

일반과제 / 공개

국토교통연구기획사업 최종보고서

발간등록번호 : 11-1613000-001585-01

R&D / 15RDPP-C102166-01

노후(철거)교량의 성능평가를 통한 공용중 교량의 장수명화 연구기반 구축 최종보고서

2016. 03. 31

주관연구기관 / 건설연구인프라운영원
공동연구기관 / 한국시설안전공단

국 토 교 통 부
국토교통과학기술진흥원

제 출 문

국토교통부장관(국토교통과학기술진흥원장) 귀하

이 보고서를 "노후(철거)교량의 성능평가를 통한 공용중 교량의 장수명화 연구기반 구축"과제의 최종보고서로 제출합니다.

2016. 03.

주관연구기관 : 건설연구인프라운영원

주관연구기관명 : 건설연구인프라운영원

주관연구책임자 : 정 대 성

연 구 원 : 안 광 기

" : 김 철 영

" : 최 선 아

" : 박 세 현

공동연구책임자 : 김 중 호

연 구 원 : 신 병 길

양 홍 민

보 고 서 요 약 서

과제고유번호	15RDPP-C102166-01	해 당 단 계 연 구 기 간	2015.08.01.~2016.03.31	단 계 구 분	-
연 구 사 업 명	국토교통연구기획사업				
연 구 과 제 명	노후(철거)교량의 성능평가를 통한 공용중 교량의 장수명화 연구기반 구축				
연 구 책 임 자	정대성	총연구기간 참 여 연구원수	총 : 9명 내부 : 6명 외부 : 3명	총 연구비	정부 : 90,000천원 기업 : 천원 계 : 90,000천원
연구기관명 및 소 속 부 서 명	(주관) 건설연구인프라운영원 기술연구소 (공동) 한국시설안전공단			참여 기업명	-
국제공동연구	상대국명 : -		상대국연구기관명 : -		
요약				보고서면수	304
[연구개발 필요성]					
<input type="checkbox"/> 교량은 국민 안전과 직결되는 핵심 SOC 시설물로서 정부차원의 지속적 관리 및 노후 교량 장수명화 기술개발을 위한 R&D 투자 필요 - '70-80년대에 경제성장과 함께 집중적으로 구축된 인프라시설은 30년 이상 경과하여 노후화율이 9.9%를 초과('15년 12월 기준) - '15년 12월 기준으로 전체 교량 30,983개 중에 30년 이상 경과한 교량은 3,057개 (9.9%)이며, 향후 10년 후에는 9,576개(30.9%), 20년 후에는 21,737개(70.2%)으로 노후 교량이 급격히 증가할 것으로 예상(2016 도로 교량 및 터널 현황조사, 국토교통부)					
[비전 및 목표]					
<input type="checkbox"/> (비전) 노후교량의 정확한 성능평가와 최적의 보수보강 기법 적용을 통한 공용수명 연장 및 안전사회 구현 <input type="checkbox"/> (최종 목표) 세계적 수준의 노후교량 장수명화 기술 확보 및 선순환 체계 마련					
[주요 연구내용]					
<input type="checkbox"/> 노후·철거교량을 테스트베드(Test-bed)로 활용하여 성능평가기법, 성능개선·보수보강 기술, 모니터링 기술 등 노후교량 장수명화 요소기술을 검증하고 개량할 수 있는 기술 실증기반의 선순환 연구체계 구축 <input type="checkbox"/> 노후교량 장수명화 관련 기술간 연계·실증을 통한 시너지 창출 및 노후화에 적극적으로 대응·대비하기 위한 관련 기준 및 제도 정비, 철거교량을 활용한 개발기술의 검증 및 잔존수명 예측기술 개발 등 <input type="checkbox"/> 교량 안전진단 및 보수보강 분야에 대한 교육·제도개선 등을 통한 우수인력 유입 환경을 조성하여 열악한 중소기업의 기술력 향상 및 교량 유지관리 분야 국가 경쟁력 제고					
색 인 어 (각 5개 이상)	한 글	노후교량, 장수명, 안전진단, 성능평가, 유지관리, 보수보강			
	영 어	Aged Bridge, Longevity, Safety Inspection, Performance Evaluation, Maintenance, Repair/Strengthening			

목 차

제1장 기획연구 개요	1
1.1 배경 및 필요성	1
1.1.1 기획연구 배경	1
1.1.2 기술적 필요성	8
1.1.3 경제·산업적 필요성	10
1.1.4 정책적 필요성	13
1.2 기획연구 목표 및 내용	15
1.2.1 연구목표	15
1.2.2 주요 연구내용 및 범위	16
1.3 기획연구 수행체계 및 추진방법	17
1.3.1 수행체계	17
1.3.2 추진방법	21
1.3.3 추진경과 및 내용	22
제2장 국내외 교량 장수명화 동향분석	26
2.1 국내 교량 현황	26
2.1.1 국내 교량 구축 현황	26
2.1.2 노후화 정의 및 국내 교량의 노후화 현황	32
2.2 기술 동향 분석	36
2.2.1 교량 성능평가(안전진단) 분야	36
2.2.2 보수보강 분야	48
2.2.3 계측·모니터링 분야	59
2.3 시장 동향 분석	62
2.3.1 교량 성능평가(안전진단) 분야	62
2.3.2 보수보강 분야	67
2.3.3 계측·모니터링 분야	78
2.3.4 기술 관련 시장 주요 이슈	86
2.4 정책 동향 분석	90

2.4.1 교량 유지관리 현황	90
2.4.2 (국외) 교량 장수명화 관련 제도 및 운영 사례	97
2.4.3 (국내) 교량 장수명화 관련 제도 및 운영 사례	107
2.4.4 국내 교량 장수명화 관련 제도의 문제점 분석	124
2.4.5 국내외 실증 T/B 활용 사례	129
2.5 정부지원의 필요성 및 시급성	150
2.5.1 타당성 분석	150
2.5.2 경제성 분석	168
2.5.3 시사점 및 SWOT 분석	171
2.6 중복성 검토	174
2.6.1 국토교통 타 연구과제와의 중복성 검토	174

제3장 노후교량 장수명화 기술수요조사 및 요소기술 도출 186

3.1 기술수요조사	186
3.1.1 수요조사 개요	186
3.1.2 '노후교량 장수명화 필요성 및 기술수준' 설문 결과	189
3.1.3 '교량 장수명화 세부요소기술 및 중요도'에 대한 설문 결과	192
3.2 교량 장수명화 요소기술 우선순위 평가	196
3.2.1 전문가 대상 우선순위 평가	196
3.2.2 본과제 추진 요소기술 도출	199

제4장 연구개발과제 및 추진전략 205

4.1 연구개발과제 구성	205
4.1.1 비전 및 목표	205
4.1.2 연구과제 구성 및 세부목표 설정	206
4.1.3 대량교량 설정 근거	208
4.2 추진체계 및 중점 추진전략	211
4.2.1 연구단 추진체계	211
4.2.2 중점 추진전략	212
4.3 세부과제별 주요 연구내용	223

4.3.1 [1세부]중소 노후 콘크리트교량의 장수명화를 위한 실증 연구	223
4.3.2 [2세부]중소 노후교량 종합성능평가 실증 및 개선방안 제시	249
4.4 세부과제별 과제카드	262
4.4.1 1세부 과제카드	262
4.4.2 2세부 과제카드	270
4.5 연구내용별·연차별 최종성과지표	275
4.6 기술로드맵	282
제5장 세부과제 및 소요예산(안)	283
5.1 연차별 추진계획	283
5.2 소요예산(안)	284
5.2.1 소요예산 총괄	284
5.2.2 세부과제별 소요예산	285
5.3 소요인력(안)	290
제6장 연구결과의 활용방안 및 기대효과	291
6.1 활용방안	291
6.2 기대효과	292
[참고1] 과제 제안요구서(RFP(안))	293
[참고2] 평가기준(안)	302

1.1 배경 및 필요성

1.1.1 기획연구 배경

(1) 교량은 국민 안전과 직결되는 핵심 SOC 시설물로서 정부차원의 지속적 관리 및 R&D 투자 필요

- 시설물 노후화에 따른 국민의 안전 불안감 해소 및 기술환경 변화에 체계적으로 대응하기 위해서는 정부차원의 개선노력 필요
 - 노후교량 유지관리·보수보강은 정부가 관리해야 하는 공공 SOC 시설물의 핵심으로서 장기적 측면에서 지속적 투자가 필요
 - 우리나라보다 도시화가 앞선 미국과 일본의 도시시설물 노후화 대응사례를 거울 삼아, 국가차원의 체계적인 시설물(교량) 보수보강 및 유지관리 투자 확대 등 시설물 관리의 패러다임 전환 필요
 - * (우리나라) 시설물 고령화 시대에 진입: 향후 10년 후에 30년 이상된 교량은 9,576개소(30.9%)에서 20년 이후 21,737개소(70.2%)로 크게 증가('15.12기준)
 - * (미국) 과거 11년 동안 교량 503곳이 붕괴되어 시설물 관리에 연 250조원 투입
 - * (일본) 국토교통성 주도로 도시시설물 수시점검 및 교량 보수 장기화 계획 수립
 - 노후교량 유지보수 투자의 지연은 SOC시설 노후화와 서비스 수준 저하를 유발하여 성능보완 및 수명연장을 위한 막대한 경제적 부담을 초래할 수 있음
- 국내 교량 노후화의 급격한 증가에 효과적으로 대응하기 위해서는 장기적 관점에서 체계적인 유지보수를 통한 성능보완 및 수명연장을 통해 경제적 부담을 최소화하고 국민 안전과 서비스 품질을 제고해야 함
- 미래 건설시장은 유지보수 시장으로 점차 전환될 것으로 전망되고 있고, 선진국은 이미 SOC 사회기반 시설물에 대한 투자를 확대하고 있음. 따라서 관련 분야의 기술력 제고와 시장 선점을 위한 정부차원 지원책 마련 필요
 - 국내 신규 구축이 점차 감소하면서 장기적인 유지보수를 통한 수명연장이 새로 개축하는 것보다 2~3배의 비용 절감 효과 기대
 - * (미국) 뉴욕시는 '80년대부터 '교량 갱신 사업계획'을 추진하여 100년이 경과한 교량도 사용 중
 - * (일본) 최근 급격히 증가한 노후교량 문제 해결을 위해 지자체별로 '교량 수명 장기화 계획' 추진
 - * (베트남) JICA(Japan International Cooperation Agency) 등의 지원을 받아 전국 500여개 노후화된 교량의 개보수를 지속적으로 시행중

- 교량(도로)은 중요한 사회간접자본(SOC)으로서 사회·경제적 측면에서 국민의 안전과 직결될 뿐만 아니라, 경제활동에 필수적인 교통물류의 동맥과 같음
 - * 교량(도로)은 사회적 측면에서 국민의 안전 및 삶의 질 향상을 위한 핵심 요체임
- 최근 재난재해 뿐만 아니라, 人災에 의한 사고로 시설물에 대한 국민의 안전 인식이 크게 낮아져 공공 SOC 시설물에 대한 안전성 확보가 절실
 - * 교량 구조물은 타 시설물에 비해 공공성이 매우 높기 때문에 사고발생시 국민 및 국가 경제에 미치는 영향이 큼
- '70-80년대에 경제성장과 함께 집중적으로 구축된 인프라시설은 30년 이상 경과하여 노후화율이 11.1%를 초과됨. 따라서 시급히 노후화된 시설물에 대한 체계적인 유지관리와 보수보강이 이루어지지 못할 경우에는 국가 안전망 확보에 큰 지장 초래
 - * 향후 10년 이후 노후교량이 급격히 증가할 것으로 예측되므로, 교량에 대한 유지관리·보수보강에 대한 근본적인 대책을 마련하여 안전사고 방지 및 경제·산업적 피해를 최소화 하기 위한 노력이 시급
- 지금까지는 시설물을 잘 관리하는 것만으로도 무사고를 유지하여 왔으나, 점차 고령화되고 자연재해로 인한 피해증가, 안전 및 유지관리 업무의 비효율성은 그동안 지켜왔던 시설안전에 큰 위협이 될 수 있음
- 따라서 우리나라가 행복사회로 진입하는데 필수 전제 조건인 시설물의 안전이 확보되기 위해서는 미래의 변화를 사전에 예측하고 이에 부합되는 정부의 적극적인 대책마련이 요구됨

□ 최근 들어 안전사고와 재해 등으로 국민이 느끼는 안전인식도가 급격히 낮아진 상태로 시설물 전반에 대한 불안감이 크게 증가하고 있으며, 특히 노후교량에 대한 문제가 사회적 이슈로 대두

- SOC 시설물의 붕괴에 따른 국민 안전인식도 하락은 내수수축으로 이루어 질 수 있으며, 정부 안전정책, 제도 및 기술 등 에 대한 불신과 국가경제 전반에 악영향을 끼침
 - * 교량 상판 거푸집 붕괴사고('15.03), 생태탐방로 교량 붕괴사고('15.05)
 - * 판교 테크노벨리 환풍구 붕괴('14.10), 마우나오션리조트 붕괴사고('14.02)
 - * 싱크홀 발생(잠실, 송도 등 다수) 등

- 세월호 사건으로 해상교통에 대한 불안감과 함께, 사회적 일자리 창출 노력과 내수경기 회복에 큰 차질 발생
 - * 일자리 7만3천개 가량 덜 늘어날 것으로 예상했으며¹⁾ 내수수축에 따라 GDP성장률이 하락
- 시설물에 대한 국민의 사회안전 인식도는 2014년 이후 급격히 악화
 - * 불만족율: ('05년) 36.8% → ('10년) 21.9% → ('14년) 51.3%

표 1-1. 사회안전 인식도(건축물 및 시설물)

[단위: %]

구분	계	안전			보통	불안			
		매우	비교적	비교적		매우			
전국	2005	100.0	15.8	0.8	14.9	47.5	36.8	31.5	5.2
	2008	100.0	17.8	0.7	17.1	52.0	30.2	27.0	3.1
	2010	100.0	23.4	1.4	22.0	54.6	21.9	19.8	2.2
	2012	100.0	26.2	1.7	24.5	52.5	21.3	19.0	2.3
	2014	100.0	12.1	0.7	11.3	36.7	51.3	38.2	13.1

<자료: 통계청, 사회안전에 관한 인식도(건축물 및 시설물), 2014>

- 교량시설물의 경우, 성수대교 붕괴 이후 「시설물의 안전관리에 관한 특별법(시특법)」이 제정되고 1·2종 교량에 대한 안전관리가 체계적으로 수행되고는 있으나, 관리 대상에서 제외되어 상대적으로 관리가 취약한 중외 시설물은 사고가 매년 증가하고 있어 관리대책 마련이 시급
 - 빈번해진 자연재해로 인한 노후교량의 붕괴 및 성능저하가 증가하고 있어, 관리기준 정비 및 최적 유지관리 방안 수립 등의 종합적인 대응책 마련 시급
 - 최근 6년간 자연재해로 인해 발생한 공공시설물의 연간 피해액은 평균 1조원으로 추산되고 있으며, 심각한 피해가 발생한 경우는 5배 이상 급증
 - * 산지 및 하천이 많은 일부 지역의 소규모 교량의 경우, 집중호우 등으로 인해 잦은 교량 붕괴사고 발생
 - 따라서 노후 또는 성능이 저하된 시설물에 대한 근본적인 대책을 마련함으로써, 사회 기반 시설물의 안전사고를 방지하고 막대한 경제·산업적 피해를 최소화하기 위한 방안 마련이 필요한 시점
 - 최근 한반도 지진빈도 및 대규모 지진 발생 가능성 증가함에 따라 내진설계가 미반영된 대부분의 1980년대 이전 준공 교량에 대한 보강 적용 시급
 - * 평균 지진 발생횟수 : '00년대 이전 19.2회/년 → '00년대 이후 43.6회/년

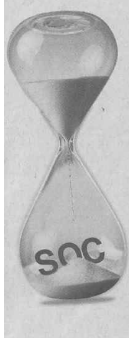
1) 한국경제연구원, 연합뉴스 '14.05.19



4. 늙어가는 인프라... 대응법 다른 韓-日

제158호호 2018년 1월 19일 월요일 건설경제

SOC 노후화 방치 맨 더 큰 손실"... 韓 '뒷걸음'-日 '젠걸음'



일본은 이미 도로 한국의 1.5배 정도다. 지출선과 교량으로 인한 인구 감소, 사회 인프라의 노후화에 대한 대응책이 마땅치 않다. 일본 국민은 인프라 노후화에 대해 불안해 하고 있다. 지난해 일본 국토교통성이 발표한 인프라 노후화에 대해 '매우 불안하다'고 응답한 일본 국민이 2011년 13.7%에서 2016년에는 36.5%로 늘어났다. 일본이 인프라 노후화는 '엔지니어의 신과 같다. 고도 경제성장기에 개발된 각종 인프라와 건축물의 노후화가 일시에 도래했다. 가베타카시 도시개발청의 '일본의 노후화' 보고서에 따르면, 일본은 2012년 기준 전국 인프라의 50%가 50년 이상된 것으로 나타났다. 고도 경제성장기에 개발된 각종 인프라와 건축물의 노후화가 일시에 도래했다. 가베타카시 도시개발청의 '일본의 노후화' 보고서에 따르면, 일본은 2012년 기준 전국 인프라의 50%가 50년 이상된 것으로 나타났다.

무차별 가격전투는 韓
국토부-국민안전위원회-인프라 시설물관리통합법 국회 표류
다. 이에 비해 인프라를 주도 관리하는 시장화(한국)의 사수(구)의 역할은 2009년에 비해 2012년에는 55% 수준으로 감소했다. 인구 감소와 교량과 도로 사정이 좋지 않은 것도 보수 수요가 감소하는 원인으로 지적된다. 국토부도 2012년 기준으로 8200억가량이 투입된 예산으로 100개 중 13.5개 항목이다. 특히 여타 시설은 무려 22%가 반감된 것으로 조사됐다. 일본 정부는 이 같은 현상을 해결하기 위해 지난해 말부터 자원의 총괄·일체화 인 대응 전략을 짰다.

법정부 지원 전략 짜는 日
인프라 관리 국민회의 등 운영 종합 실태조사-유지관리 대책 책자
책과 집중에 의한 총괄관리를 유도했다. 이를 위해 '인프라 관리 국민회의'를 만들고, 인프라 실태조사, 예산 지원 방안 등을 마련할 예정이다. 특히, '인프라 관리 국민회의'를 운영하고 있다. 특히, '인프라 관리 국민회의'를 운영하고 있다. 특히, '인프라 관리 국민회의'를 운영하고 있다.

관민 주도의 국토교통부와 국민안전처로 이월되고 있다. 이를 국토부로부터 일괄 관리가 위한 법 개정안이 국회에 제출된 것은 2017년 11월이다. 그러나 '인프라 관리 국민회의'를 운영하고 있다. 특히, '인프라 관리 국민회의'를 운영하고 있다. 특히, '인프라 관리 국민회의'를 운영하고 있다.



그림 1-1. 노후교량에 대한 사회적 문제 심화

□ '제3차 시설물의 안전 및 유지관리 기본계획(13~16)'에서 제시한 "미래사회 전망에 따른 시설안전 관련 이슈"의 적극적 해결을 위한 노력이 중요

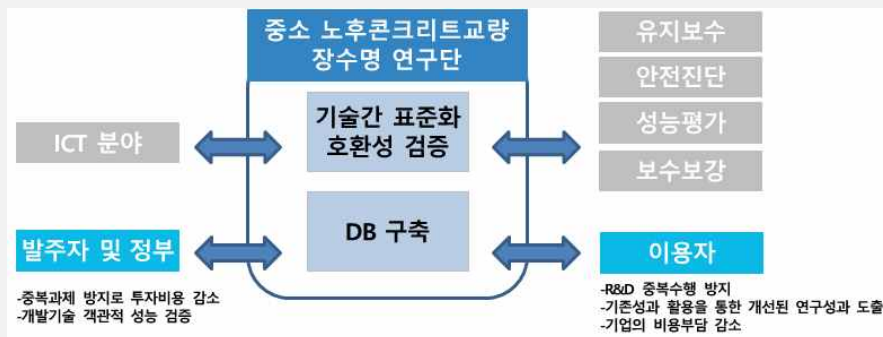
- ①안전 위험성 증대, ②국민의 삶을 중시하는 복지사회, ③기후변화가 시설안전 분야에서 가장 중요한 메가 트렌드로 부각될 전망
- * 향후 10년 시설안전 분야에 영향을 미칠 주요 메가 트렌드(건설연구원 설문조사, '11)
- * 안전 위험성 증대(35%), 국민의 삶을 중시하는 복지사회(19%), 기후변화 (18%), 기술의 융·복합화(15%), 양극화(12%)
- * 시설안전 메가 트렌드에 적극 대응하기 위해서는 안전한 시설물(Safety), 자연과 함께 하는 시설물(Sustainable), 스마트 시설물(Smart)의 구현 필요

표 1-2. 미래사회 전망에 따른 시설안전 관련 이슈

구분	메가 트렌드	시설안전 관련 이슈
정치	안전 위험성 증대	<ul style="list-style-type: none"> • 노후화로 인한 안전관리 필요 시설물 및 사회적 불안감 증가 • 환경변화에 따른 시설안전관리체계 정비 • 시설안전 운영시스템 테러대응방안 강화
경제	국민의 삶을 중시하는 복지사회	<ul style="list-style-type: none"> • 높은 수준의 시설물 사용성능 요구 • 복지재원으로 인한 신규 SOC 건설 저조 • 공공 시설물 유지관리 중요성 대비 투자 미흡 • 자산관리를 통한 안전-사용성능 확보
환경	기후변화	<ul style="list-style-type: none"> • 이상기후 선제대응 시설안전 요구증대 (자연재해에 대한 시설물 평가기준 등) • 저탄소친환경형 보수보강재료 및 신공법 개발 • 시설물의 장수명화 기술 개발 촉진
기술	기술의 융·복합화	<ul style="list-style-type: none"> • 시설물 손상 및 자기치유 기술 부각 • 유비쿼터스 개념에 의한 실시간 구조물 모니터링 기술 및 정보시스템 고도화 • BIM 안전진단 및 유지관리 업무 접목 가속
사회	양극화	<ul style="list-style-type: none"> • 노후 소규모 시설물 및 민간 시설물의 안전 취약현상 심화 • 대형 안전진단전문기관, 유지관리업체 위주로 시장 및 기술력 편중 • 고학력자의 3D업종 기피로 인한 안전진단 및 유지관리 우수인력 부족

(2) 노후교량 장수명화 관련 기술간 연계 및 시너지 창출을 위해서는 실증기반의 선순환 연구체계 구축 필요

- 기존 공용중 노후교량의 장수명화를 위해서는 관련 기술개발과 제도개선 등이 서로 유기적으로 진행되어야 함
 - 기존 R&D는 일회성 또는 개별 기술개발 형태로 수행되어 실교량에 대한 실증이 결여되고 개발된 기술·제품·공법의 객관적인 성능 검증은 물론 기술간 연계성이 부족
 - 교량 장수명화를 위한 성능평가, 보수보강, 유지관리 등의 요소기술과 제도·기준 등의 정책 반영이 지속적으로 피드백 되어야 하나 이를 위한 선순환 연구기반이 부족
- 따라서 교량의 노후화에 적극 대응·대비하기 위해서는 관련 기준·제도 정비, 개발기술의 검증, 철거교량 T/B(테스트베드) 연계활용 등 관련 업무를 총괄할 수 있는 선순환 연구체계(중소 노후콘크리트교량 장수명 연구단) 구축이 필요
- 노후교량 장수명화를 위한 실질적 성과 도출을 위해서는 장수명화연구단을 중심으로, 산학연관 관련분야 전문기관들과 기술을 개발하고 적용하는 기업들이 유기적인 협력할 수 있는 연구단이 형성되어야 함



- 노후교량 성능·내구수명 평가와 보수보강 공법의 검증 등은 실제 교량을 이용하여 평가하여야 하나 공용중 교량은 안전 및 교통통제 등의 사회적 문제로 활용이 어려움. 따라서 노후(철거)교량을 활용한 기술 실증 필요
 - SOC와 관련한 공법·기술·제품의 활용은 보수적인 측면이 강하여 반드시 실검증을 통한 성능평가가 이루어져야 현장 활용이 가능
 - 교량 유지관리·보수보강 기술의 연구개발 및 T/B 실증을 통한 실용화 촉진 가능
 - 현재 성능개선의 관점에서 얼마의 예산투자로 어느 정도(보수/보강 수준)의 성능이 회복되고 얼마 동안 지속적으로 사용가능한지의 척도가 제시되고 있지 못한 실정
 - 이에, 철거대상 교량을 활용하여 각 부재별 잔존수명을 평가하고 예측하여 기존 교량에 적용함으로써 실효성을 증대시켜 최적 유지관리 시스템을 유도할 필요가 있음

(3) 기술·제품·공법 등의 장수명화 실증 실험을 위한 정부와 지자체의 적극적 협력·지원 체계 마련

- 교량 구조물의 노후화는 내구연한 감소와 서비스 수준 저하를 유발하여 교통흐름이 방해되고 성능보완 및 수명연장을 위한 경제적 부담 초래
 - 국내에 산재되어 있는 수많은 보수보강 방법들에 대해 보강 성능기준 등급을 제시하여 관리주체 및 유지관리업체가 예산과 목표성능에 맞게 선택을 할 수 있도록 정보 제공이 필요
- 철거교량 실증을 통해 성능평가 기준의 지속적인 보완이 가능하고, 기존의 다양한 보수보강 공법에 대한 정량적 평가는 물론 관련 교량 신기술 개발이 용이
 - 기존 기술간 연계성 검증 위해서 실증실험이 이루어져야 하며 DB구축 요구
 - * 교량 유지관리 생애주기(LCC) 예측기술, 시설물의 평가표준화, 교량 형식별·노후도별 적정 보수보강 방법, 보수보강 목표성능, 공법별 정량적 성능평가, 의사결정 시나리오 작성 등
 - 다양한 교량에 대한 실증실험 DB를 구축하고 체계화함으로써 관련 기준의 정비는 물론 교량의 개보수를 위한 의사결정시 효율적인 예산투자가 가능
 - 향후 노후교량의 성능개선과 개축 중 투자 우선순위 결정 등 현실적 문제에 있어서 실증실험을 통한 DB구축과 정보공개를 통해 정책결정권자의 의사결정지원 가능
- 따라서 이를 위해서는 실제 철거·폐교량을 T/B(Test-Bed)로 활용할 수 있도록 교량 관리주체인 국토교통부, 지방국토관리청 및 지자체의 협조가 반드시 필요하며, 노후화된 철거교량의 활용에 대한 기준 및 정책 마련이 선행되어야 함

□ 노후(철거)교량의 성능평가 방법을 개발하고 안전진단 및 보수보강 기술개발에 활용함으로써, 노후교량의 공용수명 연장을 위한 선순환체계 마련 필요

- 기존 성능평가 방법들은 대부분 신설교량 대상으로, 노후교량에 대한 평가방법은 전무
- 서울시는 문래고가차도 등 폐기된 교량을 활용하여 공용중인교량의 안전성 평가기법 개발 수행('11~'12년)
 - * '철거교량을 활용한 도시시설물의 안전성 평가기법 개발 연구'(2012.8월)
 - * 고가교 3개(노랑진·화양·문래고가), 일반교량 2개(응봉·월암교), 복개교량 1개(정릉천)>

(4) 노후교량 유지관리·보수보강 분야 중소기업 육성을 통한 국가 경쟁력 제고

- 국내 유지관리, 안전진단 및 보수보강 업체는 대부분 중견·중소기업이며, 시설물 유지관리 시장 대응을 위한 기술역량 강화가 필요
 - 중소기업이 총 생산액의 47.5%를 담당하고 있는 제조업과 달리, 건설분야 안전진단 업체의 경우에는 528개중 상위 22개사가 전체의 50% 이상을 수주하여 대형 안전진단 전문업체의 편중 심화
- 기술개발 여건(중소기업의 T/B확보, 기술인력 및 연구장비 부족 등)이 열악한 중소 보수보강업체에 대한 체계적 지원 시스템을 마련하여, 신기술 지정 및 사업화 확대를 통해 창조경제 실현 및 일자리 창출 등 정부 기조에 부흥
 - * 철거교량을 활용한 개발기술 검증 및 실증 Test-Bed 교량 지원
 - * 기술개발 촉진을 위한 국토교통 연구시설장비의 공동활용 지원 등
 - 세계적으로 교량의 신규 구축보다는 유지관리로 시장이 변화하고 있어, 국내 관련기업의 해외시장 진출 다변화를 위해서라도 기술력을 제고하고 경쟁력 있는 중소기업 육성 정책이 필요
 - 이를 통해 북미, 동남아, 중동 등 해외 교량 유지관리 시장 선도가 가능
- 우리나라가 행복사회로 진입하기 위해서는 시설물의 안전 확보 측면에서 미래의 변화를 사전에 예측하고 이에 부합된 기술을 선제적으로 개발하는데 정부가 적극 앞장서야 함
- 급증하는 시장 규모에 맞춰 유지보수 공법 및 기술간 연계를 통해 일자리 창출 국내유지보수산업 부흥 등의 효과를 창출할 수 있으며 이를 위해 기술 표준화, 기술개발 및 연계된 기술을 실증할 수 있는 시스템 구축이 필요
- SOC시설물의 장수명화를 위해, 안전진단전문기관, 시설물 유지관리업체 등의 기술수준 발전이 필요하고, 시설물 안전 및 유지관리 분야의 신기술 개발 기능을 지속적으로 강화하여야 할 뿐만 아니라, 연구개발 결과를 체계적으로 보급하여 활용도를 제고하는 방안을 수립하여 시행 필요

1.1.2 기술적 필요성

- 노후교량 장수명화 관련 기술간 연계 및 시너지 창출을 위해서는 정부차원의 R&D기반 관련기술 선도 필요
 - 철거교량을 실증테스트베드(Test-bed)로 활용하여 성능평가기법, 성능개선·보수보강 기술, 모니터링 기술 등 노후교량 장수명화 요소기술을 검증하고 개량할 수 있는 기술 실증기반의 연구기반 마련 필요
 - 실질적이고 효과적인 노후교량 장수명화를 위해서는 다양한 관련 기술의 시너지 창출 및 지속가능한 선순환 체계 마련 필요
 - * 기존 성능평가 방법들은 대부분 신설 교량 대상으로, 공용중 노후교량에 대한 평가방법 전무
 - * 철거 교량의 성능평가 D/B화로 성능중심설계 기준 마련을 위한 기초자료 확보 필요
 - 향후 도로(교량)분야 건설산업 및 정부 투자는 신규 구축보다는 유지관리 및 보수보강 분야로 패러다임이 전환될 것으로 예측
 - 또한, 노후교량에 대한 개축·철거 또는 보수보강 결정시에 국가 예산투입의 효율성을 제고하기 위해서는 교량형식, 노후도, 보수보강 이력에 따른 최적 보수보강 방법과 예산 투자의 적정성 등을 판단할 수 있는 객관적인 노후교량 최적 유지관리 의사결정시스템 마련이 요구됨
- 사회기반시설물(교량 등)에 대한 국가재정 효율화 측면에서, 향후 노후교량에 대한 유지관리·보수보강 비용 급증을 선제적으로 대응하기 위해서는 노후교량의 장수명화 노력이 매우 중요
 - 노후교량에 대한 골든타임을 놓칠 경우, 미국의 사례에서처럼 SOC시설물의 보수보강 및 성능개선에 따른 막대한 예산 투입으로 후세대에 대한 경제적 부담을 가중시키 수 있음
 - * 미국은 향후 5년간 SOC시설물에 대한 유지보수 투자액이 2.2조원 예상
 - 특수교량 위주의 신설 교량은 내용연수 50~100년 설계 및 고강도 재료개발 등을 통해 설계시부터 장수명화 노력이 이루어지고 있으나, 기존 공용중 노후교량에 대해서는 보수보강 등을 통해 장수명화가 필요하며 이를 위해서는 정부의 적극적 지원과 대응이 요구됨
 - 특히, 시특법에 의한 1,2종 교량은 한국시설안전관리공단을 통해 체계적인 유지관리가 되고 있으나 지자체가 관리하는 교량 및 종외 교량의 경우에는 유지관리가 매우 취약한 상태
 - * 시설안전관리공단의 관리 교량(10,352개소)은 전체 30,983개소 중 33.4%에 불과

- 노후교량 유지관리·보수보강 분야 중소기업 육성을 통한 국가 경쟁력 제고
 - 향후 유지관리 대상 교량의 증가에 따라 유지관리 및 보수보강 관련 시장이 크게 성장할 것으로 예측되며, 이로 인해 관련분야 기업 및 일자리 또한 크게 증가할 것으로 전망됨
 - 기술개발 여건(중소기업의 T/B확보, 기술인력 및 연구장비 부족 등)이 열악한 중소 보수보강업체에 대한 체계적 지원 시스템을 마련하여, 신기술 지정 및 사업화 확대 가능

- (기존 성능평가 기준 보완 및 개발기술의 객관적 검증) 교량을 포함한 시설물 유지보수 시장 확대에 유지관리·보수보강·안전진단(계측·센서 등) 관련 기술개발 및 수요가 크게 증가할 것으로 예상되나, 공공의 안전성을 담보로 하여야 하는 시설인 만큼 체계적이고 객관적인 검인증이 필요
 - 성능평가 기준은 개발되어 있으나 노후교량에 대한 실교량 검증은 미흡한 상태로, 지속적인 적용을 통한 개선 및 보완 노력이 필요

- 선진국은 국가지원시스템과 민간시스템의 상호공존으로 기술개발이 활발히 이루어지고 있으나, 국내는 요소기술의 개별적 개발로 체계적인 검증 및 시스템 부족으로 시너지 효과가 낮음
 - 관련분야의 연구개발은 경제력과 영향력이 높은 대기업, 정부출연연구원 등을 중심으로 이루어지나 실질적인 교량 유지관리/보수보강 주체인 중소기업은 상대적 기술력이 낮음



그림 1-2. 국가기술수준 비교
(기반시설 기능유지 및 복구·복원 기술)

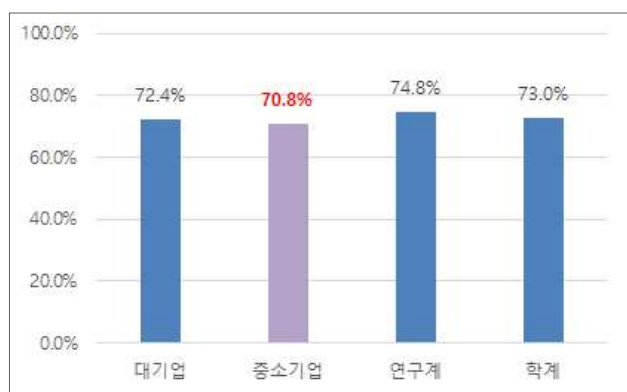


그림 1-3. 기술 보유기관별 기술수준
(기반시설 기능유지 및 복구·복원 기술)

<출처: 2012년 기술수준평가보고서(KISTEP)>

1.1.3 경제 · 산업적 필요성

□ (시설물 유지관리의 중요성) 시설물 유지관리는 국가 주요자산인 SOC 장수명화와 효율적 활용을 유도하여 미래의 경제적 부담 완화에 필수적2)

- 10여년 후 우리나라는 시설물 고령화 시대 진입으로 위험노출 및 불안감 증가 예상. 따라서 유지보수 투자 지연은 SOC 시설 노후화와 서비스 수준 저하를 유발하여 성능 보완 및 수명연장을 위한 경제적 부담 증가 초래

* 미국은 '80년대에 고령화 진입 및 적정 대처 실패로 사회 불안감과 경제적 부담 증가(SOC 안전등급: D등급, 유지·보수 투자비 소요: 향후 5년간 2.2조 달러)

* GDP 대비 SOC 유지·보수비 비율: OECD 회원국(0.3%), 개발도상국(1.8%)로서 개발도상국은 적기 유지보수 미 실시로 인하여 선진국보다 경제적 부담이 큰 상황

□ 한정된 국가 예산으로 기존 구조물의 교체·개축보다는 보수보강을 통한 수명연장 필요성 고조

- 우리나라 국가예산은 매년 증가하는 반면 SOC 투자비용은 세계 금융 위기 이후 경제 위기 극복을 위해 일시적으로 증가되었으나 2009년 이후 점진적으로 감소하는 추세임

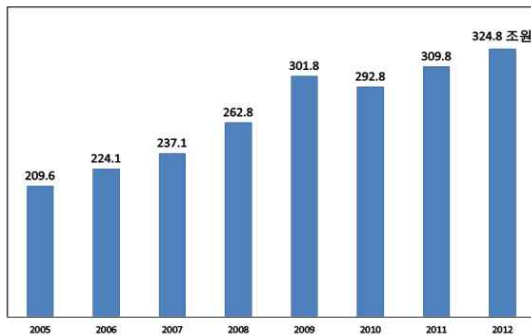


그림 1-4. 연도별 국가 예산(조원)

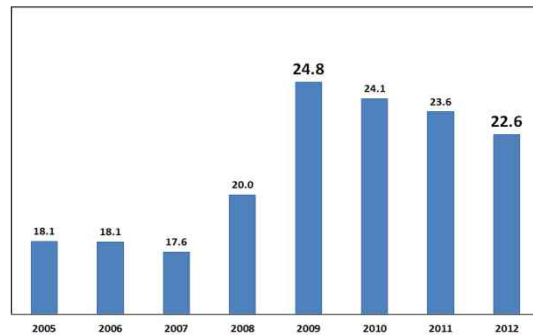


그림 1-5. 연도별 SOC 투자 예산(조원)

- 2005년부터 5년간 도로 보수에 투자된 금액은 연평균 2조 3,000억원 규모이며, 이 중 약 20%에 해당하는 4,700억원이 구조물 보수에 투자되고, 구조물 보수의 70%에 해당하는 3,000억원이 교량 보수에 투자되고 있음3)

- 전체 도로 보수비용과 구조물 보수비용은 세계 금융위기가 발생했던 2007년을 제외하면 매년 유사한 수준으로 투자

* 교량 보수비용은 2005년 2,100억원 규모에서 2009년에는 4,700억 원규모로 확대. 교량 보수비용 중 신설 및 확장을 제외한 순수 보수비용은 연평균 2,000억원 규모이며, 매년 15~30%씩 증가하는 추세임

2) 제3차 시설물의 안전 및 유지관리 기본계획

3) 도로보수현황(2005~2009), 국토해양부

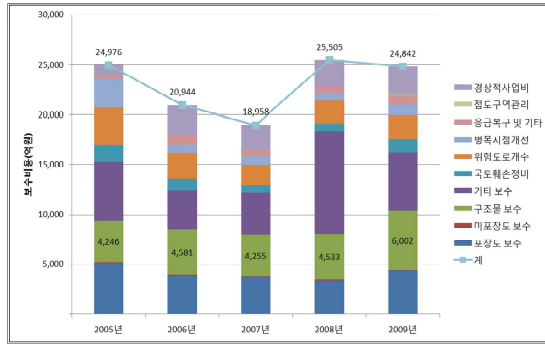


그림 1-6. 도로보수 비용 투자 추이

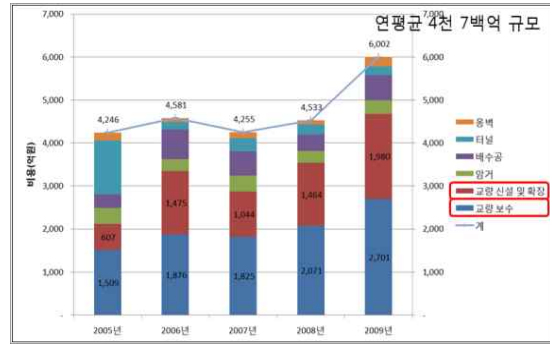


그림 1-7. 구조물보수 비용 투자 추이

- (각 시도별 유지보수 비용 투입 현황) 서울시의 경우 유지보수비용 투입이 본격화되는 20년 이상의 공용중 교량이 60%이상을 차지하고 있으며, 15년 이후 대부분의 도시에서도 60%이상 달할 것으로 예상되어 효율적인 유지관리 재정 분배 요구

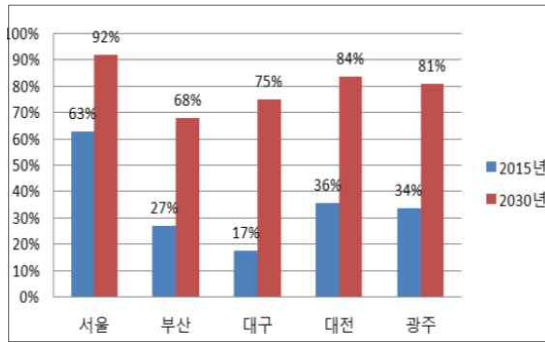


그림 1-8. 교량 노후화 현황 및 2030년 예측치

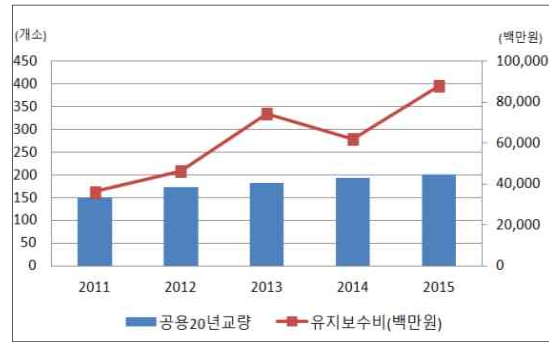
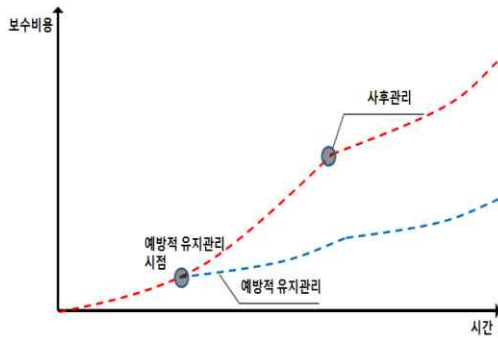


그림 1-9. 서울시 노후교량 증가에 따른 유지보수비증가

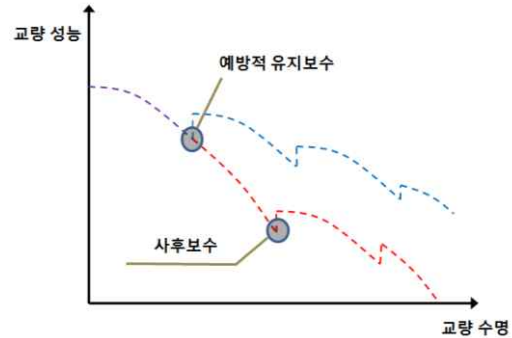
- (국가 예산투자의 효율성 확보) 향후 막대한 유지관리 예산 투자가 불가피함에 따라, 효율적 투자를 위한 선제적 대응전략 마련이 필요
 - 전 세계적으로 노후화 교량에 대한 대비가 큰 이슈로 대두되고 있으며, 국가적으로 관련 분야에 대한 예산투입이 증가하고 있음. 따라서 향후 교량 노후화와 유지관리비용 급증에 선제적으로 대응할 수 있도록 장수명화 및 효율적인 생애주기 관리계획(설계→시공→유지관리→보수보강→철거)에 대한 중장기 전략 마련이 필요
 - 국내 신규 구축이 점차 감소하면서 장기적인 유지보수를 통한 수명연장이 새로 구축하는 것보다 2~3배의 비용 절감 효과 기대
 - * 국내 교량사업이 포함된 도로투자의 경우, 현재 유지보수 투자비중이 OECD에서 가장 낮은 10% 내외 수준
 - 교량 구조물의 노후화는 내구연한 감소와 서비스 수준의 저하를 유발하여 교통흐름이 방해되고 성능개선 및 수명연장을 위한 경제적 부담 증가 초래

○ 보수보강 공법·기술에 대한 안전성 확보 및 기술검증을 위해서는 노후교량을 철거하지 않고 T/B(Test-bed)로 활용하는 등 활용도 제고가 필요. 특히, 유지관리 분야의 LCC 예측기술 및 보수보강 공법에 대한 의사결정 시스템은 직접적인 비용의 예측과 공법선정에 꼭 필요함

* 따라서 국가 예산의 효율적 투자를 위해서는 필요한 최적화된 공법선정, 제품의 결정, 보수시기 등을 실질적, 경험적으로 판단을 할 수 있도록 노후교량 장수명화 DB를 구축하여 효율성·편의성 제고 필요



(a) 예방적 유지관리에 따른 보수보강 효과



(b) 예방적 유지보수에 따른 교량성능 효과

그림 1-10. 예방적 유지관리·보수보강의 필요성

□ (일자리 창출 및 중소기업 지원 대책 마련 필요) 향후 노후교량 등 유지관리 대상 교량의 증가에 따라 유지관리 및 보수보강 관련 시장이 크게 성장할 것으로 예측되며, 이로 인해 관련분야 기업 및 일자리 창출이 크게 증가할 것으로 전망됨

- * '11년 기준 안전진단기관은 528개이나 130개사는 수주실적이 없고 상위 22개사가 전체의 50% 수주('12년 기준) 따라서 영세업자의 기술력 제고, 신시장 개척 및 기술 다변화 필요
- * 전체 시설물 유지관리 시장의 양적 성장('01년 1.0조원 → '10년 2.8조원)에도 불구하고, 과학적 유지관리 기법 (ICT·BIM 적용, LCC 등)의 질적 성장 미흡
- * 동남아 건설시장 확대로 유지관리 분야 등에 해외진출이 요구되나, 기술 경쟁력을 갖춘 중소기업 부족으로 해외시장 진출이 전무

1.1.4 정책적 필요성

- '제3차 시설물의 안전 및 유지관리 기본계획(2013~2017년, 국토부)
 - 시설물의 안전 및 유지관리 기본계획: 정책·제도 선진화, 연구개발 촉진, 우수인력 양성, 효율적인 정보체계 구축에 관한 5년 단위 국가계획(근거: 시특법 제3조)

- 교량은 국민 안전과 직결되는 핵심 SOC 시설물로서 정부차원의 지속적 관리 및 투자 필요
 - '70~80년대에 경제성장과 함께 집중적으로 구축된 인프라시설은 30년 이상 경과하여 노후화율이 9.3%를 초과
 - 시급히 노후화된 시설물에 대한 체계적인 유지관리와 보수보강 전략이 마련되지 못할 경우에는 국가 안전망 확보에 큰 지장 초래
 - 또한, 유지보수 투자의 지연은 SOC시설 노후화와 서비스 수준 저하를 유발하여 성능 보완 및 수명연장을 위한 막대한 경제적 부담 초래
 - 따라서 사회기반시설물(교량 등)에 대한 국가재정 효율화 측면에서, 향후 노후교량에 대한 유지관리·보수보강 비용 급증을 선제적으로 대응하기 위해서는 노후교량의 장수명화 노력이 매우 중요

- (우리나라) 꾸준한 유지관리 노력으로 D, E등급 시설물 비중은 현재 0.1% 정도에 불과하나, 1970년대에 건설한 사회기반시설물이 30~40년이 되는 시점이 도래하고 있어 관리를 소홀히 할 경우는 크나큰 인명 및 경제적 손실 우려
 - * 현재 국가시설물(한국시설안전공단 관리 1,2종)은 교량, 댐 등 총 69,463개소
 - * 한국시설안전공단에서 관리 중인 교량은 전체 29,127개소 중에서 9,954개소(34.2%)이며, 지자체 등에서 관리하는 교량은 유지관리 및 보수 부족으로 노후교량의 안전에 취약
 - 우리나라의 시설물 안전·유지관리분야 기술수준은, 최고 기술보유국 기준으로 76.2%('10년 기준)에 불과(기술격차 4.3년)
 - 시설물 유지관리·보수보강은 수도권보다 재정자립도가 낮은 지방자치단체가 더 심각
 - 따라서 건설경기가 활발했던 1970년대 이후, 30년 이상이 지난 인프라를 중심으로 노후화 대응을 위한 정책 마련이 필요

- (미국) 사회기반시설물 노후화 및 잇따른 교량 붕괴사고로 교량에 대한 안전문제가 사회적 이슈로 대두
 - * 1983년 6월 코네티컷 Mianus River 교량 붕괴, 1987년 4월 뉴욕 주 Thruway 교량 붕괴, 2007년 8월 미네소타 교량 붕괴, 2013년 5월 워싱턴 주 고속도로가 붕괴 등('89년부터 '00년까지 503곳의 교량붕괴 사고 발생)

- 2010년도 기준, 시설물 유지관리 비용은 250조원으로 공공부문 사회기반시설 건설투자 비용 대비 15.8%
 - 미국 토목학회 사회기반시설 평가체계보고서에 따르면, 시설물의 노후화 증가로 유지 보수 비용이 급격히 증가하며, 미국의 안보는 외부테러보다 시설물 노후화가 더 위험하다고 지적
 - * 도로, 교량, 공항, 댐 상하수도, 수자원 등 15개 분야의 유지보수 비용(전체등급 D) : 2001년 1조3천억\$ → 2005년 1조6천억\$ → 2009년 2조2천억\$로 증가
 - 2011년 오바마 美 대통령은 연두교서에서 “사회기반시설물에 대한 노후화 예방을 위한 비용은 늦어지면 질수록 비용이 더 커진다.”고 심각성을 경고
- (일본) 2012년 12월 도쿄 인근 고속도로 터널붕괴 사고를 계기로 노후화의 심각성을 인지하여, 아베 총리는 경기부양을 위한 116억\$ 중 78억\$을 사회기반시설물에 대한 재건에 투자하기로 결정
- * (1순위) 인프라 재건과 재해예방에 43억\$, (2순위) 노후화된 도로, 교량, 학교, 빌딩 리모델링 등의 건설 프로젝트에 35억\$ 투자
- '07년 13명이 사망한 미국 뉴욕의 미니애폴리스 교량 붕괴사고를 '他山之石'으로 삼아 국토교통성 주도로 도시시설물 수시점검 및 교량 보수 장기계획 수립
 - '13.11월 “인프라 노후화 대책의 추진에 관한 관계부처연락회의”에서 “인프라 장수명화 기본계획”을 마련, 국토교통성은 “인프라 장수명화 계획(행동계획)” 수립
- 영국, 캐나다, 호주 등 선진국에서는 중앙정부 시설물에서 지자체 시설물까지 확대하여 사회기반시설물에 대한 평가체계 도입 · 운영 중

1.2 기획연구 목표 및 내용

1.2.1 연구목표

□ 목표 및 비전

- 본과제의 최종 연구목표는 노후교량의 장수명화를 위해 성능평가기법, 성능개선·보수보강 기술, 모니터링 기술 개발 및 테스트베드(Test-bed) 적용의 실증기반 연구체계 구축 방안 수립으로 설정하고, 최종 목표를 달성하기 위해 [그림 1-11]과 같이 5개의 세부목표를 계획
- 5개의 세부목표에 대해서 본과제 추진 및 세부과제 기획을 명확히 수립하고, 이를 통해 노후교량의 정확한 성능평가와 최적의 보수보강기법 적용을 통한 노후교량의 공용수명 연장을 위한 체계적인 시스템을 구축하고자 함

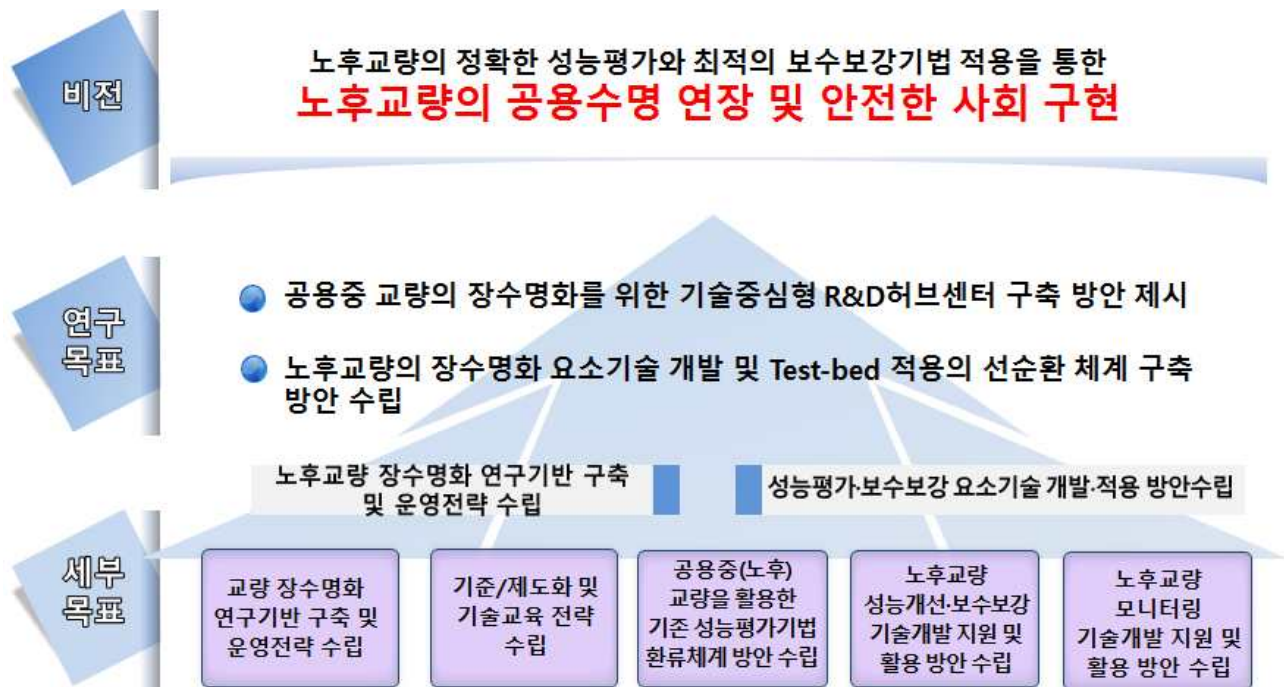



그림 1-11. 연구과제 비전 및 목표

1.2.2 주요 연구내용 및 범위

표 1-3. 기획연구 목표 및 내용

연구 목표	주요 연구내용
공용중(노후)교량을 활용한 기존 성능평가기법 환류체계 방안 수립	<ul style="list-style-type: none"> • 공용중 교량을 대상으로 한 성능평가기법 검증 및 개선 방안 • 철거교량을 활용한 주요부재별 실증실험 방안 • 철거예정 노후교량에 대한 현황조사 분석
노후교량 성능개선·보수보강 기술개발 지원 및 활용 방안 수립	<ul style="list-style-type: none"> • 성능개선·보수보강기술 개발 지원 및 검증 체계 마련 • 관련 R&D 성과 및 기존 보수보강기술의 폐교량 실증(테스트베드) 방안 • 교량 형식 및 노후도별 최적 보수보강 시나리오 수립 전략 ※ 합리적 협의를 위해 연구과제 기획에 VE기법 적용 검토
노후교량 모니터링 기술 개발 지원 및 활용 방안 수립	<ul style="list-style-type: none"> • 계측기술 개발 지원 및 검증 체계 마련 • 관련 R&D 성과 및 기존 계측기술의 폐교량 실증(테스트베드) 방안 • 교량 형식 및 노후도별 최적 계측 전략
교량 장수명화 연구센터 구축 및 운영 전략 수립	<ul style="list-style-type: none"> • 연구허브센터 구축 및 운영 방안 수립 ※ 유관기관 협의를 통한 연구허브센터 형태 및 구성체계 정립 • 관계기관과 노후(철거)교량 활용협력 체계 • 공용중(노후)교량 성능평가보수보강 실증 DB구축 및 활용 방안 • 보수보강 업체 연구장비 공동활용 및 기술지원(기술 검증 등) 방안
기준/제도화 및 기술교육 전략 수립	<ul style="list-style-type: none"> • 공용중 교량의 장수명화 유지관리 방안 • 교량 보수보강분야 기준-매뉴얼 개발 및 표준화 방안 • 성능평가보수보강 관련 전문인력 기술교육 방안
	
본과제 추진 및 세부과제 기획	<ul style="list-style-type: none"> • 연구과제 목표 및 연구범위 설정 • 연구목표 달성을 위한 추진방안 수립 • 성과물에 대한 활용방안 및 실용화 추진방안 제시 • 인력투입 계획 및 소요예산 산정 • 사전타당성 검토 • 과제공모를 위한 RFP 작성 및 평가기준 설정

1.3 기획연구 수행체계 및 추진방법

1.3.1 수행체계

□ 산·학·연 관련 전문가 그룹 구성 및 운영

- 기획연구 체계는 주관연구기관, 협동연구기관과 컨설팅 업체(용역)가 참여하며 전문가 그룹(전문기관)을 활용한 별도 각 기술분야를 운영하여, 각 분야에 대한 요소기술(안)을 도출
- 각 기술분야별 요소기술(안)에 대한 우선순위 선정과 전체 중장기로드맵 수립에 대한 검토 및 자문기구로 자문위원회를 구성함
- 기획연구의 필요성, 국내·외 정책동향 및 기술현황을 조사·분석하고 타당성과 경제성 등을 확보하기 위해 컨설팅 전문기관을 참여시킴
- 특히, 노후교량의 장수명화를 위한 환류체계 구축을 위해 국내 전문기관의 전문가를 본 과제의 전문가그룹으로 참여하여 분야별 세부 요소기술 대한 심층적인 기획연구를 진행

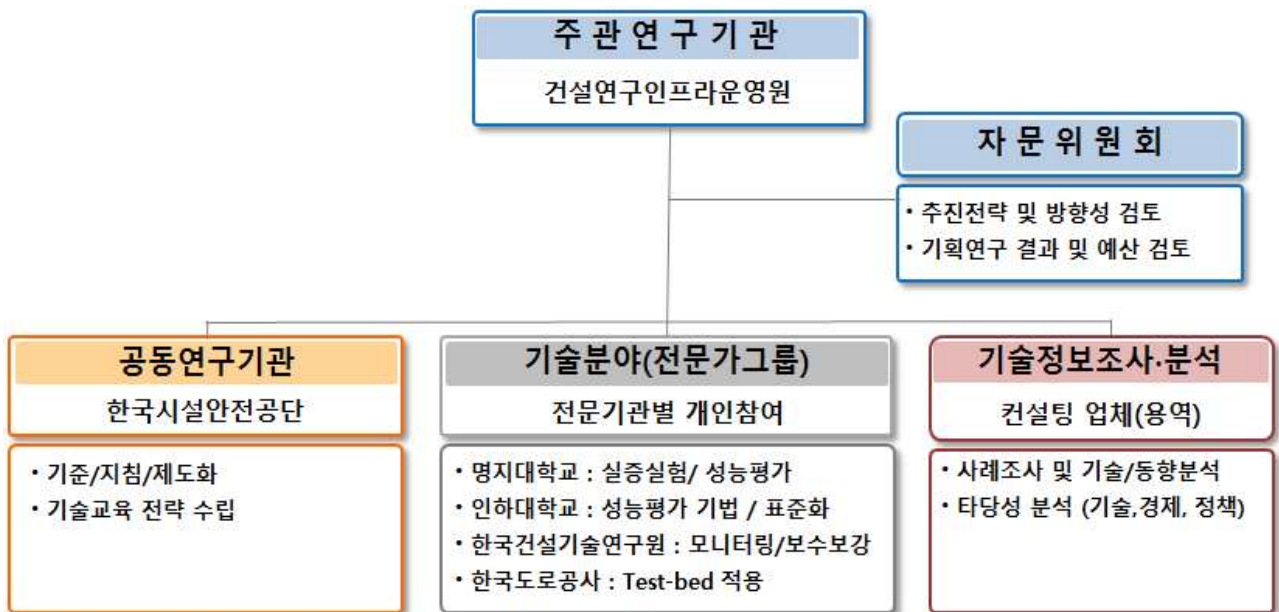


그림 1-12. 기획과제 조직도

- 단기간에 기획과제를 수행하기 위하여 조직별 역할을 명확히 함으로써 원활한 기획과제 수행 및 객관적인 본과제 계획 수립을 할 수 있도록 체계화 함

□ 연구개발 Framework

- 기획연구의 Framework 수립을 통해 주관기관, 공동기관 및 전문가 그룹의 역할을 확립하고 각 단계별 업무 체계 조정

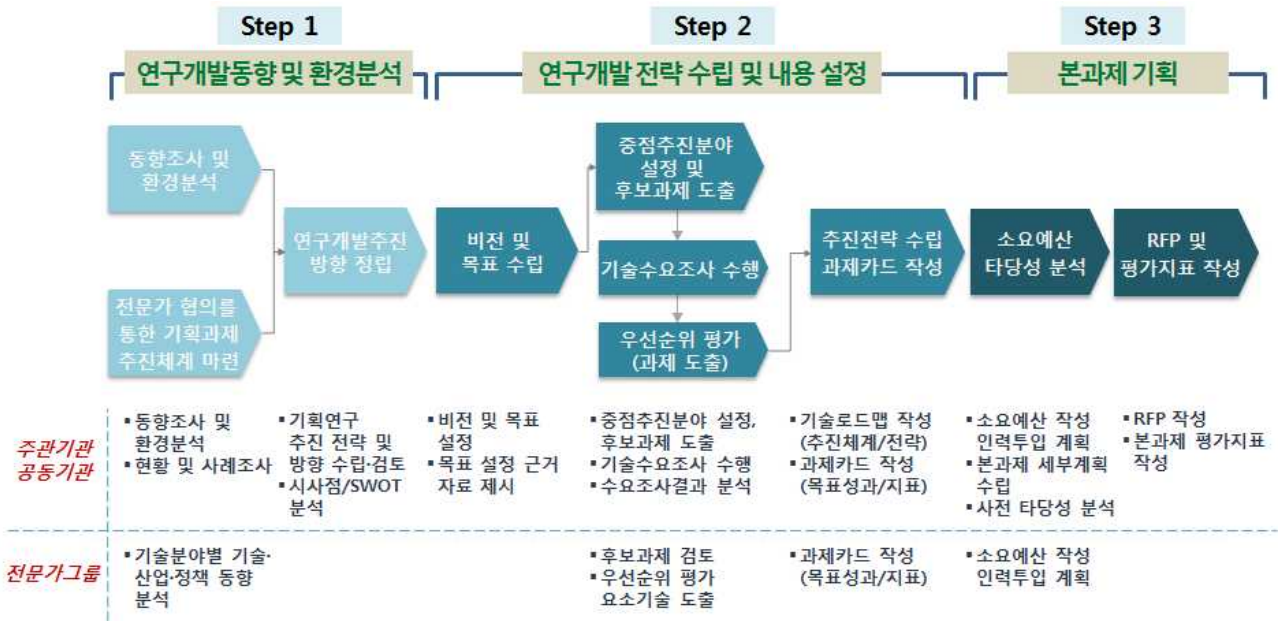


그림 1-13. 기획연구 Framework

□ 주관연구기관의 역할 및 전문가활용/자문위원회 범위

▶ 주관기관(건설연구인프라운영원)

- 기술·정책·환경·특허 등 현황조사 자료 분석
- 기술수요 및 기술예측 조사 분석
- SWOT분석 및 Visioning을 통한 중장기 로드맵 수립
- 본과제 도출 및 목표수립
- 중장기 로드맵 수립
- 세부실행계획(연구내용 및 세부과제 구성)/예산(안) 수립

▶ 자문위원회

- 기획의 전체 흐름, 방향, 추진체계 구성 및 전략에 대한 자문
- 컨설팅 업체와 각 기술분야에서 작성된 현재 시장 및 기술, 특허, 정책 동향 등을 바탕으로, 미래 이슈와 니즈 검토
- 선정된 본과제의 세부과제들에 대한 상세 추진계획 검토(요소기술의 우선순위 평가)
- 중장기 로드맵 검토 및 자문

▶ 기술분야(전문가 그룹)

- 각 분야별 기술·환경·정책 동향 조사 및 분석
- 분야별 요소기술 작성 및 기술분류
- 분야별 요소기술 대상(세부과제 및 소요예산) 도출
- 요소기술의 우선순위 평가
- 과제카드 작성
- 자문평가 의견 반영 및 보완
 - * 예산 및 효율성 측면에서 기관 참여가 아닌 전문가 활용의 형태로 분야별 전문가는 전체 연구기간 동안 연구원과 같은 개념으로 참여
 - * 분야별로 책임/간사 2인씩을 전체 연구기간 동안 참여시켜 진행
 - * 각 분야별로 전문가활용보고서 제출

▶ 컨설팅 그룹

- 국내외 관련 기술의 사례, 정책, 시장 및 기술 동향 조사 및 분석
- 기술수요 및 기술예측 조사
- 도출된 분야별 요소기술 타당성 및 경제성 분석

□ 공동연구기관(한국시설안전공단)의 역할

▶ 분야별 기술·환경·정책 동향 조사 및 분석

- 분야별 요소기술 작성 및 기술분류
- 분야별 요소기술 대상(세부과제 및 예산) 도출

▶ 기준 제도화/표준화

- 시장 변화를 고려할 때, 현행 시설물의 안전 및 유지관리 기준을 시설물의 상태 등에 따라 보다 차별화하고, 지침, 매뉴얼 등의 연구개발을 지속하여 그 결과를 관리주체 및 유관기관에 보급하는 것이 요구됨
- 현 「정밀안전 점검 및 정밀안전진단 지침」에 제시되어 있는 보수·보강 방법은 위험도와 경제성을 고려하여 수준을 결정하게 되어 있고, 공법 선정시 적용성, 구조적 안전성을 고려하도록 선언하고 있음
- 그러나, 국제기준(ISO)에 부합하는 보수·보강 기술요소(신공법, 특허 등)의 기준 정립이 미흡하여, 산재되어 있는 요소기술을 조속히 성능을 기반한 기준 으로 개발 및 정비가 필요함

▶ 기술 교육 및 인력양성

- 기존 성능평가 기준 및 새롭게 개발·보완되는 보수·보강 기준/제도 등을 체계적으로 교육함으로써 교량 유지관리를 위한 전문인력 양성 필요
- 관리주체 등 교량 점검 및 진단 평가와 관련된 국내 기술자를 대상으로 보수·보강 기준 설정, 성능개선 효과, 유지관리방안 등을 교육함으로써, 실무자 역량을 강화
- 관리주체 및 실무진들을 위한 교육 프로그램 개발 방안 수립

▶ FMS 활용방안

- FMS(시설물정보관리종합시스템)은 현 「시설물정보관리종합시스템 운영규정」에 의해 시설물관리대장, 설계도서 등 관련서류 및 감리보고서의 작성 및 제출과 건설진흥법에 따라 안전점검종합보고서 등에 대한 보존 및 관리를 하고 있음
- 1,2종 시설물을 대상으로 점검 및 진단을 실시하고 있으며, 그 결과를 FMS에서 관리하고 있으므로, 관리주체의 승인을 통해 유지관리, 보수보강 실적, 제출도서 등에 관한 정보를 활용할 수 있음

1.3.2 추진방법

□ 연구내용별 세부 추진 방법

- 과제 내용 흐름별 상세 추진방법은 전문기관(국토교통과학기술진흥원)의 연구개발 표준 절차를 고려하여 [그림 1-14]와 기관별/분야별로 단계별로 구분하여 세부적으로 연구를 추진 함



그림 1-14. 기획과제 흐름도

- 기획연구추진은 단계별 절차, 연구내용, 세부추진 계획 및 방법, 수행주체를 구분하고, 이에 따른 세부요소들을 명확히 하고, 주요 Activity에 대해서는 별도로 상세 추진방향을 수립하여 진행

1.3.3 추진경과 및 내용

□ 추진 경과

- (15.08.17) 주관-공동연구기관 전문가 회의
 - 내용 : 주관, 공동연구기관의 업무 범위 확정
 - 참석 : 주관연구기관, 공동연구기관 연구진
- (15.08.25) 1차 전문가 회의
 - 내용 : 기획과제 범위 및 역할 분담(기술분야별 전문가 활용계획 수립)
 - 참석 : 주관연구기관, 공동연구기관 연구진 및 기술분야 전문가



그림 1-15. 1차 전문가 회의 전경

- (15.09.24) 2차 전문가 회의
 - 내용 : 기술분야별 동향조사 결과 보고 및 허브센터 구축 계획 수립
 - 참석 : 주관연구기관, 공동연구기관 연구진, 컨설팅 기관 및 기술분야 전문가



그림 1-16. 2차 전문가 회의 전경

○ (15.11.25) 3차 전문가 회의

- 내용 : 연구단의 기능 및 각 기술분야별 세부 역할 수립
- 참석 : 주관연구기관, 공동연구기관 연구진, 컨설팅 기관 및 기술분야 전문가



그림 1-17. 3차 전문가 회의 전경

○ (15.11.31) 교량 장수명화 기술·정책·시장 동향분석 및 타당성 검토

- 내용 : 기술·정책·시장 관련 동향조사를 통한 분석 및 추진 시급성, 타당성 제시

○ (16.01.11) 4차 전문가 회의

- 내용 : 교량 장수명화 관리 허브센터 기능 및 중장기 로드맵, 추진체계 검토 협의
- 참석 : 주관연구기관, 공동연구기관 연구진, 컨설팅 기관 및 기술분야 전문가



그림 1-18. 4차 전문가 회의 전경

○ ('16.01.18-01.29) 기술수요조사

- 내용 : 공용중 교량의 장수명화를 위한 기술수요조사 수행
- 노후교량의 유지관리 개선 및 장수명화 기술개발 필요성, 교량 장수명화 세부요소기술 수요조사

○ ('16.02.01) 5차 전문가 회의

- 내용 : 수요조사 결과 및 세부과제별 역할 및 기능 검토
- 참석 : 주관연구기관, 공동연구기관 연구진, 컨설팅 기관 및 기술분야 전문가



그림 1-19. 5차 전문가 회의 전경

○ ('16.02.01) 요소기술 우선순위 1차 평가

- 내용 : 수요조사 결과 검토 요소기술 우선순위 평가
- 참석 : 주관연구기관, 공동연구기관 연구진, 기술분야 전문가 및 외부 전문가



그림 1-20. 우선순위 평가 회의 전경

○ ('16.02.23) 총괄 자문회의

- 내용 : 본과제 추진전략, 체계 및 우선추진과제 도출 자문

- 참석 : 주관연구기관, 공동연구기관 연구진, 기술분야 전문가 및 자문위원



그림 1-21. 자문회의의 전경

2.1 국내 교량 현황

2.1.1 국내 교량 구축 현황

□ 국내 교량 통계

- 2016 교량현황조사서(국토교통부, '15.12 기준)에 따르면, 전체 교량은 30,983개소로 점유율은 고속도로, 일반국도, 지방도 순
 - * 고속도로 9,018개소(29%), 일반국도 7,624개소(25%), 시도 4,410개소(14%), 지방도 3,707개소(12%), 군도 3,041개소(10%)

- 노선별, 종별, 설계하중별 및 상·하부 구조형식에 따른 분류는 다음 표와 같음

표 2-1. 노선별 교량 현황('15.12월 기준)

노선명	개소	점유율	순위
고속도로	9,018	29.1%	1
일반국도	7,624	24.6%	2
특별,광역시도	1,216	3.9%	7
국가지원지방도	1,272	4.1%	6
지방도	3,707	12.0%	4
시도	4,410	14.2%	3
군도	3,041	9.8%	5
구도	695	2.2%	8
계	30,983	100%	-

표 2-2. 설계하중별 교량 현황('15.12월 기준)

설계하중	개소	점유율	순위
DB-24	25,053	80.9%	1
DB-18	3,946	12.7%	2
DB-13.5	1,596	5.2%	3
기타	388	1.2%	4
계	30,983	100.0%	-

표 2-3. 상부구조 형식별 현황(‘13.12월 기준)

구분	종별	개소(개)		점유율(%)		순위	
						계열별	전체
콘크리트교 계열	RC슬래브교	8,309	23,962	28.5	82.09	1	1
	RC중공슬래브교	219		0.8		8	11
	RCT형교	765		2.6		5	6
	RC박스형교	143		0.5		9	14
	라멘교	6,883		23.6		2	2
	PSC슬래브교	376		1.3		7	9
	PSC중공슬래브교	49		0.2		10	15
	PSCI형교	5,519		18.9		3	3
	PSC박스형교	562		1.9		6	8
	프리플렉스형교	1,137		3.9		4	5
강교 계열	강형교	210	4,356	0.7	14.92	3	12
	강상자형교	3,867		13.2		1	4
	강판형교	264		0.9		2	10
	트러스교	15		0.1		4	17
특수교 계열	아치교	148	200	0.5	0.69	1	13
	사장교	34		0.1		2	16
	현수교	5		0.0		4	19
	엑스트라도즈드교	13		0.0		3	18
기타	기타	672	672	2.3	2.30	1	7
계		29,190		100%			

표 2-4. 하부구조 형식별 현황(‘13.12월 기준)

구분	종별	개소(개)	점유율(%)	순위
교각	중력식 교각	3,028	10.37	3
	반중력식 교각	520	1.78	6
	라멘식 교각	4,013	13.75	2
	구주식 교각	835	2.86	5
	T형 교각	5,751	19.70	1
	벽식 교각	2,510	8.60	4
	아치식 교각	90	0.31	7
	V형 교각	63	0.22	8
	목조식 교각	39	0.13	9
교대	중력식 교대	770	2.64	2
	반중력식 교대	367	1.26	4
	라멘식 교대	622	2.13	3
	구주식 교대	108	0.37	6
	역T형식 교대	3,690	12.64	1
	부벽식 교대	258	0.88	5
	박스식 교대	103	0.35	7
기타	기타	6,423	22.00	1
계		29,190	100	

- '15.12월 기준으로 지난 10년간 전국의 교량 증가를 살펴보면, 22,871개소가 있는 '05년말 대비 총 8,112개소가 증가(35.5%)하였으며 연장은 1,987km에서 3,077km로 1,080km (54.0%)가 증가
 - 도로교량의 주요 증가 원인은 고속국도와 일반국도 등 간선도로 확충시 도로의 기능 및 환경 친화적인 도로건설 등에 기인하고 있음
 - 도로종류별로는 고속국도(9,018개, 29.1%)와 일반국도(7,624개, 24.6%)가 전체 교량의 53.7%를 차지

표 2-5. 교량 개소 및 연장 현황('15년말 기준)

구 분	2005년말 (A)	2015년말 (B)	증감	
			개소수 (B-A)	비율((B-A)/A)
교량 개소	22,871개소	30,983 개소	8,112 개소	35.5%
교량 연장	1,987 km	3,077 km	1,080 km	54.0%

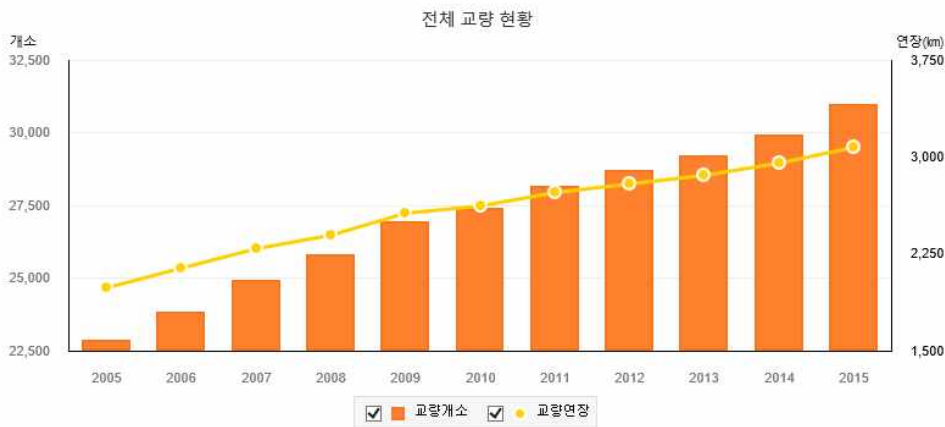


그림 2-1. 전체 교량 현황

※ 출처: e-나라지표, 2016.02

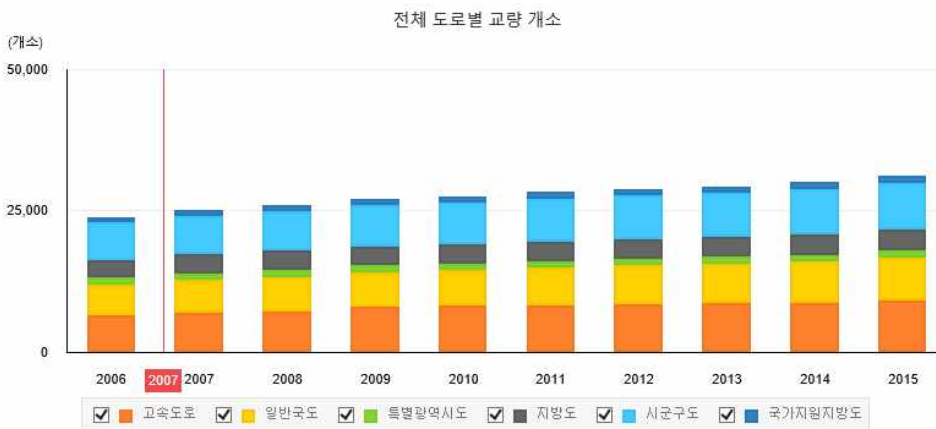


그림 2-2. 전체 도로별 교량 개소

※ 출처: e-나라지표, 2016.02

□ 교량 형식별 구축 현황

- 시특법 상의 관리 대상 교량에서 제외되어 상대적으로 관리가 소홀한 지방국도 교량을 대상으로 형식별 통계 분석을 수행

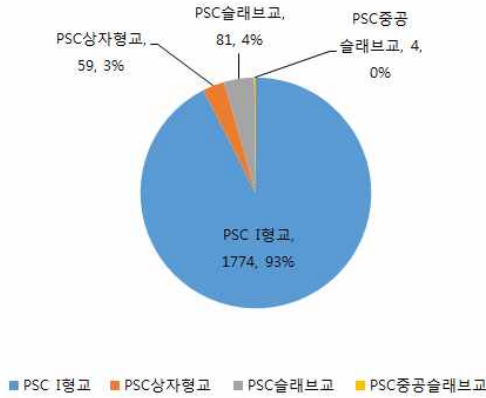


그림 2-3. PSC형 교량 구축 현황

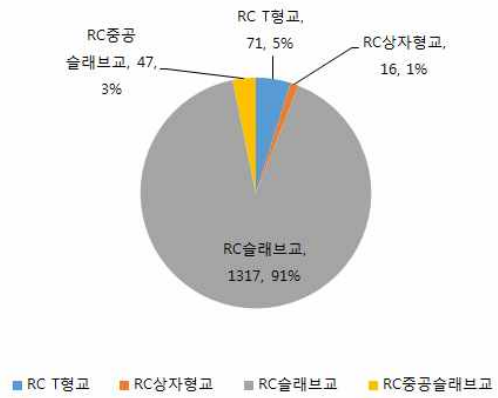


그림 2-4. RC형 교량 구축 현황

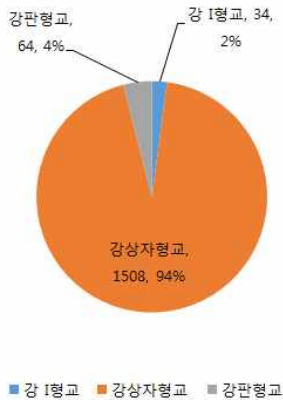


그림 2-5. 강교량 구축 현황

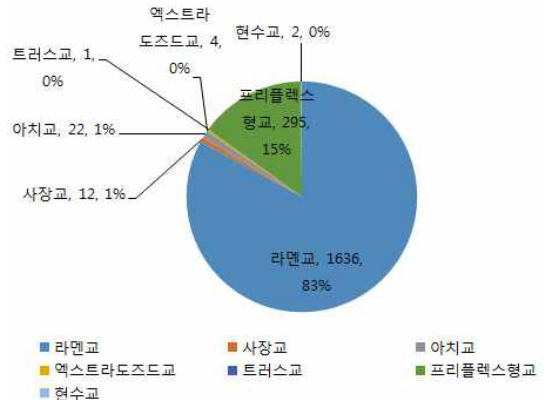


그림 2-6. 특수 교량 구축 현황

※ 출처 : 2015 도로 교량 및 터널 현황조사, 국토교통부

- PSC 교량 중 현재 30년 이상인 교량은 총 134개로, 향후 10년 후 공용연수 30년 이상 도래하는 교량은 369개로 증가할 것으로 전망되며 약 90% 이상이 PSC I형 교량임

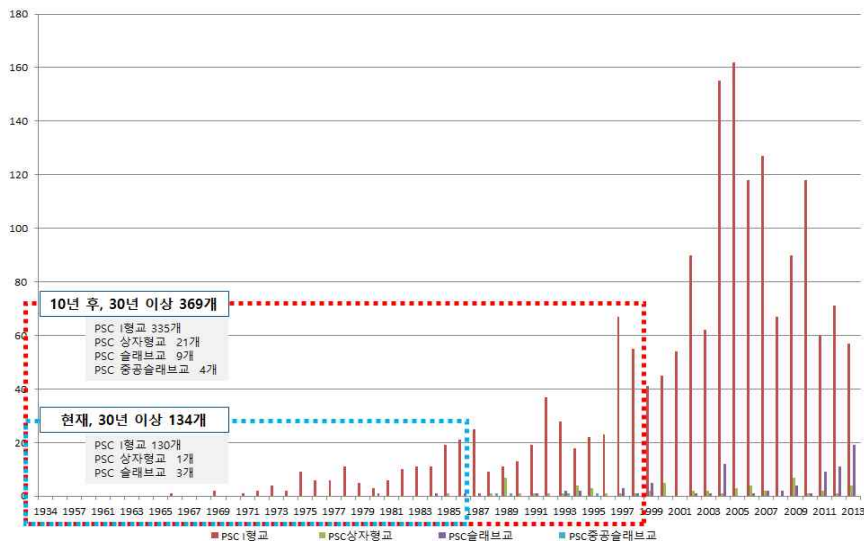


그림 2-7. PSC 교량 형식별-구축년도 통계

- RC 교량 중 현재 30년 이상인 교량은 총 273개이며, 향후 10년 후 공용연수 30년 이상 도래하는 교량은 847개로 가장 큰 비중을 차지할 전망이다. 이중 약 87%인 742개 교량이 RC 슬래브 교량으로 가장 많음

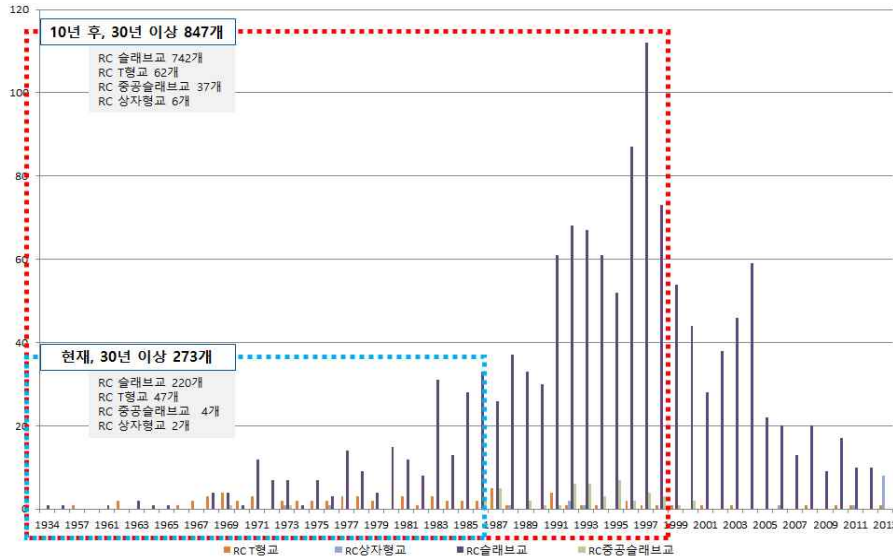


그림 2-8. RC 교량 형식별-구축년도 통계

- 강교량은 30년 이상된 교량이 총 32개로 구축 개소수가 가장 적은 형식의 교량임. 현재 30년 이상 경과한 강상자형교는 5개뿐이나 향후 10년 후에는 공용연수 30년 이상 도래하는 교량이 141개 중 86개로 가장 크게 증가할 것으로 예상됨. 특히 최근 들어 강상자형 교량의 구축이 뚜렷이 증가하는 추세를 보이고 있음

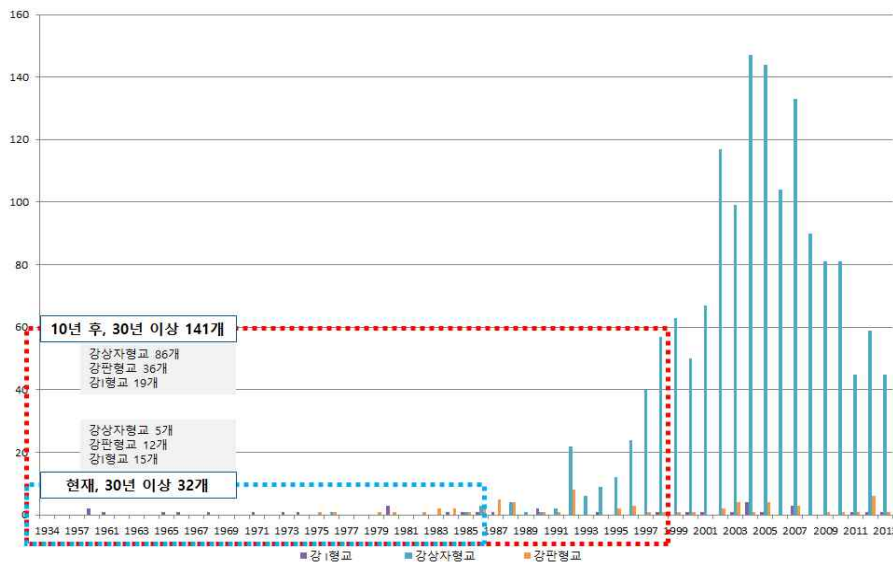


그림 2-9. 강교량 형식별-구축년도 통계

- 특수교량 중 현재 30년 이상 경과한 교량은 총 40개이며, 향후 10년 후 공용연수 30년 이상 도래하는 교량은 356개소로 예상됨. 이 중 라멘교가 약 89% 정도 차지함

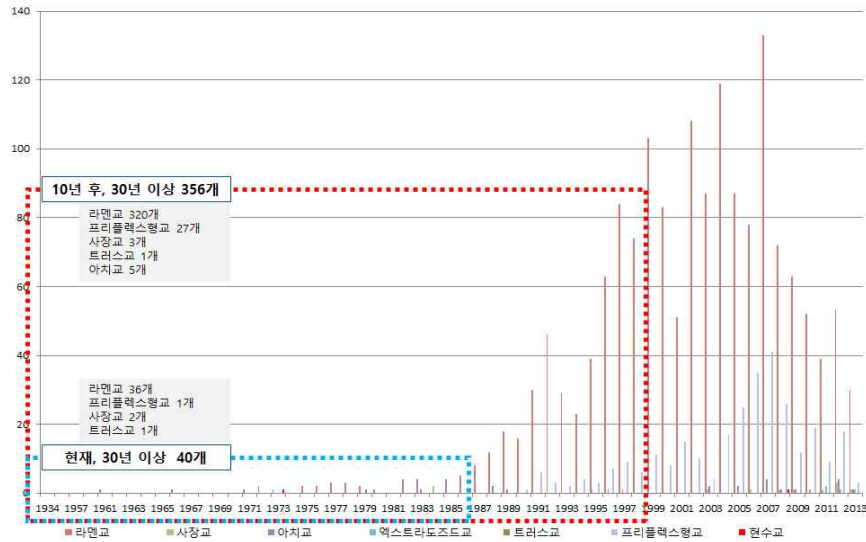


그림 2-10. 특수교량 형식별-구축년도 통계

- PSC 교량, RC 교량, 강교량, 특수교량을 분류하여 각각 현재와 10년 이후 시점의 공용연수 30년이 도래하는 교량 현황을 분석한 결과, PSC 및 RC 교량의 공용연수가 가장 오래 됨에 따라 향후 노후교량의 장수명화를 위해서는 이들 교량에 대한 집중관리가 필요함

표 2-6. 교량 형식별 공용연수 30년 도래 현황

구분	구분	공용연수 30년 도래(개소)		증감(%)
		현재	10년 후	
PSC교	PSC I형교	130	335	257
	PSC상자형교	1	21	2,100
	PSC슬래브교	3	9	300
	PSC중공슬래브교	0	4	500
	소계	134	369	275
RC교	RC슬래브교	220	742	337
	RC T형교	47	62	132
	RC중공슬래브교	4	37	925
	RC상자형교	2	6	300
소계	273	847	310	
강교	강상자형교	5	86	1,720
	강판형교	12	36	300
	강형교	15	19	127
	소계	32	141	441
특수교	라멘교	36	320	889
	프리플렉스형교	1	27	2,700
	아치교	0	5	600
	사장교	2	3	150
	트러스교	1	1	100
	소계	40	356	890

※ 출처 : 2015 도로 교량 및 터널 현황조사, 국토교통부

2.1.2 노후화 정의 및 국내 교량의 노후화 현황

□ 인프라 시설의 노후화(고령화; Infrastructure Aging) 판단기준

- 인프라 시설의 노후화화 판단 기준은 다소 차이가 있으나 과거 '70~80년대에 집중적으로 시공된 시설물들의 설계 및 시공능력 부족 등을 고려하여 보수적으로 볼 때, 법정 내용연수(耐用年數)⁴⁾의 하한인 30년으로 설정할 수 있음
 - * '인프라 고령화율'은 전체 시설중 '30년 이상' 경과한 시설의 비중으로 계산⁵⁾
 - * 법인세법 시행규칙 '철근콘크리트' 구조물의 기준 내용연수는 40년(최소 30년, 최대 50년)
- 한국시설안전공단의 정밀점검과 정밀안전진단 결과의 재점검 요건 또한, '30년 이상 경과하고 안전등급이 C등급'인 경우⁶⁾로 되어 있음

표 2-7. 인프라시설별 하자담보 책임기간

인프라	교량	터널	댐	상하수도	철도	항만	공항
최대 기간	10년	10년	10년	7년	7년	7년	7년

주 : 인프라의 공종(재료, 공법 등)에 따라 하자담보 책임기간이 달라짐

※ 출처 : 건설산업기본법 시행령 30조 관련 별표4

표 2-8. 건축물 등의 기준 내용연수 및 내용연수 범위표

구분	구조 또는 자산	기준 내용연수 및 내용연수 범위(하한~상한)
1	차량 및 운반구(운수업, 기계장비 및 소비용품 임대업에 사용되는 차량 및 운반구 제외), 공고, 기구 및 비품	5년 (4년~6년)
2	선박 및 항공기(어업, 운수업, 기계장비 및 소비용품 임대업에 사용되는 선박 및 항공기 제외)	12년 (9년~15년)
3	연와조, 블록조, 콘크리트조, 토조, 토벽조, 목조, 목골모르타르조, 기타 조의 모든 건물(부속설비 포함)과 건축물	20년 (15년~25년)
4	철골-철근콘크리트조, 철근콘크리트조, 석조, 연와석조, 철골조의 모든 건물(부속설비 포함)과 건축물	40년 (30년~50년)

※ 출처 : 법인세법 시행규칙 제15조(내용연수와 상각률)제3항 관련 별표5

- (철거대상 교량의 정의) 국토교통부에서 관리하고 있는 시설물정보관리종합시스템(FMS) 상의 1, 2종 시설물 중 안전등급이 E등급 기준의 교량과 종의시설물 중 사회적 요구·필요에 의해 개축되어 사용이 제한된 기존 교량

4) 고정자산이 경제적으로 사용될 수 있는 연한을 법인세법에서 정한 것을 법정 내용연수라고 함

5) 법인세법에서 규정한 '철근콘크리트' 건조물의 감가상각 내용연수의 하한선인 '30년'을 기준으로 삼아, 전체 인프라 중 '30년'을 경과한 시설이 차지하는 비중을 '인프라 고령화율'로 정의함

6) 한국시설안전공단, "업무현황"(제303회 국회 국정감사 국토해양위원회 보고 자료), 2011.10.05.

