단위 : 백만원)

예산 항목	세부 항목	구분						소계	비율
		단가 (연봉)	1차 년도	2차 년도	3차 년도	4차 년도	5차 년도		
인건비	책임 연구원	73.39	130.11	72.69	89.46	110.09	220.18	622.53	7.78%
	연구원	56.27	113.05	135.85	167.2	163.18	281.36	860.64	10.76%
	연구 보조원	37.61	191.12	135.04	166.21	90.26	142.92	725.55	9.07%
	보조원	28.21	56.68	48.9	60.18	36.67	73.34	275.77	3.45%
	소계		490.96	392.47	483.04	400.21	717.8	2,484.48	31.06%
직접비	연구장비/ 재료비		343.79	451.57	555.77	621.12	649.36	2,621.61	32.77%
	연구활동비		101.69	110.47	135.97	134.78	185	667.91	8.35%
	과제추진비		83.79	88.19	108.53	113.25	164.4	558.16	6.98%
	연구수당		80.27	83.23	102.43	105.06	145.84	516.83	6.46%
소계			609.55	733.45	902.7	974.21	1144.6	4,364.51	54.56%
간접비			199.49	174.07	214.24	225.6	337.6	1,151	14.39%
합계			1,300	1,300	1,600	1,600	2,200	8,000	100.00%

나. 중점추진분야 2

<표 5-8> 중점추진분야 2 소요예산

(단위 : 백만원)

예산 항목	세부 항목	구분						소계	비율
		단가 (연봉)	1차 년도	2차 년도	3차 년도	4차 년도	5차 년도		
인건비	책임 연구원	73.39	100.43	70.86	92.12	107.33	135.2	505.94	8.43%
	연구원	56.27	79.96	97.02	133.69	152.4	190.72	653.79	10.90%
	연구 보조원	37.61	102.93	84.3	109.59	124.27	127.48	548.57	9.14%
	보조원	28.21	44.54	35.02	45.53	51.95	58.2	235.24	3.92%
	소계		327.87	287.2	380.93	435.95	511.6	1,943.55	32.39%
직접비	연구장비/ 재료비		445.32	479.93	616.34	559.29	570.86	2,671.74	44.53%
	연구활동비		29.64	25.45	33.08	37.93	41.5	167.6	2.79%
	과제추진비		42.95	44.42	57.75	59.37	60.13	264.62	4.41%
	연구수당		20.95	17.55	22.82	24.17	29.33	114.82	1.91%
	소계		538.87	567.36	729.99	680.75	701.83	3,218.8	53.65%
간접비			133.26	145.45	189.08	183.3	186.57	837.66	13.96%
합계			1,000	1,000	1,300	1,300	1,400	6,000	100.00%

〈표 5-8〉 중점추진분야 3 소요예산

(단위 : 백만원)

예산 항목	세부 항목	구분						소계	비율
		단가 (연봉)	1차 년도	2차 년도	3차 년도	4차 년도	5차 년도		
인건비	책임 연구원	73.39	120.1	67.1	67.1	82.56	120.1	456.96	7.62%
	연구원	56.27	104.36	125.4	125.4	122.38	153.46	631	10.52%
	연구 보조원	37.61	176.42	124.66	124.66	67.7	77.96	571.4	9.52%
	보조원	28.21	52.32	45.14	45.14	27.5	40	210.1	3.50%
소계			453.2	362.28	362.28	300.16	391.52	1,869.44	31.16%
직접비	연구장비/ 재료비		317.34	416.82	416.82	465.84	354.2	1,971.02	32.85%
	연구활동비		93.88	101.98	101.98	101.08	100.9	499.82	8.33%
	과제추진비		77.34	81.4	81.4	84.94	89.68	414.76	6.91%
	연구수당		74.1	76.82	76.82	78.8	79.54	386.08	6.43%
소계			562.66	677.02	677.02	730.66	624.32	3,271.68	54.53%
간접비			184.14	160.68	160.68	169.2	184.14	858.84	14.31%
합계			1,200	1,200	1,200	1,200	1,200	6000	100.00%

6장. 사전타당성 검토

1절. 정책적 타당성

□ 국민안전 중점과제 추진계획과의 부합성

○ 관계부처 합동으로 발표된 「국민안전 중점과제 추진계획」에 따르면 “지하공간 안전관리 방안”은 17대 중점과제 중 하나 (출처: 안전관계장관회의, 관계부처 합동, 2016.3.31.)

○ 본 기획 연구단의 기술개발을 통한 정부 정책 실현

○ 지하 콘크리트 구조물의 성능중심 검사,평가 기술 개발을 통해 지하구조물의 안전에 대한 사전대응 체계 마련

○ 공용기간 연장기술 및 성능 예측 기술 개발을 통해 지하구조물의 정량적인 점검기간을 점검주체에 제안하는 의사결정 시스템 제시

□ 지반침하 예방을 위한 지하안전관리 강화 대책 부합성

○ 정부에서는 국토교통부가 중심이 되어 관계장관회의에서 「지반침하 예방을 위한 지하안전관리 강화 대책」을 발표 (출처:국토부, 지하공간 안전관리 강화 대책 마련, 안전 관계장관회의, 2016.08.23)

○ 국토교통 R&D 사업 추진을 통한 정부 정책을 보조

- “노후 하수관 부식, 침식에 대한 점검 및 정밀조사 실시 추진”을 안전관리 강화 대책의 주요 내용 중 하나로 설정

- 본 연구에서는 지하구조물의 부식, 침식을 포함한 지하 콘크리트 구조물의 내구성 및 사용성의 관점에서 성능중심 검사, 평가하는 기술의 개발과 철화화를 수행하여, 지하안전관리 강화 대책을 지원

□ 시설물의 안전관리에 관한 특별법(2018.1 시행)의 보완책

○ 변화된 시설물 안전관리에 관한 특별법

- 시설물 규모에 따라 국민안전처(재난 및 안전관리 기본법·재난법)와 국토부(시특법)로 시설물 안전관리가 이원화되던 것을 국토부 중심으로 일원화

- 재난법상 특정관리대상시설을 시특법상 3종시설물로 편입·신설해 대·중형 시설물 뿐 아니라, 소형 시설물까지 전문가가 안전관리

- 국토부 장관은 국가 시설물이 안전하게 유지관리 될 수 있도록 5년마다 시설물의 안전 및 유지관리 기본계획을 수립하고 이행
 - 시설물 안전관리가 국토교통부에 일원화되고, 국가가 집중 관리하는 중대형 시설물(1·2종)에서 소외됐던 소규모 시설물도 3종 시설물로 편입해 전문가가 안전관리
- 시설물 안전관리를 위한 평가방법에 성능중심 평가기법 적용
- 사회간접자본(SOC) 노후화에 사전 대응하기 위해 현행 안전진단에 내구성과 사용성 등을 추가해 시설물 성능을 종합평가하고, 평가결과를 반영해 유지관리 실시
 - 시설물의 객관적 현황과 장래의 성능 변화를 파악·예측하고, 보수·개량·교체의 최적시기를 결정해 시설물을 건강하게 유지하는 것이 목표
 - 그러나, 본 개정안에서 지하구조물은 제외되어 본 연구과제에서 지하구조물에 대한 성능 중심 평가 기법 개발 및 성능예측 기법 개발을 수행, 시설물의 안전관리에 관한 특별법에 대한 보완책으로 활용 가능

2절. 기술적 타당성

1. 기술개발 계획의 적절성

- ☐ 본 연구 비전 및 목표를 구체적으로 제시
- 본 연구의 비전은 “안전한 도시환경 구축을 위한 지하 콘크리트 구조물 종합성능평가기술 구현”임
- ☐ 비전과 목표 달성을 위한 단계별 연구사업 구성
- 1단계 (핵심기술 개발)
- 지하 콘크리트 구조물의 정량적인 성능 점검·평가 기술 개발
 - 지하 콘크리트 구조물의 성능예측 및 공용기간 연장기술 개발
- 2단계 (실용화 기술 개발)
- 지하 콘크리트 구조물의 종합적인 성능 평가기술 개발

- 지하 콘크리트 구조물의 점검주기 의사결정 지원 시스템 개발
- 지하 콘크리트 구조물의 종합적인 성능회복 기술 개발

☐ 기술수준 및 성공가능성

- 기술개발을 위한 전문인력 보유 정도, 기술 구축정도, 연구시설 및 설비, 기술 투자지원 등은 선진국에 비교하여 다소 부족하지만 5년의 연구기간이면 개발 가능함
- 각 세부과제 관련 전문인력은 선진국 대비 부족하지만 대부분의 분야에서는 국내 연구진들로 기술개발이 가능
 - 현장 테스트베드 등의 인프라 구축은 보유하고 있지 않지만, 국내 관리주체 또는 점검주체의 협의를 거친다면 충분히 성공적인 수행이 가능

2. 기존 사업과의 중복성 검토

- 본 기획과제에서는 기획과정과 자문위원회 검토를 통해 기존 연구와의 중복성을 검토하였으며, 기존 연구와 연계, 활용, 차별화 전략을 제시하여 중복성을 최소화하였음
- 중복성 조사는 1차적으로 NTIS 자료 및 각 부처 R&D 계획 자료를 이용하여 중복가능성이 있는 사업과 과제들을 스크리닝 하였음
- 기획과정에서 전문가 워크숍을 추진하여, 1차 스크리닝 결과에 대해 검토를 하였으며, 기획 타당성 검토 시 제기된 중복과제에 대해 면밀한 검토를 하였음
- ☐ “사물인터넷(IoT) 기반 도시 지하매설물 모니터링 및 관리시스템 기술 개발”
- 위의 과제는 지하구조물을 대상으로 균열, 파손, 침하 등 구조적 성능적 이상 발생을 즉시감지하는 기술로, 본 연구에서는 지하 콘크리트 구조물의 이상 발생 이전 내구성 및 사용성 관점에서의 사전대응적 시각에서의 접근을 하고 있으므로, 차별화된 연구로 평가됨
- ☐ “안전한 지반굴착기술 및 지하수, 지반구조 영향 예측·평가·관리기술 개발 기획”
- 위의 과제는 굴착으로 인한 지반과 지하수에 대한 영향을 검토하고 있으므로, 본 연구에서 지하 환경과 콘크리트 구조물의 열화와 관련된 관점에서의 접근과는 다른 시각이기 때문에 차별화된 연구로 평가됨

〈표 6-1〉 기존연구와의 중복성 검토

연구과제명	주요연구내용	중복성 검토
도심지 지반함몰 저감을 위한 지하매설물 설치 기술 개발 (2014. 12. 29 ~ 2016. 06. 28)	지하매설물 설치기술 분야 연구기획 (하수관거에만 국한하지 않고 7대 매설물 설치에 따른 지반함몰 문제점 분석과 이를 해결하기 위해 개발이 필요한 기술에 대한 기획 수행) -고유동성 채움재 개발 고유동성 채움재 설계, 시공기법 및 시공지침 개발	고유동성 뒤통재 개발이 목적으로 본 사업과 관련이 적음
국토 라이프라인 연구개발사업 기획 (2014. 06. 19 ~ 2015. 06. 18)	-국토 공간 내 기반시설과 이의 연결망으로 구성되는 “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 하는 사업으로 본 사업과 관련이 적음
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 조사기술과 보수기술의 개발이 목적임.
하수관로로 인한 지반침하 방지를 위한 가소성 뒤통재 현장적용기술개발 (2014. 12. 01 ~ 2016. 09 .30)	하수관로 누수 방지, 다짐특성 개선을 위한 가소성 채움재 개발 -가소성 채움재를 이용한 하수관로 뒤통재 다짐특성 평가 및 현장적용 기술개발	하수관로 누수 방지를 위한 뒤통재 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 도시배수시스템 최적구축기술 개발	효율적 하수관거 관리를 위한 자산관리 기술 고도화 사업임. 본 연구사업과 관련이 없음.
사회기반시설 재난예방 및 대응기술 융합플랫폼 (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, 광역교통시설물을 관리하기 위한 신개념 도출이 목적임. 본 연구사업과 관련이 없음.

□ “사회기반시설(SOC)의 성능중심 관리·운영을 위한 한국형 성능등급 산정기술 개발”

- 위의 과제는 사회기반 시설의 성능중심적 관점에서의 관리 운영을 위한 평가기술 개발이라는 점에서는 유사하나, 본 연구에서의 대상 구조물은 지하구조물로 기존과제에서 다루고 있는 사회기반시설과는 노출되어 있는 환경이 전혀 다르기 때문에 차별화된 연구로 평가됨

3절. 경제적 타당성

1. 타당성 평가를 위한 편익 분석 개요

□ 분석 목적

- 경제성 타당성 분석은 본 사업의 경제성, 경제적 파급효과, 과학기술적 파급효과 등을 종합적으로 조사·분석하는 것을 목적으로 함

□ 분석 방법 및 내용

- 경제성 분석을 위해서는 사업 추진에 따른 편익, 그리고 편익 창출을 위해 투입된 사업비 및 운영비에 대한 구체적인 분석이 필요하며, 이는 세부적인 사업계획이 확정되고 해당 계획을 수행하기 위해 소요되는 비용과 그러한 계획이 성공적으로 종료되었을 때 얻을 수 있는 결과물이 가져오는 편익이 명확한 경우에 한하여 가능함
- “지하콘크리트구조물의 성능극대화를 위한 통합유지관리시스템 개발”의 경우 공공시설 개선을 위한 기술개발사업이라는 특수성으로 인해 명확한 편익 추산에 한계가 발생함으로써 경제성 분석에 있어 몇 가지 가정을 설정하여 분석을 실시함
- 비용 및 편익 산정을 위해 기본 가정을 수립하여 정량적인 데이터를 산출하였으며, 비용편익분석에 있어서도 특정 가정을 수립하여 이를 바탕으로 분석을 실시함
- 경제사회적 파급효과 및 과학기술적 파급효과 분석은 기존의 관련자료 및 전문가 의견을 수렴하여 발생 가능한 효과를 정성(Qualitative) 분석 위주로 제시함
- 비용산정 및 편익분석 결과는 “규제영향 분석서 - 시설물의 안전 및 유지

관리에 관한 특별법 시행령 및 시행규칙”에 근거함

□ 기본 가정

- 본 조사의 경제성 분석에 앞에 비용, 편익 추정을 위하여 대상기간 및 사회적 할인율을 다음과 같이 가정함
- 경제성 분석의 대상시설물은 시특별 대상 1,2종 시설물 중 국가기반시설물을 대상으로 함
- 지하콘크리트구조물은 대상구조물의 종류가 특정되는 것이 아니라 대부분의 시특별대상 1,2종 시설물이 포함하고 있는 지하 범위를 포함하는 것으로 시특별이 포함하는 범위의 구조물을 대상으로 함
- 비용산정 조건은 신설되는 성능평가 항목에 대한 비용산정의 대가기준이 마련되어 있지 않아 비용 산정이 곤란하여, 안전점검 및 정밀안전진단 대가 기준을 바탕으로 산정

2. 편익분석

□ 「시설물 안전 및 유지관리에 관한 특별법」 대상 1, 2종 시설물 중 국가기반 시설물 대상

- 기존 안전점검 및 정밀안전진단 대비 노후화에 따른 유지관리 강화 및 효율적 유지관리 방안 마련이 요구되는 시특별 대상 1, 2종 시설물 83,031개소 중 사회기반시설(이하 ‘SOC’ 라 한다.) 16,170개를 성능평가 대상으로 설정

〈표 6-2〉 시설물 별 정밀점검 및 성능평가 현황

구분	정밀점검 및 정밀안전진단		성능평가	
	1종	2종	1종	2종
교량	4,232	6,558	2,903	3,938
터널	1,550	1,786	689	973
댐	78	338	18	0
항만	109	503	85	0
상수도	397	53,056	56	0
하천	541	4,614	319	2,227
건축물	2,040	1,394	4	8
옹벽	0	2,154	0	1,089
절토사면	0	3,650	0	3,861
소계	8,947	74,053	4,074	12,096
합계	83,000		16,170	

[출처] 시설물 정보관리 종합시스템(FMS, 2017.4 기준)

* 사회기반시설 회계처리지침 대상 1,2종 시설물 = SOC

〈표 6-3〉 등급별 실시주기

안전등급	정밀점검		정밀안전진단	성능평가
	건축물	그 외 시설물	1종	1,2종
A등급	4년에 1회 이상	3년에 1회 이상	6년에 1회 이상	5년에 1회 이상
B·C등급	3년에 1회 이상	2년에 1회 이상	5년에 1회 이상	
D·E등급	2년에 1회 이상	1년에 1회 이상	4년에 1회 이상	

* 시설물 안전 및 유지관리에 관한 특별법 개정(안)(‘17.1.17)

□ 비용산정 조건

- 시설물의 안전점검 및 정밀안전진단 실시 등에 관한 지침(국토교통부고시 제2016-807호, 2016.12.6.)」 안전점검 및 정밀안전진단 대가기준을 바탕으로 산정
- 신설되는 성능평가 비용산정에 대한 대가기준이 마련되어 있지 않아 비용산정이 곤란함
- 성능평가는 안전점검 및 정밀안전진단을 포함하여 실시함
- 기존 안전점검 및 정밀안전진단 : 상태 + 안전성
- 성능평가 : 상태안전성 + 구조안전성 + 내구성 + 사용성
- 현 대상시설물에 대해 사용성평가를 실시할 경우 추가 소요비용을 기존 안전점검·정밀안전진단 비용의 10% 수준으로 가정

□ 안전관리 비용

〈표 6-4〉 5년간 안전관리 시장 현황

연도	종별	정밀점검		정밀안전진단		합계	
		시설물수	금액 (백만원)	시설물수	금액 (백만원)	시설물수	금액 (백만원)
2012	1종	1,466	18,012	889	77,528	2,355	95,540
	2종	2,534	21,459	83	4,798	2,617	26,257
2013	1종	1,318	29,816	987	82,370	2,305	112,186
	2종	3,352	33,816	79	3,490	3,431	37,306
2014	1종	1,569	21,707	859	69,489	2,428	91,196
	2종	3,943	41,011	84	3,802	4,027	44,813
2015	1종	1,858	34,237	1,134	77,192	2,992	111,429
	2종	4,683	56,098	112	6,154	4,795	62,252
2016	1종	1,702	37,504	970	66,561	2,672	104,065
	2종	4,911	45,379	156	9,431	5,067	54,810
평균	1종	1,583	28,255	970	74,628	2,553	102,883
	2종	3,885	39,553	103	5,415	3,988	44,968

[출처] 시설물 정보관리 종합시스템(FMS, 2017.4 기준)

□ 비용산정

- 현 대상시설물에 대해 사용성평가를 실시할 경우 추가 소요비용을 기존 안전점검·정밀안전진단 비용의 10% 수준으로 가정

〈표 6-5〉 비용산정 결과

구 분	직접비용 (백만원)	직접비용 (현재가치) (백만원)
1년차(2018년)	9,768	9,768
2년차	10,306	9,790
3년차	10,872	9,785
4년차	11,470	9,865
5년차	12,101	9,802
6년차	12,767	9,830
7년차	13,469	9,832
8년차	14,210	9,805
9년차	14,991	9,894
10년차	15,816	9,806
합계		98,177

□ 기존 유지관리 비용

〈표 6-6〉 5년간 유지관리 시장 현황

연도	종별	유지관리	
		시설물수	금액 (백만원)
2012	1종	956	19,881,777
	2종	1,615	23,787,000
2013	1종	960	2,345,895
	2종	1,860	15,279,792
2014	1종	884	3,336,263
	2종	2,543	2,083,853
2015	1종	941	5,330,422
	2종	2,295	3,591,219
2016	1종	746	318,823
	2종	1,581	571,944
평균	1종	897	6,242,636
	2종	1,979	9,062,762

[출처] 시설물 정보관리 종합시스템(FMS, 2017.4 기준)

□ 편익산정

〈표 6-7〉 연간 유지관리 편익비용 추정

구 분	유지관리비용 (백만원)	절감율	편익비용 (백만원)	편익비용 (현재가치) (백만원)
1년차(2018년)	2,410,521	2%	48,210	48,210
2년차	2,543,100		50,862	48,319
3년차	2,682,970		53,659	48,293
4년차	2,830,534		56,611	48,685
5년차	2,986,213		59,724	48,377
6년차	3,150,455		63,009	48,517
7년차	3,323,730		66,475	48,526
8년차	3,506,535		70,131	48,390
9년차	3,699,395		73,988	48,832
10년차	3,902,861		78,057	48,395
합계				484,546

〈표 6-8〉 순 비용분석

구 분	직접비용 (현재가치) (백만원)	편익비용 (현재가치) (백만원)	순비용 (현재가치) (백만원)	B/C
1년차(2018년)	9,768	48,210	(38,442)	4.94
2년차	9,790	48,319	(38,529)	4.94
3년차	9,785	48,293	(38,508)	4.94
4년차	9,865	48,685	(38,821)	4.94
5년차	9,802	48,377	(38,575)	4.94
6년차	9,830	48,517	(38,687)	4.94
7년차	9,832	48,526	(38,694)	4.94
8년차	9,805	48,390	(38,585)	4.94
9년차	9,894	48,832	(38,938)	4.94
10년차	9,806	48,395	(38,590)	4.94
합계	98,177	484,546	(386,367)	4.94

□ 산정방법

- 성능평가 도입에 대한 편익 비용 분석을 위해 연간 유지관리 비용을 고려하여 간접비용 추정

- 시설물 유지관리 방식을 사후·대응적 유지관리에서 예방보전적 유지관리로 전환할 경우 30년간 68.8%의 유지관리비용 절감 예상 → 연간 2% 편익 설정
- 연간 편익비용은 연간 유지관리 비용을 적용하여 아래의 식으로 비용규모 추정

$$\text{연간 편익비용} = \text{연간 유지관리 비용} \times 2\%$$

□ 편익 및 비용 분석

- 정부 투자를 고려한 동 연구단의 총 소요예산은 200.0억원임
- 비용은 동 연구단을 구성하는 1-3세부과제의 향후 5년간 예산(안)으로 정부 출연금과 민간참여금의 합한 금액의 현재가치로 산정함
- 상기 표6-5 ~ 표6-8에 산정된 유지관리 비용 중 직접비용의 경우, 지상구조물을 대상으로 한 직접비용의 산출 결과를 차용함
- 지하구조물에 대한 기준으로 검토한다면, 1장에서 언급한 지하구조물의 면적과 연장을 기준으로 상당히 많은 지하구조물들이 매설되어있음을 고려해야함
- 지하구조물의 진단, 유지·보수 비용이 지상구조물과 비교해 전문인력과 장비의 필요, 굴착 및 매립시 직/간접적인 영향을 고려하여, 직접비용은 상기 표 6-5에서 산출한 지상구조물 직접비용의 약 2.5~3.5배 정도의 규모가 될 것으로 가정이 필요함
- 편익비용의 경우에는, 연간 유지관리 편익 비용의 절감율은 기존 근거자료(동경도 건설국, 2009)의 자료에 근거해서 동일하게 2%로 산정하여, 편익비용이 유사하다고 가정함
- 따라서 직접비용은 98,177백만원 기준, 245,442백만원(2.5배), 343,620백만원(3.5배)의 범위를 갖는다고 가정하여 B/C ratio는 1.41~1.97의 범위를 갖게 되며, 보수적인 관점에서 1.41의 B/C ratio로 봐도 경제성이 있다고 판단되어짐
- 최종적으로, 본 연구사업의 소요예산인 정부출연금 기준 200억원은 평균 B/C ratio 기준으로 1.41~1.97의 범위로 환산할 경우, 282억원 ~ 394억원의 편익을 확보할 수 있을 것으로 예상함

7장. 과제 제안요구서 작성 및 평가기준 설정

1절. 과제 제안요구서(RFP)

1. 연구단 제안요구서(RFP)

연구단명	지하콘크리트 구조물 성능극대화를 위한 통합유지관리 시스템 개발
1. 연구개발 목표	○ “성능중심 평가 기법 및 성능회복 예측 기법”을 반영한 지하 콘크리트 구조물의 점검주기를 포함한 유지관리 의사결정 시스템 개발 ○ 지하 콘크리트 구조물의 성능중심 평가지표, 평가기법의 개발 및 표준화 ○ 지하 콘크리트 구조물의 성능회복, 공용기간 예측기술 개발
2. 연구개발 필요성 및 기술동향	
□ 연구개발의 필요성	○ 국민이 안심할 수 있는 안전한 생활환경 조성 － 1970년대 경제성장과 더불어 급증한 SOC가 급속히 노후화됨에 따라 안전 확보와 함께 지속가능한 유지관리가 요구됨 ○ 지반함몰사고의 원인 중 다수는 지하 콘크리트 구조물 － 70~80년대 급속한 경제성장에 따른 저품질의 지하 콘크리트 매설 － 지하 콘크리트 구조물이 지속적인 열화에 의해 한계수명에 도달 － 매립된 지하 콘크리트 인근의 환경변화(특수 지장물의 설치 등) － 동결방지용 제설제 살포 등의 화학 물질의 누적 － 기 설계된 성능 이상의 하중부하(상재하중의 변화, 우수/하수의 과밀 등) ○ 지하 콘크리트 구조물의 위치 및 환경에 따른 성능저하 메커니즘 － 지하 콘크리트 구조물은 도심지, 해안가, 산악지 등 다양한 지형에 위치 － 다양한 위치에 놓여있으며, 토양, 지반, 지하수, 우수 등 다양한 환경에 접하고 있음 따라서 공간 및 열화인자에 대한 분류화가 필요 － 공간, 위치 및 열화인자 등의 다양한 성능저하 요인에 따른 지하 콘크리트 구조물의 성능평가 기법의 개발이 필요 － 다양한 위치 및 메커니즘에 따른 성능평가 및 성능회복에 대한 기술 개발이 필요하며, 성능 평가, 성능 회복으로 인한 성능예측에 대한 종합적인 평가방법이 필요 ○ 지반침하 및 함몰 안전관리를 위한 지하 콘크리트 구조물 평가 대책 필요 － 특히 지반함몰사고의 경우 그 원인에 대해서 지반함몰이 아닐 경우, 다양한 지하구조물을 원인으로 파악하고 있으며, 원인을 알 수 없는 다양한 지하 구조물이 지반함몰 및 도시안전에 위협을 가한다는 사실을 확인할 수 있음 － 지반 함몰에 대한 대책으로 지하정보를 3D 기반으로 통합구축, 지층구조,