- (장수명화 대상 노후교량 정의) 한국시설안전공단 및 지자체에서 관리하고 있는 1,2종을 포함한 중소 교량 중 공용연수가 30년이상이고, 안전진단 결과 C등급 이하의 이력을 갖고 있는 교량

* 공용연수가 30년 이내라도 안전진단 결과 C등급이하이면 노후교량 대상에 포함

□ 국내외 인프라시설(교량 포함)에 대한 노후화(고령화) 현황

- 현대경제연구원은 2010년 말 기준 고령화 기준을 30년경과 시점으로 볼 때, 산업단지를 제외한 인프라 전체의 고령화율을 9.3%로 제시
 - 80년대 이후 급격한 경제성장에 따라 SOC가 대폭 확대되었으며, 전체 도로연장은 105,703km로 국토의 70%가 산지임을 감안하면 선진국에 비해 뒤지지 않는 수준임
 - * 국민 1인당 도로연장은 2m(일본 10m, 영국 7m), 차량 1대당은 6m(일본 16m, 영국 13m)
 - 건설교통 관련 인프라의 평균 노후화율을 살펴보면, 항만(13.1%), 옹벽(12.7%), 철도교량(28.5%), 철도 터널(8.8%), 수자원인프라(댐, 하천시설, 상하수도 등, 20.5%) 수준으로 매우 높음⁷⁾
 - * 복개구조물의 경우 30년 이상 경과한 시설이 14.6%(28개소)로서, 전체 교량의 노후화율 5.7%보다 훨씬 높아 비교적 고령화가 빠르게 진행되고 있음

표 2-9. 인프라 시설의 노후화율

(단위: %, 개소)

운송				에너지·공익				인프라* 전체
교량	터널	항만	옹벽	댐	하천시설	상하수도	산업단지	
5.7 (465)	5.0 (106)	13.1 (39)	12.7 (109)	55.9 (292)	20.1 (232)	7.7 (109)	54.2 (-)	9.3 (1,352)
철도 28.5	철도 8.8	갑문 50.0	도로 0.7	다목적댐 25.1	하구둑 18.2	공업용 16.7		
도로 3.1	도로 3.1	계류시설 128	철도 60.5	발전용 42.1	수문 20.3	지방상수도 12.4		
복개 14.6	지하 3.5		건축물 0.8	용수전용 57.6	제방 18.4	광역상수도 5.1		
				지방상수도 42.9		하수처리시설 0.0		

주 : 1. 2010년말 개소 기준. 괄호()는 개소. '댐'에는 저수지 포함, '산업단지'는 면적 기준
 2. 고령화율 = ('30년 경과' 시설의 개소 / 전체 시설의 개소)×100
 3. 인프라 전체 고령화율은 '산업단지'를 제외한 7개 인프라를 기준으로 계산함

※ 출처 : 현대경제연구원

7) 새로운 경제시스템 창출을 위한 경제주평 (Weekly Economic Review), 현대경제연구원, 통권 536호, '13.04.26

□ 우리나라 교량의 노후화 현황 및 전망

- '70-80년대 급격한 경제성장과 급격한 교량 증가로 설계 및 시공능력이 부족했던 상황을 고려할 때, 당시 시공된 교량의 내용연수(수명)를 30년으로 설정
- '15년 12월 기준으로 전체 교량 30,983개 중에 공용년수 30년 이상 경과한 교량은 3,057개(9.9%)이며, 향후 10년 후에는 9,576개(30.9%), 20년 후에는 21,737개(70.2%)로 크게 증가 예상

- 우리나라는 '70~'80년대에 사회발전에 따라 급격히 증가한 교량이 30년을 도래하고 있어, 본격적으로 '교량 노후화' 시대에 진입했다고 할 수 있음
 - 미국은 경제 성장기인 '20~30년대 초반에 구축된 교량이 노후화되면서 '50년대에 본격적인 노후화 시대에 접어들었음
 - 일본은 미국과 30년 정도의 차이를 보이고, '50년대부터 증가하기 시작한 교량이 '80년대부터 노후화가 시작되고 있음

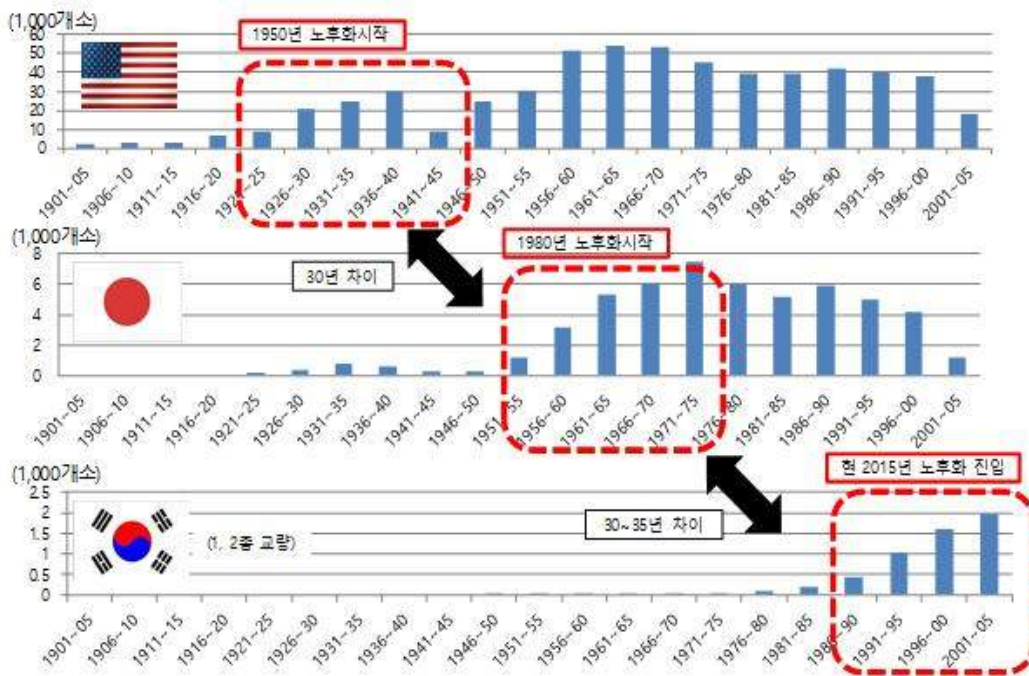


그림 2-11. 한·미·일 국가별 교량 준공현황 비교

구분	합계	고속국도	일반국도	특별광역시도	국가지원지방도	지방도	시도	군도	구도
합계	30,983	9,018	7,624	1,216	1,272	3,707	4,410	3,041	695
'06년~현재	9,180	3,700	2,986	323	407	715	542	378	129
'96~'05년	12,161	3,846	3,189	388	357	1,322	1,552	1,323	184
'86~'95년	6,519	1,313	1,072	283	311	1,177	1,308	878	177
'76~'85년	1,876	89	274	120	124	292	617	267	93
'75년 이전	1,181	70	103	101	70	195	344	188	110
연도 미상	66	0	0	1	3	6	47	7	2

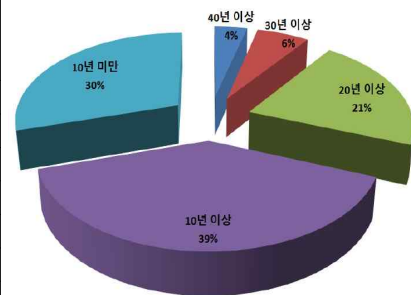


그림 2-12. 준공년도별 교량 수 및 공용년수별 분포

※ 출처: 2016 도로 교량 및 터널 현황조사, '16 국토교통부



그림 2-13. 대형 SOC 시설물 노후 현황

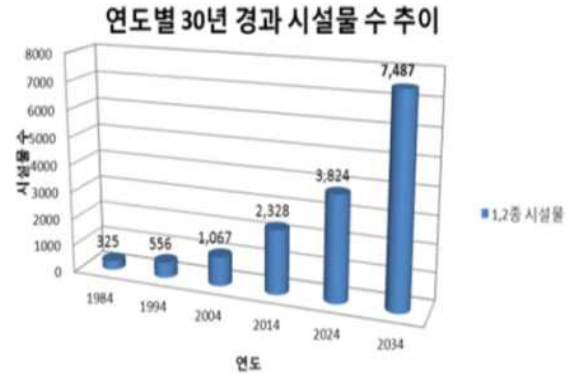


그림 2-14. 연도별 30년 경과 시설물 수 추이

* 출처: 건기원 SOC시설물평가기술개발 발표자료

- 2014년 한국도로공사 자료에 따르면, 고속도로 상의 관리 구조물 중에서 30년 이상 노후구조물이 '14년 238개소에서 '20년에는 525개소로 2.2배나 크게 증가할 것으로 예상하며 국민의 안전 보장을 위한 종합적인 대책 마련의 필요성을 제시
- 시특법에 의한 국가주요시설물 중 교량은 총 9,954개소(1종: 3,889개소, 2종: 6,065개소)로서, 나머지 19,173개소(약 66%)의 교량은 시특법에 의한 관리대상에서 제외되어 있음
- * 사용연수가 10년 이하 29,613개(50%), 11~20년 25,139개(42%), 21~30년 3,141개(5%), 31년 이상 1,887개(3%)로 10년 넘은 대형구조물만도 절반 이상('2010년 기준)

표 2-10. 시특법에 의한 SOC 시설물별 관리 현황

시설물구분	1종	2종	계
교량	3,889	6,065	9,954
터널	1,373	1,448	2,821
항만	85	268	353
댐	76	480	556
건축물	1,824	46,881	48,705
하천	408	3,027	3,435
상하수도	326	1,294	1,620
옹벽	0	1,604	1,604
절토사면	0	415	415
합계	7,981	61,482	69,463

- 현재 1985년대 이전에 준공되어 30년 이상된 교량은 전국에 3,232개소(11.1%)이며, 향후 10년 이후 8,408개소(28.8%)에서 20년 이후에는 21,894(75%)개소로 늘어나 노후교량이 급격히 증가할 것으로 예상
- 국토교통부 소관 『시설물 관리주체 안전 및 유지관리 실태조사(한국시설안전공단, 2010)』 결과에 따르면, SOC시설물의 노후화 진전에 대해서 정확한 평가와 유지관리의 필요성 증대를 언급

2.2 기술 동향 분석

2.2.1 교량 성능평가(안전진단) 분야

□ 안전성평가(안전진단) 기술 개요

- **【목적】** 안전진단 및 성능평가 기술은 시설물의 물리적, 기능적 결함과 내재되어 있는 위험요인을 진단을 통해 사전에 발견하고 평가 결과를 정량화하여 제시하는 것으로써, 시설물의 안전 확보를 위해 신속하고 적절한 유지관리 방안을 수립하기 위한 기초자료를 확보하는데 목적이 있음
- **【방법】** 평가 방법으로는 교량의 외관조사와 비파괴시험을 통한 재료의 내구성 등을 평가하는 상태평가, 외력에 의한 안전성 평가, 이들에 대한 종합적인 성능지표를 고려하여 평가하는 종합성능평가 방법으로 구분할 수 있음
 - 교량의 현재 상태를 진단하는 상태평가는 주요 구조부재의 치수 및 정밀육안점검을 수행하는 외관조사, 재료에 대한 품질시험과 비파괴 현장시험 등을 고려한 내구성평가, 지반조사 등의 결과를 바탕으로 함
 - 안전성평가는 현장재하시험을 적용한 내하력평가, 구조물이 외력을 받았을 때 강성, 응력 분포, 변형량 등을 수치적으로 검토하는 구조 해석 및 지진에 대한 안전성을 검토하는 내진안전성 평가 등으로 구성됨
 - 종합성능평가 방법은 안전성평가를 넘어서 유지관리 전략 수립을 위한 생애주기평가, 진동, 소음 및 주행성능 등을 고려한 사용성 평가, 위험도 및 가치를 고려한 네트워크 수준 자산관리(경제성) 평가 등이 있음

표 2-11. 안전진단(성능평가) 관련 주요 기술

구분		정의	주요 기술
상태평가 (내구성 조사)	외관조사	교량시설물에 외관의 손상이나 파손, 열화, 균열, 변형 등의 상태를 조사해서 전반적인 상태를 평가하는 것으로 상부구조조사와 하부구조조사로 구성	<상부구조 조사> <ul style="list-style-type: none"> • 강재부식, 변형 상태조사 • 균열 상태조사 • 콘크리트 박리, 박락 상태조사 • 강재도장 상태조사 • 처짐정도 조사 • 노면상태 조사 • 부대시설 상태조사 • 종단 측량 • 주위 환경 및 교통량 조사
	재료 품질 시험	콘크리트교를 대상으로 콘크리트 품질을 측정하는 시험	<하부구조 조사> <ul style="list-style-type: none"> • 기초세굴조사 • 침식상태 조사 <ul style="list-style-type: none"> • 반발강도시험 • 초음파시험

구분		정의	주요 기술
			<ul style="list-style-type: none"> 철근부식상태 및 철근량 조사 중성화 시험 코어채취 압축강도시험 염분함유량시험 탄성계수 측정 철근인장강도시험 배합비 분석
		강교에 내구성 평가를 위한 강재품질을 시험하는 방법으로, 구조물의 특성을 간접적으로 측정하는 시험	<ul style="list-style-type: none"> 강재두께 측정 도막두께 측정 용접결함 검사 <ul style="list-style-type: none"> - 육안검사(VT) - 방사선투과시험(RT) - 자분탐상시험(MT) - 초음파 탐상시험(UT) - 염료침투탐상시험(PT) 경도시험 인장강도시험 금속조직검사
	지반조사	토질의 물리, 역학적 특성평가 등을 통해 교량 주변지반의 특성을 조사하는 시험	<ul style="list-style-type: none"> 수중조사(수심조사) 수중촬영 지반조사 기초재하시험 암강도시험 토질시험
	피로수명 평가	교량의 응력을 측정하여 결함 발견 후 피로진전 해석을 통해 균열의 진전속도와 피로수명 예측	<p><피로 해석 접근법></p> <ul style="list-style-type: none"> 수직응력 접근 방법 Hot spot 응력 이용 방법 노치 스트레인 접근법 균열진전 방법
안전성 평가	내하력평가	내하력은 "구조물의 하중에 저항하는 능력"을 말하나 구조물의 안전점검 분야에서의 내하력은 활하중에 대한 여유도 시험	<ul style="list-style-type: none"> 재하실험 <ul style="list-style-type: none"> - 정·동적 변형률 측정 - 정·동적 처짐 측정 - 가속도 측정 - 충격시험 - 차량 주행시험 설계 기반 내하력 평가법 허용응력법 강도설계법
	구조해석	가상의 방법을 통해 교량 구조물이 외력을 받았을 때 강성, 응력분포, 변형량 등을 평가하는 방법	<ul style="list-style-type: none"> 유한요소법에 의한 구조해석 설계도면 기반 구조해석 실측 제원 및 물성치 기반 구조 해석
	내진안전성 평가	교량이 지진에 의한 손상을 견디는 정도 평가	<ul style="list-style-type: none"> 등가정적해석법 모드 스펙트럼해석법 시간이력해석법 비선형해석법 P-δ효과를 고려한 해석법
종합 평가	사용성평가	시설물의 사용가능수준과 기능역할 수행여부를 판정하는 방법 전반적인 구조물 안전에 지장이 없으나, 처짐, 균열, 진동, 소음 등으로 인하여 기능장애, 미관불량을 초래하여 이용자에게 불안감을 주는 요소를 평가	

구분		정의	주요 기술
	생애주기 관리	교량의 생애주기를 기반으로 한 생애주기 비용(LCC), 생애주기 성능(LCP) 등을 고려한 교량 평가 방법	<ul style="list-style-type: none"> LCC 분석 기법 및 시스템 개발 LCC/LCP/LCA 통합 교량 유지관리 시스템
	네트워크수준 자산관리	개별 교량의 안전성평가 개념을 포괄하면서 교량을 하나의 자산으로 보고 네트워크 수준의 교량을 유지관리하기 위한 평가	<ul style="list-style-type: none"> 위험도 및 가치 기반의 네트워크 수준 교량 평가방법 공공시설물 자산관리 성과지표

※ 출처 : 국토교통부, 시설물의 안전점검 및 정밀안전진단 실시 등에 관한 지침(2015.07), 아이에스엠, 위험도 및 가치기반의 네트워크 수준 교량평가 방법(2014.12), 한국건설기술연구원, SOC시설물성능평가기술개발기획(2014.04), ICT교량연구단, ICT기반 교량 수명 연장을 위한 부분교체 및 저탄소 소재 활용 기술 개발(2014), 국토해양부, 제3차 시설물의 안전 및 유지관리 기본계획(2012.12), 한국건설기술연구원 등, EON 재구성

□ 국내의 교량 안전성평가 기준 및 지침

- 국내에서는 1995년 「시설물의 안전관리에 관한 특별법」을 제정하여 시설물의 안전관리를 시행하고 있으며, 안전점검 및 정밀안전진단 세부지침에 따라 교량의 성능을 상태평가와 안전성평가를 통해 관리하고 있음
 - 교량의 안전성평가는 내하력평가 개념으로 규정되어 왔으나 하중비에 따라 변동폭이 크기 때문에 <표 2-13>과 같이 교량의 안전을 개념을 도입하여 평가함
 - 허용응력법에 의한 내하율은 강 부재의 내하력 산정 시 적용하며, 강도설계법에 의한 내하율은 콘크리트 부재의 내하력 산정에 적용하는 것이 바람직. 내하율과 공용내하력은 <표 2-14>의 공용내하력 평가 산정식을 이용하여 산정함
 - 안전율이 0.9에서 1.0 사이에 있어 재하시험에 의한 공용내하력 평가를 실시한 경우 공용내하력 산정결과에 따라 안전성평가 결과를 산정함
 - 관리주체의 요구에 따라 내진안전성평가를 실시할 경우 “기존 시설물의 내진성능평가 및 향상요령(건설교통부, 2003.12)”의 절차에 따라 내진안전성평가 과업을 수행함
 - 시설물의 상태평가와 안전성평가를 실시한 경우에는 각각의 결과로 부여된 상태평가 결과와 안전성평가 결과를 종합적으로 비교·검토하여 그 시설물에 대한 종합평가를 결정함

표 2-12. 구조물의 안전성평가 기준

기준	안전성평가 기준	비 고
A	SF > 1.0	· 허용응력설계법 $SF(\text{안전율}) = \frac{\text{허용응력}}{\text{발생응력}} = \frac{f_a}{f_{d+1}}$ · 강도설계법 $SF(\text{안전율}) = \frac{\text{설계강도}}{\text{소요강도}} = \frac{\Phi M_n}{M}$
B	0.9 ≤ SF < 1.0 이나, 공용내하력이 설계하중보다 크게 평가된 경우	
C	0.9 ≤ SF < 1.0	
D	0.75 ≤ SF < 0.9	
E	SF < 0.75	

※ 출처 : 한국시설안전공단, 안전점검 및 정밀안전진단 세부지침, 2012

표 2-13. 공용내하력 평가 산정식

	허용응력법	강도설계법
내하율 (RF)	$RF = \frac{f_a - f_d}{f_l(1+i)}$ $f_a = \text{실측 허용응력}$ $f_d = \text{실측 고정하중에 의한 응력}$ $f_l = \text{설계 활하중에 의한 응력}$ $i = \text{설계 충격계수}$	$RF = \frac{\phi M_n - \gamma_d M_d}{\gamma_l M_l(1+i)}$ $M_n = \text{극한 저항모멘트}$ $M_l = \text{설계 활하중에 의한 모멘트}$ $\gamma_l = \text{활하중 계수} = 2.15$ $\gamma_d = \text{고정하중 계수} = 1.30$ $i = \text{설계 충격계수}$
공용 내하력 (P)	$P = K_s \times RF \times P_r$ $K_s = \text{응답 보정계수} = \frac{\delta_{\text{계산}}}{\delta_{\text{실측}}} \cdot \frac{1+i_{\text{계산}}}{1+i_{\text{실측}}} = \frac{\epsilon_{\text{계산}}}{\epsilon_{\text{실측}}} \cdot \frac{1+i_{\text{계산}}}{1+i_{\text{실측}}}$ $i_{\text{계산}} = \text{설계 충격계수} \quad i_{\text{실측}} = \text{시험에 의한 충격계수}$ $\delta_{\text{계산}}(\delta_{\text{실측}}) = \text{이론 처짐량(실측 처짐량)}$ $\epsilon_{\text{계산}}(\epsilon_{\text{실측}}) = \text{이론 처짐량(실측 처짐량)}$ $P_r = \text{설계활하중}$	

- 도로교설계기준이 한계상태설계법으로 바뀜에 따라 한국콘크리트학회(KCI)는 신뢰도 기반의 개념을 도입하여 기존구조물의 안전성평가에 대한 기준을 수정함
- 한국도로공사에서는 교량의 안전율과 내하율 및 공용내하력을 산정하는 「신뢰도기반 교량 안전성 평가 지침(안)」을 <표 2-15>의 내용과 같이 제시
- 신뢰도기반 교량 안전성 평가는 설계와 평가의 불확실성을 고려하여 목표신뢰도지수의 차등화를 통해 부분안전계수로 반영하는 방법으로, 교량의 안전성 검증 및 내하율 산정식은 다음 표와 같음

표 2-14. 「신뢰도기반 교량 안전성 평가 지침(안)」 (한국도로공사)

교량의 안전성 검증	$R_A \geq U_A$	R_A : 평가저항강도 U_A : 평가하중영향
평가하중영향	$U_A = \sum \gamma_A (\gamma_i Q_i)$	γ_A : 하중평가계수 γ_i : 교량안전성평가하중계수 Q_i : 공칭하중영향
평가저항강도	$R_A = \phi_A (\phi R_n)$	ϕ_A : 강도평가계수 ϕ : 강도감소계수 R_n : 저항강도
내하율	$RF = \frac{\phi_A (\phi R_n) - \gamma_A (\gamma_D D)}{\gamma_A (\gamma_L D) (1 + I)}$	

- 또한, 한국도로공사는 신뢰도기반 교량 안전성평가 방법의 적합성 검증을 위해 PSC 거더교 적용을 통한 미국, 일본, 캐나다의 안전성평가 기준과 비교 연구를 수행하였음
 - <그림 2-16>과 같이 4개국에서 내하율 산정식을 모두 다르게 규정하고 있음
 - PSC 거더교에 적용한 동적이동하중 재하시험을 통해 데이터를 계측하고 모델업데이팅을 수행하여 하중계수를 산정
 - “KBDC”는 기존 도로교설계기준 상의 하중계수를 의미하는 것으로 안전성평가를 통해 산정된 하중계수가 설계하중계수보다 크게 산정되어 합리적인 결과로 판단됨
 - 또한, “KBDC-R”의 하중계수가 “CHBDC-R”보다 약 1.5배 정도 작으며, 안전성평가 기준 /가이드라인들 중에서 가장 작은 값을 가짐
 - KBDC-LSD-R에서는 AASHTO-LRFR이나 CHBDC-R에서 같이 설계에서 적용한 목표신뢰지수와 달리 설계와 평가에서 서로 다른 불확실성의 차이, 위험도의 차이를 고려하여 설계와 다른 목표신뢰지수를 적용하고 이에 따른 고정하중과 활하중 계수를 산정함

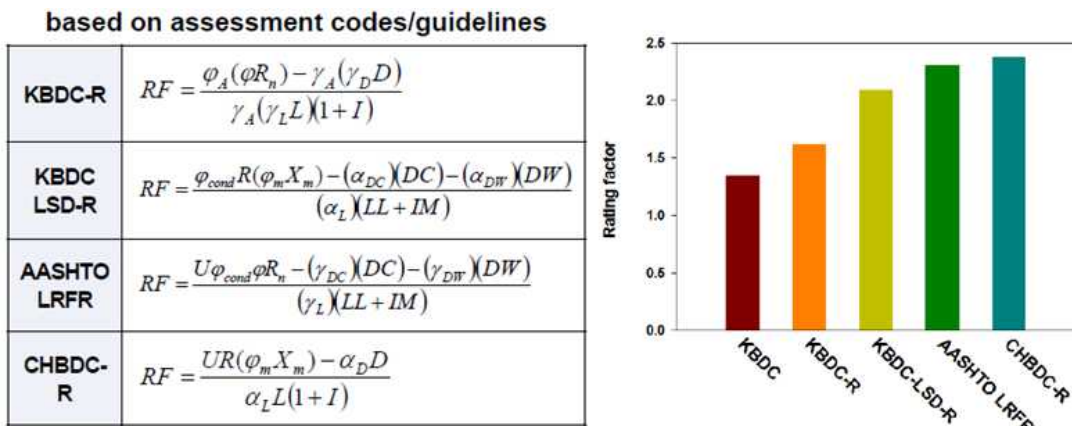


그림 2-15. 국내외 교량 안전성 평가 기준의 비교 및 검증

- 한국도로공사는 신뢰도기반 교량 안전성 평가 지침(안)을 개발하여, 그림과 같이 Preliminary assessment, Detailed assessment, Assessment by load test로 나누어 목적에 부합하도록 성능평가 진행
- <표 2-16>은 이런 국제적인 성능평가 관련 동향과 국내 한국도로공사에서 최근 새롭게 제정된 평가지침의 내용을 간략하게 비교한 것임

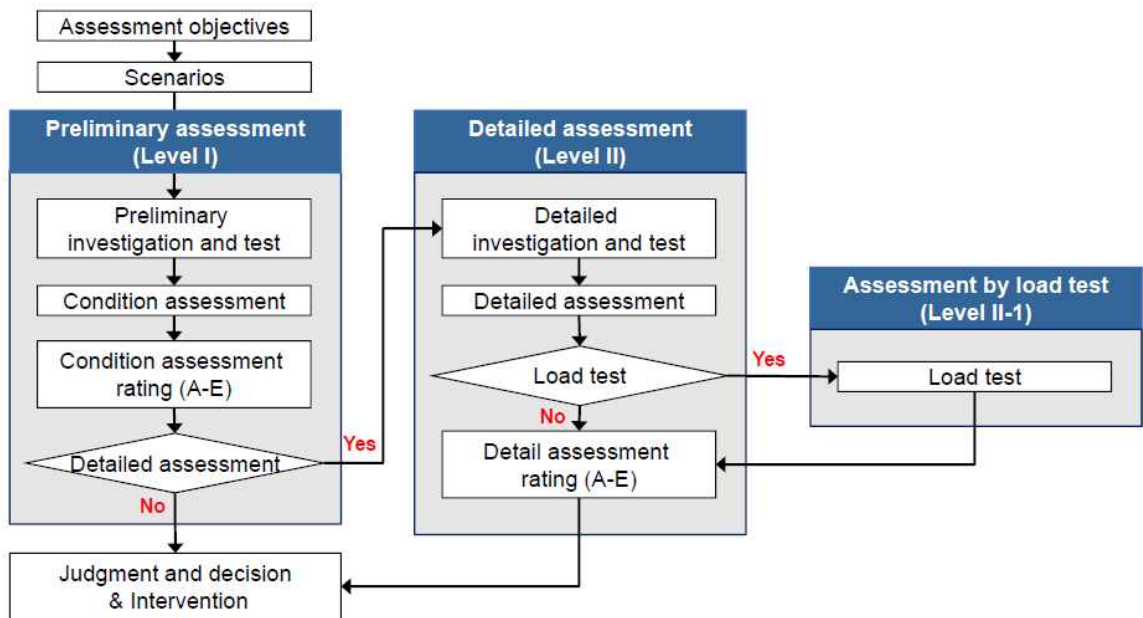


그림 2-16. Reliability-based safety evaluation guideline for highway bridges

표 2-15. Assessment Process

ISO 16311	ACI 562	JCI	KO-eX
<ul style="list-style-type: none"> • Preliminary assessment 	<ul style="list-style-type: none"> • Preliminary assessment 	<ul style="list-style-type: none"> • Assessment level I 	<ul style="list-style-type: none"> • Preliminary assessment
<ul style="list-style-type: none"> • Detailed assessment 	<ul style="list-style-type: none"> • Assessment 	<ul style="list-style-type: none"> • Assessment level II • Assessment level III 	<ul style="list-style-type: none"> • Detailed assessment • Assessment by load test

□ 국외의 교량 안전성평가 관련 기준 및 지침

- (국제 표준) ISO/TC 71/SC 7에서 발간한 ISO 16311(2014) - 콘크리트구조물의 유지관리 및 보수(보강)에 대한 국제표준이 가장 최근에 국제적으로 합의된 내용임
- ISO 16311(2014)는 16311-1: General principles, 16311-2: Assessment of existing concrete structures, 16311-3: Design of repairs of concrete structures, 16311-4: Execution of repairs of concrete structures 4개 부분으로 개발
- ISO 16311(2014)에 따른 공용중인 구조물의 성능평가는 시설물을 기본적으로 운영할 수 있는 안전성능 수준, 지속적인 기능성능 수준, 클라이언트의 특정 성능요구 수준

만족을 위해 수행하며, <그림 2-18>과 같이 Preliminary level of assessment와 Detailed level of assessment 2단계로 구성함

- * Preliminary level of assessment : 현재 구조물의 전반적인 상태뿐만 아니라 미래의 안전성 및 사용성도 평가범위에 포함되어 있으며, 평가수행 시 결정과 대응이 즉시 가능함
- * Detailed level of assessment : 사전평가 후 보다 명확한 판단이 필요할 경우 상세조사, 재료시험, 구조해석 및 검증 등의 추가 결과를 종합하여 평가함

- (미국) 콘크리트구조물의 설계에 대한 기준인 「ACI 318」에 기존 콘크리트구조물의 안전성평가에 대한 내용을 일부 포함하고 있고, 새롭게 「ACI 562」에서 평가, 보수에 대한 내용을 재정립하고 있음.
- 「ACI 562」의 프로세스는 Repair design, Durability considerations, Construction and Quality assurance, Maintenance recommendations 순으로 진행되며, 성능평가는 Preliminary assessment와 Assessment 2단계로 진행

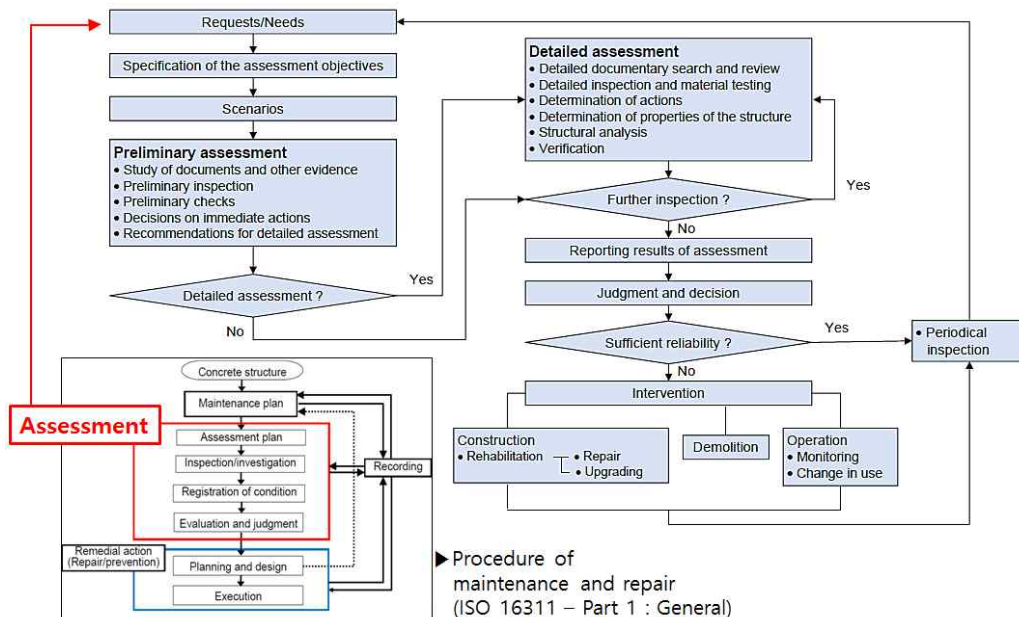


그림 2-17. ISO 16311 - Part 2 : Assessment

※ 출처: ISO 16311:2014

- (일본) 2014년에 일본콘크리트학회(JCI)에서 기존 콘크리트구조물의 성능평가에 대한 지침을 개발하여 적용하고 있음
- 일본콘크리트학회(JCI) 「Guidelines for Performance assessment of existing concrete structures」에서는 구조적/비구조적 안전성, 사용성, 복원성, 내구성을 고려하여 성능평가를 수행하고, 성능평가는 Level I, II, III으로 총 3단계로 진행하도록 함
 - * Level I은 가장 보수적인 단계로 평가 결과가 간단하지만 안전성이 높은 단계
 - * Level II는 상세조사를 하는 단계로 현 설계기준에 따라 구조물의 내하력평가 등의 안전성 평가를 수행
 - * Level III도 상세조사를 하는 단계로 비선형 유한요소 해석과 같은 수치해석을 통해 구조물의 성능평가 수행

- (유럽) 노르웨이 콘크리트 협회에서는 2013년부터 「Construction Product Directive, CPD」에 따라 콘크리트 구조물을 건설 및 관리해 왔으며 유럽연합의 위임을 받아 통일 기준을 개발하는 연구를 수행하였으며, EN 1504 「Products and systems for the protection and repair of concrete structures. Definitions, requirements, quality control and evaluation of conformity」의 “Part 2: Surface protection systems for concrete”에 콘크리트 구조물의 성능평가에 대한 내용이 수록되어 있음.

□ 국내외의 시설물 안전 및 유지관리 분야 기술개발 동향

- (우리나라) 우리나라는 Green-up 30, 건설교통 R&D 중장기 계획 등 다양한 정책 기반 하에 사회기반시설의 고령화 대비, 지능형 안전 및 유지관리 기술 개발 등 추진

표 2-16. 국내의 시설물 안전 및 유지관리 분야 기술개발 동향

구분	사회기반시설 고령화 대비	자연재해에 강한 사회기반시설 정비	지능형 안전 및 유지관리 기술 개발
제4회 과학기술 예측조사	• 없음	• 없음	• 스마트 기반 지반 거동 예측시스템 • 자가진단 및 수명 연장기술
Green-Up 30 (국토교통)	• 없음	• 없음	• 지능형 친환경 교량 개발 • 네트워크 기반 SOC 시설물 관리기술
제5차 건설기술진흥 기본계획	• LC기반 시설물 유지관리 확립	• 없음	• 없음
건설교통 R&D 중장기 계획 (2013-2017년)	• SOC시설물 성능평가 기술	• 지진 및 기후변화 대비 건축물 구조 안정성 향상기술 • 건축물 내구설계법 개발 • 기존 건축물 구조 보강	• 고층 구조물 지능형 유지관리로봇 시스템 개발 • 스마트 수중점검 시스템 • 시설물 점검용 휴대 KIT 개발

※ 출처 : 시설물 안전 및 유지관리기술의 미래니즈와 개발전략(홍성호, 한국건설관리학회, 제15권 제4호, '14.08)

- (캐나다) "Civil Infrastructure System Technology Roadmap"을 수립하여 장수명화·성능평가 기술과 자연재해 극복기술, 지능형 모니터링 기술 개발 등을 통해 사회기반시설의 고령화와 자연재해에 대처하고, 안전 및 유지관리 업무의 효율성 증대를 모색
- (일본) OECD의 “Infrastructure to 2030”에 따르면, 일본은 종래의 사회기반시설과 정보 기술을 연계하여 정보의 통합관리·운용이 가능토록 하는 “차세대 인프라 정비를 위한 기술 개발 사업”을 추진할 계획
- 또한 기후변화로 인한 사회기반시설의 부정적인 영향을 최소화하기 위하여 안전 및 유지관리 기준 및 실무자 매뉴얼을 작성·보급하여 활용하고 있음

- (EU) ECTP(European Construction Technology Platform)의 “Networking Europe Vision 2030 and SRA”도 장기성능 예측 모델, 자연재해에 강한 신소재, 손상조기감지 기술개발 등을 통해 사회기반시설의 고령화와 자연재해에 대비하고, 안전 및 유지관리 업무의 지능화를 꾀하고 있음

표 2-17. 국내의 시설물 안전 및 유지관리 분야 기술개발 동향

구분	사회기반시설 고령화 대비	자연재해에 강한 사회기반시설 정비	지능형 안전 및 유지관리 기술 개발
[캐나다] Civil Infrastructure System Technology Roadmap	<ul style="list-style-type: none"> • SOC장수명화·성능 평가 • 자산목록화 • SOC 유지관리기술 평가 • SOC 생애주기 비용 분석 	<ul style="list-style-type: none"> • 자연재해 극복기술 	<ul style="list-style-type: none"> • SOC 지능형 모니터링 기술 개발 • SOC 통합정보시스템 • SOC 유지관리정보 지식화
[OECD] Infrastructure to 2030	<ul style="list-style-type: none"> • 자산관리 체계 적용 및 전산 시스템 개발 • 차세대 인프라 정비를 위한 기술개발 사업 	<ul style="list-style-type: none"> • 일본 기후변화 대응 시설물 관리 매뉴얼 작성 	<ul style="list-style-type: none"> • 호주 E-infrastructure 개발
[ECTP] Networking Europe Vision 2030 and SRA	<ul style="list-style-type: none"> • SOC 노후화에 따른 장기 성능 예측모델 개발 • SOC 장수명화 기술 	<ul style="list-style-type: none"> • 자연재해에 강한 다기능 新재료 개발 	<ul style="list-style-type: none"> • 다수의 SOC 통합관리 방법 및 도구 개발 • SOC 손상조기감지 기술 개발 및 시험방법 마련 • 유지관리 용이 센서, 모니터링, 성능예측 시스템 개발 • IT, ITS SOC 지능화

※ 출처 : 시설물 안전 및 유지관리기술의 미래니즈와 개발전략(홍성호, 한국건설관리학회, 제15권 제4호, '14.08)

□ 안전성평가 관련 기술 트렌드 및 주요 이슈

- 과거에는 손상 파악 후 보수보강에 집중했으나 점차 사고예방을 위한 안전성 검사, 사용성 평가를 포함한 성능평가에 대한 요구가 증가하여, 상태평가, 안전성 평가 등 세부 평가 방법 연구 중심에서 통합적 교량 자산관리 및 생애주기 관리 중심으로 기술 동향이 변화하고 있음
- [트렌드① 분야별 연구에서 유지관리를 위한 종합연구로 확대] 과거에는 기술 분야별, 평가 항목별로 세부 주제별로 기술개발이 진행되었다면, 최근에는 통합유지관리를 목표로 안전성평가(안전진단), 계측/모니터링, 보수보강 등 관련 전 분야를 대상으로 한 종합연구 형태로 진행됨

표 2-18. 세부분야별 기술개발에서 통합유지관리를 위한 종합연구로 확대

연도	연구명	주요 연구내용	분야
1999년	국도상 노후교량의 성능개선 기법 개발에 대한 연구	비파괴시험법 중 하나인 충격반향기법(Impact echo Test)을 노후교량에 적용시켜 신뢰도 평가 실시	<input checked="" type="checkbox"/> 안전진단(성능평가) <input type="checkbox"/> 보수보강 <input type="checkbox"/> 계측/모니터링/센서
2000년	교량정밀 안전진단을 위한 첨단기술의 개발	구조물 진동모드의 변화 계측, 모드 민감도 이론과 SID이론을 이용하여 진동반응 변화 분석, 대상 구조물 손상위치 및 손상크기 추정하는 종합 시스템 개발	<input checked="" type="checkbox"/> 안전진단(성능평가) <input type="checkbox"/> 보수보강 <input type="checkbox"/> 계측/모니터링/센서
2005년	잔류유효긴장력 추정에 의한 철도교 PSC Beam의 내하력 평가기법	철도교 PSC빔 교량을 대상으로, 이론적 프리스트레스 손실에 의한 처짐과 수집 및 측정된 스투움량으로부터 PSC 내구성과 장기처짐 특성을 고려한 잔류유효긴장력 추정 및 내하력 평가기법에 대해 연구	<input checked="" type="checkbox"/> 안전진단(성능평가) <input type="checkbox"/> 보수보강 <input type="checkbox"/> 계측/모니터링/센서
↓			
2008년	보수보강된 콘크리트 교량의 성능평가	보수보강된 콘크리트 교량의 최적화된 평가/성능개선 시스템 구축 보수보강 기술의 정량적 평가를 위해 웹기반 원격관리 시스템 구축, 유지관리 모니터링 시스템 개발	<input checked="" type="checkbox"/> 안전진단(성능평가) <input checked="" type="checkbox"/> 보수보강 <input checked="" type="checkbox"/> 계측/모니터링/센서
2014년	ICT기반 교량 안전 진단 및 통합유지관리 기술	입출력 관계 기반 교량 내하성능 평가 LCC/LCP 기반 교량 최적의사결정 기술 국부손상 진단용 내장형 센서노드 기술	<input checked="" type="checkbox"/> 안전진단(성능평가) <input type="checkbox"/> 보수보강 <input checked="" type="checkbox"/> 계측/모니터링/센서

※ 출처 : ICT교량연구단, ICT기반 교량 안전 진단 및 통합유지관리 기술(2014.03) 외

- [트렌드② 세부 평가방법 연구에서 통합성능평가로 개념 확장] 2005년 이전까지는 외관검사, 비파괴검사, 내하력 평가 등과 같이 상태평가(내구성평가)나 내하력 평가 방법을 체계화하고 시스템화하는 연구를 중심으로 기술개발이 이루어졌다면, 최근에는 사용성능, 생애주기 비용(LCC, Life Cycle Cost), 생애주기 성능(LCP, Life Cycle Performance), 생애주기 평가(LCA, Life Cycle Assessment) 및 설계 VE(Value Engineering) 개념 등을 도입하여 교량의 기능이나 사용자 편의를 고려한 성능평가 및 예산의 효율적 관리, 운영을 위한 자산관리 평가방법 개발 등으로 확대
- * 특히 최근에는 개별 교량에 적용되던 평가방법 중심에서 위험지수와 교량의 가치를 연계 분석한 네트워크 수준의 교량 유지관리 의사결정을 위한 연구 추세

표 2-19. 세부 평가방법 연구에서 통합성능평가 및 통합유지관리 개념으로 확장

과거(1995 ~ 2005)	현재(2006 ~ 2015)
상태평가, 내하력 평가 등 부분적 진단·평가방법 연구 중심 <ul style="list-style-type: none"> • 내하력 평가시스템 및 보수기법('96) • 강교량의 안전진단을 위한 비파괴검사법 적용기술 개발('97) • 교량 상/하부구조의 동특성 분석을 통한 건전성 평가시스템 개발('97) • 교량세굴평가 및 유지관리 시스템 개발('05) 	안전진단 및 성능평가를 통한 종합성능평가 및 통합유지관리(자산관리 및 생애주기관리 등) 중심 <ul style="list-style-type: none"> • 강교량의 최적설계와 경제성 유지 관리를 위한 LCC 분석기법 개발('06) • LCC를 고려한 교량의 경제성 분석('10) • 위험도 개념을 적용한 교량 자산관리의 성능평가방법 연구('13) • 위험도 및 가치 기반의 네트워크 수준 교량 평가방법('14) • ICT 기반 교량 안전진단 및 통합 유지관리 기술('14)

- [이슈① 육안검사 대체 기술 부재] 안전진단 및 성능평가 시 진행되는 육안검사의 정확성 부족에 대한 문제가 지속적으로 지적되고 왔음에도, 이를 대체할 만한 기술 부재로 아직 까지 현장에서는 육안검사방법을 주로 활용하고 있어 대체기술 개발이 시급함
- 육안검사는 손상이 경미하거나 재료의 열화에 의한 노후화는 색출하기 어렵고, 점검자의 경험과 기술수준에 따라 평가결과가 달라짐에 따라 신뢰성이 저하됨

표 2-20. 육안검사 이슈 지적사항

주요 연구	지적사항
교량 상,하부구조의 동특성 분석을 통한 건전성 평가시스템 개발('97)	육안검사를 통한 외관조사는 손상이 경미하거나 재료의 열화 등에 의한 노후화 색출에 용이하지 않으며, 특히 대형구조물에 적용이 어려움
보수 보강된 콘크리트 교량의 성능평가('08)	육안검사만으로는 교량의 거동에 대한 정보를 획득할 수 없음
강도로교 공용수명 보장을 위한 도장 점검체계 확립 필요성('14)	전문가의 육안관찰은 점검자의 지식이나 경험에 따라 판정결과에 개인차가 발생하여 객관적이고 합리적인 재도장 시기의 판단이 어려움

※ 출처 : 한국도로교통협회, 강도로교 공용수명 보장을 위한 도장 점검체계 확립 필요성 (2014) 외

- [이슈② 안전진단 결과에 대한 정량화·객관화 요구 증가] 과거에는 손상된 부분에 대해서만 진단하고 파악하는 것에 집중했던 것에 반해, 현재는 파악한 손상 정도를 정량적으로 파악하고 객관적 진단 결과를 기반으로 보수보강 및 성능개선을 추진하려는 목표를 갖고 관련 연구를 추진중이나 기술적 한계 및 정량화 기반 성능평가 체계를 개발하려는 노력이 다소 부족함
- 상태 정량화 기반 성능평가 기술 개발 분야에서 우리나라는 미국, 유럽, 일본 등 기술 선진국에 비해 상대적 기술공백이 매우 큰 편으로, 정밀진단이나 센서 활용기술 관련 유효 특허는 미국과 비교했을 때 20% 이상으로 국가 규모를 고려할 때 우수한 편이나, 상태 정량화 기반 성능평가 기술 관련 유효 특허는 1.7% 수준으로 격차가 큼

표 2-21. 시설물 성능평가 관련 기술분류체계에 따른 국가별 유효특허분석

키워드(Keyword)	유효특허 선발 결과 유효데이터 건수						
	한국(KR)	미국(US)	유럽(EP)	일본(JP)	계	한국/미국	한국/전체
고속/정밀 진단기술 개발	56	208	51	107	422	26.9%	13.2%
3T기반 창의형 센서 활용기술 개발	72	353	43	87	555	20.3%	12.9%
상태 정량화 기반 성능평가 체계 개발	4	225	48	16	293	1.7%	1.3%

※ 출처: 한국건설기술연구원, SOC시설물성능평가기술개발기획(2014.04)

- [이슈③ 재하시험 문제에 대한 해결 방안 미흡] 재하시험은 교통 통제를 기반으로 수행

하기 때문에 사회적 비용이 발생하며, 실제 교량을 대상으로 실험을 진행할 경우 사용 하중 단계분석에 대한 실험은 진행 가능하나 극한하중에 대한 연구는 부재실험에 그칠 수밖에 없는 한계가 존재함

- 재하시험 문제점 극복을 위한 시설물 안전성 평가와 관련한 다양한 연구가 진행되고 있으나, 여전히 재하시험을 대체할 만한 현장 적용 가능한 연구는 극히 제한적임

표 2-22. 재하시험 이슈 지적사항

주요 연구	지적사항
외부 강선 보강을 이용한 PSC I형 거더 교량의 구조 거동에 관한 실험적 연구('03)	재하시험을 통한 거동분석 연구는 현실적으로 교량의 사용하중 수준으로 제한적이라, 극한하중에 대한 연구는 실내 부재실험에 그침
교량의 개선된 안전성 평가방안을 위한 실측자료에 기초한 공용내하력 검토('09)	재하시험은 교통 통제가 수반되기 때문에 실시하는데 제약이 많음
철거교량을 활용한 도시시설물의 안전성 평가 기법 개발('12)	재하시험을 통한 내하성능평가는 교량 성능의 간접적인 평가가 가능하나 기본적으로 설계도면을 바탕으로 수행되므로 구조물의 실제 성능과 차이가 있을 수밖에 없고, 특히 교량의 성능에 크게 영향을 미치지만 평가가 어려운 교량 받침, 조인트, PS부재의 긴장력 변화 등에 의해 구조계의 거동이 설계 시 가정과 상이한 경우 교량의 실제 성능과 큰 차이를 가질 수밖에 없음.

※ 출처 : (사)한국전산공학회, 서울특별시, 철거교량을 활용한 도시시설물의 안전성 평가 기법 개발 (2012.09) 외

- [이슈④ 실증 DB 부족으로 중복 연구 수행] 기존 실증실험 데이터를 축적·활용할 수 있는 체계가 미흡하여, 성능평가 관련 기법 및 분석기술 개발 시 비슷한 실험이 반복적으로 진행되어 R&D 예산의 효율성 저해

표 2-23. 안전진단 및 성능평가 연구 중복 사례

구분	외부 강선 보강을 이용한 PSC I형 거더 교량의 구조 거동에 대한 실험적 연구 (2003)	철거교량을 활용한 도시 시설물의 안전성 평가기법 개발 (2010)	철거교량을 활용한 도시시설물의 안전성 평가기법 개발(2012)
연구방법	PSC I형 거더교를 대상으로 극한 하중에 대한 내하성능평가 하중변화에 따른 파괴메커니즘 분석 외부강선 보강효과 검토하여 PCS I형 거더 구조거동 규명	PSC Beam, RC슬래브 형식으로 이루어진 철거교량으로 시편채취, 파괴시험 등 실시	PC Beam형식 철거교량을 대상으로 재료강도 및 제원평가, 재하시험을 통한 내하력평가, 생애주기 거동분석, 스마트계측 등 실시
문제점	같은 형식의 교량에 대한 파괴실험이 진행되었음에도 불구하고 재료 강도, 제원, 하중, 열화 변동성에 대한 DB부족 문제가 반복적으로 지적되고 있으며, 이로 인해 상태평가와 구조해석 및 재하시험을 통한 내하성능평가 결과에 대한 신뢰성 이슈가 나타남 특히 파괴실험을 통해 data를 습득하더라도 이후 연구에 연계 반영되지 못해 성능평가 연구 수준 발전에 제약요소가 되고 있음		

※ 출처 : (사)한국전산공학회, 서울특별시, 철거교량을 활용한 도시시설물의 안전성 평가 기법 개발 (2012.09) 외

2.2.2 보수보강 분야

□ 노후 구조물 보수보강 기술

- **【정의】** 보수는 시설물의 내구성능을 회복 또는 향상시키는 것을 목적으로 한 유지관리 대책을 의미하며, 보강이란 부재나 구조물의 내하력 및 강성 등의 역학적인 성능을 회복시키거나 향상시키는 것을 목적으로 한 대책을 의미함
 - 보강은 안전진단(성능평가) 중 상태평가 및 안전성평가 결과를 상세히 검토해 활용하고, 보수는 주로 육안점검에 의한 상태평가 결과를 활용하여 구조물의 중요도, 발생된 결함의 종류 및 정도, 사용 환경조건 및 경제성 등을 고려해 그 수준을 결정함
- **【보수보강 주요 기술】** 보강공법은 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

표 2-24. 노후 구조물 보수보강 주요 기술

구분		주요 내용
보강공법	단면증설공법	• 기존 구조물의 부족한 내력을 보완하기 위하여 부재의 단면을 증대시키는 공법으로, 힘부재 보강, 압축재 보강, 슬래브 보강공법 등으로 구성
	보강형 증설공법	• 기존 바닥판 하면의 거더 사이에 1~2개의 세로보를 증설하여 바닥판의 지간을 줄여줌으로써 윤하중에 의한 모멘트를 경감시키거나 가로보를 보강 해줌으로써 교량 전체의 보강효과를 꾀하는 공법
	강판보강법	• 콘크리트 바닥판(Slab), 보 또는 기둥면에 강판을 접착하여 기존 콘크리트 구조물과 일체화시켜 콘크리트 열화와 철근의 부식을 방지함을 물론 하중에 대한 내하력을 증가시키는 공법으로 강판압착공법과 부착주입공법 등이 대표적
	연속섬유(FRP) 보강법	• 열화된 콘크리트 표면 전체를 제거한 후 보강섬유를 에폭시 수지로 함침하면서 부착시켜 강인한 보강섬유층을 형성케하여 콘크리트 표면을 보강하는 공법 • 탄소섬유 보강공법, 아라미드섬유 보강공법, 유리섬유 보강공법 등
	외부프리스트레싱보강법	• 기존 구조물에 새로운 PS 긴장재를 추가 배치하여 프리스트레스트력을 부여함으로써 부재에 발생하고 있는 인장응력을 감소시켜 균열을 복귀시킬 뿐만 아니라 압축응력을 부여하는 것을 목적으로 하는 공법 • 마찰지지방식, 지압지지방식, 직선배치방식, 외케이블 공법 등
	교체공법	• 손상된 부분이나 구간 전체를 제거하고 교체해 손상을 받지 않은 부분과 같은 정도의 기능으로 회복하는 공법 • 부분교환 공법, 부재교환 공법, 급속교체 공법 등
	앵커공법	• 균열이 구조내력에 지장을 주는 경우 균열부분을 강봉으로 봉합시켜 내하력을 회복시키는 공법 • 프리스트레싱이 도입된 강봉에 의한 전단 보강, 경사방향 강선·강봉에 의한 보강, 움직이는 힌지를 적용한 전단 보강 등
보수공법	표면피복공법 <ul style="list-style-type: none"> • 일반적으로 0.2mm 이하의 미세한 균열에 사용하며 균열 위에 도막을 형성하여 방수성, 내구성을 향상시키는 목적으로 실시하는 공법 • 유기계피복공법, 무기계피복공법, 면합침공법 등 	

구분		주요 내용
	주입공법	<ul style="list-style-type: none"> 일반적으로 0.2mm를 초과하는 균열에 사용되며 균열 내부에 점성이 낮은 수지계 또는 시멘트계 재료를 주입하여 콘크리트와 일체화 시키고 방수성과 내구성을 향상시키는 공법으로 저압식, 고압식 등으로 구성
	충전공법	<ul style="list-style-type: none"> 비구조적 균열폭이 0.5mm 이상의 비교적 큰 경우의 보수에 적합한 공법으로 균열을 따라 모르타르 마감 또는 콘크리트를 절단하여 그 부분에 보수재를 충전하는 방법
	전기화학적 보수	<ul style="list-style-type: none"> 양극(+)으로부터 콘크리트 중의 강재로 직류전류를 흘려 전기화학작용을 이용하여 강재 부식에 의한 열화를 억제하는 것으로 콘크리트 구조물의 내구성을 향상 전기방식 공법, 탈염 공법, 재알칼리화 공법, 전착 공법 등

※ 출처 : 국토해양부, 안전점검 및 정밀안전진단 세부지침해설서(2012.12), 한국시설안전공단, 시설물의 보수·보강 방법 및 수준결정에 관한 연구(2011.12), 한국건설기술연구원, 콘크리트 교량의 보수·보강 재료 품질기준 및 공법 평가기준 개발 연구 보고서(2003.09) 건설교통부, 신설 및 노후교량 구조물의 개선된 내하력 평가시스템 및 보수기법 개발(1996.10). EON 재구성

□ 기존 보강기술 현황

- 1960년대 강판보강을 시작으로 1980년대 초까지 강선에 긴장력을 도입하여 보강하는 외부강선 보강공법이 개발됨
- 1980년대 이후에는 강재의 부식문제를 해결하고 작업성을 향상시키기 위해 FRP를 활용한 탄소섬유보강 기술이 개발됨
- 콘크리트 구조물의 내진보강에서 시작한 FRP 활용 보강기술은 주로 콘크리트 구조물의 휨보강 및 전단보강을 목적으로 진행되어, 2000년대 중후반에 유럽과 북미, 일본, 중국에서 FRP 보강 지침 등이 제정됨



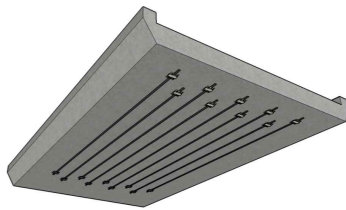
그림 2-18 보수보강 기술 흐름

- FRP 활용 강구조물 보강 기술도 1990년대 후반부터 진행되어 왔으며, 콘크리트 구조물과

마찬가지로 아직까지는 강재 표면에 FRP를 부착하는 기술에 대한 개발이 진행됨

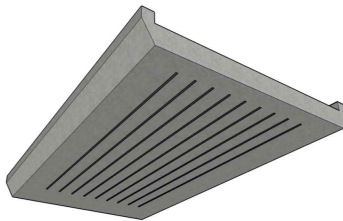
- 현재 대부분의 FRP 활용 보강기술은 주부재 표면에 FRP를 부착하는 기술이었으며, 최근 표면매립, 외부긴장 등의 기술이 제안됨
- 최근의 보강기술은 구조물의 성능향상뿐만 아니라 FRP 보강재 및 정착장치가 외부에 드러나지 않는 경관적인 요소 고려 필요
- FRP를 활용한 노후 구조물 보강공법을 보강효율, 시공성, 경제성, 경관을 고려하여 정리하면 다음과 같음

① 외부 부착 긴장보강



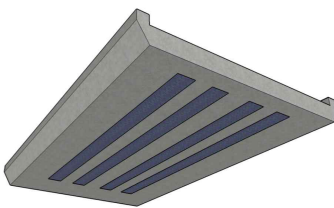
- ◆ 긴장력 도입에 따른 보강효과 우수
- ◆ 돌출된 보강장치로 인한 미관 저하
- ◆ 복잡함 시공 공정 및 보강장치에 대한 추가 유지보수 필요

② 판 부착보강



- ◆ 간편한 부착에 의한 보강 시공 가능
- ◆ 사용수준 보강효과 미미
- ◆ 보강재료 탈락·부착파괴 발생으로 효율 저하

③ 쉬트 부착보강



- ◆ 비교적 간편한 부착에 의한 보강 시공 가능
- ◆ 부착전 사전 시공 공정 복잡
- ◆ 사용수준 보강효과 미미
- ◆ 보강재료 탈락·부착파괴 발생으로 효율 저하

그림 2-19. FRP를 활용한 노후 구조물 보강공법

□ 기존 노후 구조물 보강기술의 한계

- 콘크리트, FRP, 강선 및 강판 등의 기존 소재를 활용하여 구조적 안전도를 향상시키는 기술은 개발되어 있으나 이러한 기술의 비용 대비 효과가 불확실함
- 현재까지 개발된 보강기술은 구조적 안전도 향상에만 주안점을 두고 개발된 것으로 구조물의 사용성을 향상시키지 못하는 경우가 많음. 이로 인한 사용자의 불만이 해소되지 못하여 보강기술에 대한 만족도가 낮음
- 특히 국내에 적용되고 있는 대부분의 보강기술은 해외 원천기술을 들여와 적용하는 기술

들이 많아, 국내 생산 재료, 시공기술 수준 등 국내 실정을 고려한 적합성에 대한 합리적 검토가 부족한 실정임

- 최근 장기화되고 있는 건설경기 침체와 정부의 공공공사 예산 축소로 수주물량은 줄어들고 있으나 중소 건설업체의 수는 오히려 증가하는 추세로 업체간 출혈 경쟁이 심화되고 있는 양상임
- 이러한 국내 실정에서 보강업체 대부분은 영세한 중소기업으로서 자금사정과 인력수준을 감안할 때, 새로운 기술을 개발하더라도 이를 현장에 적용하기까지 발생하는 비용도 만만치 않은 실정으로 기술도입 의지는 있으나 새로운 기술개발에 대한 투자와 위험부담을 기피하는 실정임
- 따라서 현재 보강관련 중소기업에서는 기술개발보다는 이미 개발된 기술을 사용협약을 통해 활용하는 사례가 많고 예산 절감을 최우선으로 하고 있어, 기술력은 점차 낮아지는 경향이 있음
- 기존 기술들의 성능은 개발 과정에서 자체적으로 수행한 검증실험의 결과들로, 현재 국내에서는 실용성/사업화를 목적으로 한 체계적인 보수보강 기술 검증을 위한 시험방법 개발과 성능 검인증에 대한 연구는 없었음
- 따라서 노후교량의 보수보강에 대한 안전 확보와 민간업체로의 기술 이전 및 실용화를 체계적으로 지원하기 위해서는 평가방법 개발과 실증 테스트베드 적용을 통한 성능 검증 및 정량화 연구가 필요

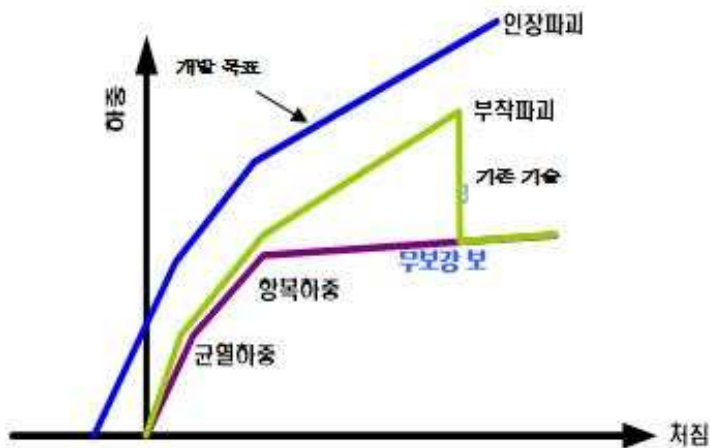


그림 2-20. FRP를 활용한 노후 구조물 보강공법

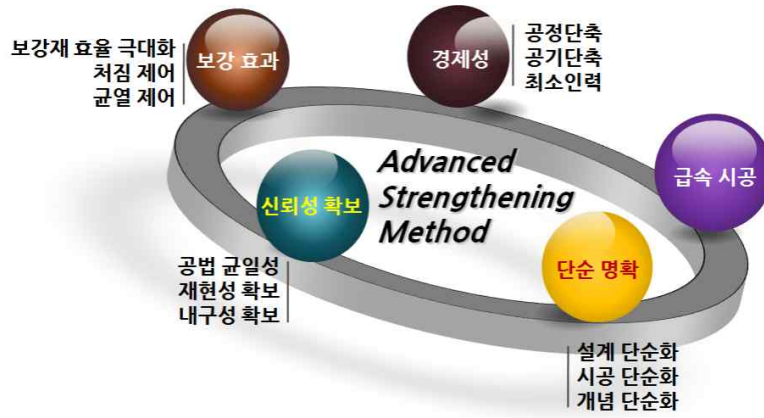


그림 2-21. FRP를 활용한 노후 구조물 보강공법

표 2-25. 기존 보강기술의 한계

구분	한계	극복 방안
보강 효율	보강재료의 탈락·부착파괴 발생으로 보강재료 성능의 60% 수준만 활용	정·부착 방법 개선에 의한 효율 증대
사용성	수동적 보강으로 사용하중 수준에서의 사용성 개선 효과 미미	외력(긴장력) 도입에 의한 처짐 개선 및 균열 복원
미관	외부 노출 보강재에 의한 심리적 불안감	보강면적 최소화, 보강재료 매립으로 미관 향상
보강 신뢰성	검증없이 영세 보강업체에 의해 도입된 기술의 우선 적용	신뢰성 있는 공인기관에서 해석·설계·시공·품질 관리에 이르는 패키지 시스템 개발 후 민간 보급

□ 보수보강 관련 신기술 현황

- 전체 토목구조물에 대한 보수보강 신기술은 총 63개이며, 14개 신기술만 유효. 이 중 교량 구조물 관련 신기술은 14개 중에서 1개만이 유효한 상태임

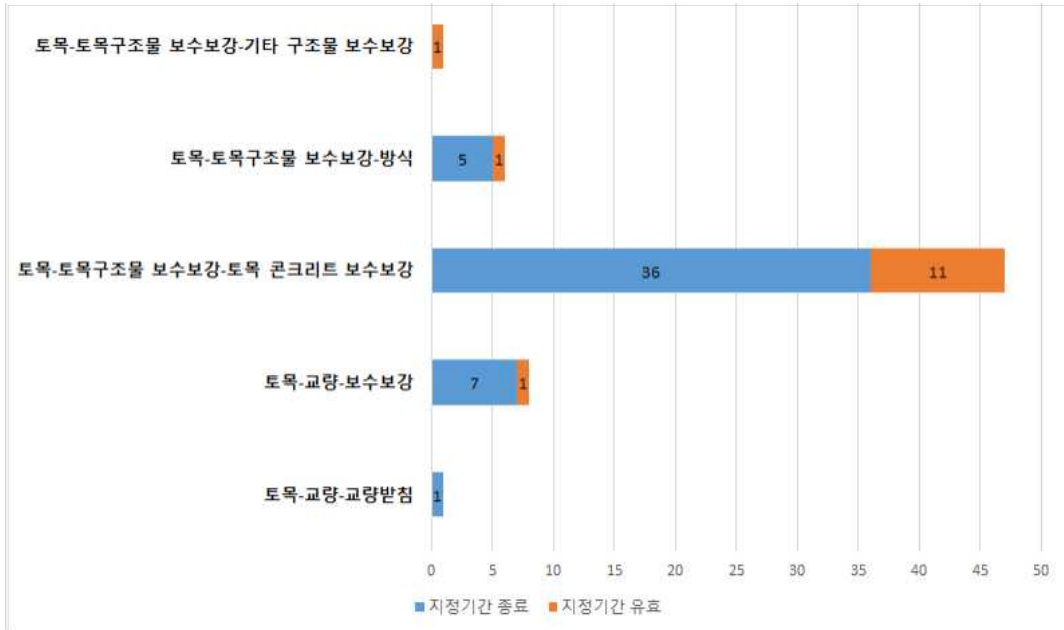


그림 2-22. 보수보강 관련 신기술 현황

- 정부는 '건설기술관리법'의 신기술지정관리제도를 통해 신기술 개발을 장려·보호하고 있으나, 과거에 비해 최근에는 신기술에 대한 기술개발이 상당히 저조함

표 2-26. 보수보강 관련 신기술 현황 LIST

순번	지정번호	신기술명	개발사	보호기간
1. 토목-교량-교량받침				
1	136	교좌장치 겸용 웨지잭(WEDGE JACK)을 이용한 교좌장치보수공법	(주)KR	98/12/07~03/12/06
2. 토목-교량-보수보강				
1	697	전자유도가열시스템을 사용한 강교량의 도장 제거공법	(주) 은성이앤씨 외 1개 기관	13/06/12~18/06/11
2	445	섬유래핑에 의한 교각의 내진성 보강공법	근형기업(주)	05/02/16~08/02/15
3	400	탄소섬유판 전용 원통형강관 흡입방식의 정착구를 이용한 철근콘크리트구조의 비부착식 외부프리스트레싱(prestressing)보강공법	(주)씨씨엘 코리아	03/11/04~06/11/03
4	343	강재탄성보의 솟음량을 이용한 RC슬래브교 보강공법	보성건설(주) 외 1인	02/08/24~09/08/23
5	132	교량 상부구조물지지, 인상을 위한 조립식 브라켓 제작,설치	김정현	98/11/10~03/11/09
6	104	다경간 교량의 이동식 점검 대차	용마엔지니어링	98/05/21~03/05/20
7	55	ㄷ자형 정착자켓을 이용한 교량보의 보강공법	신타수건설(주)	97/03/13~02/03/12
8	23	이동식 교량점검시설	(주)제일엔지니어링	95/09/18~00/09/17
3. 토목-토목구조물 보수보강-토목 콘크리트 보수보강				
1	750	이산화탄소와 염소이온 고정고알칼리 유기계방청제, 방청표면피복재 및	(주)비앤비 외 3개 기관	14/12/19~19/12/18

순번	지정번호	신기술명	개발사	보호기간
		방청단면복구재를 사용한 철근콘크리트구조물 보수공법(BNB공법)		
2	694	배기 기능의 포트와 시공모니터링 장비를 이용한 콘크리트 균열의 에폭시 건식 보수공법	Y&K TECH CO. 외 2개 기관	13/05/06~18/05/05
3	692	유사연성 섬유시트와 롤러 및 가열기로 구성된 함침기를 이용한 콘크리트 구조물 보강공법	(주)케어콘 외 4개 기관	13/02/28~18/02/27
4	647	내화모르타르를 전용스프레이 장비로 타설하고 내화코팅재로 도포하는 콘크리트 구조물내화공법(FRM공법)	(주)이알테크 외 4개 기관	12/03/16~17/03/15
5	642	황마섬유혼입폴리머모르타르와 나노메탈함유 표면보호재를 항온정량배합 분사장비로 시공하는 보수·보호공법(ECOTECT공법)	(주)삼주에스엠씨 외 1개 기관	12/02/06~17/02/05
6	619	우산살 앵커모양의 전단연결재, FRP판넬 및 단면복구재와 스프레이 노즐을 이용한 수중 콘크리트 구조물의 건조보수공법	(주)케어콘 외 1개 기관	11/03/24~16/03/23
7	596	경량보수모르타르와통기성경량복합보강판넬을 활용한콘크리트구조물의보수보강공법	매일종합건설(주) 외 3개 기관	09/12/10~19/12/09
8	577	접착 보강핀을 설치하고 미세분말플라이애시 및 삼산화규산 칼슘섬유가 혼입된 모르타르를 회전돌기형 믹싱 샤프트건에 의해 건식 분사하는 콘크리트단면보수공법	리플래시기술(주) 외 1개 기관	09/04/27~19/04/26
9	576	친환경 모르타르와 급결제용 날개식이 중분사장치 및 원추형 노즐로 구성된 스프레이 장비를 이용한 콘크리트구조물 급속보수공법	(주)케어콘 외 2개 기관	09/04/29~20/04/28
10	563	고인성 보수 모르타르와 전용제조·뿔칠시스템을 활용한 콘크리트 구조물의 내구 및 내화성능을 향상시키는 보수공법	(주)피엔알시스템 외 2개 기관	08/11/14~18/11/13
11	550	마이크로퍼티와 하이브리드 코팅제를 자동분사장치로 시공하는 콘크리트 표면 보호공법	(주)이노넥스트 외 2개 기관	08/03/19~17/03/18
12	535	수중용 접착코팅제, 수중용 에폭시 및 섬유복합재를 이용한 수중 구조물 보강공법	주식회사 콘크리닉 외 1개 기관	07/07/19~10/07/18
13	522	PVA섬유복합모르타르와 전용 믹서 및 이종추진방식의 스프레이건을 이용한 콘크리트 구조물의 단면보수기술	원하종합건설(주) 외 2개 기관	07/02/08~15/02/07
14	511	투명 복합패널을 이용한 콘크리트 구조물보수·보강공법	삼성중공업주식회사 외 1개 기관	06/11/01~09/10/31
15	507	이종 오거믹서샤프트를 이용한 프리웨팅스프레이 방식의 철근 콘크리트 구조물 보수공법	인본건설(주) 외 1개 기관	06/10/24~14/10/23
16	506	세피오라이트를 활용한 시멘트계 보수재,크림프철망,코너비드 및 신축이음 장치를 적용한 콘크리트 농수로 보수공법	케이알티 외 1개 기관	06/10/18~12/10/17
17	477	구상형 용융 슬래그골재를 이용한 보수용 모르타르,개량형 연속믹서와 압송펌프를 이용한 콘크리트 구조물의 단면보수기술	(주)리폼시스템	05/12/13~11/12/12

순번	지정번호	신기술명	개발사	보호기간
18	462	아질산계 하이드로탈사이트를 혼입한 단면 복구 모르타르 및 밀폐형건·습식 복합 분체이송·압송장치에 의한 콘크리트 구조물의 보수공법	한일시멘트(주)	05/06/29~12/06/28
19	432	수성에폭시수지,도포재,도료를 이용한 콘크리트 구조물의 성능저하방지 도막공법(HECA공법)	(주)태일케미칼 외 1개 기관	04/11/04~10/11/03
20	430	유리 섬유앵커와 알루미늄실리케이트계의 결합재에 중합조절제를 첨가한 고내구성폴리머 모르타르를 이용한 콘크리트구조물의 보수공법	(주)케어콘 외 1개 기관	04/10/28~10/10/27
21	419	플라스틱 마이크로 패커와 중공형 코아비트를 이용한 콘크리트 균열보수공법(건설신기술제419호)	삼성물산 외 1인	04/09/07~11/09/06
22	417	수산화 알루미늄이 첨가된 난연 에폭시수지와 유리섬유(Glassrovingcloth)로 제작된 난연3급FRP패널과 주입용 난연 에폭시수지를 이용한 콘크리트 구조물 보수·보강공법	근형기업(주)	04/08/13~07/08/12
23	406	유리/탄소섬유-유공강판복합플레이트를사용한 콘크리트 구조물 보강기술(Fiber-SteelCompositeRehabilitationSystem)	피지피기술(주) 외 2개 기관	04/03/09~11/03/08
24	404	FRPRod(DWHR,DWCR,DWGR)를 이용한 철근 콘크리트 구조물의 비부착 표면 매립 및 단면 확대힘 보강공법	동원건설(주)	04/01/05~11/01/04
25	403	표면에 가넷이 압력 살포된 아라미드섬유봉(ROD)을 이용한 철근콘크리트 구조물의 휨보강공법(제403호)	(주)리폼시스템 외 2개 기관	04/01/05~11/01/04
26	381	에폭시수지와 비닐에스테르수지를 이용하여 유압식 펄트루전방법에 의해 제조된 유리섬유복합재 박판패널을 이용한 콘크리트 구조물 보강공법	주식회사 국민산업	03/07/11~11/07/10
27	365	기능성수지의 복합과 수경성 세라믹계열의 이중 접착 구조를 이용한 콘크리트 구조물의 중성화,염해 및 화학적침해에 의한 표면 열화방지 도막공법(ECS공법)	한국엘단트산업주식회사	03/03/22~11/03/21
28	363	알콕시실란계 무기질 폴리머가 혼합된 표면처리제(세라탑)와 표면 개질 처리된 섬유 및 3원계 폴리머가 함유된 난용성 충전용 모르타르(리노몰탈)를 이용한 콘크리트 보수공법	(주)세라캠	03/02/17~11/02/16
29	359	열중합 이소시아네이트수지(MDI) 보수모르타르를 이용한 콘크리트 균열 파손 보수공법	한일피엔티(주) 외 1개 기관	03/01/06~06/01/05
30	351	매입형 역사다리꼴 탄소섬유막대 및 표면 요철형 탄소섬유보강판을 이용한 구조물 보강공법	(주)한보엔지니어링 외 2개 기관	02/12/04~09/12/03
31	345	금속혼합물(CORUSEAL)도료를 이용한 콘크리트염해·중성화방지기술	(주)삼주에스엠씨	02/10/01~10/09/30

순 번	지정 번호	신기술명	개발사	보호기간
32	331	알칼리부여성리튬 금속염화합물과 소수성실란화합물로 구성된 표면처리재를 사용한 노후화된 RC구조물의 표면 보수공법	건웅건설(주) 외 1인	02/04/27~08/04/26
33	330	무기질 단면피복재(RH방식피복재) 및 항균성 개질재(RH프라이미)와의 복합에 의한 RC구조물의 방식·보수공법	리플래시기술(주)	02/04/26~09/04/25
34	317	섬유시트 복합경량프리캐스트패널을이용한콘크리트구조물보강공법	(주)엔프로 외 1개 기관	01/12/19~04/12/18
35	295	탄소판을 이용한 구조물 내하력보강을 위한 흡입공법 및 보강량 설계기법	(주)일육시스템 외 1인	01/09/21~07/09/20
36	288	방청복합알칼리 회복제 및 아질산계 분말방청제가 혼입된 폴리머시멘트모르터를 이용한 손상된 RC구조물의 보수공법	이한승 외 2인	01/07/11~07/07/10
37	274	수화응고형 분말도포재(H.B.Protector) 및 코팅재(H.B.Coat)를 이용한 콘크리트 보호마감 이중처리공법	(주)한보엔지니어링 외 1개 기관	01/04/17~07/04/16
38	246	고압습식스프레이방식에의한MDF시멘트모르타르단면수복보수공법	중앙크리텍(주) 외 1개 기관	00/07/31~06/07/30
39	233	실리카흙과 현장 기계함침을 이용한 유리섬유복합재(CAF)의 콘크리트 구조물 보수보강공법	(주)콘크리틱 외 1개 기관	00/05/25~06/05/24
40	222	스테인레스 스틸와이어메쉬와 침투성 폴리머모르터(RC-A0401)를 이용한 콘크리트 구조물의 보수·보강공법	유성권	00/04/04~05/04/03
41	211	공기타격식해머와 특수앵커핀을 이용한 신,구콘크리트 구조물일체화공법(C)	(주)조은공영	99/11/05~06/11/04
42	209	시멘트계 방청도포재 및 SBR계 단면복구모르터를 이용한 염해 및 중성화를 입은 RC구조물의 보수공법	쌍용엔지니어링(주) 외 1개 기관	99/10/15~04/10/14
43	191	고로슬래그분말을 이용한 콘크리트 표면의 광택 발현 및 유지기술	두산건설(주) 외 1개 기관	99/07/28~04/07/27
44	178	콘크리트 구조물에 대하여 시멘트계열의 그라우트재를 이용한 누수방지보수공법(WGS방수그라우팅시스템)	최춘식	99/07/02~05/07/01
45	140	무수지형 일방향 탄소섬유시트를 이용한 구조물의 보수,보강공법	한국카본(주)	99/01/14~04/01/13
46	110	EPOXY-PANEL을 이용한 콘크리트 구조물의 보수,보강공법	근형기업(주)	98/06/25~04/06/24
47	59	비정질의 실리카를 이용한 콘크리트 구체강화 및 수성아크릴,에폭시,폴리머를 이용한 방식,보수,보강 복합화공법	혜영건설 외 1개 기관	97/04/07~04/04/06
4. 토목-토목구조물 보수보강-방식				
1	707	콘크리트 수처리시설물에 공장생산된 고분자수지계 AQUWEL패널을 이용한 부착계 방수·방식공법	(주)세진에스엠씨 외 2개 기관	13/07/30~18/07/29
2	544	황산화 세균억제특성을 지닌 금속화합물을 함유한 콘크리트의 생화학적 부식저감기술	삼성물산(주) 외 1개 기관	07/11/19~10/11/18

순 번	지정 번호	신기술명	개발사	보호기간
3	330	무기질 단면피복재(RH방식피복재) 및 항균성 개질재(RH프라임)와의 복합에 의한 RC구조물의 방식·보수공법	리플래시기술(주)	02/04/26~09/04/25
4	89	티타늄 양극망을 이용한 RC구조물의 보수,보강공법	한국엘가드(주)	98/01/17~03/01/16
5	86	세라믹 코팅제를 이용한 해상파일의 방식 처리공법	경흥산업(주)	97/12/15~02/12/14
6	59	비정질의 실리카를 이용한 콘크리트 구체강화 및 수성아크릴,에폭시,폴리머를 이용한 방식,보수,보강복합화공법	혜영건설 외 1개 기관	97/04/07~04/04/06
5. 토목-토목구조물 보수보강-기타 구조물 보수보강				
1	715	나노 사이즈의 금속산화물졸과 복합실란의 합성을 통해 제조한 세라믹코팅제에 의한 강구조물 보수도장공법(세라수침투공법)	티오캠(주) 외 2개 기관	13/12/04~18/12/03