□ 기술동향	지반특성 평가를 하지만, 실제 가장 큰 원인인 지하에 매설/매립된 콘크리트 구조물의 상태는 알 수 없음 - 지반탐사반의 운영을 통해 노후 상수도관에 대한 정밀조사를 진행할 예정이지만 실제 지하 콘크리트 구조물의 성능을 평가하는 Tool을 마련되어 있지 않기 때문에 반쪽 점검이 될 수밖에 없음 - 다양한 열화요인에 따른 지하 콘크리트 구조물의 사고방지 대책 마련이 시급함 ○국가 안전 정책을 뒷받침할 과학적이고 검증적인 연구 필요 - 시특법상 시설물 7만1109개 중 준공 후 30년이상 SOC는 2292개로 전체 SOC(2만1878개)의 10.5% 수준이지만 10년 후 23.96%(5241개)로 늘어날 것이 예상됨(지하구조물은 비포함되어 사각지대에 존재). - 시설물의 안전관리에 관한 특별법(시특법) 2017년 개정안에는 국토부 장관은 국가 시설물이 안전하게 유지관리 될 수 있도록 5년마다 시설물의 안전 및 유지관리 기본계획을 수립하고 이행함. - 개정안에는 도로, 철도, 항만, 댐 등 대통령령으로 정하는 시설물은 성능평가를 하도록 규정되어 있지만, 공항 및 일부구조물을 제외한 지하구조물은 개정안에서 제외된 실정임 - 지하구조물의 특수한 지하노출환경을 반영한 전문적인 유지관리가 필요하지만, 지하구조물의 내구성, 사용성을 반영한 정량적 성능평가, 정책제언, 표준화 추진 등의 정량적인 지하구조물 성능 평가 연구는 아직 미흡한 실정임 - 지하 콘크리트구조물의 성능평가를 토대로 설계단계에서 설정한 사용목적, 기능 및 성능을 반영한 시설물의 현상태를 객관적·정량적으로 평가할 수 있는 방향으로 유도할 수 있는 기술 개발이 필요함 ○지하구조물 안전관리주체의 의사결정을 지원할 체계적인 지원시스템 필요 - 관리주체에게 시설물관리계획 수립과 안전점검 의무와 안전조치를 취할 수 있는 권한이 부여됨 - 시장군수와 구청장 등은 민간관리주체 소관 시설물은 시설물관리계획 이행에 대해 연 1회 이상 실태점검 실시 의무화 - 정량화된 점검 기법, 표준을 근간으로 수행한 점검결과를 활용하여 지하구조물의 성능을 예측, 예측결과를 바탕으로 안전관리 주체의 의사결정을 체계적으로 지원하는 시스템이 필요 - 지하 콘크리트구조물의 성능극대화를 위한 통합유지관리는 구조적 안전은 물론 성능유지 및 향상, 감가상각 등을 고려하는 종합적 비용편익 분석을 통해 한정된 재정을 효율적으로 투자할 수 있는 근거 확보를 위한 성능평가체계 마련이 시급 ○지하시설물 통합정보시스템 - 지하시설물 통합정보시스템은 상, 하수도 등 16개 기관에서 개별적으로 관리하던 6종(상수도, 하수도, 전기, 통신, 가스, 난방) 시설물 48,472km의 데이터를 체계적 관리와 안전사고 예방을 위해 통합 구축하여 2003년부터 웹서비스 중에 있음 - 각종 도로굴착 공사에서 효율적 굴착 계획을 수립하기 위한 기본 정보를

제공하며, 공사가 진행되는 도중에 지하시설물의 상태를 파악할 수 있도록 도와줘 지하시설물이 손상되는 것을 방지함 - 지하시설물 안전사고 예방 및 점검에 기초 정보로 활용되고 사고 발생시에는 신속히 조치할 수 있도록 정보를 얻는데 활용할 수 있음 ○Risk Map 기반 SOC 통합 플랫폼 구축 기술 - 재해재난 이력 등에 대한 시설물별 위험도 지도 구축 분야(B)에서의 세부 기술별 추세선을 통한 출원증가를 분석을 살펴보면, 전체적으로 증가하고 있는 추세를 나타내고 있으며, 재난 관리 기반 시설물 DB 구축 및 위험도 평가 기술(BA)에서는 한국이, 실시간 재난관리 위험도 지도 구축 기술(BB)에서는 일본이 특허출원건수 면에서는 다소 영향력이 있는 편임 - 재해재난 이력 등에 대한 시설물별 위험도 지도 구축 분야에서의 기술순환주기(TCT)를 살펴보면, 실시간 재난관리 위험도 지도 구축 기술(BB)에서 이전구간 대비 최근구간에서 기술순환주기가 4년 감소하는 것을 알 수 있음 ○상·하수관로 감시 기술 - 상수도관로는 지하체를 중심으로 통합관리를 통해 유지관리하고 있으나, 시설물의 노후화와 관리기술의 한계가 있음. 최근 국내에서 누수감지 정확도가 90% 이상이고, 이동변위 10cm 이상인 경우를 감지할 수 있는 상수도관로 누수 및 위치변위 탐지장치를 개발하고 있으며, 이를 이용하여 누수 및 관로의 위치변화를 해석하고 상수도관로의 이상 유무와 관로 주변 지반의 안정성을 예측하기 위한 시스템 개발이 추진되고 있음 - 하수관로의 경우 상수도관로와 다르게 광역시 단위의 통합시스템이 요구되지 않음. 최근 국내에서 200만 화소 이상의 고해상도 정적 이미지를 촬영하는 시스템 및 관로 내 위치 인식 장치를 개발하여 이미지 촬영시간 및 장치의 위치를 동기화할 수 있는 시스템을 개발하고 있음 - 측정된 위치정보와 이미지 정보를 이미지 프로세싱하여 결합하고 다수의 정적이미지를 하나의 프로파일 이미지로 변환하여 DB에 저장하여 이를 통해 하수관로의 손상, 연결부 단차, 접속부 주변의 수밀성 등을 분석하고 하수관로 주변 지반에 발생할 수 있는 공동을 파악할 수 있는 시스템이 개발 중임 - 하수관로 배면 공동 분석 시스템은 하수관로 내부에서 공동과 최대한 접근하여 조사를 수행함으로써 탐지의 신뢰성을 높이기 위한 기술로, 최적의 조사 방법을 선정하고 다양한 조사 조건에 따른 복합 조사 및 분석기법으로 구성될 시스템의 성능 목표는 하수관 배면 1m 이내의 구간에서 탐지 신뢰성 80% 이상을 확보하는 것이며, 관내조사가 용이하도록 관경 600mm 이하의 공간에서 활용이 가능한 탐지장치의 소형화, 경량화 기술개발이 추진되고 있음 - 확정된 공동의 유무 및 규모에 대한 정보는 하수관로 배면 거동 예측 시스템을 통해 지반침하 위험도를 평가함	
3. 연구개발 내용	
◎ 1세부 : 지하 콘크리트 구조물 성능관리 의사결정 시스템 개발 1-1세세부 지하 콘크리트 구조물 종합성능 관리체계 구축 기술 개발 지하 콘크리트 구조물의 종합성능등급 산정기법 개발	

- 지하 콘크리트 구조물의 종합성능 평가 체계구축
- 종합성능 평가체계 전문가 검증 및 실무적합성 평가를 통한 적정성 검토
- 지하구조물 손상 시나리오 개발 및 가상 시뮬레이션 평가, 개선(안) 도출
- 지하 콘크리트 구조물 종합 성능관리 매뉴얼 개발

1-2세세부 성능관리 의사결정 시스템 구축 및 시험적용 추진

- 지하 콘크리트 구조물의 성능평가 및 예측 자료가 반영된 통계학적 모형화 기법 개발
- 모형화 기법을 활용한 최적점검주기 의사결정 모델 개발
- Optimization 기술을 활용한 환경인자, 손상영향이 적용된 사회적비용 산정 기술 개발
- Recommender System 기법을 활용한 지하 콘크리트 구조물의 종합성능과 경제성이 반영된 최적 점검주기 산정체계 구축
- 지하 콘크리트 구조물 성능 검사/평가/예측을 위한 테스트베드 구축 및 시험 적용 (1,2,3세부 연구결과 종합)
- 테스트베드 적용 결과 피드백 및 보완

○ 2세부 : 지하 콘크리트 구조물 성능 검사·평가 기술개발 및 절차화

2-1 세세부 : 지하 콘크리트 구조물 영향인자 검사·평가기술 개발

- 지하 콘크리트 구조물 주변의 내구성 및 사용성 영향인자 도출 및 검사 기술 개발
- 지하수위 관측 기존 기술 검토 및 적용기술 개발
- 지하수위 및 지반을 고려한 위험도 등급화 기술 개발
- 지상환경을 고려한 지하환경 추정 기술 개발
- Virtual Reality 기술을 활용한 지하 콘크리트 구조물의 이상징후 검출 기술 개발
- 지하수위 및 지하수 성분의 지하 콘크리트 구조물에 대한 영향 평가 기술 개발
- 지반 및 지질의 지하 콘크리트 구조물 영향 평가 기술 개발
- 지하환경(지반상태, 지하수위, 지하수 성분, 토양성분 등)이 지하 콘크리트 구조물에 미치는 영향에 대한 평가 등급화 기술 개발

2-2 세세부 : 지하 콘크리트 구조물 성능 검사·평가에 대한 제도화 전략 수립

- 지하 콘크리트 구조물에 미치는 지하환경에 대한 검사/평가 절차 개발
- 지하 콘크리트 구조물의 노후화 검사/평가 절차 개발
- 지하 콘크리트 구조물의 성능평가 기반 유지관리 절차서 개발
- 지하 콘크리트 구조물의 성능 검사/평가에 대한 제도화(안) 마련

○ 3세부 : 지하 콘크리트 구조물의 공용기간 예측기술 개발

3-1 세세부 : 환경평가 기반 미래성능 예측 기술 개발

- 노출 환경기반(화학적 침식, 철근부식, 염해, 탄산화 등) 지하 콘크리트 구조물의 성능저하 원인 분석 기술 개발
- 손상 수준 맞춤형 지하구조물 성능 예측 절차 개발
- 지하 콘크리트 구조물의 열화환경별 내구성능 예측 기술 개발
- 지하환경 변화 추세에 따른 미래 지하환경 예측 기술 개발
- 미래 지하환경 예측 기술을 반영한 지하 콘크리트 구조물의 미래성능 예측기술 개발
- 열화환경별 유지보수를 통한 지하 콘크리트 구조물의 성능예측 기술 개발

3-2 세세부 : 지하 콘크리트 구조물 성능회복을 위한 최적 기술 개발

- 손상 원인 맞춤형 지하구조물의 성능회복을 위한 보수 및 유지관리 기술 개발
- 이상 징후 발생에 따른 지하환경 최적화 긴급 성능회복 기술 개발

- 성능회복 전후의 평가 정량화 및 효과 분석 기술 개발
- 성능회복 전후의 효과분석 표준 절차 개발
- 지하 콘크리트 구조물의 성능회복 매뉴얼 개발

4. 연구개발 추진방법

- ☐ 추진전략
 - 연구성과의 성공률 극대화를 위한 전략 수립
 - 연구내용, 개발기술, 성과물간 연계가 표출되는 기술개발 및 성과 로드맵 수립
 - 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 다양한 방법에 의한 기술수요처의 연구 참여를 적극적으로 고려
 - End-User를 고려한 현장 적용성을 향상시킨 기술서비스 제공 고려
 - 연구 종료 후 개발결과물의 지속적인 활용을 위하여 이해당사자가 아닌 정부(지자체) 또는 위탁기관에서 시스템을 지속적으로 운영 및 관리할 수 있는 방안을 제시
 - 현재 활용중인 구조물 관리 시스템에 대한 유지관리 기능의 업그레이드를 위한 연구로, 주요 지하콘크리트구조물에 대하여 사용성, 기능성, 안전성, LCC 개념 등을 모두 종합한 성능등급을 산출하는 프로세스 및 매뉴얼 개발 추진
 - 구조물특성에 맞춘 전문가 pool 구성
 - 주요 구조물군별 전문가로 구성하여 연구를 추진하고, 구조물 관리주체 (국토부, 지자체 등) 소속의 전문가를 참여 유도
 - 새로운 기술 개발 측면보다는 기 구축 데이터베이스 및 기 개발 기술을 활용하여 유지관리 프로세스 개발을 우선적으로 추진 연구개발 내용별로 기존 수립과 실용화 개발로 분류하여 목표 수준 수립
 - 지하 콘크리트구조물의 주변 환경 기반 상태등급 산정, 내구성 평가, 사용성 및 기능성 평가 전문가를 활용한 체계적인 구조물 유지관리 프로세스를 진행하여 최종적으로 지하 콘크리트구조물의 성능극대화 기술의 제도 정착 추진
 - 관련부처의 공감대 형성을 통한 추진력 확보를 위하여 설명회 및 관계부처 의견수렴 등의 사회과학적 연구와 연구기간 중 관련 기관에 대한 교육 등을 필요시 포함하여 추진(전략로드맵 내용 검토 포함)
 - 개발된 프로세스를 통해 도출된 종합등급의 의미 및 개념을 명확히 확립하고, 국가적 유지관리정책 차원에서의 활용방안 및 마스터플랜을 구체적으로 제시
- ☐ 추진체계
 - 실용화를 목적으로 산·학·연 공동연구 조직 구성
 - 출연연, 대학, 기업(필요시) 등이 참여하여 지하 구조물 성능등급 산정을