□ 보수보강 기술 트렌드 및 주요 이슈

- **【보수보강 기술 트렌드】** 과거에는 외부강선 보강 중심의 보강 공법, 내진성능 향상을 위한 부품교체 중심의 공법 연구에서 최근에는 급속교체 관련 공법 연구가 활발함
 - 2000년대 중후반까지는 노후교량의 부분적 성능개선을 위한 보강기법과 교량 바닥판과 포장 보수공법에 대한 연구가 많이 진행되는데 비해, 2010년 이후에는 공용 중 교량의 이슈를 신속히 해결해 복구할 수 있는 급속교량교체 공법에 대한 연구가 많은 편임
 - * 2000년대 초반에는 주로 노후교량 보강과 관련된 공법 기술을 개발하고, 표준화된 설계절차 및 시공절차, 평가지침을 마련
 - * 2010년 이후 교체 공사 시간을 단축시키고 안전성을 확보할 수 있는 시공장치 개발, 해체작업과 설치작업을 동시에 가능하게 하는 동바리 장치를 활용한 공법 개발 등 급속교체 공법에 대한 연구가 활발히 이뤄지고 있음

표 2-27. 부분적 보수보강에서 급속교체 공법에 대한 관심 증가

과거(2010년 이전)	현재(2010년 이후)	
노후교량 보강과 관련된 공법, 지침 개발 및 성능향상을 위한 부분 보수보강, 부품교체 연구 중심	공용 중 교량의 문제를 신속하게 해결할 수 있는 급속교량교체 공법에 대한 연구 증가	
<ul style="list-style-type: none"> · 콘크리트 교량이 보수보강 재료 품질기준 및 공법 평가기준 개발('03) · 비내진 교량의 노후 교좌장치 교체 시 지진격리장치를 이용한 내진성능향상 기술 개발('04) · 외부 긴장재를 이용한 기존교량의 보강시스템 개발('06) · 신판교체 보수용접법에 의한 공용중 강교량의 보수보강 공법 개발('06) 	→	<ul style="list-style-type: none"> · 케이블 인양장치와 가설인양대와 수평 이동부재를 이용한 교량 상부구조물의 급속교체시공방법 및 급속교체 시공장치('11) · 수평 이동식 업다운 동바리 장치 및 이를 이용한 급속 교량교체공법('11) · 교량구조물의 교축방향 이동 시스템 및 이를 이용한 급속 교량교체공법('13)

- **【보수보강 주요 이슈】** 보수보강 기술은 표준화된 실험절차가 부재하고, 아직까지 구조적 안전도 향상에 중점을 두고 있어 구조물의 사용성 향상과 관련된 보수보강 기술개발은 미흡한 편임
 - [이슈① 보수보강 기술에 대한 표준화된 실험절차 부재] 보수보강 재료 및 공법 관련 연구는 지속적으로 추진 중이나, 표준화된 실험절차 및 기준이 부재함에 따라, 기술자의 경험과 역량에 따라 적절하지 못한 재료 및 공법이 선정되거나 보수보강 성능의 차이가 발생하고 있으며, 객관적 성능 대한 신뢰성 부족으로 현장 적용에 미온적임
 - * 보수보강된 콘크리트 교량의 성능평가('08) 연구는 교량의 형식별, 신기술별 보수보강의 정량적인 평가 결과를 파악하기 어려워 적정한 보수보강의 시기, 보수보강 위치 판별 또는 이상변위(RMS) 발견이 제한적임을 지적하며 실시간 성능변화 추적을 통한 보수보강의 지속적 평가와 교량 보수보강 시방서와 규정 개발이 시급함을 지적
 - * 시설물의 보수보강 방법 및 수준결정에 대한 연구('11)에서는 보수보강 필요성 판단, 보수보강 재료와 공법 선정, 우선순위 결정 시에 적용 가능한 가이드라인 부재로 불필요한 시공이나 부실시공 등에 대한 위험이 존재하고 있음을 언급하고, 시설물의 상태에 따른 적절한 보수보강 필요성 판단기준, 재료 및 공법 선정 요령 개발,

보수보강 우선순위 결정 근거 등을 제시하였으나 아직까지 보편적 현장적용은 이뤄지지 못하고 있음

- [이슈② 상부구조 중심으로 하부구조 연구 미흡] 안전진단 및 성능평가 관련 기술과 마찬가지로 보수보강 기술도 상부구조에 대한 연구는 활발하게 진행되는 반면, 하부구조에 사용되는 보수보강 공법에 대한 연구는 미흡한 편임
- * 교량 부재별 보수보강 공법을 살펴보면 상부구조는 교면포장, 바닥판, 신축이음, 교량받침 등 상판부와 가로보 및 세로보로 구성된 거더 관련 공법 개발이 주를 이루고 있으며, 하부구조는 교대, 교각, 기초에 대한 구분 없이 상·하부 공통적으로 적용 가능한 공법 개발 연구 중심으로 이뤄짐
- * 하부구조는 주로 내진보강 기술 중심으로 개발됨

표 2-28. 교량 부재 별 주요 보수보강 공법

상부구조 관련		하부구조 관련
교면포장	절삭오버레이공법 실링공법 표면피복공법 등	
바닥판	에폭시주입공법 연속섬유보강공법 교면방수공법 균열피복공법 거더증설공법 강판접착공법 섬유접착공법 등	그라우트주입공법 강판보강공법 연속섬유보강공법 프리스트레스도입공법 세굴방지공법 지방강화공법 기초보강 및 말뚝증설공법 등
교량받침	용접공법 충전공법 모르타르보수공법 등	
거더 (가로보, 세로보)	외부프리스트레스보강공법 단면복구공법 강판보강공법 연속섬유보강공법 균열보수공법 섬유접착공법 도장보수공법 부재증설공법 등	

※ 출처 : 한국시설안전공단, 시설물의 보수보강 방법 및 수준결정에 관한 연구(콘크리트 교량, 터널) (2011.12)

- [이슈③ 사용성 향상을 위한 보수보강 기술 미흡] 안전진단 및 성능평가 기술은 교량의 상태와 안전성을 포함해 사용성까지 고려해 개발되고 있으나, 교량의 보수보강 기술은 구조적 안전도 향상에만 중점을 두고 있어 구조물의 사용성을 향상시키지는 못하는 경우가 많음
- * 교량의 성능을 평가하는 일반적인 기준은 구조안전성(내하성), 변위·변형성, 내구성(시설물 건전도), 통행량 수준, 진동·소음, 수밀성(방수성, 내수성) 등 기능성과 주행성, 보행성, 미관 등 사용자의 편의성으로 구성 됨
- * 보수보강 공법 선정 시에도 구조적 적합성, 시공성, 경제성을 비롯해 대민영향도, 미관 등 사용성에 대한 평가 항목이 존재하나, 실제 공법에 대한 평가 연구에서는 사용성에 대한 평가가 배제되는 경우가 많고,

보수보강 공법 선정 가이드라인에 대한 연구에서도 안전성만을 선정기준으로 활용하는 경우가 많음

2.2.3 계측·모니터링 분야

□ 계측/모니터링/센서 기술

- **【목적】** IT 융합기술로 교량의 구조적 거동 및 내구 성능을 센서·측정기기 등을 사용하여 취득·분석하여 대상 교량의 취약부위, 문제점에 대한 정보를 관리자에게 제공
 - 계측/모니터링/센서 기술은 교량의 손상을 초기에 파악하여, 교량의 안전성과 사용성을 확보하고 유지관리 비용을 최적화하는데 목적이 있음
- **【주요 기술】** 계측/모니터링/센서 기술은 구조물의 구조적 정합성 평가를 위한 헬스 모니터링 기술, 무선 센서로 변화량을 감지·관리하는 무선계측 기술, 검사의 불완전성을 보완한 자동화 기술, 광섬유 자체의 물리적 변화에 기초한 광센서 기술, 센서들을 연계하여 분석하는 센서네트워크 기술 및 자가전력을 활용하는 자가발전 무선센싱기술 등이 있음
 - 계측된 주요 자료들은 초기 설계 및 계측치와 비교하여 교량의 현상태를 파악하여 교량의 잔존 수명을 예측하고 보수보강 시기를 판단하는데 이용되며, 교량 거동에 이상 징후가 발현될 시 경보를 발생시켜 구조물 건전성 및 안전성을 확보하기 위한 감시 수단의 기초 자료로 사용될 수 있음

표 2-29. 계측/모니터링/센서 주요 기술

구분	정의	주요 기술
헬스 모니터링 (SHM)	구조물의 구조적 정합성을 평가하기 위해 영상, 센서 등을 이용한 감지 기술	<ul style="list-style-type: none"> • 영상기반 변위계측 장치(VDMS) • 3D스캐너를 이용한 실시간 변위 모니터링 • 원격 카메라를 이용한 교량 탐지 • 멀티 GPS센서를 이용한 교량의 3차원 거동분석
무선계측	무선 센서를 통해 온도, 습도, 진동, 균열 등 변화량을 실시간 감지, 무선 네트워크 /유비쿼터스 기술을 활용해 정보 전송	<ul style="list-style-type: none"> • 임피던스 계측용 스마트 센서 • 무선 진동현 기반 변형률 센서 • 유비쿼터스 센서 네트워크 기반 지능형 교량 시스템
자동화	인간이 수행하는 검사의 불완전성을 보완하여 상태평가를 위한 데이터 수집을 목적으로 하는 무인 로봇 모니터링 기술	<ul style="list-style-type: none"> • 교량 외관조사 자동화 시스템 • 무인항공기를 이용한 균열탐지 기술 • 완전 자율형 멀티 로터식 전동 헬리콥터를 이용한 탐지 기술
광센서	광섬유 자체의 물리적 변화에 기초하여 센서에 가해진 물리량을 측정하는 기술	<ul style="list-style-type: none"> • FBG를 사용한 교각의 손상 검출과 세굴 모니터링 • FBG를 이용한 보구조물의 3차원 형상추정 • 매설형 FBG센서를 이용한 HPC구조물의 변형률 측정

※출처 : 한국철도기술연구원, 교량의 구조건전성 모니터링 기법 비교분석(2014), 한양대학교, 유비쿼터스 센서네트워크 기반 지능형 교량 시스템 개발(2011,11), 한양대학교, 교량유지관리 자동화를 위한 첨단 로봇 시스템 개발 (2009.12) 등 EON 재구성

□ 계측/모니터링/센서 기술 트렌드 및 주요 이슈

- 기존 교량 유지관리관련 기술 문제를 해결하기 위한 구조건전성 모니터링(SHM, Structural Health Monitoring), 무선계측, 자동화 관련 연구가 활발히 진행중이며, 광센서 연구와 관련해서는 FBG 활용에 관한 연구가 주도적임

- [트렌드① 자동화 연구 중심에서 구조건전성 모니터링으로 확장] 모니터링과 관련해서는 자동화 연구를 중심으로 실시간 모니터링 기술연구가 활발히 진행되었으며, 2010년 이후 유선계측 보다 효율성이 높은 무선계측에 대한 연구 중심, 최근에는 변위계측을 중심으로 한 구조건전성 모니터링 기술 연구가 중심을 이루고 있음

- * 자동화 분야 기술은 교량 유지관리 방식이 갖고 있는 시간, 비용, 주관성, 데이터 신뢰도 등 문제해결을 위해 첨단 로봇과 무인기 등을 활용한 자동화 시스템 개발 연구 활발
- * 무선계측 분야 기술은 유선을 기반으로 한 교량 모니터링 시스템의 설치, 운영, 보수의 고비용 문제를 해결하기 위한 방안으로 연구가 확대되고 있으며, 최근에는 무선센서 노드의 전력 문제에 관한 연구, 3T 등 첨단 기술과의 융합 연구 등이 추진 중임
- * 구조건전성 모니터링(SHM) 분야 기술은 기존의 변위측정 기기들이 변위를 간접적으로 측정하고, 변위측정 장비 이용시 발생하는 높은 비용 문제를 해결하기 위한 방안으로, 영상을 활용한 변위계측 기술 연구가 각광을 받고 있음

표 2-30. 자동화 기술연구에서 구조건전성 모니터링 기술로 확장

구분	2010년 이전	2010 ~ 2013년	2014 ~ 2015년
자동화	<ul style="list-style-type: none"> • 교량 유지관리 자동화를 위한 첨단 로봇 시스템 개발('09) 	<ul style="list-style-type: none"> • RFID를 이용한 지능형 교량 유지관리 시스템 개발에 관한 연구('13) 	<ul style="list-style-type: none"> • 무인항공기를 이용한 콘크리트 균열 탐지 기술('15)
무선계측		<ul style="list-style-type: none"> • 무선 센서망을 이용한 교량 관리 시스템('10) • 교량 유지관리를 위한 무선 센서 네트워크 시스템 연구('11) • USN 기반 지능형 교량 시스템 개발('12) 	<ul style="list-style-type: none"> • ICT기반 교량 안전 진단 및 통합 유지관리 기술('14)
헬스 모니터링			<ul style="list-style-type: none"> • 영상 기반 변위 계측장치의 현장 적용 성능 평가('14) • 변위기반 구조물 거동평가 기술 개발에 관한 연구('14) • 장대교량 모니터링을 위한 실시간 영상기반 변위계측 시스템('15) • 스캐너를 이용한 구조물 원격 실시간 변위 모니터링 시스템('15)

- [트렌드② FBG 센서 연구 활발] 기존 변형률계, 가속도계를 대체하는 기술로 연구가 시작된 광센서 분야는 광섬유 특정 부위에 원하는 파장에 대한 반사 특성을 보이게 하는 브래그 격자가 개발된 이래로, FBG(Fiber Bragg Grating)센서 연구가 괄목할 만한 발전을 이뤄 구조물 건전도 모니터링 시스템 구축 적용 기술이 활발히 진행중임

- 계측/모니터링/센서 관련 기술이 다양하게 연구개발 되고 있으나 현장적용에 한계가 있고, 계측 데이터를 수집하더라도 종합적 유지관리를 위해 활용하지 못하고 있으며, 기술 표준이 정립되지 않아 호환성이 부족한 점이 아쉬움

- [이슈① 연구개발에 비해 현장적용 가능 기술 부족] 계측/모니터링/센서 부문은 가속도계, 변형률계부터 GPS(Global Positioning System), LVDT(Linear Variable Differential Transformer), LDV(Laser Doppler Vibrometer)까지 다양한 연구기술이 개발되었지만, 기술 수준 미흡 또는 고비용으로 인한 현장적용의 한계가 나타남

- * 가속도계 기술은 출력신호를 처리하여 물체의 가속도, 진동, 충격 등 동적인 힘을 측정하는 간접적 변위 측정 방식으로 상대적으로 가격이 저렴하고 설치가 쉬우나, 온도 등 외부환경의 변화에 민감하여 각 신호를 변위로 변환하는 과정에서 오차가 누적될 가능성이 존재하며, 계산된 변위 값이 정확하지 않을 우려가 있음
- * 변형률계 기술은 구조물이 거동할 때 와이어를 따라 함께 거동하는 장치의 변형률을 변위로 환산해 측정하는 방식으로 적정 규모에서는 합리적이거나, 규모가 큰 구조물에 사용할 경우 계측기를 구조물과 접촉하기 위한 추가설비로 인한 오차 발생이 큰 문제
- * GPS(Global Positioning System), LVDT(Linear Variable Differential Transformer), GNSS (Global Navigations Satellite System) 등의 변위 계측 방식을 개발하였으나, 적용 시에 필요한 장비 가격이 비싸고, 대형 구조물 적용 시 한계가 발생함
- * 한편, LDV(Laser Doppler Vibrometer) 방식은 높은 정확도를 나타내는 강점이 있으나, 레이저 방향이 계측 방향과 동일해야 하는 점 때문에 외부환경에 의해 영향을 받는 현장 적용 시 문제가 존재함

- [이슈② 계측 데이터(Data) 수집 및 활용 미흡] 대형 교량을 중심으로 계측/모니터링 시스템이 구축되고 있지만, 아직까지 단순 추세분석 수준으로 계측된 자료를 안전진단 및 성능평가에 활용하지 못하고 있는 점이 아쉬움

- * 현재 실시간 유지관리시스템은 현 구조물 상태의 모니터링에 집중되어 있으며 단순한 이상응답 측정 수준에 머물러 있어, 거동 계측 데이터의 활용성은 상당히 미미한 수준임
- * 또한 대형 교량의 경우 구조 거동 모니터링을 실시하고, 장기적으로 상시 계측 센서를 이용하여 계측 데이터를 획득하고 있으나, 이를 활용한 종합적인 유지관리 수행은 많이 미흡한 상태임. 특히 계측 데이터는 단순 데이터로만 활용하고, 거동, 환경, 교통량, 유지관리 이력 등 종합적인 빅데이터(Big Data) 분석을 통한 결과 활용으로 연계되지 못하고 있으며, 유효특허도 타 분야에 비해 부족한 편임

표 2-31. 시설물 성능평가 관련 기술분류 체계에 따른 국가별 유효특허분석

키워드(Keyword)	유효특허 선발 결과 유효데이터 건수						
	한국(KR)	미국(US)	유럽(EP)	일본(JP)	계	한국/미국	한국/전체
고속/정밀 진단기술 개발	56	208	51	107	422	26.9%	13.2%
Big Data기반 고신뢰성 성능 저하 예측 기술 개발	22	223	58	104	407	9.8%	5.4%
3T기반 창의형 센서 활용기술 개발	72	353	43	87	555	20.3%	12.9%

※ 출처: 한국건설기술연구원, SOC시설물성능평가기술개발기획(2014.04)

- [이슈③ 계측/모니터링 기술에 대한 표준화 부족] 계측/모니터링 시스템과 관련해 표준이 정립되지 않아 기술 적용의 호환성이 떨어짐에 따라, 네트워크 수준의 교량관리를 어렵게 만들고, 기술 도입 시마다 개발비용이 발생하는 비효율이 나타남

- * 계측/모니터링 장치에 대한 표준화된 기준이 부재하여 실제 교량에 적용하는 장치/장비의 성능과 규격, 수량이 업체별, 교량별로 상이한 이슈가 발생함

2.3 시장 동향 분석

2.3.1 교량 성능평가(안전진단) 분야

□ 시설물 안전 관련 시장

- **【국내외 안전시장 현황】** 전 세계 글로벌 안전시장은 '11년 기준 2,530억 달러⁸⁾(약 295조원 규모)이며, 시설물을 비롯한 전반적인 안전 수요가 증가하고 있어 세계 안전시장은 지속적으로 성장할 것으로 예상

* 산업시장조사 기관인 프리도니아(Freedonia)에 따르면 '21년까지 연평균 8% 성장될 것으로 전망하며, 안전 인프라 구축에 적극적인 중동의 안전 시장은 연평균 10% 이상 성장을 기대함

- 국내 안전시장은 크게 소방, 방재, 사업장, 시설물, 보안 분야로 구분되며 전체 시장규모는 35.6조원으로, 이 중 시설물에 대한 안전시장은 3.1조원 규모임

표 2-32. 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 - 안전 점검 및 진단시장은 약 1천억원에 불과
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) 4천억원

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

- 국내 안전시장의 투자규모는 '15년 기준 총 15.4조원으로 공공 및 민간기업의 대대적인 안전투자 확대를 통해 국민 안전 증진과 경제 활성화를 기대

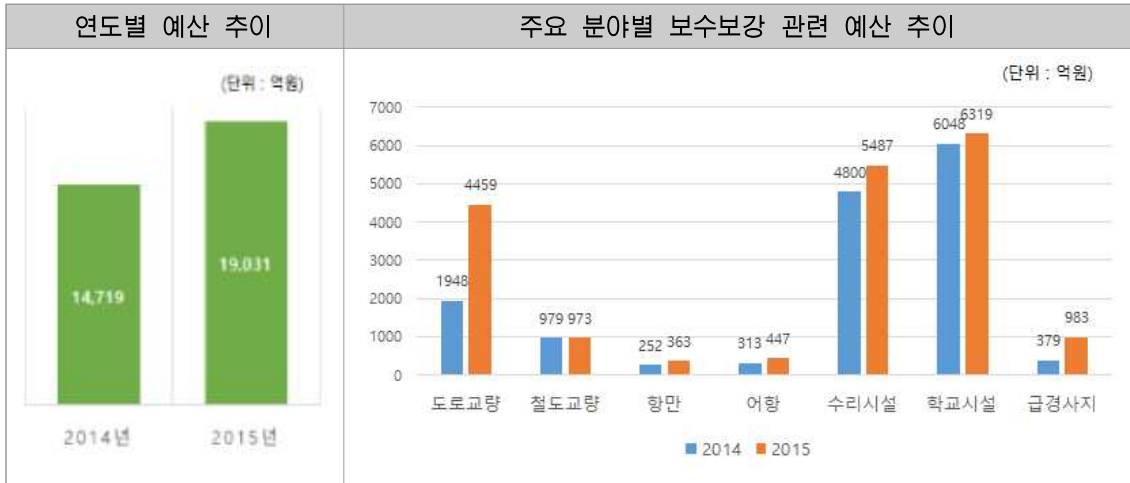
* 정부/공공기관은 SOC 및 건설, 시설물 보수/보강이 필요한 부문에 전년대비 17% 증가된 수준인 12.4조원을 투자함 ('14년 10.6조 → '15년 12.4조)

* 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

* 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

* 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

8) 2015.11.13. 기준 원·달러 환율(1,162.30원) 적용



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

그림 2-23. 중앙 부처 주요 분야별 시설물 보수보강 계획

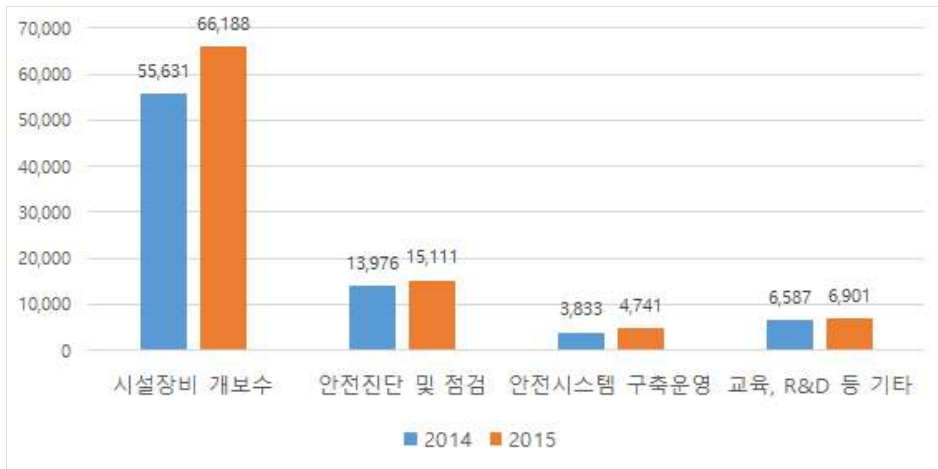


그림 2-24. 공공기관 안전부문 투자 계획

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

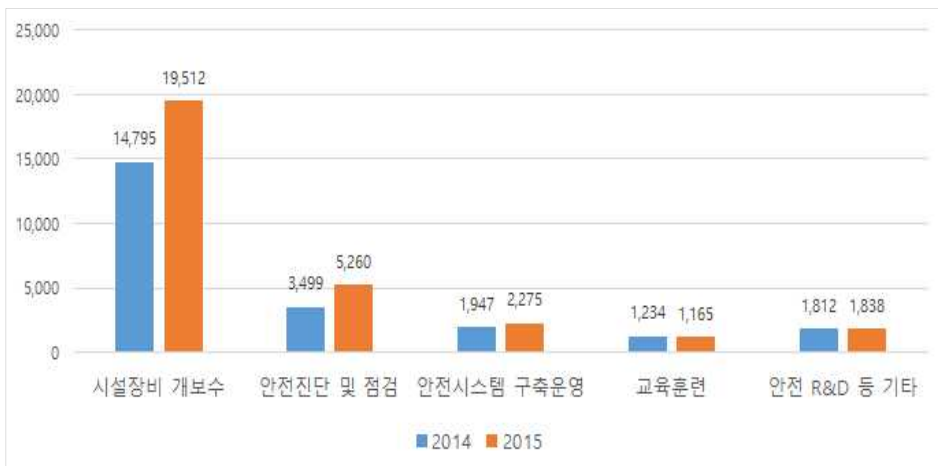


그림 2-25. 민간기업 안전부문 투자 계획

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

- 도로 안전예산 중에 유지보수를 포함한 도로보수 분야가 가장 큰 비율을 차지하고 있

지만, '04년부터 '14년까지 5천억 원대에 머물러 있는 상태임

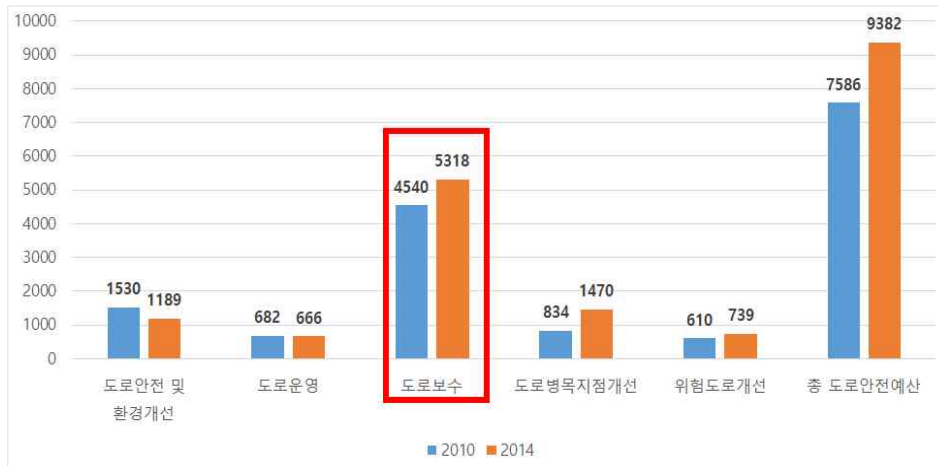


그림 2-26. 도로 안전 관련 분야별 예산 동향

※ 출처 : 국토교통부, 도로업무편람(2014)

- **【국내 안전시장 문제점】** 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 12.9조원 중 82%인 10.6조원이 정부를 포함한 공공부문 예산으로 집행
 - * 안전진단 및 점검 기능을 공공부문이 상당수를 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 한계가 있어 고기술·고부가가치 제품은 기술과 자본력을 갖춘 선진국이 주도하고 있는 실정
 - * 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

□ SOC 시설물 안전진단(성능평가) 기술 시장 동향

- **【국내 SOC 시설물 안전진단 시장 규모】** 안전점검 및 정밀안전진단 시장 규모는 '11년 기준 996억원이며, 최근 10년간 시장규모가 1,000억 원대에 머물고 있어 양적으로 더 이상 성장이 정체되고 있는 한계상황에 진입
 - 정밀안전진단 실시 자격기관인 안전진단 전문기관은 1995년 시설물의 안전관리에 관한

특별법 제정 이후, '11년 기준 528개 업체로 2000년대 초반 20%대의 급성장을 보인 이후 성장률은 하락했지만 시장 규모가 정체되는데 반해 그 수는 매년 꾸준히 증가함

* 시장 규모는 안전에 대한 사회 이슈가 발생하고 관련 규제가 강화되는지에 큰 영향을 받는 경향이 있어, 지속적으로 증가 추세를 나타내는 것이 아니라, 3~4년에 한 번씩 변화

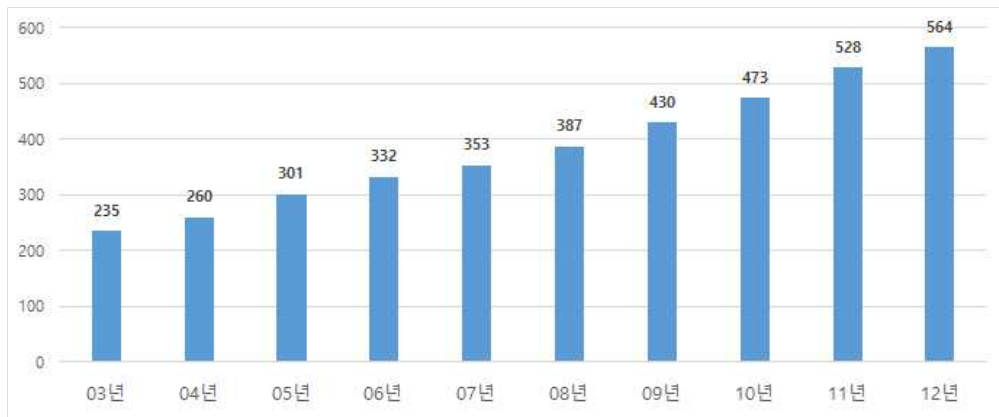


그림 2-27. 안전진단 전문기관 수

※ 출처 : 국토해양부, 제3차 시설물의 안전 및 유지관리 기본계획(2013~2017)(2012.12)

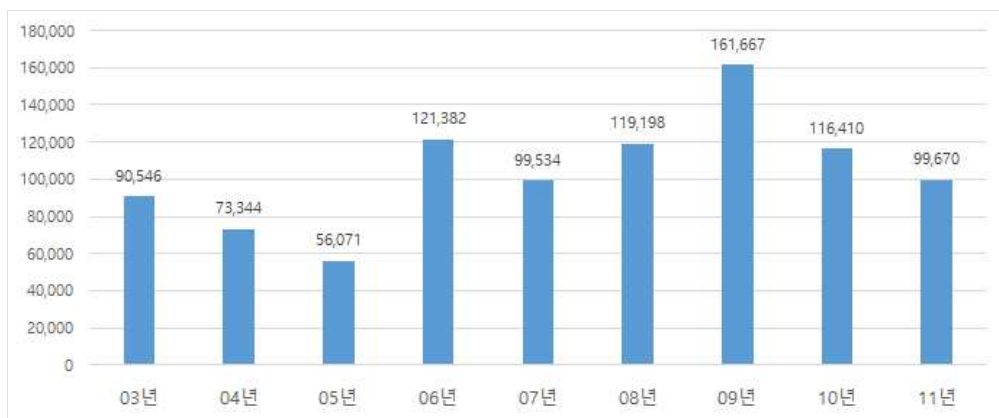
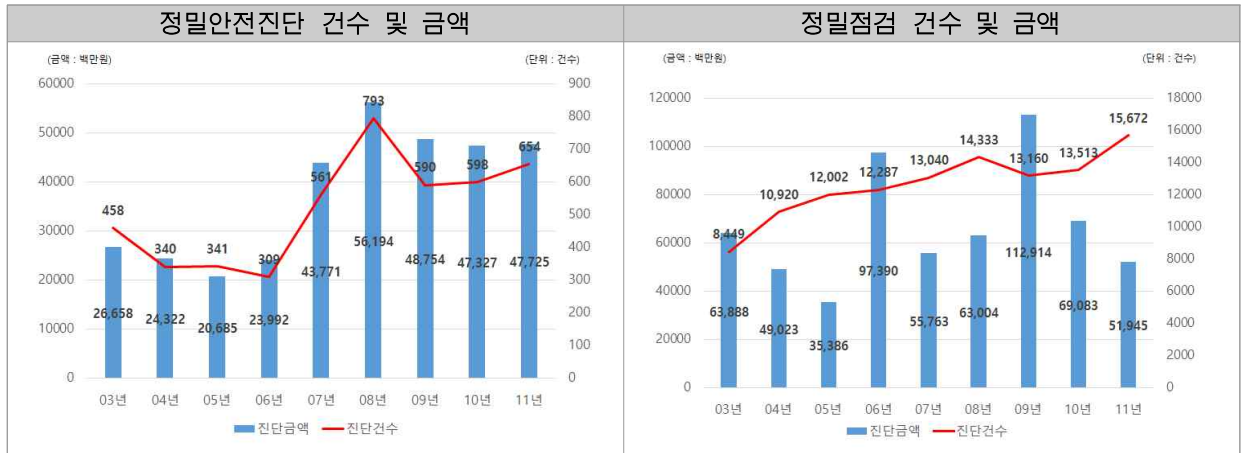


그림 2-28. 안전점검 및 진단 시장 규모

※ 출처 : 국토해양부, 제3차 시설물의 안전 및 유지관리 기본계획(2013~2017)(2012.12)

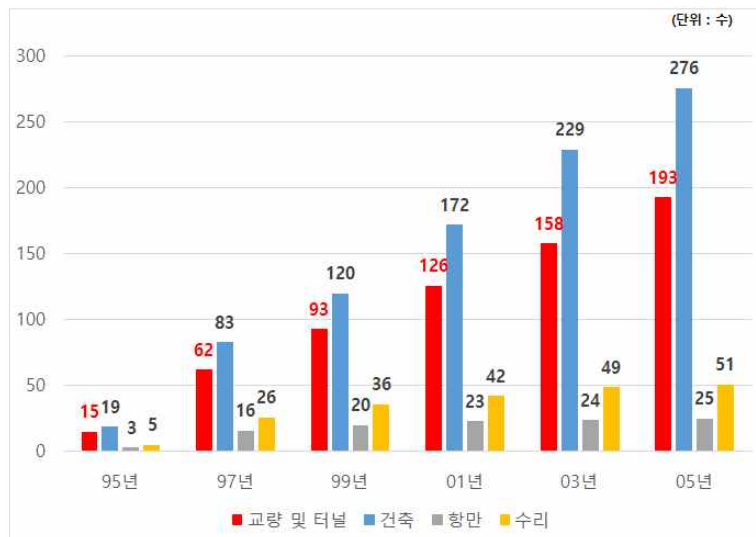
- 정밀안전진단 규모는 '11년 기준 654건에 약 477억 규모이며, '08년에 진단 건수 및 금액이 최고점에 달한 이후 규모 및 건수의 성장률이 하락세를 보임
- 정밀점검 규모는 '11년 기준 15,672건에 약 520억 규모이며, 정밀점검 건수는 '03년 이후 꾸준히 증가 중이지만 시장 규모는 등락폭이 크게 변화한 편임



※ 출처 : 국토해양부, 제3차 시설물의 안전 및 유지관리 기본계획(2013~2017)(2012.12)

그림 2-29. 정밀안전진단과 정밀점검 관련 세부 규모

- **【국내 SOC 시설물 안전진단 관련 기관】** 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 격차가 벌어지는 추세이며, 이는 우리나라가 일반 건설에 비해 교량을 비롯한 SOC 시설물에 대해 투자와 관심이 부족했음을 나타냄



※ 1개 기관이 2개 이상의 분야를 등록한 경우 각 분야별로 산정

그림 2-30. 안전진단 분야별 전문기관 등록 현황

※ 출처 : 국토해양부, 제3차 시설물의 안전 및 유지관리 기본계획(2013~2017)(2012.12)

2.3.2 보수보강 분야

- 안전점검 및 정밀안전진단 시장규모 정체와 대형 안전진단전문기관의 편중현상 심화로 인하여 新시장 개척 및 공정경쟁의 필요성 증가
- 시설물 유지관리 시장의 양적 성장 지속, 치열한 수주경쟁과 업체의 영세성으로 인하여 기술역량 취약

□ 국내외 시설물 유지관리 시장 현황

- **【국내 시설물 유지관리 현황】** '13년 기준 시설물 유지관리 시장 규모는 약 3조 4700억 원 규모로, 1995년 시설물의 안전관리에 관한 특별법 제정 이후 유지관리 업체 등장한 이래로 연간 공사 건수, 업체 수, 시장 규모 등에서 양적 성장을 지속해오고 있음
- 최근 국내 건설 산업 투자비는 '11년 110조 7천억 원을 고점으로 감소추세에 있으며 '13년 약 100조원 전후의 규모로 형성됨. 시설물 유지관리 분야에 투자된 예산 규모는 '13년 기준 3조 4700억원 규모로 건설 총 투자 대비 약 3.8%수준임

표 2-33. 건설 투자 및 시설물 유지관리 발주 시장 현황

(단위 : 십억 원, %)

구분	2010년	2011년	2012년	2013년
건설투자 총 규모	103,300	110,700	101,500	91,300
시설물 유지관리 발주	3,105	3,112	3,600	3,470
건설투자 대비 시설물 유지관리 투자 비율(%)	3%	2.8%	3.5%	3.8%

※ 출처 : 서울과학기술대학교 외, 시설물유지관리체계의 정비 및 건설기술정책 표준화 방안(2014.10)

- 시설물 유지·보수공사의 연간 건수는 '10년 기준 59,356건이며, 전체 전문건설업에서 차지하는 비중이 '00년 3.3%, '05년 5.8%, '10년 10.2%로 점차 증가 추세를 보이고 있음

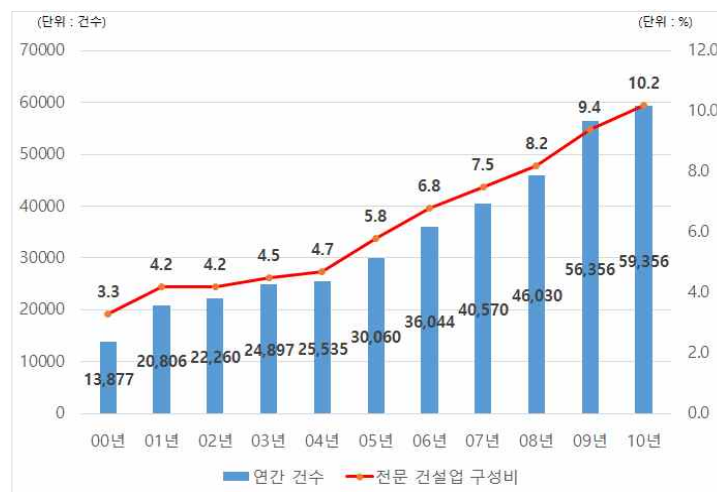


그림 2-31. 시설물 유지·보수공사 연간 건수

※ 출처 : 국토해양부, 제3차 시설물의 안전 및 유지관리 기본계획(2013~2017)(2012.12)

- 시설물 유지관리 업체는 '95년 시특법 제정 이후 등장하였고, '99년부터 일반건설업자에게도 시설물유지관리업 겸업이 허용됨에 따라 '00년 시설물유지관리업 총 등록업체 수가 1,604개로 전년대비 31%증가. 또한 '10년도에도 4,056개 업체로 전년대비 약 13%의 증가율을 보임



그림 2-32. 시설물 유지관리업체 등록 수

※ 출처 : 국토해양부, 제3차 시설물의 안전 및 유지관리 기본계획(2013~2017)(2012.12)

- 시설물 유지·보수 연간 시장규모는 '10년 기준 2조 8370억원이며, 전문건설업에서 차지하는 비중은 '00년 2.2%, '05년 2.6%, '10년 3.8%로 작게나마 증가 추세를 보임

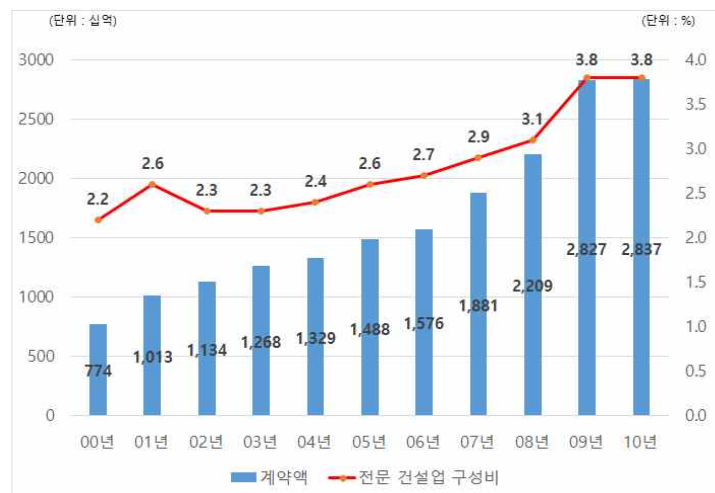


그림 2-33. 시설물 유지·보수공사 연간 시장규모(계약금액)

※ 출처 : 국토해양부, 제3차 시설물의 안전 및 유지관리 기본계획(2013~2017)(2012.12)

- 【해외 시설물 유지관리시장과 비교】 우리나라는 선진국에 비해 신규건설 대비 유지·보수 투자 비율이 낮은 편임

- 우리나라 건설시장에서 유지보수 시장의 비중은 선진국에 비해 낮은 수준으로, 선진국은

건설시장에서 유지보수 시장이 차지하는 비중은 '01년 기준 44% 수준인 반면, 우리나라는 '01년 기준 교통 SOC에 대한 유지보수 투자가 26% 수준임. 신규건설 시장이 14%로 유지보수 시장은 신규건설시장 대비 1/3 수준임

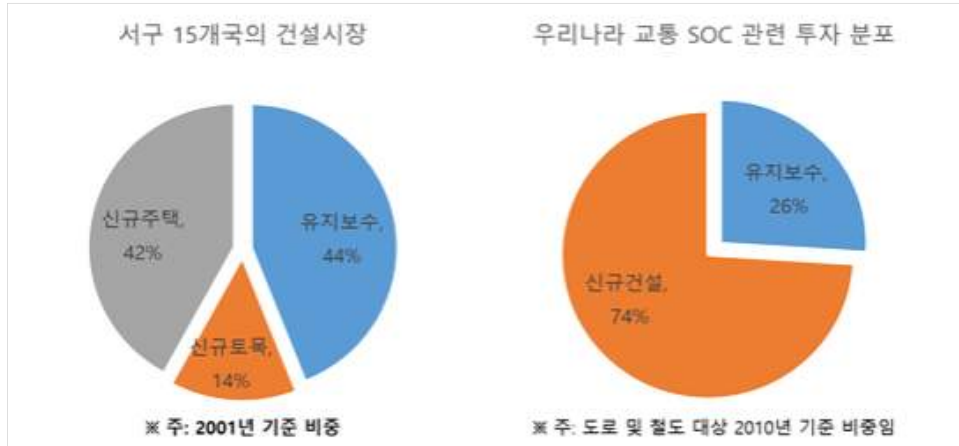


그림 2-34. 선진국과 우리나라의 유지보수 시장 비중 비교

※ 출처 : 한국건설산업연구원, 2030 건설시장의 미래 전망과 대응전략(2015.03)

- 우리나라 유지관리 투자는 신규건설의 8% 수준으로 신규건설 대비 유지관리 투자가 21.7%인 일본의 약 1/3 수준에 불과함. 특히 신규건설 대비 유지관리 투자가 가장 높은(57%) 이탈리아에 비해서는 1/7 수준임. 선진국의 경우 노후 된 건물이 많아 차이가 난다는 점을 고려하면, 향후 우리나라도 시설물의 공용년수 증가와 함께 유지관리 비중이 점차 높아질 것으로 예상됨.

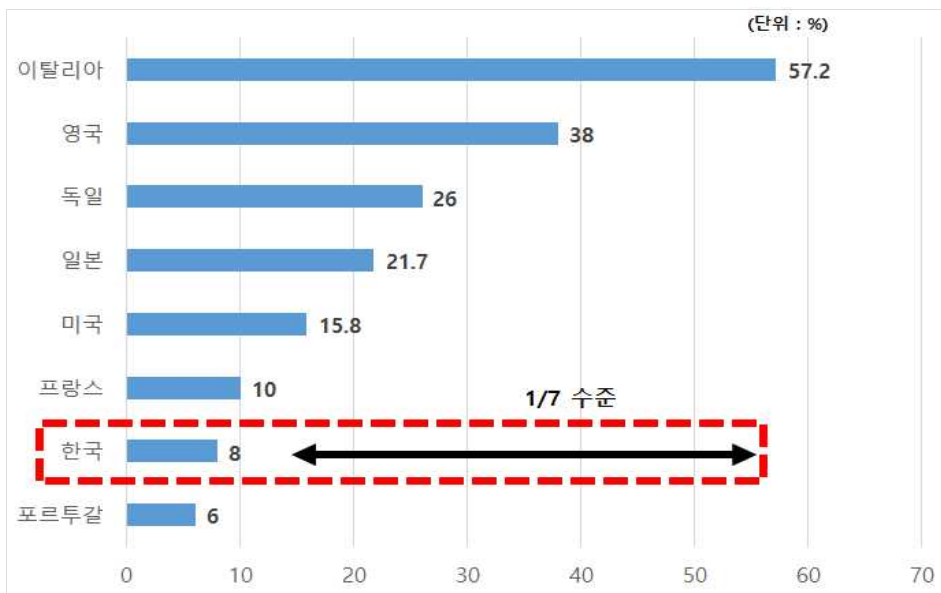
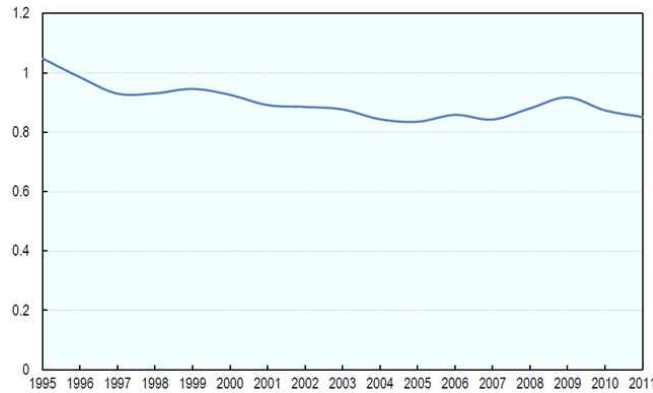


그림 2-35. 주요국 건설투자 중 유지관리투자 비중

※ 출처 : 건설교통부, 제2차 시설물의 안전 및 유지관리 기본계획(2007.12)

- OECD 회원국은 GDP의 약 1%를 SOC에 투자(신규건설 0.7%, 유지·보수 0.3%)하고 있고 개발도상국은 GDP의 2.3%를 SOC에 투자(신규건설 0.5%, 유지·보수 1.8%)하는데, 이는

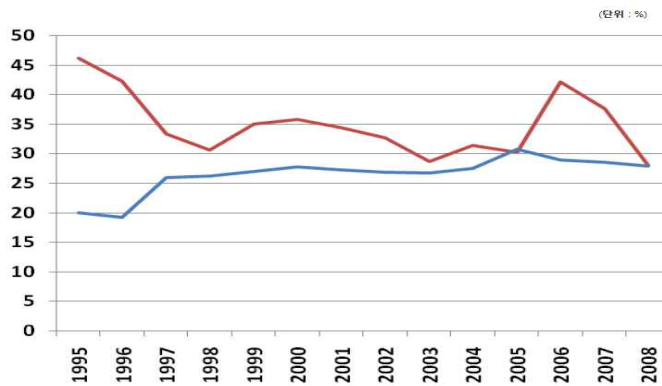
적기 유지보수 미 실시로 인해 선진국보다 부담이 큰 상황임을 알 수 있음. 우리나라는 '10년도 기준, GDP의 1.11%를 SOC에 투자(신규건설 0.85%, 유지·보수 0.26%)



※ 교통 SOC는 도로, 철도, 수로 시설물

그림 2-36. OECD 회원국의 GDP 대비 교통 SOC 투자 추이

※ 출처 : International Transport Forum, Spending on Transport Infrastructure 1995-2011(2013)



※ WEC(서유럽국가), CEEC(중앙 및 동유럽 국가)

그림 2-37. OECD 회원국의 교통 SOC 투자 중 유지, 보수 비중

※ 출처 : International Transport Forum, Spending on Transport Infrastructure 1995-2011(2013)

표 2-34. 한국의 교통 SOC 유지·보수 투자 추정('10년)

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

※ 출처 : 국토해양부, 제3차 시설물의 안전 및 유지관리 기본계획(2013~2017)(2012.12)

표 2-35. 개발도상국의 교통 SOC 유지·보수 투자 추정('08~'15년)

지역별 SOC 투자 (GDP 대비 %)						형태별 SOC투자 (GDP 대비 %)		전체 (GDP 대비 %)
동아시아	동유럽	라틴아메리카	북아프리카	남아시아	남아프리카	신규건설	유지보수	
1.7	3.1	1.5	3.0	4.0	3.0	0.5	1.8	2.3

※ 출처 : 국토해양부, 제3차 시설물의 안전 및 유지관리 기본계획(2013~2017)(2012.12)

- **【국내 시설물 유지관리 시장 전망】** 노후교량 급증에 따라 건설시장은 유지보수 중심으로 개편이 예상되고 있으며, 이에 따라 2030년 시설물 유지관리비는 약 11조에 달할 것으로 전망됨
- 30년 이상된 노후 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 '24년에는 30년 이상 경과하는 1,2종 기반 시설물의 개수가 현재 대비 2배 이상 급증하여 21.6%에 달할 것으로 전망됨



그림 2-38. 30년 이상 노후 기반시설물 변화 추이

※ 출처 : 한국건설산업연구원, 2020 건설시장의 미래 전망과 대응전략(2015.03)

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

표 2-36. 향후 시설물 유지관리 시장의 증가율 전망

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

※ 시설물 유지관리업 계약금액 기준 연평균 증가율 전망치

※ 출처 : 건설교통부, 제2차 시설물의 안전 및 유지관리 기본계획(2007.12)

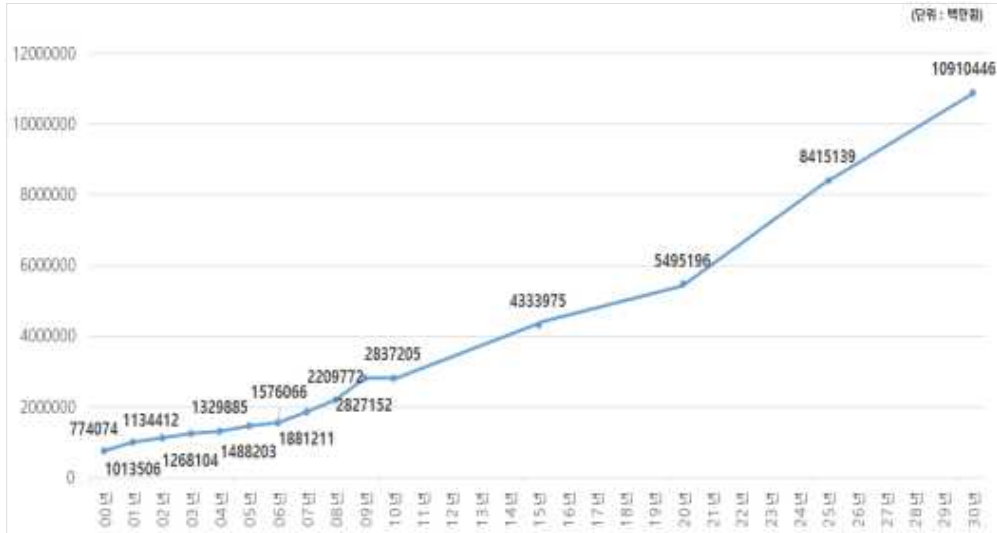


그림 2-39. 시설물 고령화에 따른 유지관리비 증감 추이

※ 출처 : 서울과학기술대학교 외, 시설물유지관리체계의 정비 및 건설기술정책 표준화 방안(2014.10)

□ 국내 교량 보수보강 시장 현황

○ 【보수보강 재료 및 공법 기술 현황】

- 교량의 보수보강 기술과 관련된 특허출원은 '95년에 19건, '96년에 2건에 불과하던 것이 '03년에 91건으로 폭발적으로 증가세를 보인다 '04년에 57건으로 증감을 반복

(단위 : 건)

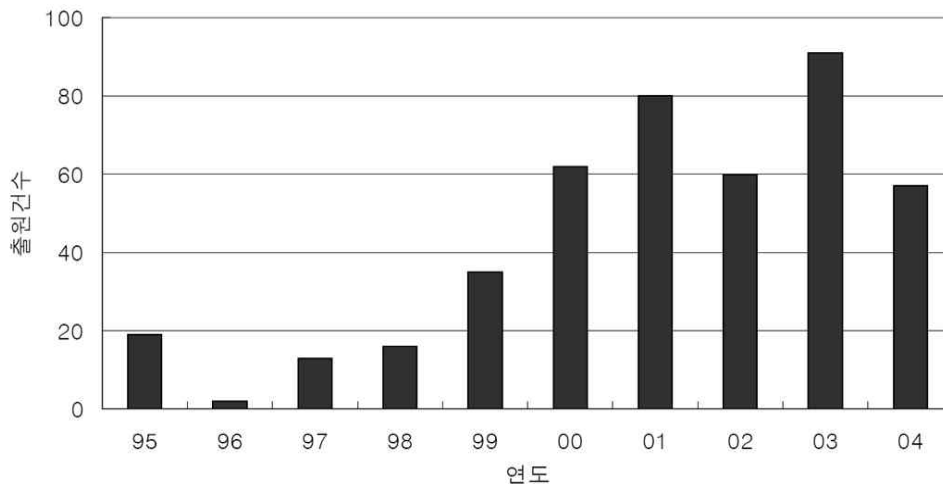


그림 2-40. 보수보강 기술의 특허·실용신안 출원 추이

※ 출처 : 특허청, 노후교량, 보수·보강으로 신규 교량 건설 대체!(2005.09)

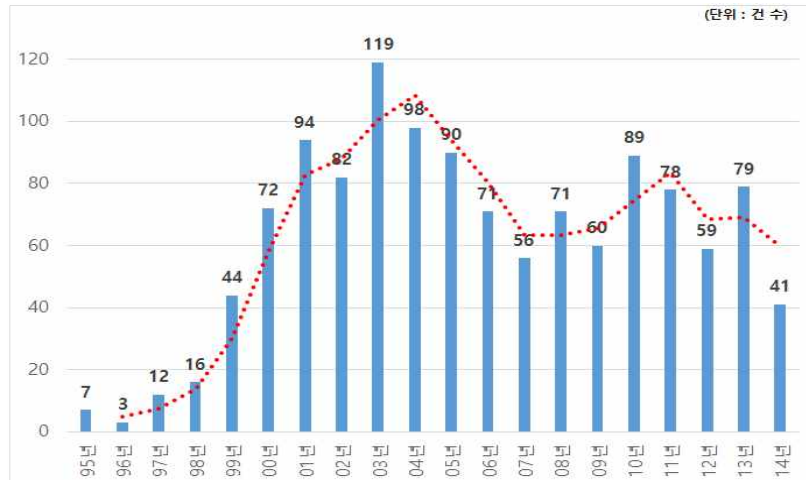


그림 2-41. KIPRIS 기반 교량 보수보강 관련 연도별 출원건수

※ 출처 : KIPRIS 검색 <검색키워드(교량 보수보강), 행정처분(등록,소멸,공개), IPC(E01D,E02D,E04C), 기간(19950101~20141231)의 결과를 출원년도 별로 정리한 자료>

- 인터넷 및 물가정보 등을 통해 국내 대표적인 보수 및 보강 재료 현황을 살펴본 결과, 보수재가 378개, 보강재가 77개 조사됨. 보수재 가운데서는 콘크리트의 균열보수재 제품이 가장 많은 29%가 사용되는 것으로 나타났으며, 보강재에서는 에폭시계 재료와 섬유계 재료 그리고 강재순으로 사용비율이 높은 것으로 조사됨

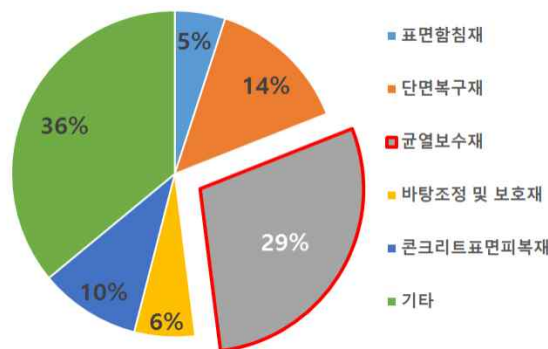


그림 2-42. 국내 대표적 보수재료 현황

※ 출처 : 한국시설안전공단, 시설물보수·보강 방법 및 수준결정에 관한 연구

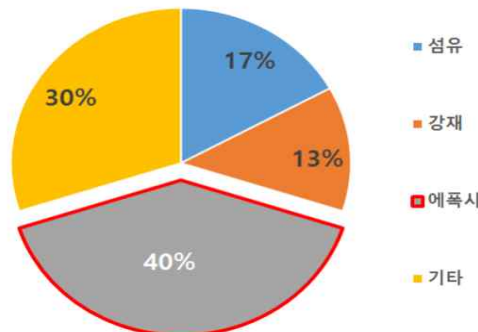


그림 2-43. 국내 대표적 보강재료 현황

※ 출처 : 한국시설안전공단, 시설물보수·보강 방법 및 수준결정에 관한 연구

- 특히 및 건설신기술 등의 지적재산권을 획득한 기술 위주로 살펴본 결과, 보수공법이 56개, 보강공법이 119개가 조사됨. 보수공법에서는 균열보수공법, 표면보호공법, 단면복구공법이 주로 사용되었고 보강공법에서는 크게 섬유보강공법, 강판보강공법, 프리스트레싱보강공법, 단면증설공법, 앵커공법이 주공법으로 많이 사용됨. 하지만 보수보강공법 모두 기술된 범주에 포함되지 않는 기타 공법들도 다양하게 조사됨

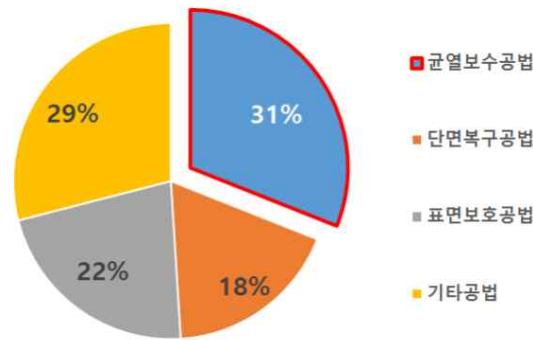


그림 2-44. 국내 대표적 보수공법 현황

※ 출처 : 한국시설안전공단, 시설물보수·보강 방법 및 수준결정에 관한 연구

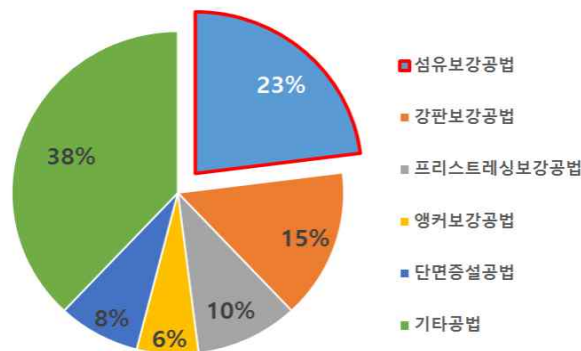
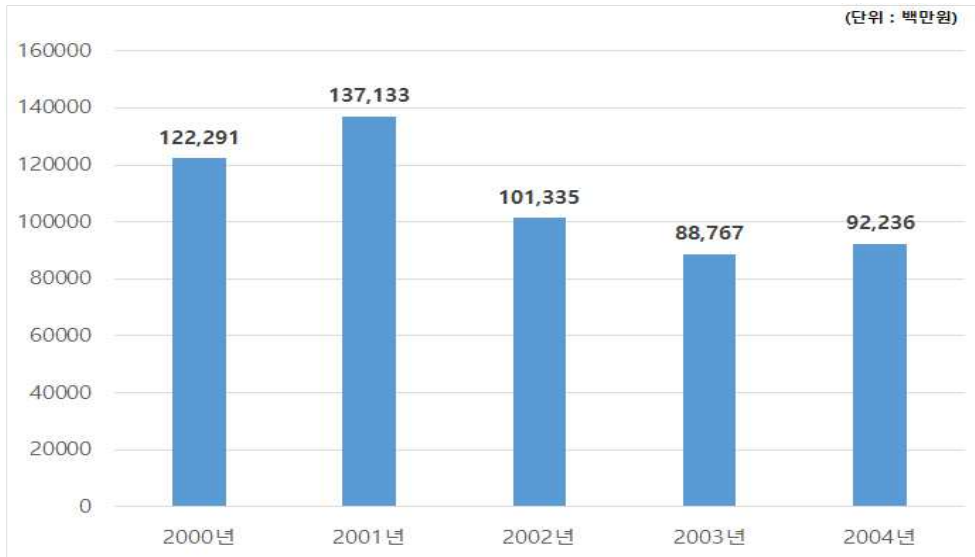


그림 2-45. 국내 대표적 보강공법 현황

※ 출처 : 한국시설안전공단, 시설물보수·보강 방법 및 수준결정에 관한 연구

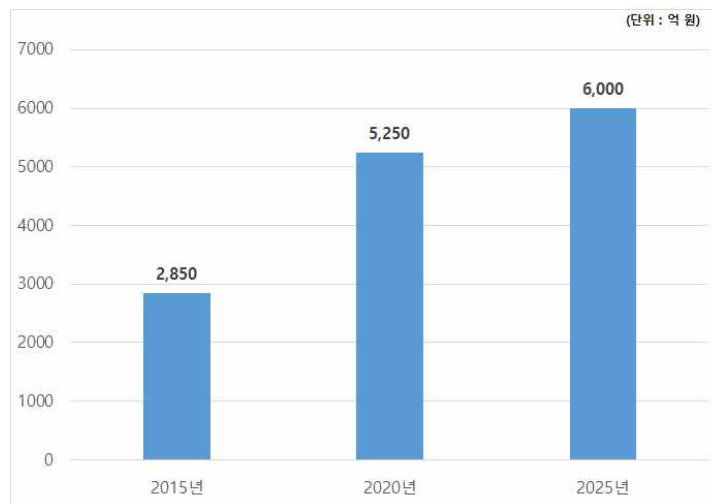
- **【교량 신속교체 관련 시장 현황】** 건설프로젝트의 핵심고려 사항이었던 경제성의 기준이 초기 시공비에서 유지관리와 교체에 이르는 전생애주기 비용으로 확대되면서 교통유발 경비 등 간접손실 비용이 고려 대상이 되고 있음. 대중의 편의성과 환경 이슈가 제기되면서 신속교체 기술이 적극적으로 도입되어야 할 기술로 인식되고 있음. 교량 신속교체를 위해 개발되는 장비는 교체시장 뿐만 아니라 신설교량 시공 시에도 사용 가능한 기술들이 개발되면서 교량 건설시장에서의 전반적인 점유율이 증가할 것으로 기대됨
- 교량 신속교체 관련 시장규모는 정부의 교량 유지관리 예산과 직접적인 연관이 있으며 선진국의 유지관리예산 비율은 우리나라 유지관리예산 비율의 3배 정도 수준이므로, 우리나라가 선진국 수준으로 예산이 증가할 경우 이 시장규모는 더 커질 것으로 기대



※ 주: 교량 신속교체 관련 시장규모는 건설교통부의 도로보수현황의 자료를 근거로 함. 도로보수비 중 구조물 보수의 교량신설 및 확장에 해당하는 비용을 과거의 교량교체 시장규모로 산정하였으며 설계비는 시공비의 3%로 추정

그림 2-46. 교량 신속교체관련 시장 규모

※ 출처 : 건설교통부, 도로교 신속교체 및 응급복구용 교량가설 기술개발 연구기획보고서(2006.02)



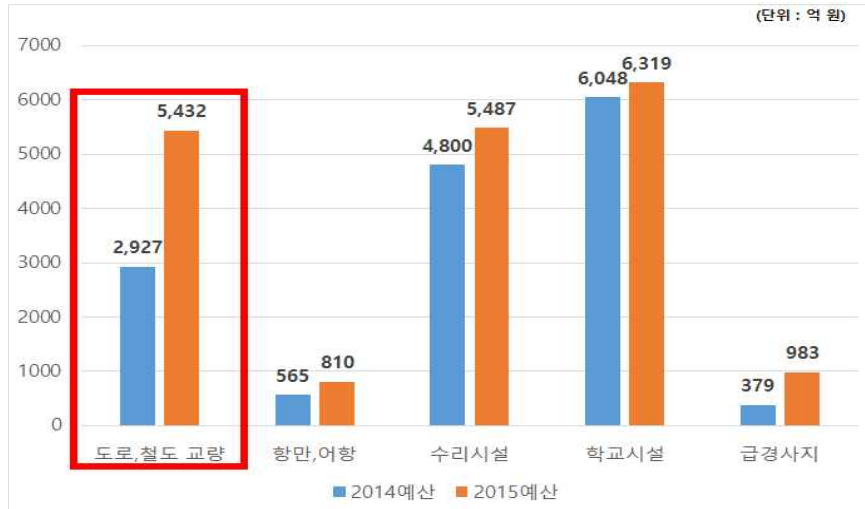
※ 교량 신속교체는 교량수명을 50년 기준으로 교체수요 예측, 응급복구 교량 신속교체 수요 건당 평균 공사비(평균 교폭 25m, 평균교장 50m의 PSC 거도교 기준) 2,500백만원

그림 2-47. 교량 신속교체관련 시장규모 전망

※ 출처 : 건설교통부, 도로교 신속교체 및 응급복구용 교량가설 기술개발 연구기획보고서(2006.02)

○ 【교량 보수보강 시장규모】

- 정부기관의 노후 시설물에 대한 보수보강 투자는 전년대비 0.4조원(29.3%)이 증가한 1.9조원 규모로, 특히 도로, 철도 교량 시설물에 대한 투자는 '14년 대비 2,505억원(85.6%) 증가한 5,432억원 규모로 증가 규모와 비율 모두에서 가장 큼



※상기 보수·보강 예산은 ‘안전대전단 5대분야’ 안전투자 기준

그림 2-48. 2015년 주요 부처 시설물 보수·보강 계획

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

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

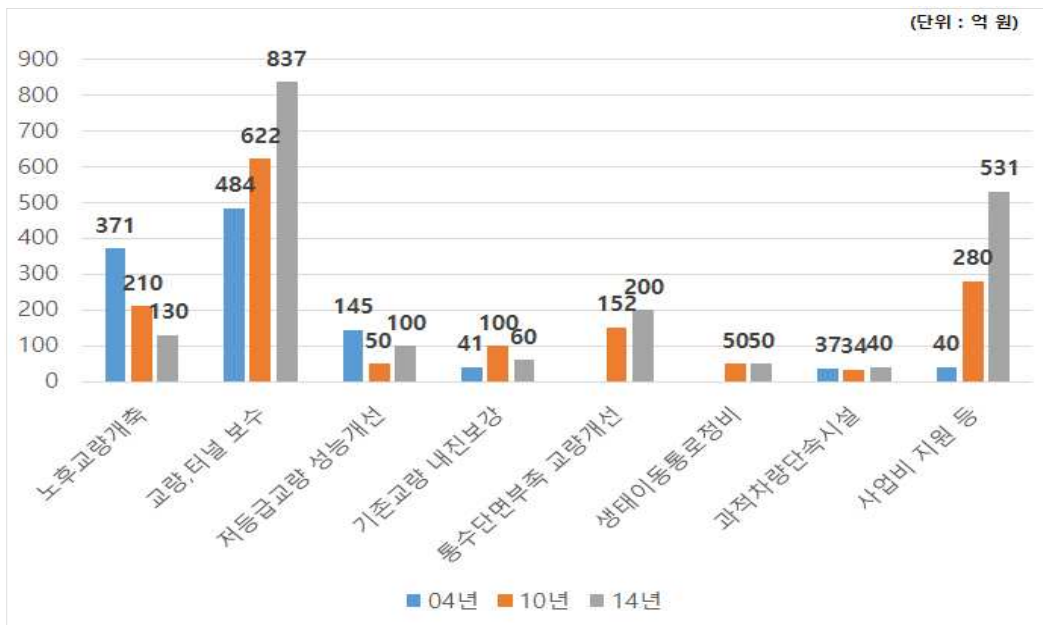


그림 2-49. 구조물 성능 개선 분야 및 도로안전예산 중 교량 보수보강 관련 예산 추이

※ 출처 : 국토교통부, 도로업무편람(2014)

- 1995년 시특법 제정 이후 1·2종 시설물 중심의 유지관리 시장이 본격화 되었으나, 유지보수 비율이 크게 증가한 것은 2000년 이후로 도로교량에 대한 유지보수 비용이 신설 및 확장비용을 상회하기 시작함

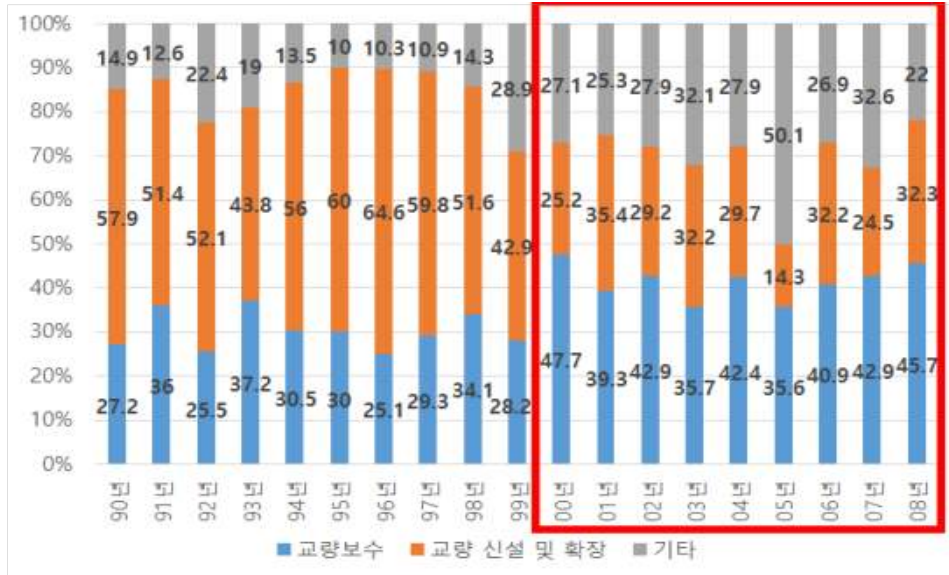


그림 2-50. 연도별 도로교량 투자 추이

※ 출처 : 한국건설산업연구원, 2030 건설시장의 미래 전망과 대응전략 (2015.03)

- 2005년 세계 건설시장의 35%가 신흥국 시장이었다면, 2020년에는 우리나라를 비롯한 BRICs 등의 신흥국 시장 규모가 확대되어 전 세계 시장의 55%를 점유할 것으로 추정
- 특히 고성능 콘크리트, 고성능 강재, FRP 등 신재료를 활용한 국외 구조물시장은 연간 100~200억 달러에 이를 것으로 추산됨
- 미국에서는 현 교량 상태를 개선시키기 위해서는 연간 170억 달러가 투자되어야 하지만, 현재 105억 달러가 매년 교량의 유지보수에 투자되고 있는 상황
 - * 1970년대 이후 미국에서는 사회간접자본 투자가 많지 않았으나 2000년 이후 노후 교량의 대체 등으로 매년 94억 달러씩의 비용을 투입
- 20년간의 교량 보수보강이 필요함에 따라 향후 총 1,880억 달러 이상의 시장이 형성될 것으로 전망됨
- 수명 50년 이상의 교량은 2010년 기준으로 약 20만개이고, 2050년에는 54만개로의 증가가 예상됨에 따라 향후 6년간 약 4,000억 달러의 예산 투입이 계획됨
- 유럽 5개국(오스트리아, 체코, 덴마크, 스웨덴, 영국)의 교량 교체수요에 추정된 비용은 860억 유로로 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 규모는 2010년 38%, 2020년 45% 그리고 2030년 60%로 지속적으로 증가할 것으로 전망

2.3.3 계측·모니터링 분야

□ 건설 IT 시장

- **【건설 IT 시장 동향】** 정보통신 기술이 네트워크화, 지능화, 내재화 등의 특성을 통해 기술 및 산업간 융합화를 촉진하는 역할을 수행하면서, 건설 산업과 IT 기술과의 융복합이 크게 확대되어 시설물의 계측·모니터링 분야에 있어 고도화, 지능화함으로써 고부가가치 첨단 산업으로 발전하는 중임
- 세계 건설 IT 융합시장은 '09년 2,500억 달러 규모이며, 연평균 5.5%의 성장을 기록하여 2013년에는 3,000억 달러 규모의 시장이 형성될 것으로 전망됨

표 2-37. 세계 건설 IT 융합시장 동향

(단위: 억 달러, %)

구분	2009년	2010년	2011년	2012년	2013년	CAGR
세계건설 시장규모	50,270	52,610	55,060	57,620	60,310	4.66%
건설 IT 융합시장	2,530	2,640	2,770	2,890	3,048	5.5%
예상시장 점유율	5%	9%	13%	16%	20%	43%

※ 출처 : IT-SOC 협회, 건설 IT 융합기술 동향(2008)

- 국내 건설 IT 융합 기술 수준은 선진국의 60%대에 그치고, 세계시장 점유율은 미국(41.8%), 영국(14.5%)에 비해 매우 낮은 0.21%수준임. '15년 기준 국내 건설 IT 융합 분야의 시장 규모는 59.5천억원 규모 예상

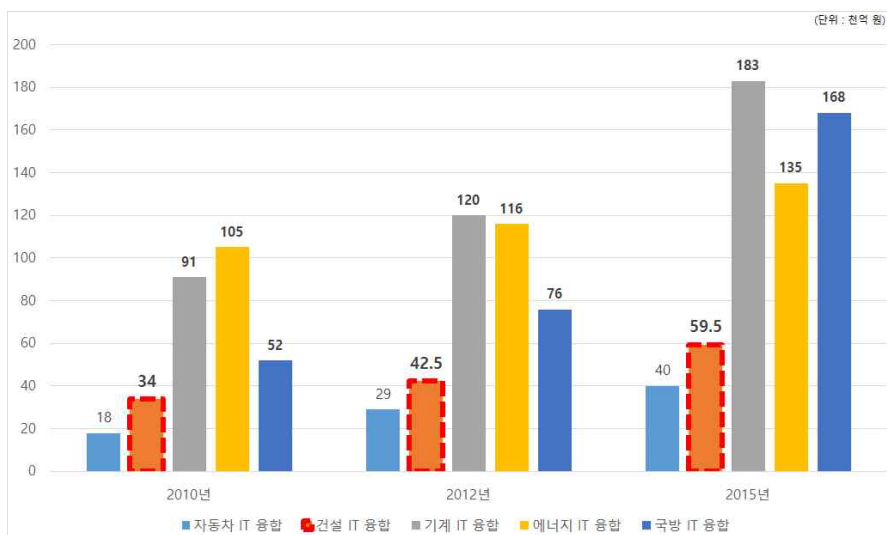


그림 2-51. 국내 IT 융합시장 규모

※ 출처 : 한국건설기술연구원, SOC 시설물 성능평가기술 개발 기획 최종보고서(2014.04)

- 점점의 전산화, 모니터링시스템 등 대형교량의 효율적 유지관리와 관련된 세계시장은

'06년 기준 24조원 규모를 형성하고 있고, 연평균 10%의 성장률을 기록해 /14년에는 50조를 넘는 시장이 형성될 것으로 전망됨. 국내의 대형교량 효율적 유지관리 관련 시장은 '06년 기준 6,000억 원 규모로, 연평균 20%의 성장률을 기록해 '13년에는 2조원으로 전망됨

표 2-38. 국내, 외 교량 효율적 유지관리 시장전망

구분	2006년	2008년	2010년	2012년	2014년	CAGR
국내(억원)	6,000	8,640	12,441	17,916	25,800	20.0%
해외(조)	24	29	35.1	42.5	51.4	10.0%

※ 출처 : IT-SOC 협회, 건설 IT 융합기술 동향(2008)

□ USN/RFID 시장

- **【USN/RFID 시장 동향】** 유비쿼터스 컴퓨팅 기반기술의 센싱기술인 RFID의 경우 각국 정부의 지속적인 지원 하에 인식률 제고, 국가 간/기기 간 표준화, 다른 정보통신기기와의 연동가능성 등 지속적인 기술보완으로 향후 성장이 기대됨
- 리서치 전문업체 IDTechEX에 따르면 세계 RFID 시장규모는 '12년 기준 74억 6천만 달러로 '11년 63억 7천만 달러 규모보다 10억 9천만 달러 증가. 평균 15% 내외의 성장률을 보이며 '16년에는 97억 달러 규모 시장 형성 예상

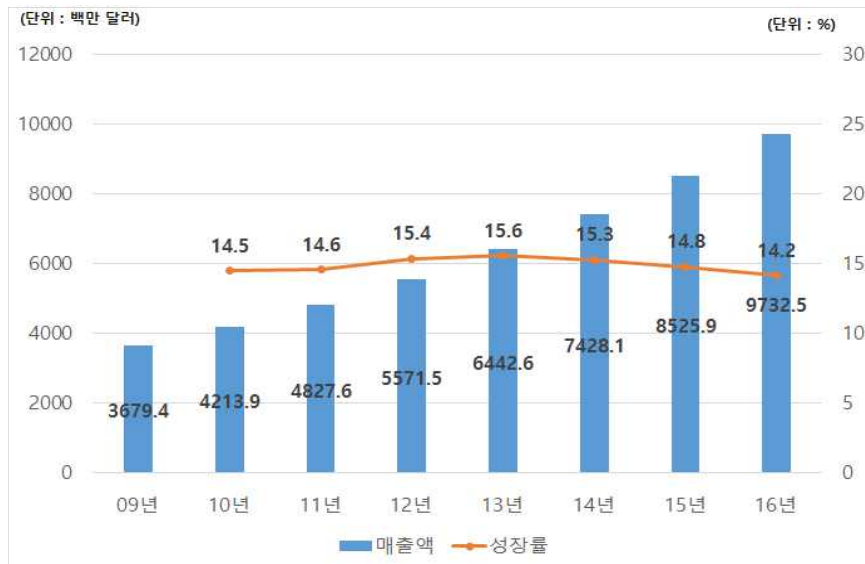
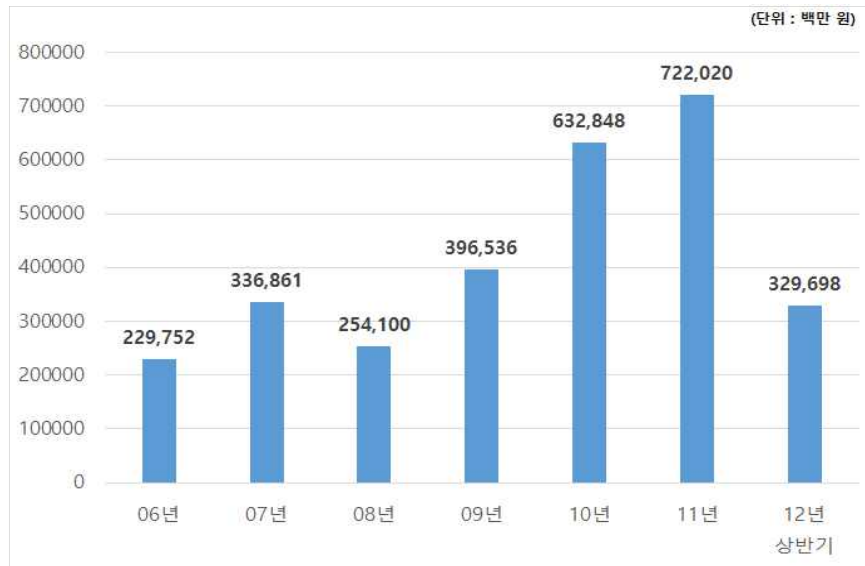


그림 2-52. 세계 RFID 시장규모

※ 출처 : 전자부품연구원, RFID(Radio Frequency Identification) 시장동향 (2013.06)

- 우리나라 RFID/USN융합협회에 따르면 국내 RFID 관련 '11년 전체 시장 매출규모는

7,220억원 수준으로 '10년 대비 14.1%가 증가하였으며, '12년 상반기 RFID 매출액은 3,296억원으로 '11년 같은 기간의 3,244억원보다 1.6%성장



※ 출처 : 전자부품연구원, RFID(Radio Frequency Identification) 시장동향 (2013.06)

그림 2-53. 국내 RFID 매출규모

- 또한 한국전자통신원의 보고서에 따르면 국내 RFID 시장 규모는 '10년도 6,328억원 수준에서 연평균 32.9%씩 성장해 '20년도에는 약 10조 8천억원 규모가 될 것으로 전망됨

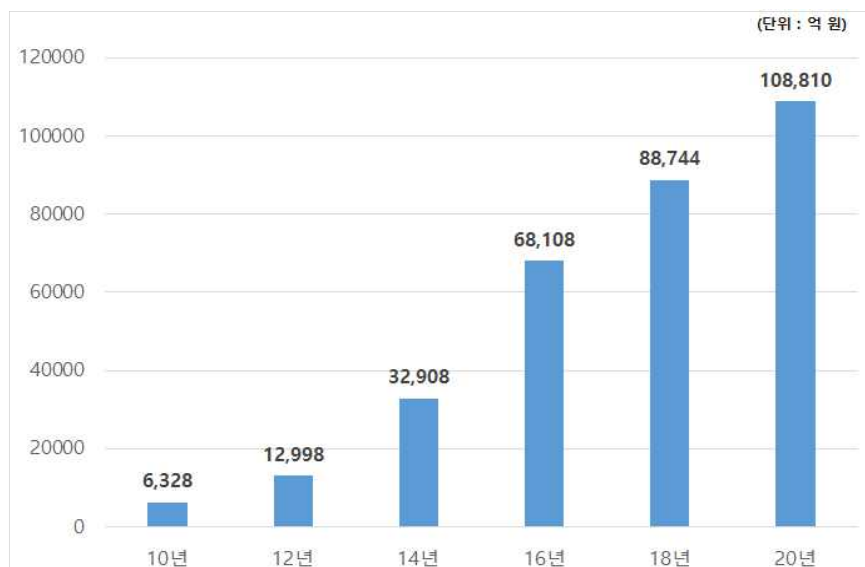
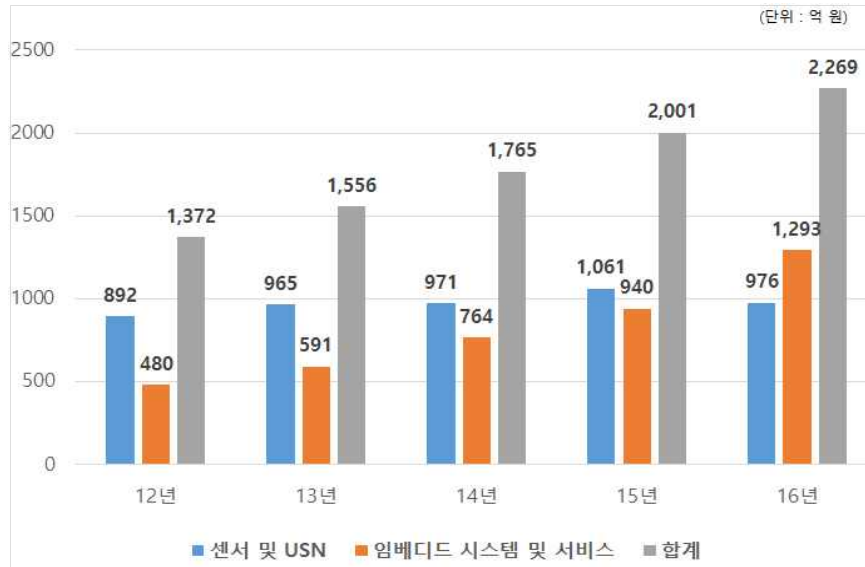


그림 2-54. 국내 RFID 시장전망

※ 출처 : 전자부품연구원, RFID(Radio Frequency Identification) 시장동향 (2013.06)

- USN관련 국내 시장은 '11년도 약 1,201억원에서 '12년도에는 1,372억원으로 약 13.4% 증가하고, '17년도에는 약 2,573억원에 달할 것으로 예상됨

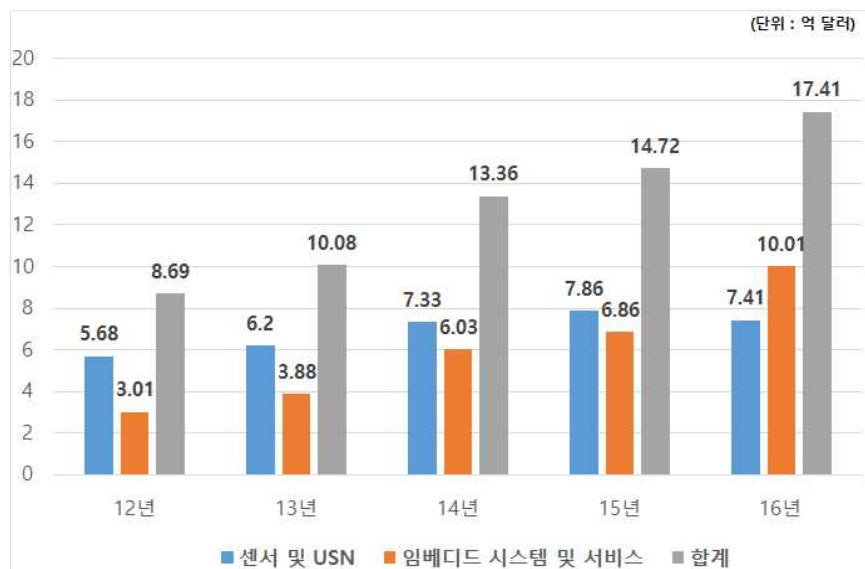


※ 성장률은 RFID/USN 융합협회 RFID/USN 산업실태조사('05~'11) 결과를 바탕으로 연평균 성장률을 적용하여 추정

그림 2-55. 국내 USN관련 산업 시장 전망

※ 출처 : RFID/USN 융합협회, RFID/USN 산업실태조사('05~'11)

- USN관련 세계 시장은 '11년 약 7억 달러에서 '12년에는 8.69억 달러로 약 23.6% 증가하고, '17년에는 약 20.2억 달러에 달할 것으로 예상됨



※ 성장률은 RFID/USN 융합협회 RFID/USN 산업실태조사('05~'11) 결과를 바탕으로 연평균 성장률을 적용하여 추정

그림 2-56. 세계 USN관련 산업 시장 전망

※ 출처 : RFID/USN 융합협회, RFID/USN 산업실태조사('05~'11)