위한 기반기술, 검증까지 연계되는 추진체계 구성

- 국내외 관련기관 네트워크 활용 및 국제교류를 통한 연구동향 조사 및 연구방향 검증
- 전문가를 활용한 체계적인 진행을 통하여 최종적으로 지하구조물 성능평가 프로세스 개발 추진
- 각계 전문가 자문단을 구성하여, 연구개발의 기술적·경제적 보완 사항에 대한 자문(필요시 외국 전문가 또는 외국기관 활용)
- 국내 · 외 구조물별 상태등급 산정, 내구성 평가, 사용성 및 기능성 평가 내용의 모니터링 시스템 반영
- 현재 구조물의 상태등급을 산정하는 전문기관과의 업무 조율을 통해 기존 정책, 업무진행체계와의 괴리감 발생을 최소화
- 구조물별 상태등급 및 내구성 평가 절차의 반영과 사용자 입장에서의 쉽게 이해 가능한 전문적 의견 전달 기능 확보
- 본 연구는 원천기술과 실용화/상용화 기술의 융합과제인 바, 산학연을 중심으로 컨소시엄을 구성하여 과제를 진행하되, 국제적으로 우수한 기술 개발 가능성이 있는 분야에 대해서는 국제공동연구 형태의 추진이 필요하며, 관 중심의 자문위원단이 병행되어 운영되어야 함
- 개발 예정 핵심요소기술은 국내뿐만 아니라 국외 수출을 목표로 하는 바, 개발 내용에 대한 표준화를 연구 초기단계에서부터 검토하고, 기설정된 국제 표준코드를 반영하도록 하며, 표준화 제정이 되어 있지 않은 부분에 대해서는 국제표준화를 유도하여 국제적인 기술 선도가 이루어지도록 수행되어야 함
- 필요시 외국 전문가 또는 외국기관 활용
- 연구신청자는 과다한 기관수의 참여 및 연구계획 편성으로 인한 추진체계의 비효율성을 최대한 지양하고, 반드시 필요한 기관으로만 구성하여 연구추진의 효율성을 도모할 것
- 특히 개발기술 성과의 객관적 평가 및 증빙, 그리고 제도적 정착을 위한 정부출연기관, 첨단기술을 기반으로 한 실용화 기법 개발을 위한 기업도 참여하여 실증적 연구결과를 낼 수 있도록 추진체계 구성
- 실용화 측면, 국외 기술 수출 등의 실현을 위하여 관련 기술 수행 유경험 인적 네트워크의 구성

5. 최종성과물

- ☐ 주요 최종성과물

성과물	성과물 유형	성과지표
◎ 1세부 : 지하 콘크리트 구조물 성능관리 의사결정 시스템 개발		
- 지하 콘크리트 구조물의 종합성능등급 산정기법	매뉴얼	- 종합산정등급 신뢰도 95% 이상 확보
- 지하 콘크리트 구조물 종합 성능관리 매뉴얼	매뉴얼	- 성능관리 매뉴얼 제시
- 모형화 기법을 활용한 최적점검주기 의사결정 모델	프로그램 (S/W)	- 수치해석 검증을 통한 최적점검주기 정확도 90% 이상 확보
- Optimization 기술을 활용한 환경인자, 손상영향이 적용된 사회적 비용 산정 기술 개발	프로그램 (S/W)	- 사회적 비용 산정 평가 신뢰도 95% 확보
- Recommender System 기법을 활용한 지하 콘크리트 구조물의 종합성능과 경제성이 반영된 최적 점검주기 산정체계 구축	프로그램 (S/W)	- 최적 점검주기 제시 및 대안 확보
- 지하 콘크리트 구조물 성능 검사/평가/예측을 위한 테스트베드 구축 및 시험 적용	테스트 베드	- 1,2,3세부 성과 종합 평가 검증 확보
◎ 2세부 : 지하 콘크리트 구조물 성능 검사·평가 기술개발 및 절차화		
- 지상환경을 고려한 지하환경 추정 기술	특허, 장치	- 환경 예측 신뢰도 95% 확보
- Virtual Reality 기술을 활용한 지하 콘크리트 구조물의 이상징후 검출 기술	특허, 장치	- 기술수준 선진국 대비 90% 확보
- 지하 콘크리트 구조물의 성능평가 기반 유지관리 절차서	매뉴얼	- 지하구조물 유지관리 절차서 제시
- 지하 콘크리트 구조물의 성능 검사/평가에 대한 제도화(안) 마련	매뉴얼	- 성능 검사/평가 절차서 제시
◎ 3세부 : 지하 콘크리트 구조물의 공용기간 예측기술 개발		
- 열화환경별 유지보수를 통한 지하 콘크리트 구조물의 성능예측 기술 개발	시작품	- 열화환경별 성능예측 알고리즘 제시
- 손상 원인 맞춤형 지하구조물의 성능회복을 위한 보수 및 유지관리 기술 개발	시작품	- 손상 원인 맞춤형 성능회복 보수 시작품 제시
- 이상 징후 발생에 따른 지하환경 최적화 긴급 성능회복 기술 개발	시작품	- 긴급 성능 회복 시작품 제시
- 지하 콘크리트 구조물의 성능회복 매뉴얼 개발	매뉴얼	- 성능회복 매뉴얼 제시

6. 연구기간 및 자원예산

- ☐ 전 체
- 총 연구기간 : 2018. 5~2023. 4(5년)
 - 1차년도 연구기간 : 2018. 5 ~ 2019. 4 (12개월)
 - 총 정부출연금 : 20,000백만원 이내
 - 1차년도 정부출연금 : 3,500백만원 이내

	※ 정부출연금은 선정평가 결과, 정부예산사정 등에 따라 조정될 수 있음 ※ 기업참여시 기업부담금은 연차별로 “국토교통부소관 연구개발사업 운영규정”의 기준을 따르되, 추가 부담 가능 ※ 세부과제별로 기업부담금 비율 준수
7. 기 타	○ 본 과제의 보안등급은 “일반 과제” 임 ○ 연구개발계획서는 과제제안요구서에 제시된 연구내용을 참고하여 작성하되, 과제 목적 달성을 위해 반드시 필요하다고 판단되는 경우에는 일부 세부내용을 가감할 수 있으나, 그 사유와 근거를 명확히 제시하여야 함 ○ 기 수행하였거나 현재 수행중인 유사과제와 연구내용이 중복되지 않도록 연구개발계획서를 작성하여야 함 － 공모과제와 관련하여 기 수행되었거나 현재 수행중인 과제의 연구개발결과물과의 구체적인 연계·통합 및 활용방안을 연구계획에 포함 ※ www.kaia.re.kr 열린정보, http://rndgate.ntis.go.kr의 유사과제목록 참조 － 제안된 연구내용이 타 유사과제와 연구방법이나 목표 등에서 차별화되는 경우에는 포함하여도 무방하되, 그 근거를 명확히 해야 함 ※ 연구개발 수행 도중 과제의 중복성이 사후에 발견되거나 연구개발목표가 다른 연구개발에 의하여 성취되어 연구개발을 계속할 필요성이 없어진 때에는 협약을 해약할 수 있음 ○ 연구 착수시점 현황과 개발종료 후의 대비가 가능하도록 세부과제별로 As-Is와 To-Be를 구체화·시각화하여 제시 ○ 연구개발계획서에 세부과제간 연구내용 및 성과의 연계/활용을 위한 전략 제시 － 전체 개발기술과 성과물간의 유기적 연계를 파악할 수 있는 체계 제시 ※ (예시) 개발기술 상호간, 성과물 상호간, 개발기술-성과물간 연계성 － 과학기술적 성과물을 포함하여 최종성과물을 구체화하여 제시 ○ 연구신청자는 연구개발 성과목표(성과지표/달성목표치/가중치) 및 사업수행(일정)계획과 이에 대한 관리계획 등을 연구개발계획서에 제시 － 개발된 기술 및 성과물의 목표수준 달성도를 확인할 수 있는 구체적인 방안을 제시 ※ 과제선정 후 진도점검·관리 및 성과평가 등의 근거자료로 활용 － 제시한 성과지표는 사전검토, 선정평가를 통해 조정(추가) 가능 ○ 참여기업은 참여하고자 하는 과제와 관련된 연구 또는 사업 수행실적이 있고, 과제추진시 역할(자료·기술조사 또는 제공, 시험시공 현장제공 등)이 명확하여야 하며 연구개발결과를 직접 활용하고자 하는 기업에 한함 ○ 국제공동연구 또는 전문가 활용방안 － 필요시 관련 기술 해외 선도기관과의 공동연구 추진방안 및 전문가 활용계획을 연구계획에 포함 ○ 추후 연구개발계획 등은 수정·보완될 수 있으며, 이에 따라 과제내 특정 기술개발에 대한 추진방식 등이 변경될 수 있음 － 본 과제의 연구기간은 추후 협약시 변경될 수 있음 － 전문기관은 필요시 선정된 주관연구기관(주관연구책임자)과 협의를 거쳐 연구개발계획서의 수정·보완(연구목표, 내용 및 범위 등을 구체화·명확화)할 수 있음 － 연구추진과정에서 관련기술 환경변화에 따라 연구내용(연구비 포함)이 조정될 수 있음

2. 1세부과제 제안요구서(RFP)

세부과제명	지하 콘크리트 구조물 성능관리 의사결정 시스템 개발
1. 연구개발 목표	○ “성능중심 평가 기법 및 성능회복 예측 기법”을 반영한 지하 콘크리트 구조물의 점검주기를 포함한 유지관리 의사결정 시스템 개발 ○ 지하 콘크리트 구조물의 종합성능등급 산정기법 및 종합 성능관리 매뉴얼 개발 ○ 지하 콘크리트 구조물의 성능평가 및 예측자료가 반영된 통계학적 모형과 기법을 활용한 최적점검주기 의사결정 체계 개발
2. 연구개발 필요성 및 기술동향	○ 지하구조물 안전관리주체의 의사결정을 지원할 체계적인 지원시스템 필요 － 관리주체에게 시설물관리계획 수립과 안전점검 의무와 안전조치를 취할 수 있는 권한이 부여됨 － 시장군수와 구청장 등은 민간관리주체 소관 시설물은 시설물관리계획 이행에 대해 연 1회 이상 실태점검 실시 의무화 － 정량화된 점검 기법, 표준을 근간으로 수행한 점검결과를 활용하여 지하구조물의 성능을 예측, 예측결과를 바탕으로 안전관리 주체의 의사결정을 체계적으로 지원하는 시스템이 필요 － 지하 콘크리트구조물의 성능극대화를 위한 통합유지관리는 구조적 안전은 물론 성능유지 및 향상, 감가상각 등을 고려하는 종합적 비용편익 분석을 통해 한정된 재정을 효율적으로 투자할 수 있는 근거 확보를 위한 성능평가체계 마련이 시급 ○ 지하시설물 통합정보시스템 － 지하시설물 통합정보시스템은 상, 하수도 등 16개 기관에서 개별적으로 관리하던 6종(상수도, 하수도, 전기, 통신, 가스, 난방) 시설물 48,472km의 데이터를 체계적 관리와 안전사고 예방을 위해 통합 구축하여 2003년부터 웹 서비스 중에 있음 － 각종 도로굴착 공사에서 효율적 굴착 계획을 수립하기 위한 기본 정보를 제공하며, 공사가 진행되는 도중에 지하시설물의 상태를 파악할 수 있도록 도와줘 지하시설물이 손상되는 것을 방지함 － 지하시설물 안전사고 예방 및 점검에 기초 정보로 활용되고 사고 발생시에는 신속히 조치할 수 있도록 정보를 얻는데 활용할 수 있음 ○ Risk Map 기반 SOC 통합 플랫폼 구축 기술 － 재해재난 이력 등에 대한 시설물별 위험도 지도 구축 분야(B)에서의 세부 기술별 추세선을 통한 출원증가율 분석을 살펴보면, 전체적으로 증가하고 있는 추세를 나타내고 있으며, 재난 관리 기반 시설물 DB 구축 및 위험도 평가 기술(BA)에서는 한국이, 실시간 재난관리 위험도 지도 구축 기술(BB)에서는 일본이 특허출원권수 면에서는 다소 영향력이 있는 편임 － 재해재난 이력 등에 대한 시설물별 위험도 지도 구축 분야에서의 기술순환주기(TCT)를 살펴보면, 실시간 재난관리 위험도 지도 구축 기술(BB)에서 이전기간 대비 최근기간에서 기술순환주기가 4년 감소하는 것을 알 수 있음
□ 연구개발의 필요성	
□ 기술동향	