□ 센서 시장

- 【센서 시장 동향】 센싱/모니터링 분야는 타 산업분야와의 연계성이 매우 높은 분야로,

특히 지능형 센서의 경우 미래 성장산업으로서 사용범위가 광범위한 고부가가치 복합 지식 산업임

- 세계 센서 시장은 '14년 기준 795억 달러 규모로 연평균 7.9%의 성장률을 보이며, '19년에는 1,116억 달러로 성장할 것으로 전망됨. 전체 센서 시장에서 건설산업이 차지하는 비중은 10% 내외 수준임



그림 2-57. 세계 센서산업 시장 동향

※ 출처 : 한국전자통신연구원, 센서 사업과 주요 유망센서 시장 및 기술동향(2015.05)

- 산업통산부의 보도에 따르면, 국내 내수시장은 '12년 약 54억 달러 규모이고, 연평균 10.4% 수준으로 성장해 '20년에는 약 99억 달러 규모로 성장할 것으로 전망

* 국내 내수시장은 세계시장보다 높은 성장률이 예상되나 국내 기업의 내수시장 점유율은 10.5% 수준. 또한 국내 기업의 생산액은 '12년 기준 13.3억 달러 규모로 세계 시장의 1.9%로 매우 낮은 수준임

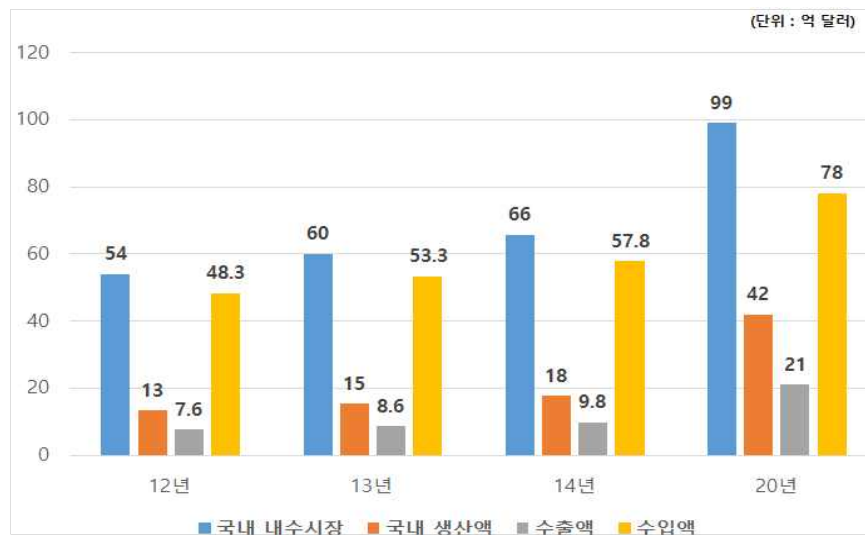


그림 2-58. 국내 센서산업 시장 동향

※ 출처 : 한국전자통신연구원, 센서 사업과 주요 유망센서 시장 및 기술동향(2015.05)

□ 비파괴 시장

- **【비파괴 시장 동향】** 비파괴검사 서비스시장은 시장 진입장벽이 낮고 초기 투자비용 역시 상당히 낮아 지역에 관계없이 '10년 기준 약 1,000개가 넘는 업체가 활동 중이며, 설비의 노화, 안전 및 규정 준수 등으로 인해 비파괴검사 시장은 지속적인 성장을 보이고 있음
- 시장 조사 및 컨설팅 전문 업체 Frost & Sullivan에 따르면 세계 비파괴검사 서비스 시장은 '10년 기준 3,050.2 백만 달러로 약 7.0%의 성장 속도를 보였으며, '17년에는 전 세계 비파괴검사 서비스 시장이 5,590.4 백만 달러로 성장할 것으로 전망됨

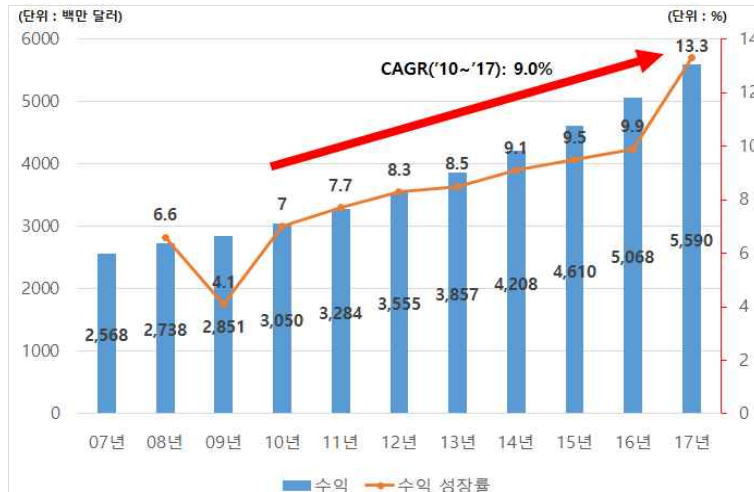


그림 2-59. 세계 비파괴 시장 동향

※ 출처 : (사)한국비파괴검사협회, 비파괴검사 기술·육성을 위한 연구기반구축 방안 연구(2014.06)

- '13년도 기준 국내에서 비파괴검사를 수행하고 있는 업체는 총 125개로, '비파괴검사기술의 진흥 및 관리에 관한 법률'에 따라 비파괴검사업 등록제도가 시행된 이후 '13년도 까지 7년간 등록업체 수가 약 250% 증가함

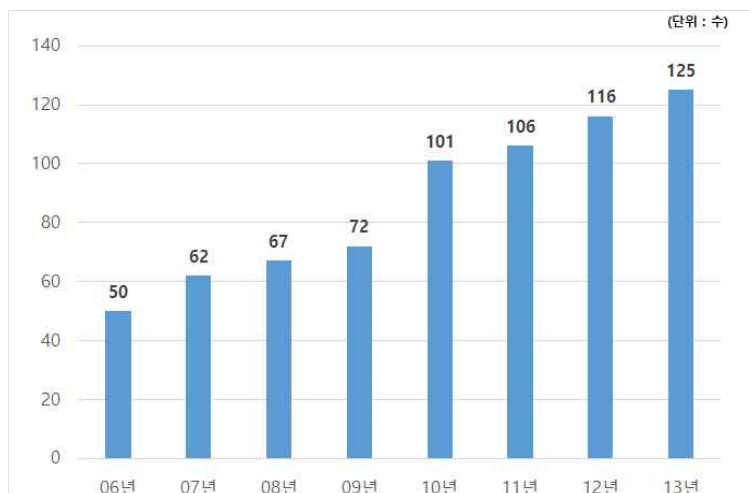
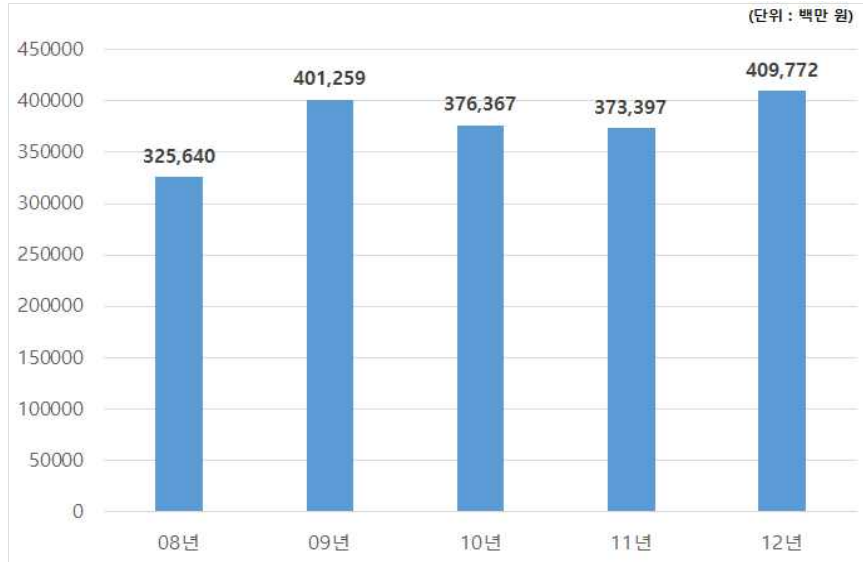


그림 2-60. 국내 비파괴검사 등록업체 수 증가 추이

※ 출처 : (사)한국비파괴검사협회, 비파괴검사 기술·육성을 위한 연구기반구축 방안 연구(2014.06)

- '12년 기준 비파괴검사업계 관련 총 매출액은 약 4,097억원으로 이는 전년 대비 약 9.7% 증가한 수치임. 업체들은 평균적으로 '12년 매출액 성장률 대비 '13년에는 2.8%,

‘14년에는 4.8% 추가 성장률을 보일 것으로 전망. 비파괴검사 산업에서 교량/건설 분야의 비중은 5~6% 수준



※ 각 연도 매출액은 비파괴검사 업체의 응답 조사를 통해 산출('08년 56개, '09년 60개, '10년 54개, '11년 62개, '12년 46개)

그림 2-61. 국내 비파괴검사업체의 매출액 현황

※ 출처 : (사)한국비파괴검사협회, 비파괴검사 기술·육성을 위한 연구기반구축 방안 연구(2014.06)

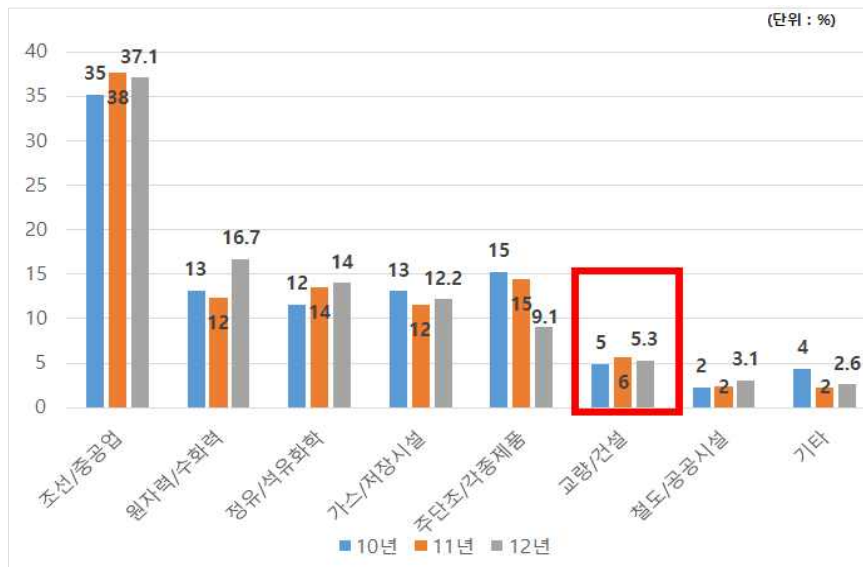


그림 2-62. 국내 비파괴검사 검사 대상별 매출액 비중 추이

※ 출처 : (사)한국비파괴검사협회, 비파괴검사 기술·육성을 위한 연구기반구축 방안 연구(2014.06)

□ 국내외 지능형 교량 업체·기관 및 관련 기술 LIST

표 2-39. 국내 지능형 교량분야 기술 동향

기술명	업체 및 기관	보유기술	기술특징
무선 센서 네트워크 기술	한백전자	USN, 임베디드, 안드로이드기술	Ubiquitous Sensor Networks
	휴인스	IT융합, 임베디드, 안드로이드기술	Ubiquitous 솔루션 개발
	하이버스	USN 임베디드 기술	임베디드기반 설비시설 및 공정자동화기술
	위드로봇(주)	무선 센서플랫폼 제작 기술	교량을 모니터링하기 위해 동기화된 방식으로 RF통신을 이용해 데이터를 취득
	스마트 제어계측	소형무선센서 모듈 제작	작은 크기의 무선 센서를 제작하여 휴대성을 높여, 현장 계측이 용이 도로 및 교량의 진동을 일회성 측정 시 용이
	(주)한국 유지관리	무선 전송 모듈 제작	기존의 유선센서를 활용하되, 데이터 전송을 무선으로 하기 위한 모듈제작 기존 유선센서를 사용하므로 추가적인 센서 개발 필요없음
	(주)코아칩스	에너지하베스팅	복합 압전재료 개발 및 에너지 하베스팅 장치 개발 무전원 센서 기술 보유
	한국과학 기술원	한국과학기술원 무선 센서의 실교량 적용	제2진도대교에 실제 무선 센서를 설치하여 3 년간의 안정성 테스트 및 적용성 확인
	한국과학 기술원	에너지하베스팅	열·압전 기반의 에너지하베스팅 기술 연구 및 개발
	건양대학교	Wireless 스마트 센서 시스템	장대형 구조물의 무선계측시스템 이용한 데이터 획득 및 분석 시스템 구현
	부경대학교	에너지하베스팅	열·압전 기반의 에너지하베스팅 기술 연구 및 개발
광섬유 센서 기반 교량 상태 실시간 감지 및 진단 ·평가 기술	카이센	광섬유센서 패키징 및 활용기술 (강연선 및 앵커헤드 센싱 기술)	센서 패키징 뿐만 아니라 건설관련 활용 기술 개발
	아이세스	측정장비 및 센서 패키징기술	정적 광섬유센서 측정 장비와 다양한 센서 패키징 개발
	FBGtech	센서 패키징 기술	다양한 센서 패키징 기술
	한국건설기술 연구원	처짐 측정기술 및 다양한 적용 실적 보유	광섬유 변형률 센서를 이용한 교량의 처짐 추정 알고리즘 개발 및 다양한 구조물의 test bed 적용
	한국철도기술 연구원	터널 등 다양한 적용 실적 보유	광섬유센서를 이용한 철도교 및 터널 등 다양한 test bed 적용
	전남대학교	스마트 케이블 개발	셀프 센싱이 되는 스마트 텐던 개발 및 다양한 적용 연구 수행

※ 출처 : 한국건설기술연구원, 지능형친환경교량 기술개발 동향(2012.03)

2.3.4 기술 관련 시장 주요 이슈

□ 안전진단, 유지관리 시장 이슈

- **【시설물 관리 주체의 문제점】** 시설물 관리주체는 안전점검, 정밀안전진단 및 보수보강 결과에 대한 판단 등 시설물 관리에 중요한 영향을 미치나 현재 지자체를 비롯한 시설물 관리주체의 경우 시설물 관리를 위한 전문인력이 절대적으로 부족함
 - '75년 국토유지건설사무소 설립당시 평균 관리 교량수 47개, 도로연장은 190km. '95년 교량수가 138개, 도로연장은 556km로 각각 약 3배 증가하였지만 도로관리 담당기술자는 평균 6명으로 20년 동안 전혀 변화 없음
 - * '05년 기준 서울지방국토관리청 국토 유지건설 사무소는 26명이 국도 약 1,000km를, 서울시 건설안전관리 본부 시설관리 2부는 27명이 시설물 429개소를, 충남종합건설사업소 홍성지소는 25명이 155개소, 대구시 시설안전관리사업소는 16명이 시설물 284개소 담당
 - 미국 캘리포니아 교통성은 SM&I(Structure Maintenance & Investigations) 부서를 설립 하여 소수의 숙련되고 전문화된 인력이 시설물을 체계적으로 점검·관리 중임
 - * 70~80명으로 구성된 교량유지 기술자(ABME: Area Bridge Maintenance Engineer)들이 5가지로 구성된 초기점검, 정기점검, 사고점검, 정밀점검, 특별점검 등을 수행함
- **【안전 및 유지관리 업체의 문제점】** 안전 및 유지관리 업무에 요구되는 기술수준은 매우 높으나 관련업체의 영세성·제도적 문제로 기술력, 전문성은 보통 또는 그 이하 수준임
 - 안전진단시장은 최근 10년간 시장 규모가 1,000억 원대이며 안전진단 기관은 매년 증가 하고 있으나, '12년 기준 안전진단기관 중 130개사는 수주실적이 없고 상위 22개사가 전체의 50% 이상 수주하는 상태임

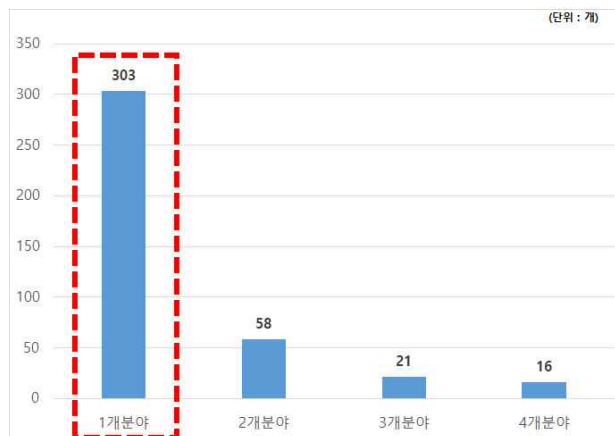


그림 2-63. 국내 안전진단전문기관 분야 등록 수 별 현황

※ 출처 : 시설물안전진단협회, 안전진단전문기관 등록현황(2006)

- * 일부 안전진단전문기관이 동남아, 중동 등 해외시장 진출을 모색중이나, 시장개척 비용 등 현실적 어려움 직면
- * 시설물 유지관리 시장 규모와 업체는 양적으로 증가하고 있으나, 과학적 유지관리 기법 적용 등과 같이 질적 성장을 위한 노력은 미흡함

- 안전점검 및 유지관리 업체의 등록 기준, 의무교육 제도, 기술관련 기준 미흡 등의 제도적 문제점 존재함

- * 시설안전 전문성이 낮은 건축사 등이 안전점검·정밀안전진단 책임 기술자 수행이 가능하여 부실화 가능성 존재함
- * 안전점검 및 진단 전문기관에 비해 유지관리업체 등록기준이 취약하여 전문성이 미흡하며, 보수보강 공사 수주를 위해 저가로 안전점검을 수주하는 등 부실점검이 우려됨
- * 책임기술자에 대한 최소 1회(70시간) 의무교육 이외에 실무수행 능력을 향상시키기 위한 의무교육 프로그램 부재함
- * 보수·보강 관련 기준이 미흡하여 시설물 관리주체의 보수·보강에 관한 전문성 부족

- '07년 건설기술수준 결과를 건설 분야별로 살펴보면, 유지관리 분야의 기술수준은 선진국 대비 75% 수준으로 상대적으로 취약하고 특히 안전관리분야보다 기술적으로 난이도가 높은 보수·보강 공사 분야의 기술수준이 더욱 취약함

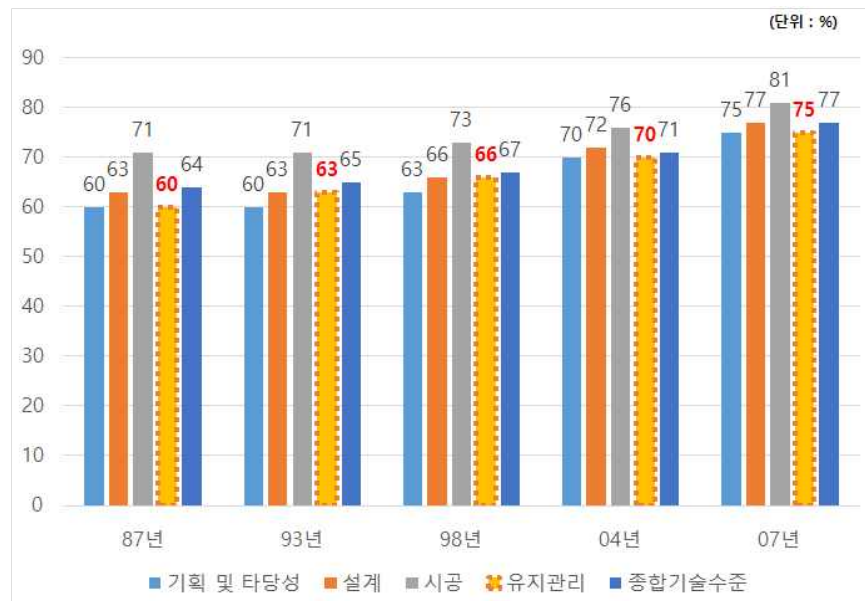


그림 2-64. 사업단계별 선진국대비 건설기술 수준

※ 출처 : 건설교통부, 제2차 시설물의 안전 및 유지관리 기본계획(2007.12)

- **【유지보수에 대한 투자 부족】** 국내의 경우 시설물 자산가치 대비 유지관리 투자는 외국의 1.0%의 1/3수준인 0.3% 정도로, 이를 근거로 국내 유지관리 투자실태를 추산하면 신규건설의 약 8% 수준으로 신규건설대비 유지관리 투자가 21.7%인 일본의 1/3 수준임(이탈리아 57.2%, 영국 38%, 독일 26%, 미국 15.8%)

□ 계측/모니터링 시장 이슈

- **【계측/모니터링 관련 기술역량 부족】** 건설 IT 융합시장의 기술수준은 선진국의 60%에 그치고 있으며, 세계시장 점유율이 미국(41.8%), 영국(14.5%)에 비해 매우 낮은 0.21%수준임. 특히 시설물에 대한 지능형 안전 및 유지관리 기술은 '10년도 기준 최고 기술 보유국인 미국과 비교하여 16.9%로 약 4.3년의 기술격차를 보이고 있음. 이는 지금까지 시설물 안전 및 유지관리 기술이 하드웨어적 기술을 중심으로 개발되어 소프트웨어 기술과 핵심장비 등 기초·원천기술이 부족하기 때문으로 판단됨

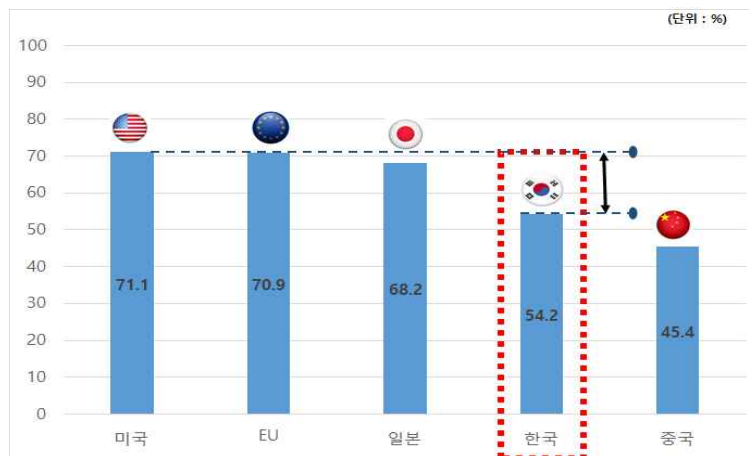
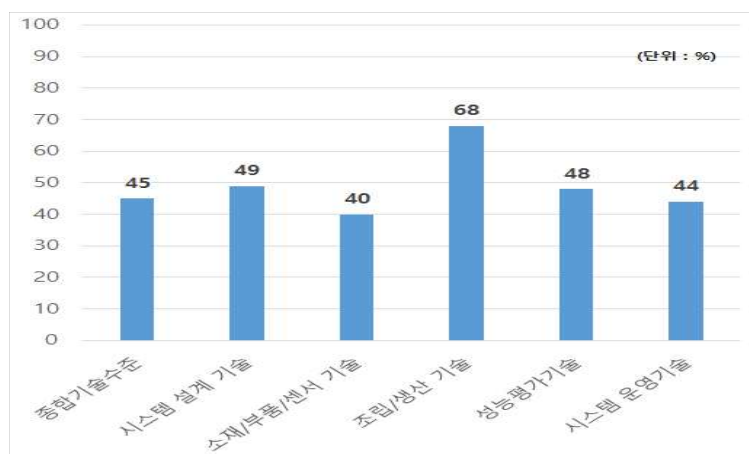


그림 2-65. 시설물 안전 및 유지관리분야 지능형 기술수준 비교

※ 출처 : 대한건설정책연구원, 시설물 안전 및 유지관리 기술의 미래니즈와 개발전략(2014.08)

- 계측기기 분야의 기술은 학제적이고 복합적이라 미개척 분야가 많은 지식 집약적 첨단 기술이며, 현대의 모든 산업 및 연구 분야에 사용되는 핵심 기반기술이나, 건설계측용 센서 제조 및 연구개발 기반의 부족으로 인한 센서 업체의 경쟁력 취약함. '06년 기준 무선통신기반 지능형 계측시스템 관련 기술 수준은 선진국 대비 45%수준임



※ 세계 최고수준을 100으로 보았을 때 국내기술수준

그림 2-66. 무선통신기반의 지능형 계측시스템 관련 분야별 기술수준

※ 출처 : (주)승하이앤씨, 무선통신 기반의 지능형 계측시스템 개발 및 대형 교량의 효율적 유지관리체계 실용화(2006.10)

- RFID H/W 분야는 전반적으로 선진국에 비해 기술격차가 있으며, 특히 칩제조 기술의 경우 선진국 대비 3~4년 가량 기술격차 존재하는 등 기술력 부족으로 핵심 칩을 수입·재가공·단순조립 하는 수준임. USN 기술의 경우 대기업 위주의 고가 첨단 센서 개발 등을 통한 시장 주도의 선진국과 달리 수입 센서칩을 이용해 모듈을 조립 하거나 저가형 단순센서 생산 등 중소기업이 국내 시장 주도 중임
- 국내 센서 기술수준은 선진국 대비 65%수준이며, 기술기반의 부족으로 첨단센서의 기술수준은 더욱 미흡한 수준임. 국내 센서 수요기업은 국내 제품의 성능, 신뢰성 문제 등으로 해외로부터 제품을 수입하고 국내 센서 기업은 영세성과 기술력 부족 으로 혁신을 회피하는 악순환 형성됨
- * 국내 센서기업 중 300억 원 이상의 매출기업은 전체의 14%인 8개, 평균 R&D투자는 평균 매출액(175억)의 1.5%수준인 2.7억 원 규모(2012.06 57개 국내 센서기업 조사 기준)
- * 센서 개발을 위해서는 생산기업과 수요기업, 산·학·연간 협업 네트워크가 중요하나 국내 센서 산업은 협업생태계가 부재하고, 또한 국내센서 기업들은 신제품·기술의 신뢰성 평가를 위한 테스트 지원기관이 국내에 없어 해외에 의존하는 경향이 있음

2.4 정책 동향 분석

2.4.1 교량 유지관리 현황

□ 국외 교량 유지관리 사례

- (미국)사회기반시설물 노후화 및 잇따른 교량 붕괴사고로 교량에 대한 안전문제가 사회적 이슈로 대두
 - 미국의 경우 콘크리트 구조물의 노후화 및 보강철근의 부식으로 인한 보수, 보강 시장의 경우 연간 약 180억~210억 달러(한화 약 20조~24조 원)의 규모로, 지속적인 증가추세 (Concrete Repair Bulletin, 2006)
 - * 1983년 6월 코네티컷 Mianus River 교량 붕괴, 1987년 4월 뉴욕 주 Thruway 교량 붕괴, '07년 8월 미네소타 교량 붕괴, '13년 5월 워싱턴 주 고속도로가 붕괴 등('89년부터 '00년까지 503곳의 교량붕괴 사고 발생)
 - * '10년도 기준, 공공부문 사회기반시설 건설투자 비용 대비 유지관리 비용은 250조원(15.8%)
 - * 시사주간지 타임은 미국 전역의 60만 7천 개의 다리 중 약 11.5% 정도인 약 7만여 개의 교량이 구조적 결함을 가지고 있다고 보도
 - * 미국 토목학회 사회기반시설 평가체계보고서에 따르면, 시설물의 노후화 증가로 유지보수 비용이 급격히 증가하며, 미국의 안보는 외부테러보다 시설물 노후화가 더 위험하다고 지적
 - 도로, 교량, 공항, 댐 상하수도, 수자원 등 15개 분야의 유지보수 비용(전체등급 D) : 2001년 1조3천억\$ → 2005년 1조6천억\$ → 2009년 2조2천억\$로 증가
 - * (오바마 대통령) 2011년 연두교서에서 “사회기반시설물에 대한 노후화 예방을 위한 비용은 늦어지면 질수록 비용이 더 커진다.”고 심각성을 경고
 - (일본) 2012년 12월 도쿄 인근 고속도로 터널붕괴 사고를 계기로 노후화의 심각성을 인지하여, 아베 총리는 경기부양을 위한 116억\$ 중 78억\$을 사회기반시설물에 대한 재건에 투자하기로 결정
 - * (1순위) 인프라 재건과 재해예방에 43억\$, (2순위) 노후화된 도로, 교량, 학교, 빌딩 리모델링 등의 건설 프로젝트에 35억\$ 투자
 - 개통 후 35년이 지난 사사고(笹子) 터널의 천정판 낙하사고('12.12월)를 계기로, 국토교통성에서는 2013년을 “유지보수의 원년”으로 선포
 - '13.11월 “인프라 노후화 대책의 추진에 관한 관계부처연락회의”에서 “인프라 장수명화 기본계획”을 마련하고, 국토교통성은 “인프라 장수명화 계획(행동계획)” 수립
 - * 2012년 국토교통백서에 따르면, 2030년에는 도로·교량의 53%, 하천관리시설의 60%, 항만부두의 53%가 건설 후 50년 이상 경과

표 2-40. 건설 후 50년 이상 경과된 사회인프라의 비율(일본)

년도	도로교량	하천관리시설 (수문 등)	하수도시설	항만부두
2010년	약 8%	약 23%	약 2%	약 5%
2020년	약 26%	약 37%	약 7%	약 25%
2030년	약 53%	약 60%	약 19%	약 53%

※ 출처: 국토교통백서 2012

- 국토교통성은 안전사고 발생 교량 및 철거 대상교량 등을 대상으로, 토목연구소에 위탁하여 주요 부재들을 절단하여 성능평가 실험을 수행하고 이를 DB화하는 연구를 꾸준히 추진중



그림 2-67. RC-T형 거더 실험



그림 2-68. Truss교량 이음부 상세 실험

- (선진국) 영국, 캐나다, 호주 등 선진국에서는 중앙정부 시설물에서 지자체 시설물까지 확대하여 사회기반시설물에 대한 평가체계 도입·운영 중

표 2-41. 해외 교량 유지관리 사례

구분	관련 국가	세부 내용
우수 사례	일본, 호주	<ul style="list-style-type: none"> ○ 교량을 포함한 SOC 성능을 중심으로 하는 예방적 유지관리체계를 구축하고 성능 개선을 통한 장수명화 실현 → 동경 교량 30년간 유지관리비 69% 절감 (21.1조 → 6.6조) → 호주 유지관리비 40% 절감
실패 사례	미국	<ul style="list-style-type: none"> ○ '80년대부터 시작된 SOC 고령화 대응미흡으로 노후화가 심각하고, 유지보수비용의 급격한 확대 투자 심각 → 시설물 평균등급 D+ (ASCE, 13.03) → 교량 9개 중 1개 구조적 결함 (61만 개 평균연령 42세) → 유지보수비 US\$3.6조(3,840조)로 오바마 정부 집중투자 (2013년 US\$ 400억 (42.6조) 투자에도 불구하고 필요 재정의 55.6% 수준

※ 출처 : 한국건설산업연구원, 시설물 안전성 제고 관련 향후 건설시장 전망, 2014.11

□ 국내 교량 유지관리 현황

- 노후교량 개축은 교량 기능개선 사업계획('13년, '14~'16년)에 따라 노후도가 심하고 설계 기준에 미달되는 교량에 적용하였으며 총 사업비 420억원 중 '14년 기준 140억원 투자
 - 관련부처에서는 일반국도의 기능확보 및 구조물 성능유지를 위해 포장, 교량 및 터널 등 시설물에 대한 정비 및 기승개선을 실시하고 노후교량 개축, 교량 및 터널 보수 등 사업을 시행하고 있음
- 국토부에서는 국도상 교량 6,192개소를 유지관리하고 있음. 교통량증가, 차량의 대형화, 공용년수 경과로 인한 교량 등 도로구조물 손상 가중으로 노후화되고 있어 적기 보수 보강에 대한 대책 마련 필요

표 2-42. 교량(터널) 기능 개선 항목·년도별 예산

(단위 : 억원)

구분	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	합계
노후교량 개축	371	361	255	384	291	304	210	60	110	130	130	2,606
교량터널 보수	484	557	379	463	495	690	622	684	701	1,037	837	6,949
저등급 성능개선	145	113	85	26	29	60	50	150	110	100	100	968
기존교량 내진보강	41	39	222	190	208	256	100	50	72	60	60	1,298
통수단면 부족 교량개선	-	25	53	194	160	178	152	210	180	200	200	1,552
합계	1,041	1,095	994	1,257	1,183	1,488	1,134	1,154	1,173	1,527	1,327	13,373

※ 출처 : 2014 도로업무편람, 국토교통부

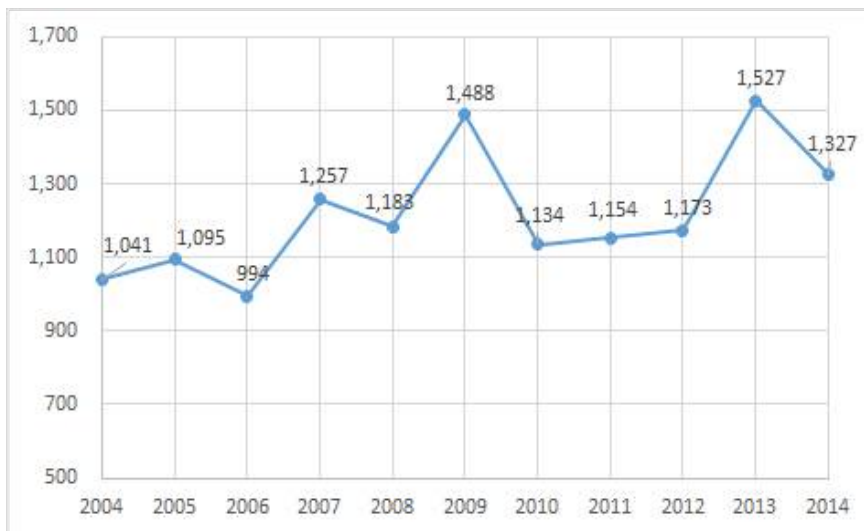


그림 2-69. 교량(터널) 기능 개선을 위한 년도별 예산(단위:억원)

- 노후교량 개축은 교량 기능개선 사업계획('13년, '14~'16년)에 따라 노후도가 심하고 설계기준에 미달되는 교량에 적용하였으며 총 사업비 420억원 중 '14년 기준 140억원 투자
- '04년 이후 점차적으로 노후교량에 대한 개축 예산을 감소시키고 있으며 '04년(371억원) 대비 '14년 예산은 약 35%(130억원) 정도에 불과함

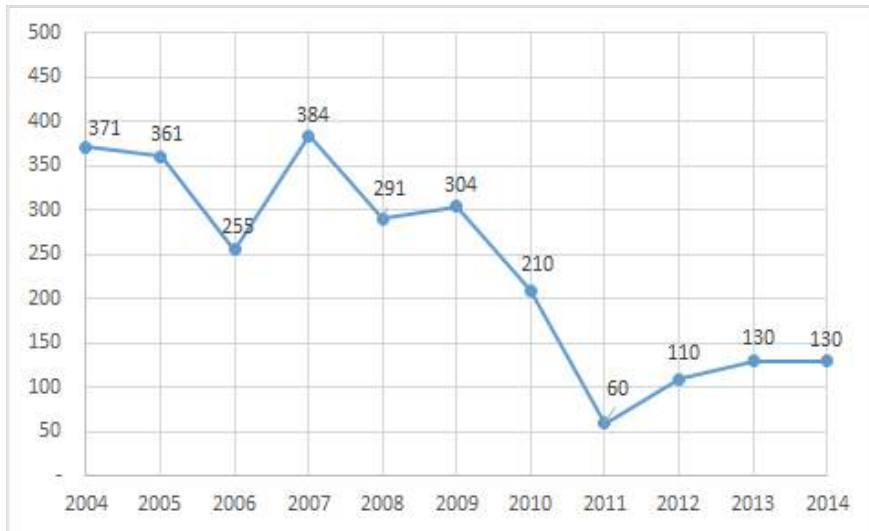


그림 2-70. '노후교량 개축' 부분 예산(단위:억원)

출처 : 2014 도로업무편람, 국토교통부

- 국도상 교량 6,192개소, 터널 393개소를 유지하는 관련부처에서는 교통량 증가, 차량의 대형화, 사용년도 경과로 인해 교량 및 터널에 대한 도로구조물 손상 가중 및 노후화에 대응하기 위한 적기 보수보강 추진 필요
- 교량·터널 보수보강에 대한 예산은 '04년 이후 점진적으로 증가하고 있음. 교량의 개축보다는 경제적 손실이 적은 보수보강이 많이 적용되고 있음

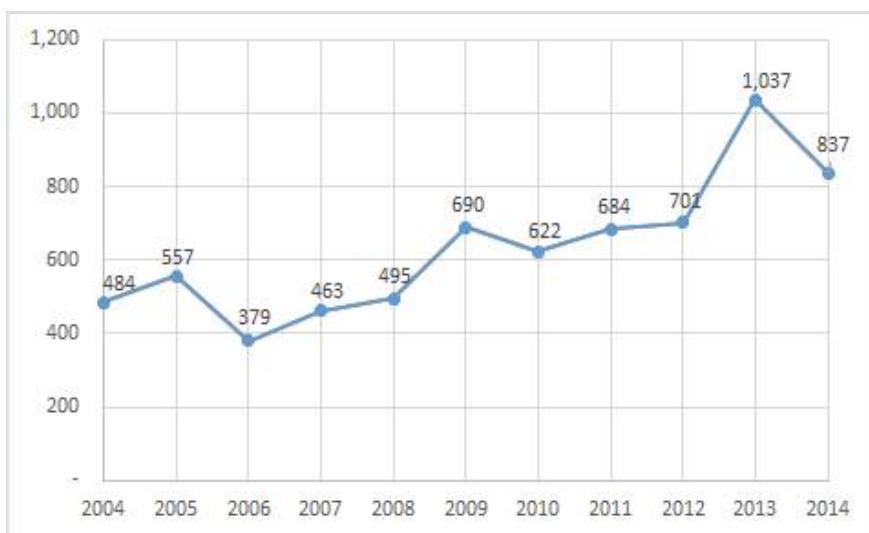


그림 2-71. '교량·터널보수' 부분 예산(단위:억원)

※ 출처 : 2014 도로업무편람, 국토교통부

- 기존교량은 내진보강계획('10년, '11~'16)에 따라 내진설계가 미반영된 2,962개 교량 중 우선적 보강이 필요한 159개 교량을 선정하여 단계적 보수·보강 추진 중

* 지진 발생구역, 교통량, 구조적 위험도 등 고려하여 우선순위 결정

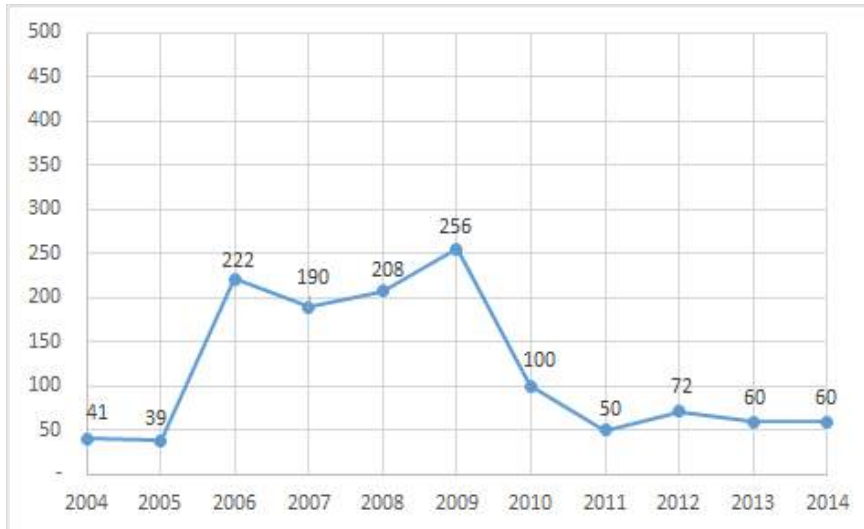


그림 2-72. '기존교량 내진보강' 부분 예산(단위:억원)

* 출처 : 2014 도로업무편람, 국토교통부

- 저등급교량 성능개선은 설계하중이 DB-18(2등급)인 교량에 대한 구조검토를 통해 DB-24(1등급) 교량으로 상향조정하였음

- 전국 5,962개교 1등교 5,776개교(96.88%), 2등교이하 186개교(3.12%)

* 총리실 주관 「중앙안전점검 통제회의(95)」에서 교량안전관리체계 개선 방안으로 국토교통을 1등급 교량으로 개선 추진

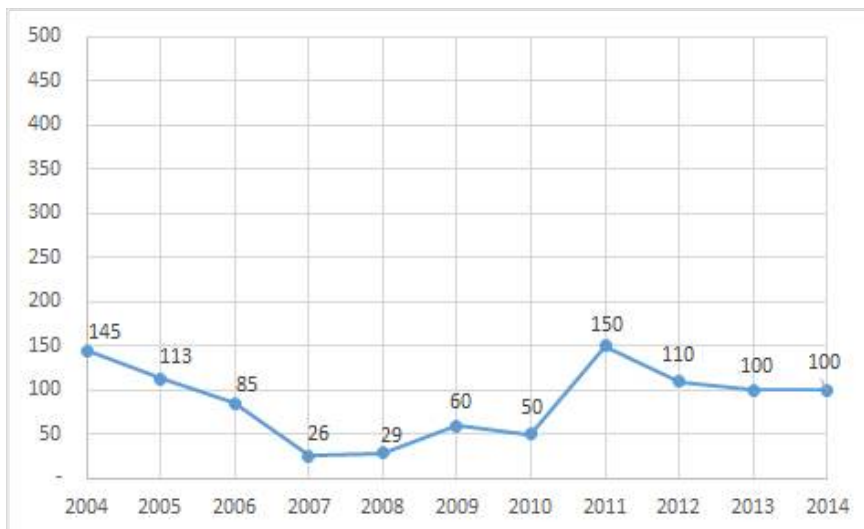


그림 2-73. '저등급 성능개선' 부분 예산(단위:억원)

* 출처 : 2014 도로업무편람, 국토교통부

- GDP 대비 SOC 유지·보수는 OECD 회원국(0.3%), 개발도상국(1.8%)로서 개발도상국은 적기 유지·보수 미 실시로 인해 선진국보다 경제적 부담이 큰 상황
 - (우리나라) GDP의 0.26%를 SOC(교통)의 유지보수로 투자
 - * SOC 투자: GDP의 1.11%(신규건설 0.85%, 유지·보수 0.26%)
 - (OECD 회원국) GDP의 0.3%를 SOC(교통)의 유지보수에 투자(1995~2010년)
 - * SOC 투자: GDP의 1%(신규건설 0.7%, 유지·보수: 0.3%, 서유럽 기준)

표 2-43. 우리나라의 SOC(교통) 유지보수 투자 추정(2008~2015년)

구분	GDP	도로			철도			합계		
		신규건설	유지보수	전체	신규건설	유지보수	전체	신규건설	유지보수	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: 2010년도 SOC 예산 및 국가재정운용계획(안) 참조
 유지보수: 국토해양부의 2010 도로보수현황, 한국철도공사 연도별 시설업무자료(고속철 포함), 서울메트로, 서울도시 철도공사, 대전·대구·광주·부산 도시철도공사 경영공시 자료 참조
 신규건설: 전체 투자액에서 유지·보수 투자액을 차감한 금액

- (개발도상국) GDP의 1.8%를 SOC(교통)의 유지·보수로 투자(2008-2015년, 추정치)
 - * SOC 투자: GDP의 2.3%(신규건설 0.5%, 유지·보수 1.8%)
- (미국) '80년대에 고령화 진입 및 적정 대처 실패로 사회 불안감과 경제적 부담 증가
 - * SOC 안전등급: D등급, 유지·보수 투자비 소요: 향후 5년간 2.2조 달러)
- 「시설물의 안전관리에 관한 특별법(이하 시특법)」에 의한 국가주요시설물 중 교량은 총 10,348개소(1종: 4,050개소, 2종: 6,298개소)로서, 나머지 19,173개소(약 66%)의 교량은 시특법에 의한 관리대상에서 제외되어 있음(한국시설안전공단, 시설물정보관리종합시스템)

표 2-44. 시특법에 의한 SOC 시설물별 관리 현황

시설물구분	1종	2종	계
교량	4,050	6,298	10,348
터널	1,456	1,612	3,068
항만	104	312	416
댐	76	495	571
건축물	1,936	50,416	52,352
하천	516	3,911	4,427
상하수도	368	1,364	1,732
옹벽	0	1,886	1,886
절토사면	0	2,979	2,979
합계	8,506	69,299	77,805

- (시설물 안전상태) 시특별 제정 이후 제1·2종 시설물은 무사고가 지속되고 있으며 95%가 안전등급 A, B로 매우 양호하나, 시특별 적용을 받지 않는 종외 시설물에서는 지속적으로 사고 발생하고 있어 종합적인 성능관리 필요
- 시특별 제정 이후 '96년 11개 시설물에 대한 “시설물의 안전점검 및 정밀안전진단 세부지침”을 제정하여 시설물별 기능, 안전점검 및 정밀안전진단의 실시방법과 절차 등에 관한 필요사항을 상세히 제시하여 재난을 방지하고, 안전성 및 기능성 확보 도모
- 현행 "시설물의 안전점검 및 정밀안전진단 세부지침"에 의한 유지관리체계는 시설물의 안전진단 실시로부터 구조물의 내하성, 내구성, 사용성, 주변환경의 영향을 고려하여 안전등급을 설정하고, 그 결과에 따라 보수보강방법을 수행하는 대응적 유지관리 체계에만 초점을 맞추고 있음
- 2013년에는 “사용성능을 고려한 시설물 안전기준 마련 방안 연구”를 통해 시설물의 안전성뿐만 아니라 진동, 소음 등 사용상 불안감과 불쾌감에 대한 안전기준 마련을 위해 사람의 편의를 고려하는 사용성 평가 검토항목을 마련하는 연구를 수행
- 자연재해에 강한 사회기반시설 정비, 사회기반시설의 고령화 대비, 지능형 안전 및 유지관리 모색을 위한 기술개발을 시도하고 있으나, 우리나라는 선진 외국과 달리 체계적은 로드맵 및 추진전략을 마련하고 있지 못함
- 관련 기술개발이 체계적이고 종합적으로 진행되지 못하고 산발적인 기술개발만 이루어지고 있어 개발 기술간 상호 피드백과 시너지효과가 없어 기술개발에 많은 자원이 투입됨에도 불구하고 그 성과는 미미한 실정
- (문제점) 시특별에 따른 유지관리체계는 정밀안전진단 등을 근거로 개별 시설물에 대해 안전등급 책정을 기본으로 하고 있으며, 이를 통해 보강방안을 제시하는 프로세스로 진행되고 있음. 따라서 시설물 군별 대표등급 산정에 대한 프로세스는 제시하지 못하고 있어, 군별 순위에 대한 근거부족으로 통합형 예산 배정이 불가능함. 또한, 시설물의 안전상태 평가 및 개선에만 초점을 맞춘 유지관리체계로 SOC 고령화에 따른 유지보수 수요 예측이 어렵고, 현재의 대응적 유지관리 체계로 인한 예산분배로는 향후 증가될 향후 SOC 노령화의 대비한 효율적 투자우선순위, 투자규모 제시 불가능

2.4.2 (국외) 교량 장수명화 관련 제도 및 운영 사례

□ 북미 (미국 및 캐나다)

- **【미국의 교량 안전관리·점검 규정】** 연방도로국에서 진단, 등급결정, 유지관리 등에 대한 전반적인 매뉴얼을 규정하고, 각 주의 교통성에서 해당 주의 도로, 교량 및 부속시설물의 계획, 시공 및 유지관리에 대한 세부지침을 수립하고 있음
- 1960~1970년 초반에 국가 교량대장과 교량점검기준을 제정하였고, 교량 점검기준에 의하면 일상적인 점검주기는 2년이나 주정부는 특별한 상황에서 2년이 주기인 일상적인 점검주기를 탄력적으로 운영할 수 있도록 규정
- 미국 토목공학회(ASCE)에서는 4년마다 16개 시설물에 대해 각 시설물 관리자를 대상으로 설문조사를 실시. 이를 기반으로 평가를 수행하여 시설물에 등급을 부여
- 각 주별로 평가를 수행한 근거로 평가결과를 종합하여 미국전체의 시설물의 상태를 조사하고 있고, 시설물에 대한 평가는 안전 및 유지관리 관련 요소뿐만 아니라, 용량, 재정조달, 미래수요 등에 대한 요소도 종합적으로 고려하고 있음
- 캘리포니아주 교통성은 교량 유지관리를 위해 SM&I(Structure Maintenance & Investigations) 부서를 설립, 시설물을 체계적으로 점검하고 관리함
- * 캘리포니아주 교통성은 주내의 도로, 교량 등을 비롯한 전반적 교통 관련 정책수립과 교통 관련 시설물에 대한 계획, 건설, 유지관리에 대한 정책을 총괄함. 주내 모든 카운티를 12개의 구역으로 구분, 각 구역별 지사에서 소관 주정부도로에 대해 실질적인 건설 및 유지관리업무를 수행하나, 도로의 건설과 달리, 건설된 교량이나 주요 부속시설물에 대한 관리는 캘리포니아 교통성 본부 소속 기술지원센터의 기술 지원을 받아 전문적인 안전 및 유지관리를 실행하고 있음

표 2-45. 미국 주요 주정부별 교량 안전관리·점검 관련사항

구분	워싱턴	캘리포니아	콜로라도	플로리다	아이오아	
점검주기	2년	2년	최대 2년	2년	2년	
점검 우선순위	NBIS 규정을 따르며 상태에 따라 조정	기술자 판단	위험개소 순	-	위험개소 순	
점검방법	현장점검	현장점검	현장점검	현장점검	현장점검	
점검조직 운영실태	중앙관리	중앙관리	중앙관리	중앙·지역관리	중앙·지역관리	
점검팀 구성 및 자격	2인 4급교량기술사 팀원은 공학사	1인 이상 등록 기술자	2인(책임기술자 1인 포함) FHWA 교육 이수자	2인 이상	2인 이상	
업무 비율	실제점검	45%	1주 점검	50%	20%	50%
	이동	40%	-	20%	60%	18%
	내근	15%	2주 내업	30%	20%	32%

※ 출처 : 전남대학교 산학협력단, 시설물안전관리 실태조사 및 개선방안 연구(2011.10)

- **【북미의 시설물 유지관리 기술 개발 정책】** 미국의 FIATECH(Fully Integrated and Automated Technology) 컨소시엄은 다양한 건설 산업의 주체들을 위한 통합된 파트너십을 제공을 목표로, 1999년 미국 CII(Construction Industry Institute)와 NIST(National Institute of Standards and Technology)를 중심으로 CII의 부속 연구단체로 출발함
 - 연방도로국에서 진단, 등급결정, 유지관리 등에 대한 전반적인 매뉴얼을 규정하고, 각 주의 교통성에서 해당 주의 도로, 교량 및 부속시설물의 계획, 시공 및 유지관리에 대한 가이드라인을 수립하고 있음
 - FIATECH은 건설관련 업체, 대학, 기술개발업체, 발주기관, 연구기관들을 회원사로 하나의 연구단체를 구성하고 건설 산업 정보의 통합화, 자동화의 활성화를 위한 공동의 노력을 추진 중이며 이를 위하여 CPTR(Capital Project Technology Roadmap)을 개발하여 추진 중임
 - * 주요 기술은 지능형/자가보수 시설물, 실시간 프로젝트/시설물 관리, 생애주기 통합 데이터 관리 등으로 구성
 - 캐나다의 ‘Civil Infrastructure System Technology Roadmap’은 장수명화·성능평가 기술과 자연재해 극복기술, 지능형 모니터링 기술의 개발 등을 통해 사회기반시설의 고령화와 자연재해에 대처하고, 안전 및 유지관리 업무의 효율성 증대를 모색하고 있음

표 2-46. Infrastructure Canada의 구성

구분	역학
The Policy and Communications Branch	<ul style="list-style-type: none"> • 인프라 평가, 우선순위 결정, 연방정부 정책 수립 • 전략적 인프라 투자 평가 및 장관에게 보고 • 인프라 프로젝트 투자 이익 촉진, 자금 조달 리더십
The Program Operations Branch	<ul style="list-style-type: none"> • 인프라 관련 프로그램 관리 • 위험관리 분석, 환경평가 및 원주민 협의 결정 보고 • 가스세금 관리
The Corporate Services Branch	<ul style="list-style-type: none"> • 집행위원회에 사무국 서비스 제공 • 적시 의사결정 지원
The Audit and Evaluation Branch	<ul style="list-style-type: none"> • 거버넌스, 위험관리 등에 대한 감사 실시
The Federal Montreal Bridges Branch	<ul style="list-style-type: none"> • new bridge for the ST. Lawrence corridor(NBSLC) project 관리 • 공공-민간 파트너십 관리 • Greater Montreal Region의 교량 유지관리

- **【북미의 시설물 평가 체계】** 미국은 국가인프라개선위원회(National Council on Public Works Improvement)에서 1988년 최초로 인프라 평가보고서를 발행함. 캐나다의 인프라 평가보고서는 2012년 캐나다 인프라 평가보고서 프로젝트 운영회에 의해 최초로 발행됨
 - NCPWI는 시설물군을 8개 분야(도로, 운송, 공항, 수자원, 상수도, 하수도, 고형폐기물, 유해 폐기물)로 구분하고, 각 시설물군을 대상으로 현재 시설물의 물리적인 상태와 재정 조달 상태에 대한 평가를 수행함
 - * 1988년 NCPWI가 폐지된 후 미국토목공학회가 이어 받아 인프라 평가보고서를 발행함

- 캐나다의 인프라 평가보고서 프로젝트 운영회는 캐나다 건설협회, 캐나다 공공사업협회, 캐나다 토목공학회, 캐나다 지자체 연합으로 구성되었으며, 프로젝트를 주도하고 행정 지원 및 재정 조달을 담당함
- 캐나다는 'Infrastructure Canada'를 통해 시설물 유지관리 전반에 대한 업무를 추진하고 있으며, Infrastructure Canada는 인프라 관련 정책 개발, 협력관계 구축, 투자프로그램을 제공하고 있음
- Infrastructure Canada는 'The Policy and Communications Branch', 'The Program Operations Branch', 'The Corporate Services Branch', 'The Audit and Evaluation Branch', 'The Federal Montreal Bridges Branch'로 구분되어 시설물 관리의 역할을 수행하고 있음
- **【미국의 시설물 관리 성공사례】** 뉴욕 주는 손상된 기반 시설물의 교체, 자연재해로부터의 회복력 강화 등과 같은 다면적인 접근 방식을 도입해 인프라 시설물의 안전 여유도를 향상시키는 계획을 수립하고 시행 중임
 - 알렉산더 해밀턴 교량의 성능 개선 사업(Alexander Hamilton Bridge Rehabilitation project)은 노후화된 교량의 부재를 교체함으로써 구조물의 안전성 향상을 통해 교량의 수명을 연장하였고, 갓길 확보 및 포장 연결부 보수로 교량의 성능개선을 이룸. 이러한 성능개선을 통해 교통 체증이 감소하고 시민의 삶의 질이 향상된 효과를 얻음
 - 퀸즈보로 교량의 경우 '80년대부터 '교량 보강 사업계획(Bridge Reconstruction Project Report)'에 의해 보강사업을 실시하여 신규 건설할 때보다 비용을 절감한 것으로 평가
 - * '81~'89년 갱신사업 제1호~제3호 실시, '95~'01년에는 노면 데크교체, 상량 등 강화, 배수시스템 설치 등 대대적인 보강사업 실시. '10년까지 퀸즈보로 교량의 보강에 사용된 비용은 약 8억 달러로 같은 교량을 새로 건설하는 비용(37억 9,680만 달러)에 비해 20% 수준인 것으로 분석되었음

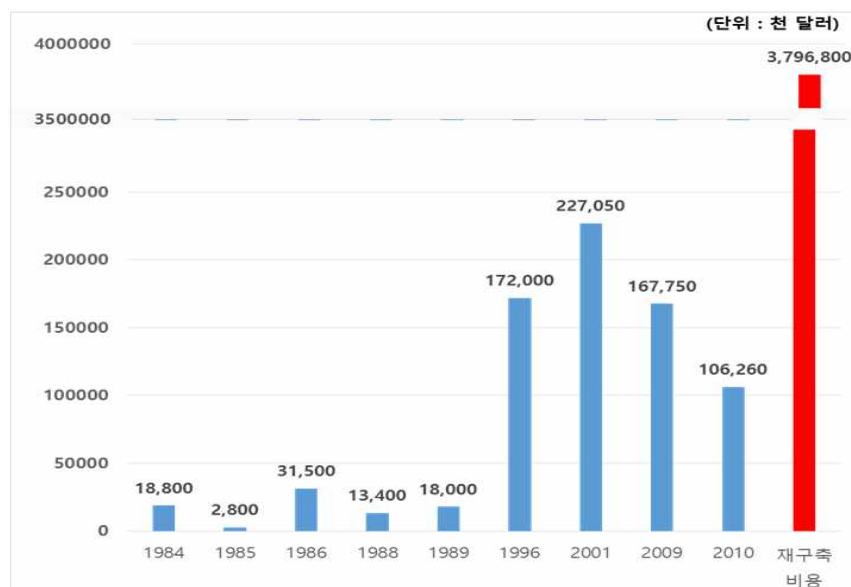


그림 2-74. 퀸즈보로 교량 신사업 주요 투자액

※ 출처 : 국토연구원, 선진국의 교량 유지보수 전략 및 시사점(2012.10)

- **【미국의 시설물 관리 실패사례】** 준공 후 70년이 넘는 인프라 시설물이 급증하고 있는 미국은 시설물 노후화에 대한 적절한 투자와 조치가 이루어지지 않아 1980년대부터 교량 붕괴 사고로 인한 인명 피해가 수차례 발생하고 있음. 또한 적기 예산 투자가 이루어지지 않아 안전한 인프라 시설물의 사용을 위한 소요 예산은 눈덩이처럼 급증
 - 미국 토목학회가 발표한 인프라 평가보고서(Report Card)에 의하면, 2001년 당시 연간 필요 예산(종합평가등급 D+)은 약 2,600억 달러였으나, 2013년 보고서에서는 173%가 증가된 약 4,500억 달러가 매년 투자되어야 한다고 발표함

□ 일본

- **【일본의 시설물 안전관리 및 점검 규정】** 일본의 규정은 우리나라와 매우 유사한 형태를 갖고 있음. 안점점검 관련규정은 각 시설마다 약간씩 다르며, 각 관계기관의 매뉴얼로 제시하고 있음. 도로, 교량, 철도 등의 시설물에 대해 안전점검 기준을 비롯한 정책수립을 중앙정부인 건설성에서 수행하고 있고, 실제 도로 및 교량 등의 유지관리는 각 관할 도로의 담당 공무원에 의해 수행중. 주요 시설물에 대한 안전점검 기준을 시설물 부위별, 결함등급별로 차별화하여 건설성의 점검표준에서 제시하고 있음. 안전점검은 초기점검, 일상점검, 정기점검, 상세점검, 임시점검 등 5가지 종류로 구분해 실시하고 있으며, 점검기술과 평가기술 및 매뉴얼 구축에 관한 연구가 활발히 진행되고 있는 추세임
 - 교량의 안전점검 종류 및 방법은 교량관리주체에 따라 용어 및 주기가 각기 다르며, 이를 통일시키기 위한 작업의 일환으로 1988년 국토교통성 토목연구소에서 이에 대한 연구를 실시하여 점검방법을 통상점검, 정기점검, 이상시 점검, 추적조사, 상세조사의 5단계로 분류함
 - * 관련규정은 1988년 도로교를 대상으로 교량점검요령이 제정되었으며, 국가기관 건축물의 보전에 관한 기술 기준 및 건축보전 업무 공통시방서를 통해 세부사항을 규정하고 있음
 - * 안전점검은 육안점검을 실시하는 통상점검, 완공 후 10년 주기부터 실시되는 정기점검, 자연재해나 이상 발생시 실시되는 이상시 점검, 점검후 필요시 실시되는 추적조사, 추적조사에 의한 상세조사로 구분됨
 - * 상태평가는 총 5등급으로 손상이 현저하며 안전 확보에 지장이 있는 경우 I등급, 손상이 크고 상세조사를 실시하여 보수여부 검토 필요시 II등급, 손상이 확인되고 추적조사가 필요시 III등급, 경미한 손상이 있는 경우 IV등급, 이상이 없는 경우 V등급으로 분류함
 - * 점검 후 조치에 관해 특별히 법적 규제는 명시되어 있지 않으며, 상태에 따른 적절한 보수보강 조치 권고
- **【일본의 시설물 관리 정책 동향】** 일본은 2000년대 중반에도 20년의 장기 전략지침을 통해 미래사회상의 실현을 목표로 연구개발, 사회제도 개혁, 인재 육성 등을 실행하고 있었고, 이 장기 전략안에는 노후 인프라 유지관리 기술 개발 및 시스템 도입이 포함됨
 - 국토교통성은 고품질의 행정서비스 제공을 목표로 기존 4개(홋카이도 개발청, 국토청, 운송성, 건설성)의 부처를 통합하여 '01년에 수립된 정부부처이며, 국토의 종합적이고 체계적인 이용을 위한 개발 및 보전, 사회 인프라 시설의 건설 및 유지관리, 교통정책,

해상 안전 및 치안업무 등을 수행함

- 사회자본정비 중점계획의 중점목표 중 시설물의 안전 및 유지관리 관련 내용으로는 '중점목표4 : 사회자본의 확실한 유지관리·갱신'이 있으며, 세부적으로 '사회자본의 실태 파악과 유지관리·갱신 비용의 추정', '시설의 장수명화에 따른 총 비용의 감축'을 추진하고 있음
- 2014년 현재 '일본재흥전략'에 의해 '국내의 중요 인프라, 노후화 인프라를 전체 센서, 로봇 등을 활용하여 고도로 효율적으로 검사, 보수'의 실현을 2030년 목표로 하고 있음. 센서에 의한 교량의 유지관리도 많은 사례에서 실시되고 있으며, 비파괴검사를 위한 소형 중성자시스템의 연구개발이 독립행정법인 이화학연구소에서 진행되고 있음
- 일본 정부는 2013년 수립한 국토강인화기본계획 '노후화 대책 분야' 시책과 연계한 국가 차원의 인프라장수명화기본계획을 같은 해에 수립함. 일본 국토교통성은 이러한 기본계획에 대한 행동으로 인프라장수명화계획(2014~2020)을 수립하고, 개별 시설별 장수명화계획(개별시설계획)은 2014년부터 단계적으로 수립되고 있음. 개별시설계획 중 도로 시설물에 적용할 새로운 법령과 기준 및 매뉴얼이 2014년에 개발·운용되고 있으며, 국토교통성은 이를 5년마다 개정하는 것을 목표로 삼고 있음
 - * 인프라 장수명화기본계획의 수립은 해당 시설물의 열화된 성능을 설계단계에서 설정된 시설물의 목표 성능과 동등한 수준 혹은 그 이상으로 개선하는 개념을 인프라 시설물의 건설 및 운영에 도입한다는 의미임과 동시에 기존 지자체가 개별적으로 수립하여 관리해 왔던 공공 시설물의 건설 및 운영 지침을 국가 차원에서 제공해 새로운 패러다임으로 전환하겠다는 의지를 선포한 것임
- 일본은 종래의 사회기반시설과 정보기술을 연계하여 정보의 통합 관리·운용이 가능하도록 하는 '차세대 인프라 정비를 위한 기술 개발 사업'을 추진할 계획임. 또한 기후 변화로 인한 사회기반시설의 부정적인 영향을 최소화하기 위하여 안전 및 유지관리 기준 및 실무자 매뉴얼을 작성·보급하여 활용하고 있음
- 'Innovation 25'는 아베총리를 본부장으로 하는 이노베이션 추진본부 주관으로 2025년 일본사회의 5대 목표(평생 건강한 사회, 안전하고 안심할 수 있는 사회, 다양한 인생을 보낼 수 있는 사회, 세계적 이슈 해결에 공헌하는 사회, 세계에 열린사회)를 달성하기 위해 범부처 차원에서 실행하는 정책임
 - * '안전하고 안심할 수 있는 사회'의 건설이라는 목표 달성을 위해 국가 주도의 재해 방지사업의 하나로 각종 구조물의 실물모형을 이용한 지진파괴거동 시험 및 도로교, 하천구조물의 보수, 보강기법 개발 등 유지관리 분야를 중점적으로 육성함

표 2-47. '안전하고 안심할 수 있는 사회' 분야 기술개발 로드맵 중

중점과학기술	2010년까지 연구 목표 (제3기 과학기술 기본계획 기간)	2011년 이후 연구 목표 (제4기 과학기술 기본계획 기간)
사회자본관리 혁신기술	<ul style="list-style-type: none"> • 새로운 점검·진단기술, 열화 예측기술 개발 • 구조물의 안전성과 관련된 객관적인 지표를 이용한 건전도·관리 기술 개발 • 생애주기비용(LCC) 감소를 기대할 수 있는 신재료의 개발과 최적의 보수시기, 공법의 선정지원 기법을 개발 • 내진성과 가변성 높은 구조시스템의 개발과 기존 구조물군의 기능향상 등을 가능하게 하는 성금검증·평가법을 개발 • 하수도 관리의 실태조사와 유지관리의 요인 분석의 실시와 평가지표나 비파괴 검사에 의한 손상·노후화 수준 추정법을 개발 	<ul style="list-style-type: none"> • 센서도입 등에 의해 점검·진단의 고도화와 예방보전을 통한 시설의 안전성을 향상하는 유지관리기법을 개발 • 구조물의 요구성능을 확보하여 라이프 사이클 코스트의 최적화를 유도하는 기술을 확립 • 객관적 업무지표에 근거하는 하수도 관로 시설의 효율적인 유지 관리기법의 확립

※ 출처 : 한국과학기술기획평가원, 일본「Innovation 25」 최종보고서 분석 및 시사점(2007.06)

- '07년 일본 국토교통성은 국가관리 교량뿐만 아니라 지방자치단체가 관리하는 교량에 대해서도 일시점검 및 교량보수 장기화계획 수립을 지시하였음

* 교량 수명 장기화 보수계획에서 책정한 교량의 보수비에 대해서는 반액을 국가에서 보조하고, 점검 및 계획 수립을 하지 않은 교량의 보수비는 지원하지 않는 방식임. 이에 따라 2011년 말 기준으로 도도부현(都道府縣) 및 시정촌(市町村)이 관리하는 교량의 53%가 교량 수명 장기화 보수 계획을 작성함

Long Term Strategy “Innovation 25”

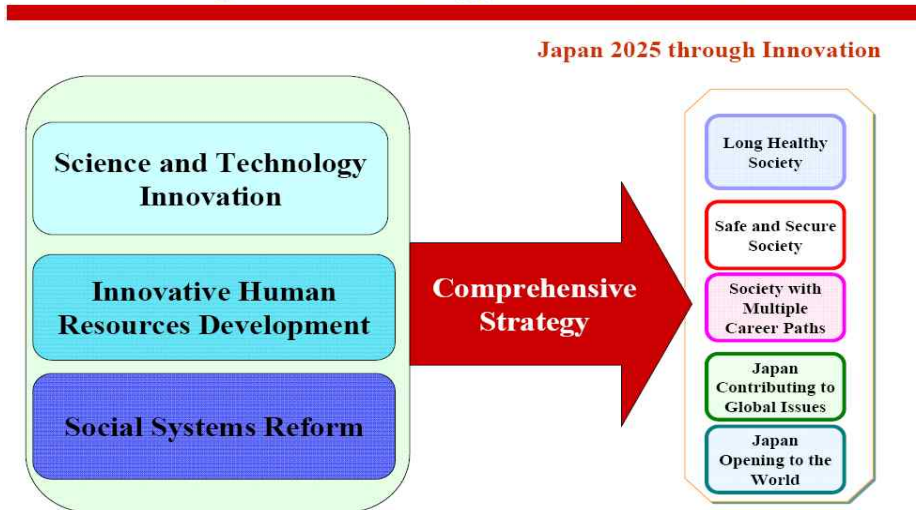


그림 2-75. 일본의 Innovation 25

분야	<ul style="list-style-type: none"> - 사회 및 국민의 안전을 제공하기 위한 센싱 및 모니터링 분야 - 장수명을 위한 고강도 재료 및 자가 치유 관련 기술 분야 - 지능형 교통 시스템을 통한 교통 혼잡 및 차량 사고 감소를 통한 CO2 배출 및 유통 비용 저감
----	---

□ 유럽

○ 【유럽의 시설물 관리 정책 동향】

- 영국의 시설물 유지관리 관할 기관 및 수행 주체는 지역별 시설별로 구분하며, 잉글랜드, 스코틀랜드, 웨일스, 북아일랜드의 4개 나라로 구분되는 연방국 형태를 가지고 있고 각각의 나라에는 독립된 정부가 있어 별도의 정책 및 전략 방향을 수립함
- 영국 중앙정부는 잉글랜드와 런던에 대한 정책을 수립하며, 지방정부에 각각의 Office를 두고 각 지방정부와 연계. 영국은 시설물 유지관리 예산계획/정책 수립, 지침 개발 주체가 모두 상이한데, 예산은 재무부 산하 기관인 인프라 위원회에서 매년 인프라에 대한 투자계획을 수립
- 영국은 Infrastructure UK라는 Infrastructure Governance 수립을 위한 컨트롤타워 조직을 구성하고, 교통성, 도로공사, 철도청, 지방자치단체 연합으로 도로시설물 자산관리 가이드라인 작성 및 전산시스템을 개발하여 실무에 적용 중임. 또한 재정조달만의 한계를 극복하기 위해 민간자본 유치 활성화를 도모하고 있음
- 영국의 인프라 평가보고서는 영국토목학회에 의해 현재까지 2003, 2004, 2005, 2006, 2010년에 걸쳐 5회 발행되었으며, 권역별(잉글랜드 동부, 북서부, 북아일랜드, 스코틀랜드, 웨일즈 등)로 발행된 것까지 포함하면 거의 매년 발간됨
 - * 영국 인프라 평가보고서의 목표는 인프라 정책에 대한 적극적인 토론을 유도하고, 영국 인프라 및 제공 서비스를 개선시키기 위한 주의 및 환기를 위함임
- 런던 교량 엔지니어링 그룹에서는 Bridge Station 프로그램을 제공하여 교량 및 도로 구조에 대한 자산 관리에 도움을 주고 있음. 또한, 영국교통부, 네트워크 레일 등 교량 관리와 관련된 회사의 교량 공학 자문 역할을 수행하는 조직으로 본 프로그램은 회원제로 관리됨. 공공기관이나 시설관리 회사가 쉽게 액세스하고 자산관리에 이용할 수 있도록 웹사이트 프로그램을 제공함
 - * 프로그램은 웹사이트 상에서 교량의 구조를 기록, 검사, 평가하고 자산의 가치를 계산하는 역할을 하며, 재고 관리, 생애주기 계획 및 유지보수 우선순위를 결정함
 - * 교량 관리지침인 'Management of highways structures'에서는 교량 검사를 주요검사와 일반검사로 구분하여 진행하고 있으며, 일반검사는 직전 일반/주요검사로부터 2년 내에 시행하도록 하고, 주요검사는 직전 주요 검사로부터 6년 이내에 시행하도록 명기
 - * 교량의 위험도 평가는 부식 정도, 오염 수준, 열화율, 손상 정도, 잠재적인 위험 등을 고려하여 진행함

□ 호주

○ 【호주의 시설물 관리 정책 동향】

- SOC성능을 중심으로 하는 예방적 유지관리체계를 구축 및 운영하고 있으며, 개·보수 및 성능개선을 통해 장수명화를 이루고 있음. 또한 2008년 Infrastructure Australia

Act제정을 통해 시설물 전체에 대한 유지관리의 통일된 표준 지침을 마련하고, 전략적인 유지관리 계획의 수립 및 운영 중임.

- 시설물 유지관리관련 기술개발 측면에서는, 호주는 국립연구센터(National Research Centre)를 통해 BIM(Building Information Modeling) 기법과 센서에 의한 SOC관리 시스템 개발, 설계·시공·유지보수·운영 통합관리 모델인 IDDS 모델 개발 등 지능형 Infrastructure 관리 시스템 개발
- 호주의 인프라 평가보고서는 엔지니어 전문가 집단인 호주엔지니어협회에 의해 '99년, '01년, '05년, '10년에 걸쳐 총 4회 발행됨
 - * 호주 인프라 평가보고서는 글로벌 트렌드 및 사회적 이슈에 대해 국가 차원에서 어떻게 인프라 개발과 유지관리 업무를 수행해야 하는지 나아갈 방향을 제시함
- 호주의 자산관리 절차는 자산관리전략수립, 자산의 정보목록 작성, LoS, 유지관리 우선순위 의사결정, 자산가치평가, 운영과 관리의 과정으로 진행되며 자산관리의 핵심요소를 생애주기적 접근, 비용효율적 관리전략, 서비스수준 및 성능 모니터링 정의, 리스크 관리, 물적 자원의 지속가능성 등으로 정의함
- 퀸즈랜드는 도로 인프라 유지관리를 위해 도로조회/도로목록, 교량정보시스템, 포장상태 시스템, 교통분석보고시스템, 도로유지관리 성능계약 관리시스템 등으로 구성된 도로관리 정보시스템을 구축함
 - * 이 시스템을 통하여 다양한 정보를 활용하여 재해의 경감이나 지방 정부의 재정적 원조와 같은 정부 방침, 안전성 향상, 기능적 신뢰성 확보 등의 우선순위로 자산관리를 수행함
 - * 시드니의 경우 유료도로에 대해 48년간의 장기간 동안 주요도로들을 연결하는 무료 간선도로들의 건설, 운영, 유지 관리하는 공공-민간 제휴 프로젝트를 시행하여 대형 프로젝트 투자에 대한 새로운 대안을 제시함

□ 선진국 제도 및 운영 사례 종합 시사점

○ 【국가별 시설물 유지관리 주요 정책 공통점】

- 선진국은 SOC의 장수명화와 관리의 효율성을 모색하기 위해 사회기반시설의 고령화 대비, 지능형 안전 및 유지관리, 자연재해에 강한 사회기반시설 정비 등에 중점을 두고 정책 및 기술 개발 중임
- 호주와 영국은 개별 시설물에 대한 관리차원을 넘어 전체 시설물에 대한 통일된 유지관리 지침 또는 자산관리 가이드라인을 개발하여 시행중임
- SOC평가 체계에 있어 미국, 영국, 호주 등에서는 사회기반시설 관리의 효율성 제고와 공공 및 정책 입안자를 위한 홍보를 도모하기 위하여 인프라 평가보고서를 발행함. 인프라 평가보고서는 국가 및 산업 차원에서 인프라 유지관리가 매우 중요하다는 사실을 인식한 것에서 시작했으며, 몇몇 국가들은 인프라 유지관리의 효율성을 제고하기 위하여 체계적인 관리 전략과 계획 수립이 가능한 기반을 마련함

- * 선진국은 인프라 시설물의 집중적 건설 이후, 적절한 유지관리 예산 확보에 많은 애로를 겪으면서 인프라 시설물에 대한 객관적인 평가 방법 개발이 우선적으로 필요하다고 판단
 - * 선진국 인프라 관리체계는 시설물의 유지관리에서 생성되는 정보가 기획 단계로 공급되고, 다시 예산과 조달로 이어지는 순환구조를 형성하고 있음
 - * 인프라 평가보고서는 국민의 삶에 직접적인 영향을 끼치는 인프라의 상태 및 재정조달 관련 정보를 제공하여 인프라에 대한 관심과 의식을 고취시키고, 장기적인 발전 전략 및 비전을 제시하고, 정부나 지자체와 같은 사회기반시설 건설 및 관리 주체들이 국가 인프라 상태 개선을 위해 수행해야 할 역할을 제안함
- 각국별로 자산관리와 더불어 SOC시설물 운영상의 목표를 포괄하고 각각 다른 성능지표를 활용하여 SOC시설물의 성능을 평가 후 관리·운영 중
- * 국가적 수준의 상위계획과 지역별 관리주체 수준의 하위계획까지 일관성을 유지할 수 있도록 자산관리의 계획을 수립함. 또한 SOC 시설물에 대한 자산관리에 대해 법적 구속력이 있도록 제도화 하고 시설물에 대한 조사를 실시·평가한 후 이를 기초로 중장기 유지관리 전략을 수립·시행함

표 2-48. 해외의 시설물 안전 및 유지관리 분야 기술개발 동향

구분	사회기반시설 고령화 대비	지능형 안전 및 유지관리 기술개발	자연재해에 강한 사회기반시설 정비
[캐나다] Civil Infrastructure System Technology Roadmap	SOC 장수명화·성능 평가 자산 목록화 SOC 유지관리 기술 평가 SOC 생애주기 비용분석	SOC 지능형 모니터링 기술 개발 SOC 통합정보시스템 SOC 유지관리정보 지식화	자연재해 극복기술
[OECD] Infrastructure to 2030	자산관리 체계 적용 및 전산시스템 개발 차세대 인프라 정비를 위한 기술개발 사업	호주 E-infrastructure 개발	일본 기후변화 대응 시설물 관리 매뉴얼 작성
[ECTP] Networking Europe Vision 2030 and SRA	SOC 노후화에 따른 장기성능 예측모델 개발 SOC 장수명화 기술	다수의 SOC 통합관리 방법 및 도구 개발 SOC 손상조기감지 기술 개발 및 시험방법 마련 유지관리 용이 센서, 모니터링, 성능예측 시스템 개발 IT, ITS SOC 지능화	자연재해에 강한 다기능 新재료 개발

※ 출처 : 대한건설정책연구원, 시설물 안전 및 유지관리 기술의 미래니즈와 개발전략(2014.08)

- 영국, 캐나다, 호주 등 선진국에서는 중앙정부 시설물에서 지자체 시설물까지 확대하여 사회기반시설물에 대한 평가체계 도입·운영 중
 - 미국 캐나다 등 선진국은 물리적 상태뿐만 아니라, 관리 현황, 재정조달 현황, 서비스 용량, 미래 수요, 안전성, 회복력, 개선 방안 등을 다각적으로 평가하고 향후 정책방향을 제시하는 ‘인프라 평가보고서’를 정기적으로 발간⁹⁾
 - (인프라 평가체계 구축) 産學研官의 전문가들로 구성된 범부처형 ‘인프라평가위원회’를 구성하고, 정기적으로 발간되는 ‘인프라 평가보고서’를 발간하는 등 ‘인프라 평가시스템’을 구축함

9) 1988년 미국에서 처음 인프라평가보고서를 발간한 이후 캐나다, 영국, 호주, 남아공 등에서 수년마다 발간

- '인프라평가위원회'에서 5년 단위로 수정되고 발전되는 '인프라 개선 계획'을 마련하고, 이를 토대로 '인프라 개선'을 위해 지속적 투자를 지원
- 미국은 '미국토목공학회'(ASCE), 캐나다는 '産學研官합동위원회'가 주체가 되어 평가보고서를 발행하고 있으며, 공신력을 높이기 위해 예비 보고서를 발간하여 의회와 시민단체 대표들에게 발표하고, 별도의 위원들이 그 의견을 반영하고 등급을 최종 확정된 후 보고서를 완성함

○ 【국가별 시설물 유지관리 제도 차이점】

- 각국의 시설물 점검제도의 차이점은 안전점검과 상태평가 단계에서 나타나는데, 일본과 독일은 보다 더 치밀하고 엄격하게 안전관리제도를 운영하는 편임
 - * 프랑스는 안전점검을 육안점검, 상시점검, 특별안전점검의 3단계로 하고 상태등급도 A·B·C의 3등급으로 평가하여 비교적 단순하고 융통성 있게 안전관리 제도를 운영하고 있음
 - * 독일은 안전점검을 준공 후 안전점검, 하자보수기간 만료시 안전점검, 구조물 시찰, 정밀점검, 정기점검의 5가지로 분류하고 있으며, 상태등급도 0, 1, 2, 3, 4의 5등급으로 분류
 - * 일본은 대상구조물 별로 안전점검을 통상점검, 정기점검, 이상시 점검, 추적조사, 상세조사의 5단계로 분류하고 있으며, 상태등급도 5등급(I, II, III, IV, OK)으로 분류함

표 2-49. 각국의 시설물 점검제도

구분	프랑스	독일	일본
관련규정	지방공공건물과 교량에 관한 안전점검규정 1979년 제정	DIN1076: 교량에 관한 진단법령(99년 개정) RBA-BRU: 외형평가지침 ZTV-K: 기술지침서	1988년 도로교를 대상으로 교량점검요령 제정 국가기관 건축물의 보전에 관한 기술기준 및 건축보전업무 공통시방서
안전점검의 종류	육안점검 특별안전점검(5년주기) 상시점검(3년주기) 상시점검의 경우 보고서 정부에 제출	준공후 안전점검 하자보수기간 만료전 안전점검 구조물시찰(1년주기) 정밀점검(6년주기) 정기점검 정밀점검에서 발견된 지적사항에 대해서 수시로 확인조사 실시	통상점검(육안점검) 정기점검(10년주기) 이상시점검: 자연재해시, 이상발견시 추적조사: 점검후 필요시 상세조사
상태평가 등급	3등급(A,B,C)으로 분류하고 있으며, B와 C사이에 시설물 사용자에게 경고메시지 알려줌	5등급(0,1,2,3,4)으로 분류하고 있으며, 등급매김은 프로그램을 통해 자동적으로 수행됨	5등급(I, II, III, IV, V)으로 분류 I 등급: 손상이 현저하며 안전확보에 지장이 있는 경우 II 등급: 손상이 확인되고 추적조사가 필요시 IV 등급: 경미한 손상 V 등급: 이상이 없는 경우
점검 후 조치	법적 규제는 없고 기술자의 판단에 의존	법적 규제는 없고 기술자의 판단에 의존	법적 규제는 없고 기술자의 판단에 의존해 안전점검에 따라 보수·보강 등의 조치

* 출처 : 중앙대학교, 시설물 안전관리제도의 문제점분석 및 발전방안에 관한 연구(2003.12)

2.4.3 (국내) 교량 장수명화 관련 제도 및 운영 사례

□ 국내 시설물 안전 및 유지관리 관련법

- 1994년 10월 성수대교 붕괴 이후 시설물의 안전한 사용을 위해 1995년 “시설물 안전관리에 관한 특별법(이하 ‘시특법’)”을 제정·공포
 - 이후 1996년 시특법 13조에 의거 11개 시설물에 대한 “시설물의 안전점검 및 정밀안전진단 세부지침”을 제정하여 시설물 안전점검과 정밀안전진단의 실시방법 및 절차 등에 관한 필요사항을 시설물별로 보다 상세히 제시하여 시설물의 안전성 및 기능성 확보 도모. 이후 세부지침은 2000년, 2011년 개정
 - 시특법은 시설물의 붕괴, 전도 등 안전사고에 대한 대비 및 예방을 목적으로 제정. 현행 “시설물의 안전점검 및 정밀안전진단 세부지침”에 기초한 유지관리체계는 시설물의 안전진단을 실시하여 구조물의 내하성, 내구성, 사용성, 주변환경의 영향을 고려하여 안전등급을 산정하고, 그 결과에 따라 보수보강방법을 수행하는 대응적 유지관리 체계에만 초점을 맞추고 있음
 - 이후 2013년에는 “사용성능을 고려한 시설물 안전기준 마련 방안 연구”를 통해 시설물의 안전성뿐만 아니라 진동, 소음 등 사용상 불안감과 불쾌감에 대한 안전기준 마련을 위해 사람의 편의를 고려하는 사용성 평가 검토항목을 제안



그림 2-76. 시특법에 의한 유지관리 체계

- 【시설물 안전 및 유지관리 관련법 종류】 국내 시설물 안전 및 유지관리에 관한 법령은 다양함(시설물의 안전관리에 관한 특별법, 재난 및 안전관리 기본법, 건축법, 건설기술관리법, 산업안전보건법, 도로법, 철도안전법, 도시철도법, 농어촌도로정비법 등). 이들을 구별하는 관점은 크게 2가지로, 사전예방 및 사후 수습·복구 체계의 관점과 법령이 적용되는 시설물 대상별 관점이 있음

- 사전예방 및 사후 수습·복구 체계의 관점은 시설물 안전 및 유지관리 관련법을 시설물에 발생 가능한 재난을 예방하기 위한 사전예방관리체계와 재난 발생 시 복구·수습 체계로 구분함

- * 사전예방관리체계는 시공 전부터 시공 완료 후 단계까지 미래에 발생할 수 있는 재난을 사전에 예방하고 재해 발생의 가능성을 줄이기 위해 마련된 법령으로 건설기술관리법, 산업안전보건법(건설중 인적재해), 시설물별 소관법령(안전시설기준규정), 시설물의 안전관리에 관한 특별법, 재난 및 안전관리 기본법(특정대상 관리 시설물) 등이 있음
- * 사전예방 관리체계 안에서도 시공 중 시설물은 건설기술관리법에 의해 관리되고, 준공 후 시설물은 시설물의 안전관리에 관한 특별법, 재난 및 안전관리 기본법에 의해 관리됨
- * 사후 수습·복구 체계는 재난이 발생 한 후 재난으로 인한 피해를 재난 발생 이전의 상태로 회복시키기 위해 마련된 법령으로 재난 및 안전관리 기본법이 있음

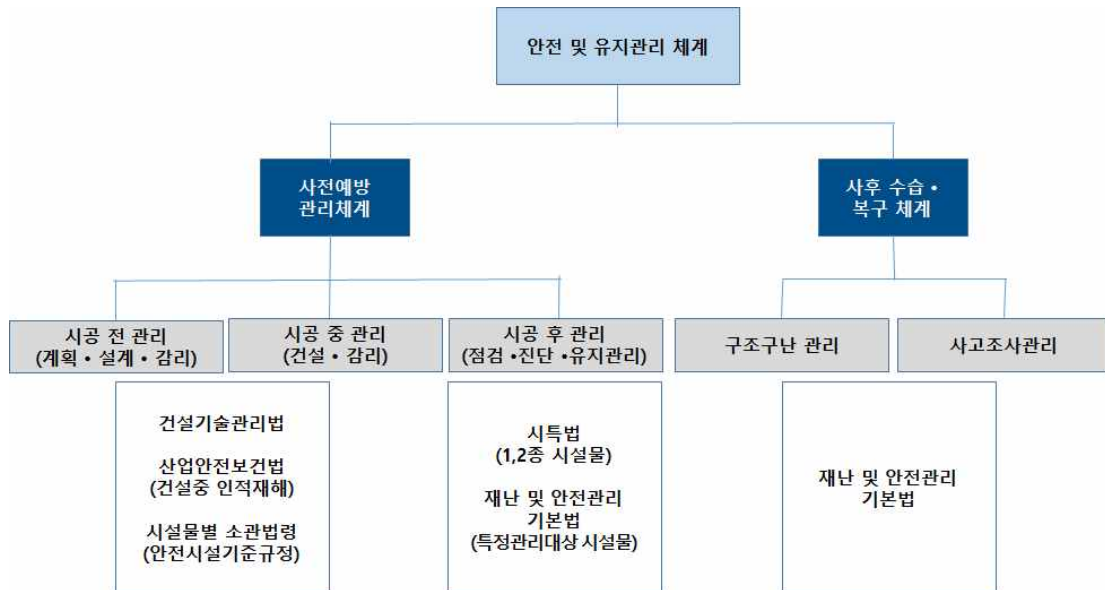


그림 2-77. 시설물 안전 관련 법체계 모식도

※ 출처 : 한국건설기술연구원, SOC시설물 성능평가기술 개발 기획 최종보고서(2014.04)

- 시설물 안전 및 유지관리에 관한 법률은 대상 시설물별로 다양하게 되어 있어, 시설물과 건축물을 1·2종 시설물, 특정관리대상 시설물, 일반건축물, 공동주택 등으로 분류해 법령이 적용되는 대상별로 시설물의 안전 및 유지관리에 관한 법령 구분 가능함

표 2-50. 대상별 안전 및 유지관리 제도

구분		근거	내용
시설물	준공 후	시설물의 안전 관리에 관한 특별법	시설물을 1,2종으로 구분하여 안전점검, 안전지단, 보수·보강 등 안전 및 유지관리를 함
		재난 및 안전관리에 관한 특별법	재난 발생 위험이 높거나 재난 예방을 위하여 계속적으로 관리가 필요 있다고 인정되는 시설 및 지역을 특정 관리대상 시설 및 지역으로 지정하고 조치를 취해야 함
	시공 중	건설기술 관리법	건설공사의 안전을 확보하기 위하여 안전관리계획을

		수립하고 안전점검을 실시하도록 함
일반건축물	건축법	건축법의 규정에 따라 안전 및 유지관리를 하도록 함
공동주택	공동주택관리령	공동주택의 유지 보수와 안전관리 등 관리규약에 정한 사항 등을 규정함

※ 출처 : 중앙대학교, 시설물안전관리제도의 문제점분석 및 발전방안에 관한 연구(2003.12) 외

- **【국내 시설물 안전 및 유지관리 관련 주요 제도】** 다양한 시설물에 관한 법령 중 교량과 관련된 중요 시설물 안전 및 유지관리 관련법은 크게 시설물의 안전관리에 관한 특별법과 재난 및 안전관리 기본법이 있음. 시설물의 안전관리에 관한 특별법에서는 시설물의 규모를 기준으로 대형 시설물을 1·2종으로 구분하고, 그 이하 시설물은 재난 및 안전관리 기본법에 의한 특정관리대상으로 구분하여 관리함
- 시설물의 안전관리에 관한 특별법상 관리 대상시설은 약 6만 5천개로, 해당 시설물은 한국시설안전공단 또는 진단기관에서 정밀점검 또는 정밀안전진단을 실시함
 - * 시설물의 규모 및 특성에 따라 1종 시설물과 2종 시설물로 구분되는데, 1종 시설물은 공중의 이용편의와 안전을 도모하기 위하여 특별히 관리할 필요가 있거나 구조상 유지관리에 고도의 기술이 필요한 시설이고, 2종 시설물은 1종 시설물 이외의 시설물이 포함되며 일반적인 유지관리 및 안전점검이 필요한 시설
 - * 1종 시설물에는 교량, 터널, 항만, 댐, 건축물, 하천, 상수도가 포함된 7가지, 2종 시설물에는 교량, 터널, 항만, 댐, 건축물, 하천, 상수도, 도로·철도·항만·댐 또는 건축물의 부대시설로서 옹벽 및 절토사면이 포함

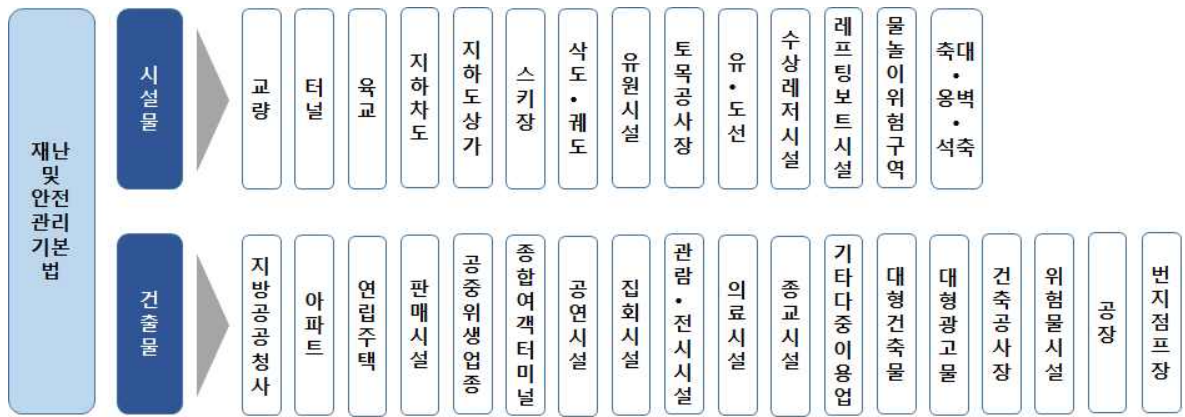


그림 2-78. 시설물의 안전관리에 관한 특별법의 1·2종 시설물 범위

※ 출처 : 전남대학교 산학협력단, 시설물안전관리실태조사 및 개선방안연구(2011.10)

- 재난 및 안전관리 기본법상 규정된 특정관리 대상시설은 약 20만 9천개. 해당 시설물은 지자체 공무원 또는 담당기관 시설관리자에 의해 관리됨
 - * 특정관리대상 시설은 시설물의 유형에 따라 시설물분야와 건축물분야로 구분됨. 시설물은 도로시설, 지하도상가, 스키장, 삭도·케도, 유원시설, 토목공사장, 수상안전시설, 물놀이 위험구역, 축대·옹벽·석축으로 구성되고, 건축물은 지방공공청사, 공동주택, 다중이용 건축물, 대형 건축물, 대형광고물, 건축 공사장, 위험물시설, 공단, 신종업종으로 구성
 - * 시설물의 안전관리에 관한 특별법과 중복되는 일부 시설물은 제외되는데, 시설물분야에서 도로시설은 지방

자치단체 관리구간에 국한되며, 시설물의 안전관리에 관한 특별법 대상 시설물은 제외됨



그림 2-79. 재난 및 안전 기본법의 특정 관리대상 시설의 범위

※ 출처 : 전남대학교 산학협력단, 시설물안전관리실태조사 및 개선방안연구(2011.10)

표 2-51. 재난 및 안전관리 기본법과 시설물의 안전관리에 관한 특별법의 기본사항 비교

구분	시설물의 안전관리에 관한 특별법	재난 및 안전관리 기본법
소관	국토해양부 - 한국시설안전공단	행정안전부 - 소방방재청
시설관리 책임기관	시설물 관리주체 소유자 - 공공관리주체, 민간관리자	시설물 관리주체 소유자 - 공공관리주체, 민간관리주체
지정관리	시설규모와 특성에 따라 1,2종 구분 지정·관리	시설물의 규모와 특성에 따라 지정·관리(지정대상)
대상시설물 구분	시설물 - 1·2종 시설물	특정관리대상시설 등 - 건축물 및 시설물
대상시설물 점검	관리주체(소유자)가 안전점검 및 정밀안전진단지침에 의한 점검	재난관리책임기관이 재난위험시설 및 중점관리대상시설 관리·점검
안전점검 실시자	관리주체 또는 안전진단전문기관 및 유지관리자	담당공무원 및 민간 전문가
안전점검 지침	안전점검 및 정밀안전진단 세부지침	특정관리대상시설 등 지정·관리지침
안전점검 실시주기	정기점검: 반기 1회 이상 정밀점검: 2년 1회 이상 정밀안전진단: 10년 경과 후 1년 이내 긴급점검: 필요시	정기점검 - 재난위험시설: 월 1회 이상(E등급 2회) - 중점관리대상시설: 반기 1회 이상 수시점검: 필요시
대상시설물 안전등급	안전시설물: A~C등급 취약시설물: D~E등급	중점관리대상시설: A~C등급 재난위험시설: D~E등급
관리시스템	FMS	NDMS
결과조치	점검결과에 따라 관리주체가 안전조치 관리주체는 시설물의 중대한 결함이 있을시 관계 행정기관의 장에게 통보 및 조치	재난관리책임기관에 안전조치에 대한 명령권한 부여 안전조치를 통보받은 관리주체는 안전조치 실시 안전조치 결과를 재난관리책임행정기관에 통보

※ 출처 : 전남대학교 산학협력단, 시설물안전관리실태조사 및 개선방안연구(2011.10)

○ 【국가별 시설물 유지관리 및 안전점검 지침 비교】

표 2-52. 국내외 시설물 유지관리 및 안전점검 정책 현황

구분	미 국	영 국	일 본	한 국
관련 규정	-교량유지관리지침 (1968년 제정)	-안전에 관한 법률 · 교량검사지침 · 교량 및 시설물 평가지침	-관리주체별, 시설물별 지침 ※'88년 점검실시 방법 통일(국토교통성 토목 연구소)	-시설물의 안전관리에 관한 특별법 · 안전점검 및 정밀안전진단 지침 (세부지침)
관리 조직	-중앙 : 교통성 연방도로국 (FHWA) -지방 : 주정부 지역 사무소 (DOT)	-중앙 : 교통부 교통국 -지방 : 지방 자치단체, 지역/도시 사무소	-중앙 : 국토교통성 도로국 -지방:도로별 관리주체 · 도로공단 · 고속도로 공단	-중앙 : 국토해양부 -지방 : 시설물별 관리주체
점검 및 진단 실시 시기	-2년1회 정기점검	-2년1회 정기점검 -6년1회 정밀안전진단	-정기진단 통상점검 · 1년에 1회 정기점검 · 5년에 1회 정밀안전진단 -특별진단	-안전점검 · 정기점검:1년2회 · 정밀점검:1~4년 1회 긴급점검필요시 -정밀안전진단:4~6년1회
점검 및 진단 실시자	-지역사무소 교량조사팀 ※특별한 경우 안전점검 전문업체	-지역/도시사무소 소속 기술자	-도로공단, 고속도로공단 소속 기술자 -국가연구소 ※필요시 민간업체	-점검· 관리주체 자체시행 · 유지관리업체 · 안전진단 전문가(민간) -정밀안전진단 · 안전진단 전문가(민간), 한국시설안전공단

○ 우리나라는 시특법에 따른 유지관리체계는 정밀안전진단 등을 근거로 개별 시설물에 대해 안전등급을 산정하고 이를 통해 보강방안을 제시하는 프로세스로 진행되고 있음.