3. 연구개발 내용	
○ 1세부 : 지하 콘크리트 구조물 성능관리 의사결정 시스템 개발 1-1세부 지하 콘크리트 구조물 종합성능 관리체계 구축 기술 개발 - 지하 콘크리트 구조물의 종합성능등급 산정기법 개발 - 지하 콘크리트 구조물의 종합성능 평가 체계구축 - 종합성능 평가체계 전문가 검증 및 실무적합성 평가를 통한 적정성 검토 - 지하구조물 손상 시나리오 개발 및 가상 시뮬레이션 평가, 개선(안) 도출 - 지하 콘크리트 구조물 종합 성능관리 매뉴얼 개발 1-2세부 성능관리 의사결정 시스템 구축 및 시험적용 추진 - 지하 콘크리트 구조물의 성능평가 및 예측 자료가 반영된 통계학적 모형화 기법 개발 - 모형화 기법을 활용한 최적점검주기 의사결정 모델 개발 - Optimization 기술을 활용한 환경인자, 손상영향이 적용된 사회적비용 산정 기술 개발 - Recommender System 기법을 활용한 지하 콘크리트 구조물의 종합성능과 경제성이 반영된 최적 점검주기 산정체계 구축 - 지하 콘크리트 구조물 성능 검사/평가/예측을 위한 테스트베드 구축 및 시험 적용 (1,2,3세부 연구결과 종합) - 테스트베드 적용 결과 피드백 및 보완	
4. 연구개발 추진방법	
□ 추진전략	○ 연구성과의 성공률 극대화를 위한 전략 수립 - 연구내용, 개발기술, 성과물간 연계가 표출되는 기술개발 및 성과 로드맵 수립 - 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 다양한 방법에 의한 기술수요처의 연구 참여를 적극적으로 고려 ○ End-User를 고려한 현장 적용성을 향상시킨 기술서비스 제공 고려 - 연구 종료 후 개발결과물의 지속적인 활용을 위하여 이해당사자가 아닌 정부(지자체) 또는 위탁기관에서 시스템을 지속적으로 운영 및 관리할 수 있는 방안을 제시 - 현재 활용중인 구조물 관리 시스템에 대한 유지관리 기능의 업그레이드를 위한 연구로, 주요 지하콘크리트구조물에 대하여 사용성, 기능성, 안전성, LCC 개념 등을 모두 종합한 성능등급을 산출하는 프로세스 및 매뉴얼 개발 추진 ○ 개발된 프로세스를 통해 도출된 종합등급의 의미 및 개념을 명확히 확립하고, 국가적 유지관리정책 차원에서의 활용방안 및 마스터플랜을 구체적으로 제시
□ 추진체계	○ 실용화를 목적으로 산·학·연 공동연구 조직 구성 - 출연연, 대학, 기업(필요시) 등이 참여하여 지하 구조물 성능등급 산정을 위한 기반기술, 검증까지 연계되는 추진체계 구성 ○ 국내외 관련기관 네트워크 활용 및 국제교류를 통한 연구동향 조사 및 연구방향 검증

- 전문가를 활용한 체계적인 진행을 통하여 최종적으로 지하구조물 성능평가 프로세스 개발 추진
- 각계 전문가 자문단을 구성하여, 연구개발의 기술적·경제적 보완 사항에 대한 자문(필요시 외국 전문가 또는 외국기관 활용)
 - 국내·외 구조물별 상태등급 산정, 내구성 평가, 사용성 및 기능성 평가 내용의 모니터링 시스템 반영
- 현재 구조물의 상태등급을 산정하는 전문기관과의 업무 조율을 통해 기존 정책, 업무진행체계와의 괴리감 발생을 최소화
- 구조물별 상태등급 및 내구성 평가 절차의 반영과 사용자 입장에서 이해 가능한 전문적 의견 전달 기능 확보
 - 필요시 외국 전문가 또는 외국기관 활용
 - 연구신청자는 과다한 기관수의 참여 및 연구계획 편성으로 인한 추진체계의 비효율성을 최대한 지양하고, 반드시 필요한 기관으로만 구성하여 연구추진의 효율성을 도모할 것
 - 특히 개발기술 성과의 객관적 평가 및 증빙, 그리고 제도적 정착을 위한 정부출연기관, 첨단기술을 기반으로 한 실용화 기법 개발을 위한 기업도 참여하여 실증적 연구결과를 낼 수 있도록 추진체계 구성
 - 실용화 측면, 국외 기술 수출 등의 실현을 위하여 관련 기술 수행 유경험 인적 네트워크의 구성

5. 최종성과물																									
□ 주요 최종성과물	<table border="1"> <thead> <tr> <th>성과물</th><th>성과물 유형</th><th>성과지표</th></tr> </thead> <tbody> <tr> <td colspan="3">◎ 1세부 : 지하 콘크리트 구조물 성능관리 의사결정 시스템 개발</td></tr> <tr> <td>- 지하 콘크리트 구조물의 종합성능등급 산정기법</td><td>매뉴얼</td><td>- 종합산정등급 신뢰도 95% 이상 확보</td></tr> <tr> <td>- 지하 콘크리트 구조물 종합 성능관리 매뉴얼</td><td>매뉴얼</td><td>- 성능관리 매뉴얼 제시</td></tr> <tr> <td>- 모형화 기법을 활용한 최적점검주기 의사결정 모델</td><td>프로그램 (S/W)</td><td>- 수치해석 검증을 통한 최적점검주기 정확도 90% 이상 확보</td></tr> <tr> <td>- Optimization 기술을 활용한 환경인자, 손상영향이 적용된 사회적 비용 산정 기술 개발</td><td>프로그램 (S/W)</td><td>- 사회적 비용 산정 평가 신뢰도 95% 확보</td></tr> <tr> <td>- Recommender System 기법을 활용한 지하 콘크리트 구조물의 종합성능과 경제성이 반영된 최적 점검주기 산정체계 구축</td><td>프로그램 (S/W)</td><td>- 최적 점검주기 제시 및 대안 확보</td></tr> <tr> <td>- 지하 콘크리트 구조물 성능 검사/평가/예측을 위한 테스트베드 구축 및 시험 적용</td><td>테스트 베드</td><td>- 1,2,3세부 성과 종합 평가 검증 확보</td></tr> </tbody> </table>	성과물	성과물 유형	성과지표	◎ 1세부 : 지하 콘크리트 구조물 성능관리 의사결정 시스템 개발			- 지하 콘크리트 구조물의 종합성능등급 산정기법	매뉴얼	- 종합산정등급 신뢰도 95% 이상 확보	- 지하 콘크리트 구조물 종합 성능관리 매뉴얼	매뉴얼	- 성능관리 매뉴얼 제시	- 모형화 기법을 활용한 최적점검주기 의사결정 모델	프로그램 (S/W)	- 수치해석 검증을 통한 최적점검주기 정확도 90% 이상 확보	- Optimization 기술을 활용한 환경인자, 손상영향이 적용된 사회적 비용 산정 기술 개발	프로그램 (S/W)	- 사회적 비용 산정 평가 신뢰도 95% 확보	- Recommender System 기법을 활용한 지하 콘크리트 구조물의 종합성능과 경제성이 반영된 최적 점검주기 산정체계 구축	프로그램 (S/W)	- 최적 점검주기 제시 및 대안 확보	- 지하 콘크리트 구조물 성능 검사/평가/예측을 위한 테스트베드 구축 및 시험 적용	테스트 베드	- 1,2,3세부 성과 종합 평가 검증 확보
성과물	성과물 유형	성과지표																							
◎ 1세부 : 지하 콘크리트 구조물 성능관리 의사결정 시스템 개발																									
- 지하 콘크리트 구조물의 종합성능등급 산정기법	매뉴얼	- 종합산정등급 신뢰도 95% 이상 확보																							
- 지하 콘크리트 구조물 종합 성능관리 매뉴얼	매뉴얼	- 성능관리 매뉴얼 제시																							
- 모형화 기법을 활용한 최적점검주기 의사결정 모델	프로그램 (S/W)	- 수치해석 검증을 통한 최적점검주기 정확도 90% 이상 확보																							
- Optimization 기술을 활용한 환경인자, 손상영향이 적용된 사회적 비용 산정 기술 개발	프로그램 (S/W)	- 사회적 비용 산정 평가 신뢰도 95% 확보																							
- Recommender System 기법을 활용한 지하 콘크리트 구조물의 종합성능과 경제성이 반영된 최적 점검주기 산정체계 구축	프로그램 (S/W)	- 최적 점검주기 제시 및 대안 확보																							
- 지하 콘크리트 구조물 성능 검사/평가/예측을 위한 테스트베드 구축 및 시험 적용	테스트 베드	- 1,2,3세부 성과 종합 평가 검증 확보																							

6. 연구기간 및 자원예산	
□ 전 체	○ 총 연구기간 : 2018. 5~2023. 4(5년) - 1차년도 연구기간 : 2018. 5 ~ 2019. 4 (12개월) ○ 총 정부출연금 : 8,000백만원 이내

	- 1차년도 정부출연금 : 1,300백만원 이내 ※ 정부출연금은 선정평가 결과, 정부예산사정 등에 따라 조정될 수 있음 ※ 기업참여시 기업부담금은 연차별로 “국토교통부소관 연구개발사업 운영규정”의 기준을 따르되, 추가 부담 가능 ※ 세부과제별로 기업부담금 비율 준수
7. 기 타	○ 본 과제의 보안등급은 “일반 과제” 임 ○ 연구개발계획서는 과제제안요구서에 제시된 연구내용을 참고하여 작성하되, 과제 목적 달성을 위해 반드시 필요하다고 판단되는 경우에는 일부 세부내용을 가감할 수 있으나, 그 사유와 근거를 명확히 제시하여야 함 ○ 기 수행하였거나 현재 수행중인 유사과제와 연구내용이 중복되지 않도록 연구개발계획서를 작성하여야 함 - 공모과제와 관련하여 기 수행되었거나 현재 수행중인 과제의 연구개발결과물과의 구체적인 연계·통합 및 활용방안을 연구계획에 포함 ※ www.kaia.re.kr 열린정보, http://rndgate.ntis.go.kr의 유사과제목록 참조 - 제안된 연구내용이 타 유사과제와 연구방법이나 목표 등에서 차별화되는 경우에는 포함하여도 무방하되, 그 근거를 명확히 해야 함 ※ 연구개발 수행 도중 과제의 중복성이 사후에 발견되거나 연구개발목표가 다른 연구개발에 의하여 성취되어 연구개발을 계속할 필요성이 없어진 때에는 협약을 해약할 수 있음 ○ 연구 착수시점 현황과 개발종료 후의 대비가 가능하도록 세부과제별로 As-Is와 To-Be를 구체화·가시화하여 제시 ○ 연구개발계획서에 세부과제간 연구내용 및 성과의 연계/활용을 위한 전략 제시 - 전체 개발기술과 성과물간의 유기적 연계를 파악할 수 있는 체계 제시 ※ (예시) 개발기술 상호간, 성과물 상호간, 개발기술-성과물간 연계성 - 과학기술적 성과물을 포함하여 최종성과물을 구체화하여 제시 ○ 연구신청자는 연구개발 성과목표(성과지표/달성목표치/가중치) 및 사업수행(일정)계획과 이에 대한 관리계획 등을 연구개발계획서에 제시 - 개발된 기술 및 성과물의 목표수준 달성도를 확인할 수 있는 구체적 방안을 제시 ※ 과제선정 후 진도점검·관리 및 성과평가 등의 근거자료로 활용 - 제시한 성과지표는 사전검토, 선정평가를 통해 조정(추가) 가능 ○ 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 ○ 국제공동연구 또는 전문가 활용방안 - 필요시 관련 기술 해외 선도기관과의 공동연구 추진방안 및 전문가 활용계획을 연구계획에 포함 ○ 추후 연구개발계획 등은 수정·보완될 수 있으며, 이에 따라 과제내 특정 기술개발에 대한 추진방식 등이 변경될 수 있음 - 본 과제의 연구기간은 추후 협약시 변경될 수 있음 - 전문기관은 필요시 선정된 주관연구기관(주관연구책임자)과 협의를 거쳐 연구개발계획서의 수정·보완(연구목표, 내용 및 범위 등을 구체화·명확화)할 수 있음 - 연구추진과정에서 관련기술 환경변화에 따라 연구내용(연구비 포함)이 조정될 수 있음

3. 2세부과제 제안요구서(RFP)

세부과제명	지하 콘크리트구조물 성능 검사·평가 기술개발 및 절차화
1. 연구개발 목표	○ 지하 콘크리트 구조물의 성능중심 평가지표, 평가기법의 개발 및 표준화 ○ 지하환경이 지하 콘크리트 구조물에 미치는 영향에 대한 평가 등급화 기술 개발 ○ 지하 콘크리트 구조물의 성능평가 기반 유지관리 절차서 개발
2. 연구개발 필요성 및 기술동향	□ 연구개발의 필요성 ○ 지하 콘크리트 구조물의 위치 및 환경에 따른 성능저하 메커니즘 평가방법 개발 필요 - 지하 콘크리트 구조물은 도심지, 해안가, 산악지 등 다양한 지형에 위치 - 다양한 위치에 놓여있으며, 토양, 지반, 지하수, 오수 등 다양한 환경에 접하고 있음 따라서 공간 및 열화인자에 대한 분류화가 필요 - 공간, 위치 및 열화인자 등의 다양한 성능저하 요인에 따른 지하 콘크리트 구조물의 성능평가 기법의 개발이 필요 - 다양한 위치 및 메커니즘에 따른 성능평가 및 성능회복에 대한 기술 개발이 필요하며, 성능 평가, 성능 회복으로 인한 성능예측에 대한 종합적인 평가방법이 필요 ○ 지하 콘크리트 구조물 성능평가를 통한 침하 및 함몰 안전관리 대책 필요 - 특히 함몰사고의 경우 그 원인에 대해서 지반함몰이 아닐 경우, 다양한 지하구조물을 원인으로 파악하고 있으며, 원인을 알 수 없는 다양한 지하 구조물이 지반함몰 및 도시안전에 위협을 가한다는 사실을 확인할 수 있음 - 함몰에 대한 대책으로 지하정보를 3D 기반으로 통합구축, 지층구조, 지반 특성 평가를 하지만, 실제 가장 큰 원인인 지하에 매설/매립된 콘크리트 구조물의 상태는 알 수 없음 - 지반탐사반의 운영을 통해 노후 상하수도관에 대한 정밀조사를 진행할 예정이지만 실제 지하 콘크리트 구조물의 성능을 평가하는 Tool을 마련되어 있지 않기 때문에 반쪽 점검이 될 수밖에 없음 - 다양한 열화요인에 따른 지하 콘크리트 구조물의 사고방지 대책 마련이 시급함 □ 기술동향 ○ 시설물 점검 및 평가 절차 - 국내에서는 시설물의 점검을 통하여 시설물을 상태를 평가하고 안전성평가와의 종합적인 결과를 바탕으로 시설물의 등급을 정하고 있음 - 국내 시설물의 종합평가는 구조물 부재의 결함, 손상 및 열화에 대하여 평가기준 및 상태평가 절차에 따라 수행한 상태평가 결과와 시설물의 안전성평가 결과를 고려하여 개별시설물의 종합평가를 실시 - 교량 등 각 시설물에 대한 종합평가는 상태평가만 실시하거나 또는 상태평가와 안전성평가를 각각 실시한 후 이들 결과를 기초로 종합 - 상태평가만 실시하는 경우에는 상태평가 결과를 종합평가 결과로 가름하여 상태평가 결과가 종합평가 결과로 결정되지만 상태평가와 안전성평가가 동시에 실시한 경우에는 상태평가 결과와 안전성평가 결과를 비교 검토하여 최종