- 시설물 군별 대표등급 산정에 대한 프로세스는 제시하지 못해, 군별 순위에 대한 근거 부족으로 통합형 예산배정 불가능
- 시설물의 안전상태 평가 및 개선에 초점을 맞춘 관리체계로 노후화에 따른 유지보수 수요 예측이 어렵고, 대응적 유지관리 체계로 인한 예산분배로는 향후 증가될 SOC 노령화에 대비한 효율적 투자우선순위, 투자규모 제시 불가
- 또한, 자연재해에 강한 사회기반시설 정비, 사회기반시설의 고령화 대비, 지능형 안전 및 유지관리 모색을 위한 기술개발을 시도하고 있으나, 우리나라는 선진 외국과 달리 체계적은 로드맵 및 추진전략을 마련하고 있지 못함
- 관련 기술개발이 체계적이고 종합적으로 진행되지 못하고 산발적인 기술개발만 이루어지고 있어 개발 기술간 상호 피드백과 시너지효과 발휘를 못함. 이로 인해 기술개발에 많은 자원이 투입됨에도 불구하고 그 성과는 미미한 실정

□ 제3차 시설물의 안전 및 유지관리 기본계획(2013~2017)

- 【제3차 기본계획의 4대전략 및 중점추진 과제】 제3차 시설물의 안전 및 유지관리 기본계획은 시설안전의 Blue화¹⁰⁾를 통한 행복사회¹¹⁾ 구현을 비전으로, 안전한 시설물·자연과 함께하는 시설물·스마트한 시설물 등 3가지를 목표로 함. 이를 달성성하기 위해 선진적 안전관리체계 확립, 국민과 함께하는 안전관리 실현, 환경변화 선제대응형 안전관리로 전환, 지능형 기술축진 및 효율화 등 4대 전략을 계획함

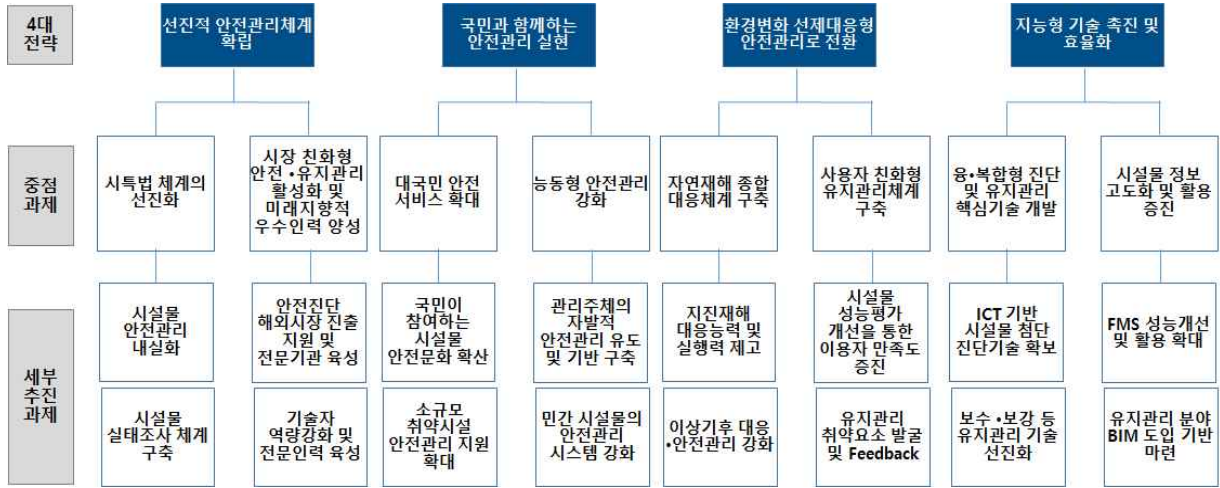


그림 2-80. 제3차 시설물의 안전 및 유지관리 기본계획 중점 추진과제

※ 출처 : 국토해양부, 제3차 시설물의 안전 및 유지관리 기본계획(2013~2017년)(2012.12)

○ 【4대 전략 세부과제 주요내용】

- 첫 번째 전략 ‘선진적 안전관리체계 확립’은 기존의 시설물 안전관리 제도, 정보관리 제도의 문제점을 보완하고 안전진단 시장의 불균형 및 기술역량 부족을 해결하기 위한 세부 추진과제 제시함

표 2-53. ‘선진적 안전관리체계 확립’ 세부 추진과제

중점과제 1-1: 시특법 체계의 선진화		
세부 추진과제	추진 배경	추진내용
시설물 안전관리 내실화	<ul style="list-style-type: none"> 1·2종 이외의 시설물(다중이용 소규모 시설, 문화재, 방음벽 등)에서 다수의 사고 발생 시설안전 전문성이 낮은 기술자의 안전점검 및 정밀안전 진단 수행으로 부실화 가능성 내포 안전점검 및 진단 전문기관에 비해 유지관리업체 등록기준이 취약하여 전문성 미흡함 	<ul style="list-style-type: none"> 1·2종 시설물 확대 조정 및 소규모 시설물 관리체계 도입 책임기술자 자격요건을 강화하고 안전점검 전문기관 등록기준 일원화를 통해 안전점검 및 정밀안전진단 기술자 전문성 강화 안전점검 등 적기 시행 및 노후 시설물 관리 강화 방안 마련

10) ‘시설안전의 Blue화’는 Safe, Sustainable, Smart 시설물 안전 및 유지관리로의 전환을 의미

11) ‘행복사회’는 시설물의 안전·사용성능이 확보되어 국민이 안심하고 유익한 삶을 누리는 복지·아전사회가 결합된 사회를 말함

	<p>고, 보수·보강공사 수주를 위해 저가로 안전 점검을 수주하는 등 부실 점검 우려</p> <ul style="list-style-type: none"> • 일부 관리주체의 경우 안전점검 및 정밀안전진단 적기 미시행 및 노후 시설물 관리 소홀 	
<p>시설물 실태조사 체계 구축</p>	<ul style="list-style-type: none"> • 시설물정보관리종합시스템(FMS)의 데이터 누락 및 검증체계 부재 • FMS에 탑재된 시설물 정보 외에 기타 정보를 수집하기 위한 체계의 부재로 시설물 안전 및 유지관리 현황 파악, 정책 수립에 필요한 관련 데이터 부족 	<ul style="list-style-type: none"> • 실태조사의 실시방안 수립 및 제도화 • 직접 방문조사를 통해 FMS 등록 자료와 실태자료 상호 비교하고, 적정성 확인 시 관리주체에게 FMS 등록인증서 발급 • 실태조사 자료를 바탕으로 '시설물 안전 및 유지관리 통계연보' 주기적 발간, 통계청 승인 획득 추진
<p>중점과제 1-2: 시장친화형 안전 및 유지관리 활성화 및 미래지향적 우수인력 양성</p>		
<p>안전진단 해외시장 진출 지원 및 전문기관 육성</p>	<ul style="list-style-type: none"> • 안전진단 시장 규모는 정체되어 있으나 안전진단전문기관은 매년 증가하고 있어 해외 시장 진출 필요하나, 진출 시도 기업들 현실적 어려움 직면 • 안전진단전문기관 564개사 중 130개사는 수주 실적이 없고, 상위 22개사가 전체 수주액의 50% 이상 독점하는 시장구조 불균형 발생 	<ul style="list-style-type: none"> • 정부차원의 지원 방안 마련을 통해 안전진단전문기관의 해외시장 진출 활성화 추진 • 안전진단전문기관 등록기준 조정, 우수 및 적극 활동 전문기관 육성, 부실 및 미활동 전문기관의 퇴출 유도
<p>기술자 역량강화 및 전문인력 육성</p>	<ul style="list-style-type: none"> • 안전 및 유지관리 업무에 요구되는 기술수준 매우 높으나 기술자의 역량은 매우 미흡하고, 책임기술자에 대한 최초 1회(70시간) 의무교육 이외에 의무교육 프로그램 부재 • 열악한 근무환경에 따른 기술자의 잦은 이직으로 기술력 축적 및 기술전수 미흡 	<ul style="list-style-type: none"> • 온라인 심화교육 프로그램 및 콘텐츠 개발·운영을 통해 안전 및 유지관리 기술자 역량 강화 • 온라인 원격 교육 프로그램과 지식공유 커뮤니티 마련하여 부족한 전문성 보완

※ 출처 : 국토해양부, 제3차 시설물의 안전 및 유지관리 기본계획(2013~2017년)(2012.12)

- 두 번째 전략 '국민과 함께하는 안전관리 실현'은 기존에 관리가 미흡했던 소규모 시설물 및 민간시설물에 대한 제도를 개선하고, 시설물 관리 주체 및 국민들의 안전의식 개선을 위한 세부 추진과제 제시함

표 2-54. '국민과 함께하는 안전관리 실현' 세부 추진과제

중점과제 2-1: 대국민 안전 서비스 확대		
세부 추진과제	추진 배경	추진내용
국민이 참여하는 시설물 안전문화 확산	<ul style="list-style-type: none"> • 양호한 시설물의 안전도와 달리 국민들은 시설물 안전 상태에 대한 막연한 불안감 존재 • 시설물 안전 및 유지관리 실태를 국민에게 알려 안전의식 향상시키기 위한 노력 미흡 	<ul style="list-style-type: none"> • 국민신고 확대, 시설안전 모니터링 참여 기회 부여 등 국민 참여를 통한 안전문화 확산 • 점검 및 진단 체험 프로그램 개발, 시설안전 체험관 설치, 시설안전 행사 개최 등 국민 체감형 안전홍보체계 구축을 통한 국민 안전인식 향상
소규모 안전 취약시설 안전관리 지원 확대	<ul style="list-style-type: none"> • 1·2종 시설물과 달리 소규모 시설물에서는 안전사고가 다수 발생 • 생활기반시설(소규모 교량, 옹벽, 비탈면 등)에 대한 안전관리 지원 및 관리주체의 재정, 인력, 인식 부족 등 소규모 시설물의 안전관리 기반 미흡 	<ul style="list-style-type: none"> • 소규모 안전취약 시설물의 안전관리 지원 대상으로 추가, 장기적 관점의 안전관리 정착화 로드맵 작성을 통해 안전관리 지원 기반 마련 • 공단·업계 협력을 통해 안전점검 서비스 제공 및 진단기술 지원을 확대하고 소규모 시설물에 대한 안전관리 매뉴얼을 마련하고 관련자 교육 등을 통해 안전관리 지원 체계화
중점과제 2-2: 능동형 안전관리 강화		
관리주체의 자발적 안전관리 유도 및 기반 구축	<ul style="list-style-type: none"> • 안전·유지관리 예산 및 인력투입 동기 부족으로 수동적으로 시특법에 정한 최소한의 수준의 관리 활동 시행 • 안전관리와 연계된 자산관리 개념 부족 	<ul style="list-style-type: none"> • 시설물 안전등급 인증제도, 우수 시설물 관리주체 지정제도 등 자발적 안전관리 유도를 위한 제도 도입 • 시설물 관리수준 결정 등에 활용하기 위한 자산관리 가이드라인 작성·보급 등 자산관리 도입 기반 구축
민간 시설물의 안전관리 시스템 강화	<ul style="list-style-type: none"> • 민간 시설물은 1·2종 시설물 중 비중이 매우 크고(70.5%), 국민 밀착 시설이 대부분이어서 안전관리 중요 • 민간 관리주체의 안전관리 인력 및 의식 부족하여 노후·불량 시설물 누적 • 민간 관리주체의 안전·유지관리 활동에 대한 관리·감도 미흡 	<ul style="list-style-type: none"> • 민간 관리주체 안전의식 제고를 위한 교육 실시 • 민간 관리주체 안전관리 이행실태 점검 실시 • FMS 기능개선 등을 통한 효율적인 관리·감독 방안 마련

※ 출처 : 국토해양부, 제3차 시설물의 안전 및 유지관리 기본계획(2013~2017년)(2012.12)

- 세 번째 전략 '환경변화 선제대응형 안전관리로 전환'은 지진, 폭설과 같은 자연 자연

재해 및 이용자의 사용성에 대한 고려가 부족했던 기존의 안전 및 유지관리 제도의 개선과 기술의 개발 그리고 유지관리와 설계·시공의 환류체계 구축을 위한 세부 추진 과제 제시함

표 2-55. ‘환경변화 선제대응형 안전관리로 전환’ 세부 추진과제

중점과제 3-1: 자연재해 종합 대응체계 구축		
세부 추진과제	추진 배경	추진내용
지진재해 대응능력 및 실행력 제고	<ul style="list-style-type: none"> 전 세계적으로 대규모 지진이 빈번함에 따라 우리나라도 대규모 지진이 발생할 가능성이 커지고 있음 시설물 복구를 위한 매뉴얼, 각종 내진관련 기준 등 대규모 지진에 대한 대비태세 미흡 	<ul style="list-style-type: none"> 시설물 내진기준 강화를 위한 관계법령 개정, 위기대응 매뉴얼 개선을 통해 지진대응체계 구축 시설물 종류별 내진성능목표를 재설정, 최신 설계기술을 반영한 내진설계기준 마련 등 시설물 내진기준 재정비
이상기후 대응 안전관리 강화	<ul style="list-style-type: none"> 기상이변으로 인한 자연재해 증가로 시설물 피해규모 확대 기존의 시설물의 내풍·내설 성능평가 기준 부재로 바람, 폭설에 의한 피해 사전예방 곤란 	<ul style="list-style-type: none"> 내풍·내설 성능평가방안 법제화 및 내풍·내설 성능부족 시설물 보강방안 법령으로 명문화 시설물별 특성이 반영된 내풍·내설 평가 기준 및 기법 개발·적용
중점과제 3-2: 사용자 친화형 유지관리체계 구축		
시설물 성능평가 개선을 통한 이용자 만족도 증진	<ul style="list-style-type: none"> 시설물의 사용성능 측면의 안전관리에 관한 관심 증가 기존의 시설물 평가는 구조안전 및 내구성능 위주로 평가하여 진동·소음 등으로 인한 이용자 불안감 해소 곤란 현재 시설물 사용성능 평가 실시하고 있으나 평가절차, 항목 및 기준 부재로 실질적으로는 평가 미실시 	<ul style="list-style-type: none"> 시설물의 구조안전 및 내구성과 사용성능을 종합적으로 평가할 수 있는 사용성능 평가제도 마련 시설물별 특성이 반영된 평가기준 및 기법 개발 사용성능 부족 시설물에 대한 보강방안 마련
유지관리 취약요소 발굴 및 Feedback	<ul style="list-style-type: none"> 설계·시공 시 유지관리 취약요소 및 불편사항 고려 미흡 선진국과 달리 우리나라는 유지관리 취약요소 및 불편사항이 설계·시공에 반영되는 환류체계 부재 	<ul style="list-style-type: none"> 유지관리 불편사항 및 취약요소를 설계 및 시공 시 반영토록 하는 규정 마련 유지관리 특성과 불편사항 및 취약요소를 고려한 설계 및 시공기준의 작성 및 보급 유지관리 불편사항 및 취약요소의 발굴 및 DB화

※ 출처 : 국토해양부, 제3차 시설물의 안전 및 유지관리 기본계획(2013~2017년)(2012.12)

- 네 번째 전략 '지능형 기술 촉진 및 효율화'는 시설물의 안전 및 유지관리 기술의 개발 및 업무의 효율화, 관련 정보 활용의 고도화를 위해 ICT, BIM 등과 같은 첨단 기술을 접목한 세부 추진과제를 제시함

표 2-56. '지능형 기술 촉진 및 효율화' 세부 추진과제

중점과제 4-1: 융·복합형 진단 및 유지관리 핵심기술 개발		
세부 추진과제	추진 배경	추진내용
ICT 기반 첨단 진단기술 확보	<ul style="list-style-type: none"> 현장 조사내용을 야장 및 도면에 기록, 사무실에서 PC입력, 자료 정리 및 보고서 작성 등 시설물 점검 및 진단 업무에 비효율적임 점검·진단의 효율화를 위해 ICT 기술의 접목이 일부 시도되고 있으나, 적용대상성과 미흡 기술자 부족, 감점·진단의 위험개소 접근성 개선을 위한 진단장비개선 및 효율성정밀도 향상 요구 증가 적정 진단장비 활용을 위한 기준 부재로 장비 선정 어려움 	<ul style="list-style-type: none"> 모바일 현장조사, 웹기반 시스템을 개발하여 점검 및 진단 업무 프로세스의 효율성 증대 6T(IT, NT, BT, CT, ET, ST) 기술 융복합화를 통한 진단기술 첨단화·효율화 방안 연구 기존 진단장비의 적용성 및 한계 정보를 DB화, 진단장비 개발의 마스터플랜 수립하여 진단장비 개발 및 효율적 활용방안 마련
보수·보강 등 유지관리 기술 선진화	<ul style="list-style-type: none"> 성과위주 SOC 투자로 인한 노후화 및 내구연한 감소로 성능보완 및 수명연장을 위한 경제적 부담 증가 초래 시설물 장수명화를 위해서는 잔존수명을 정확히 예측하고 적절한 최신의 보수·보강 기술 적용해야 하나 관련 기술수준 낮음 보수·보강 관련 기준 미흡으로 관리 주체의 전문성 부족을 보완하기에 부족 	<ul style="list-style-type: none"> 잔존수명 평가 및 예측 기술과 자가 진단형 보수·보강 기술 개발을 통해 시설물 장수명화 유도 보수·보강 공법, 비용, 성능평가 결과에 대한 DB화를 통해 시설물 유지관리 유형별로 의사결정 지원체계 마련 보수·보강 설계기준 및 시공 지방서를 수정·보완하여 관리주체의 전문성 부족 해소
중점과제 4-2: 시설물 정보 고도화 및 활용 증진		
FMS 성능개선 및 활용 확대	<ul style="list-style-type: none"> 1·2종 시설물의 정보는 FMS를 통하여 체계적으로 관리되고 있으나, 그 외의 시설물의 정보는 관리 소홀 FMS에 등록된 자료의 분석 및 통계화 기능 등 활용기술 부재로 단순 보관수준으로 관리되고, 기술자와 관리주체 업무지원 프로그램 부재로 활용 저조 	<ul style="list-style-type: none"> FMS 정보 대상 확대 FMS 자료의 속성정보를 추출·분류하는 등 자료 활용 기술 개발, 기술자와 관리주체 업무 지원 시스템을 개발하여 FMS 활용도 제고 기술자와 관리주체를 위한 정보공유 커뮤니티를 구축하여 Best Practice를 확산시키고 기술지원
유지관리 분야 BIM 도입 기반 마련	<ul style="list-style-type: none"> 최근 BIM을 이용한 3차원 정보체계로 시설물 설계·시공이 이루어지고 있으나 유지관리 업무에는 활용되지 못하고 있고, BIM을 통한 정보 표준화 및 통합 관리 미흡으로 시설물 안전 및 유지관리에 참여하는 다양한 주체 간 정보교류 미흡 현행 시설물 정보가 Text와 CAD 도면의 2차원 정보로 저장됨에 따라 시각적으로 시설물 정보 파악이 어려워 시설물 정보의 활용 미흡 	<ul style="list-style-type: none"> BIM 기술의 유지관리 분야 적용을 위한 장기 로드맵 작성, 시설물 유지관리의 BIM 기술기준 마련 유지관리 분야에 활용 가능한 BIM 표준화 모델 개발, 모바일 기반 유지관리정보 시각화 연동기술과 의사결정 모델 개발, 기존 2차원 정보 DB를 BIM기반 3차원 시각화 DB로 전환 등을 통해 시설물 유지관리에 BIM 활용

※ 출처 : 국토해양부, 제3차 시설물의 안전 및 유지관리 기본계획(2013~2017년)(2012.12)

- 【노후교량 장수명화 관련 과제】 ‘제3차 시설물의 안전 및 유지관리 기본계획’에는 노후 교량의 장수명화라는 특정 분야를 대상으로 한 세부추진과제는 존재하지 않음. 하지만 교량이 시설물이라는 범주에 포함되는 것을 고려하면 상당수의 세부 추진과제가 교량의 안전 및 유지관리관련 법/제도·운영/관리·시장·기술 개발 문제 해결과 관련 있음

표 2-57. 노후교량 장수명화 관련 세부추진 과제

구분	추진 배경	추진 방안
법/제도 문제	소규모, 민간 시설물 등 1·2종 외 시설물 관리 제도 미흡	1·2종 시설물 확대 조정 및 소규모, 민간 시설물 관리체계 마련
	책임기술자 자격요건, 안전진단전문기관 및 유지관리업체의 낮은 등록기준	자격요건 및 등록기준 강화
	책임기술자에 대한 의무교육 프로그램 미흡	온라인심화교육 시스템, 지식공유 커뮤니티 마련
	각종 자연재해·사용성·보수보강 관련 평가 체계, 기준, 방법 등 정비 미흡	해당 분야 평가 기준, 방법, 제도 마련
	유지관리 및 설계·시공 단계 간 환류체계 부재	유지관리 불편사항 및 취약사항을 고려한 설계 및 시공 제도화, 유지관리 문제 DB마련
운영/관리 문제	인력, 예산, 전문성, 인식 등의 부족으로 인한 관리주체의 수동적 안전 및 유지관리 활동	정기조사 및 시정요구 등 미시행 관리주체 이행강화방안 마련 시설물안전등급 인정제도, 우수시설물 관리주체 지정제도 등을 통해 자발적 관리활동 유도 관리주체에 대한 안전의식 교육 실시
	시설물정보관리종합시스템(FMS)의 정보 불완전성, 활용성 문제	실태조사를 통한 FMS 정보 검증, 기능개선, 관리 대상 확대
시장 문제	안전진단 시장에 다수의 영세업체 존재	사업자 선정방식개선, 재하도급 방지 등 공정성 강화 시장친화형 유지관리기관 육성
	국내 안전진단전문기관의 해외진출 어려움	정부차원의 안전진단전문기관 해외진출 지원방안 마련
기술개발 문제	ICT, BIM 등 지능형, 첨단 기술의 개발 및 성과 부족	모바일 점검 시스템, IT 등 기술 융복합화를 통한 첨단 진단기술, BIM의 유지관리 분야 활용 기술 개발
	안전 및 유지관리에 분야에 대한 SOC 투자 미흡	잔존수명 평가, 보수·보강기술 등 시설물 장수명화 기술 개발

※ 출처 : 국토해양부, 제3차 시설물의 안전 및 유지관리 기본계획(2013~2017년)(2012.12), EON 재구성

□ 국가안전 대전단과 안전산업 발전 방안

- **【국가안전 대전단과 안전산업 발전 방안의 기본 방향】** 국가안전 대전단과 안전산업 발전 방안의 기본 방향은 크게 2가지로 전 ‘국민의 참여하에 사회 전 영역을 점검하는 대한민국 안전 대전단 실시’와 ‘안전 대전단을 통해 국가안전수준을 업그레이드하는 동시에, 새로운 먹거리 산업으로써 안전산업 육성기반 마련’이 그것임
 - ‘**‘사회 전 영역을 점검하는 대한민국 안전 대전단 실시’**, 즉 ‘국가 안전 대전단’은 정부 중심의 부분적 안전진단에서 탈피해 민간의 창의와 집단지성을 활용하는 ‘국민 참여형 모델’로서 참여도 제고를 위해 스마트폰 App 등 우리나라의 강점인 ICT 기술을 최대한 활용, 중앙-지방간 협력체계를 구축하여 현장 중심의 즉각적인 대응에 초점을 맞추고 있음
 - ‘**‘안전 대전단을 통해 국가 안전수준을 업그레이드하는 동시에, 새로운 먹거리 산업으로써 안전산업 육성기반을 마련’**, 즉 ‘안전산업 발전 방안’은 안전산업의 시장기반 확대를 목표로 시설물 보수·보강 수요로 공공과 민간의 투자 유발, 안전서비스 분야의 일자리 창출, 불합리한 기준 정비 등 안전 관련 법·제도 선진화에 초점을 맞추고 있음

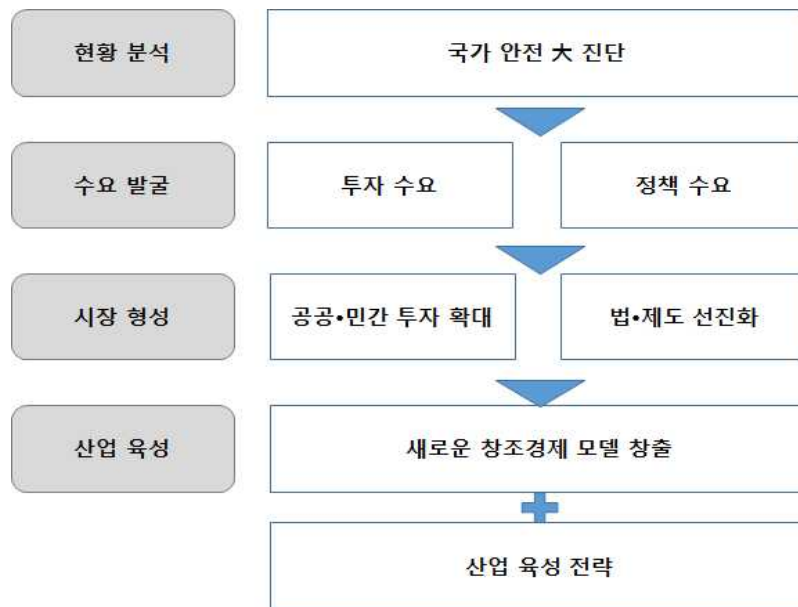


그림 2-81. 국가 안전 대전단과 안전산업 육성체계
 ※ 출처 : 국민경제자문회의, 국가 안전 대전단과 안전산업 발전 방안(2014.08)

- **【국가 안전 대전단 추진 방법】** ‘국가 안전 대전단’ 추진 방법으로는 민관 합동 안전 대전단 T/F를 구성, 국민 생활과 직결되는 안전 전 분야를 Matrix로 Cross-check할 수 있도록 구상하였으며 정보 수집을 위해 기존의 안전 App를 모두 활용하고, 신고 편익에 맞춘 채널도 총동원하는 방안이 제시됨

표 2-58. 국민 참여 국가 안전 대전단 추진 방법

구분	추진 방법
진단주체	국민참여를 통한 '집단지성'활용: 신고·제안 중심의 Bottom-up 방식 민관 합동 안전 대전단 T/F구성: 진단·권고 위주의 Top-down 방식
진단대상	국민 생활과 직결되는 사회 안전 전 분야를 Matrix로 Cross-check - 시설별: 교량, 건축물, 교통수단 등 - 대상별: 시설·수단별 종사자, 여성·노인·장애인·아동 등 - 상황별: 화재, 재해, 재난 등
정보수집	신고 편의를 위해 중앙·지방 정부의 안전 App, SNS 등 모든 채널 활용 - 전화, 스마트폰 App(안전디딤돌 등), PC 홈페이지, SNS 등 정보 수집
결과도출	빅데이터 기반 데이터 분석 모델 적용 - 사업의 우선 순위 도출, 예산 산정 기초 마련 및 법·제도 개선 반영 - 대전단 전 과정을 '국가 안전 백서'로 발간
파생효과	안전 현장조사, 진단 등 양질의 사회적 일자리 창출 시설 진단·유지보수 사업, App·시스템 개발 등 ICT분야 관련사업 수요 확대

※ 출처 : 국민경제자문회의, 국가 안전 대전단과 안전산업 발전 방안(2014.08)

표 2-59. 국민 참여 국가 안전 대전단 세부 추진 과제

구분	세부 추진 과제
안전 대전단 T/F 구성	민관 합동(공동위원장)으로 안전행정부 또는 국가안전처 중심으로 운영 대전단 기본계획 수립 및 홍보, 진행상황 모니터링, 분야별 제도개선 권고 등
중앙·지방간 협업체계 구축	중앙: 안전행정부 안전관리본부(총괄), 각 부처 상황실 구성·운영 지방: 시도 및 시군구 현장기동반 구성·운영
인력/예산	인력: 소요 산정 후 중앙(직제 개정) 및 지방(지자체 인력)에 반영 예산: 중앙(예비비 및 특별교부세), 지방(자체 자원) 활용
시스템 연계·운영 및 통합시스템 구축	(14년) 기존 중앙부처 및 지자체별로 산재된 21개 프로그램 간 연계망 구축 - (예) 생활불편스마트신고(안행부), 안전디딤돌(소방방재청), 서울안전지킴이(서울시) 등 (15년 이후) 일회성이 아닌 국가 아젠다로 지속 추진하기 위한 ICT기반 '안전진단 통합시스템' 구축

※ 출처 : 국민경제자문회의, 국가 안전 대전단과 안전산업 발전 방안(2014.08)

- **【안전산업 발전을 위한 5대 과제】** 우리나라 안전산업은 높아진 안전욕구를 산업발전의 기회로 활용할 수 있는 경제적 기반 취약한 상태임. 수요측면에서 보면 공공 SOC 투자는 신규투자 중심으로 유지관리 지출이 미흡하고, 공공부문에 비해 민간 부문의 역할이 제한적이고, 민간수요는 법규가 정한 최소한의 기준을 맞추는 수준으로 시장이 정체되어 있음. 공급측면을 보면 투자 부족으로 안전 기술수준이 낮고 전문 인력도 부족하며, 자금력과 마케팅 역량이 부족한 영세기업 중심의 산업구조임. 이런 국내 안전

산업의 취약점과 특성을 감안해 선도적 공공투자 및 제도 개선으로 시장을 형성하고 전략적인 산업육성 필요

- 안전산업 육성과제는 크게 5가지로 먼저 수요적 측면에서 시장 형성 촉진을 위한 공공 투자와 민간의 참여 확대, 글로벌 수준의 제도 선진화 및 법적 책임강화 요구 등이 제시됨. 공급 측면에서의 산업 역량 강화를 위해서는 연구개발 투자 확대와 인력 양성, 안전 신상품, 서비스 및 시스템 개발과 해외 진출 지원, 그리고 금융·보험 활성화 과제가 제시됨

표 2-60. 국가 안전투자와 안전산업 육성 5대과제 세부 내용

수요 측면: 시장 형성 촉진			
5대 과제	세부과제	현황	대책
공공투자 와 민간투자 유도	선도적 공공 투자 신규투자 유발	<ul style="list-style-type: none"> • 1970년대 SOC 건설 집중, 30년 이상 경과 시설이 다수 • 신규투자 중심으로 유지·보수 투자 소홀 	<ul style="list-style-type: none"> • 양적 확대와 질적 개선 병행: 사후 복구, 비상대응 → 사전예방, 일상관리 • 안전투자 예산 규모를 획기적으로 확대 - 안전 진단단 결과를 최우선적으로 반영하고 시설의 유지·보수 투자 비중 확대 • 학교 등 사회·생활기반시설물에 우선 투자
	민간 투자의 적극 활용	<ul style="list-style-type: none"> • 시설 유지·보수 관리에 필요한 자원, 인력 등을 공공부분 지원으로만 충당하는데 한계 	<ul style="list-style-type: none"> • 기존 시설은 RTO/RTL, 신규 시설은 BTO/BTL 등으로 민간투자 활용 • 안전관련 진단·교육 등 서비스 분야에 민간기업의 참여 촉진
제도 선진화 및 법적 책임 강화	안전기준 ·규제 정비	<ul style="list-style-type: none"> • 글로벌 수준과 동떨어진 기준·규제로 인해 수요 창출 등 사업 기반 조성에 걸림돌 	<ul style="list-style-type: none"> • 안전기준을 글로벌 기준에 맞추되, 점진적 도입을 통해 국내 기업의 수용성 제고 - 시설·제품·서비스에 대한 안전기준을 점검·보강 - '안전등급제' 적용 확대·공시 의무화를 통해 소비자 선택권 강화 및 안전기술 인증절차 간소화 • 제2차 정상화 과제와 연계, 안전 관련 규제에 대한 지속적인 점검 및 개선
	법적 책임 강화	<ul style="list-style-type: none"> • 안전에 대한 인식부족과 법적 책임 미흡으로 안전투자에 소홀 	<ul style="list-style-type: none"> • 안전 관련 법규의 실행력 제고 • 안전 불감증 개선을 위한 징벌적 손해배상제도 도입 검토
공급 측면: 산업역량 강화			
R&D 확대와 인력 육성	안전산업 관련 R&D 확대	<ul style="list-style-type: none"> • 정부의 안전 R&D 지원은 소규모, 단기과제 중심으로 산업화 관점 미흡 • 안전기술에 대한 체계적인 분류 시스템 미비 	<ul style="list-style-type: none"> • 안전 R&D 투자 확대 • 산업 관점에서 센서, ICT융합, 생활안전 등 핵심기술에 대한 확대 • 안전 관련 별도의 기술(산업)분류체계 구축을 통해 국가 R&D사업 기획·관리에 활용
	전문 인력 양성 및 교육 강화	<ul style="list-style-type: none"> • 전문인력 수급이 체계적이지 않아 양질의 인력 확보에 애로 - 시설물 유지관리업체: 4,500개에 약 10만 명이 종사하나 절반 이상 비전문가 	<ul style="list-style-type: none"> • 정부의 일자리 사업과 연계한 장·단기 인력양성 • 관련 학과, 국가기술자격 등 대학교육 및 전문기술 교육 체계 마련 • 초·중등 교육 강화 및 대국민 안전교육 내실화

新 산업화와 해외진출 여건조성	안전 신상품· 서비스· 시스템 개발과 해외진출 지원	<ul style="list-style-type: none"> 자금력, 마케팅 역량 부족한 영세 내수기업 중심으로 기술혁신, 해외시장 개척 등에 한계 	<ul style="list-style-type: none"> 안전제품 공공기관 우선구매 확대 중소기업 지원형 종합 '안전랜드'설치 <ul style="list-style-type: none"> - 안전문화, 산업홍보, 재미를 결합한 체험형 테마파크로 신제품 테스트베드로 활용 경제협력사업 등을 통한 개도국 진출지원 해외인증 획득 지원 및 수출상담회 등 개최 <p>⇒ 우리나라의 강점인 ICT 기술과의 융복합을 통해 새로운 안전 상품·서비스·시스템 등을 개발하고 이들을 패키지로 수출할 수 있는 활로 개척</p>
	대·중소, 민관 파트너십 강화	<ul style="list-style-type: none"> 영세 규모로는 글로벌 기업들과 경쟁 불가. 따라서 대기업, 공기업 등과 파트너십 필요 	<ul style="list-style-type: none"> 대·중소, 민관 공동 기술개발사업 확대를 유도 ('안전투자 펀드'우선 지원) 대기업 참여가 제한된 안전 분야에 대해 대·중소 협력방식을 통해 허용
안전 금융·보험 산업 발전		<ul style="list-style-type: none"> 안전 관련 배상책임 보험 가입은 선택 사항, 미가입시 제재규정 미비 민간 보험 시장에서 안전위험에 대한 상품 개발·공급 미흡 안전 투자를 위한 금융지원 시스템 미비 	<ul style="list-style-type: none"> 의무보험 효율성 제고를 위한 제도 개선 재난위험을 포괄 담보하는 민간 금융상품(재난보험) 도입 검토 안전투자펀드의 활용도 제고

※ 출처 : 국민경제자문회의, 국가 안전 추진단과 안전산업 발전 방안(2014.08)

- **【노후교량 장수명화 관련 과제】** 안전이라는 광범위 분야에 대한 정책이라 교량이라는 세부 분야에 대한 과제는 별도 제시되지 않았지만, 노후교량 장수명화와 안전 및 유지관리 분야의 관련성을 고려할 경우 다수의 과제들이 관련성을 보이고 있음

표 2-61. 노후교량 장수명화 관련 과제

구분	현황	대책
법/제도 문제	<ul style="list-style-type: none"> 글로벌 수준과 동떨어진 기준·규제로 인해 수요 창출 등 사업 기반 조성 문제 	<ul style="list-style-type: none"> 안전기준을 점진적으로 글로벌 기준에 맞춰 국내 수용성 제고
	<ul style="list-style-type: none"> 안전관련 법·제도 준수를 위한 비용보다 미이행에 따른 범칙금 및 손해배상액 과소 	<ul style="list-style-type: none"> 안전관련 법규의 실행력 강화
운영/관리 문제	<ul style="list-style-type: none"> 시설 유지·보수 관리에 필요한 자원, 인력 등을 공공 부분 자원만으로 조달하는데 한계 존재 	<ul style="list-style-type: none"> 민간투자 적극 활용
시장 문제	<ul style="list-style-type: none"> 안전시장은 영세한 내수기업 중심으로 기술혁신, 해외진출, 글로벌 기업과의 경쟁 어려움 	<ul style="list-style-type: none"> 중소기업 지원형 종합 '안전랜드' 설치(신제품 테스트베드 활용) 경제협력 사업을 통한 개도국 진출 지원 해외인증 획득 지원 및 수출상담회 등 개최 대·중소, 민관 공동 기술개발사업 확대를 유도
	<ul style="list-style-type: none"> 양질의 전문 인력 확보에 애로 	<ul style="list-style-type: none"> 관력 학과, 국가기술자격 등 대학교육 및 전문기술 교육 체계 마련

기술 개발 문제	<ul style="list-style-type: none"> SOC 투자의 신규투자 중심으로 유지·보수 투자에는 소홀 	<ul style="list-style-type: none"> 양적, 질적 공공투자 확대를 통해 사후복구비상대응 개념에서 사전예방·일상관리로 전환
	<ul style="list-style-type: none"> 정부의 안전관련 R&D 지원은 소규모, 단기 과제 중심으로 산업화 관점 미흡 	<ul style="list-style-type: none"> 안전관련 R&D 확대 산업 관점에서 센서, ICT융합 등 핵심기술에 대한 투자

※ 출처 : 국민경제자문회의, 국가 안전 대진단과 안전산업 발전 방안(2014.08), EON 재구성

□ 향후 노후교량 장수명화 및 시설물 유지관리 추진 방향

- ‘제3차 시설물의 안전 및 유지관리 기본계획’과 ‘국가 안전 대진단과 안전산업 발전 방안’에서도 시설물 안전 및 유지관리에 관련된 법/제도·운영/관리·시장·기술 개발의 문제 해결을 위한 제도적 개선방안을 제시했으나, 아직까지 사전관리체계 구축이 미흡하고 노후교량을 포함한 시설물 유지관리 기술의 표준과 전문인력이 부족하며, 해외와 같이 로드맵에 기반한 체계적 기술개발이 이뤄지지 못하고 있어, 예방적 관리 차원의 인프라 평가제도 시행, 표준화 기술 개발 등이 요구됨

표 2-62. 노후교량 장수명화 및 시설물 유지관리 이슈 및 대책

구분	현황	대책
법/제도 문제	<ul style="list-style-type: none"> 현재 시설물 유지관리는 사후 유지관리(Demanded Maintenance) 위주로 하고 있어 시설물의 성능 저하 및 시각적 미관 훼손 초래함 	<ul style="list-style-type: none"> 시설물 유지관리 전문기구를 설치하여 자산가치 평가 개념(SOC시설물 가치평가, 성능평가, 미래수요 분석, 운영 및 보수, 공공 안전, 재해 복원력, 기술 표준 확립, 신기술 개발 등에 관한 정책수립 및 평가 등)를 접목한 예방적 관리 차원의 인프라평가제도 시행 필요함 일본, 미국의 경우 위험시설이 되기 전 상태에서 철저한 안전관리 및 유지관리에 의한 사전관리체계 구축하고 있음
	<ul style="list-style-type: none"> 현재 SOC 시설물의 기본 계획은 개별법에 의해 수립·집행되고 있고, SOC시설물 종합 평가 체계가 마련되지 못함. 이는 시설물 전체에 대한 유지관리 계획 수립 및 실행을 어렵게 함 	<ul style="list-style-type: none"> SOC 시설물 종합 평가체계 마련과 포괄적이고 종합적인 관점에서 인프라시설 정비 중점계획 필요
	<ul style="list-style-type: none"> 현재 산업통산자원부 중심으로 시설물 유지관리 기술 분야 한국산업표준(KS)을 개발해 왔지만 성과 미흡함 	<ul style="list-style-type: none"> 국토교통부 중심의 시설물 유지관리를 위한 표준화 기술 개발에 투자해야 함
	<ul style="list-style-type: none"> 현재 안전점검 및 정밀안전진단 점검주기는 상태등급에 의해서만 변경 가능함. 이는 관리시설의 상태 및 관리주체의 관리능력(인력, 예산 등)을 고려하지 않은 형식적 점검으로 부실화 우려 존재함 	<ul style="list-style-type: none"> 구조물의 특성 및 중요성, 구조물 관리수준 등 다양한 여건에 따라 관리 주체별로 자율성을 갖고 차등적 안전점검 실시 적용 미국, 일본의 경우 시설물의 특성에 따라 각기 다른 안전점검 실시주기를 규정하고 있음

	<ul style="list-style-type: none"> • 시특법 시행령 제5조에 의해 안전 및 유지관리계획에는 안전 및 유지관리를 위해 필요한 비용을 포함하도록 되어있고, 동법 33조에 의해 예산을 확보하도록 되어있음. 그러나 교량의 유지보수를 위한 정부예산이 SOC예산 중 도로부문에 포함되어 있어 실제로는 소요재원을 충분히 확보하지 못하고 있음 	<ul style="list-style-type: none"> • 시설물별 유지관리에 필요한 비용이 별도의 회계로 편성·관리되어 신규 도로투자액에 우선적 자원배분을 사전에 방지해 안정적인 유지·관리 필요함
<p>운영/관리 문제</p>	<ul style="list-style-type: none"> • 시특법 대상시설물에 대한 정보는 FMS에, 재난 및 안전관리 기본법 대상 시설물의 정보는 지방정부·공공부문용 각기 다른 시스템에서 관리. 이외에도 국가수자원관리종합정보시스템, 국토교통부 시설물 유지관리 시스템, 비탈면관리시스템 등 각각의 기관별로 별도의 시스템 관리해 총괄적인 통계관리 어려운 실정임 	<ul style="list-style-type: none"> • 기관별로 자체 운영 중인 시스템과 상호 정보 교환을 위한 연계인프라 구축을 통하여 통합적 관리를 할 수 있도록 제도개선 필요함
	<ul style="list-style-type: none"> • 시설물 유지보수 수요 증가에 비해 부족한 관리 인원, 중복 업무로 인한 업무 과중 • 공직의 순환보직제도 및 감리업체를 통한 감리업무 활용으로 유지관리 담당자 전문성 부족 	<ul style="list-style-type: none"> • 독립적인 전담 관리인원 충원 및 일정기간 의무근로제 도입 필요 • 미국, 일본의 경우 연방관리청, 국토교통성 소속의 관리기관이 직접 지역·지방의 안전관리 체계적으로 수행하고 있음. 이처럼 특성화·전문화된 관리기관의 규모 확대도 고려해야 함
<p>시장 문제</p>	<ul style="list-style-type: none"> • 시설물 점검·진단 시장은 발주처의 지나친 저가입찰 시행, 이면계약 난무, 덤핑현상으로 인해 기업의 초저가 투찰로 안전진단 시장 왜곡 및 시설물의 안전성 저하 초래함 • 시특법 1·2종 시설물의 경우, 진대대가의 70%미만 낙찰률이 76%에 달함 	<ul style="list-style-type: none"> • 관리감독의 강화와 함께 최저가 하한제도 등 입·낙찰제도에 대한 전면 재검토 및 보완 필요함
<p>기술 개발 문제</p>	<ul style="list-style-type: none"> • 해외의 경우 별도의 로드맵 마련하여 체계적인 유지관리 기술을 개발하고 있으나, 국내는 안전 및 유지관리에 특화된 종합적인 기술개발 없이 산발적으로 이루어지고 있어 투입대시 성과 부족 	<ul style="list-style-type: none"> • 사회기반 시설의 고령화 대비, 지능형 안전 및 유지관리 등 안전 및 유지관리에 특화된 기술개발 계획 필요함 • 제3차 시설물의 안전 및 유지관리 기본계획, 국가 안전대진단과 안전산업 육성방안에서도 안전 및 유지관리 관련 기술개발에 대한 계획이 산발적이어서, 좀 더 체계적인 기술 로드맵 제시를 통한 체계 확립이 필요함
	<ul style="list-style-type: none"> • 1989년 건설신기술인증제 도입 이후 건설 전 분야에서 714건의 신기술 개발됨. 이중 유지관리 분야 106건 해당함(6.7%). 하지만 국내의 유지관리 기술 개발은 중소기업 위주여서 기술의 성능 검증, 활용도, 경제성 등 파악이 어려움 	<ul style="list-style-type: none"> • 중소기업 단독 개발 보다는 대기업과 협력하여 공동기술 개발해 보다 많은 현장 도입 및 관리 필요함

※ 출처 : 서울과학기술대학교, 시설물 유지관리체계의 정비 및 건설기술정책 표준화 방안(2014) 외, EON 재구성

2.4.4 국내 교량 장수명화 관련 제도의 문제점 분석

- 국내 시설물 안전 및 유지관리에 관한 법령은 시설물의 안전관리에 관한 특별법, 재난 및 안전관리 기본법, 건축법, 건설기술진흥법, 산업안전보건법, 도로법, 철도안전법, 도시철도법, 농어촌도로정비법 등으로 다양. 이들을 구별하는 관점은 크게 2가지로, 사전예방 및 사후 수습·복구 체계의 관점과 법령이 적용되는 시설물 대상별 관점이 있음
- 사전예방 및 사후 수습·복구 체계의 관점은 시설물에 발생 가능한 재난을 예방하기 위한 사전예방관리체계와 재난 발생 시 복구·수습체계로 구분함
 - 사전예방관리체계는 시공 전부터 시공 완료 후 단계까지 미래에 발생할 수 있는 재난을 사전에 예방하고 재해 발생의 가능성을 줄이기 위해 마련된 법령으로 건설기술진흥법, 산업안전보건법(건설중 인적재해), 시설물별 소관법령(안전시설기준규정), 시설물의 안전관리에 관한 특별법, 재난 및 안전관리 기본법(특정대상관리 시설물) 등이 있음
 - 사전예방 관리체계 안에서도 시공 중 시설물은 건설기술관리법에 의해 관리되고, 준공 후 시설물은 시설물의 안전관리에 관한 특별법, 재난 및 안전관리 기본법에 의해 관리됨
 - 사후 수습·복구 체계는 재난이 발생 한 후 재난으로 인한 피해를 재난 발생 이전의 상태로 회복시키기 위해 마련된 법령으로 재난 및 안전관리 기본법이 있음

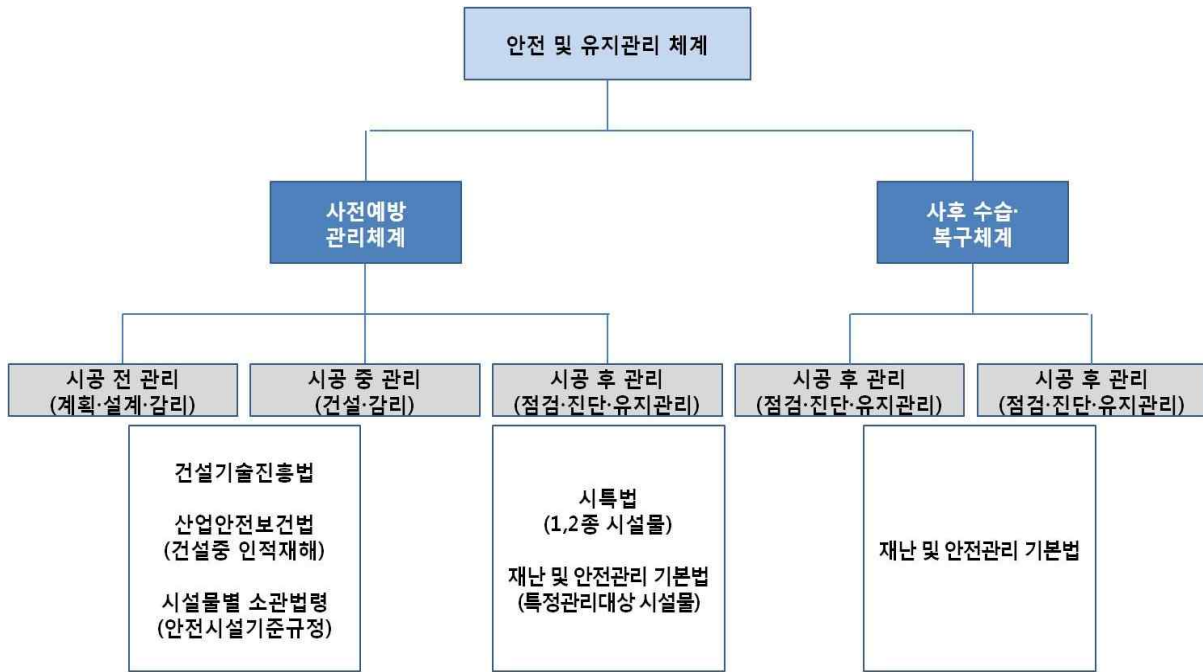


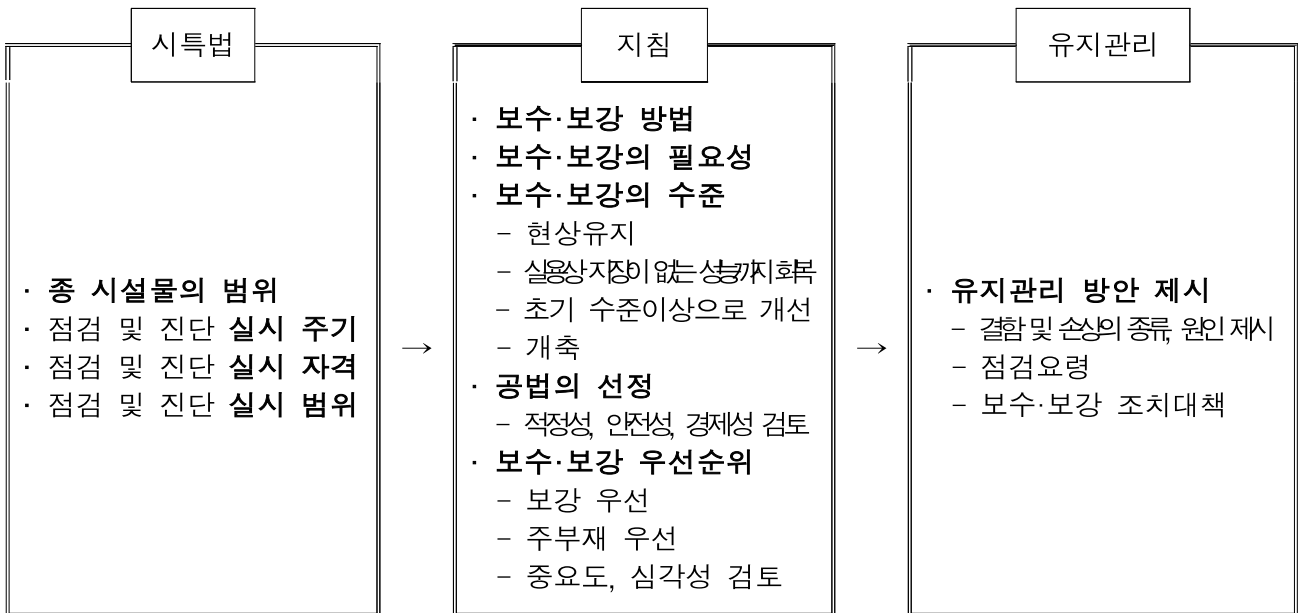
그림 2-82. 시설물 안전 관련 법체계 모식도

※ 출처 : 한국건설기술연구원, SOC시설물 성능평가기술 개발 기획 최종보고서(2014.04)

- 시설물 안전 및 유지관리에 관한 법률은 대상 시설물별로 다양하게 되어 있어, 시설물과 건축물을 1·2종 시설물, 특정관리대상 시설물, 일반건축물, 공동주택 등으로 분류

- 시특법에서 국토교통부장관은 시설물이 안전하게 유지관리될 수 있도록 5년마다 시설물의 안전과 유지관리에 관한 기본계획을 수립하여야 하며, 관리주체는 기본계획에 따라 소관 시설물별로 매년 안전 및 유지관리 계획을 수립·시행하여야 한다고 명시하고 있음
 - 기본계획에는 시설물의 안전과 유지관리에 필요한 기본방향, 필요한 기술의 연구·개발, 필요한 인력의 양성, 유지관리체계의 개발, 정보체계의 구축, 안전진단전문기관의 육성·지원, 기준의 작성·변경과 그 운영에 관한 사항이 포함됨
 - 안전 및 유지관리 계획에는 시설물의 안전과 유지관리를 위한 조직·인원 및 장비, 긴급 상황 시 조치체계, 시설물의 유지관리에 필요한 설계도서 현황, 안전점검/정밀안전진단 실시계획 및 보수·보강 계획, 유지관리 비용 등을 포함하여야 함

□ 현행제도



□ 국내 제도 문제점

- 현행 국내제도를 분석한 결과, 1·2종 시설물의 경우 보수·보강 및 유지관리에 관한 법령과 관련 기준에 선언적이지만 체계적으로 관리되고 있음
 - 제도적으로 세부지침, 매뉴얼 등을 제정 관리하고 있음
 - 1·2종 시설물을 제외한 기타 시설물에 대한 관리가 체계적으로 이루어지고 있지 않음
 - 기존 재난 및 안전관리 기본법으로 관리하고 있던 특정관리대상시설물을 국토부가 관리하고 있는 시설물 안전관리에 관한 특별법의 제3종 시설물로 편입하여 1·2종과 같이 정기적으로 안전점검을 실시하고, 중대결함 시설물에 대한 안전조치와 보수·보강 등을 의무화해 실효성 있는 안전관리체계 마련 필요

- 안전관련 용어나 기준설정이 상이하어 법체계의 적용 시 혼선을 초래 할 우려가 있음

표 2-63. 시특법과 재난 및 안전관리 기본법 비교

구분	시특법	재난 및 안전관리 기본법
관련법 소관	국토교통부	국민안전처
시설물 관리책임기관	○ 시설물관리주체(소유자) : 공공 관리주체, 민간관리주체	○ 재난관리책임기관 : 중앙행정기관, 지방행정기관, 공공단체, 주요시설물 관리기관 등
대상시설물 지정·관리	○ 시설규모와 특성에 따라 1,2종으로 구분, 상태등급(A~E급)	○ 재난관리책임기관장이 매년 일제 조사하여 지정·관리 - 중점관리대상시설 : 일제조사 및 수시조사를 통해 A, B, 등급 평가를 받은 시설과 특정관리대상시설 지정·관리지침 상에서 지정된 시설 - 재난위험시설 : 일제조사 및 수시조사를 통해 D, E등급 평가를 받은 시설
대상 시설물점검	○ 관리주체(소유자)가 안전점검 및 정밀안전진단지침에 의한 점검·진단 실시 - 정기점검 : 반기 1회 이상 정밀점검 : 2년 1회 이상 정밀안전진단 : 5년 1회 이상	○ 재난관리책임기관이 재난위험시설 및 중점대상관리시설 지정·관리 - 정기점검 · 재난위험시설 : 매월 1회 이상 · 중점관리대상 : 매반기 1회 이상 - 수시점검 : 재난관리책임기관의 장이 필요하다고 인정한 때
안전점검 실시자	○ 관리주체 또는 안전진단전문기관 및 유지관리업자	○ 관계 공무원

□ 국내의 시설물 안전 및 유지관리 분야 기술개발 동향

- 시특법 제정 이후 '96년 11개 시설물에 대한 “시설물의 안전점검 및 정밀안전진단 세부지침”을 제정하여 시설물별 기능, 안전점검 및 정밀안전진단의 실시방법과 절차 등에 관한 필요사항을 상세히 제시하여 재난을 방지하고, 안전성 및 기능성 확보 도모
 - 현행 "시설물의 안전점검 및 정밀안전진단 세부지침"에 의한 유지관리체계는 시설물의 안전진단 실시로부터 구조물의 내하성, 내구성, 사용성, 주변환경의 영향을 고려하여 안전등급을 설정하고, 그 결과에 따라 보수보강방법을 수행하는 대응적 유지관리 체계에만 초점을 맞추고 있음
 - 2013년에는 “사용성능을 고려한 시설물 안전기준 마련 방안 연구”를 통해 시설물의 안전성뿐만 아니라 진동, 소음 등 사용상 불안감과 불쾌감에 대한 안전기준 마련을 위해 사람의 편의를 고려하는 사용성 평가 검토항목을 마련하는 연구를 수행
- 자연재해에 강한 사회기반시설 정비, 사회기반시설의 고령화 대비, 지능형 안전 및 유지관리 모색을 위한 기술개발을 시도하고 있으나, 우리나라는 선진 외국과 달리 체계적 로드맵 및 추진전략을 마련하고 있지 못함

- 관련 기술개발이 체계적이고 종합적으로 진행되지 못하고 산발적인 기술개발만 이루어지고 있어 개발 기술간 상호 피드백과 시너지효과가 없어 기술개발에 많은 자원이 투입됨에도 불구하고 그 성과는 미미한 실정
- (문제점) 시트법에 따른 유지관리체계는 정밀안전진단 등을 근거로 개별 시설물에 대해 안전등급 책정을 기본으로 하고 있으며, 이를 통해 보강방안을 제시하는 프로세스로 진행되고 있음. 따라서 시설물 군별 대표등급 산정에 대한 프로세스는 제시하지 못하고 있어, 군별 순위에 대한 근거부족으로 통합형 예산 배정이 불가능함. 또한, 시설물의 안전상태 평가 및 개선에만 초점을 맞춘 유지관리체계로 SOC 고령화에 따른 유지보수 수요 예측이 어렵고, 현재의 대응적 유지관리 체계로 인한 예산분배로는 향후 증가될 향후 SOC 노령화의 대비한 효율적 투자우선순위, 투자규모 제시 불가능

□ 공용중 노후교량 장수명화 유지관리 제도화 방안

- 안전이라는 광범위 분야에 대한 정책이라 교량이라는 세부 분야에 대한 과제는 별도 제시되지 않았지만, 노후교량 장수명화와 안전 및 유지관리 분야의 관련성을 고려할 경우 다수의 과제들이 관련성을 보이고 있음
- 우리나라가 행복사회로 진입하는데 필수 전제 조건인 시설물의 안전이 확보되기 위해서는 미래의 변화 모습인 시설물(교량)의 고령화, 자연재해로 인한 피해 증가, 안전 및 유지관리 업무의 비효율성 등을 해결하기 위한 기술 마련
- 교량을 포함한 시설물 유지보수 시장 확대로 유지관리·보수보강·안전진단(계측·센서 등) 관련 기술개발 및 수요가 크게 증가할 것으로 예상되며 1·2종 시설물 외 종의 시설물에 대해서도 체계적인 유지관리 대책 마련 필요
 - 노후교량에 대한 실교량 검증은 미흡한 상태로, 지속적인 적용을 통한 개선 및 보완
 - 또한, 교량 장수명화를 위해서는 기존 기술·개발·공법을 노후교량에 활용하고 검증하여 DB화 할 필요가 있으며, 새로운 기술개발에도 이들 DB가 적극 활용 되어야 함
- 기존의 기술개발 및 R&D 투자는 유지관리, 보수보강, 안전진단 및 계측기기·센서개발 등 각각의 요소기술별로 지원되었으나, 실질적이고 효과적인 교량 장수명화를 위해서는 ICT와 융합한 새로운 기술개발은 물론 기존 기술들간 시너지 효과를 최대화 할 수 있도록 요소기술간 연계가 가능한 지속가능한 선순환 체계 마련
 - 교량의 장수명화를 위해서는 잔존수명에 대한 정확한 예측과 적정 보수·보강기술 개발이 필요하나 관련 검증 기반이 부족
 - 개발 요소기술을 연계시켜 실증할 수 있는 기반 마련과 함께 노후교량을 철거하지 않고 활용할 수 있도록 관련 정부부처·청·지자체 등과 협력 체계를 갖출 수 있는 독립된



조직(센터) 및 제도적 지원 요구

- 교량의 장수명화를 위해, 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·시행
- 이를 위해서 합리적 시설물 안전성 평가체계 구축 및 평가결과를 적정히 반영할 수 있는 피드백 체계의 구축도 병행
- 또한, 시설물의 장수명화 및 관리 효율화를 위해, 진단/보수·보강 장비를 자동화·무인화하고, 선제적 사고 예방·관리를 구현함으로써 유지관리 비용절감은 물론, 재난·재해 대응 능력을 향상시키기 위한 지능형 인프라 기술개발
- 시장 변화를 고려할 때, 현행 시설물의 안전 및 유지관리 기준을 시설물의 상태 등에 따라 보다 차별화하고, 지침, 매뉴얼 등의 연구개발을 지속하여 그 결과를 관리주체 및 유관기관에 보급 필요
- 국외의 경우 보수·보강 분야에 대한 기준 등이 개발되고 있으나, 우리나라는 우리 실정에 맞는 보수·보강 기준은 전무하며 노후화 시대를 준비하기 위해서는 조속히 관련 기준 개발 및 정비
- 특히, 보수·보강 분야에 있어서는 국제 표준에 맞는 기술 정비를 통해 기업의 해외시장 진출 기반 조성 필요

2.4.5 국내외 실증 T/B 활용 사례

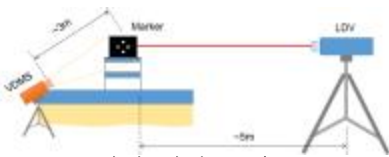
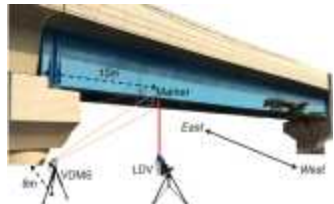
□ 국내 Test-Bed 이용 사례

변위기반 구조물 거동평가 기술개발

분야	계측/모니터링/센서		
연구 목적	구조물 형상 추정을 통한 구조물 거동평가 알고리즘 개발		
Test-Bed 사용 목적	GNSS(Global Navigation Satellite System) 시스템의 변위 계측 성능 검증		
Test-Bed 사양	<ul style="list-style-type: none"> ■ Mock-up Test(축소 Test-Bed) <ul style="list-style-type: none"> - 길이: 20m - 단면 종류: Channel단면 ■ 인천대교 4공구 구간의 나비형 주탑 강사장교 구간(공용중 교량) <ul style="list-style-type: none"> - 교량 형식: V형 주탑 강사장교 - 교량 연장: 230m - 교량 폭: 28.4m - 교량 등급: 1등교, 내진 1등급교 - 상부 형식: 강바닥판 - 주탑 재질: 강재 - 준공년도: 2009년 		
Test-Bed 실험 내용	축소 Test-bed를 이용한 알고리즘 검증	<ul style="list-style-type: none"> - 카메라, 4개의 GNSS 안테나를 실험체에 부착해 3시간 동안 거동 변위 계측 - LDVT 변위계와 와이어 변위계를 통해 계측된 데이터와 비교 및 알고리즘 	 <p style="text-align: center;"><시험체를 이용한 검증></p>
	공용중 교량에 개발 기술 적용 및 검증	<ul style="list-style-type: none"> - 총 5대의 GNSS장비를 활용하여 기준국 1개소, 교량 상 측정국 4개소를 설치해 대상구조물의 상시 거동 변위 계측하고, GNSS 기준국 위치에 따른 변위 측정 결과 분석 	 <p style="text-align: center;"><Test-Bed를 이용한 검증></p>
시사점	<ul style="list-style-type: none"> • 주파수와 거리에 대한 사전 고려 미흡으로 실제 구조물 변위에 대한 정확한 계측 실패로 인해 연구 성과의 검증은 수행은 할 수 없었음 		


※ 출처 : 고려대학교 산학협력단, 변위 기반 구조물 거동평가 기술 개발 최종보고서(2014.11)

영상 기반 변위 계측장치의 현장 적용 성능 평가

분야	계측/모니터링/센서	
연구 목적	영상기반 변위 계측 시스템(Vision-based Displacement Measurement System)의 현장 적용성 평가	
Test-Bed 사용 목적	VDMS의 변위 계측 성능 검증	
Test-Bed 사양	<p>■ 실내 Test-bed</p> <p>■ 호남고속선 강합성교(공용전 교량)</p> <ul style="list-style-type: none"> - 교량 형식: 강형교 - 견간장: 50m 	
Test-Bed 실험 내용	<p>실내 Test-bed를 통한 VDMS 성능 평가</p> <ul style="list-style-type: none"> - 테이블 위에 2층 전단구조물을 고정시킨 뒤, 그 상단에 마커를 설치 - VDMS의 성능 평가하는 기준변위의 측정을 위하여 LDV설치 후 VDMS와 LDV의 측정 변위 비교 	 <p style="text-align: center;"><실내 실험 구성도></p>
Test-Bed 실험 내용	<p>공용중 교량을 이용한 VDMS 성능 검증</p> <ul style="list-style-type: none"> - VDMS와 LDV를 이용해 KTX에 의한 변위를 4회 계측한 뒤, 얻어진 두 변위를 비교하여 현장 적용 성능 평가 	 <p style="text-align: center;"><Test Bridge 실험 구성도></p>
시사점	<ul style="list-style-type: none"> • 실외 실험을 실시하기 전 열차에 의한 진동, 바람 같은 외력에 대한 이해 부족으로 계측 오차가 발생할 수 있음을 사전에 고려하지 못함 • 공용중 교량에서 성능 검증을 위한 계측이 4회에 그침 	




※ 출처 : 울산과학기술대학교, 영상 기반 변위 계측장치의 현장 적용 성능 평가(2014.09)

RFID를 이용한 지능형 교량 유지관리 시스템 개발에 관한 연구

분야	계측/모니터링/센서	
연구 목적	유지관리 업무의 정확성 및 효율성 향상을 위해 RFID(Radio Frequency Identification)를 적용한 지능형 유지관리 시스템 개발	
Test-Bed 사용 목적	RFID의 RF전파가 교량구조물의 수신에 미치는 영향 파악	
Test-Bed 사양	■ 성동교(공용중 교량) - 위치: 성동구	
Test-Bed 실험 내용	공용중 교량 적용 실험	- 교량재료별 4개의 부재를 선정하여 일반 라벨태그와 메탈태그 2종류 부착 - 리더기와의 수신 유무, 수신거리, 방수유무, 각도에 대한 인식거리 등에 관한 실험 수행
		 <p style="text-align: center;"><공용중 교량 적용 실험></p>
시사점	<ul style="list-style-type: none"> • 전체 시스템의 현장 적용 실험은 이루어지지 않음 • 계측 기간, 수집한 데이터의 수, 태그 부착 위치 등 세부 현장 실험 방법에 대한 기술 부재 	


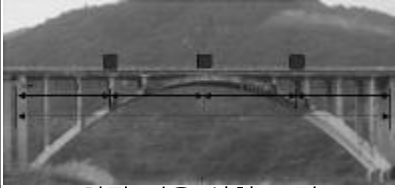
※ 출처 : 한양대학교, RFID를 이용한 지능형 교량 유지관리 시스템 개발에 관한 연구(2013.09)

철거교량을 활용한 도시시설물의 안전성 평가 기법 개발

분야	안전진단(성능평가)		
연구 목적	<p>■ 공용중 교량에 대한 성능평가 및 거동분석 등 안전성 평가기법 개발</p> <ul style="list-style-type: none"> - 교량 설계 인자들의 변동성 및 성능변화 분석 - 기존 정밀안전진단의 내하력 평가모델 개선 방안 모색 - 스마트 기법을 이용하여 구조계 거동을 고려한 교량성능평가 - 생애주기 간 교량의 안전성 평가에 대한 합리적인 기준 제시 		
Test-Bed 사용 목적	제원 실측 및 물성치 측정/재하시험/스마트 모니터링 시험		
Test-Bed 사양	<p>■ 홍제고가차도(폐교량)</p> <ul style="list-style-type: none"> - 준공년도: 1997년 - 교 장: 371m - 교 폭: 15m - 상부구조 형식: PC Beam - 하부구조 형식: T형 교각, 벽 식 교대 - 경간: 7경간 - 설계하중: DB-18 - 상태 등급: B등급 		
Test-Bed 실험 내용	교량 주요 부재별 제원·강도·긴장력 측정, 염화물 분석	<ul style="list-style-type: none"> - 철거 전·후로 스카이 크레인을 이용해 거더의 높이, 하부 플랜지, 상부 플랜지 제원 측정 - 현장에서 종류별 재료 채취 후 실험실에서 강도 측정 및 염화물 분석 시험 실행 - 현장시험에서 11개의 강선을 절단하면서 절단한 강선의 변형률 측정 	 <p><거더 인양 후 제원 측정></p>
	재하시험	<ul style="list-style-type: none"> - 휨모멘트에 의한 변형률 및 처짐이 최대가 되는 지점에 재하시험차량을 재하하여 PC 거더의 정적 처짐, 변형률 측정 - 5단계의 무게 별, 4단계의 손상단계 별 시험 실시. 각 단계에서 총 5 Set의 시험 실시 	 <p><재하시험 현황></p>
	스마트 계측	<ul style="list-style-type: none"> - 21개의 가속도계를 통해 5시간 21분간 상시가속도계측 시험 및 변형률 계측 시험 수행 	 <p><계측 전 사전 작업></p>
시사점	<ul style="list-style-type: none"> • 같은 형식의 교량을 대상으로 이뤄진 선행 연구와 결과 비교 분석 실시 • 철거 교량임에도 재하시험과 스마트 계측을 현장 여건상 하나의 경간에서만 실시 		


※ 출처 : (사)한국전산구조공학회, 철거교량을 활용한 도시시설물의 안전성 평가 기법 개발(2012.08)

교량 모니터링을 위한 스마트 무선 계측 시스템 개발

분야	계측/모니터링/센서		
연구 목적	MEMS(Micro Electro-Mechanical System)센서와 블루투스 무선 통신 모듈을 이용하여 교량 모니터링을 위한 무선 계측 시스템 개발		
Test-Bed 사용 목적	- 교량 구조물에 있어서 통신이 원활한 위치 판단을 위한 시험 - 무선 계측 시스템의 현장 적용 시험		
Test-Bed 사양	■ 공용중 교량 - 교량 형식: 강상자형 교 ■ 공용중 교량 - 교량 형식: 콘크리트 아치 교량 - 교 장: 204m - 공용 연수: 20년 이상 - 최대 경간: 60m		
Test-Bed 실험 내용	송수신 위치 시험 공용중 교량을 이용한 시스템 적용 실험	- 센서와 송수신기를 각 각 교량 상판, 하부, 상자 내부에 설치해 신호 상태 시험 - 교량 60m 구간에 한 쪽에 등간격으로 3개의 센서, 반대편의 중앙에 1개의 센서, 총 4개의 가속도 센서 설치 - 데이터는 트리거 방식으로 1mg이상 신호 측정시, 150Hz 샘플링으로 4092개의 데이터를 27.28초 동안 4개의 채널에서 동시 획득	 <송수신 시험 교량>  <현장 적용 실험 교량>
시사점	<ul style="list-style-type: none"> • 계측한 데이터의 수는 많으나 계측이 1회에 그침 • 사용한 계측기 수가 4개에 그침 		


※ 출처 : 건양대학교, 교량 모니터링을 위한 스마트 무선 계측 시스템 개발(2011.03)

상시계측 시스템과 보수/보강 신기술에 의한 교량의 성능평가 및 유지관리기법 개발

분야	계측/모니터링/센서		
연구 목적	초소형 초경량 저가의 스마트 압전센서를 이용한 구조물의 이상상태 및 국부손상 진단		
Test-Bed 사용 목적	무선 계측 시스템의 현장 구축 가능성 평가		
Test-Bed 사양	<ul style="list-style-type: none"> ■ Ramp-G 교(폐교량) ■ 한강철교(공용중 교량) 		
Test-Bed 실험 내용	폐교량 적용 시험	<ul style="list-style-type: none"> - 지점부 볼트 체결부에 압전 센서 부착 - 압전센서에서 가까운 쪽으로 순차적으로 볼트 풀림과 노치 손상을 2개씩 가함 - 무선 센서 노드를 사용하여 정상상태와 손상상태의 임피던스를 40~80 kHz 범위의 주파수 대역에서 5kHz 단위로 계측 	 <p><현장 적용 위치 및 센서, 센서 노드 장치 구성></p>
	공용중 교량 적용 시험	<ul style="list-style-type: none"> - 트러스 부재 중 교량 상판과 연결된 볼트 체결부 총 5개소에 방수 처리된 압전 센서 부착 - 2개의 압전 센서 당 무선 데이터 송신을 위한 WSN 하나씩 연결 - WSN의 상시 구동을 위해 태양전자판을 이용 - 임피던스 신호는 오전/오후 2시에 하루에 2번 계측 	 <p><센서 설치 개요></p>
시사점	<ul style="list-style-type: none"> • 시험이 서로 다른 교량에서 2회에 걸쳐 이뤄졌지만 단기 계측에 그침 • 상시 진동, 무선 데이터의 송신 안전성 등을 사전에 고려하지 못해 신호 패턴 분석 실패 • Full scale 연구 이뤄지지 않고 특정 지점에서만 계측 실행 		



※ 출처 : 한국토지주택공사 토지주택연구원, 상시계측 시스템과 보수/보강 신기술에 의한 교량의 성능평가 및 유지관리기법 개발(2011)

분리형 상부플레이트를 갖는 스페리컬(Spherical) 교량받침 설치 및 교체공법

분야	보수·보강	
연구 목적	교량 유지보수시 교량 상판의 인상을 최소화 하여 교량받침을 교체할 수 있는 공법 개발	
Test-Bed 사용 목적	개발한 분리형 오일레스 교량받침과 기존 교량받침의 교체작업시 필요한 상판 인상 높이 및 작업시간 비교	
Test-Bed 사양	■ 평천천교(공용중 교량) - 연장: 36.3m - 교량 높이: 3m - 교량 형식: 판형교	
Test-Bed 실험 내용	교체시 필요 인상 높이 및 교체작업 시간 측정	- 교대 및 교각에 설치된 기존의 선받침을 개발한 분리형 오일레스 교량받침으로 교체하면서 기존 받침의 교체시 필요한 인상 높이 및 시공 시간 점검 - 5개월 후 분리형 오일레스 교량받침에 대한 교체 시험 수행하면서 신기술 교체시 필요한 인상 높이 및 시공 시간 점검 - 교량받침 주위에 다이얼게이지를 설치해 인상높이의 변동성 정밀 측정
		 <p><교량 받침 교체 작업></p>
시사점	<ul style="list-style-type: none"> • 신기술을 적용해 유지 보수를 수행한 실교량에 대해서 공법 적용 이후에도 1년간 3차례에 걸쳐 현장 적용성 모니터링 실시 • 하지만 5개의 항목에 대한 육안검사에 그침. 또한 장기 현장 성능 검증이 이뤄지지 않은 기술을 현장 적용 후 모니터링 수행 • 실내에서 부재에 대한 안전성능 평가는 표준화된 검증 방식에 의해 이뤄지지만 현장 안전성능 검증은 표준화된 검증방식 부재 	



※ 출처 : (주)광원아이앤디, 분리형 상부플레이트를 갖는 스페리컬(spherical) 교량받침 설치 및 교체공법(2010.11)

교량 및 지반보강을 위한 스마트텐던 기술의 기술개발 및 검증 연구

분야	계측/모니터링/센서	
연구 목적	광섬유 센서가 내장된 스마트 텐던을 교량 및 어스앵커에 적용한 기술개발 및 검증	
Test-Bed 사용 목적	스마트 텐던의 실제 교량에 적용해 장력계측관리의 효율성과 적용 가능성 확인	
Test-Bed 사양	■ 60m PSC I-거더(축소 Test-Bed) - 길이: 60m - 높이: 2.7m - 강연선 제원: 직경 15.24mm PC Strand, 7연선	
	■ 40m IPC I-거더(건설 중 교량) - 길이: 40m - 높이: 1.9m	
Test-Bed 실험 내용	스마트 텐던의 60m PSC I-거더 적용시험 - 64m 스마트 텐던 4개를 배치 - 긴장장치를 이용해 최상단부터 긴장력 도입해 거더의 내부 긴장력 측정	 <p><제작된 60m PSC I-거더></p>
	스마트 텐던의 40m IPC I-거더 적용시험 - 43m 스마트 텐던 1개, LVDT 10개, 콘크리트용 변형률 게이지 5개 설치 - 긴장장치를 이용해 일방향 양단 긴장 실시해 장력 및 변위 계측	 <p><40m IPC-I-거더></p>
시사점	<ul style="list-style-type: none"> 40m IPC I-거더 적용 시험시 레진주입의 불충분, 중앙 중공킹케이블의 재료적 특성으로 인해 완전한 계측 실패 장기 계측을 실시하지 못함 	


※ 출처 : 한국유지관리(주), 교량 및 지반보강을 위한 스마트텐던 기술의 사업화를 위한 추가기술개발 및 검증 연구보고서(2010.02)

US-Korea Collaborative Research for Bridge Monitoring Testbeds

분야	계측/모니터링/센서	
연구 목적	여러 다른 종류의 센서기술을 하나의 시스템으로 통합시키는 연구	
Test-Bed 사용 목적	통합 센서 시스템의 현장 적용성 검토	
Test-Bed 사양	<p>■ 금당교 등 3개 교량(Test-bed 목적의 실험교량) - 교량 형식: 강상자형교, 강관형교, PC박스거더교</p>  <p><한국고속도로공사의 Test-road에 있는 교량></p>	
Test-Bed 실험 내용	<p>통합센서 시스템 검증</p> <ul style="list-style-type: none"> - 압전센서와 압전 페인트 센서는 강교인 윤대교, 삼승교에 적용해 국부적 피로 균열 모니터링 수행 - 변형률계, 가속도계는 금당교, 윤대교, 삼승교량에 밀도높게 설치해 무선으로 데이터 수집 - 사장교에는 EM(Elasto-Mangetic)센서와 무선 가속도계를 설치해 케이블의 장력 모니터링 수행 	 <p><센서 시스템 현장 적용성 시험></p>
시사점	<ul style="list-style-type: none"> • 한국과 미국 3개 대학 간의 학제적 연구 수행이라는 측면에서 유의미 • 향후 한국의 Test-Bed 목적 교량에서 구조 건전성 모니터링 시스템의 장기 성능검증이 이루어지고, 계측된 데이터는 국제 지능형 구조물 커뮤니티에 공유되어 학문 발전에 사용될 것으로 전망함 	


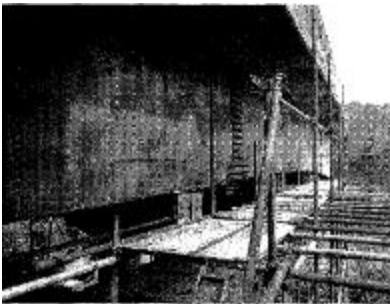
※ 출처 : KAIST 外, US-Korea Collaborative Research for Bridge Monitoring Testbeds(2010)

경량 보수모르타르와 통기성 경량 복합 보강 판넬을 활용한 콘크리트 구조물의 보수보강 공법

분야	보수·보강	
연구 목적	구조물의 장기 내구성을 향상시킬 수 있는 경량 보수 모르타르와 통기성 경량 복합 보강 판넬 및 통기성 충전 접착제 개발 및 이를 이용한 보수보강공법 개발	
Test-Bed 사용 목적	현장적용으로 시공단계에서의 구조적 안전성 평가	
Test-Bed 사양	<p>■ 은성교(공용중 교량)</p> <ul style="list-style-type: none"> - 위치: 진천군 문백면 은탄리 - 교 장: 16.2m - 교 폭: 5.52m - 경간: 2경간 - 상부구조 형식: RC 슬래브 - 하부구조 형식: 반중력식 - 준공 연도: 1991년 	
Test-Bed 실험 내용	<p>공용중 교량을 이용한 공법의 구조적 안전성 평가</p> <ul style="list-style-type: none"> - 개발한 보수·보강 공법을 적용하기 전 외관조사 및 내구성 조사 수행 - 1경간에는 개발한 보수·보강 공법을 적용하고 2경간에는 기존의 탄소섬유보강법 적용 후 외관조사 및 내구성 조사 수행 	 <p style="text-align: center;"><시공 후 재하시험 및 내하력평가></p>
시사점	<ul style="list-style-type: none"> • 부재의 통기성, 휨 강도, 압축 강도 등을 검사하는 실내 실험의 경우 표준화된 검증 방식이 존재하지만 현장 적용 시험의 경우 표준화된 검증방식 부재 • 공법의 현장 적용 후 성능에 대한 장기 모니터링 결과가 없음에도 이미 10개 이상의 구조물에 해당 기술이 시공되었음 	


※ 출처 : 매일종합건설(주), 경량 보수모르타르와 통기성 경량 복합 보강 판넬을 활용한 콘크리트 구조물의 보수보강 공법(2009.12)

신판교체 보수용접법에 의한 공용중 강교량의 보수·보강 공법 개발

분야	보수·보강		
연구 목적	공용중인 노후한 강교량의 내구성을 향상시키기 위한 신판교체 보수용접공법 개발		
Test-Bed 사용 목적	보수용접공법의 실교량에 대한 적용성 검증 및 보수·보강공법 지침서 개발		
Test-Bed 사양	<p>■ 실내 축소 Test-Bed</p> <ul style="list-style-type: none"> - 교 장: 20m - 경간: 2경간 - 상부구조 형식: 1-거더 <p>■ 서화천교(폐교량)</p> <ul style="list-style-type: none"> - 위치: 충청북도 옥천 - 교 장: 190m - 경간: 6경간 - 상부구조 형식: Steel Box Girder, PC Beam 구성의 복합교 		
Test-Bed 실험 내용	<p>실내 축소 Test-Bed를 이용한 보수용접 실험</p>	<ul style="list-style-type: none"> - 6톤 규모의 골재 및 콘크리트 블록 2개를 이용해 12톤의 하중 재하 - 하중 재하를 하면서 개발한 보수·보강 공법을 적용 - 보수용접면으로부터 120mm 떨어진 위치에서 응력 측정 - LVDT를 하부플랜지 하단에 설치해 절단 및 용접에 따른 처짐량 측정 	 <p><모형교량에 보수용접 적용></p>
	<p>폐교량 이용한 보수용접 실험</p>	<ul style="list-style-type: none"> - 공용중 상태를 구현하기 위해 덤프트럭 운행으로 활하중을 재하 하여 보수 용접 수행 - 보수 용접 후 정하중을 재하해 응력 및 변형을 측정하여 활하중의 응력 및 변형과 비교 - 보수용접면으로부터 400mm 떨어진 위치에서 응력 측정 - LVDT를 하부플랜지 하부에 설치해 절단 및 용접에 따른 처짐량 측정 	 <p><폐교량에 보수용접 적용></p>
시사점	<ul style="list-style-type: none"> • 현장 적용 후 장기간 검증, 공용중 교량 적용 성능검증 수행하지 못함 • 사용한 계측기의 수, 계측기 부착위치에 대한 기술이 부재함 		


※ 출처 : 중앙대학교, 신판교체 보수용접법에 의한 공용중 강교량의 보수·보강 공법의 개발(2006.01)

PSC 합성거더교량의 파괴실험

분야	안전진단(성능평가)		
연구 목적	PSC 합성거더 실교량의 비선형단계에서의 거동에 대한 연구		
Test-Bed 사용 목적	PSC 합성거더교량에 극한하중 단계까지 재하를 통해 교량의 전체적 거동 및 각 구조부재의 특성 설명		
Test-Bed 사양	■ 서진 3교(폐교량) - 교 장: 351m, 교 폭: 9.6m - 교량 형식: PSC 합성거더 - 경간: 12경간		
Test-Bed 실험 내용	폐교량을 이용한 파괴실험	- 재하위치는 한 거더에 2지점씩 2개 거더에서 수행 - 재하 방식은 파괴하중까지 재하하는 것은 불가능하나 직접 제어가 가능한 반력을 이용한 재하 방식과, 반복재하는 불가능하나 파괴하중까지 재하가 가능한 직접재하 방식 2가지 사용 - 약 440톤까지 재하 수행 - 교량의 거더, 격벽, 슬래브 등에 변형률 게이지와 LVDT, 경사계, 균열 게이지 등을 설치	 <서진 3교>
시사점	<ul style="list-style-type: none"> • 사용한 계측기의 수, 부착 위치 등에 대한 상세한 설명은 부재함 • 거더 2개만을 대상으로 실험. full-scale의 실험은 이루어지지 않음 		

※ 출처 : 서울대학교, PSC 합성거더교량의 파괴실험(2000.10)

국도상 노후교량의 성능개선기법 개발에 대한 연구

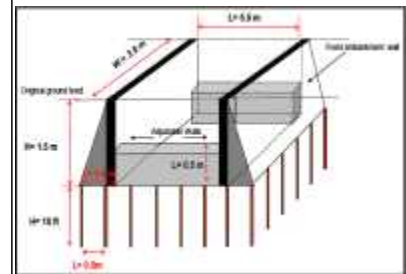
분야	안전진단(성능평가), 보수·보강		
연구 목적	국도상 성능이 저하된 교량의 성능개선 방안의 수립		
Test-Bed 사용 목적	실교량의 파괴실험을 통해 현재 사용중인 공용하중 계산법 및 비파괴 시험법인 충격반향기법의 타당성 검증		
Test-Bed 사양	■ 폐교량 - 교량 형식: 철근콘크리트 슬래브교 - 경간: 5경간(교 장: 48m, 교 폭: 6m)		
Test-Bed 실험 내용	폐교량에 정적 파괴실험	- 하중단계 초기에는 2개의 유압잭을 5톤씩 증가시켜 긴장하였고, 파괴하중에 접근해서는 2개의 유압잭을 1톤씩 증가시켜 긴장을 가함 - 각 하중 단계별로 일정시간 재하 후 모든 하중을 제거하여 탄성회복 정도 측정 - Loading과 Unloading시 교량 중앙 부분과 재하블럭 위치에 각각 Impact Echo Test를 실시해 균열증가에 따른 진동수와 감쇠값 변화 측정	 <교량 상부 하중 분포판 및 재하블럭>
시사점	<ul style="list-style-type: none"> • 보강공법의 성능평가는 시험체를 이용한 실험에 그침 • 실교량 Test-Bed의 관리 미흡으로 실험예정 교량이 시험 전 철거된 사례가 존재함 • 해외에 비해 사용한 계측기 수가 절대적으로 부족함 		

※ 출처 : 중앙대학교, 국도상 노후교량의 성능개선기법 개발에 대한 연구(1999.02)

□ 국외 Test-Bed 이용 사례



Overview and preliminary study of Approach - Slab Design Concept for Bridges

분야	안전진단(성능평가)	
연구 목적	접속 슬래브에 대한 성능 평가	
Test-Bed 사용 목적	교량과 도로의 지반 차이가 접속 슬래브에 미치는 영향 평가	
Test-Bed 사양	<p>■ IRB test bed Model(실내 Test-bed)</p> <ul style="list-style-type: none"> - 길이: 5.5m - 폭: 3.8m - 높이: 1.5m - 수행 가능 재하 무게: 5톤 	
Test-Bed 실험 내용	<p>실내 Test-Bed를 이용한 접속 slab 성능 평가</p>	<ul style="list-style-type: none"> - 여러 종류의 접속 slab 성능 시험 - 접속 슬래브에 동적 재하 실험 실행 - 계측기를 설치해 하중 및 지반 침하 모니터링 실시
시사점	<ul style="list-style-type: none"> • 실제 실험의 실행 가능성을 판별하기 위한 컴퓨터 시뮬레이션 실시 • 실험실 내의 Test-Bed를 정교화하기 위해 공용중 교량 현장 조사 실시 • Test-bed model을 이용한 실험 전에 size-down된 실험체를 이용한 성능 평가 수행 • 후속 연구에서 full-scale 및 real-field test의 필요성 제기 	





※ 출처 : Universiti Tun Hussein Onn Malaysia, Overview and preliminary study of Approach - Slab Design Concept for Bridges(2013)

Rapid displacement monitoring using wireless hybrid sensor on an in-service highway bridge

분야	계측/모니터링/센서		
연구 목적	무선 변위 모니터링 시스템인 Wireless Hybrid Sensor(WHS) 개발		
Test-Bed 사용 목적	WHS의 신축 이음장치의 정적, 동적 변위 모니터링 성능 시험		
Test-Bed 사양	<ul style="list-style-type: none"> ■ Test-bed truss structure(실내 Test-Bed) <ul style="list-style-type: none"> - 교각: 15개 - 구조: 트러스 구조 ■ Founders Bridge(공용중 교량) <ul style="list-style-type: none"> - 위치: Connecticut River 		
Test-Bed 실험 내용	실내 Test-Bed를 이용한 성능 평가	<ul style="list-style-type: none"> - 지점을 고정하지 않고 수평 이동을 가능하게 하는 단부인 롤러 서포트를 이용해 동적, 정적 변위 측정 성능 평가 	 <p style="text-align: center;"><축소 Test-Bed></p>
	공용중 교량을 이용한 성능 검증	<ul style="list-style-type: none"> - 오전8시부터 오후 4시까지 30분 간격으로 계측 실행 - 센서 노드를 세로 거더에 설치 후 진동 측정 - WHS 및 Gateway node는 중간 세로거더에 설치해 메인 거더 별 상대적 변위 측정 	 <p style="text-align: center;"><계측 전 사전 작업></p>
시사점	<ul style="list-style-type: none"> • 추후 장기 계측을 통한 성능 평가 연구 필요성 제기 		


※ 출처 : University of Connecticut, Rapid displacement monitoring using wireless hybrid sensor on an in-service highway bridge(2013)

Vibration Testing of Steel Girder Bridge using Cabled and Wireless Sensors

분야	계측/모니터링/센서		
연구 목적	무선 센싱 시스템 성능 평가		
Test-Bed 사용 목적	무선 센싱 시스템 시제품의 현장 성능 평가		
Test-Bed 사양	<p>■ 고속도로 교량(공용중 교량)</p> <ul style="list-style-type: none"> - 위치: NJ 23 freeway over US route 202, Wayne, New Jersey - 준공 년도: 1983년 - 경간: 4경간 - 상부 형식: 강 거더 - 하부 형식: RC교각 		
Test-Bed 실험 내용	기존 유선센서와 개발한 무선센서 성능 비교	<ul style="list-style-type: none"> - 교량 복단 도보에 19 쌍의 유·무선 가속도계 같은 위치에 설치하고, 데이터 수집 후 비교 - 주간(Daytime)동안 계측 실시 - 샘플링 주피수를 무선은 100Hz, 유선은 256Hz 적용 	 <p style="text-align: center;"><Test-Bed 전경></p>
	무선센서의 교량 처짐 계측 성능 검증	<ul style="list-style-type: none"> - 16개의 무선 센서 노드를 교량 남단 거더에 부착 - 야간(Nighttime)동안 계측 실시 - 샘플링 주피수는 200Hz 적용 	 <p style="text-align: center;"><유·무선 센서 시스템 현장 설치></p>
시사점	<ul style="list-style-type: none"> • 센서의 내후성, 전력문제 해결 후, 장기 계측을 통한 성능 평가 연구 필요성 제기 		


※ 출처 : Georgia Institute of Technology 外, Vibration Testing of Steel Girder Bridge using Cabled and Wireless Sensors(2011)

Evaluating Reserve Bridge Capacity Through Destructive Testing of A Decommissioned Bridge

분야	안전진단(성능평가)	
연구 목적	교량의 실제 극한 하중 여유도 검토	
Test-Bed 사용 목적	Full-scale의 극한 재하를 통해 강 거더 교량의 실제 극한 여유도 및 하중 분배 검토	
Test-Bed 사양	<p>■ Bridge 7R(폐교량)</p> <ul style="list-style-type: none"> - 위치: Wilmington, Delaware - 준공 년도: 1962년 - 경간: 3경간 - 상부구조: 강 거더 - 하부구조: 콘크리트 교대·교각 - 교 장: 32m - 교 폭: 8.5m 	
Test-Bed 실험 내용	<p>폐교량을 이용한 파괴 실험</p> <ul style="list-style-type: none"> - 68개의 변형률 계측기 사용 - 약 33톤의 재하 차량을 이용해 555톤까지 17단계에 걸쳐 하중을 늘려가며 하중 실험 수행 	 <p style="text-align: center;"><Bridge 7R></p>
시사점	<ul style="list-style-type: none"> • Full-scale의 파괴 실험 실시 • 1/5 scale test, 구조 해석 등 이전 연구를 이어서 수행해 파괴 실험을 정교하게 수행하거나, 구조 해석 모델의 정확성을 향상 시킬 수 있었으며, 계측기 부착 위치에 대해 상세히 기술 • 단, 단전으로 인해 데이터 손실이 발생하였고, 사전에 여유 용량에 대한 고려 부족으로 극한 하중 정확하게 예상하지 못해 현장 실험에서 극한 하중 계측 실패 	


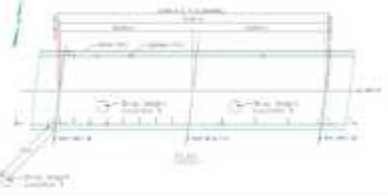
※ 출처 : University of Delaware, Evaluating Reserve Bridge Capacity Through Destructive Testing of a Decommissioned Bridge(2011)


Sensor Network for Structural Health Monitoring of a Highway Bridge

분야	계측/모니터링/센서		
연구 목적	교량의 구조 건전성 모니터링을 위한 센서 네트워크 개발		
Test-Bed 사용 목적	센서와 비디오 신호를 이용하는 구조 건전성 모니터링 시스템의 성능 평가		
Test-Bed 사양	<p>■ Voigt Drive/Interstate-5 bridge(공용중 교량)</p> <ul style="list-style-type: none"> - 위치: The Easter edge of the UCSD(University of California, San Diego) main campus - 준공 년도: 1964년 - 교 장: 90m - 교 폭: 12.19m - 경간: 4경간 - 상부 구조: RC 박스 거더 - 2006년부터 Test-Bed로 사용 		
Test-Bed 실험 내용	<p>공용중 교량을 이용한 성능 검증</p>	<ul style="list-style-type: none"> - 약 5m 간격으로 20개의 가속도계 설치해 교통으로 인한 수직 변동 계측 - 디지털 카메라를 설치 후 교량의 교통 통행을 계측해 차량과 동적 반응의 관계 계측 - 안테나를 설치해 무선으로 계측 시스템 구축 - 45일간 1000개 이상의 데이터 수집 및 분석 수행해 교량의 동적 변화 검토 	 <p style="text-align: center;"><Voigt Drive/Interstate-5 bridge></p>
시사점	<ul style="list-style-type: none"> • 추후 정교한 계측 능력을 갖춘 모니터링 시스템의 장기간 성능 평가 연구 필요성 제기 • 국내 연구에 비해 상대적으로 장기간 계측 수행 		

※ 출처 : Naval Facilities Engineering Command Southwest, Sensor Network for Structural Health Monitoring of a Highway Bridge(2010.02)


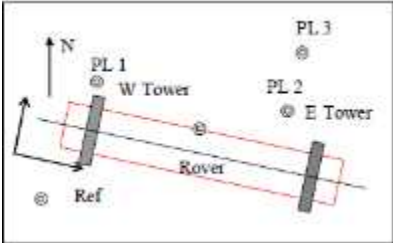
Dynamic Characteristics of New Bridge I-15 Research, Phase III

분야	안전진단(성능평가)		
연구 목적	교량 형식별 성능 검사 및 구조해석 모델링 연구		
Test-Bed 사용 목적	교량 형식 별 고유 진동수를 밝히고 모델링을 만들기 위해 교량의 진동 계측		
Test-Bed 사양	<p>■ Flyover Bridge, C846(공용중 교량)</p> <ul style="list-style-type: none"> - 위치: Salt Lake City, Utah - 경간: 13경간 - 교 장: 722.65m - 교 폭: 12.92m - 상부구조 형식: 강 거더, 후 긴장 콘크리트 교상 		
	<p>■ Vine Street Bridge, C814(공용중 교량)</p> <ul style="list-style-type: none"> - 위치: Salt Lake City, Utah - 경간: 2경간 - 교 장: 80m - 교 폭: 18m - 상부 구조: 강 거더, 콘크리트 교상 		
	<p>■ Cherry Hill Bridge, C123(공용중 교량)</p> <ul style="list-style-type: none"> - 위치; Farmington, Utah - 경간: 2경간 - 교 장: 약 100m - 상부구조 형식: PC 거더 		
Test-Bed 실험 내용	Flyover Bridge, C846의 진동 계측	<ul style="list-style-type: none"> - 3년간 간헐적 계측 수행을 통해 주변 환경으로 인한 진동, 인위적 진동 계측 및 시간에 따른 변화 계측 - eccentric mass shaker 장비를 통해 0.75Hz 부터 20Hz 까지 43단계를 거쳐 인위적 비파괴 진동 가함 - 초당 200개의 샘플 데이터를 단계 당 10.24초간 계측. 계측의 정확성을 위해 10초간 정정기간을 가짐 - 36개의 계측 장비를 통해 효율/효과적으로 전 방위 변동 데이터 계측 	 <p style="text-align: center;"><Flyover Bridge></p>
	Vine Street Bridge, C814의 진동 계측	<ul style="list-style-type: none"> - 6개의 수직 변환 계측기, 8개의 종적 변환 계측기, 20개의 횡적 변환 계측기 등 34개의 변환 계측 장비 사용해 인위적 진동, 주변 환경으로 인한 변동 계측 - 약 1.8 톤의 하중을 서로 다른 4 위치에 가해서 인위적 하중 계측 - 교량의 손상 막기 위해 하중은 4cm 위에서 주고, 1cm의 고무 패드를 덧 댐 	 <p style="text-align: center;"><Vine Street Bridge 제원></p>
	Cherry Hill Bridge, C123의 진동 계측	<ul style="list-style-type: none"> - 교량에 약 2.5cm 지름의 10개 구멍을 내고 인위적 비파괴 진동을 가할 수 있는 eccentric mass shaker 장비를 설치 - 6개의 수직 변환 계측기, 24개의 횡적 변환 계측기, 6개의 종적 변환 계측기, 5개의 가속도계 등 총 41개의 계측 장비를 사용해 인위적 진동, 주변 	<p style="text-align: center;"><Cherry Hill Bridge></p>

		<p>환경으로 인한 변동 계측</p> <ul style="list-style-type: none"> - 0.6Hz의 진동부터 20Hz 진동까지 0.05Hz씩 증가시키며 계측 실행 	
시사점	<ul style="list-style-type: none"> • 2001년에 수행된 연구를 활용해 계측 장비의 설치 위치 및 개수 결정 • 국내 연구에 비해 상대적으로 장기간 계측 실시 • 국내 연구에 비해 상당히 많은 계측 장비를 사용했음에도 장비의 부족으로 이상적인 계측을 실행하지 못함을 지적 		



※ 출처 : Utah State University, DYNAMIC CHARACTERISTICS OF NEW BRIDGES I-15 RESEARCH, PHASE III(2006.08)

Hybrid Sensor System for Bridge Deformation Monitoring : Interfacing with Structural Engineers

분야	안전진단(성능평가)		
연구 목적	구조 건전성 모니터링을 위한 Hybrid Sensor System과 유한 요소 모델의 개발		
Test-Bed 사용 목적	유한 요소 모델을 개선하기 위해 실제 교량의 진동 데이터 계측		
Test-Bed 사양	<p>■ Wilford suspension Bridge(공용중 교량)</p> <ul style="list-style-type: none"> - 위치: River Trent in Nottingham - 교 장: 66m - 교 폭: 3.5m - 교량 형식: 현수교 - 상부 구조: 강 상교 		
Test-Bed 실험 내용	공용중 교량을 이용한 진동 계측	<ul style="list-style-type: none"> - 낮은 주파수를 감지하지 못하는 GPS 수신기의 단점을 보완하기 위해 가속도계를 함께 사용함으로써 샘플링 횟수를 향상 시키고, 더 많은 진동 주파수를 감지 - 계측 데이터의 질적 향상을 위해 3개의 pseudolite generator를 삼각대 위에 설치 	 <p><Pseudolite generator 설치 모식도></p>
시사점	<ul style="list-style-type: none"> • 이전 연구를 반영해 센서 설치 위치 조정 • 이전 연구에서 사용된 알고리즘, 데이터 처리 방식, 편차 제거 방식 등을 사용 		





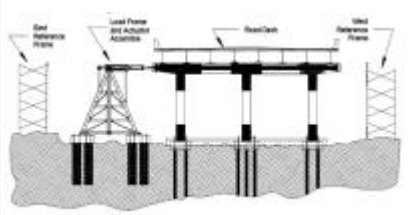
※ 출처 : The University of Nottingham, Hybrid Sensor System for Bridge Deformation Monitoring : Interfacing With Structural Engineers(2005)

Plate and Tube Bridge Deck Evaluation in the Deck Test Bed of the Troutville Virginia, Weigh Station

분야	안전진단(성능평가)	
연구 목적	FRP(Fiber Reinforced polymer)로 구성된 상판 성능 및 특성 분석	
Test-Bed 사용 목적	FRP 상판의 강성, 강도, 파괴특성, 공용 환경 내구성 등 특성 파악	
Test-Bed 사양	<p>■ 실내 Test-Bed</p> <ul style="list-style-type: none"> - 거더 개수: 3개 - 거더 특성: 강 거더 - 거더 간 거리: 1.98m <p>■ Troutville, Virginia weigh station(공용중 교량)</p>	
Test-Bed 실험 내용	<p style="text-align: center;">실내 Test-Bed를 이용용한 성능 실험</p> <ul style="list-style-type: none"> - 4개의 특성이 다른 FRP상판으로 실내 실험 - 각 바퀴가 11.8톤인 재하차량 이용 - 실리콘 고무로 만든 패치와, 강재로 만든 패치를 이용해 재하 실험 - 상판의 아래쪽, 경간 중간에 각 각 변형률 게이지 부착 - 4개의 상판을 이용해 강성, 강도 등 특성을 파악하기 위해 서로 다른 위치에 파괴 실험 수행 	 <p style="text-align: center;"><실내 파괴실험></p>
	<p style="text-align: center;">공용중 교량을 이용한 실험</p> <ul style="list-style-type: none"> - 거더와 연결 방식만 다른 2개의 상판을 이용해 현장 성능 실험 수행 - 하나의 상판은 8개월간의 현장 실험으로 약 4백만 번의 피로 재하를 가해 현장 성능 및 실제 공용 환경에서의 상판 장기 내구성 계측 - 다른 상판은 14개월간 공용하면서 7백만 번의 피로 재하를 가하고, 1년 주기로 처짐 계측 	 <p style="text-align: center;"><FRP 상판의 현장 실험></p>
시사점	<ul style="list-style-type: none"> • 이전 연구의 문제점을 개선해 성능 검증 실험 수행 • 부재 특성에 따른 성능 검증 표준 필요성 제기 • 4개의 실험체를 통해 다양한 성능 실험 수행 • 장기간 현장 성능 실험 수행 	

※ 출처 : Virginia Transportation Research Council, Plate and Tube Bridge Deck Evaluation in the Deck Test-bed of the Troutville, Virginia, Weigh Station(2004.03)

IN-SITU Tests of Three Bent at South Temple Bridge on Interstate
15 - FINAL REPORT

분야	보수·보강	
연구 목적	현장 검증 실험 방안에 대한 세부 정보 및 보강공법에 따른 공용중 교량에 대한 성능 정보 제공	
Test-Bed 사용 목적	서로 다른 조건의 교량 받침에 파괴 실험을 수행해 보강 공법의 성능 평가	
Test-Bed 사양	<p>■ Southbound lanes of the South Temple Bridge(폐교량)</p> <ul style="list-style-type: none"> - 위치: Salt Lake City, Utah - 준공 연도: 1963년도 - 교량 형식: RC교량 <p>■ 교량 하부구조(#4S, #5S, #6S공통)</p> <ul style="list-style-type: none"> - 1) 기둥 개수: 3개 - 2) 기둥 높이: 약 7m - 3) 받침 길이: 약 19.5m - 4) 받침 폭: 약 1.2m - 5) 받침 높이: 약 0.9m <p>■ 교량 상부구조(#5S, #6S 공통)</p> <ul style="list-style-type: none"> - 1) 거더 형식: 강 거더 - 2) 거더 개수: 8개 - 3) 상판 길이: 약 21m 	 <p style="text-align: center;"><Bent #4S, #5S, #6S></p>
	<p>■ Bent #4S</p> <ul style="list-style-type: none"> - 상판이 제거되어 공용중 사하중의 16.1%만 존재 - 지반에 지중보 보강 이루어짐 	 <p style="text-align: center;"><Load Frame 연결 모습 #1></p>
	<p>■ Bent #5S</p> <ul style="list-style-type: none"> - 상판 남아있어 공용중 사하중의 58% 존재 - 지반에 지중보 보강 이루어짐 	 <p style="text-align: center;"><Load Frame 연결 모습 #2></p>
	<p>■ Bent #6S</p> <ul style="list-style-type: none"> - 상판 남아있어 공용중 사하중의 58% 존재 - 지반에 지중보 보강 이루어짐 - 받침이 CFRP로 보강 이루어짐 	 <p style="text-align: center;"><Bent #6S 재하실험></p>
Test-Bed 실험 내용	<p>폐교량을 이용한 보강공법 성능 평가</p> <ul style="list-style-type: none"> - 케이블 장력 변위 변환기 14개, 미세 변위 측정을 위한 LDVT 17개, 변형률 계측기 82개 등 총 113개의 계측기 설치 - Hydraulic actuator가 결합된 load frame을 교량 받침에 수직으로 연결, 수직으로 밀고 당기며 지진 재하 수행 - 총 4단계 변위 단계별로 최소 2회 이상 반복, 총 16회 수행하며 변위 계측 	 <p style="text-align: center;"><실험 모식도></p>
시사점	<ul style="list-style-type: none"> • 1998년에 같은 교량의 복단에서 수행된 선행 연구의 데이터를 이용해 시사점 도출 • 수직방향 재하가 아닌 수평방향 재하를 통한 파괴시험 수행 	

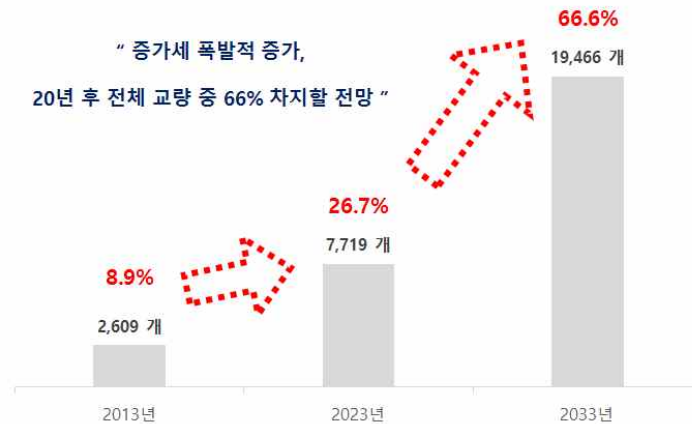
※ 출처 : University of Utah, In-Situ Tests of Three Bent at South Temple Bridge on Interstate 15 - Final Report(2003.06)

2.5 정부지원의 필요성 및 시급성

2.5.1 타당성 분석

□ 【정책적 중요성 및 시급성】 전체 도로교 중 노후교량은 '13년 기준 11.1%에서 20년 후 75%로 급증하여 국민의 안전에 대한 위협뿐만 아니라, 사회적 및 경제적으로 국가에 큰 부담을 초래할 것으로 예상됨

- 교량은 SOC 시설물 중에서도 국민 안전과 직결되는 중요한 시설물임. 통상 30년이 지나면 시설물이 노후 되어 재건축 시점이 도래됐음을 의미하는 것으로 볼 때, 30년 이상 된 노후 도로교량은 2013년 기준 전체 도로교량의 11.1%인 반면 10년 후에는 28.8%, 20년 후에는 75%로 폭발적으로 증가해 노후화가 일시에 대규모로 발생할 것으로 전망됨. 교량의 노후화는 필연적으로 안전사고 가능성을 높이고 사용성을 저하시켜 국민의 생명과 재산을 위협할 수 있음



※ 전체 도로교량 29,196개 중 연도미상 63개 교량은 제외(2013.12.31.기준)

그림 2-83. 30년 이상 된 노후 도로교량 변화 추이

※ 출처 : 국토교통부, 도로업무편람(2014)

- 미국은 1930년부터 '60년대까지 집중 성장으로 '70~'80년대부터 시설물 노후화가 나타나기 시작함. 미국 내 전체 50만개 교량 중 '96년부터 '05년까지 1,502개의 교량이 붕괴되었고 '07년에는 미네소타의 미니애폴리스 교량 붕괴까지 노후화된 교량에 사고가 지속적으로 발생
- 일본은 '50~'70년대 집중 성장으로 '00~'10년대 본격적인 시설물 노후화 시작돼 '12년 말 도쿄 인근 고속도로의 터널이 붕괴되는 등 노후 시설물 사고로 사회적 경각심 고조
- 우리나라는 현재 '70~'80년대 압축건설 된 시설물이 고령화시점에 도달하여, 그 속도는 점차 가속화될 전망이다. 성수대교 붕괴나 청룡교 붕괴 같은 대형사고로부터 국민의 생명과 재산을 지킬 수 있도록 정부차원의 대책마련 노력이 절실히 필요

- GDP 대비 SOC 유지보수는 OECD 회원국(0.3%), 개발도상국(1.8%)로서 개발도상국은 적기 유지보수 미 실시로 인해 선진국보다 경제적 부담이 큰 상황
 - (우리나라) GDP의 0.26%를 SOC(교통)의 유지보수로 투자
 - * SOC 투자: GDP의 1.11%(신규건설 0.85%, 유지·보수 0.26%)
 - (OECD 회원국) GDP의 0.3%를 SOC(교통)의 유지보수에 투자(1995~2010년)
 - * SOC 투자: GDP의 1%(신규건설 0.7%, 유지·보수: 0.3%, 서유럽 기준)
 - (개발도상국) GDP의 1.8%를 SOC(교통)의 유지·보수로 투자(2008-2015년, 추정치)
 - * SOC 투자: GDP의 2.3%(신규건설 0.5%, 유지·보수 1.8%)
 - (미국) '80년대에 고령화 진입 및 적정 대처 실패로 사회 불안감과 경제적 부담 증가
 - * SOC 안전등급: D등급, 유지·보수 투자비 소요: 향후 5년간 2.2조 달러)
- 향후 노후교량의 증가에 따른 유지·보수 예산 증가가 예상되는 가운데 미흡한 유지관리로 공용수명 연장에 실패할 경우에는 재구축 교량의 증가로 2~3배 이상의 추가 예산 증가를 초래할 것임
 - '15년 정부의 안전대진단 5대 분야의 노후시설물 보수보강 투자 예산은 1.9조원 규모이고 이중 도로 및 철도교량에 투자된 예산은 5,432억원으로 28.5%를 차지하고 있음¹²⁾. 교량의 노후화가 본격적으로 가속화되지 않은 현재도 예산 부족으로 적절한 보수보강이 미 시행되는 사례 발생 중임
 - * '시설물 안전관리 실태조사 및 개선방안 연구('11년 전남대학교)'에 따르면, 재난 및 안전관리 기본법에 의해 재난위험시설로 지정된 교량 중 정비가 시급한 시설수는 총 53개소며, 64%가 준공연수 30년이 넘은 노후 교량임. 또한 해당교량 관리주체 중 81%가 적정 안전관리 예산의 30% 미만을 확보하고 있음. 이런 지자체의 열악한 재정으로 인해 위험교량이 재난위험시설로 지정된 후 15년 이상이 경과하였음에도 보수·보강이 시행되지 못하고 있음

표 2-64. 국내 재해유발 위험교량 관련 현황

정비대상 위험교량 준공연수 현황					
구분	10년 미만	10~19년	20~29년	30년 이상	합계
개소	-	3개소	16개소	34개소	53개소
위험교량 시·군·구 재정자립도 현황					
구분	10%미만	10~20%미만	20~30%미만	30% 이상	합계
개소	1개소	30개소	12개소	10개소	53개소

※ 출처 : 전남대학교 산학협력단, 시설물 안전관리 실태조사 및 개선방안 연구(2011.10)

- 교량은 현저한 성능저하가 나타나기 전 예방적 유지보수가 이뤄져야 적은 비용으로 장기간 공용이 가능함. 적기 유지관리로 교량의 공용수명을 연장할 경우 교량을 철거하고 신축하는 것보다 2~3배의 비용 절감이 가능하지만, 적기 유지관리 실패는 막대한

12) 시장동향 中 시설물 안전 관련 시장에서 추정

사회·경제적 비용을 초래할 것임

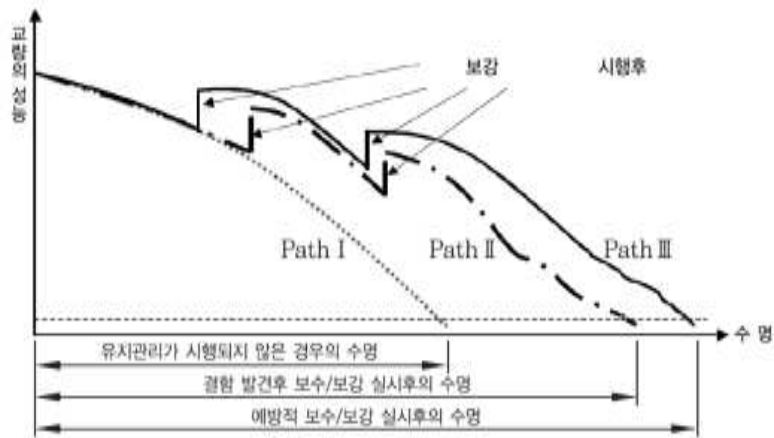


그림 2-84. 교량의 시간경과에 따른 성능 저하

※ 출처 : 한국도로교통협회, 강도로교 공용수명 보장을 위한 도장 점검 체계 확립 필요성(2014)

- 미국은 시설물 적기 유지관리 실패로 2001년 기준 필요 복구비용은 2,600조원에서 '13년 4,500조원으로 173% 증가함. '13년 오바마 정부의 집중 투자에도 불구하고 필요 예산의 55%수준만 투입되어 추가 비용증가가 예상됨



※ 출처 : 한국건설산업연구원, 노후 인프라 시설물, 선용 개선 대책 시급하다(2015.06) 외

그림 2-85. 미국의 시설물 유지관리 필요예산 추이

- 하지만 뉴욕시의 퀸즈보로 교량의 경우 '80년대부터 보강사업을 실시하여 '10년까지 약 9,298억원¹³⁾이 투입됨. 이는 적기 유지관리 실패로 교량을 재구축했을 경우 약 4조 4,130억 원(37억 9,680만 달러)이 소요되는 것에 비해 20% 수준으로 분석됨

13) 2015.11.13. 기준 원·달러 환율(1,162.30원) 적용

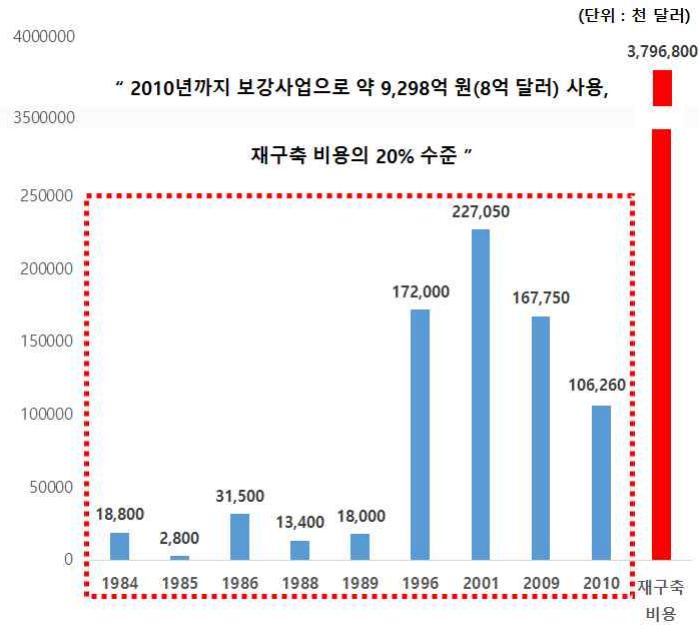


그림 2-86. 퀸즈보로 교량 신사업 주요 투자액

※ 출처 : 국토연구원, 선진국의 교량 유지보수 전략 및 시사점(2012.10)

- **【산업 차원의 필요성】** 국내 시설물 안전 및 유지관리 분야는 신규 건설 분야에 비해 투자가 부족한 편이며, 특히 민간부문의 투자가 제한적임. 또한 국내 기업들의 기술력 부족으로 내수시장은 해외기업들이 점유하고 있고 해외시장 진출도 어려움에 직면하는 등 산업적 취약성을 보이고 있음
- 미국을 포함한 해외 교량 유지보수·교체 시장이 성장으로 해외 시장 수요가 크게 증가할 것으로 예상
 - 미국은 20년간의 교량 보수보강이 필요함에 따라 향후 총 1,880억 달러 이상의 시장이 형성될 것으로 전망됨
 - 또한, 수명 50년 이상의 교량은 2010년 기준으로 약 20만개이고, 2050년에는 54만개로의 증가가 예상됨에 따라 향후 6년간 약 4,000억 달러의 예산 투입이 계획됨
 - 유럽 5개국(오스트리아, 체코, 덴마크, 스웨덴, 영국)의 교량 교체수요에 추정된 비용은 860억 유로로 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 규모는 2010년 38%, 2020년 45% 그리고 2030년 60%로 지속적으로 증가할 것으로 전망
- 교량의 노후화가 심각하지 않은 현재도 교량의 보수보강을 위해 5,432억원의 예산이 투자되고 있지만 예산 부족으로 적기 유지보수가 시행되지 못하는 실정임. 향후 교량을 포함한 노

후화된 시설물의 급증으로 2030년에는 유지관리 소요예산이 10조원으로 예측됨¹⁴⁾.

- 예방적 유지관리 실패로 재구축되는 교량이 늘어난다면 향후 예산은 지금보다 2~3배 증가할 것임. 선진화된 노후교량 장수명화 기술을 통해 교량의 공용수명을 최대화하고 재구축 교량을 줄여 미래시설물 유지관리 재정 부족을 최소화
- 노후교량 급증에 따라 건설시장은 유지보수 중심으로 개편이 예상되고 있으며, 이에 따라 2030년 시설물 유지관리비는 약 11조에 달할 것으로 전망됨
- 국내의 교통SOC분야 투자 규모는 2010년 기준 13.02조원으로 신규건설 투자에 10조원 (76.8%), 유지보수에 3.1조원(23.2%)이 투자됨. 유지보수분야 투자규모는 신규건설 투자 규모의 1/3에도 미치지 못하는 수준임
- 특히 신규건설 대비 유지관리 투자가 가장 높은(57%) 이탈리아에 비해서는 1/7 수준임. 선진국의 경우 노후 된 건물이 많아 차이가 난다는 점을 고려하면, 향후 우리나라도 시설물의 공용년수 증가와 함께 유지관리 비중이 점차 높아질 것으로 예상됨.

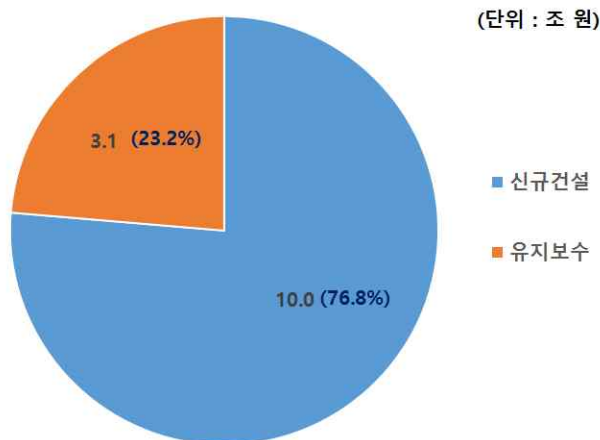


그림 2-87. 국내 주요 안전투자분야 공공 부문 투자대비 민간 부문 투자 비율

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

- 국내 SOC 시설물 분야 투자는 신규건설을 비롯한 성과위주 투자로 인해 시설물 안전 및 유지관리 분야에 대한 투자는 매우 소홀함. 특히, 국내의 경우 안전 분야는 정부 주도의 시장으로 민간부문 투자가 저조
- '14년 기준 국내 주요 안전투자 12.9조원 중 82%인 10.6조원이 정부 등 공공부문 투자이며 민간 부문은 18%인 2.3조원에 그침. 이는 선진국의 경우 안전 분야가 자율규제로 민간시장 중심인 반면, 국내는 안전이 공공의 역할로 인식되어 정부에 대한 시장 의존성이 높고, 민간 부문의 수요는 법규가 정한 최소한의 기준을 맞추는 수준으로 시장이 정체되어 있음.

14) 시장동향 中 국내, 외 시설물 유지관리 시장 현황 참조

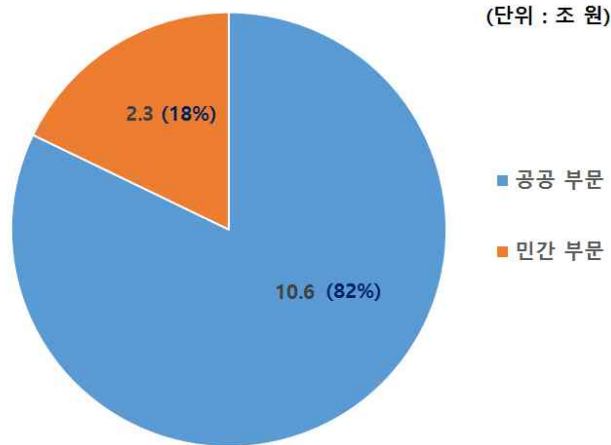


그림 2-88. 교통SOC분야 신규건설 대비 유지보수 투자 비율

※ 출처 : 국토교통부, 제3차 시설물의 안전 및 유지관리 기본계획

○ 국내 노후교량 장수명화 기술과 관련된 안전진단, 유지관리, 계측분야 기업들은 대부분 영세하고 기술력이 부족한 상황임. 이로 인해 내수 시장은 해외 기업들에게 점유당하고, 국내기업의 해외시장 진출마저 어려운 상황임

- 안전점검 및 정밀안전진단 시장은 최근 10년간 1,000억원 규모에 정체되어 있는데 반해 안전진단전문기관의 수는 '03년 235개에서 '12년 564개로 증가하고 일부 대형업체의 수주 독점으로 영세 업체가 다수인 상황임. 또한 국내 민간 안전진단, 점검시장의 50.3%를 SGS(스위스) 등 외국계 기업이 차지하고 있음. 일부 안전진단전문기관이 동남아, 중동 등 해외시장 진출을 모색하나, 시장개척 비용 등 현실상 많은 어려움에 직면
- 시설물 유지관리 시장은 계약금액을 기준으로 '00년 7,740억원 규모에서 '10년 2조 8,370억원 규모로 지속 성장해왔지만, 업체 수 역시 '00년 1,604개에서 '10년 2,837개로 증가해 수주경쟁이 치열하고 질적 성장을 위한 노력은 미흡한 상황임
- '19년까지 134조 9430억원¹⁵⁾(1,161억 달러) 규모로 성장할 것으로 기대되는 고부가가치 첨단산업인 계측/센서 분야에서도 국내 기업들은 매우 부진한 상황임. RFID를 비롯한 센서분야 내수기업들은 핵심제품을 수입해서 재가공하거나 단순 조립, 패키징하는 수준에 머물러 있으며, '12년 기준 국내 기업의 내수시장 점유율은 10.5%에 불과하고 국내 기업의 생산액은 세계시장 규모의 1.9% 수준에 불과함

□ **【노후교량에 대한 체계적 유지관리 기술개발 로드맵 수립의 시급성】** 유지관리 전반에 대한 개발기술의 체계적 관리 및 검증 부족으로 관련 기술을 효율적으로 사용되지 못하고 있으므로, 미래 관련 시장의 기술력을 높이고 공공성 확보를 위해서는 노후교량에 대한 체계적 유지관리

15) 2015.11.13. 기준 원·달러 환율(1,162.30원) 적용

로드맵 마련이 시급함

- 캐나다와 유럽을 비롯한 선진국의 경우, 시설물 유지관리에 특화된 기술개발 로드맵을 통해 체계적인 지원이 이루어지고 있음. 하지만 국내의 경우 교량을 비롯한 시설물 기술 개발에 특화된 계획 및 이에 대한 지원 및 관리리가 부족한 실정임. 연구자원의 효율적 활용과 중복 없는 포괄적 연구를 위해 체계적인 유지관리 기술개발 로드맵 작성과 지원 대책 마련이 필요함
- 국내도 ‘제3차 시설물의 안전 및 유지관리 기본계획’, ‘국가 안전 大진단과 안전 산업 발전방향’ 등과 같은 정부 부처계획에서 시설물 유지관리 기술 개발을 계획하고 있지만 제도 문제, 시장 문제를 개선하는 계획들과 혼합되어 있음. 또한 개별적 연구 계획만 갖고 있을 뿐, 노후교량 장수명화와 같이 특정 시설물별 특성화된 기술개발의 체계성은 보이지 않음

표 2-65. 해외의 시설물 안전 및 유지관리 기술개발 로드맵

구분	사회기반시설 고령화 대비	지능형 안전 및 유지관리 기술 개발	자연재해에 강한 사회기반시설 정비
[캐나다] Civil Infrastructure System Technology Roadmap	<ul style="list-style-type: none"> • SOC 장수명화-성능 평가 • 자산 목록화 • SOC 유지관리 기술 평가 • SOC 생애주기 비용분석 	<ul style="list-style-type: none"> • SOC 지능형 모니터링 기술 개발 • SOC 통합정보시스템 • SOC 유지관리정보 지식화 	<ul style="list-style-type: none"> • 자연재해 극복기술
[ECTP] Networking Europe Vision 2030 and SRA	<ul style="list-style-type: none"> • SOC 노후화에 따른 장기 성능 예측모델 개발 • SOC 장수명화 기술 	<ul style="list-style-type: none"> • 다수의 SOC 통합관리 방법 및 도구 개발 • SOC 손상조기감지 기술 개발 및 시험방법 마련 • 유지관리 용이 센서, 모니터링, 성능예측 시스템 개발 • IT, ITS SOC 지능화 	<ul style="list-style-type: none"> • 자연재해에 강한 다기능 신재료 개발

※ 출처 : 대한건설정책연구원, 시설물 안전 및 유지관리 기술의 미래니즈와 개발전략(2014.08)

- (미국)사회기반시설물 노후화 및 잇따른 교량 붕괴사고로 교량에 대한 안전문제가 사회적 이슈로 대두
 - 미국의 경우 콘크리트 구조물의 노후화 및 보강철근의 부식으로 인한 보수, 보강 시장의 경우 연간 약 180억~210억 달러(한화 약 20조~24조 원)의 규모로, 지속적인 증가추세 (Concrete Repair Bulletin, 2006)
- (일본) 2012년 12월 도쿄 인근 고속도로 터널붕괴 사고를 계기로 노후화의 심각성을 인지하여, 아베 총리는 경기부양을 위한 116억\$ 중 78억\$을 사회기반시설물에 대한 재건에

투자하기로 결정

- 개통 후 35년이 지난 사사고(笹子) 터널의 천정판 낙하사고("12.12월)를 계기로, 국토교통성에서는 2013년을 "유지보수의 원년"으로 선포
 - '13.11월 "인프라 노후화 대책의 추진에 관한 관계부처연락회의"에서 "인프라 장수명화 기본계획"을 마련하고, 국토교통성은 "인프라 장수명화 계획(행동계획)" 수립
 - (선진국) 영국, 캐나다, 호주 등 선진국에서는 중앙정부 시설물에서 지자체 시설물까지 확대하여 사회기반시설물에 대한 평가체계 도입·운영 중
- **【낙후된 기술발전을 위한 노후교량 장수명화 기술 개발의 시급성】** 기술선진국 대비 낙후된 국내 노후교량 장수명화분야의 기술수준을 보완하기 위한 연구가 시급함
- 특히, 시특법 상의 관리 대상인 1·2종 이외의 종외 교량들에 대한 유지관리·보수보강 대책이 상대적으로 미흡하며, 일반국도 상 교량과 지자체 관리대상 교량인 중소 교량에 대한 대책마련이 시급
 - 교량 형식별로 향후 노후교량의 증가 추세를 살펴보면, 콘크리트 교량 중에서는 RC 슬래브 교량과 PSC-I형 교량이, 강교량에서는 강관형교와 강상자형교가 크게 증가
 - 현재 안전점검 및 정밀안전진단 세부지침에 따라 교량의 성능을 상태평가와 안전성평가를 통해 관리하고 있으나, 도로교설계기준이 한계상태설계법으로 바뀐에 따라 평가에 있어서도 신뢰도기반의 평가기법 도입 필요
 - 기존시설물은 육안점검, 정밀점검으로 평가하고 있으며, 물리적인 결함을 통해 진단등급을 산정하고 결과에 따라 보수보강을 하는 안전기준에 따른 유지관리 수행. 이는 설계목표를 기준으로 하여 설정된 안전성 및 내구성에 국한된 시설물의 평가기법임
 - 기존 설계와 평가의 불확실성을 감안하여 신뢰도기반 교량 안전성 평가 기법들에 대한 연구가 진행되고 있고 한국도로공사에서는 계측과 해석모델 기반의 모델업데이팅을 통해 수행하는 「신뢰도기반 교량 안전성 평가 지침(안)」을 제시하였으나,
 - 교량 형식별, 노후도별 다양한 노후교량에 대한 검증이 이루어지지 못하였으며, 적용방법이 어려워 해석기술 등 기술력이 열악한 안전진단 업체에서의 사용성이 떨어짐
 - 따라서 이를 해결하기 위해서는 다양한 형식에 대한 실증을 통해 기법을 개량하고 지침 개선과 매뉴얼 작성 등을 통해 중소기업들이 쉽게 사용할 수 있도록 제시할 필요
 - 교량 관련 해외 선진국의 경우, 사회기반시설의 고령화를 대비하여 SOC 시설에 대한 장수명화 기술개발을 지원을 위한 정책들을 제시하고 있음
 - 우리나라 역시 다양한 정책을 수립하여 교량 등 SOC 시설에 대한 장수명화 방안을 제시하고는 있으나, 장수명화 요소기술(성능평가기술, 지능형모니터링, 생애주기 유지

관리기술, 장기성능 예측모델, 보수보강기술 등)의 개발 및 개량을 위한 체계적인 R&D 지원이 미미한 실정

- 과거에는 기술 분야별, 평가 항목별로 세부 주제별로 기술개발이 진행되었다면, 최근에는 통합유지관리를 목표로 안전성평가(안전진단), 계측/모니터링, 보수보강 등 관련 분야를 대상으로 한 종합연구 형태로 진행됨
- 2005년 이전까지는 외관검사, 비파괴검사, 내하력 평가 등과 같이 상태평가(내구성평가)나 내하력 평가방법을 체계화하고 시스템화하는 연구를 중심으로 기술개발이 이루어졌다면, 최근에는 사용성능, 생애주기 비용(LCC, Life Cycle Cost), 생애주기 성능(LCP, Life Cycle Performance), 생애주기 평가(LCA, Life Cycle Assessment) 및 설계 VE(Value Engineering) 개념 등을 도입하여 교량의 기능이나 사용자 편의를 고려한 성능평가 및 예산의 효율적 관리, 운영을 위한 자산관리 평가방법 개발 등으로 확대
- 특히 최근에는 개별 교량에 적용되던 평가방법 중심에서 위험지수와 교량의 가치를 연계 분석한 네트워크 수준의 교량 유지관리 의사결정을 위한 연구 추세
- 현행 유지관리 기법을 토대로 예산 책정 시 SOC시설물의 고령화에 따른 대비와 시설물의 효율적인 예산분배 불가능
- 따라서 SOC시설물을 한정적인 국가재정으로 효율적으로 관리하기 위해 안전성과 더불어 시설물의 연식, 이용량 등을 분석하는 성능관리형 유지관리체제로 전환되어야 하며, 이 성능관리형 유지관리체제를 근거로 하여 각 SOC시설물별 목표성능, 가중치 설정, 주요 성능평가 요소를 고려한 종합적인 성능평가 기법 및 시설물별 성능평가 매뉴얼 필요
- 안전진단 및 성능평가 시 진행되는 육안검사의 정확성 부족에 대한 문제가 지속적으로 지적되어 왔음에도, 이를 대체할 만한 기술 부재로 아직까지 현장에서는 육안검사방법을 주로 활용하고 있어 대체기술 개발이 시급함
 - 육안검사는 손상이 경미하거나 재료의 열화에 의한 노후화는 색출하기 어렵고, 점검자의 경험과 기술수준에 따라 평가결과가 달라짐에 따라 신뢰성이 저하됨
 - 과거에는 손상된 부분에 대해서만 진단하고 파악하는 것에 집중했던 것에 반해, 현재는 파악한 손상 정도를 정량적으로 파악하고 객관적 진단 결과를 기반으로 보수보강 및 성능개선을 추진하려는 목표를 갖고 관련 연구를 추진중이나 기술적 한계 및 정량화 기반 성능평가 체계를 개발하려는 노력이 다소 부족함
 - 상태 정량화 기반 성능평가 기술 개발 분야에서 우리나라는 미국, 유럽, 일본 등 기술 선진국에 비해 상대적 기술공백이 매우 큰 편으로, 정밀진단이나 센서 활용기술 관련 유효 특허는 미국과 비교했을 때 20% 이상으로 국가 규모를 고려할 때 우수한 편이나, 상태 정량화 기반 성능평가 기술 관련 유효 특허는 1.7% 수준으로 격차가 큼

- 재하시험은 교통 통제를 기반으로 수행하기 때문에 사회적 비용이 발생하며, 실제 교량을 대상으로 실험을 진행할 경우 사용하중 단계분석에 대한 실험은 진행 가능하나 극한하중에 대한 연구는 부재실험에 그칠 수밖에 없는 한계가 존재함
- 재하시험 문제점 극복을 위한 시설물 안전성 평가와 관련한 다양한 연구가 진행되고 있으나, 여전히 재하시험을 대체할 만한 현장 적용 가능한 연구는 극히 제한적임
- 기존 실증실험 데이터를 축적·활용할 수 있는 체계가 미흡하여, 성능평가 관련 기법 및 분석기술 개발 시 비슷한 실험이 반복적으로 진행되어 R&D 예산의 효율성 저해
- 콘크리트, FRP, 강선 및 강판 등의 기존 소재를 활용하여 구조적 안전도를 향상시키는 기술은 개발되어 있으나 이러한 기술의 비용 대비 효과가 불확실함
 - 전체 토목구조물에 대한 보수보강 신기술은 총 63개이며, 14개 신기술만 유효. 이 중 교량 구조물 관련 신기술은 14개 중에서 1개만이 유효한 상태임
 - 보수보강 재료 및 공법 관련 연구는 지속적으로 추진 중이나, 표준화된 실험절차 및 기준이 부재함에 따라, 기술자의 경험과 역량에 따라 적절하지 못한 재료 및 공법이 선정되거나 보수보강 성능의 차이가 발생하고 있으며, 객관적 성능 대한 신뢰성 부족으로 현장 적용에 미온적임
 - 현재까지 개발된 보강기술은 구조적 안전도 향상에만 주안점을 두고 개발된 것으로 구조물의 사용성을 향상시키지 못하는 경우가 많음. 이로 인한 사용자의 불만이 해소되지 못하여 보강기술에 대한 만족도가 낮음
 - 특히 국내에 적용되고 있는 대부분의 보강기술은 해외 원천기술을 들여와 적용하는 기술들이 많아, 국내 생산 재료, 시공기술 수준 등 국내 실정을 고려한 적합성에 대한 합리적 검토가 부족한 실정임
 - 특히, 기존 기술들의 성능은 개발 과정에서 자체적으로 수행한 검증실험의 결과들로, 현재 국내에서는 실용성/사업화를 목적으로 한 체계적인 보수보강 기술 검증을 위한 시험방법 개발과 성능 검인증에 대한 연구는 없었음
 - 따라서 노후교량의 보수보강에 대한 안전 확보와 민간업체로의 기술 이전 및 실용화를 체계적으로 지원하기 위해서는 평가방법 개발과 실증 테스트베드 적용을 통한 성능 검증 및 정량화 연구가 필요
- 기존 교량 유지관리관련 기술 문제를 해결하기 위한 구조건전성 모니터링(SHM, Structural Health Monitoring), 무선계측, 자동화 관련 연구가 활발히 진행중이며, 광센서 연구와 관련해서는 FBG 활용에 관한 연구가 주도적임
 - 모니터링과 관련해서는 자동화 연구를 중심으로 실시간 모니터링 기술연구가 활발히 진행되었으며, 2010년 이후 유선계측 보다 효율성이 높은 무선계측에 대한 연구 중심, 최

- 근에는 변위계측을 중심으로 한 구조건전성 모니터링 기술 연구가 중심을 이루고 있음
- 기존 변형률계, 가속도계를 대체하는 기술로 연구가 시작된 광센서 분야는 광섬유 특정 부위에 원하는 파장에 대한 반사 특성을 보이게 하는 브래그 격자가 개발된 이래로, FBG(Fiber Bragg Grating)센서 연구가 괄목할 만한 발전을 이뤄 구조물 건전도 모니터링 시스템 구축 적용 기술이 활발히 진행중임
 - 계측/모니터링/센서 관련 기술이 다양하게 연구개발 되고 있으나 현장적용에 한계가 있고, 계측 데이터를 수집하더라도 종합적 유지관리를 위해 활용하지 못하고 있으며, 기술 표준이 정립되지 않아 호환성이 부족한 점이 아쉬움
 - 계측/모니터링/센서 부문은 가속도계, 변형률계부터 GPS(Global Positioning System), LVDT(Linear Variable Differential Transformer), LDV(Laser Doppler Vibrometer)까지 다양한 연구기술이 개발되었지만, 기술 수준 미흡 또는 고비용으로 인한 현장적용의 한계가 나타남
 - 대형 교량을 중심으로 계측/모니터링 시스템이 구축되고 있지만, 아직까지 단순 추세 분석 수준으로 계측된 자료를 안전진단 및 성능평가에 활용하지 못하고 있는 점이 아쉬움
 - 계측/모니터링 시스템과 관련해 표준이 정립되지 않아 기술 적용의 호환성이 떨어짐에 따라, 네트워크 수준의 교량관리를 어렵게 만들고, 기술 도입 시마다 개발비용이 발생하는 비효율이 나타남
 - 건설 IT 융합시장의 기술수준은 선진국의 60%에 그치고 있으며, 세계시장 점유율이 미국(41.8%), 영국(14.5%)에 비해 매우 낮은 0.21%수준임. 특히 시설물에 대한 지능형 안전 및 유지관리 기술은 '10년도 기준 최고 기술 보유국인 미국과 비교하여 16.9%로 약 4.3년의 기술격차를 보이고 있음. 이는 지금까지 시설물 안전 및 유지관리 기술이 하드웨어적 기술을 중심으로 개발되어 소프트웨어 기술과 핵심장비 등 기초·원천기술이 부족하기 때문으로 판단됨
 - 계측기기 분야의 기술은 학제적이고 복합적이라 미개척 분야가 많은 지식 집약적 첨단 기술이며, 현대의 모든 산업 및 연구 분야에 사용되는 핵심 기반기술이나, 건설계측용 센서 제조 및 연구개발 기반의 부족으로 인한 센서 업체의 경쟁력 취약함. '06년 기준 무선통신기반 지능형 계측시스템 관련 기술 수준은 선진국 대비 45%수준임
 - 정보통신 기술이 네트워크화, 지능화, 내재화 등의 특성을 통해 기술 및 산업간 융합화를 촉진하는 역할을 수행하면서, 건설 산업과 IT 기술과의 융복합이 크게 확대되어 시설물의 계측·모니터링 분야에 있어 고도화, 지능화함으로써 고부가가치 첨단 산업으로 발전하는 중임
 - 점점의 전산화, 모니터링시스템 등 대형교량의 효율적 유지관리와 관련된 세계시장은 '06년 기준 24조원 규모를 형성하고 있고, 연평균 10%의 성장률을 기록해 /14년에는 50조

를 넘는 시장이 형성될 것으로 전망됨. 국내의 대형교량 효율적 유지관리 관련 시장은 '06년 기준 6,000억 원 규모로, 연평균 20%의 성장률을 기록해 '13년에는 2조원으로 전망됨

- 국내의 교량에 대한 안전 및 유지관리 기술은 기술선진국 대비 70% 수준에 머물러 있고, 이는 설계·시공 분야보다 낙후돼 있는 것으로 판단됨. 또한 안전 및 유지관리 기술은 10년째 기술선진국과의 격차를 좁히지 못하고 있어 낙후된 기술수준의 고착화를 막기 위해 노후교량 장수명화 기술개발이 시급함
- '13년 기준 국내의 교량 설계·시공 기술은 기술선진국 대비 79.5%인 반면, '10년 기준 시설물 지능형 안전·유지관리 기술수준은 76.2%수준에 머물러 있음.
- 유럽 국가들은 설계·시공기술에 비해 유지관리 기술수준이 8.2% 높고 일본은 0.4%정도로 근소하게 차이나는 반면, 국내는 설계·시공 기술보다 유지관리 기술수준이 3%이상 더 낙후되어 있음

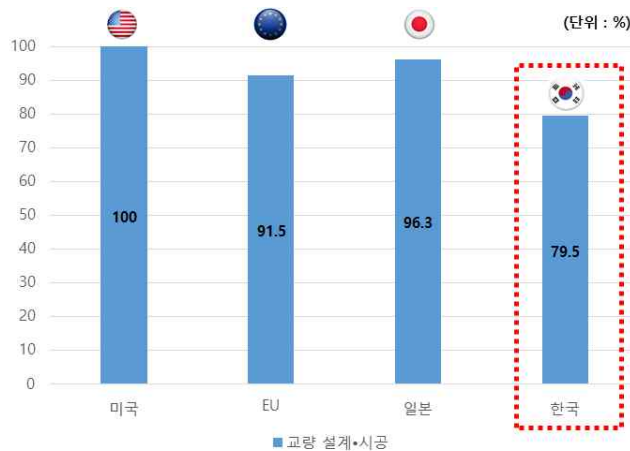


그림 2-89. 국가별 교량 설계·시공 기술 수준

※ 출처 : 국토교통과학기술진흥원, 2013 국토교통 기술수준분석 총괄보고서(2013.06) 외

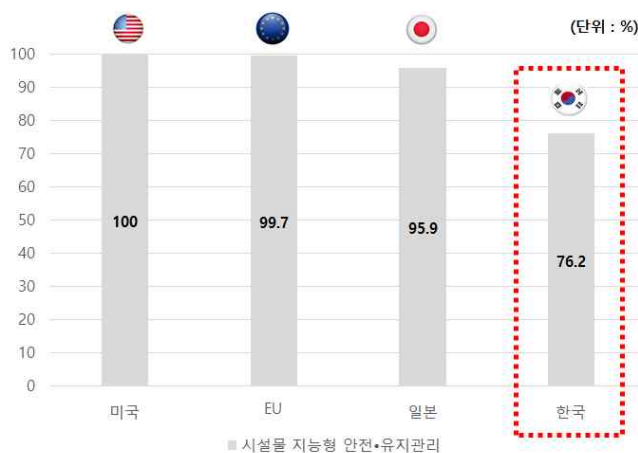


그림 2-90. 국가별 시설물 지능형 안전·유지관리 기술 수준

※ 출처 : 국토교통과학기술진흥원, 2013 국토교통 기술수준분석 총괄보고서(2013.06) 외

- 국내 건설 분야 전체에서 시공분야 기술수준은 꾸준히 향상돼 '13년 기준 기술선진국 대비 86% 수준에 도달했지만, 유지관리 분야의 기술수준은 최근 10년간 70%대에 머물고 있고 과거에 비해 수준이 더 낮아져 기술격차 고착화가 우려됨

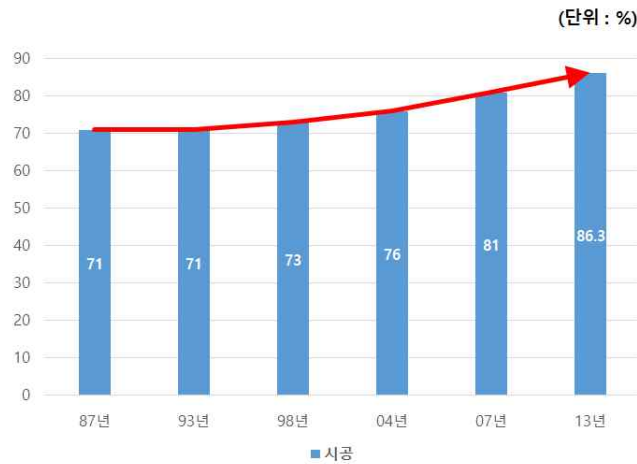


그림 2-91. 국내 건설 분야 중 시공 기술수준 변화 추이

※ 출처 : 국토교통과학기술진흥원, 2013 국토교통 기술수준분석 총괄보고서(2013.06) 외

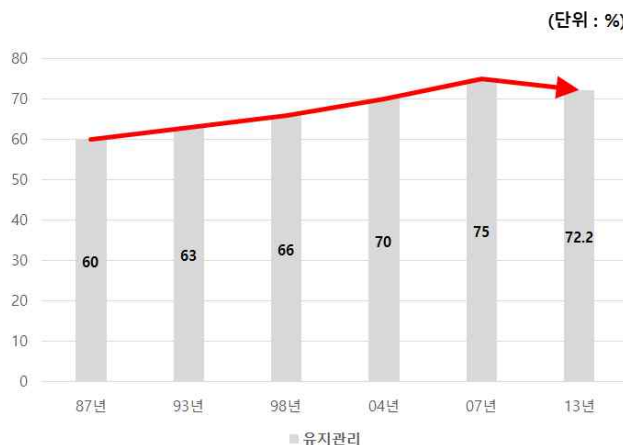


그림 2-92. 국내 건설 분야 중 유지관리 기술수준 변화 추이

※ 출처 : 국토교통과학기술진흥원, 2013 국토교통 기술수준분석 총괄보고서(2013.06) 외

- **【노후교량 장수명화 기술개발 및 연구기반 구축의 중요성】** 향후 급증하는 노후교량의 증가로 인한 위험으로부터 국민의 안전을 지키고 유지관리 재정 부족의 최소화를 위해 노후교량 장수명화기술 개발은 필수적임. 하지만 현재 산업의 취약성으로 인해 민간의 주도적인 역할을 기대하기 어려우므로 정부 주도적 기술개발과 향후 민간 주도의 산업 생태계 형성을 위한 연구기반 구축이 필요
- 노후교량으로 인한 대형사고로부터 국민을 보호하고 향후 예상되는 유지관리 재정 부족을 최소화하여야 함. 이를 위해선 선진화된 노후교량 장수명화 기술을 통해 노후교량의 안전성을 확보하고 공용수명을 연장해 교량 재구축 비용을 절감해야함

- 하지만 국내는 안전산업이 공공부문의 역할이라는 인식으로 민간 투자가 저조하고, 안전 분야 수요자가 범규가 정한 최소한의 기준만을 위해 공급자들도 수주를 위한 최소한의 기술 수준만 확보하고 있어 국내 안전산업이 기술 경쟁력 시장이 아닌 가격 경쟁적 시장으로 형성되어 기술개발 투자 부진
 - 높은 기술 수준을 요구하는 안전 분야는 해외기업들에게 점유당하고, 낮은 기술력으로 해외시장 진출도 어려워 국내 기업들은 매출 부진을 겪고 있음. 이는 기술개발을 위한 투자 저조로 이어져 악순환이 반복되고 있음
- 산업적 취약성으로 인해 노후교량 장수명화 기술수준 향상을 위한 민간의 주도적 역할 기대하기 어려운 지금, 선순환 고리 형성을 위해서는 정부주도의 기술개발 지원을 통해 민간의 연구개발 기반을 조성할 필요
 - 선진국은 시설물 안전망 확보를 위해 교량 유지관리 확대에 투자를 전환하고, 노후교량의 성능개선과 장수명화 기술 개발을 적극 추진
 - * (미국) 도로·교량 성능향상 투자 중심의 MAP-21추진('12), FHWA는 National Historic Covered Bridge Preservation Program('00~'12)을 통해 시설물 수명 장기화 추진
 - * (일본) '2020 인프라 장수명화 기본계획'을 수립하여 ICT/IoT 기반의 시설물 모니터링 체계를 개선하고 공용수명 향상을 위한 R&D 투자를 강화하여 유지관리에산 절감(30년간 69%, ¥1.6조→ ¥0.5조)
 - 우리나라는 노후교량(공용 30년 이상)이 급증하고 있어 안전 위협 및 유지관리 시급함. 따라서 관리 사각지대에 있는 중소 노후교량의 유지관리체계 개선 및 장수명화 기술 확보를 위해서는 영구폐쇄·철거교량을 T/B로 활용한 실증연구 필요
 - * '13.12 기준 전체교량 29,190개 중 노후교량 11.1% → '25년 33.6% → '35년 75%로 급증
 - * '16.2 서울시 정릉천고가교의 대형케이블 파단으로 내부순환로 7.5km구간 전면 통제
- **【노후교량 장수명화 기술개발의 방향】** 노후교량 장수명화 기술개발은 안전진단(성능평가), 보수·보강, 계측/모니터링/센서 등 각 분야별로 부족한 핵심기술의 보완과 세계 기술시장을 선도하기 위한 최신 트렌드 연구가 함께 이루어져야함
 - 안전진단(성능평가)분야는 아직도 육안검사에 의존하고 있으며, 주요 성능인자들의 변동성에 대한 연구 부족으로 정확하고 신뢰성 있는 진단이 이뤄지지 못하고 있음. 따라서 손상 진단의 정확성/신뢰성 향상 및 이를 기반으로 한 성능예측기술 개발과 통합성능평가 연구가 이뤄져야 함

표 2-66. 안전진단(성능평가)분야 문제점 및 연구 필요분야

구분	내용
문제점	<ul style="list-style-type: none"> • 육안점검에 의존해 구조적 결함에 대한 정확한 진단이 어렵고, 기술자의 수준에 따라 상이한 결과가 도출됨 • 기존의 내하력 평가기법은 주요 성능인자들의 변동성에 대한 연구와 DB가 부족하여 변동성을 고려한 구조적 성능변화 및 환경적 요인에 의한 열화의 영향을 고려한 평가가 이뤄지지 못하고 있음
↓	
연구 필요분야	<ul style="list-style-type: none"> • 육안검사를 대체할 정량적 상태평가 기술 개발 • T/B, 폐교량 등을 활용한 실증 기반의 성능평가 기술 개발 및 기존의 검증 • 제원, 강도, 열화도 등 교량의 성능인자들의 대푯값과 변동성에 대한 DB 구축 및 다양한 영향인자 고려한 성능예측 모델 개발 • 사용성능, 생애주기비용, 네트워크 수준의 자산관리 등을 고려한 통합 성능평가기술 개발

- 보수·보강분야는 손상별 적용해야 하는 공법의 종류 및 수준에 대한 기준과 개발된 공법의 객관적 성능평가, 설계·시공 시방서 부재로 검증되지 않은 기술이 기술자별로 상이하게 적용되고 있음. 따라서 상황별 적용 가능한 공법 기준과 공법에 대한 객관적 평가방법 개발, 성능 검증 및 설계·시공 시방서 개발이 시급하고, 다양한 신속교체 공법 또한 개발이 이뤄져야함

표 2-67. 보수보강분야 문제점 및 연구 필요분야

구분	내용
문제점	<ul style="list-style-type: none"> • 상황별 적용해야 할 공법 종류 및 수준에 대한 기준 부재로 같은 손상에 대해 기술자별로 상이한 공법이 적용되고 있음 • 보수·보강 공법의 성능에 대한 객관적 평가방법과 설계·시공 시방서의 부재로 검증되지 않은 공법이 상이하게 적용되고 있음
↓	
연구 필요분야	<ul style="list-style-type: none"> • 교량 형식·노후도·손상별 적용해야 할 보수·보강 공법 종류 및 수준 판별을 위한 기준 및 평가방법 개발 • 기존 보수·보강 공법에 대한 객관적 성능검증 및 설계, 시공 시방서 마련 • 경제성, 대중의 편의성, 환경문제 등 사회적 비용을 최소화 할 수 있는 신속교체 공법 개발

- 계측/모니터링/센서분야는 과거 무선 계측 시스템, 자동화 기술 등에 관한 수많은 연구가 이뤄졌지만, 육안검사나 재하시험 등 인력에 의한 점검을 대체할 만한 수준에 미치지 못하거나, 성능은 우수하지만 경제성의 문제로 유지관리 업무에 적용되지 못하는 기술이 대다수임. 따라서 성능과 경제성을 확보하면서 노후교량의 거동평가와 성능평가에 직접적으로 활용할 수 있는 계측 장비 및 상시 모니터링 시스템 개발이 필요함. 또한 기술시장 선도를 위해 IT등 첨단기술과 융합한 첨단 센싱 기법 개발이 필요함

표 2-68. 계측/모니터링/센서분야 기술현황 및 연구 필요분야

구분	내용
문제점	<ul style="list-style-type: none"> 무선 계측 시스템, 유지관리 업무의 자동화 기술 등 다양한 기술연구가 수행되었지만 육안점검, 재하시험 등 인력에 의한 점검을 대체할 수준의 기술 부재로 사후적 유지관리가 이루어지고 있음 성능이 우수한 계측 장비와 모니터링 시스템은 과다한 설치 및 유지관리 비용 등 경제성 부족으로 적용되지 못함 기존 상시모니터링 시스템은 특수교량 위주로 관리적 목적으로 구축되어 노후도 평가 및 관련 기술개발에 활용할 DB 제공 부재



연구 필요분야	<ul style="list-style-type: none"> 계측된 데이터의 활용성 향상 및 첨단 센싱기법을 적용해 예방적 유지관리가 가능한 경제성 있는 상시모니터링 시스템 개발 표준화 필요 IT 등 첨단기술과의 융합 연구 노후교량에 대한 계측데이터 기반 평가기술·예측기술 개발 등에 활용할 수 있는 상시계측 DB 확보 및 제공
---------	---

- 【국가 상위 계획과의 부합성 검토】 국가 상위계획에서는 안전 및 유지관리 분야에 대한 투자 확대와 기술 개발을 계획하고 있어 노후교량 장수명화 기술개발 계획과 부합함
- ‘15~‘19년 국가재정 운용계획’과 ‘국가안전 大진단과 안전산업 발전방향’에서는 공공·민간 부문의 안전투자 활성화 유도계획을 마련하고 있고, 특히 안전 및 유지관리 분야 기술 R&D에 대한 재정적 지원을 확대할 계획임
 - ‘제5차 건설기술 진흥계획’과 ‘제3차 시설물의 안전 및 유지관리 계획’에서는 시설물 유지관리 분야의 기술개발을 통해 시설물 관리수준 향상을 계획하고 있음

표 2-69. 노후교량 장수명화 기술개발과 국가 정책 부합내용

구분	부합내용
2015~2019년 국가재정 운용계획 (기획재정부)	<ul style="list-style-type: none"> SOC 분야 민간, 공기업 투자 확대를 통한 재정 보완 새로운 민자방식 도입 및 민간참여 제약요인 해소로 민간자본 적극 활용 질적 성장, 주도형 R&D 투자 확대를 통한 성장 동력 창출 선도형 R&D 적극 발굴하고 혁신형 중소·중견기업에 대한 투자 강화 * 정부 R&D 중 중소·중견 기업 투자 비중(%): 13.2%(‘12) → 18%(‘16) 기초연구 투자 비중을 지속적으로 확대하고 후속 연구 지원을 통해 창의적·도전적 연구환경 조성 * 정부 R&D 중 기초연구 투자비중(%) 확대 : 34.1%(‘13) → 40%(‘17)
국가 안전 大진단과 안전 산업 발전방향 (국민경제 자문회의)	<ul style="list-style-type: none"> 선도적 정부투자로 신규투자 유발 및 민간투자 유도 시설물의 유지·보수 투자 비중 확대 등 안전투자 예산 규모의 획기적 확대 시설 유지·보수 관리에 필요한 자원 확보를 위한 민간투자 활용 안전산업 관련 R&D 확대 현재 3%수준인 전체 R&D 예산 대비 안전 R&D 비중을 확대

	<ul style="list-style-type: none"> • 산업관점에서 센서, ICT융합 등 안전 관련 핵심기술에 대한 투자 확대
제5차 건설기술 진흥 계획 [2013~2017] (국토교통부)	<ul style="list-style-type: none"> • 시설물 유지관리 단계 역량 강화 • 시설물 자산가치평가법 개발 • 유지관리 유형별 분석 모델 개발 및 관리주체 의사결정지원 체계 마련 • 시설물 정보를 BIM기술과 연계한 '스마트 유지관리 기법' 개발 • 유지관리시 도출된 취약요소 DB화하고 이를 시공·설계 단계로 피드백하는 선순환적 유지관리 강화
제3차 시설물의 안전 및 유지관리 기본계획 [2013~2017] (국토교통부)	<ul style="list-style-type: none"> • 안전하고 스마트한 시설물 유지관리 실현 • 시설물 사용성능 평가제도, 평가기준 및 기법 개발 • 시설물 종류별 잔존수명 평가 및 예측 기술, 보수·보강 기술 개발 • IT 등 기술 융복합화를 통한 첨단 진단 기술 개발 및 모바일 점검·진단 시스템 고도화

□ **【타 사업과의 중복성】** 미래창조과학부와 국토교통부의 사업 중 노후교량 장수명화 기술개발과 중복되는 사업은 없음

- 노후교량 장수명화 기술은 안전진단(성능평가), 보수·보강, 계측/모니터링/센서 분야 등 전체 유지관리 프로세스를 포괄하는 기술임. 이런 기술적 관점에서 타 부처/부처 내 사업과의 중복성을 검토 했을 때 일부 기술 분야가 겹치는 사업이 있었으나, 철거 교량을 실증에 활용하여 기존 성능평가 기준과 장수명화 요소기술을 검증·개량하여 노후교량을 대상으로 한 유지관리 및 수명연장 전반을 연구하는 점에서 차이가 있음
- 국토교통부의 'SOC 시설물 성능평가 기술개발 기획'은 전체 유지관리 프로세스 기술 중 계측/센서 분야에 초점을 맞추어 상태 정량화 기반의 종합성능평가 기준을 정립하는 것으로 보수보강분야에 대한 계획이 포함되어 있지 않고, 교량에 특화되기 보단 시설물별 기준정립을 계획하고 있음
- 국토교통부의 '지능형 친환경 교량'사업 분야는 유지관리 프로세스 전체 기술과 관련 있으나, 기존의 공용중인 노후교량에 대한 장수명화 기술 보다는 신규교량의 설계·시공 관련 친환경 소재개발과 장수명화 기술에 중점을 두고 있음. 특히, 노후교량에 대한 장수명화 기술은 부분 급속교체에 대한 기술만을 포함하고 있음.