	적인 종합평가 결과를 부여 - 보수·보강 필요성을 판단하기 위한 대표적인 기준을 살펴보면, 「안전점검 및 정밀안전진단 지침 및 세부지침」에서는 상태평가 또는 상태평가와 안전성 평가의 낮은 값을 선택하여 종합평가를 하고 이로 안전등급(시설물 등급)을 정함 - 상태평가의 경우 1차부재(주부재)와 2차부재(부부재)로 나누어 부재별로 차등된 상태등급을 적용하고 여기에 또다시 가중치를 부여하여 하나의 시설물에 대한 상태평가 결과를 산정
3. 연구개발 내용	
	◎ 2세부 : 지하 콘크리트 구조물 성능 검사·평가 기술개발 및 절차화 2-1 세세부 : 지하 콘크리트 구조물 영향인자 검사·평가기술 개발 - 지하 콘크리트 구조물 주변의 내구성 및 사용성 영향인자 도출 및 검사 기술 개발 - 지하수위 관측 기존 기술 검토 및 적용기술 개발 - 지하수위 및 지반을 고려한 위험도 등급화 기술 개발 - 지상환경을 고려한 지하환경 추정 기술 개발 - Virtual Reality 기술을 활용한 지하 콘크리트 구조물의 이상징후 검출 기술 개발 - 지하수위 및 지하수 성분의 지하 콘크리트 구조물에 대한 영향 평가 기술 개발 - 지반 및 지질의 지하 콘크리트 구조물 영향 평가 기술 개발 - 지하환경(지반상태, 지하수위, 지하수 성분, 토양성분 등)이 지하 콘크리트 구조물에 미치는 영향에 대한 평가 등급화 기술 개발 2-2 세세부 : 지하 콘크리트 구조물 성능 검사·평가에 대한 제도화 전략 수립 - 지하 콘크리트 구조물에 미치는 지하환경에 대한 검사/평가 절차 개발 - 지하 콘크리트 구조물의 노후화 검사/평가 절차 개발 - 지하 콘크리트 구조물의 성능평가 기반 유지관리 절차서 개발 - 지하 콘크리트 구조물의 성능 검사/평가에 대한 제도화(안) 마련
4. 연구개발 추진방법	
□ 추진전략	○ 국내·외 구조물별 상태등급 산정, 내구성 평가, 사용성 및 기능성 평가 내용의 모니터링 시스템 반영 - 현재 구조물의 상태등급을 산정하는 전문기관과의 업무 조율을 통해 기존 정책, 업무진행체계와의 괴리감 발생을 최소화 - 구조물별 상태등급 및 내구성 평가 절차의 반영과 사용자 입장에서 쉽게 이해 가능한 전문적 의견 전달 기능 확보 ○ 연구성과의 성공률 극대화를 위한 전략 수립 - 연구내용, 개발기술, 성과물간 연계가 표출되는 기술개발 및 성과 로드맵 수립 - 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 다양한 방법에 의한 기술수요처의 연구 참여를 적극적으로 고려 ○ 구조물특성에 맞춘 전문가 pool 구성 - 주요 구조물군별 전문가로 구성되어 연구를 추진하고, 구조물 관리주체 (국토부, 지자체 등) 소속의 전문가를 참여 유도

- 새로운 기술 개발 측면보다는 기 구축 데이터베이스 및 기 개발 기술을 활용하여 유지관리 프로세스 개발을 우선적으로 추진 연구개발 내용별로 기준 수립과 실용화 개발로 분류하여 목표 수준 수립
- 지하 콘크리트구조물의 주변 환경 기반 상태등급 산정, 내구성 평가, 사용성 및 기능성 평가 전문가를 활용한 체계적인 구조물 유지관리 프로세스를 진행하여 최종적으로 지하 콘크리트구조물의 성능극대화 기술의 제도 정착 추진
- 개발된 프로세스를 통해 도출된 종합등급의 의미 및 개념을 명확히 확립하고, 국가적 유지관리정책 차원에서의 활용방안 및 마스터플랜을 구체적으로 제시
- **국내외 관련기관 네트워크 활용 및 교류를 통한 연구동향 조사 및 연구방향 검증**
- 전문가를 활용한 체계적인 진행을 통하여 최종적으로 지하구조물 성능평가 프로세스 개발 추진
- 각계 전문가 자문단을 구성하여, 연구개발의 기술적·경제적 보완 사항에 대한 자문(필요시 외국 전문가 또는 외국기관 활용)
- 본 연구는 원천기술과 실용화/상용화 기술의 융합과제인 바, 산학연을 중심으로 컨소시엄을 구성하여 과제를 진행하되, 국제적으로 우수한 기술 개발 가능성이 있는 분야에 대해서는 국제공동연구 형태의 추진이 필요하며, 관중심의 자문위원단이 병행되어 운영되어야 함
- 개발 예정 핵심요소기술은 국내뿐만 아니라 국외 수출을 목표로 하는 바, 개발 내용에 대한 표준화를 연구 초기단계에서부터 검토하고, 기설정된 국제 표준코드를 반영하도록 하며, 표준화 제정이 되어 있지 않은 부분에 대해서는 국제표준화를 유도하여 국제적인 기술 선도가 이루어지도록 수행되어야 함
- 필요시 외국 전문가 또는 외국기관 활용
- 연구신청자는 과다한 기관수의 참여 및 연구계획 편성으로 인한 추진체계의 비효율성을 최대한 지양하고, 반드시 필요한 기관으로만 구성하여 연구추진의 효율성을 도모할 것
- 특히 개발기술 성과의 객관적 평가 및 증빙, 그리고 제도적 정착을 위한 정부출연기관, 첨단기술을 기반으로 한 실용화 기법 개발을 위한 기업도 참여하여 실증적 연구결과를 낼 수 있도록 추진체계 구성
- 실용화 측면, 국외 기술 수출 등의 실현을 위하여 관련 기술 수행 유경험 인적 네트워크의 구성

5. 최종성과물

- 주요 최종성과물

성과물	성과물 유형	성과지표
◎ 2세부 : 지하 콘크리트 구조물 성능 검사·평가 기술개발 및 절차화		
- 지상환경을 고려한 지하환경 추정 기술	특허, 장치	- 환경 예측 신뢰도 95% 확보
- Virtual Reality 기술을 활용한 지하 콘크리트 구조물의 이상징후 검출 기술	특허, 장치	- 기술수준 선진국 대비 90% 확보

성과물	성과물 유형	성과지표
- 지하 콘크리트 구조물의 성능평가 기반 유지관리 절차서	매뉴얼	- 지하구조물 유지관리 절차서 제시
- 지하 콘크리트 구조물의 성능 검사/평가에 대한 제도화(안) 마련	매뉴얼	- 성능 검사/평가 절차서 제시

6. 연구기간 및 지원예산

□ 전 체

○ 총 연구기간 : 2018. 5~2023. 4(5년)

- 1차년도 연구기간 : 2018.05 ~ 2019.04 (12개월)

○ 총 정부출연금 : 6,000백만원 이내

- 1차년도 정부출연금 : 1,000백만원 이내

※ 정부출연금은 선정평가 결과, 정부예산사정 등에 따라 조정될 수 있음

※ 기업참여시 기업부담금은 연차별로 “국토교통부소관 연구개발사업 운영규정” 의 기준을 따르되, 추가 부담 가능

※ 세부과제별로 기업부담금 비율 준수

7. 기 타

○ 본 과제의 보안등급은 “일반 과제” 임

○ 연구개발계획서는 과제제안요서에 제시된 연구내용을 참고하여 작성하되, 과제 목적 달성을 위해 반드시 필요하다고 판단되는 경우에는 일부 세부내용을 가감할 수 있으나, 그 사유와 근거를 명확히 제시하여야 함

○ 기 수행하였거나 현재 수행중인 유사과제와 연구내용이 중복되지 않도록 연구개발계획서를 작성하여야 함

- 공모과제와 관련하여 기 수행되었거나 현재 수행중인 과제의 연구개발결과물과의 구체적인 연계·통합 및 활용방안을 연구계획에 포함

※ www.kaia.re.kr 열린정보, <http://rndgate.ntis.go.kr>의 유사과제목록 참조

- 제안된 연구내용이 타 유사과제와 연구방법이나 목표 등에서 차별화되는 경우에는 포함하여도 무방하되, 그 근거를 명확히 해야 함

※ 연구개발 수행 도중 과제의 중복성이 사후에 발견되거나 연구개발목표가 다른 연구개발에 의하여 성취되어 연구개발을 계속할 필요성이 없어진 때에는 협약을 해약할 수 있음

○ 연구 착수시점 현황과 개발종료 후의 대비가 가능하도록 세부과제별로 As-Is와 To-Be를 구체화·가시화하여 제시

○ 연구개발계획서에 세부과제간 연구내용 및 성과의 연계/활용을 위한 전략 제시

- 전체 개발기술과 성과물간의 유기적 연계를 파악할 수 있는 체계 제시

※ (예시) 개발기술 상호간, 성과물 상호간, 개발기술-성과물간 연계성

- 과학기술적 성과물을 포함하여 최종성과물을 구체화하여 제시

○ 연구신청자는 연구개발 성과목표(성과지표/달성목표치/가중치) 및 사업수행(일정)계획과 이에 대한 관리계획 등을 연구개발계획서에 제시

- 개발된 기술 및 성과물의 목표수준 달성도를 확인할 수 있는 구체적 방안을 제시

※ 과제선정 후 진도점검·관리 및 성과평가 등의 근거자료로 활용

- 제시한 성과지표는 사전검토, 선정평가를 통해 조정(추가) 가능

○ 참여기업은 참여하고자 하는 과제와 관련된 연구 또는 사업 수행실적이 있고, 과제추진 시 역할(자료·기술조사 또는 제공, 시험시공 현장제공 등)이 명확하여야 하며 연구개발결과를 직접 활용하고자 하는 기업에 한함

○ 국제공동연구 또는 전문가 활용방안

- 필요시 관련 기술 해외 선도기관과의 공동연구 추진방안 및 전문가 활용계획을 연구계획에 포함

○ 추후 연구개발계획 등은 수정·보완될 수 있으며, 이에 따라 과제내 특정 기술개발에 대한 추진방식 등이 변경될 수 있음

- 본 과제의 연구기간은 추후 협약시 변경될 수 있음

- 전문기관은 필요시 선정된 주관연구기관(주관연구책임자)과 협의를 거쳐 연구개발계획서의 수정·보완(연구목표, 내용 및 범위 등을 구체화·명확화)할 수 있음

- 연구추진과정에서 관련기술 환경변화에 따라 연구내용(연구비 포함)이 조정될 수 있음

4. 3세부과제 제안요구서(RFP)

세부과제명	지하 콘크리트 구조물의 공용기간 예측기술 개발
1. 연구개발 목표	○ 지하 콘크리트 구조물의 성능회복, 공용기간 예측기술 개발 ○ 노출환경 및 손상 수준 맞춤형 유지보수 및 지하구조물 내구성능 예측기술 개발 ○ 성능회복 전후의 정량적 평가와 효과분석 절차 및 성능회복 매뉴얼 개발
2. 연구개발 필요성 및 기술동향	□ 연구개발의 필요성 ○ 국내 환경 측면의 필요성 - 지하 구조물의 손상은 그 원인이 지하에 위치하고 있는 특성으로 인하여 지하수의 영향 및 주변 지반의 영향을 고려할 필요가 있음에도 아직까지 주변 환경을 고려한 지하 콘크리트구조물의 성능평가 및 성능극대화 평가 기술이 미흡한 실정 - 더불어 국내의 지하 콘크리트 구조물의 성능평가 유지관리 기술은 정립되어 있지 않아 아직까지는 시설물 중심의 유지관리가 이루어지고 있는 실정 - 사회기반 시설물의 안전성 평가와 관련한 다양한 연구가 지속적으로 진행되고 있으나, 현장에 적용되는 경우는 극히 드문 것이 현실임 이에 관련된 연구를 종합적으로 정리하고, 사회기반 시설물별 정량화된 안전성 평가를 위해 표준화된 프로세스 개발이 필요 - 우리나라의 건설투자 총액 대비 사회기반 시설물 유지관리 투자율은 14.6%에 불과한 상황(3.5조 원/24조 원, '12)으로 선진국에 비해 크게 부족 - 따라서 지하 구조물의 주변 환경요인인 지하수, 지반, 지질, 상재하중 등을 고려한 열화원인 분석에 필요한 지하 구조물의 주변 환경 조사가 필요하고 이를 반영한 지하 콘크리트 구조물의 성능평가 및 노출 환경요인을 고려한 성능극대화 기술 정량화 필요 - 또한, 열화된 지하 콘크리트 구조물의 예방적 관리를 실시하여 보수/보강의 사결정을 판단하고 수명연장을 극대화 할 수 있는 통합유지관리 체계 구축이 필요 ○ 국외 환경 측면의 필요성 - 일본의 국토교통성은 기후변화에 대응하는 시설물 관리를 위하여 기후변화로 인한 부정적인 영향을 최소화하는 시설물 기준 및 관리 실무자 매뉴얼을 작성·보급하여 적용 · 기후변화가 시설물에 미치는 파급효과 · 기후변화에 대한 시설물 기준 변경 및 시설물 관리 기준 강화 - 최근 콘크리트구조물의 일반 관리규칙과 콘크리트 관련 시험방법 등의 국제규격을 제정하기 위한 콘크리트 기술위원회(ISO/TC 71) 국제표준화총회가 기술표준원 주최로 열려 미, 영, 일, 독 등 30여국의 전문가들이 유지관리 등의 국제표준제정을 논의하는 등 정부는 유지관리 기술발전을 적극 지원하고 있는 실정임 - 사회기반 시설물의 안전성 평가와 관련 유지관리 투자율은 서유럽은 '95년

□ 기술동향	20% → '08년 30% 까지 증가하고 있으며, 미국 30%, 캐나다 35%, 특히 이탈리아는 50%에 달하는 실정 - 선진국에서도 아직까지 유지관리 측면에서의 주변환경을 고려한 유지관리 기법은 아직 정립되어 있지 않고 있음 - 국내에서 주변 환경을 고려한 지하 콘크리트 구조물의 성능평가 및 성능극대화 기술 확보시 세계 시장에서 선주자로 자리 매김할 수 있음 ○ 국내기술동향 - 지하 콘크리트구조물이 접하는 환경하중(생화학적 침식, 황산염 침식, 해수 침식 등)으로 인하여 발생하는 콘크리트의 내구성 및 유지관리 보수·보강에 대한 관심이 증가하는 실정임 - 그러나 아직까지 국내의 경우 주변환경을 고려한 지하 콘크리트 구조물의 열화원인 분석 및 성능극대화 기술에 대한 연구는 미흡한 실정임 - 이러한 이유로 지금까지 국내 콘크리트의 성능저하 원인에 대한 정보 및 연구부족으로 인하여 보수/보강재가 무분별하게 적용되어 구조물의 성능저하, 재시공에 의한 유지보수비용 낭비 등이 문제점으로 지적되고 있음 ○ 국외기술동향 - 프랑스의 테크니컬 갤러리(Technical gallery) 구조물은 1832년 설치 및 정비 사업을 도입하여 운영되었으며, 영국은 1861년 지하 구조물을 설치 및 관리하였고, 독일은 1890년부터 지하 구조물의 관리 및 설치를 시작하였음 - 일본의 경우 1920년 관동대지진 이후 도시복구사업의 일환으로 지하 공동구를 시험적으로 설치 및 운영을 시작하였고, 대만의 경우는 1989년에 「관동관도법(Common Duct Act)」을 제정하여 설치 및 관리하고 있음 - 일본의 경우 산성토양, 하수관거 등 화학적 침식환경에 노출된 콘크리트의 유지관리에 대한 연구를 지속적으로 하고 있으며, 미국의 경우도 생화학적 침식에 대한 콘크리트의 열화에 대하여 2001년부터 지속적으로 연구하고 있는 실정임
3. 연구개발 내용	◎ 3세부 : 지하 콘크리트 구조물의 공용기간 예측기술 개발 3-1 세세부 : 환경평가 기반 미래성능 예측 기술 개발 - 노출 환경기반(화학적 침식, 철근부식, 염해, 탄산화 등) 지하 콘크리트 구조물의 성능저하 원인 분석 기술 개발 - 손상 수준 맞춤형 지하구조물 성능 예측 절차 개발 - 지하 콘크리트 구조물의 열화환경별 내구성능 예측 기술 개발 - 지하환경 변화 추세에 따른 미래 지하환경 예측 기술 개발 - 미래 지하환경 예측 기술을 반영한 지하 콘크리트 구조물의 미래성능 예측기술 개발 - 열화환경별 유지보수를 통한 지하 콘크리트 구조물의 성능예측 기술 개발 3-2 세세부 : 지하 콘크리트 구조물 성능회복을 위한 최적 기술 개발 - 손상 원인 맞춤형 지하구조물의 성능회복을 위한 보수 및 유지관리 기술 개발 - 이상 징후 발생에 따른 지하환경 최적화 긴급 성능회복 기술 개발 - 성능회복 전후의 평가 정량화 및 효과 분석 기술 개발 - 성능회복 전후의 효과분석 표준 절차 개발 - 지하 콘크리트 구조물의 성능회복 매뉴얼 개발

4. 연구개발 추진방법	
☐ 추진전략	○ 지하 콘크리트구조물의 주변 환경 기반 상태등급 산정, 내구성 평가, 사용성 및 기능성 평가 전문가를 활용한 체계적인 구조물 유지관리 프로세스를 진행하여 최종적으로 지하 콘크리트구조물의 성능극대화 기술의 제도 정착 추진 ○ 연구성과의 활용 극대화를 위한 전략 수립 - 연구내용, 개발기술, 성과물간 연계가 표출되는 기술개발 및 성과 로드맵 수립 - 개발기술의 현장적용을 통한 검증 강화 및 적용사례 확보 ○ 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 - 다양한 방법에 의한 기술수요처의 연구 참여를 적극적으로 고려 ○ 연구 종료 후 개발결과물의 지속적인 활용을 위하여 이해당사자가 아닌 정부(지자체) 또는 위탁기관에서 시스템을 지속적으로 운영 및 관리할 수 있는 방안을 제시 ○ 현재 활용중인 시설물 평가 체계에 대한 획기적인 업그레이드를 위한 과제으로써, 주요 지하 콘크리트구조물에 대하여 주변 환경을 고려한 사용성, 기능성, 안전성, LCC 개념 등을 모두 종합한 성능등급을 산출하는 프로세스를 개발한 후, 제도화/정책화 추진 ○ 관련부처의 공감대 형성을 통한 추진력 확보를 위하여 설명회 및 관계부처 의견수렴 등의 사회과학적 연구와 연구기간 중 관련 기관에 대한 교육 등을 필요시 포함하여 추진(전략로드맵 내용 검토 포함) ○ 지하 콘크리트구조물의 성능평가 및 유지관리 전문가로 구성하여 연구를 추진하고, 시설물 관리주체(국토부, 지자체 등) 소속의 전문가를 참여할 수 있도록 하며, 새로운 기술 개발 측면보다는 기 구축 데이터베이스 및 기 개발 기술을 활용과 전문적인 기술을 정보를 제공하여 성능등급을 산출하는 프로세스 개발을 우선적으로 추진 ○ 개발된 프로세스를 통해 도출된 종합등급의 의미 및 개념을 명확히 확립하고, 국가적 유지관리정책 차원에서의 활용방안 및 마스터플랜을 구체적으로 제시
☐ 추진체계	○ 본 연구는 원천기술과 실용화/상용화 기술의 융합과제인 바, 산학연을 중심으로 컨소시엄을 구성하여 과제를 진행하되, 국제적으로 우수한 기술 개발 가능성이 있는 분야에 대해서는 국제공동연구 형태의 추진이 필요하며, 관 중심의 자문위원단이 병행되어 운영되어야 함 ○ 개발 예정 핵심요소기술은 국내뿐만 아니라 국외 수출을 목표로 하는 바, 개발 내용에 대한 표준화를 연구 초기단계에서부터 검토하고, 기설정된 국제 표준코드를 반영하도록 하며, 표준화 제정이 되어 있지 않은 부분에 대해서는 국제표준화를 유도하여 국제적인 기술 선도가 이루어지도록 수행되어야 함 ○ 필요시 외국 전문가 또는 외국기관 활용 ○ 연구신청자는 과다한 기관수의 참여 및 연구계획 편성으로 인한 추진체계의 비

효율성을 최대한 지양하고, 반드시 필요한 기관으로만 구성하여 연구추진의 효율성을 도모할 것 ○ 특히 개발기술 성과의 객관적 평가 및 증빙, 그리고 제도적 정착을 위한 정부출연기관, 첨단기술을 기반으로 한 실용화 기법 개발을 위한 기업도 참여하여 실증적 연구결과를 낼 수 있도록 추진체계 구성 ○ 실용화 측면, 국외 기술 수출 등의 실현을 위하여 관련 기술 수행 유경험 인적 네트워크의 구성																				
5. 최종성과물																				
☐ 주요 최종성과물	<table border="1"> <thead> <tr> <th>성과물</th><th>성과물 유형</th><th>성과지표</th></tr> </thead> <tbody> <tr> <td colspan="3">◎ 3세부 : 지하 콘크리트 구조물의 공용기간 예측기술 개발</td></tr> <tr> <td>- 열화환경별 유지보수를 통한 지하 콘크리트 구조물의 성능예측 기술 개발</td><td>시작품</td><td>- 열화환경별 성능예측 알고리즘 제시</td></tr> <tr> <td>- 손상 원인 맞춤형 지하구조물의 성능회복을 위한 보수 및 유지관리 기술 개발</td><td>시작품</td><td>- 손상 원인 맞춤형 성능회복 보수 시작품 제시</td></tr> <tr> <td>- 이상 징후 발생에 따른 지하환경 최적화 긴급 성능회복 기술 개발</td><td>시작품</td><td>- 긴급 성능 회복 시작품 제시</td></tr> <tr> <td>- 지하 콘크리트 구조물의 성능회복 매뉴얼 개발</td><td>매뉴얼</td><td>- 성능회복 매뉴얼 제시</td></tr> </tbody> </table>		성과물	성과물 유형	성과지표	◎ 3세부 : 지하 콘크리트 구조물의 공용기간 예측기술 개발			- 열화환경별 유지보수를 통한 지하 콘크리트 구조물의 성능예측 기술 개발	시작품	- 열화환경별 성능예측 알고리즘 제시	- 손상 원인 맞춤형 지하구조물의 성능회복을 위한 보수 및 유지관리 기술 개발	시작품	- 손상 원인 맞춤형 성능회복 보수 시작품 제시	- 이상 징후 발생에 따른 지하환경 최적화 긴급 성능회복 기술 개발	시작품	- 긴급 성능 회복 시작품 제시	- 지하 콘크리트 구조물의 성능회복 매뉴얼 개발	매뉴얼	- 성능회복 매뉴얼 제시
성과물	성과물 유형	성과지표																		
◎ 3세부 : 지하 콘크리트 구조물의 공용기간 예측기술 개발																				
- 열화환경별 유지보수를 통한 지하 콘크리트 구조물의 성능예측 기술 개발	시작품	- 열화환경별 성능예측 알고리즘 제시																		
- 손상 원인 맞춤형 지하구조물의 성능회복을 위한 보수 및 유지관리 기술 개발	시작품	- 손상 원인 맞춤형 성능회복 보수 시작품 제시																		
- 이상 징후 발생에 따른 지하환경 최적화 긴급 성능회복 기술 개발	시작품	- 긴급 성능 회복 시작품 제시																		
- 지하 콘크리트 구조물의 성능회복 매뉴얼 개발	매뉴얼	- 성능회복 매뉴얼 제시																		
6. 연구기간 및 자원예산																				
☐ 전 체	○ 총 연구기간 : 2018. 5~2023. 4(5년) - 1차년도 연구기간 : 2018.05 ~ 2019.04 (12개월) ○ 총 정부출연금 : 6,000백만원 이내 - 1차년도 정부출연금 : 1,200백만원 이내 ※ 정부출연금은 선정평가 결과, 정부예산사정 등에 따라 조정될 수 있음 ※ 기업참여시 기업부담금은 연차별로 “국토교통부소관 연구개발사업 운영규정”의 기준을 따르되, 추가 부담 가능 ※ 세부과제별로 기업부담금 비율 준수																			
7. 기 타																				
	○ 본 과제의 보안등급은 “일반 과제” 임 ○ 연구개발계획서는 과제제안요구서에 제시된 연구내용을 참고하여 작성하되, 과제 목적 달성을 위해 반드시 필요하다고 판단되는 경우에는 일부 세부내용을 가감할 수 있으나, 그 사유와 근거를 명확히 제시하여야 함 ○ 기 수행하였거나 현재 수행중인 유사과제와 연구내용이 중복되지 않도록 연구개발계획서를 작성하여야 함 - 공모과제와 관련하여 기 수행되었거나 현재 수행중인 과제의 연구개발결과물과의 구체적인 연계·통합 및 활용방안을 연구계획에 포함 ※ www.kaia.re.kr 열린정보, http://rndgate.ntis.go.kr의 유사과제목록 참조																			