표 2-70. 노후교량 장수명화 기술개발과 타 부처/부처 내 사업과 중복 여부

구분	관련 사업 내용	중복 여부
비파괴검사 기술·육성을 위한 연구기반구축 방안 연구 (미래창조과학부, 2014.06)	<ul style="list-style-type: none"> • 비파괴검사기술 개발을 효과적으로 추진하고, 개발된 기술의 실용화 촉진을 위한 비파괴검사기술 관련 인프라 구축 • NDT(Non Destructive Testing) R/D 연구 센터를 통해 연구 주제 주도적 발굴/선정, 연구 펀드 투자 및 분배 결정, 연구 인력 양성 • NDT 기술진흥센터를 구축해 첨단 기술의 실증연구를 수행하고 관련 기술의 응용과 산업 적용 실현 	X
SOC 시설물 성능평가기술 개발기획 (국토교통부, 2014.04)	<ul style="list-style-type: none"> • 국가 중요시설의 시설물 군별 성능 관리형 유지관리 체계 구축 및 제도화 • 3T기반 창의형 센서 활용 기술/ 고속·정밀 진단 기술/Big Data 기반 고신뢰성 성능저하예측기술/ 상태정량화 기반 성능평가체계 개발을 통해 적정규모의 예산을 적시에 투입하고, 상태평가 판정 결과의 신뢰도 및 정확도 향상을 목표로 수립 	X
지능형 친환경 교량 (국토교통부 .2011.10)	<ul style="list-style-type: none"> • 다양한 첨단 기술을 융·복합시킨 지능형 전략을 통해 사전 계획 및 교량 전 생애에 걸친 능동적 관리를 통해 30%의 탄소·에너지 저감과 100년의 공용수명을 보장하는 친환경 교량 개발 • ①다차원 BIM기술에 기반한 교량 생애주기 통합관리, ②친환경 소재를 활용한 저탄소 장수명 교량설계 및 시공기술, ③노후화 교량의 부분유지관리 및 능동적 부분급속교체가 가능한 장수명화 기술, ④첨단 센싱 및 로봇기술을 활용한 지능형 교량 통합관리 기술 등 4개 중점분야 기술 개발을 통해 지능형 친환경 교량 시공 기술 확보 관련 목표 추진 	X

2.5.2 경제성 분석

□ 편익 분석 대상

- 본 기획을 통해 추진하고자 하는 『노후(철거)교량의 성능평가를 통한 공용중 교량의 장수명화 연구기반 구축 연구(가칭)』에 소요되는 예산과 발생 할 것으로 예상되는 편익을 산출하여 분석

□ 편익 범위

- 본 기획연구의 장수명화 요소기술개발에 대한 편익*은 노후교량 미래 시장규모 추정이 가능한 시장재화에 대한 R&D에 의한 부가가치의 증대를 환산하기 위하여 연구개발 부문 예비타당성 조사 표준지침을 기반으로 시장접근법을 사용하여 산출
 - 연구개발 기간을 5년으로 하고, T/B교량 요소기술 실용화 기간을 3년으로 가정할 경우, 연구결과물이 시장에 반영되는 시기는 2024년 이후라고 할 수 있으며 기술개발에 의한 독점적 지위를 이용한 시장 지속년수를 5년(2024년~2027년)으로 가정

*편익= 시장규모×기술기여도/사회적할인율

표 2-71. 노후교량 장수명화 편익산출 지표

연도별 편익(억원)										
구분	시나리오	2016년 현재기준 가치		2024년	2025년	2026년	2027년	2028년	2029년	2030년
①	Best	12,146	연구 개발 기간 및 요소 기술 실용화 기간	36,516	42,495	50,067	59,015	69,593	82,102	96,901
	Normal	10,248		26,401	29,977	34,474	39,645	45,591	52,430	60,295
	Worst	8,349		18,151	20,147	22,667	25,515	28,735	32,377	36,498
②	Best	11,623		24,571	27,364	30,851	34,799	39,269	44,333	50,071
	Normal	9,806		17,765	19,303	21,243	23,377	25,726	28,311	31,156
	Worst	7,989		12,214	12,973	13,967	15,045	16,214	17,483	18,859
③	Best	2,906		6,143	6,841	7,713	8,700	9,817	11,083	12,518
	Normal	2,452		4,441	4,826	5,311	5,844	6,431	7,078	7,789
	Worst	1,997		3,053	3,243	3,492	3,761	4,054	4,371	4,715

- 16년 시장규모를 산정하고 시장성장을 반영한 값

①=노후교량 장수명화 시장규모(억원)

②=노후교량 장수명화 시장규모(억원)×현재가치적용(사회적 할인율)

③=노후교량 장수명화 시장규모(억원)×기술기여도현재가치적용×사회적할인율

□ [미래 노후교량 장수명화 시장규모 예측]

- (보수보강분야) 현재 노후교량 보수보강 시장규모 내용 중 '15년 3조 1천억원 중 약 20%(약 5,500억원)가 도로/철도 교량 투자인 점을 감안하고 향후 노후교량 유지보수 시장이 급격히 확대될 것을 예상할 때, 현 시장성장을 수준은 Normal 수준인 17%으로 규정, Best 수준은 22%, Worst 수준은 12%로 가정
- (계측/모니터링분야) 계측점검 전산화, 모니터링 ,USN/RFID 및 센서, 비파괴 등 계측/모니터링 시장 규모는 '09년 기준 6,000억원으로 연평균 20% 성장률 기록, '14년에는 2조 원의 시장형성. 단, 교량(계측, 모니터링, 센싱)시장규모 한정할 경우 전체 시장규모의 15%로 가정한 결과 3척8백억 수준('14년 기준) 예측
- 현 시장성장을 수준은 Normal 수준인 15%으로 규정, Best 수준은 20%, Worst 수준은 10%으로 가정

표 2-72. 노후교량 장수명화 유지관리 시장규모(표 2-71 편익산출지표 근거)

구분	시장규모(억원)	현재가치(억원)
2024	26,401	17,765
2025	29,977	19,303
2026	34,474	21,243
2027	39,645	23,377
2028	45,591	25,726

□ [편익 추정 결과]

- 2017년에 본 과제를 시작한다면 5년뒤 2024년 이후 편익과 가치는 4천4백억 2028년에는 6천4백억원까지 확보될 것으로 예측되며, 노후교량 장수명화에 따른 다양한 경제적 편익(유지관리 비용 절감, 요소기술 제품/서비스 매출, 안정성확보로 재해비용 절감 등)을 예상할 수 있음

- '15년도 전체 시설물 유지보수 시장규모(31,000억원) 중 도로/철도 교량분야는 약 17%인 5,500억원이며 매년 10%씩 성장할 것으로 예상
- 계측/모니터링분야는 '09년 기준으로 매년 20% 성장률을 기록하여 '14년에 2조원의 시장을 형성하고, 교량분야는 전체 시장의 15%로 가정
- * 편익 = 시장규모×기술기여도/사회적할인율, (기술기여도 25% 및 사회적할인율 4.5% 적용)

표 2-73. 노후교량 장수명화 편익 추정 결과(표 2-71 편익산출지표 근거)

구분	편익 (억원)
2024	4,441
2025	4,826
2026	5,311
2027	5,844
2028	6,431

※참고(출처)

- 1) 시설물 유지보수시장규모: 제5차 국민경제자문회의 관계부처, 안전산업 활성화 방안 (2015.03)
- 2) 건설교통부, 제2차 시설물의 안전 및 유지관리 기본계획, 시설물 유지관리업 계약금액 기준 연평균 증가율 전망치(2007.12)
- 3) KISTEP, 전현근, R&D Focus, 국가연구개발사업의 파급효과 추정방안에 대한 제언(2009.15호)
 - 기술기여도 산정값 제시
- 4) 2009 한국개발연구원(KDI)의 통상적 사회적 할인율 6.5%,2011년 국토해양부는 철도사업 경제성 평가에서 4.5% 제시, 본 자료에서는 국토부 분석에 기반하여 4.5% 적용
 - 사회적 할인율 제시

2.5.3 시사점 및 SWOT 분석

□ 시사점

- 노후교량의 성능평가기법, 보수보강 기술, 계측·모니터링 기술 개발 및 Test-bed 적용의 연구개발 선순환 체계 구축 필요

<ul style="list-style-type: none"> • '70-80년대 건설한 교량이 30-40년 되는 시점에 도래하고 있어 관리를 소홀히 할 경우 큰 인명 및 경제적 손실 우려 - 보수비용은 적정 유지보수시기 이후 급격하게 증가 - 노후화 교량 증가에 따른 유지보수비용 증가 - 시트법에 의한 1,2종 교량은 체계적 유지관리가 진행되고 있으나 지자체에서 관리하는 교량 및 종외 교량은 관리가 매우 취약
<ul style="list-style-type: none"> • 기술의 현장 성능검증 표준 및 지침 부재 - 교량 노후화에 적극 대응·대비하기 위한 관련 기준제도 정비 및 개발기술의 검증, T/B 연계 활용 필요
<ul style="list-style-type: none"> • 관련 기술개발과 제도개선 등 유기적 체계 필요 - 교량형식, 노후도, 보수보강 이력 등에 따른 객관적 의사결정(기술, 기준 등) 시스템 마련 요구



<ul style="list-style-type: none"> • 교량은 국민 안전과 직결되는 핵심 SOC 시설물로서 정부차원의 지속적 관리 및 투자 필요 • 교량 장수명화 관련 기술간 연계 및 시너지 창출을 위한 중소 노후교량 장수명화 관리 체계 방안 마련 • 교량 장수명화를 위한 기술·제품·공법 등의 실증실험을 위한 정부와 지자체의 적극적 지원체계 마련 • 교량 유지관리·보수보강 분야 중소기업 육성을 통한 국가 경쟁력 제고
--

- 노후교량 장수명화 기술개발 방향

현황 및 문제점
<ul style="list-style-type: none"> • 육안점검으로 구조적 결함의 정확한 진단 난이 • 기술자의 수준에 따라 상이한 결과 도출 • 기존의 내하력 평가기법은 주요 성능인자들의 변동성에 대한 연구와 DB가 부족하여 변동성을 고려한 구조적 성능변화 및 환경적 요인에 의한 열화의 영향 반영이 어려움
<ul style="list-style-type: none"> • 교량형식, 노후도 등 상황별 적용 공법·기준 등 지침 부재로 상이한 공법 적용 • 보수보강 공법의 성능에 대한 객관적 평가방법 및 시방서 부재로 정확한 보강성능 확보 불명확
<ul style="list-style-type: none"> • 무선계측시스템, 유지관리 업무의 자동화 기술이 발달하였으나 사후적 유지관리 기술 미비 • 우수한 성능의 계측 장비, 모니터링 시스템은 개발되고 있으나 경제성 부족으로 적용 미미

성능평가
(안전진단)



보수보강



계측
모니터링



기술개발 방향
<ul style="list-style-type: none"> • 육안검사를 대체할 정량적 상태평가 기술 개발 • 제원, 강도, 열화도 등 교량의 성능인자들의 대표값과 변동성에 대한 DB구축 및 다양한 영향인자 고려한 성능 예측 모델 개발 • 사용성능, 생애주기비용 등을 고려한 통합 유지관리기술 개발 등
<ul style="list-style-type: none"> • 손상별 적용해야 할 보수보강 공법 종류 및 수준 판별 기준 개발 • 기존 보수보강 공법에 대한 객관적 성능평가 및 보수보강 설계기준, 표준실험 절차 마련 • 경제성·안전성을 고려한 보수보강공법 개발
<ul style="list-style-type: none"> • 계측된 데이터 활용성 향상 및 기존 개발 기술의 성능검증을 통한 실용성 있는 모니터링시스템 개발 • IT 등 첨단기술과의 융복합 기술 적용 • 첨단기법을 적용한 이상신호 감지·분석기술 개발

□ SWOT 분석

- 국내외 기술개발 현황 조사, 전문가 자문 등을 통해 노후교량 관리, 감시·평가·예측 등에 대한 우리나라의 강점과 약점을 도출
- 첨단 IT 기술 및 정보공유 인프라를 보유하고 있으며, 노후교량 계측을 위한 다양한 모니터링, 예측 장비를 보유하고 있으나, 교량 관리에 특화된 정보의 통합적인 분석 능력이 미흡하고 1,2종 외 비교적 규모가 작은 노후교량 다수 존재

표 2-74. 강점과 약점

강점 (Strength)	약점(Weakness)
<ul style="list-style-type: none"> • IT 등 첨단기술 분야에 대한 핵심 및 교량 유지관리 기술 보유 • T/B교량 활용을 위한 충분한 전문인력, 장비 인프라 확보 • 인터넷 강국으로서 세계 최고 수준의 교량정보공유 기반 및 정부 정보공개 확대 정책 	<ul style="list-style-type: none"> • 교량의 노후도 판별이 어렵고 관리가 소홀한 중·소 교량이 다수 존재 • 교량정보를 전문적으로 분석하기 위한 교량관리자료 확보와 통합적 분석능력 미흡 • 유지관리기반 보수보강, 모니터링 기술 등 응용기술 부족 및 상용화 미흡

- 미래사회 이슈, 선진국의 정책 동향, 교량 유지관리 시장환경 분석 등을 통해 노후 SOC시설물 재해의 감시·평가·예측을 둘러싼 기회요인과 위협 요인을 파악
- 교량 노후도에 따른 관련 피해가 심화되고, 그에 따른 비용은 10년, 20년 뒤 기하급수적으로 늘어나 유지관리대책이 시급한 실정이나 관련 기술 및 법규가 제대로 수행되지 않아 대응체계가 시급한 실정

표 2-75. 기회 및 위협 요인

기회(Opportunity)	위협(Threat)
<ul style="list-style-type: none"> • 노후교량의 보수보강시기의 증가로 인한 교량유지관리 관련 사업의 지속적인 확대 • 국가 주도의 노후인프라시설 관리체계의 추진으로 인한 관련 자료의 증가 • 과학기술의 급속한 발달 및 기술의 융복합화에 따른 교량 관련사업 비즈니스의 다양화 	<ul style="list-style-type: none"> • 중국 및 인도 등 신흥 교량기술 선진국들의 기술 수준 향상 및 부상 • 노후교량 유지관리 분야의 환경규제 강화에 따른 새로운 장벽 등장 • 모니터링 및 보수보강 분야 등 교량 유지기술에 대한 선진국과의 기술격차가 지속적으로 확대

표 2-76. SWOT 매트릭스

	강점(S)	약점(W)
기회여의(O)	<p>SO 전략 : 강점과 기회여의의 시너지 전략</p> <ul style="list-style-type: none"> • 앞선 IT 기술과 정보공유 기술을 활용한 계측 데이터의 통합적 활용기술 개발 • SOC분야(교량,교통,도로) 등 다학제적 협력 연구 강화 • 글로벌 교량유지관리기술 산업을 선도할 수 있는 핵심기술 개발 • 노후화되어 철거되는 교량을 R&D와 연계하여 관련 기술개발에 활용 	<p>WO 전략 : 약점 극복전략</p> <ul style="list-style-type: none"> • 노후시설물 감시·평가·예측 데이터 확보를 위한 ICT 기술의 활용성 강화 • 교량관리 등 관련분야 기술혁신 및 원천기술 확보 • 교량유지관리 분야의 새로운 시장을 창출할 수 있는 보수보강 기술 개발 투자 확대 • 기존의 보수보강 관련 기술의 문제점 분석 및 향후 기술과의 연계 방안 마련으로 기개발 기술의 활용성 확대
위협여의(T)	<p>ST 전략 : 위협 극복 전략</p> <ul style="list-style-type: none"> • 교량관련 정보를 통합적으로 관리할 수 있는 표준화된 정보 제공 및 운영·관리 방안 마련 • 미래 노후교량에 선제적 대응을 위한 요소기술 개발 및 실용화 확대 • 기술 우위를 강화한 교량관련 보수보강 신기술 개발로 글로벌 산업으로 진출 확대 • 관련 중소기업의 기술개발 및 활용 촉진으로 기업의 기술 경쟁력 제고 	<p>WT 전략 : 위협 회피 전략</p> <ul style="list-style-type: none"> • 기초·원천기술 분야에 대한 융합연구 활성화 지원 확대 • 신흥 개도국의 교량 인프라시설에 대한 기술 선점, 시장진출 활용 전략 수립 • 교량관리 R&D 투자 확대 및 이를 통한 선순환 구조 확립

2.6 중복성 검토

2.6.1 국토교통 타 연구과제와의 중복성 검토

- 수행중인 타 연구과제와의 중복성 검토를 세부적으로 수행함. 교량 성능평가·수명예측 관련 기술에 대해 현재 수행중인 2개 과제를 선정하여 중복성 검토 수행
 - * (1) “사회기반시설의 성능중심 관리, 운영을 위한 한국형 성능등급 산정 기술 개발”
 - * (2) “ICT기반 교량 수명연장을 위한 부분교체 및 저탄소 소재 활용 기술 개발”

- 보수보강 실증분야 : 2개 과제와 중복성이 전혀 없음. (2)번 과제는 교량의 수명연장을 위해 교량 일부를 부분교체를 하는 기술·공법을 개발하는 과제로서, 부분교체 없이 보수보강 성능을 실증·평가하는 본 과제와는 차별화됨
- 안전성(내하력)에 대한 성능평가 기술개발 및 실증분야 : (1)번 과제는 종합성능평가 절차·지침을 개발하는 정책적 과제로서, 보수보강 기술을 실증하는 본 과제와는 차별화됨. 또한 (1)번 과제에서 실교량 검증시 내구성, 사용성, 기능성에 대한 실증만 다루고 있어, 안전성을 다루는 본 과제와는 중복되지 않음
 - 다만, 타 과제의 내용 중에 종합성능평가 절차를 개발 후 노후교량을 대상으로 한 실증연구가 미흡한 것으로 보여, 본 과제에서 보수보강 실증분야와 병행하여 종합성능평가에 대한 실증연구를 추가 반영하는 것이 효과적일 것으로 판단됨
- 성능평가 및 잔존수명 예측기술 분야 : (2)번 과제에 포함되어 있는 “내하성능 평가모델 개발 및 잔존수명 예측기법 개발”은 강교량을 대상으로 한 피로수명 평가에 대한 예측기법 개발이며, 본 연구는 콘크리트 교량에 대해 보수보강 이후 내하성능에 대한 잔존성능을 예측하는 것으로서 대상교량 형식 및 성능평가 대상이 모두 다름

□ 주요 유사과제와의 중복성 검토 수행

과제명	사회기반시설(SOC)의 성능중심 관리·운영을 위한 한국형 성능등급 산정기술 개발	[본과제] 중소 노후교량 장수명화 요소기술 실증 및 최적화 연구	검토 의견
연구기간	2014. 06. 27 ~ 2017. 06. 26 (3년)	2017. 05 ~ 2022.05 (5년)	
주관연구기관	한국건설기술연구원	미정	
연구책임자	박기태	미정	
과제 목표	<ul style="list-style-type: none"> ■ 사회기반시설 8종*의 성능중심 관리·운영을 위한 단위 시설물별 성능평가 프로세스 개발 및 현장적용 기반 제공 * 도로, 철도, 항만, 댐, 공항, 하천, 상수도, 국가어항 	<ul style="list-style-type: none"> ■ 국내 영구폐쇄·철거교량을 활용한 실증연구를 통해 중소 노후교량의 수명연장을 위한 보수보강 기술의 성능 정량화개선 및 장수명화 요소기술 확보 	
주요연구내용	<ul style="list-style-type: none"> ■ (1세부) 유지관리체계 선진화 방안 개발 <ul style="list-style-type: none"> - 국가 유지관리 분야의 R&D 전략 로드맵 (안) 및 세부시행 방안 도출 	<ul style="list-style-type: none"> ■ (2세부) 중소 노후교량 종합성능평가 실증 및 개선방안 제시 <ul style="list-style-type: none"> - 보수보강 실증 및 성능 DB의 기존 BMS 시스템 연계 - 장수명화 요소기술을 적용한 노후교량 유지관리 방안 제시 	<ul style="list-style-type: none"> ▶ 기존 유지관리 방안에 미흡한 보수보강 방법들에 대한 실증DB를 기존 BMS에 연계시키고 이를 활용할 수 있도록 유지관리 방안을 제안하기 위한 것임 ▶ 기존 연구의 국가 유지관리 분야의 R&D 전략 로드맵과는 차별화되며 서로 보완될 수 있을 것으로 판단
	<ul style="list-style-type: none"> ■ (2세부) 주요 SOC시설물별 성능평가 프로세스 및 시범사업 기술 개발 <ul style="list-style-type: none"> - 2차년도에 4종 시설물(도로/철도/하천/댐) 유형별 평가항목 및 평가지표 설정 및 시범사업 현장적용 - 재료별(콘크리트/강재) 내구성, 시설물별 사용성 및 기능성에 대한 평가항목 도출 및 항목별 등급 산정(안) 도출 - 시설물별 관련 매뉴얼 작성 ※ 시범사업 대상(도로교, 3개소): 남대천대교, 춘성대교, 돌산대교 	<ul style="list-style-type: none"> ■ (1세부) 중소 노후 콘크리트교량 장수명화를 위한 보수보강 실증 연구 <ul style="list-style-type: none"> - T/B·철거교량 활용 보수보강 기술 실증 및 개선 연구 ■ (2세부) 중소 노후교량 종합성능평가 실증 및 개선방안 제시 <ul style="list-style-type: none"> - 신뢰도기반의 교량 내하력 평가기술 실증·개선 및 평가매뉴얼 개발 - 다중데이터(Multi-data) 분석을 통한 내하성능 평가기술 개발 	<ul style="list-style-type: none"> ▶ 기존 연구는 종합성능평가를 위한 프로세스(평가항목, 지표, 매뉴얼 등)를 개발하는 과제로서, 내구성, 사용성, 기능성에 대한 부분만 포함되어 있으며, 내하력(안전성)에 대한 실증연구는 미포함(특히 보수보강 방법 정량화 연구내용 없음) ▶ 또한, 시범사업 실증 대상교량인 콘크리트 교량은 1개소뿐이며 안전등급이 B등급으로 개통된 지 12년 밖에 지나지 않은 신설교량임 ▶ 본 연구에서는 노후도가 높은 중소규모의 콘크리트교량의 보수보강 기술 적용 전후의 실

<ul style="list-style-type: none"> ▶ 시범사업 영역은 기존제도(시특법 정밀안전진단 및 정밀점검)와의 중복을 피하기 위해 “내구성+사용성” 평가와 관리목표 설정분야를 영역으로 설정 ▶ 상태평가, 안전성평가는 기존 점검·진단 자료를 검토하여 사용하는 것으로 시범사업시 제외 		<p>증 연구(내하력)로서 차별화됨</p> <ul style="list-style-type: none"> * 노후교량: 30년 이상 또는 안전등급 D등급 수준 * 중소교량: 경간장 100m 이내 교량 <p><참조></p> <ul style="list-style-type: none"> • 남대천대교(콘크리트 PC박스거더교(PCB)/'04년) 최대경간장 110m, 연장 1,040m, 안전등급(B) • 춘성대교(강박스거더교(STB), 舊 '89, 新 '99년) 최대경간장 50m, 연장 850m, 안전등급(舊:C, 新:B) • 돌산대교(사장교(CS), '84년) 최대경간장 280m, 연장 450m, 안전등급(C)
<ul style="list-style-type: none"> ■ (3세부) SOC시설물별 목표성능등급 설정 기술 개발 <ul style="list-style-type: none"> - 2차년도에 4종 시설물(도로/철도/하천/댐)에 대한 목표성능등급매뉴얼(안) 작성 및 시범사업 적용검증 	<p><해당 없음></p>	
<ul style="list-style-type: none"> ■ (4세부) 주요 SOC시설물별 투자우선순위 의사결정 모델 개발 <ul style="list-style-type: none"> - 상태, 내구성, 서비스성능 등을 종합적으로 고려한 투자우선순위 모델 개발 및 목표성능 달성을 위한 비교분석 방법론 개발 - 네트워크 레벨의 시설물 경제성 평가 방안 검토 - 관리주체 업무활용 방안 제시(관리인력 및 상세제원 고려) - 시설물내에서 부재별/부위별 보수/보강 조치에 대해 각 유지관리 조치에 대해 목표성능 달성을 위한 우선순위 보수 부재/부위 선정 	<ul style="list-style-type: none"> ■ (1세부) 중소 노후 콘크리트교량 장수명화를 위한 보수보강 실증 연구 <ul style="list-style-type: none"> - 노후교량 최적 보수보강 선정을 위한 의사결정 시스템 개발 	<ul style="list-style-type: none"> ▶ 기존 연구에서의 투자우선순위 의사결정 모델 개발의 주요 내용은, 시설물의 종합적인 목표성능 달성을 위해서 보수보강 조치시 우선투자를 위한 부재/부위를 선정하는 것으로 대상물을 선정하기 위한 것임 ▶ 반면, 본 연구는 대상 부재에 대한 보수보강시 최적의 보수보강 방법을 선정할 수 있도록 제시하는 것으로 차별화됨
<ul style="list-style-type: none"> ■ (5세부) SOC시설물 대표 성능등급 산정 방안 	<p><해당 없음></p>	

	<p>제시</p> <ul style="list-style-type: none"> - 선진국 리포트 카드 벤치마킹을 통해 우리나라 SOC시설물별 대표 성능등급 산출 개념 설계서 제시 		
<p>종합의견 및 보완사항</p>	<ul style="list-style-type: none"> ○ 본 연구는 기존 연구와 차별성을 갖추고 있는바, 중소 콘크리트 노후교량에 대한 보수보강 실증분야는 그대로 유지 필요 ○ 추가적으로 기존 연구에서 개발되는 도로교에 대한 종합성능평가 프로세스에 대해서는 다양한 교량에 대한 실증 및 향후 피드백을 통한 개선 등이 요구되므로, 종합성능평가 프로세스에 대한 실증연구를 추가하는 것이 합당할 것으로 판단됨 <p>※ 실증연구에 대한 소요예산이 커서 대상교량의 범위 및 수량에 대해서는 별도 협의가 필요</p>		

과제명	ICT 기반 교량 수명 연장을 위한 부분교체 및 저탄소 소재 활용 기술 개발	[본과제] 중소 노후교량 장수명화 요소기술 실증 및 최적화 연구	검토 의견
연구기간	2013. 06. 01 ~ 2018. 05. 32 (5년)	2017. 05 ~ 2022.05 (5년)	
주관연구기관	한국과학기술원	미정	
연구책임자	손훈	미정	
과제 목표	<ul style="list-style-type: none"> 탄소발생량 절감 30% 및 공용 수명 100년 달성을 위한 교량기술 확보 	<ul style="list-style-type: none"> 국내 영구폐쇄·철거교량을 활용한 실증연구를 통해 중소 노후교량의 수명연장을 위한 보수보강 기술의 성능 정량화개선 및 장수명화 요소기술 확보 	
주요연구내용	<ul style="list-style-type: none"> (1세부) 부분 조립 및 교체가 가능한 지능형 급속시공 기술 개발 <ul style="list-style-type: none"> 부분교체용 프리캐스트 바닥판 급속시공 기술 설계 및 시공 최적화를 위한 지능형 교각 급속시공 기술 교량 바닥판 친환경 부분해체 시스템 및 신축이음장치 급속해체 기술 개발 	<ul style="list-style-type: none"> (1세부) 중소 노후 콘크리트교량 장수명화를 위한 보수보강 실증 연구 <ul style="list-style-type: none"> T/B·철거교량 활용 보수보강 기술 실증 및 개선 연구 실증데이터 기반 보강기술의 성능 정량화 기술 개발 	<ul style="list-style-type: none"> 기존 연구는 교량의 특정 부재(프리캐스트 바닥판, 교각, 신축이음 등)에 대한 급속교체·시공에 대한 공법·기법 개발 연구임 본 연구는 교체공법이 아닌 기존 노후된 부재에 대한 보수보강을 통한 실증연구로 장수명화 관점에서는 지향하는 목표는 같으나 방법론에서 차별화됨
	<ul style="list-style-type: none"> (2세부) 저탄소 소재활용 친환경 교량 기술 개발 <ul style="list-style-type: none"> 저탄소 소재 활용 철근저감 PSC 거더 생애주기비용 절감 장수명강재 하이브리드 거더 내진성능 향상 복합 교각 장수명 FRP 보강근 콘크리트 바닥판 	<ul style="list-style-type: none"> (1세부) 중소 노후 콘크리트교량 장수명화를 위한 보수보강 실증 연구 <ul style="list-style-type: none"> 노후교량의 정량적 유지관리를 위한 고정밀 입력하중 및 부반력 측정시스템 개발 노후교량 보강 수준 모니터링용 시트형 보강재 개발 	<ul style="list-style-type: none"> 기존 연구는 저탄소 소재를 활용하여 신설교량 제작시 탄소절감(저탄소 강섬유, 고에너지 흡수강)을 목표로 하는 재료·공법 개발 연구임 본 연구는 보수보강 전후 성능변화 계측을 위한 측정기술·센서 개발로 모든 면에서 차별화됨
	<ul style="list-style-type: none"> (3세부) 예방적 유지관리를 위한 지능형 친환경 통합 관리 기술 개발 <ol style="list-style-type: none"> 광역 및 국부 정보융합 교량 관리 기술 <ul style="list-style-type: none"> LCC 산정 및 생애주기 성능이력 산정 기초 모델 및 피로수명 평가 기법 개발 LCC 산정 및 내하성능 평가모델 및 잔존 수명 예측기법 개발 	<ul style="list-style-type: none"> (1세부) 중소 노후 콘크리트교량 장수명화를 위한 보수보강 실증 연구 <ul style="list-style-type: none"> 보강보강 성능 예측 및 수명평가 기술 개발 	<ul style="list-style-type: none"> 기존 과제는 강교량에 대한 피로성능평가 목적 본 연구는 콘크리트 교량의 보수보강 전후의 수명평가와 보강후 성능예측을 목적으로 하고 있어 대상물, 방법 및 목적 모두 차별화됨

	<ul style="list-style-type: none"> ■ (2세부) 중소 노후교량 종합성능평가 실증 및 개선방안 제시 <ul style="list-style-type: none"> - 신뢰도기반의 교량 내하력 평가기술 실증·개선 및 평가매뉴얼 개발 - 다중데이터(Multi-data) 분석을 통한 내하 성능 평가기술 개발 	<ul style="list-style-type: none"> ▶ 본 과제는 노후 콘크리트 교량에 대한 보수보강 전후 성능확인을 위한 내하력 평가기술 개발에 대한 것으로 기존 과제의 대상 및 목적과 확연히 차별화됨
<p>(2) 광역 데이터 기반 전역적 교량 평가 및 모니터링 기술</p> <ul style="list-style-type: none"> - 단위기술 개발 및 실험실 규모 축소모형 실험을 통한 성능검증 - 교량상태 평가를 위한 계측기반 해석모델 구축 기법 개발 및 실내실험검증 - 입출력관계기반 및 개선된 해석모델을 이용한 교량 상태평가 기법 테스트베드 적용성 검증 	<ul style="list-style-type: none"> ■ (1세부) 중소 노후 콘크리트교량 장수명화를 위한 보수보강 실증 연구 <ul style="list-style-type: none"> - 노후교량 장기계측데이터 확보 	<ul style="list-style-type: none"> ▶ 기존 과제는 모니터링을 위한 단위기술 개발이 목적이며 검증을 위해 모니터링 데이터를 활용한 교량상태평가가 실증으로 포함되어 있음 ▶ 반면에 본 연구는 보수보강 전후 대상교량의 성능변화를 추적 분석하기 위해 일반적인 장기계측시스템을 설치하는 것으로 모니터링 시스템 자체에 대한 기술개발 등은 포함하지 않음
<p>(3) ICT 기반 국부손상감지 기술</p> <ul style="list-style-type: none"> - 용접부 피로, 텐던 긴장력 모니터링 및 평가 - 무선 전력 및 데이터 전송기술 - 국부손상 진단용 내장형 센서노드 시제품 제작 및 성능검증 	<p><해당 없음></p>	
<p>(4) 센싱 기반 형상관리 및 정밀시공 관리 기술</p> <ul style="list-style-type: none"> - 특징 추출 알고리즘 및 부재위치 측정 시스템 단위기술 개발 	<p><해당 없음></p>	
<p>(5) 저탄소 고성능 환경부하 저감형 보수보강 재료 개발</p> <ul style="list-style-type: none"> - 산업부산물 활용 무시멘트 모르타르 배합 기술 - 분사식 섬유보강 복합재료 개발 - 무용제형 고내구성 방식재료 배합기술 	<ul style="list-style-type: none"> ■ (2세부) 중소 노후교량 종합성능평가 실증 및 개선방안 제시 <ul style="list-style-type: none"> - 신뢰도기반의 교량 내하력 평가기술 실증·개선 및 평가매뉴얼 개발 - 다중데이터(Multi-data) 분석을 통한 내하 성능 평가기술 개발 	<ul style="list-style-type: none"> ▶ 기존 연구는 산업부산물을 활용한 무시멘트 보수 몰탈 제조기술에 대한 것으로, 보수보강 공법 검증개선이 아닌 순수 재료개발 연구이며, 실증을 통한 내구성평가가 포함되어 있음 ▶ 본 과제는 보수보강 전후 성능확인을 위한

	<ul style="list-style-type: none"> - 보수·보강·방식재료의 내구성평가 및 실험식규모 구조성능 평가수행 - 개발된 보수·보강·방식기술의 Mock-up test 를 통한 성능평가 - 현장모사 Mock-up test 통한 보수/보강/방식재료의 적용 및 성능 검증 		내하력 평가기술 개발에 대한 것으로 차별화됨
	<p>(6) 교량 유지관리를 위한 클라우드 기반 빅데이터 관리 기술</p> <ul style="list-style-type: none"> - BIM-교량 모니터링 통합시스템 및 클라우드 기반 계측정보 데이터 베이스 서버 구축/성능평가 	〈해당 없음〉	
<p>종합의견 및 보완사항</p>	<ul style="list-style-type: none"> ○ 기존 과제의 “내하성능 평가모델 개발 및 잔존수명 예측기법 개발” 과 중복성 여부를 검토한 결과, 용어 사용의 중복 문제일 뿐 대상 교량형식 및 평가 목적 등에 있어 차별화 된 것으로 확인됨 ○ 또한 다른 연구내용에 있어서도 전혀 중복됨이 없으므로, 본 과제에 대한 연구범위 및 내용은 그대로 추진함이 타당하다고 판단됨 		

□ 기타 관련 연구과제와의 중복성 검토

○ 사회기반시설 장수명화를 위한 고성능 방수방식 요소기술 개발

과제명	사회기반시설 장수명화를 위한 고성능 방수방식 요소기술 개발
연구기간	2010-06-30~2013-06-29
예산	781백만원
기관/책임자	한국건설생활환경시험연구원/김영근
대 상	해양,고도정수처리시설,지하공간
연구분야	<p>고내수성 폴리우레아 수지 개발</p> <ul style="list-style-type: none"> • Non-yellowing type의 수지, 내구성이 우수한 방수/방식재 개발 • 비장비형 폴리우레아, 폴리우레아 primer 개발 <p>시공기술 개발</p> <ul style="list-style-type: none"> • 대규모 시설에 적용가능한 범용 국산 시공장비 개발 • 시공시설 및 시공부위별 작업성이 우수한 장비 개발 <p>전문시공표준개발 및 체계정립</p> <ul style="list-style-type: none"> • 내구성 평가방법개발 및 내구설계기술 정립 • 현장 품질관리 및 설계/시공 지침서 마련
차이점	<ul style="list-style-type: none"> • 상하수도, 정수처리시설 등 노후도 열화조건에 따른 시설물 수명연장을 사전에 보호하기 위한 고성능 방수, 방식재 및 시공기술을 개발하여 노후화를 방지 기술개발 • 실증기반의 DB확보 및 요소기술개발과 다른 연구
종합의견	<ul style="list-style-type: none"> • 본 연구는 SOC시설물의 노후화에 따른 고성능방수, 방식재 등 재료 및 시공기술 개발에 대한 연구이며, 실증기반의 교량장수명화 연구와는 차이가 있음

○ 교량 유지관리 자동화를 위한 첨단 로봇 시스템 개발

과제명	교량 유지관리 자동화를 위한 첨단 로봇 시스템 개발
연구기간	2005-12-01~2008-12-01
예산	1,925백만원
기관/책임자	한양대학교/이종세
대 상	교량
연구분야	<p>센서 말단 장치 기술</p> <ul style="list-style-type: none"> • 레이더와 열화상카메라를 이용한 콘크리트 비파괴시스템 개발 • 초음파 및 레이더를 사용한 내부결함 탐상시스템 개발 첨단이송기구 및 로봇제어 기술 • 첨단 자동탐사 굴절로봇차 개발 및 실용화 • 레일 이송 및 제어시스템 개발 • 비행체 및 제어시스템 개발 • 보행형 벽면검사 로봇 플랫폼 및 제어시스템 개발 • 탐사 로봇 플랫폼 및 제어 기술 개발
차이점	<ul style="list-style-type: none"> • 교량의 유지관리 자동화를 위한 첨단 로봇시스템 개발을 목적 • 첨단 이송기구 및 탐사로봇을 개발하여 교량의 통합 유지관리 자동화 시스템을 마련
종합의견	<ul style="list-style-type: none"> • “첨단로봇시스템”을 통한 교량 유지관리 자동화 시스템 개발로써 노후교량 실증 실험을 통한 노후교량 보수보강 및 수명연장 기술과는 차이가 있음

○ 콘크리트 구조물의 효율적인 유지관리를 통한 내구수명 확보방안 연구

과제명	콘크리트 구조물의 효율적인 유지관리를 통한 내구수명 확보방안 연구
연구기간	2004-07-01~2006-07-01
예산	107백만원
기관/책임자	(사)한국구조물진단학회/이명규
대 상	콘크리트 구조물
연구분야	<ul style="list-style-type: none"> • 콘크리트 구조물의 성능저하 모델정립 및 수명평가기법 구축 • 콘크리트 구조물의 선진화된 성능평가형 유지관리 시스템 개발 • 콘크리트 구조물의 성능평가형 유지관리를 통한 내구수명 확보방안 수립 • 생애주기비용(LCC) 개념에 의한 콘크리트 구조물 유지관리기법 개발
차이점	<ul style="list-style-type: none"> • 콘크리트 구조물의 조사 자료를 분석하여 손상 및 열화 특성 분류 • 분석된 자료를 통한 모델링 후 상태평가 및 안전성평가와 잔존수명평가를 수행할 수 있는 기법토대 마련 • 본 연구는 육안분석 또는 구조모델링 기법을 이용한 평가기법을 마련 하였으며, 실증(T/B)을 활용한 교량구조해석은 수행하지 않음
종합의견	<ul style="list-style-type: none"> • 단순 현장조사(VT)를 통한 데이터의 콘크리트 구조물의 열화·손상을 분류하고, 분석하는 개념의 연구이며, 폐교를 수집하여 실증기반의 성능평가 기술을 개발 한다는 개념은 보이지 않음

○ 시설물의 보수보강 방법 및 수준결정에 관한 연구

과제명	시설물의 보수보강 방법 및 수준결정에 관한 연구
연구기간	2010-01~2011-12
예산	-
기관/책임자	한국시설안전공단/오광진
대 상	콘크리트 교량·터널
연구분야	<ul style="list-style-type: none"> • 국내외 보수보강 공사 대책 마련을 위한 기초자료 수집 <ul style="list-style-type: none"> - 시설물 관리주체의 보수보강 필요 판정 기준 및 현황 분석 - 시설물 사용 요구수준의 분석 및 체계화 - 생애주기기법을 적용한 시설물자료 조사 - 보수보강 수준 및 우선순위 의사결정방안 검토 • 보수·보강 공사 필요성 판단기준 및 적정공법 선정 방안 작성 <ul style="list-style-type: none"> - 시설물의 현재 상태, 요구수준, 예산이 고려된 보수·보강공사의 필요성 판단기준 및 적정공법 선정 주요 인자도출 - 시설물의 상태, 요구수준 등을 고려한 보수·보강공사의 필요성 판단기준(안) 작성 - 시설물의 상태, 요구수준 등을 고려한 보수·보강 재료 및 공법 선정 요령 작성 • 보수·보강 수준 및 우선순위 결정 방안 수립 <ul style="list-style-type: none"> - 대상시설물, 부재별, 공법별 수준 및 우선순위 결정 주요인자 도출 - 관리주체 및 관련업체별 보수·보강방안 판단기법 및 연계성 분석 - LCC를 고려한 시설물별, 부재별, 공법별 수준 및 우선순위 결정 요령 작성

차이점	<ul style="list-style-type: none"> • 기존 보수보강 공법에 대한 보수보강 전후 성능평가, 실증, 기술에 대한 검인 증은 별도로 진행되지 않음 • 보수보강 재료·공법별 요구성능 평가지표, 평가 방법에 대한 표준·제도화(지침 및 매뉴얼 등)에 대한 추가적 연구는 수행되지 않음 • 보수보강을 통해 얻을 수 있는 장기계측데이터, 실증DATA에 대한 공유활용 방안에 대한 연구는 미수행
종합의견	<ul style="list-style-type: none"> • 교량 관리주체의 시설물 유지관리시 보수보강 필요성 판단기준(안), 재료·공법 선정 요령(안), 수준 및 우선순위 결정 요령(안) 등 보수보강에 대해 다양한 정책 결정, 기술 시공 등 지침을 제시

○ 저탄소 소재활용 친환경 교량기술 개발

과제명	저탄소 소재활용 지능형 친환경 교량기술 개발
연구기간	2013-06-01~2018-05-31
예산	1,706.57 백만원
기관/책임자	(주)포스코/성택룡
대 상	교량
연구분야	<ul style="list-style-type: none"> • 교량 생애주기에서 발생하는 탄소발생량의 30% 절감 및 공용수명 100년을 보장하기 위한 중경간(200m 이내) 교량 기술 개발 <ul style="list-style-type: none"> - 조립형태(부분 조립, 교체 가능)의 급속시공 기술 - 카본다이어트를 이용한 친환경 교량 기술 - 예방적 유지관리를 위한 지능형 친환경 통합 관리 기술 <ul style="list-style-type: none"> · 생애주기 비용 및 성능기반의 교량 관리 기술 · 각종 친환경 재료를 활용한 저탄소 고성능 환경부하 저감형 보수보강 기술 · 모니터링과 정밀 시공을 위한 비접촉 센싱 및 무선 USN 기반의 기술
차이점	<ul style="list-style-type: none"> • 교량 시공시 활용되는 재료·소재를 중심으로 친환경 교량 설계·시공기술 개발 • 교량 콘크리트 부재의 장수명화를 위한 FRP보강근 실용화 기술 개발을 통해 교량 부분 부재의 장수명화 요소기술 개발 수행 • 교량 시공시 적용 가능한 설계장수명 기술 위주로, 공기단축, 교통통제 최소화, 사용재료 절감 등 유지관리비용 절감 및 친환경 소재 사용으로 탄소배출량 저감이 가능함. 하지만 기존의 노후교량에 보수보강 및 유지관리를 위해 적용하는 공법과는 다소 차이가 있음 • 보수보강을 위한 섬유보강재료, 산업부산물 활용 그린 보수 모르타르 제조 기술 등 보수보강 방법이 아닌 보수보강에 활용되는 소재·재료 기술 개발에 한함 • 해당 과제에서 개발하고자 하는 예방적 유지관리를 위한 기술(USN, 저탄소 고성능 환경부하 저감형 보수보강 기술 등)은 “신규” 과제에서 개발하고자 하는 기술과는 중복성이 없음
종합의견	<ul style="list-style-type: none"> • 카본다이어트(저탄소 강섬유)와 같은 친환경 소재, 재료 등을 교량 시공, 보수 보강 적용 소재, 기술에 대한 장수명 요소기술 연구

○ 무인 검사 장비를 활용한 대형구조물 진단 및 원격 관리 시스템 개발 기획

과제명	무인 검사 장비를 활용한 대형구조물 진단 및 원격 관리 시스템 개발 기획
연구기간	2015-09-15~2016-02-14
예산	50백만원
기관/책임자	한국과학기술원/손훈
대 상	SOC 시설물(교량)
연구분야	<ul style="list-style-type: none"> • 무인검사장비를 활용한 구조물 검사 기술 <ul style="list-style-type: none"> - 무인검사장비의 개발 및 활용 기술 개발 • 비접촉 센싱 기반의 구조물 외부상태 진단 기술 <ul style="list-style-type: none"> - 비접촉 센싱 기술 활용을 통해 강·콘크리트 구조물 외부 상태 진단 • 무인검사장비 연계를 통한 시설물 평가 및 유지관리 기술 <ul style="list-style-type: none"> - 계측 데이터를 이용한 BIM 기반의 IoT 플랫폼 시스템 개발 및 운영체제 정립
차이점	<ul style="list-style-type: none"> • 교량 뿐 아니라 전체 SOC 시설물 전반에 대한 사항으로 보수보강을 통한 시설물의 성능평가 방법 및 강화 기술에 대한 연구와는 차이가 있음 • 무인검사장비, 비접촉 센싱의 경우 구조물의 외부 상태에 대한 판단 중심으로 진행되며, 구조물 내구성 등 강도와 같은 성능평가와는 다름 • 사고 예방을 위한 유지관리 기술들로 사고 후 보수보강 등 대처 방법에 대한 관리 기술이 아님
종합의견	<ul style="list-style-type: none"> • 사회기반시설물(교량) 안전성 진단 및 원격유지관리 시스템 개발 - (국토교통과학기술진흥원) ‘지능형건설자동화 기획과제’에서 추후 독립과제 형태로 추가 연구가 진행되도록 기획중임
기획과제	(2011.06-2012.03.) 한국건설기술연구원 - “분산정보 공유형 SOC 통합관리기술 연구단 기획” 완료

○ BRIDGE 200 (건설연 주요사업 2002~2006)

과제명	장수명 합리화 바닥판 개발(Ⅰ),(Ⅱ)
연구기간	2002-01-01~2002-12-01
예산	2495백만원
기관/책임자	건설기술연구원/김병석,황윤국
대 상	국내교량바닥판
연구분야	<ul style="list-style-type: none"> • 장수명 합리화 바닥판 개발 : 프리캐스트 콘크리트 바닥판 <ul style="list-style-type: none"> - 경제적인 장수명 합리화 바닥판 개발을 위한 과제로 현재의 바닥판 수명을 100% 이상 연장시키면서 경제성 및 시공성을 향상 시킬 수 있는 한국형 프리캐스트 콘크리트 바닥판을 개발 • 장수명 합리화 바닥판 개발 : 무강재 바닥판 <ul style="list-style-type: none"> - 수명, 경제성, 시공성, 유지관리 용이성 등이 우수한 무강재 바닥판을 개발 (FRP-콘크리트 합성 바닥판) • 장수명 합리화 바닥판 개발 ; 복합재료 바닥판 <ul style="list-style-type: none"> - FRP 신소재를 이용한 교량 바닥판의 개발 및 실용화에 관련된 연구로서 재료, 해석 및 설계기술을 연구하여, 기존 및 신설교량에 적용 가능한 FRP 바닥판을 개발 및 실용화하고, 궁극적으로는 FRP 재료의 구조재 활용을 위한 기반기술을 개발 및 제공하기 위함 • 장수명 합리화 바닥판 개발 : 강-콘크리트 합성 바닥판 <ul style="list-style-type: none"> - 기존 및 신설교량에 적용 가능한 고내구성과 고강성을 갖는 교량 바닥판을 개발하여 실용화하고, 궁극적으로는 강-콘크리트 합성 구조부재 활용을 위한 기반기술을 개발
차이점	<ul style="list-style-type: none"> • 본 연구는 바닥판 실험체별 보모델(SL-250,SL-300 등)의 이음부 간격을 달리하여 제작 후 파괴실험을 통한 하중-처짐 관계곡선에 대한 구조적 거동상태를 상호비교 분석연구가 대부분이며 노후교량 성능평과와는 차이가 있음
종합의견	<ul style="list-style-type: none"> • 파괴분석을 통한 구조적 거동상태를 상호비교 분석한다는 개념은 유사하지만, 실험체별 제작을 통한 연구는 장수명화 노후철거교량을 활용한 구조적 상태평과와는 다른 개념 • T/B교량을 활용한 장기계측모니터링, DB수집 확보의 개념은 본연구의 장수명 설계 자동화 프로그램(수량산출 등)과는 다른 시스템 • 따라서 진단에서 성능평가(보수보강 전후)까지 통합적으로 검증할 수 있는 개념의 장수명화 연구와는 다른 연구로 판단

3.1 기술수요조사

3.1.1 수요조사 개요

□ 배경

- '70-80년대 낙후된 건설기술 하에서 경제성장과 함께 집중적으로 구축된 인프라 시설이 30년 이상 경과하면서 향후 교량의 고령화율이 급증할 것으로 예상됨에 따라, 체계적 성능평가 및 보수보강 전략 마련이 매우 시급
- 따라서, 연구자 및 관련 기관(정부기관, 관련 기술 보유 기관 등)에서 느끼는 노후교량 장수명화를 위한 제도 개선(지침, 기준 등) 및 관련 기술개발 수요를 조사하여 반영하고자 기술수요조사를 실시함

□ 조사목적

- 기술분야별 전문가 그룹에서 도출된 노후교량 장수명화를 위한 개선사항 및 요소기술에 대한 수요조사를 통하여 우선 추진과제를 도출하고, '교량 장수명화 관리 허브센터(가칭)'의 구축 및 추진전략을 수립하는데 기초 자료로 활용하고자 함
- 본 설문조사를 바탕으로 관련 연구자 및 기관이 노후교량 장수명화를 위해 필요로 하는 기술요소(계측·모니터링, 보수보강, 성능평가·유지관리, 제도개선 및 테스트베드 등)를 도출하고, 기술간 연계 및 시너지 창출을 위한 노후교량 장수명화 연구기반 구축 및 실증 T/B 운영을 위한 세부 추진전략을 수립하고자 함

□ 조사대상 및 범위

- 본 수요조사는 General 수요조사로 교량 안전진단 및 성능평가를 주관·실시하는 연구기관, 관련 기술에 대한 해박한 지식을 보유한 전문가 및 전문기관을 대상으로 함
- 건설교통분야 연구자(개인), 연구기관, 시험기관 및 기업체 전문가
 - * 토목연구정보센터 연구자 POOL 794명
 - * 구조, 재료, 건설안전, 교량 유지관리·보수보강 등 관련 분야 전문가

□ 조사기간 및 방법

- ▶ **수요조사명**
 - 공용중 교량의 장수명화를 위한 기술수요조사
- ▶ **조사기간**
 - 2016년 1월 18일 ~ 2016년 1월 29일
- ▶ **조사 방법**
 - 건설연구인프라운영원, 토목연구정보센터(www.ceric.net)의 메일링 시스템을 활용하여 E-mail
- ▶ **수요조사 주요내용**
 - Part I. 응답자 인적사항
 - Part II. 노후교량의 유지관리 개선 및 장수명화 기술개발 필요성
 - Part III. 교량 장수명화 세부요소기술 수요조사

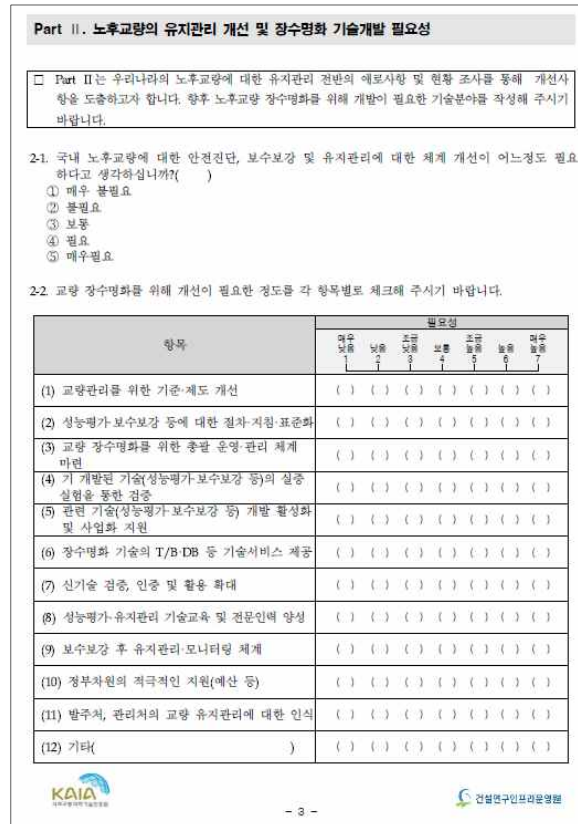


그림 3-1. 기술수요조사서 양식

□ 수요조사 응답 결과

- 총 794명 중 98명이 회신함으로써 약 12% 회신율을 보임
- 응답자 소속기관 형태는 대학(39%), 설계 및 엔지니어링(19%), 시공회사(14%), 정부 및 정부투자기관, 정부출연연구소 및 연구원(9%) 순
- 토목구조·재료 전공자 및 전문분야의 응답이 68%를 차지하였으며, 건설안전, 유지관리 및 방재분야, 토목시공, 도로, 유지관리 및 계측·모니터링 등 다양한 분야의 전문가가 수요조사에 참여
- 전체 응답자 중 산·학·연 비율은 학(44%), 산(35%), 연(21%) 순

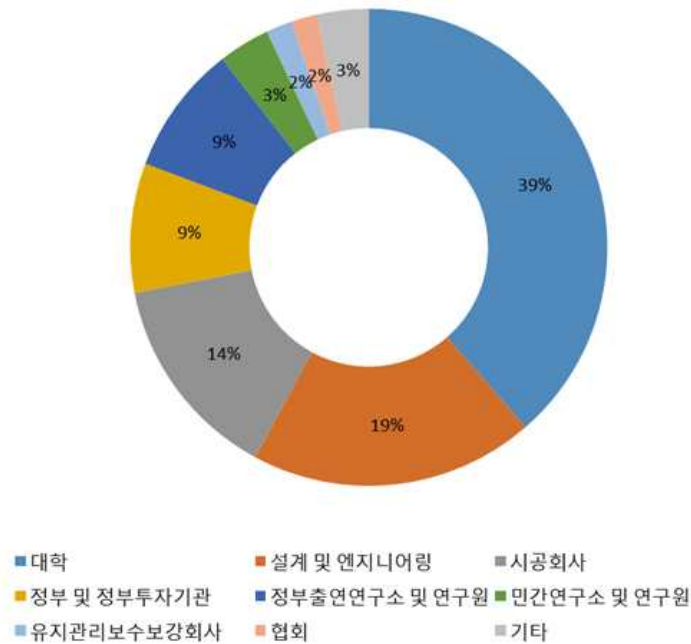


그림 3-2. 응답자 기관별 현황



그림 3-3. 응답자의 산·학·연 구분

3.1.2 ‘노후교량 장수명화 필요성 및 기술수준’ 설문 결과

- ‘노후교량에 대한 안전진단, 보수보강 및 유지관리에 대한 체계 개선’의 필요성
 - ‘필요’ 이상의 응답자가 96% 이상(‘필요’ 33%(32명), ‘매우 필요’ 63%(60명))으로, 관련 전문가 및 연구자는 노후교량 장수명화에 대한 필요성을 매우높게 인식
- 노후교량 장수명화를 위해 개선이 필요한 항목
 - 전체적으로 모든 항목에서 개선이 필요하다는 의견을 보였으며 ‘정부차원의 적극적인 지원(예산, 제도 개선 등)’ 및 ‘발주처, 관리처의 교량 유지관리에 대한 인식’ 개선이 상대적으로 높게 나타남



그림 3-4. 항목별 개선의 필요성

※ 각 설문 문항에 대해서는 등간척도(7점)를 적용하여 1(매우낮음)~7(매우높음)로 구분함

- 노후교량 장수명화를 위한 분야별 기술개발 필요성
 - ‘높음’ 이상으로 응답한 기준으로 ‘보수보강 및 유지관리’ (78%), ‘안전진단 및 성능평가’ (73%), ‘T/B·신기술 현장적용 Site’(71%), ‘계측 및 모니터링’(69%) 순으로 나타남
 - 그 중 ‘보수보강 및 유지관리’ 분야의 필요성이 높은 것은, 교량의 개축보다는 보수보강 및 유지관리를 통한 노후교량의 수명연장이 중요하다는 것을 의미하는 것으로 판단됨



그림 3-5. 안전진단 및 성능평가



그림 3-6. 보수보강 및 유지관리



그림 3-7. 계획 및 모니터링



그림 3-8. T/B · 신기술 현장적용 Site

○ 노후교량 장수명화를 위한 세부기술의 선진국 대비 기술수준

- 교량 성능평가 및 보수보강 기술은 선진국 대비 약 67% 수준으로 응답
- 성능평가 기술은 평균 68% 이상이나, 보수보강 기술은 평균 66% 수준으로 상대적으로 낮음



그림 3-9. 교량 성능평가 및 보수보강 기술의 선진국 대비 기술 수준(%)

※ 각 설문 문항에 대해서는 등간척도(7점)를 적용하여 1(매우낮음)~7(매우높음)로 구분함

- 안전진단 및 계측·모니터링 기술은 보수보강 기술과 같이 68% 정도의 기술수준을 보임
- 실증실험(49%), 공용수명 연장(57%) 및 잔존수명 예측기술(54%) 등 노후교량 장수명화를 위한 미래기술 분야의 기술수준이 상대적으로 낮게 나타남



그림 3-10. 교량의 공용수명 연장 등 장수명화 기술에 대한 선진국 대비 기술 수준(%)
 ※ 각 설문 문항에 대해서는 등간척도(7점)를 적용하여 1(매우낮음)~7(매우높음)로 구분함

- 특히, 기술수준 보다도 정책·제도·관리수준(약 52%)이 선진국에 비해 매우 낮게 나타나 정부차원의 체계적 유지관리 체계마련이 필요



그림 3-11. 교량의 관리 및 정부차원의 제도·정책 및 지원에 대한 선진국 대비 기술 수준(%)
 ※ 각 설문 문항에 대해서는 등간척도(7점)를 적용하여 1(매우낮음)~7(매우높음)로 구분함

3.1.3 ‘교량 장수명화 세부요소기술 및 중요도’ 에 대한 설문 결과

□ 노후교량 장수명화 연구단의 역할 및 기능

- (설문조사) 노후교량의 급격한 증가에 대비하고 교량장수명화를 전담하여 추진할 수 있는 조직을 구축하여 운영하고자 함에 따라 노후교량 장수명화 연구단의 역할 및 기능과 필요성에 대한 조사 실시
- (설문결과) 연구단의 역할로는 ‘정책·제도 제안(보완, 개선 등)’, ‘통합 모니터링 DB 구축 및 제공’의 역할이 가장 높게 나타났으며, ‘지속순환 조직 운영’ 등 기술정보 제공과 지원 업무의 필요성 또한 높게 나타남



그림 3-12. “노후교량 장수명화 연구단” 의 역할 및 기능에 대한 필요성

※ 각 설문 문항에 대해서는 등간척도(7점)를 적용하여 1(매우낮음)~7(매우높음)로 구분함

○ 추가의견

- 교량 수명관리에 대한 의견을 발주부처에 제안, 신개념·신형식의 교량 보수·보강 기술 개발에 대한 연구 필요
- 교량 관리와 관련한 통합적이고 체계적인 관리시스템 도입을 통해 기존기술의 통합과 실증을 통한 지속·순환형 체계 구축
- 노후교량 성능 실증을 토대로 한 성능평가 방법의 지속적 개선 지원 등

□ 노후교량 장수명화를 위한 세부요소기술

- (성능평가 및 잔존수명 예측) '상태·성능평가 기반 잔존수명 예측 기술' 및 '노후교량 수명연장을 위한 성능평가 기준 개선' 등이 우선순위로 도출됨

구분	점수(7점)	우선순위
· 상태·성능평가 기반 잔존수명 예측 기술	6.05	1
· 노후교량 수명연장을 위한 성능평가 기준 개선	6.04	2
· 교량 형식별 성능평가 실증 DB 구축 및 활용방안 제시	5.94	3
· T/B·노후교량을 활용한 성능평가기준의 실증	5.91	4
· 교량 형식별 성능 및 수명 저하 원인 규명	5.86	5
· 교량 장수명화 기술정보·성능 DB 구축	5.81	6
· 계측Data 및 구조해석을 통한 파괴 취약부재 분석기술	5.78	7
· 교량 안전진단 및 성능평가 표준지침·매뉴얼	5.76	8
· 노후교량 형식·손상부위·원인별 장수명화 시나리오	5.74	9
· 성능평가·성능향상 실증 및 교량의 장기성능 예측 모델	5.73	10
· 신뢰도 기반의 교량 내하력 평가 및 실증	5.69	11
· 교량 내구성평가 방법 및 기준	5.69	12
· 교량 안전성평가 방법 및 기준	5.69	13
· 교량 비파괴 기법 고도화 기술	5.69	14
· 계측Data 기반 교량 해석모델 업데이트 기술	5.66	15
· 교량 성능평가 방법 및 기준	5.66	16
· 교량 상태평가 방법 및 기준	5.64	17
· 상태평가 기반의 교량 성능 추정기술	5.61	18
· 교량 사용성평가 방법 및 기준	5.58	19
· 빅데이터(계측 Data) 기반 잔존수명 예측 기술	5.56	20
· 해석 기반 잔존수명 예측 기술	5.52	21
· BIM기술 기반의 교량 유지관리 및 DB구축	5.49	22
· 교량 재하실험 방법 및 기준	5.47	23
· 빅데이터(계측Data) 분석을 통한 성능평가기술	5.41	24
(추가 의견)		
· PSC 구조물 정착부 건전도 평가		
· 교량 받침 형식별 성능평가 실험절차 개발 및 품질확보 방안 수립		
· 콘크리트 비파괴검사 관련 표준 시험규격에 대한 내하력 평가 민감도 분석		
· 구조부재별 잔존수명 예측기술 개발		
· 강구조 부식방지 기술		
· 콘크리트 염해방지 기술		
· 철거대상교량을 대상으로 필드파괴실험을 통한 내구성 평가		
· 복합열화로 손상된 콘크리트 부재의 내구수명 평가시스템 개발		
· 노후교량의 내하성, 사용성 및 내구성 기반 통합잔존수명 예측 기술		

- (유지관리·보수보강) '보수보강 전후 교량 성능평가 정량화 및 효과분석', '교량 노후도·현상별 최적 보수보강 시나리오·매뉴얼' 등이 우선순위로 도출됨

구분	점수(7점)	우선순위
· 보수보강 전후 교량 성능평가 정량화 및 효과분석	5.80	1
· 교량 노후도·현상별 최적 보수보강 시나리오·매뉴얼	5.75	2
· 요구성능별 평가항목 및 평가시험 기술	5.72	3
· 보수보강재료 장기성능 검증 기술	5.71	4
· 보수보강 기술의 보유성능 DB 구축	5.68	5
· 보수보강기술의 성능평가 지표 및 표준지침 정립	5.66	6
· 교량 보수보강 방법의 표준화 기술	5.66	7
· 교량 수명연장을 위한 신보강기술	5.65	8
· 교량 잔존수명에 따른 유지관리 시나리오·매뉴얼	5.63	9
· 교량 형식별 노후도 분석 패턴·프로세스	5.62	10
· 보수보강 설계 모델 및 설계기준 표준화 기술	5.62	11
· 보수보강 설계를 위한 하중조합 및 계수 결정 기술	5.60	12
· 노후도 및 노후화 원인별 보수보강기술 매칭 기법	5.60	13
· 교량의 생애주기(LC)기반 통합 유지관리 체계	5.59	14
· 보수보강 의사결정(공법, 부재 우선순위 등) 지원시스템	5.59	15
· 보수보강 재료·방법 및 요구성능별 실험절차 표준화	5.58	16
· 보수보강 기술 장기 내구 성능 모니터링	5.58	17
· 이종재료(신구재료 포함) 접합 기술 및 평가 기술	5.55	18
· 자산관리(AM)기반 교량의 유지관리 체계	5.52	19
· 생애주기에 따른 유지관리 비용 산정 모델	5.52	20
· 보수보강용 신재료 발굴 및 적용성 평가	5.48	21
· 시공효율화 및 현장 공기 단축 기술	5.45	22
· 보수보강 기술별 장기성능 평가용 촉진시험 기법	5.36	23
· 보수보강에 따른 경제성 분석 모델	5.35	24
· 교통통제 최소화 기술 및 장비	5.33	25
· 안전진단·보수보강용 자동화 장비·시스템	5.33	26
· 자가치유 기술	5.07	27
(추가 의견)		
· 노후 철근콘크리트 교량의 고성능 보수보강 기술 개발		
· 장수명 신축이음장치의 개발		
· 보수·보강 우선 적용에 따른 경제성 효과 분석		
· 노후 철도 교량의 장수명화를 위한 자갈도상 최적화 기술 개발		
· 교량 신축이음장치의 국산화		
· BIM 연계한 부재별 잔존수명 평가 기술		
· 기존 보수·보강된 공법에 대한 성능평가 분석기법 개발		
· 초기 교량 데이터 수집 및 보수보강 이력 관리 시스템		
· 강교의 도장수명 연장기술 개발		
· PSC 교량 텐던 그라우트 충전정도에 대한 비파괴 검사법		

- (계측 및 모니터링) '손상정보 패턴 분석 기술', '영상 판독용 이미지 프로세싱 및 활용 기술' 등이 우선순위로 도출됨

구분	점수(7점)	우선순위
· 손상정보 패턴 분석 기술	5.52	1
· 영상 판독용 이미지 프로세싱 및 활용 기술	5.51	2
· 강부재 용접부 상태 감지 기술	5.49	3
· 강부재 볼트 풀림 감지 기술	5.47	4
· 계측데이터 기반 이상 신호 감지 기술	5.47	5
· 3차원 정보 기반 손상 관리 기술	5.46	6
· 센서 내장형 교량부재 개발 및 Sensing-structure Integrating 기술	5.45	7
· 광센서(FBG) 기반의 교량 계측 및 모니터링 기술	5.42	8
· RFID 기반 교량 계측 및 모니터링 기술	5.41	9
· 첨단 센싱 기술 기반 변위계측시스템 기술	5.40	10
· 교각 세굴 감지 및 평가시스템 기술	5.39	11
· 교량 모니터링용 계측기기 표준화 기술	5.39	12
· 센서 모듈화 및 신속교체 가능 기술	5.39	13
· 교량 성능 저하 정보관리 모듈화 기술	5.39	14
· 센서 및 계측기 내구성 향상 기술	5.37	15
· 유비쿼터스 센서 네트워크 기반의 무선계측 시스템 기술	5.33	16
· 계측데이터 기반 열화모델 생성 자동화 기술	5.32	17
· 부식측정용 센서 패키지 및 측정시스템 기술	5.32	18
· 유무선 혼합형 DAQ 기술	5.29	19
· 고정확도 BWIM 시스템 및 활용 기술	5.28	20
· 계측 받침 실용화 기술	5.25	21
· 센서시스템 운용 전력 공급을 위한 에너지 하베스팅 연계 기술	5.25	22
(추가)		
· BIM 기반의 계측 및 모니터링 정보 가시화 및 DB화		
· 드론기반 무인 모니터링 시스템 개발		
· UAV(드론) 기반 교량 모니터링 시스템		
· 교량구조물의 상시모니터링 기술 개발		
· 교량 모니터링을 위한 무선 계측 기법 개발		
· 일반 교량의 무인비행장치 통합 경제적 수명관리 기술 개발		
· 분포형 광섬유센서 기반의 교량 모니터링 활용 기술		

3.2 교량 장수명화 요소기술 우선순위 평가

3.2.1 전문가 대상 우선순위 평가

□ 평가의견

- 수요조사 결과에 대한 상세 검토를 위해 내외전문가 11인을 구성하여 필요성 및 중복성 검토를 수행하고 각 세부요소기술에 대한 우선순위 평가를 수행함

1. A위원

□ 성능평가 및 잔존수명 예측

- 기존 제도 「시트법, 안전점검 및 정밀안전진단 지침」 등에서 제시되어 있음. 또는 국가 R&D로 과업 진행 중인 기술요소는 중복 체크함
- 실질적으로 교량 수명 저하 원인을 규명하고 실증검증(T/B)을 통해 성능평가 및 장수명화의 시나리오, 매뉴얼, 기준을 정립할 필요가 있음

□ 유지관리 및 보수보강

- 정해진 예산을 효율적으로 배분하여 일정 수준의 성능을 발휘하도록 하는 것이 목적이며, 그를 위해 최적 보수/보강 및 유지관리 시나리오 수립이 절실히 필요함
- 또한, 보수보강된 구조물의 성능검증을 통해 효율적인 유지관리 방안의 재정립이 필요함

□ 계측 및 모니터링

- 현재 사장교, 현수교(특수교)도 계측 시스템의 설치·운영에 대한 기준이 없는 상태이며(법적기준 중비 중) 노후교량에 센싱을 하여 관리한다는 논리를 명확히 세우는 것이 필요함
- 노후교량에 계측기준(설치·운영·관리 등)을 정당화하는 근거는 제시 후 요소기술이 이루어져야 함

2. B위원

□ 허브센터의 역할은 교량이 보수보강의 의사결정이나 유지관리 방안을 제시하는 것으로 BMS나 시안의 점검·진단과는 차별성을 보인다고 생각함

ex) BMS, 시안 : 점검·진단의 시설물 상태 평가 수행

허브센터 : 상태평가 결과를 통한 유지관리 방안 제시

- 즉, 교량의 범위를 한정할 필요가 없다고 판단됨

□ 허브센터의 역할은 노후교량이 실증을 통한 DB 확보 후 공용중 교량이 노후화되면 교량 형식에 맞는 유지관리 방안 제시

- 노후교량 실증을 통한 보수보강 및 유지관리 DB 구축

□ LC 개념은 보수보강이 경제성 분석이나 의사결정에 기반영되어 있어 각 세부에서 제시

- 구축한 DB검증(보수보강 실증 및 검증)
- 현재 공용중 교량의 노후화 진행
- 추후 노후교량의 형식에 따른 유지관리 방안 제시

- 교량의 상태 등급 및 열화 현상에 따른 보수보강 방안 제시

교량이 평가 전 단계와 평가 후 단계를 구분하여 차별성을 확보하도록 함

- BMS, 시안 점검 및 진단 : 평가 전 단계 (점검·진단을 통한 시설물 등급 산정)

- 허브센터 : 평가 후 단계 (상태 등급에 따른 보수보강 및 유지관리 방안 제시)

3. C위원

'노후교량 성능에 대한 실증'과 '보수·보강 후 개선 성능에 대한 실증'의 경우, 실제 대상교량에 대한 계측(모니터링), 재료실험(강도, 내구성), 보수·보강이 이루어져야 하는데, 이는 연구개발 요소로서의 '계측', '재료 특성', '보수·보강' 분야와는 구별되어야 함. 즉 실증연구팀 내에 이를 구현할 수 있는 연구인력이, 새로운 요소기술 개발의 연구인력과 중복되어서는 안 될 것으로 판단됨

장수명화 연구내 요소기술들은 기존의 연구들과 중복되는 부분이 많음. 가장 독창적인 부분은 실제 교량에 대한 성능 실증이라고 생각됨. 성능실증과 이를 통한 평가 체계 개선을 중심으로 두고 필요한 기술 요소를 포함시키는 것이 바람직함

기술 수요조사 결과는 요소기술의 중요도 평가에 있어 다소 신뢰성이 떨어지는 것으로 보임. 모든 요소기술의 중요도가 비슷함. 연구팀 내에서 전문가들의 의견을 취합하여 연구취지에 맞게 중요도 평가하는 것이 좋겠음

'유지관리 및 보수보강' 분야 맨 마지막 "PSC~~비파괴 검사법"은 '계측 및 모니터링' 분야에 포함시켜야 할 것 같고, 매우 중요한 기술요소인 것으로 판단됨

4. D위원

"유지관리"가 포괄적 개념이지만, 본 기획제안에서는 요소기술의 개념으로 사용되고 있음. 그러나 이런 관점에서 "유지관리"와 연관된 요소기술이 거의 제시되고 있지 않음. 따라서 요소기술 세부명에서 "유지관리"를 제외하는 것이 좋겠음

그러나 전체 내용은 노후교량의 장수명화가 주요이기 때문에 유지관리를 잘해서 장수명화를 효과적으로 한다는 개념이 있어야 하므로 이에 대한 조율이 필요함

"계측 및 모니터링"분야의 요소기술들이 특히 중복성이 높은 것으로 보임. 축소 및 통합이 필요할 것으로 보임

5. E위원

전반적으로 신규개발 필요요소와 기존 유사과제가 혼재

유사(중복)과제에 대해서는 성능 업그레이드 기술 개발 방향 연구 필요

노후교량에 국한하는 요소기술로 선정 추진 필요

허브센터에서 활용할 수 있는 핵심 유지관리기술 개발 연구 필요

현실적으로 현장 적용가능한(과제 종료 시점) 요소기술로 선정 필요

'노후교량의 장수명화'와 직접적인 기여도가 없는 요소기술은 배제 필요(타과제에서도 많이 함)

6. F위원	
	<input type="checkbox"/> 과제별 수준 조절이 필요함. 예를 들어 “교량 성능평가 방법 및 기준”은 ‘성능평가 및 잔존수명 예측’ 분야 전체와 다르지 않아 보임
7. G위원	
	<input type="checkbox"/> 노후교량에 대한 정확한 정의가 필요함
8. H위원	
	<input type="checkbox"/> 성능평가 및 잔존수명 예측 <ul style="list-style-type: none"> - 최근 설계기준(한계상태설계법)에서는 내구성 부분이 상당히 강화됨. 특히 제설제의 영향이 커서 피복이 두꺼워지는 경향이 있음. 따라서 노후교량을 조사할 경우, 콘크리트의 중성화 정도와 염해 정도가 연수별, 부재별 측정이 필요할 것으로 보임 - 전체적인 평가도 중요하지만 상당히 주관적인 부분이 있음. 따라서 실용적이기 위해서는 평가보다는 손상의 파악이 우선되는 것이 중요할 것으로 보임 <input type="checkbox"/> 계측 및 모니터링 <ul style="list-style-type: none"> - 역시 전체적인 평가는 주관적이 될 가능성이 크므로 보다 객관적인 손상파악이 좀 더 실용적일 것으로 판단됨 - 드론과 융합해서 무인 촬영한 후 그 결과를 이미지 프로세싱과 연결하는 것도 접근이 어려운 위치의 점검이 가능하다는 점에서 흥미로운 아이টে임
9. I위원	
	<input type="checkbox"/> 3개 분야의 각 분야별 구분(요소기술)에 키워드상의 중복일 수도 있지만 유사연구분야를 통합해야 할 것으로 판단됨. 예를 들어 ‘성능평가 및 잔존수명 예측’ 분야에서 안전성능 평가의 경우 <ul style="list-style-type: none"> - 노후교량 수명 연장을 위한 성능평가 기준 개선 - 교량 안전진단 및 성능평가 표준지침·매뉴얼 - 신뢰도 기반의 교량 내하력 평가 및 실증 - 교량 안전성평가 방법 및 기준 - 교량 성능평가 방법 및 기준 - 교량 재하실험 방법 및 기준 등은 통합하여 과제 수행하여 할 것으로 사려됨 <input type="checkbox"/> 3개 분야의 각 분야별 우선순위를 평가했는데, ‘성능평가 및 잔존수명 예측’ 분야가 우선되고 차순위로 ‘유지관리 및 보수보강’ 그리고 필요에 따라 병행하여 ‘계측 및 모니터링’ 분야가 필요하는 등 분야별 우선순위가 있어야 할 것으로 사료됨.
10. J위원	
	<input type="checkbox"/> 일부 과제에 대해서는 중복성이 있어도 추진할 필요가 있음 <input type="checkbox"/> 상용화/실용화를 국내 시장만이 아닌 국제시장을 고려할 필요가 있음 <input type="checkbox"/> 유사한 제목 “장수명화”로 과제를 추진한 경험에 의하면 “장수명”에 대한 의미가 명확하지 않음. 참고로 본 연구진이 관여하는 과제는 과제명을 “장수명화”에서 “100년 공영 수명 보장”으로 변경함

3.2.2 본과제 추진 요소기술 도출

□ 평가의견

- 본과제에 대한 상세 검토를 위해 외부전문가를 구성하여 추진체계 및 전략 등에 대한 검토를 수행하고 의견을 반영함

1. A위원	<p>□ 본과제 추진 체계 및 형태(연구단/통합과제)</p> <ul style="list-style-type: none"> - 필요한 요소기술 개발 및 체계화 관련 연구에는 동의함. 다만, 중요한 2가지 항목에 대한 구체적 연구가 포함되어야 실용적 연구결과가 될 것으로 판단됨. 1) 개발기술을 안전진단 업체와 현장기술자들에게 기술전수 할 수 있는 제도적 방안 도출 2) 관련분야 입찰제도, 하도급금지, 기술자 기술 수준 평가 방안, 기술자 처우 개선 등을 포함한 방안을 도출하는 세부과제도 필요함 <p>□ 세부과제 구성(요소기술) 적절성</p> <ul style="list-style-type: none"> - 앞에서 지적한 1), 2) 내용도 세부과제에서 시작단계부터 병행 추진 필요 <p>□ 예산의 적절성</p> <ul style="list-style-type: none"> - 예산은 적절하다고 판단되나, 연구인원이 과다한 것으로 판단됨. 상세 검토 후에 가능하면 연구비의 집중화가 필요한 것으로 판단됨 <p>□ 기타 의견</p> <ul style="list-style-type: none"> - 기준/제도화 및 기술교육 전략에서 안전진단 업체의 기술수준, 기술자 수준, 안전평가 입찰시 실적조건 완화 등 관련 제도 부분에 대한 세부 전략 수립이 포함되어야 함 ex) 기술자 처우개선, 재하청 금지, 입찰시 실적보다 기술력에 비중을 두어 평가 - 관련 개발 기술에 대해 현장 업체(기술자)에게 어떻게 기술을 전수할 것인지에 대한 제도적 방안 제시 필요 - 활용방안에서 유지관리/보수보강 전문업체가 어떻게 활용할 수 있는지 그에 대한 대책은 무엇인지에 대한 기술전수 방안, 기술자 확보 방안 등에 대한 검토
2. B위원	<p>□ 본과제 추진 체계 및 형태(연구단/통합과제)</p> <ul style="list-style-type: none"> - 노후교량 장수명화 기술은 세계적으로 수요가 많을 것으로 사료되는데 실증화 및 세부요소 기술 개발 결과물의 적용성을 가능한한 단순 표준화하여 사용성을 제고하는 방향으로 추진하는 것이 바람직할 것임 <p>□ 본과제 추진전략</p> <ul style="list-style-type: none"> - 국내의 발주처 및 보수보강 업체의 영세성과 기술수준을 감안하고 적용성을 충분히 고려하여 실용화가 가능한 범위로 연구 범위를 최적화 요망

3. C위원

본과제 추진 체계 및 형태(연구단/통합과제)

- PSC 교량은 교량 형식이 다양하고 강연선의 상태가 교량의 사용성 및 극한성능에 미치는 영향이 매우 큼. 따라서, PSC 교량을 연구 내용에 포함한다면 과제의 규모가 커지고 연구내용 또한 다양해질 것으로 예측되므로 별도의 쪽지로 분리하는 것도 방법

세부과제 구성(요소기술) 적절성

- 세부과제2-1이 가장 이상적일 것으로 판단됨. 역학 및 신뢰성 이론을 접목시키기 쉽고, 다양한 연구를 수행할 수 있도록 해야함
- 세부과제2-1에서도 세부적으로는 콘크리트 교량을 대상으로 하는 것으로 판단됨
- 노후 교량의 현재 성능은 재료의 역학적 성능에 크게 좌우되므로 시간에 따른 콘크리트 및 강재의 재료 성질 변화와 열화 정도에 따른 성능 감소를 모델링하고 통계적으로 처리할 방법이 필요함. 동시에 진행되는 세부과제3-2로는 데이터 획득이 불충분할 수 있으며, 보완할 방법이 필요함
- 지역의 랜드마크로 지어진 대형 PSC 특수 교량의 경우 상시적 모니터링이 이루어지고 있으므로 이를 활용할 수 있음. 특히, 이들 교량의 중요도와 건설 비용이 높으므로 세부연구내용으로 포함할 수 있음
- 지역별 자연환경 또한 콘크리트 교량의 열화 정도에 미치는 영향이 크므로 이를 구분하여 접근할 수 있음. 염해환경(연안 및 해상 환경), 탄산화환경, 강진 혹은 지진 빈발지역 등으로 구분하는 것이 현실적인 노후 교량 성능 평가 방법이 될 수 있음
- 염해환경과 지진지역은 교각이 더 취약할 수 있으므로 교량 하부를 특화하여 연구내용을 만들 수도 있을 것으로 생각됨

4. D위원

본과제 추진체계 및 형태(연구단/통합과제)

- 국내 교량의 본격적인 시공 시기인 70년대로부터 40년이 지났으므로, 교량의 노후화로 인하여 발생할 문제는 매우 현실적인 사회적 문제로 대두될 수 있음. 따라서 이러한 문제를 사전에 예방하고 필요한 대비책을 준비하기 위한 본 과제의 추진은 매우 적절하다고 판단됨
- 국내에서 진행되었거나 진행 중인 관련 연구과제나 관련 기관의 역할을 잘 분석하여, 시너지 효과를 얻을 수 있도록 본 연구단에서 추구하는 특성과 역할을 잘 구성한 것 같음

본과제 추진전략

- 본과제를 구성하는 소과제들의 특징을 구분하여, 신규 요소기술을 중점적으로 개발하는 소과제와 전문가 집단의 동의를 얻은 기술에 대한 제도·기준화를 중점적으로 수행하는 소과제로 추진하는 방안이 필요함
- 본과제의 연구개발 기간 내에서 모든 소과제가 가시적인 효과·성과 등이 필요하겠으나, 과제별 특성에 따라 과제 종료 후, 국내 실무에 즉시 적용시킬 수 있는 성과물인 지침이나 기준의 모든 항목을 연구단 과제기간인 5년 정도에 완결하기가 쉽지 않음
- 국외의 경우, 먼저 분야별 전문가에 의해 신규 기술을 개발하기 위한 연구를 수행 후에, 다음으로 이로부터 개발된 기술에 대한 기준·제도화를 위한 과제를 후속으로 수행하는 단계적인 흐름이 있으므로, 이를 참고하여 본과제의 수행을 구성하는 것이 바람직함

□ 세부과제 구성(요소기술) 적절성

- 대상 노후교량을 통행하는 차량이 교량에 가하는 활하중 효과를 분석하는 세부과제의 구성을 고려하도록 추천함. 동일한 교량이더라도 교량이 위치한 도로를 통과하는 중차량의 통행특성에 따라 잔존수명이 영향을 받을 수 있으므로, 활하중에 따른 예측도 필요함
- 교량 관리주체로 하여금 교량의 보수 보강 및 유지관리 전반에 대한 예산의 집행 등에 우선순위를 판단하기 위한 자료로, 교량의 가치를 객관적인 방식을 거쳐 수치화할 수 있는 방법을 세부과제에서 수행하는 것을 추천함

5. E위원

□ 본과제 추진체계 및 형태(연구단/통합과제)

- 과제의 추진체계 및 형태는 적절
- 장수명화 관리 허브센터에서 지침개발·제도화 및 기술교육 등의 역할을 수행하는데 시설안전공단의 역할과 중복될 수 있기 때문에 차별성 부각 필요
- 연구개발 및 T/B 교량 실증, 인증 등의 기능과 역할은 시설안전공단에서 수행하기 어렵기 때문에 장수명화 관리허브센터에서 담당하고 시설안전공단과의 유기적인 협력 관계 수립이 필요함
- 또한 안전진단 관련하여 제도화 및 적용할 수 있는 system이 기존에는 존재하지 않음
- 향후 과제 종료 후 센터의 역할 및 기능을 연구 내용에 포함시키는 것을 검토해야 함

□ 본과제 추진전략

- 과제의 추진 전략 및 수행방안은 합리적이고 실현 가능하게 수립되어 있음
- '연구목표 및 내용'을 구체적으로 표현해야 할 필요가 있음
- 노후교량 중 어떤 Type 교량을 선정하여 실내실험/실증실험을 수행하는가?
ex) "업체 인증방안", "입찰제도" 등의 제도화, 서비스 제공 등
- 실증에 대한 예산 조정은 필요하며 R&D 기술개발에 예산 확보 필요
- 연구성과의 중소기업 또는 현업 전파에 대한 구체적이고 실제적인 계획 수립을 검토 할 필요가 있음. 현재 안전진단 업체의 기술 수준 및 능력을 고려하여 이를 제고시키는 방향을 추진해야 함

□ 세부과제 구성(요소기술) 적절성

- 각 세부별 과제의 구성 및 연계성은 적절함
- 1세부 실증 실험을 기존 노후교량 또는 철거 교량에 국한하지 말고 2세부의 성능평가 및 3세부의 보수 보강 방안의 성과물을 검증 또는 확인하는 부분을 포함하도록 하여 연구 성과의 실용화
- 2세부의 연구 내용이 학술적인 용어로 표현되어 실무 적용에 대한 판단이 어려움. 최신 기술의 반영으로 용어 선정에 어려움이 있는 것으로 보이나, 구체적인 연구목적에 위한용어 선택 필요

□ 예산의 적절성

- 예산의 편성 및 규모는 합리적인 것으로 판단되나, 1세부 실증 실험 예산이 노후교량의 실증실험에만 적용되는 경우 과다한 것으로 이해될 수 있으므로 2,3세부의 성과를 검증하는 용도로 활용하는 것이 좋음
- 기존의 구조물 성능평가 관련 과제의 성화물 활용 또는 보완하여 적용하는 것이 가능한지 확인할 필요