- 제안된 연구내용이 타 유사과제와 연구방법이나 목표 등에서 차별화되는 경우에는 포함하여도 무방하되, 그 근거를 명확히 해야 함
 - ※ 연구개발 수행 도중 과제의 중복성이 사후에 발견되거나 연구개발목표가 다른 연구개발에 의하여 성취되어 연구개발을 계속할 필요성이 없어진 때에는 협약을 해약할 수 있음
- 연구 착수시점 현황과 개발종료 후의 대비가 가능하도록 세부과제별로 As-Is와 To-Be를 구체화·시화하여 제시
- 연구개발계획서에 세부과제간 연구내용 및 성과의 연계/활용을 위한 전략 제시
 - 전체 개발기술과 성과물간의 유기적 연계를 파악할 수 있는 체계 제시
 - ※ (예시) 개발기술 상호간, 성과를 상호간, 개발기술-성과물간 연계성
 - 과학기술적 성과물을 포함하여 최종성과물을 구체화하여 제시
- 연구신청자는 연구개발 성과목표(성과지표/달성목표치/가중치) 및 사업수행(일정)계획과 이에 대한 관리계획 등을 연구개발계획서에 제시
 - 개발된 기술 및 성과물의 목표수준 달성도를 확인할 수 있는 구체적 방안을 제시
 - ※ 과제선정 후 진도점검·관리 및 성과평가 등의 근거자료로 활용
 - 제시한 성과지표는 사전검토, 선정평가를 통해 조정(추가) 가능
- 참여기업은 참여하고자 하는 과제와 관련된 연구 또는 사업 수행실적이 있고, 과제추진시 역할(자료·기술조사 또는 제공, 시험시공 현장제공 등)이 명확하여야 하며 연구개발결과를 직접 활용하고자 하는 기업에 한함
- 국제공동연구 또는 전문가 활용방안
 - 필요시 관련 기술 해외 선도기관과의 공동연구 추진방안 및 전문가 활용계획을 연구계획에 포함
- 추후 연구개발계획 등은 수정·보완될 수 있으며, 이에 따라 과제내 특정 기술개발에 대한 추진방식 등이 변경될 수 있음
 - 본 과제의 연구기간은 추후 협약시 변경될 수 있음
 - 전문기관은 필요시 선정된 주관연구기관(주관연구책임자)과 협의를 거쳐 연구개발계획서의 수정·보완(연구목표, 내용 및 범위 등을 구체화·명확화)할 수 있음
 - 연구추진과정에서 관련기술 환경변화에 따라 연구내용(연구비 포함)이 조정될 수 있음

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 지하 콘크리트구조물의 성능극대화를 위한 통합유지관리 시스템 개발 기술관련 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, 과제추진시 역할(자료·기술조사 또는 제공, 시험시공 현장제공 등)이 명확하여야 하며 연구개발결과를 직접 활용하고자 하는 기업에 한함.
- 지원한 기관 및 연구진은 기초/원천기술, 응용기술, 실용화기술 등 과제성격에 따른 성과물을 얻을 수 있는 기관 및 연구진 판단
- 신뢰받는 지하 콘크리트구조물 유지관리를 통한 안전한 도시환경 조성의 성공적 수행을 위한 산, 학, 연의 기관구성성의 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 지하 콘크리트구조물의 성능극대화를 위한 유지관리 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 추진되도록 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 과제의 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(기입 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

참고문헌

- 규제영향분석서 - 시설물의 안전 및 관리에 관한 특별법 시행령, 시행규칙 전부개정안, 국토교통부, 2017
- 석촌지하차도 동공 발생원인과 도로함몰 특별관리 대책 보고, 서울특별시, 2014
- 지하시설물 통합관리시스템, 국토교통부, 2014
- 도심지 지하붕괴 매몰지역 인명탐지 및 긴급구호 기술 개발 기획, 한국건설기술연구원, 2014
- 대심도 다목적 지하공간 확보 및 활용미래화 기술, 한국건설기술연구원, 2013
- 구조물 빅데이터 기법을 활용한 모니터링 기술, 한양대학교, 2015
- 2012년 시설물 유지관리업 시장규모 통계자료(시설물 유지관리 협회, '13)
- 국토해양부, 한국시설안전공단 : 건축물, 교량, 터널, 2011
- 쾌적한 Elevation Zero 지하공간 건설 솔루션 개발 기획연구 보고서, 한국건설기술연구원, 2012
- 배윤신, 이석민, “서울시 지하공간의 안전체계 구축방안”, 서울시정개발연구원, 2010
- 건설교통R&D정책 · 인프라사업(최종보고서) 국토해양부, 한국건설교통기술평가원, 2011
- 발생주의 국가회계의 재무재표 반영을 위한 “국가 사회기반시설의 실사 및 평가 방안”, 기획재정부, 2009
- 영미 선진국 인프라 평가 체계의 이해와 국내 도입 방향, 한국건설산업연구원, 2013
- OECD International Transport Forum, Statistics Brief 2012
- International Transport Forum, Statistics Brief : Infrastructure Investment, '12.6
- 국토교통성 종합기술개발 프로젝트 “사회자본 관리기술의 개발 종합보고서”, 2008
- 공동구 설치 및 관리지침, 국토교통부, 2009
- 공동구 통합정보 및 활용기술개발 연구 최종보고서, 국토해양부, 2011

- 한국건설관리학회논문집 제2권 제2호, 3D 그래픽모델을활용한교량시설물유지관리 시스템, 2011.3
- 한국시설안전공단, 시설물보수·보강 방법 및 수준결정에 관한 연구
- 국토교통진흥원, 지하수 및 지반구조 영향 예측·평가·관리기술 개발 기획, 2015.06
- 건설교통부, 도로교 신속교체 및 응급복구용 교량가설 기술개발 연구기획보고서, 2006.02
- 제5차 국민경제자문회의 관계부처, 안전산업 활성화 방안, 2015.03
- 국토교통부, 도로교업무편람, 2014
- 국토교통진흥원, 안전한 지반굴착기술 개발 기획, 2015.06
- 한국건설산업연구원, 2030 건설시장의 미래 전망과 대응전략, 2015.03
- 한국건설기술연구원, SOC 시설물 성능평가기술 개발 기획 최종보고서, 2014.04
- 국토교통진흥원, 도시 지하방수로 설계·시공·운영기술 개발 기획, 2014.07
- (사)한국비파괴검사협회, 비파괴검사 기술·육성을 위한 연구기반구축 방안 연구, 2014.06
- 시설물안전진단협회, 안전진단전문기관 등록현황, 2006

[부록] 소분류 기술별 포트폴리오 분석결과(1/3)

대분류 1의 소분류별기술	수준-중요도	격차-격차추세	성숙도-중요도
1.1.1 지하 콘크리트 구조물 유지관리 정보 DB 체계 구축 기술	 기술시급성이나 파급효과는 높지 않으나 수익성이 양호하여 다른 핵심기술과 연계성을 전략적으로 고려해야 하는 영역	 기술개발을 가속화할 필요가 있는 영역	 점진적으로 기술기반을 확보해 나아가야 할 영역
1.1.2 지하 콘크리트 구조물 사고 발생 시나리오/긴급 대응 기술	 재원에 따라 적극적인 투자로 기술수준향상을 추구해야하는 영역	 효과적인 기술개발 전략이 마련되지 않는다면 자체 개발 이외의 전략을 구사해야 하는 영역	 기술기반 확보가 시급한 영역
1.1.3 통합유지관리시스템-GIS/BIM 연계 기술	 기술시급성이나 파급효과는 높지 않으나 수익성이 양호하여 다른 핵심기술과 연계성을 전략적으로 고려해야 하는 영역	 지속적인 모니터링 및 관리-유지하거나 최고 기술수준에 이르기 위한 기술개발을 고려하는 영역	 점진적으로 기술기반을 확보해 나아가야 할 영역
1.1.4 통합유지관리시스템-클라우드 연계 기술		 기술격차가 확대되는 이유를 조기에 파악하여 이에 대한 대응이 필요한 영역	
1.2.1 장기 모니터링용 원격 센싱/모니터링 기술	 재원에 따라 적극적인 투자로 기술수준향상을 추구해야하는 영역	 기술개발을 가속화할 필요가 있는 영역	 기술기반 확보가 시급한 영역
1.2.2 현장 데이터 전송 및 처리 효율화 기술	 기술시급성이나 파급효과는 높지 않으나 수익성이 양호하여 다른 핵심기술과 연계성을 전략적으로 고려해야 하는 영역	 기술격차가 확대되는 이유를 조기에 파악하여 이에 대한 대응이 필요한 영역	 점진적으로 기술기반을 확보해 나아가야 할 영역
1.2.3 장기 모니터링 빅데이터 기반 전주기적 통합유지관리 기술	 재원에 따라 적극적인 투자로 기술수준향상을 추구해야하는 영역	 효과적인 기술개발 전략이 마련되지 않는다면 자체 개발 이외의 전략을 구사해야 하는 영역	 기술기반 확보가 시급한 영역

- 229 -

소분류 기술별 포트폴리오 분석결과(2/3)

대분류 2의 소분류별기술	수준-중요도	격차-격차추세	성숙도-중요도
2.1.1 사용환경별 열화요인 조사 및 점검 기술	 기술혁신을 통해 더 넓은 시장창출이 가능한 유망한 영역	 기술개발을 가속화할 필요가 있는 영역	 기술기반 확보가 시급한 영역
2.1.2 사용환경별 상태변화 예측가능 계측 기술	 기술시급성이나 파급효과는 높지 않으나 수익성이 양호하여 다른 핵심기술과 연계성을 전략적으로 고려해야 하는 영역	 기술격차가 확대되는 이유를 조기에 파악하여 이에 대한 대응이 필요한 영역	 점진적으로 기술기반을 확보해 나아가야 할 영역
2.1.3 열화인자를 고려한 보유성능 검증시험 기술		 지속적인 모니터링 및 관리-유지하거나 최고 기술수준에 이르기 위한 기술개발을 고려하는 영역	
2.2.1 구조물의 사용환경별 열화인자를 고려한 보유성능 평가 기술		 효과적인 기술개발 전략이 마련되지 않는다면 자체 개발 이외의 전략을 구사해야 하는 영역	
2.2.2 주변환경 변화에 따른 지하 구조물의 구조적 성능 예측 및 평가 기술	 재원에 따라 적극적인 투자로 기술수준향상을 추구해야하는 영역	 기술격차가 확대되는 이유를 조기에 파악하여 이에 대한 대응이 필요한 영역	 기술기반 확보가 시급한 영역
2.2.3 자연재해 및 극한환경을 고려한 지하 콘크리트구조물의 위험도 및 평가 기술		 효과적인 기술개발 전략이 마련되지 않는다면 자체 개발 이외의 전략을 구사해야 하는 영역	
2.3.1 지하 콘크리트구조물의 점검결과에 따른 사용상태 평가 정량화 기술		 효과적인 기술개발 전략이 마련되지 않는다면 자체 개발 이외의 전략을 구사해야 하는 영역	
2.3.2 지하 콘크리트구조물의 사용환경별 점검 및 평가기술 모델 표준화 기술			

- 230 -

소분류 기술별 포트폴리오 분석결과(3/3)

대분류 3의 소분류별기술	수준-중요도		격차-격차추세		성숙도-중요도	
3.1.1 지하 콘크리트 구조물 노출환경별 성능저하 원인 분석 기술		재원에 따라 적극적인 투자로 기술수준향상을 추구해야하는 영역		효과적인 기술개발 전략이 마련되지 않는다면 자체 개발 이외의 전략을 구사해야 하는 영역		기술기반 확보가 시급한 영역
3.1.2 지하 콘크리트구조물의 노출환경에 따른 잔존수명 예측 기술				기술개발을 가속화할 필요가 있는 영역		
3.1.3 지하 콘크리트구조물의 상태지수 및 보수·보강 결정 기준 확립 기술		기술혁신을 통해 더 넓은 시장창출이 가능한 유망한 영역		효과적인 기술개발 전략이 마련되지 않는다면 자체 개발 이외의 전략을 구사해야 하는 영역		
3.2.1 지하 콘크리트 구조물의 열화 원인별 기술 분류 정립 기술		기술 및 시장변화에 따른 대응이 필요한 영역		지속적인 모니터링 및 관리- 유지하거나 최고 기술수준에 이르기 위한 기술개발을 고려하는 영역		점진적으로 기술기반을 확보해 나아가야 할 영역
3.2.2 지하 콘크리트 구조물의 상태안정성기반 유지관리 기술		기술시급성이나 파급효과는 높지 않으나 수익성이 양호하여 다른 핵심기술과 연계성을 전략적으로 고려해야 하는 영역		효과적인 기술개발 전략이 마련되지 않는다면 자체 개발 이외의 전략을 구사해야 하는 영역		
3.2.3 지하 콘크리트 구조물의 내구성기반 유지관리 기술		기술혁신을 통해 더 넓은 시장창출이 가능한 유망한 영역		지속적인 모니터링 및 관리- 유지하거나 최고 기술수준에 이르기 위한 기술개발을 고려하는 영역		
3.2.4. 지하 콘크리트구조물의 유지관리 기법 적용성 및 활용화 기술		기술혁신을 통해 더 넓은 시장창출이 가능한 유망한 영역		지속적인 모니터링 및 관리- 유지하거나 최고 기술수준에 이르기 위한 기술개발을 고려하는 영역		기술기반 확보가 시급한 영역

주 의

1. 이 보고서는 국토교통부에서 시행한 국토교통연구기획사업의 연구보고서입니다.
2. 이 보고서 내용을 발표하는 때에는 반드시 국토교통부에서 시행한 사업의 연구
결과임을 밝혀야 합니다.
3. 국가과학기술 기밀유지에 필요한 내용은 대외적으로 발표 또는 공개하여서는
아니됩니다.