□ 평가 결과

○ '성능평가 및 잔존수명 예측' 분야

구분	세부 과제 반영	필요성	중복성	요소기술의 필요성(전문가 의견)											요소기술 우선순위 합계(명)
				A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	
노후교량 수명연장을 위한 성능평가 기준 개선	2세부	○	×	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	9
교량 안전진단 및 성능평가 표준지침 매뉴얼	2세부	○	○	○								○			2
상태성능평가 기반 잔존수명 예측 기술	2세부	○	△	○	○		○		○	○	○		○		8
계측Data 및 구조해석을 통한 파괴 취약부재 분석기술	2세부	○	×	○	○	○	○	○	○						7
성능평가성능향상 실증 및 교량의 장기성능 예측 모델	2세부	○	×	○	○		○	○	○	○	○		○		8
계측Data 기반 교량 해석모델 업데이트 기술	2세부	○	△	○			○	○	○		○				6
신뢰도 기반의 교량 내하력 평가 및 실증	2세부	○	△			○	○	○			○	○		○	6
빅데이터(계측Data) 기반 잔존수명 예측 기술	2세부	○	×	○			○	○		○			○		5
빅데이터(계측Data) 분석을 통한 성능평가기술	2세부	○	×	○				○	○				○		5
해석 기반 잔존수명 예측 기술	2세부	○	×			○				○	○				3
T/B 노후교량을 활용한 성능평가기준의 실증	2세부	○	×	○	○	○	○		○	○	○	○	○	○	10
교량 장수명화 기술정보성능 DB 구축	2세부	○	×	○	○	○	○		○			○	○	○	9
교량 형식별 성능평가 실증 DB 구축 및 활용방안 제시	2세부	○	×	○	○	○	○		○				○	○	8
교량 형식별 성능 및 수명 저하 원인 규명	2세부	○	△	○	○		○		○	○				○	6
노후교량 형식손상부위 원인별 장수명화 시나리오	2세부	○	△		○	○		○	○						5
교량 비파괴 기법 고도화 기술		○	△		○						○		○		3
상태평가 기반의 교량 성능 추정기술		○	△							○		○			2
(추가) PSC 구조물 정착부 전진도 평가		△	△		○								○		2
(추가) 노후교량의 내하성, 사용성 및 내구성 기반 통합잔존수명 예측 기술		△	△		○							○			2
교량 내구성평가 방법 및 기준		△	△								○			○	2
교량 성능평가 방법 및 기준		○	△						○					○	2
교량 사용성평가 방법 및 기준		△	○								○				1
(추가) 교량 받침 형식별 성능평가 실험절차 개발 및 품질확보 방안 수립		△	△										○		1
(추가) 콘크리트 비파괴검사 관련 표준 시험규격에 대한 내하력 평가 민감도 분석		△	△										○		1
(추가) 구조부재별 잔존수명 예측기술 개발		△	△		○										1
(추가) 철거대상교량을 대상으로 필드파괴실험을 통한 내구성 평가		△	△										○		1
(추가) 복합열화로 손상된 콘크리트 부재의 내구성 평가시스템 개발		△	×		○										1
교량 안전성평가 방법 및 기준		△	○												0
교량 상태평가 방법 및 기준		△	○												0
BIM기술 기반의 교량 유지관리 및 DB구축		△	△												0
교량 재하실험 방법 및 기준		△	○												0
(추가) 강구조 부식방지 기술		×	△												0
(추가) 콘크리트 염해방지 기술		×	△												0

○ '보수보강' 분야

구분	세부 과제 반영	필요성	중복성	전문가 우선순위											합계(명) (우선순위 고려안함)			
				A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K				
보수보강 전후 교량 성능평가 정량화 및 효과분석	1세부	○	×	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	11
보수보강기술의 성능평가 지표 및 표준지침 정립	1세부	○	×	○		○	○	○	○	○	○	○				○		9
보수보강 설계 모델 및 설계기준 표준화 기술	1세부	○	×	○	○	○	○	○	○	○		○						8
교량 노후도·현상별 최적 보수보강 시나리오·매뉴얼	1세부	○	×	○	○	○				○	○	○	○	○				8
보수보강재료 장기성능 검증 기술	1세부	○	×	○	○	○			○	○				○	○			7
교량 보수보강 방법의 표준화 기술	1세부	○	×	○	○	○	○			○		○		○				7
요구성능별 평가항목 및 평가시험 기술	1세부	○	×	○		○			○	○		○		○				6
보수보강 설계를 위한 하중조합 및 계수 결정 기술	1세부	○	×	○		○		○	○	○						○		6
노후도 및 노후화 원인별 보수보강기술 매칭 기법	1세부	○	×		○	○		○			○		○	○				6
교량 형식별 노후도 분석 패턴·프로세스	1세부	○	×			○	○			○		○						4
교량 잔존수명에 따른 유지관리 시나리오·매뉴얼	1세부	○	×		○	○		○		○		○						5
보수보강 기술의 보유성능 DB 구축	1세부	○	×	○	○	○	○	○				○	○					7
보수보강 의사결정(공법, 부재 우선순위 등) 지원시스템	1세부	○	△		○		○				○		○					4
보수보강 재료·방법 및 요구성능별 실험절차 표준화	1세부	○	×			○	○		○		○					○		5
교량의 생애주기(LC)기반 통합 유지관리 체계	1세부	○	△				○	○			○							3
보수보강 기술 장기 내구 성능 모니터링	1세부	○	×			○			○	○								3
교량 수명연장을 위한 신보강기술		○	×			○				○		○	○	○				5
이종재료(신구재료 포함) 접합 기술 및 평가 기술		△	×			○			○	○								3
보수보강 기술별 장기성능 평가용 축진시험 기법		△	×	○				○	○									3
(추가) 기존 보수보강된 공법에 대한 성능평가 분석 기법 개발		○	×					○			○		○					3
교통통제 최소화 기술 및 장비		○	×							○			○					2
생애주기에 따른 유지관리 비용 산정 모델		△	△		○													1
보수보강용 신재료 발굴 및 적용성 평가		△	×										○					1
시공효율화 및 현장 공기 단축 기술		△	△								○							1
보수보강에 따른 경제성 분석 모델		○	×							○								1
안전진단·보수보강용 자동화 장비·시스템		△	△								○							1
(추가) 장수명 신축이음장치의 개발		△	△				○											1
(추가) 초기 교량 데이터 수집 및 보수보강 이력 관리 시스템		△	△						○									1
(추가) PSC 교량 텐던 그라우트 충전정도에 대한 비파괴 검사법		△	×			○												1
자산관리(AM)기반 교량의 유지관리 체계		△	△															0
자가치유 기술		△	△															0
(추가) 노후 철근콘크리트 교량의 고성능 보수보강 기술 개발		△	×															0
(추가) 보수보강 우선 적용에 따른 경제성 효과 분석		△	△															0
(추가) 노후 철도 교량의 장수명화를 위한 자갈도상 최적화 기술 개발		△	△															0
(추가) 교량 신축이음장치의 국산화		△	×															0
(추가) BIM 연계한 부재별 잔존수명 평가 기술		△	△															0
(추가) 강교의 도장수명 연장기술 개발		△	×															0

○ '계측 및 모니터링' 분야

구분	세부 과제 반영	필요성	중복성	전문가 우선순위											합계(명) (우선순위 고려안함)
				A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	
손상정보 패턴 분석 기술(중복)		○	△	○	○		○		○	○	○	○		○	8
3차원 정보 기반 손상 관리 기술(중복)		○	△		○	○	○		○	○	○	○		7	
계측데이터 기반 이상 신호 감지 기술	2세부	○	△		○		○	○	○	○		○	○	7	
교량 모니터링용 계측기기 표준화 기술(중복)		○	×	○	○			○	○		○	○	○	7	
첨단 센싱 기술 기반 변위계측시스템 기술(중복)		○	△	○	○		○	○		○			○	6	
영상 관측용 이미지 프로세싱 및 활용 기술(중복)		○	△		○				○		○			3	
센서 내장형 교량부재 개발 및 Sensing-structure Integrating 기술	2세부	○	×		○					○		○	○	4	
광센서(FBG) 기반의 교량 계측 및 모니터링 기술		○	△	○			○	○					○	4	
교량 성능 저하 정보관리 모듈화 기술		○	1	○	○	○	○		○		○	○	○	9	
강부재 용접부 상태 감지 기술		○	△					○			○	○	○	4	
강부재 볼트 풀림 감지 기술		○	△					○	○		○		○	4	
센서시스템 운용 전력 공급을 위한 에너지 하베스팅 연계 기술		○	△	○			○	○						4	
RFID 기반 교량 계측 및 모니터링 기술		○	△	○				○	○				○	4	
센서 및 계측기 내구성 향상 기술		○	×			○			○			○		3	
계측데이터 기반 열화모델 생성 자동화 기술		○	×			○			○			○		3	
부식측정용 센서 패키지 및 측정시스템 기술		△	△						○	○		○		3	
고정확도 BWIM 시스템 및 활용 기술		△	△						○	○		○		3	
계측 받침 실용화 기술		○	×			○		○				○		3	
(추가) 교량구조물의 상시모니터링 기술 개발		△	△	○	○							○		3	
센서 모듈화 및 신속교체 가능 기술		△	×			○							○	2	
유비쿼터스 센서 네트워크 기반의 무선계측 시스템 기술		△	△						○	○				2	
(추가) 교량 모니터링을 위한 무선 계측 기법 개발		△	△		○	○								2	
(추가) 분포형 광섬유센서 기반의 교량 모니터링 활용 기술		△	△	○			○							2	
유무선 혼합형 DAQ 기술		△	△				○							1	
(추가) UAV(드론) 기반 교량 모니터링 시스템		△	△							○				1	
(추가) 일반 교량의 무인비행장치 통합 경제적 수명관리 기술 개발		○	△									○		1	
(추가) BIM 기반의 계측 및 모니터링 정보 가시화 및 DB화		△	△											0	
(추가) 드론기반 무인 모니터링 시스템 개발		△	△											0	

4.1 연구개발과제 구성

4.1.1 비전 및 목표

- '정확한 성능평가와 최적의 보수보강 기법 적용을 통한 중소 노후 콘크리트 교량의 공용수명 연장'의 비전 실현을 위해, 연구단의 최종목표를 '중소 노후 콘크리트교량의 장수명화 기술 확보 및 실증 연구기반 마련'으로 설정

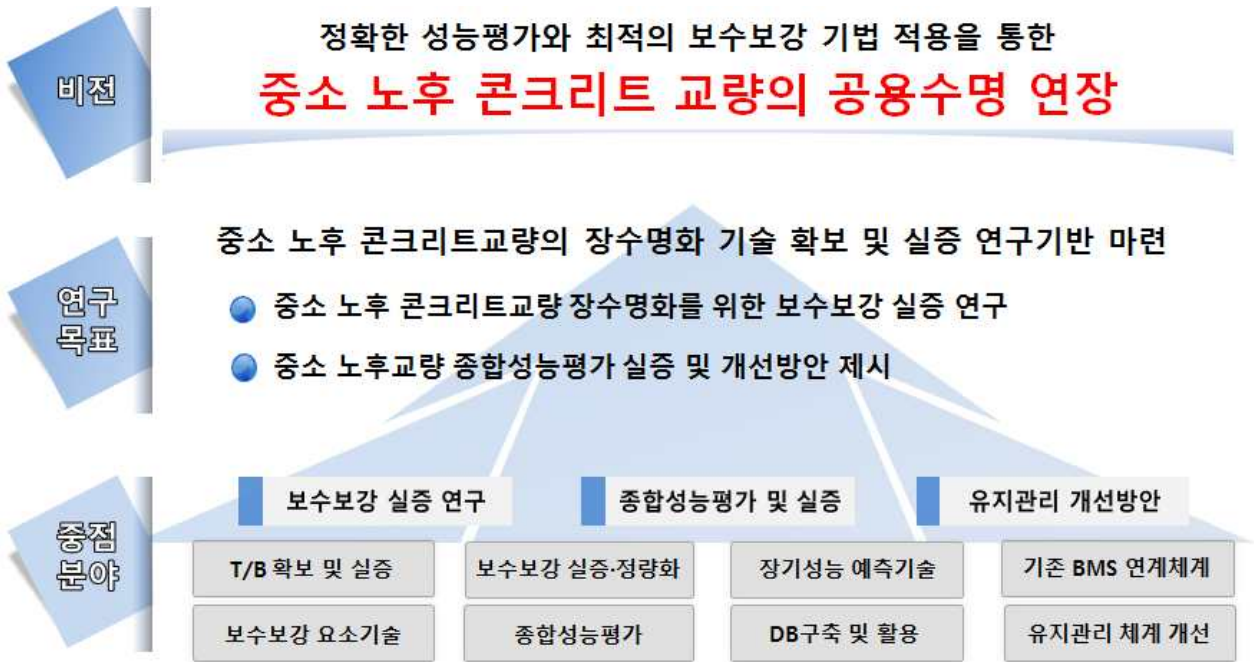


그림 4-1. 중소 노후 콘크리트교량 장수명 연구단의 비전 및 최종 목표

- 교량의 고령화에 대한 장기적 대책마련(정부차원의 Governance 확립)과 노후교량 수명연장을 위한 장수명화 기술간 연계 및 시너지 창출을 위해 개발기술의 실증을 지원할 수 있는 기술중심형 연구기반 구축
- '중소 노후 콘크리트교량 장수명 연구단' 중심으로 노후교량의 성능평가 기법, 보수보강 및 모니터링 기술 등을 정량화·표준화(기준·제도 마련)하고, 철거교량·테스트베드(T/B) 실증을 통해 노후교량 장수명화 기술 개선·개발의 선순환 체계를 마련
- 기술개발 여건(중소기업의 T/B확보, 기술인력 및 연구장비 부족 등)이 열악한 중소 유지관리·보수보강업체에 대한 기술실증 등을 통해 체계적 지원 시스템을 마련하여 교량 유지관리 분야 국가 기술경쟁력 확보

4.1.2 연구과제 구성 및 세부목표 설정

- 장수명화 노후교량 유지관리기술 개발은 건설 산업에서 새로운 성장 동력원이 될 수 있는 분야로서 체계적인 기술개발 마스터플랜 필요
- 미래 시장 이슈와 기술·정책 등 동향분석 결과, 현재 해외 기술선진국과 기술격차를 감안하여 선택과 집중을 통해 최대의 결과를 도출할 수 있는 기술니즈를 도출한 후, 최종 목표달성을 위해 2개의 중점추진분야 설정

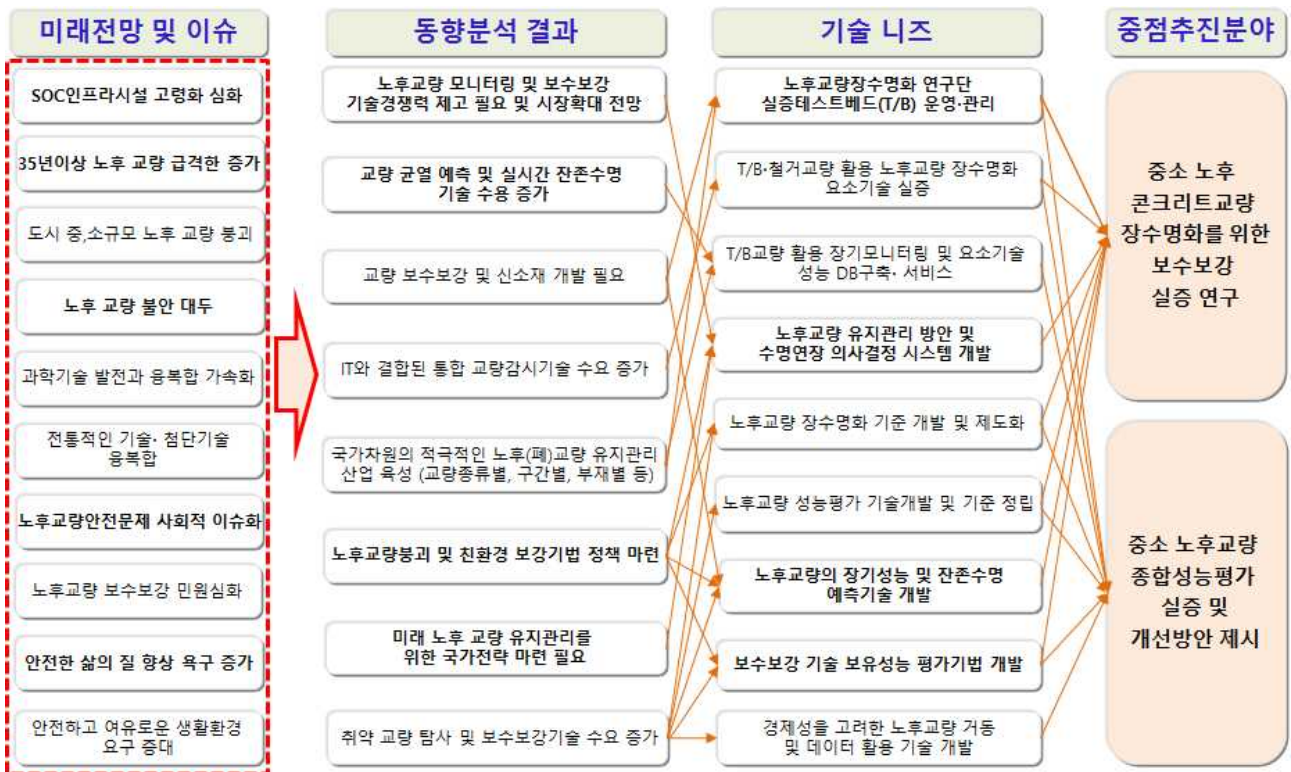


그림 4-2. 중소 노후 콘크리트교량 장수명 연구단의 중점추진분야 도출 과정

- 노후교량 장수명화 연구과제는 최소 5년간의 연구개발과 실증이 필요한 연구단 과제로서, 2개의 주요 연구분야에 총 15개 세부연구주제(요소기술)를 제시
 - 연구단의 비전 및 목표, 중장기 핵심전략목표를 달성하기 위한 세부 요소기술을 도출
 - '중점분야 → 전략과제 → 세부 요소기술' 순으로 기술트리 작성
 - 2개 연구분야(세부과제), 15개 주요연구내용으로 분류

표 4-1. 세부과제별 연구목표 및 내용

구분	연구목표	주요 연구내용
1세부	중소 노후 콘크리트교량의 장수명화를 위한 보수보강 실증 연구	◦노후교량 실증 테스트베드(T/B) 확보·활용 지원 및 총괄
		◦T/B·철거교량 활용 보수보강 기술 실증·지원 및 개선 연구
		◦보수보강 재료·공법별 요구성능 지표 및 평가시험 방법 개발
		◦보수보강 재료·공법별 설계기준 및 시공절차서 작성
		◦보수보강 교량의 장기성능 및 수명 예측 평가기술 개발
		◦노후교량 고정밀 입력하중 측정시스템 개발
		◦노후교량 보강수준 센싱용 보강재 개발
		◦노후교량 장기계측데이터 확보 및 실증DB 제공
		◦계측데이터 기반 교량 노후도 등급화 및 정량화 기술 개발
		◦노후교량 최적 보수보강 선정을 위한 의사결정 시스템 개발
2세부	중소 노후교량 종합성능평가 실증 및 개선방안 제시	◦다중데이터(Multi-data) 분석을 통한 성능평가기술 개발
		◦신뢰도기반의 교량 내하력 평가기술 실증·개선 및 평가매뉴얼 개발
		◦노후 콘크리트교량 종합성능평가 실증 및 개선방안 도출
		◦보수보강 및 종합성능평가 실증 DB의 BMS 연계체계 마련
		◦중소 노후교량 유지관리 개선방안 수립

4.1.3 대상교량 설정 근거

□ 노후교량 관련 실증 연구 적용을 위한 대상교량 및 설정 근거

- 장기적으로 노후교량 증가가 예상되는 교량형식 검토를 통해 대상교량 선정
 - 보수보강 실증의 경우, 5개 형식의 콘크리트 교량(RC슬래브, RC-T빔, PSC-I, 라멘교, 프리플렉스형교)를 대상으로 설정함
 - 성능평가 실증의 경우, 계측 데이터기반 평가기법으로 교량 형식에 크게 좌우되지 않으므로 강교 및 콘크리트 교량을 대상으로 설정함
 - 실증 대상교량은 폐쇄·철거 교량 이외에 운용중인 교량에도 적용 가능함(성능저하 등 문제점을 보이는 운용중 교량 등)
- 내진보강 문제로 현장실증이 불가능한 교량 하부구조는 실증연구에서 제외하고, 교량 상부구조만을 대상으로 함
- 보수·보강 기술의 실증·개선 분야
 - (교량 형식) RC슬래브, RC-T빔교, PSC-I교, 라멘교, 프리플렉스형교
 - (대상 선정 사유) 강교량에 비해 노후도가 높고 설계수명이 짧은 콘크리트 교량
 - 과거 설계·시공능력이 부신했던 '70~'80년대에 집중 건설된 중소 콘크리트 교량 중 10년 이후 공용연수 30년 이상 도래하고, 그 수량이 많은 교량형식을 우선 대상으로 선정
 - ※ 콘크리트 교량이 국내 도로교의 약 80%를 차지
 - ※ 교량 노후 수명에 가장 큰 영향을 미치는 부재는 바닥판, 거더, 교각 순
 - ※ 급속한 사회발전으로 시공 당시에 비해 통행차량이 크게 증가하고, 중차량 통행이 잦아져 강교에 비해 여유도가 낮은 콘크리트 교량이 특히 위험
- 성능평가기법 개발·실증 분야
 - (교량 형식) 콘크리트교(RC슬래브, RC-T빔교, PSC-I교, 라멘교 등) & 강교(특수교 제외)
 - (대상 선정 사유) 개발하고자 하는 기술은 다양한 형태의 하중-응답 데이터의 신뢰성 분석과 해석모델 업데이트기법을 적용하여 공용중 교량의 성능을 평가하는 방법
 - 다양한 수준의 노후도를 갖는 공용중 교량에 검증할 필요가 있으며, 해석모델에 따라 교량형식에 제한이 없으므로 콘크리트교량 뿐만 아니라 강교량에도 적용 가능
 - ※ 기존 교량 성능평가(안전진단 등)를 위해서는 교량의 통행을 통제하고 실험을 수행해야하기 때문에, 통행제한 없이 상시통행차량을 활용하는 본 기술이 매우 효과적

○ 국가가 관리하고 있는 고속국도 및 1·2종 교량 보다 평균 공용연수가 높고 30년이상 개소수가 많은 지자체 관리 교량을 대상으로 함

* 평균 공용연수 : 국가(11.7년) < 지자체(19.4년)

30년이상 개소수 : 국가(201개소, 3.0%) < 지자체(2,307개소, 16.4%)

- 2014년 기준 교량현황을 살펴보면, 고속국도 8,493개소, 일반국도 7,346개소, 시도 4,337개소, 지방도 3,693개소, 군도 2,940개소 순
- '04년 이후 10년간 증가율을 보면, 구도 360%(148개소→681개소), 시도 99.8%(2,171개소→4,337개소), 일반국도 61.2%(4,558개소→7,346개소), 고속국도 51.2%(5,618개소→8,493개소), 국가지원지방도 41.9%(869개소→1,233개소), 지방도 22.2%(3,023개소→3,693개소) 순

표 4-2. 공용년수 및 30년 이상 교량 비교('14.12기준, 2015년 현황조사)

교량 구분	전체	국가 관리(국도)	지자체 관리
개소수	29,896	6,662	14,057
평균 공용년수(년)	15.6	11.7	19.4
30년이상 교량 개소수(비율)	2,786(9.3%)	201(3.0%)	2,307(16.4%)

- 교량 형식은 보수보강 실증분야와 성능평가 실증분야로 나뉘며, 보수보강 실증은 콘크리트 교량으로 한정하되 성능평가 실증은 강교·콘크리트 교량 모두 적용
 - * 전체교량 29,896개소 중 콘크리트 교량은 24,751개소(83%), 강 교량은 4,750개소(17%) ('13.12 기준)
- 콘크리트 교량은 5개 형식의 교량(RC슬래브교, 라멘교, PSC-I형교, 프리플렉스형교, RC-T형교)을 대상으로 반영
 - * 콘크리트 교량 형식별 개소수 : RC슬래브교 8,348개소, 라멘교 7,018개소, PSC-I형교 5,992개소, 프리플렉스형교 1,182개소, RC-T형교 776개소, PSC상자형교 591개소 순

표 4-3. 상부구조 형식별 통계('13.12기준, 2014년 현황조사)

구분	총계	고속국도	일반국도	특별, 광역시도	국가지원 지방도	지방도	시도	군도	구도	최대 경간장(m)
총계	29,896	8,493	7,346	1,173	1,233	3,693	4,337	2,940	681	-
RC슬래브교	8,348	274	1,310	226	495	1,815	2,153	1,724	351	70
라멘교	7,018	2,418	1,727	143	234	808	956	609	123	60
PSC I형교	5,992	2,921	1,888	168	159	368	275	177	36	80
프리플렉스형교	1,182	367	320	96	38	99	153	90	19	70
RC T형교	776	31	71	24	67	185	243	126	29	62
PSC상자형교	591	353	61	42	18	60	40	13	4	170
PSC슬래브교	404	106	105	24	19	27	76	32	15	60.2
RC중공슬래브교	229	112	49	22	5	8	25	5	3	55
RC상자형교	177	27	17	17	7	6	40	22	41	69.5
PSC중공슬래브교	34	0	7	8	0	2	17	0	0	65
강상자형교	4,038	1,601	1,591	284	126	182	193	46	15	180
강판형교	269	117	64	44	3	10	19	6	6	170
강I형교	210	48	35	10	20	25	53	15	4	110
아치교	160	20	28	24	6	23	25	23	11	225
사장교	40	4	11	11	3	3	5	3	0	800
엑스트라도즈드교	14	1	5	1	0	3	1	3	0	200
트러스교	14	3	0	2	0	2	5	2	0	120
현수교	5	1	2	1	0	0	1	0	0	1,545
기타	395	89	55	26	33	67	57	44	24	-

※ 라멘교(2개소) 116.9m, RC-T형교(2개소) 106m, PSC-I형교(2개소) 135m 제외

- 강 교량은 3개 형식의 교량(강상자형교, 강판형교, 강I형교)을 대상으로 반영
 - * 강 교량 형식별 개소수 : 강상자형교 4,038개소, 강판형교 269개소, 강형교 210개소, 아치교 160개소 순

○ 대상교량에 대한 최대경간장 기준은 200m 이내의 중소규모로 제시

- 대상 콘크리트 교량의 경우, 특수한 몇 개 교량을 제외하면 모두 80m 이내이며, 강교량의 경우는 최대 180m 이내
 - * 콘크리트 교량의 최대경간장 : RC슬래브교 70m, 라멘교 60m, 프리플렉스형교 70m, RC-T형교 62m, PSC-I형교 80m
 - * 강 교량의 최대경간장 : 강상자형교 180m, 강판형교 170m, 강I형교 110m

□ 실증 활용 형태별 대상교량 수량

○ (활용 형태) 실증은 2가지 형태로 진행

- 철거교량* 활용 부재별 보수·보강 기술 실증 및 개선(실내실험)

* 교량의 노후도가 심각하여 폐기할 예정인 교량

- 미사용 교량* 활용 부재별 보수·보강 기술 실증 및 개선 검증(현장실험)

* 통행차량 등급 상향 또는 도로 선형 개선으로 신규 도로(교량)가 개설되어, 도로 본선으로는 사용하지 않으나 이용은 가능하여 철거 예정이 없는 교량

※ 적용 대상 부재는 구조부재를 대상으로 하되, 현장 실증실험이 불가능한 교각 및 기초에 대한 실증은 제외

○ (실증 대상교량 수량) 총 15개 교량(안)

표 4-4. 실증대상 교량(안)

활용 분야	활용 형태	교량 형식	수량(개소)	비고
보수보강 기술 실증개선	철거교량	RC슬래브, RC-T빔교, PSC-I교, 라멘교	8 (각 2개소)	
	미사용 교량	RC슬래브, RC-T빔교, PSC-I교, 라멘교, 기타	5 (각 1개소)	보수보강 전후 장기성능 모니터링에도 활용
성능평가기법 개발실증	미사용 교량	RC슬래브, RC-T빔교, PSC-I교, 라멘교, 기타	5 (각 1개소)	(주1)과 동일 교량 활용
	공용중 교량	강교량 형식 추가	2	추가 확보
계			15	

4.2 추진체계 및 중점 추진전략

4.2.1 연구단 추진체계

- 연구단은 2개 연구목표(세부과제)로 기술개발 체계를 구성하고, 요소기술 성능평가 및 기술 실증·개선을 위한 테스트베드·철거교량 확보를 위해 교량 관리주체들과 유기적인 협력체계 마련

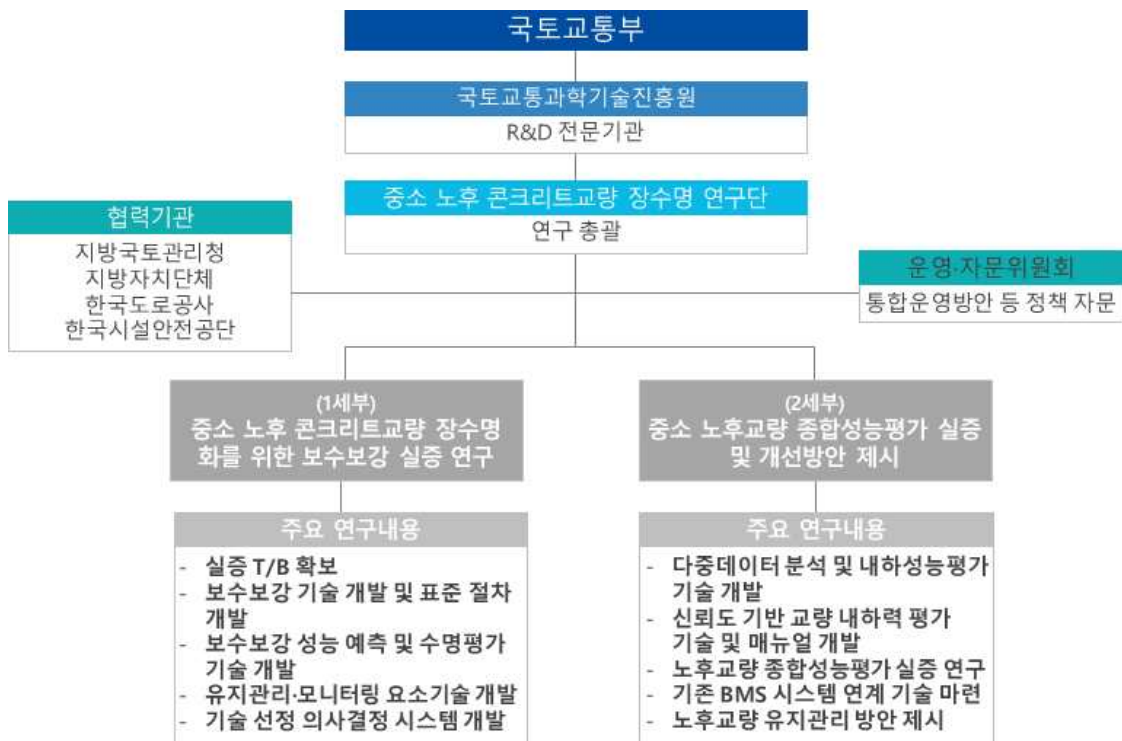


그림 4-3. 중소 노후 콘크리트교량 장수명 연구단 추진체계

- 기관별 기능 및 역할

○ (연구단)

- 연구단의 비전·목표 및 운영방향을 명확히 설정하고 성공적인 연구개발 수행을 위해 연차별 추진·점검(평가)계획 수립하고, 운영관리 매뉴얼 마련
- 노후교량 유지관리기술 및 신기술 등의 T/B적용을 촉진시키고 공동기관이 제 역할과 기능을 충실한 수행할 수 있도록 운영하여, 관계기관과 협력체계 구축을 통한 개발기술의 검증·사업화 지원시스템을 마련
- 미래 고부가 가치의 노후교량 장수명화를 위한 요소기술 개발과 교량 유지관리 체계 선진화를 위한 전략적 방향성 제시
- 이를 통해 교량 보수보강·유지관리 기술력 제고와 기업의 시장 경쟁력 강화 촉진

- (운영·자문위원회)
 - 연구단이 연구목표를 충실히 달성할 수 있도록 연구추진 방향 및 운영 전략, 단계별 성과의 검토 및 개발 기술의 활용과 실용화 추진 등에 대한 다양한 자문 수행
 - 인력투입, 소요예산검토 및 자체평가기준 설정
 - 연구 추진 중 연차별 연구목표 및 내용 재설정 자문
- (교량 관리주체)
 - 연구단과 상호 공조할 수 있는 협력체계를 마련하여 노후T/B·철거 교량 활용 지원
 - 장수명화 요소기술 실증을 위한 철거 예정교량에 대한 자료 제공
 - 검증된 장수명화 요소기술의 현장적용 검토 및 활용 추진
 - 제안된 기준 등의 제도화와 관련 전문가들에 대한 기술인력 협력

4.2.2 중점 추진전략

□ [중점전략 1] 중소 노후 콘크리트교량 장수명 연구단 운영 전략

- 노후화된 교량을 대상으로 한 보수보강 감시·평가·예측기법 등 세부요소기술을 목표로 노후교량의 수명연장 실현을 지향하고 있으며, 과거 교량유지관리 기술을 기반으로 핵심 요소기술을 응용, 개발하고 이를 다양한 조건에서 실증 테스트베드(T/B)에 활용함으로써 실용화기술 중심의 연구성과 극대화



그림 4-4. 요소기술 개발 및 실증 전략

- 실증 테스트베드를 위한 세부계획 수립을 통해 실증 대상교량 선정, 현지조사, 관련기관 협력 방안 등 장수명 연구단
- 노후교량 보수보강, 계측모니터링, 성능평가를 위해 부재별, 위치별 등 실내실험을 통하여 성능검증 후 실증 테스트베드(T/B) 현장 적용
 - 단기적으로는 연구단의 참여 연구자, 장기적으로는 국·내외 교량 유지관리 관련기관·업체 및 연구소 등의 연구자들에게 유기적으로 연계 및 공유할 수 있도록 T/B활용·체계를 구축하여 지원
 - 세부과제 연구결과들이 상호 연계될 수 있도록 추진(기술개발 효율성 제고)
- T/B활용 기술검증을 체계화하여 유지관리·보수보강 관련 설계/시공/평가/운영/정책 결정을 선진화할 수 있는 차세대 노후교량 유지관리기술 검증체계 마련
- 연구단의 효율적 운영을 위해 관련 정부기관·연구기관·기업 및 해외 기관들과의 협력체계를 마련하고, 효율적인 기술중심의 연구기반 구축
 - 연구단장(주관연구기관 책임자)은 연구조직을 구성하고 연차별 세부목표 설정하여 기술 로드맵·목표성과 중심의 추진전략 및 수행방법을 마련
 - 연구개발, 기술실증 및 기준·제도화 등의 다양한 목표 달성을 위해서는 정부기관(교량 관리주체)과 산·학·연의 다양한 연구기관이 포함되도록 조직체계 마련



그림 4-5. 중소 노후 콘크리트교량 장수명 연구단 운영 전략

- 개발된 각 세부요소기술을 노후(철거)T/B교량에 적용할 수 있도록 활용체계를 마련하고 관련 기준·표준 개발 및 제도화를 추진하여 노후교량 장수명화 선순환 체계를 실현할 수 있는 역할수행

- 5년간의 연구개발을 통해 연구단 기능과 역할을 체계적으로 정립하고, 제도화 등을 통해 R&D 기반의 기술선도와 노후교량의 수명연장을 추진할 수 있도록 지속가능한 조직체계 마련
- T/B·철거교량을 적극 활용하여 세계적으로 경쟁력을 갖춘 노후교량 장수명화 요소기술을 개발하여 사업화할 수 있도록 지원하여 국·내외 노후교량에 대한 미래시장 개척
- 정부(교량 발주처)가 노후교량의 보수보강시 목표성능(성능·사용수명 등)과 최적의 보수보강 방법을 결정할 수 있는 의사결정 시나리오를 개발하여 사용할 수 있도록 시스템화하여 제공(투입예산에 따른 미래 성능 및 상태 분석 시나리오 분석 등)
- 장기적으로 보수보강 기술의 성능을 공인해주고 보수보강 후 성능을 검증할 수 있는 검인증 기관화 추진 필요

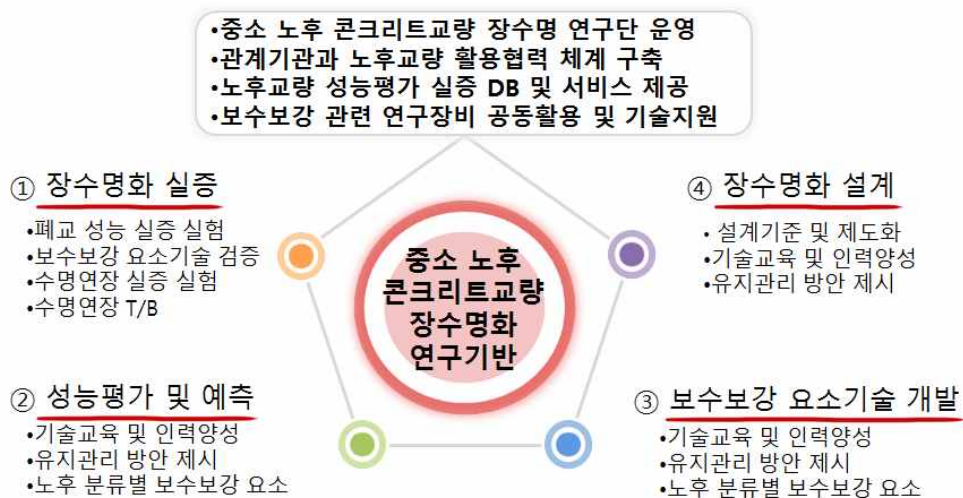


그림 4-6. 중소 노후 콘크리트교량 장수명 연구단의 기능과 역할

□ [중점전략 2] T/B교량 및 노후(철거)교량 확보 및 활용 전략

- 장수명화 요소기술 개발 및 실증을 위해서는 지속 활용이 가능한 교량 확보가 무엇보다도 중요하며, 관리주체인 지방국토관리청, 지방자치단체 및 한국도로공사 등과 협력체계를 마련하여 T/B확보 필요
- 유관기관과의 공동연구나 업무협력을 위한 양해각서(MOU) 또는 국토교통부의 협조요청 등을 통해 매년 1~2개 T/B교량 확보를 목표로 추진하되, 가능한 요소기술 적용이 가능한 형식의 교량으로 확보
- 한국도로공사에는 [표 4-5]와 같이 선형개량 및 확장공사 등에 따라 영구폐쇄된 교량이 다수가 있어 공동연구 등을 통해서 현장 실증*이 가능한 T/B확보가 용이
 - * 성능평가 및 평가 기준 검증, 보수보강 전·후 내하력·사용성 등 성능평가 검증, 장기모니터링 계속 등
- 지자체의 경우는 노후화가 심하여 철거하여야 할 교량들이 다수 있으므로 업무협조를

통해 철거예정인 중소 교량* 현황을 사전에 조사하여 연구단차원에서 지속적인 활용을 위한 협력체계 마련 필요

* 보수보강 전·후의 성능평가에 활용하거나 부재별로 철거하여 요소기술 실증에 활용

- 특히, 서울시의 경우 타 지자체에 비해 노후된 고가교량들이 많아 안전 문제가 크게 대두되고 있으며 서울시 자체적으로도 노후교량에 성능향상과 지속적 유지관리가 요구되므로 협력체계를 만들어 T/B확보가 가능할 것으로 판단됨
- 기존 교량유지관리기술 또는 장수명화 요소기술을 연계시켜 실증할 수 있는 기반 마련과 함께 노후교량을 철거하지 않고 활용할 수 있도록 관련 정부부처·청·지자체 등과 협력체계를 갖출 수 있는 독립적인 장수명화 연구단 및 제도적 지원 마련
- 현장실험을 통해 보수보강 효과를 직접 확인하기 어려운 경우를 고려하여 다양한 조건 하에서의 실내실험을 수행하고 최종적으로 현장에서 검증·수행할 수 있도록 보수보강 기법의 실내·현장실험 지원



● T/B 활용 전략

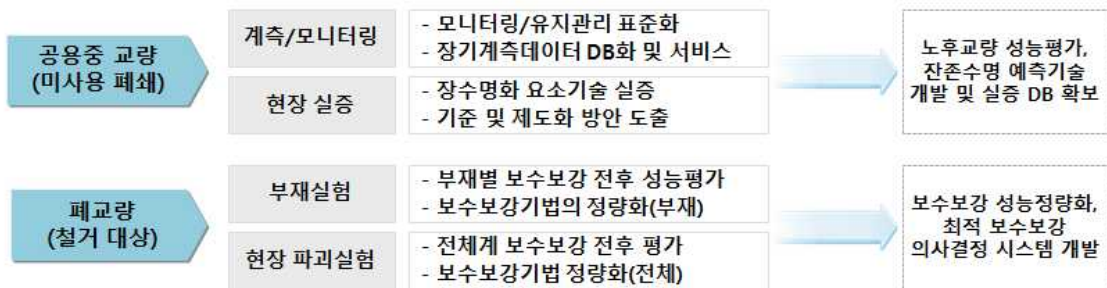


그림 4-7. T/B·철거교량 확보 및 활용 전략

표 4-5. 전국 고속도로별 영구폐쇄 교량 현황

구분	본부	노선	교량명	이정	상부 형식	연장 (m)	폭원 (m)	준공 년도	공용 년수	폐교 년도	폐교사유	현상태
계			22개소									
1	수도권	서울외곽선	자유로IC Ramp-G교	72.20	STB	90.00	9.00	1997	18	2006	진출입시 설개량	자체 활용중 (유지관리용회차로)
2	강원	영동선	가야교(강릉)	97.70	RA	14.00	12.10	1971	44	1994	확장공사	지자체 도로(농로) 활용중
3	강원	영동선	우용교	160.55	PSCI	25.00	14.10	1975	40	1999	확장공사	자체 활용예정 (수림대조성)
4	대전충청	경부선	우천1교(서울)	227.70	RA	25.00	11.20	1999	16	2006	확장공사	자체 활용중 (태양광발전사업부지)
5	대전충청	경부선	우천1교(부산)	227.70	RA	25.00	11.20	1999	16	2006	확장공사	자체 활용중 (태양광발전사업부지)
6	대전충청	경부선	우천2교(서울)	226.15	RA	40.00	11.20	1999	16	2006	확장공사	자체 활용예정 (태양광발전사업예정부지진입도로)
7	전북	호남선	만경강교(천안)	172.10	PSCI	690.00	12.60	1970	45	2000	전면개량 공사	자체 활용중 (신설교량점검공간등으로활용)
8	전북	호남선	목단교(천안)	115.23	RA	12.00	11.70	1973	42	2004	선형개량	활용계획 검토중
9	전북	호남선	목단교(순천)	115.23	RA	12.00	11.70	1986	29	2004	선형개량	활용계획 검토중
10	전북	호남지선	한천육교(회덕)	33.45	PSCI	60.00	11.70	1970	45	2002	전면개량 공사	자체 활용중 (신설교량점검공간등으로활용)
11	전북	호남지선	두계천교(휴계소)	29.86	PSCI+ STB	280.00	8.10	1970	45	2012	계룡휴게 소(회덕) 이전공사	자체 활용중 (신설교량점검공간등으로활용)
12	광주전남	호남선	영산강교(천안)	81.01	PSCI	401.05	11.10	1973	42	1999	전면개량 공사	호남선광산~동광주확장시 철거예정
13	광주전남	호남선	황룡강교(천안)	100.50	PSCI	186.70	11.70	1973	42	2006	신설공사	활용계획 검토중
14	광주전남	호남선	황룡강교(순천)	100.50	PSCI	188.16	11.70	1986	29	2006	신설공사	활용계획 검토중
15	광주전남	호남선	흥천교	29.50	RA	10.00	11.85	1973	42	1992	확장공사	지자체 도로(농로) 활용중
16	광주전남	호남선	자암교	35.45	PSCI	25.00	11.85	1973	42	1995	확장공사	지자체 도로(농로) 활용중
17	광주전남	남해선	묵백교	22.57	PSCI	25.00	11.85	1973	42	1992	확장공사	공사용진입도로활용중 (경전철복선화공사)
18	광주전남	남해선	압곡제2교	3.90	PSCI	25.00	11.60	1993	22	1998	진출입시 설개량	활용계획 검토중
19	광주전남	남해선	섬진강교	31.27	PSCI	524.00	11.85	1973	42	1992	확장공사	사업계획 반영후 철거예정
20	대구경북	경부선	오계2교(서울)	101.90	STI	15.00	11.20	1969	46	2006	확장공사	자체 활용중 (자재적치등유지관리공간활용)
21	대구경북	경부선	오계2교(부산)	101.90	STI	15.00	11.20	1969	46	2006	확장공사	자체 활용중 (자재적치등유지관리공간활용)
22	부산경남	남해선	승내천교	89.80	PSCI	37.50	16.47	1989	26	1999	진출입시 설개량	지자체 도로(농로) 활용중

□ [중점전략 3] 노후교량 장수명화 요소기술 개발·실증 및 기존 기술 연계활용 전략

- 노후교량 장수명화 연구기반을 구축하여 잔존수명 평가기법, 성능개선·보수보강 기술 개발 및 T/B 적용의 선순환체계 마련하고, 노후정도에 따른 교량 형식/부재/항목별 최적 보수보강 기법 개발 및 검증
- 또한 공용중 노후교량의 최적 보수보강 시나리오 산정모델 개발 및 보수보강 의사결정을 위한 DB/시스템 구축

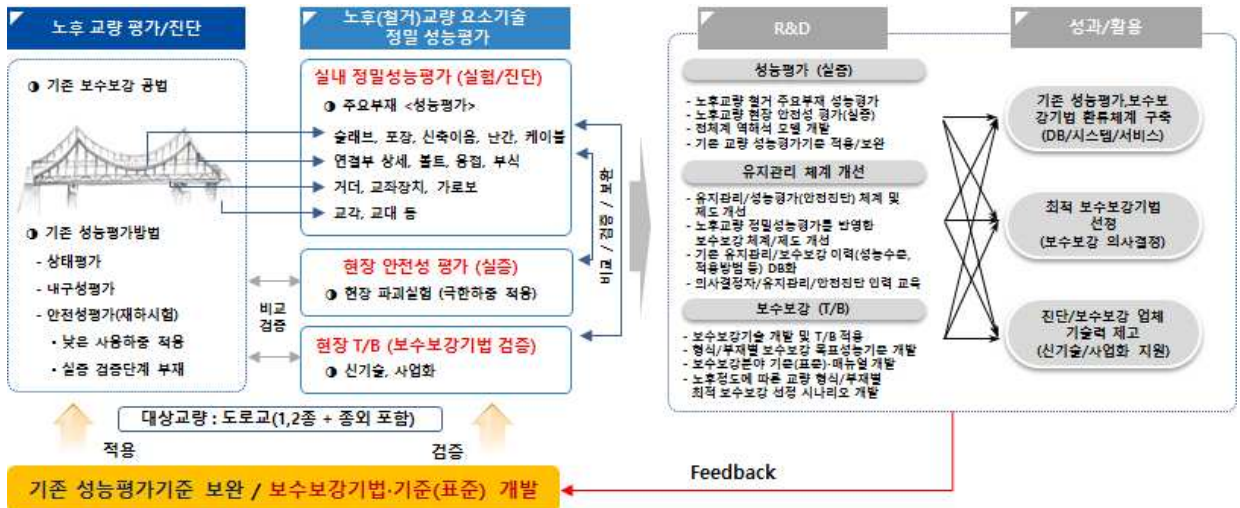


그림 4-8. 교량 장수명화 R&D 추진 모델

- 노후 콘크리트교량의 장수명화를 위한 유지관리 프로세스를 [그림 4-9]와 같이 성능평가부터 보수보강 적용·검증까지 크게 5단계로 구분할 수 있으며, 본 과제에서는 장수명화 요소기술 각 유지관리 프로세스 단계와 매치시켜 성능실증과 각 기술의 성능을 정량화할 수 있도록 활용체계를 마련

* 성능평가(기존 기준)→보수보강→실증검증(계측/모니터링)→성능평가기준(정책/제도) 개선·보완 체계 구축

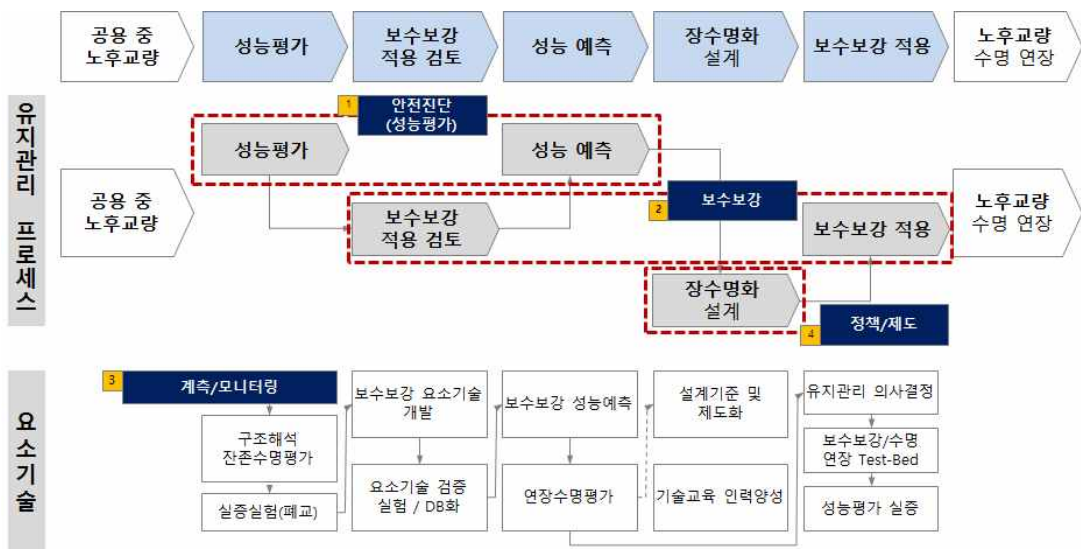


그림 4-9. 노후교량 유지관리 프로세스별 주요요소기술 연계 검증

- 장수명화 요소기술의 성능실증 연계활용은 기술개발자 입장에서 다양한 요소기술(보수보강, 계측·모니터링, 성능평가 등)을 개발하고 검증하는데 활용할 필요가 있으며, 정부(교량 관리주체 등) 입장에서는 노후교량의 잔존수명 평가와 보수보강시 최적의 보수보강공법을 선정하고 보강후 성능을 명확히 판단할 수 있는 정보제공이 중요
- 따라서 유지관리/보수보강 전문업체 및 정부의 직접적 기술수요자 뿐만 아니라, 최종적인 수혜자인 국민의 안전을 최우선할 수 있도록 각 요소기술의 연계활용 전략을 수립하여 추진

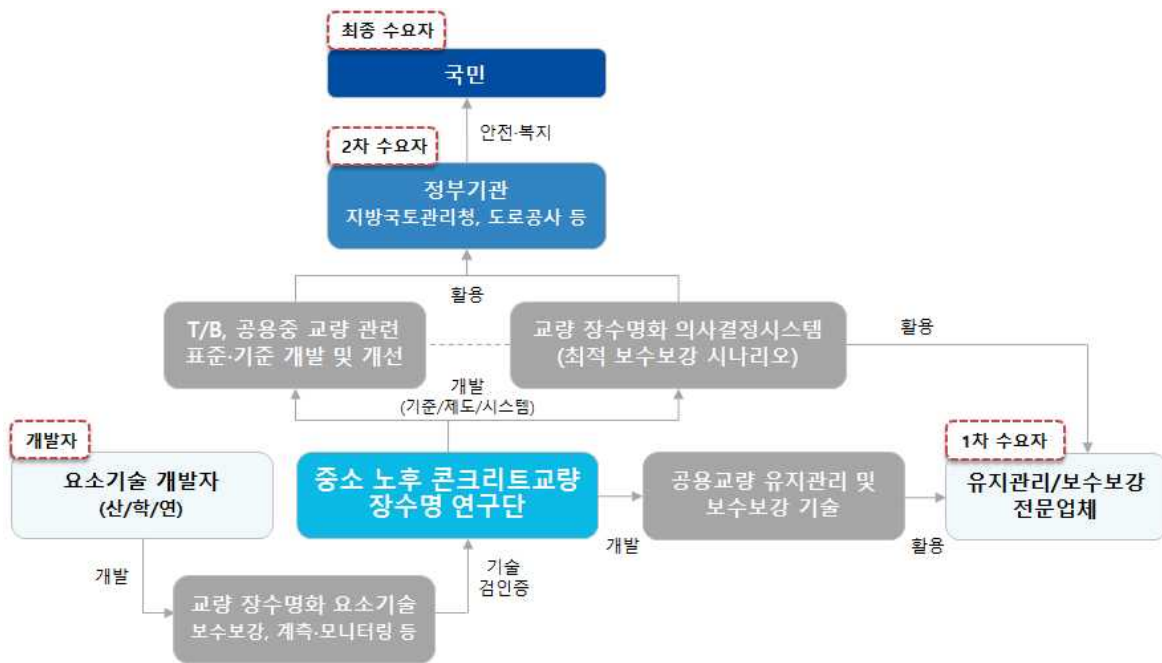


그림 4-10. 세부과제 및 요소기술간 연계활용 전략

- 또한, 본 과제 이외에도 타 연구과제 또는 기 개발된 기술·기준 등에 대한 연계활용을 검토하여 노후교량 장수명화에 필요한 요소기술들에 대해서 성능을 정량화하고 관련 기준 및 제도를 개선할 수 있는 환류체계를 마련하여야 함
 - * ‘사회기반시설물(SOC)의 성능중심 관리·운영을 위한 한국형 성능등급 산정기술 개발중(한국건설기술연구원, '14.06~'17.07)’
 - * 한국시설안전공단은 시책법에 의한 1·2종 시설물의 유지관리 수행중
 - * 한국도로공사는 교량의 동특성을 고려한 신뢰도기반 성능평가 기법을 개발(안전진단 업체의 활용도 낮음)
- 노후교량에 대한 체계적인 유지관리를 위해서는 종합성능평가기준과 연계하여 노후교량의 노후도 평가지표 및 등급 체계를 마련하고 이를 바탕으로 체계적인 보수보강 및 성능에 대한 이력관리를 할 필요가 있음
- 결과적으로 기존에 공용중 교량의 소극적 유지관리(상태, 안전성평가) 체계에서 노후교량에 대한 적극적 보수보강을 통해 수명을 연장하는 선제적 유지관리(종합성능평가 → 노후등급 평가 → 최적 보수보강공법 선정) 체계의 노후교량 관리의 패러다임 전환 추구

□ [중점전략 4] 장수명화 모니터링 데이터, 요소기술 DB구축·연계활용 전략



그림 4-11. 모니터링 및 요소기술 실증 DB구축 및 활용 전략

- 노후교량 장수명화 실증 데이터는 T/B교량의 장기계측 DB 및 노후교량 장수명화 요소기술의 실증DB*를 구축하고, 기존 FMS 및 BMS와 연계하여 활용할 수 있는 방안 제시
 - * 노후교량 장수명화 요소기술 실증DB : T/B교량을 활용한 장기모니터링 데이터, 보수보강 전후 성능실증 DB, 성능평가 DB 등으로 구성
 - ※ 그림 4-11와 같이 현재 운영되고 있는 BMS의 교량 정보·유지관리 이력 정보를 노후교량 장수명화 DB수집·관리시스템(가칭)에 연계 활용. 또한 실증테스트베드를 통한 철거·T/B교량의 요소기술 실증DB를 제공할 수 있는 시스템을 구축하여 기존 교량유지관리 체계를 보완 다양한 노후교량 분석기법 개발 등에 활용 제공
- 장수명화 실증DB는 최적 유지보수 의사결정시스템과 연동하여 교량 관리주체 및 연구자들이 활용할 수 있도록 시스템화하여 제공 필요
- 노후화된 T/B교량에 실시간 장기 모니터링 시스템을 표준화하여 적용
- 교량의 실시간 상태 감시, 이상신호 감지·분석, 취득한 데이터를 DB화하여 공유서비스를 제공함으로써 관련 연구자들이 활용기술 개발을 위한 지원 체계 마련
- 보수보강 기술의 실증DB는 최적 보수보강 의사결정시스템과 연동하여 노후교량에 대한 보수보강 공법 선정시 기초 자료로 제공
 - 노후교량의 노후도 정도, 통행량, 교량형식, 실시간 계측데이터 및 성능평가 정보 등의 종합 분석을 통해 최적의 보수보강 시나리오를 교량 관리주체(지방국토관리청, 지자체, 한국도로공사 등)에 제공

○ 또한, 시설물 노후화, 차량증가로 인해 노후교량 안전관리 비용이 계속 증가할 전망이고 중·소교량을 관리하는 각 지자체의 재원확보 부담도 점점 커지고 있는 실정이므로, 적기 적소에 노후교량 유지관리 투자를 지원하는 노후교량 장수명화 최적관리방법을 마련하여 체계적인 교량 관리는 물론 효율적 예산투자 필요

- 이를 위해서는 기존 교량통합관리시스템(BMS)과 연계·활용하여 최적 보수보강 공법을 제시할 뿐만 아니라 보수보강 이후의 정량화된 성능 및 잔존수명을 제시해 줌으로써 유지관리의 효율성을 높여야 함

※ 공용년수가 30년이상 또는 안전점검시 C등급이하 1회 이상 받은 교량을 대상으로 보수보강 이력 및 성능 변화를 추적·조사하여 노후교량 최적 유지관리체계 수립 필요

표 4-6. 공용년수 및 30년 이상 교량 비교(2015년 현황조사)

교량구분	전체	국가관리(국도)	지자체 관리
개소수	29,896	6,662	14,057
평균 공용년수(년)	15.6	11.7	19.4
30년이상 개소수(비율)	2,786(9.3%)	201(3.0%)	2,307(16.4%)

□ [중점전략 5] 생애주기(LC)기반 노후교량 장수명화 유지관리 전략

- 노후교량 형식에 따른 예방적 유지관리체계를 실현하기 위해 생애주기·유지관리비용 산정, 보수보강 후 잔존수명 및 성능 등을 종합적으로 고려하여, 유지관리 비용과 성능 사이의 최적의 균형 잡힌 유지관리 시나리오 제공
- 과거에 단순 생애주기 유지관리전략에 의해 수반되는 성능수준을 수동적으로 받아들여 관리를 했다면, 노후교량 장수명화 연구단은 생애주기를 기반으로 하되 보강 후 목표 성능수준을 명확히 제시할 수 있는 노후교량 최적유지관리 시나리오 제시
- 노후교량에 적합한 생애주기 기반의 유지관리 체계 마련을 위해 부재수준에서의 실제 최적의 유지관리(보수보강) 시나리오 모델 제시

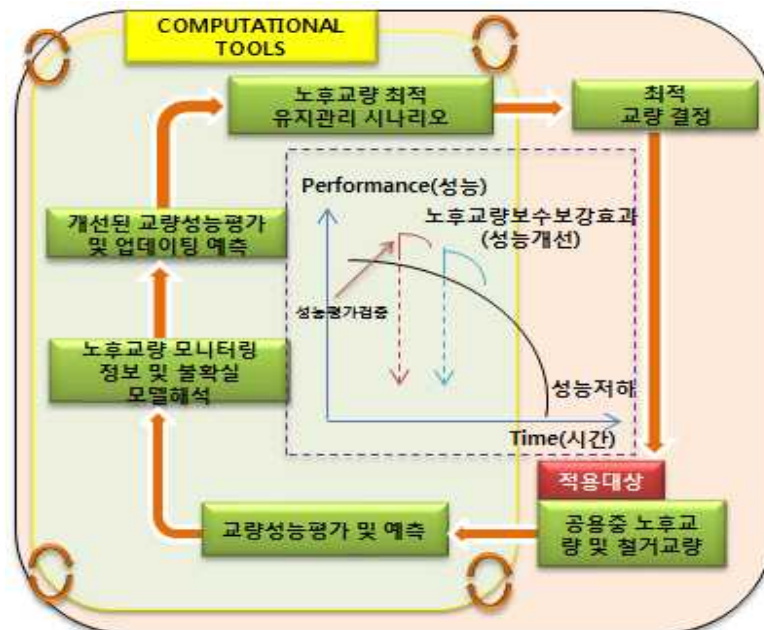


그림 4-12. 최적 노후교량 생애주기분석 방법

□ [중점전략 6] 장수명화 유지관리 기준, 제도화 및 인력양성 전략

- (장수명화 유지관리 방안 기준/제도화) 시장 변화를 고려할 때, 현행 시설물의 안전 및 유지관리 기준(보수보강 기술 등)을 시설물의 상태에 따라 보다 차별화하고 기준·지침, 매뉴얼 등의 개발을 지속하여 그 결과를 관리주체 및 유관기관에 보급필요
- 또한, T/B교량의 실증(DB)를 기반으로 기존 공용중 노후교량에 대한 진단 및 성능평가 기준을 적용·검증함으로써 노후교량 장수명화 유지관리체계 마련을 위한 기준 개선 및 전략 제시
- 교량의 장수명화를 위해, 안전진단전문기관, 시설물 유지관리업체 등의 기술수준이 발전하기 위해서는 시설물 안전 및 유지관리 분야의 신기술 개발을 지속적으로 강화하고 연구개발 결과를 체계적으로 보급하여 활용도를 제고하는 방안 시행 필요

- 이를 위해서 합리적 시설물 안전상태 평가체계 구축 및 평가결과를 적정히 반영할 수 있는 피드백 체계의 구축도 병행
- 국외의 경우 보수·보강 분야에 대한 기준 등이 개발되고 있으나, 우리나라 실정에 맞는 보수·보강 기준은 전무하며 교량 노후화 시대를 준비하기 위해서는 조속히 관련 규정 (ISO 보수보강 표준 등)을 통해 기준 및 제도화 마련
- (기술 교육 및 인력양성) 기존 성능평가 기준 및 새롭게 개발·보완되는 T/B활용대상 노후교량 보수·보강 기준 및 제도 등을 체계적으로 교육함으로써 노후교량 유지관리를 위한 전문인력 양성 필요
- 현재 교량 유지관리 및 보수보강 전문업체의 근무환경이 매우 열악하여 설계, 시공분야보다 고학력 전문인력 확보가 매우 어렵고, 이로 인해 관련분야 기술수준이 지속적으로 떨어지고 있는 실정
- 따라서, 관리주체 등 교량 점검 및 진단 평가와 관련된 국내 기술자를 대상으로 보수·보강 기준 설정, 성능개선 효과, 유지관리방안 등을 교육함으로써, 실무자 역량을 강화할 필요가 있으며 관리주체 및 실무진들을 위한 교육 프로그램 개발 필요
- 미래 유지관리/보수보강 시장이 급격히 증가할 것으로 예상되나, 현재 관련분야 기술 시장은 기술력이 열악한 중소기업 위주로 형성되어 있음. 중소기업의 기술력이 향상되지 않고는 유지관리 성능을 보장하기 어려움. 따라서 관련 유지관리 시장 여건을 개선하기 위해서는 전문성을 갖춘 인력이 기업에 유입될 수 있도록 고용에 대한 처우개선이 필요하고, 일정 등급 이상의 기술력을 갖춘 업체가 용역을 수행할 수 있도록 입찰·평가제도 등에 대한 보완을 통해 산업 전반의 체질 개선을 위한 제도 제안 필요
- T/B교량 활용 관리주체, 교량 점검 및 진단 평가와 관련된 국내 기술자는 책임·관리기술자 감독 하에 필수교육훈련사항(기존교량 안전진단, T/B교량 보수보강 기준 설정, 성능개선 효과) 등을 교육함으로써 실무자 역량을 강화하여 노후교량의 효율적 안전관리를 통한 국민의 안전 확보
- 기존 성능평가 기준 및 새롭게 개발·보완되는 보수·보강 기준/제도 등을 체계적으로 교육함으로써 교량 유지관리를 위한 국내기술자 전문 기술인력 강화를 통해 정체된 노후교량 안전진단시장 활성화 및 해외시장 진출 가능
- 이를 위해, 관리 주체 및 실무진들을 위한 T/B교량 유지관리 시스템 및 온라인 심화교육 시스템 통해 안전 및 유지관리측면의 기술자 니즈를 마련하고, 교육과목 특성에 맞도록 모듈화, 수요자가 업무 수행 중 필요한 콘텐츠를 자율적 수강 및 활용토록 운영함으로써 온라인 교육을 통해 전문성을 강화

4.3 세부과제별 주요 연구내용

4.3.1 [1세부] 중소 노후 콘크리트교량의 장수명화를 위한 보수보강 실증 연구

(1) 연구개발 목표 및 내용

구분	연구개발 목표	주요 연구내용	연차별 계획				
			1년	2년	3년	4년	5년
1-1	노후교량 실증 테스트베드(T/B) 확보·활용 지원 및 총괄	<ul style="list-style-type: none"> ○ 연구단 운영체계 구축 및 총괄 (자체평가지표 작성, 자문/자체평가위원회 구성 등) ○ T/B-철거교량 현황조사 및 확보/교량관리주체(국토부, 지자체 등)와 T/B교량 활용 협력체계 구축 <ul style="list-style-type: none"> - 실증 대상교량 선정, 현지조사, 관련기관 협의 추진 등에 대한 세부 계획 수립 ○ 장수명 요소기술 실증을 위한 T/B-철거교량 활용방안 마련 ○ 노후철거교량의 R&D 지속 활용 및 선순환 방안 수립 					
1-2	T/B-철거교량 활용 보수보강 기술 실증·지원 및 개선 연구	<ul style="list-style-type: none"> ○ 교량형식, 노후도별 보수보강 기술 조사 및 분석 ○ 기존 보수보강 기술의 검증개선 대상 우선순위 선정 ○ 보수보강 기법에 대한 실내실험·검증 수행 ○ T/B-철거교량 활용 기존 보수보강 기술 실증(현장 실증) ○ 보수보강 전후 성능비교, 효과분석 및 성능 정량화 ○ 교량형식 및 노후도별 보수보강 목표 요구성능 및 보강성능등급 설정 ○ 기존 보수보강 기술 개선사항 도출 ○ 교량형식 및 노후도를 고려한 보수보강 기술 성능개선·개량 ○ T/B교량 적용을 통한 성능개선 검증 및 효과 분석 					
1-3	보수보강 재료·공법별 요구성능 지표 및 평가시험 방법 개발	<ul style="list-style-type: none"> ○ 교량의 손상 종류, 원인 등에 대한 사전 조사 및 분석 ○ 기존 보수보강 재료·공법별 요구성능 분석 및 성능조사 ○ 실제 적용된 보수보강 교량에 대한 현장 조사 및 문제점 분석 ○ 검토대상 보수보강 기법에 대한 우선순위 선정 ○ 교량 형식/부재별 노후도에 따른 대표 보수보강 재료 및 공법 선정 ○ 대표 보수보강 재료·공법에 대한 요구성능별 성능평가 지표 설정 ○ 보수보강 요구성능별 평가항목 및 평가시험법 개발 <ul style="list-style-type: none"> - 보수보강 기술 장기성능 검증 시험 및 데이터 축적 - 주요 환경요인별 장기 촉진 시험법 - 이종재료 결합성능 평가시험법 개발 - 교량 노후도를 고려한 보수보강 요소성능 수준 설정 ○ 부재별 표준실험절차 작성 <ul style="list-style-type: none"> - 교량 부재별·노후도별 실증을 통한 지침 개발 및 매뉴얼 작성 					
1-4	보수보강 재료·공법별 설계기준 및 시공절차서 작성	<ul style="list-style-type: none"> ○ 기존 보수보강 재료 및 공법에 대한 성능개선 목표 설정 ○ 대상 보수보강 재료·공법별 표준 보수보강 설계기준 작성 ○ 교량 노후현상 및 노후도별 보강 시나리오매뉴얼 작성 ○ T/B 적용을 반영한 시공절차서 및 매뉴얼 작성(품질관리 요령 등) ○ 보수보강 매뉴얼 작성(설계서, 시공절차서, 유지관리매뉴얼 등) ○ 최적 보수보강 의사결정 시스템 반영 					
1-5	보수보강 교량의 장기성능 및 수명 예측 평가기술 개발	<ul style="list-style-type: none"> ○ 국내외 교량의 성능저하 예측 및 수명 평가기법 조사·분석 ○ 국내외 교량 형식별 수명·성능 저하요인 관련 연구 조사·분석 ○ 국내외 교량의 성능·수명에측에 활용되는 데이터 수집 ○ 인공지능(AI) 기술 기반의 교량 장기성능예측 모델 및 수명평가 프로세스의 정립(neural network, genetic algorithm 등 데이터 딥러닝, 통계기법, 패턴인식 기법적용) ○ 평가 항목에 따른 교량 부재별 성능저하·성능예측 모델 개발 및 검증 ○ 평가 항목에 따른 교량 전체의 수명평가 알고리즘의 개발 및 검증 ○ 성능평가·성능향상 결과데이터를 활용한 교량의 장기성능예측 및 수명평가 프로세스의 검증(시뮬레이션 데이터 포함) ○ T/B 교량의 평가 데이터를 활용하여 개발한 장기성능 예측모델과 수명평가 기술의 적용 및 검증 ○ 결과 분석을 통한 개발 기술의 보완 및 정립 					
1-6	노후교량 고정밀	<ul style="list-style-type: none"> ○ 기존 교량용 WIM 시스템 조사 분석 					

	입력하중 측정시스템 개발	<ul style="list-style-type: none"> Extensometer 기반 WIM 센서 스펙 결정 및 설계 고정밀 광섬유 extensometer 기반 WIM 센서 시작품 제작 실내의 검증실험 및 보완 기존 교량 장기계측 모니터링 시스템과의 연계기술 개발 T/B교량 적용 검증 및 실용화 패키지 개발 						
1-7	노후교량 보강수준 센서용 보강재 개발	<ul style="list-style-type: none"> 보강재 내장 가능 최적 센서 유형 선정, 배치 등 및 개선(안) 제시 센싱 결과 기반의 보강 효과 분석 프로세스 개념 정립 보강재 보강 효과-센싱 데이터 상관성 분석 센서 내장형 보강재 시작품 제작 및 적용을 통한 성능검증 실험 실시 보강재 내장 센서용 DAQ 장치 시스템 설계 보강재 보강효과 산정시스템 패키지화 구현 보강효과 산정 알고리즘 프로그래밍화 구현 테스트 베드 적용 및 활용분석 알고리즘 & DAQ시스템 보완 및 실용화 패키지 개발 						
1-8	노후교량 장기계측데이터 확보 및 실증DB 제공	<ul style="list-style-type: none"> 국내 교량 장기모니터링 시스템 사례조사 및 분석 장기계측 데이터 DB현황/활용사례 조사 및 분석 노후교량에 적합한 최적 센서위치, 측정물리량, 계측시스템 설계 노후교량 계측Data 확보를 위한 모니터링시스템 설치 및 운영 장기계측/보수보강/성능평가 DB구축 시스템 설계 장기계측/보수보강/성능평가 실증Data 확보 및 공유활용 시스템 구축 장기계측/보수보강/성능평가 DB 활용방안(지침,매뉴얼) 수립 장기계측/보수보강/성능평가 실증Data DB화 및 공개 서비스 						
1-9	계측데이터 기반 교량 노후도 등급화 및 정량화 기술 개발	<ul style="list-style-type: none"> 노후교량 계측 데이터 유형 분석 및 교량 신호 패턴 분석 교량 노후도 등급화 및 정량화 개념 정립 계측 데이터 프로세싱 기반 노후도 등급화 및 정량화 모듈 개발 기존 알고리즘 연계 및 검증 등급화·정량화 기술 적용 테스트 베드 구축 방안 수립 T/B 교량 정량화 기술 적용, 분석 및 활용방안 마련 노후도 정량화·등급화 알고리즘 보완 및 실용화 패키지 개발 						
1-10	노후교량 최적 보수보강 선정을 위한 의사결정 시스템 개발	<ul style="list-style-type: none"> 노후교량의 보수보강 의사결정 알고리즘 개발 및 시스템 설계 노후교량의 보수보강 의사결정 시스템 구축 및 보수보강 실증DB 연동 실증을 통한 보완 및 실용화 패키지 개발 						

(2) (1-1)노후교량 실증 테스트베드(T/B) 확보·활용 지원 및 총괄

□ 연구개발 필요성 및 차별성

- 국내 교량의 노후화 수준이 심각하고 노후화 속도가 빠르게 진행되고 있음에도 불구하고 노후교량 장수명화를 위한 실증기반의 종합적인 연구는 미흡한 실정
 - * (국내) 단순 육안점검 체계의 한계 : 정기 육안점검을 통한 상태평가와 필요시 안전진단을 통한 내하력 평가를 수행하여 성능등급을 결정하고 있으나, 성능등급 판정 이후 유지관리·보수보강에 관한 검증체계 부족
 - * (일본) 노후교량이 급증하는 시대를 대비하여 국가차원으로 SOC시설물 투자계획을 통합한 ‘인프라시설물종합정비프로그램’을 마련하여 교량의 유지관리체계(보수보강, 우선순위결정 및 모니터링 등)에 대한 종합적인 ‘Control Tower’ 운영
 - * (미국) '80년대부터 ‘교량개량사업계획’을 추진하여 100년이 경과한 교량도 사용하고 있음. 1998년 이후 미국 토목학회에서는 정기적으로 발행하는 ‘미국 인프라평가보고서(Report Card America’s Infrastructure)’를 통해 교량 운영 및 유지관리, 성능, 미래수요 등을 종합적으로 고려한 체계적인 교량관리를 수행중
- 기존 상태평가 기반의 교량 성능평가체계 개선을 위해서는 실증기반의 노후교량 장수명화 요소기술 확보 필요
- T/B교량을 활용하여 성능평가기법, 성능개선·보수보강 기술, 모니터링 기술 등 노후교량 장수명화 요소기술을 검증하고 개량할 수 있는 실증기반 선순환체계 마련
 - 기존 교량 보수보강 및 성능평가 기술개발의 경우에는 재료적 노후화가 반영된 공용중 노후교량에 대한 실증을 거치지 못하고, 대부분의 기술 및 공법이 실험실 수준의 부재 단위 실험 검증만을 수행하여 정량적 성능 확인이 모호하고 현장 적용성이 낮아 활용도가 매우 저조함
 - 따라서 단순한 소재단위 또는 부재단위의 성능평가 및 보수보강 방법을 탈피하고, 복잡한 구조적 거동을 하는 교량에 실제로 요소기술을 적용하여 종합적인 성능평가 및 보수보강 기술을 검증·개발할 수 있는 실증기반의 연구 체계 마련 필요

☞ 노후교량이 급증함에 따라 성능중심의 교량 종합 유지관리 체계 수립을 위한 노후교량 장수명화 요소기술 실증기반을 마련하여 관련 기술의 검증 및 개량을 위한 선순환 체계 실현

- 현재 단순한 교량 성능검증과 유지관리 체계에서 노후교량 수명연장을 위한 적극적인 유지관리 체계로 전환 필요
- 교량관리주체, 연구기관, 관련분야 산업계가 지속적으로 기술개발 및 검증에 활용할 수 있도록 미사용 철거교량을 확보하여, 연구개발에 공동활용 할 수 있는 환경 조성

□ 연구개발 주요 내용

- 연구단 운영체계 구축 및 총괄(자체평가지표 작성, 자문/자체평가위원회 구성 등)
- 교량 관리주체와 T/B교량 활용 협력체계 구축
 - 노후교량 요소기술 실증을 위한 테스트베드 확보 및 효율적 운영·관리를 위해 정부기관(지방국토관리청), 연구기관들과 협력체계를 마련하고 기술중심의 체계적 연구기반을 구축
 - 이를 위해서는 중소 노후콘크리트 교량 장수명 연구단을 중심으로 관련기관과 T/B 철거교량 제공·연계활용이 가능하도록 상호협력약정을 체결하고, 관련 연구기관 및 산업체에서 T/B교량을 기술개발과 검증에 활용할 수 있도록 활용 체계를 마련
 - * (한국도로공사) 선형개량 및 확장공사 등으로 영구 폐쇄된 교량이 형식별로 다수가 있어 협력을 통해 성능평가 및 보수보강 기술의 현장 실증을 위한 T/B교량으로 활용이 용이
- 철거교량(T/B) 현황조사 및 확보
 - * (지자체) 노후가 심하여 철거하여야 할 교량들이 많으므로 업무협조를 통해 철거예정인 중·소 교량 현황을 사전에 파악하여 노후 콘크리트교량 장수명화 연구단 차원에서 지속적인 연구 및 실험검증에 활용할 수 있도록 협력체계 마련 필요
- 장수명화 요소기술 실증을 위한 T/B·철거교량 활용방안 마련
 - 보수보강, 성능평가 등 여러 세부과제에서 공동으로 활용할 수 있도록 T/B·철거교량을 1차년도에 조기 확보하여 공동 활용방안을 수립
 - 자체 연구단 내부 활용뿐만 아니라, 국토교통 R&D 타과제에도 공동으로 활용할 수 있는 전략을 수립
- 노후·철거교량을 T/B로 활용하여 장수명화 요소기술에 대한 실증실험 지원
 - 관련 주체기관을 통해 수집된 T/B철거교량을 활용하여 노후도가 높은 콘크리트 교량을 대상으로 현장 파괴실험, 주요 부재별 실내시험(압축, 인장시험 등), 보수보강 전후 성능평가 실증실험 등을 지원
 - 본 세부과제에서 수행하는 보수보강 실증 외에도 타 세부과제에서 수행하는 성능평가 기법 및 계측·센싱 기술의 실증을 위해 T/B의 공동활용을 지원
- 노후·철거교량의 R&D 지속 활용 및 선순환 체계 마련
 - 본 연구단 과제가 종료된 이후에도 관련분야 R&D 및 민간의 기술개발 검증을 위한 실증으로 노후·철거교량이 활용될 수 있도록 지속 가능한 선순환 활용 체계를 제시
 - 특히, 교량 관리주체(국토부 지방국토관리청, 지자체 및 도로공사 등)와 협의하여 R&D 실증에 지속적으로 활용 가능하도록 관련 제도 정비를 위한 노력 필요



그림 4-13. 장수명화를 위한 실증 T/B 확보 및 운영·관리 방향

(3) (1-2)T/B·철거교량 활용 보수보강 기술 실증·지원 및 개선 연구

□ 연구개발 필요성 및 차별성

- 교량의 노후 정도가 심각한 수준으로 노후화 속도가 빠르게 진행되고 있어 보수보강을 통한 수명연장이 필요한 시점이나, 기존 보수보강 공법에 대한 체계적인 성능 검증이 이루어지지 못하고 있는 실정
 - * (국내) 장기적인 계획 없이 매년 확보 예산에 맞춘 단순 보수보강만을 시행하고 있으며, 보강 후 목표수명 및 성능에 기반을 두고 교량 형식 및 노후 정도별 적절한 보수보강공법의 제시와 체계적인 검증이 부족한 실정
 - * (일본) 국토교통성은 안전사고 발생 교량 및 철거 대상교량 등을 대상으로 토목연구소에 위탁하여 주요 부재의 시편을 이용한 성능평가 실험을 수행하고 이를 DB화하는 연구를 꾸준히 추진중
- 노후 콘크리트교를 대상으로 실제 교량 철거부재를 활용한 실험사례로 최근 약 30여건의 실증연구를 수행 (바닥판, 교각, 열화, 염해, 알칼리, 강제부식, PSC 등)

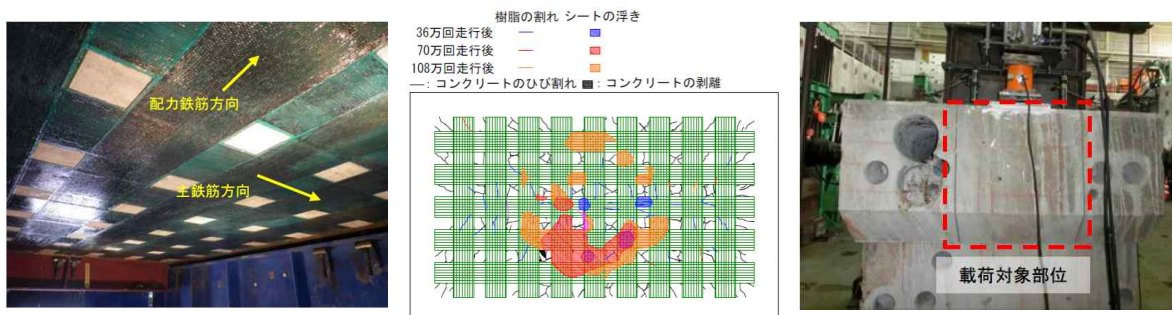


그림 4-14. 장바닥판 및 교각 실증실험(콘크리트교, 일본)

* (미국) 연방교통예산법(Moving Ahead for Progress in the 21st Century)에 따라 약 33억 달러 규모의 예산을 교량 유지관리, 보수보강 및 안전 연구에 배정하여, 고속도로 교량 약 5만 6천개 중 4%에 달하는 노후교량에 대해 구조적 결함 및 붕괴위험부재의 성능평가를 수행

· 교량안전에 대해 연방정부와 주정부의 우려와 관심이 각별한 상태로써, 연방도로관리청(FHWA)은 적절한 노후교량 관리와 보수보강을 통해 노후교량을 '양호한 관리상태'로 만드는 것을 목표로 붕괴유발부재(FCM)의 균열크기, 균열발달에 대한 실험, 검사 및 분석 등을 지원

○ 실증기반의 노후·철거교량 활용을 통해 교량형식 및 노후도를 고려한 기존 보수보강 기술의 성능평가를 통한 정량적 검증과 T/B교량 적용을 통한 기술·공법의 개선 연구 필요

- 기존 부재단위의 보수보강 기술에 대한 성능평가에서 T/B 실증을 통해 종합적인 보수보강 전·후의 성능 검증 및 평가 필요

- T/B 실증을 통해 보수보강 공법에 대한 성능기반의 정량적 평가로 최적의 보수보강기법 선정에 활용

* 최근 서울시에서도 문래고가차도 등 폐기된 교량을 활용하여 사용 중인 교량의 안전성 평가기법 개발 수행('11~'12년)

☞ 노후·철거교량을 활용하여 기존 부재단위 보수보강기술을 정량적으로 검증하고, T/B 교량을 활용한 실증 연구를 통해 보수보강 기술·공법을 개량

- 강교량에 비해 콘크리트 교량의 노후도가 심각하므로, 우선 콘크리트 교량을 대상으로 교량 형식 및 노후도에 따라 우선적으로 적용 가능한 기존 보수보강공법을 선정하여 정량적 성능 검증 필요

- 최적 보수보강 의사결정 시스템에 반영할 수 있도록 대상 보수보강 기술·공법별 보수보강 전후의 성능평가를 통해 정량적인 성능개선 정도를 제시

- 또한, T/B 실증 실험 결과를 반영하여 노후교량의 수명연장을 위한 최적 보수보강 기법 개선·개량

□ 연구개발 주요 내용

○ 기존 보수보강 기술의 검증·개선을 위한 대상 기술의 우선순위 선정

- 교량의 손상 종류, 원인 등에 대한 사전조사 및 분석

- 콘크리트 교량을 대상으로, 교량 형식 및 노후도별 보수보강 기술 조사 및 분석

* 대상교량 : 슬래브교, RC거더교, PSC거더교 등

- 대상교량별 기존 보수보강 기술의 검증·개선을 위한 우선순위 선정

* 사례조사 자료, 신기술 조사 자료 등을 통해 각 기술별 대상 교량에 대한 적용 우선순위 평가

* 보수재료 및 보강재료에 따른 분류

• 보수재료 : 표면처리공법, 균열지입재, 바탕처리재, 철근방청처리재, 단면복구재 등

- 보강재료 : 강판접착공법, 시트접착공법 등
- * 콘크리트 보수공법 및 보강공법에 따른 분류
- 교량부재 보수 : 콘크리트부재의 균열보수, 절삭 및 덧씌우기, 받침 및 신축이음장치, 배수장치, 난간 등
 - 교량부재 보강 : 강판보강공법, 외부케이블공법, 시트접착공법, 강재교체공법, 강재보강공법 등
- ※ 현장 실증실험이 불가능한 교각 및 기초에 대한 보수보강은 제외
- 노후·철거교량을 T/B로 활용하여 기존 보수보강 기술 실증
 - 보수보강 기술의 다양한 실내실험으로 성능평가를 수행하고 이를 바탕으로 현장 실증 수행
 - T/B교량(노후·철거교량)을 활용하여 노후정도에 따른 교량 형식, 부재, 재료 및 공법에 대한 실증 실험을 통해, 기존 보수보강 기술·공법별 보수보강 전후에 대한 성능을 정량적으로 평가
 - 실증 결과를 바탕으로 보수보강의 효과를 분석하고 성능을 정량화
 - 교량형식 및 노후도별 보수보강 기술·공법의 목표 요구성능 및 보강성능등급 설정
 - 교량의 초기 설계기준 대비 보강성능등급을 설정
 - 교량형식 및 노후도별 각 보강 기술·공법의 보강에 따른 목표 요구성능을 제시
 - 기존 보수보강 기술·공법의 개선 및 보완 사항을 도출
 - 교량형식 및 노후도를 고려한 보수보강 기술 성능개선·개량
 - 개선된 기술에 대한 T/B교량 적용을 통한 성능개선 검증 및 효과 분석
 - 개선된 기술에 대한 보수보강 매뉴얼 작성(설계서, 시공절차서, 유지관리매뉴얼 등)

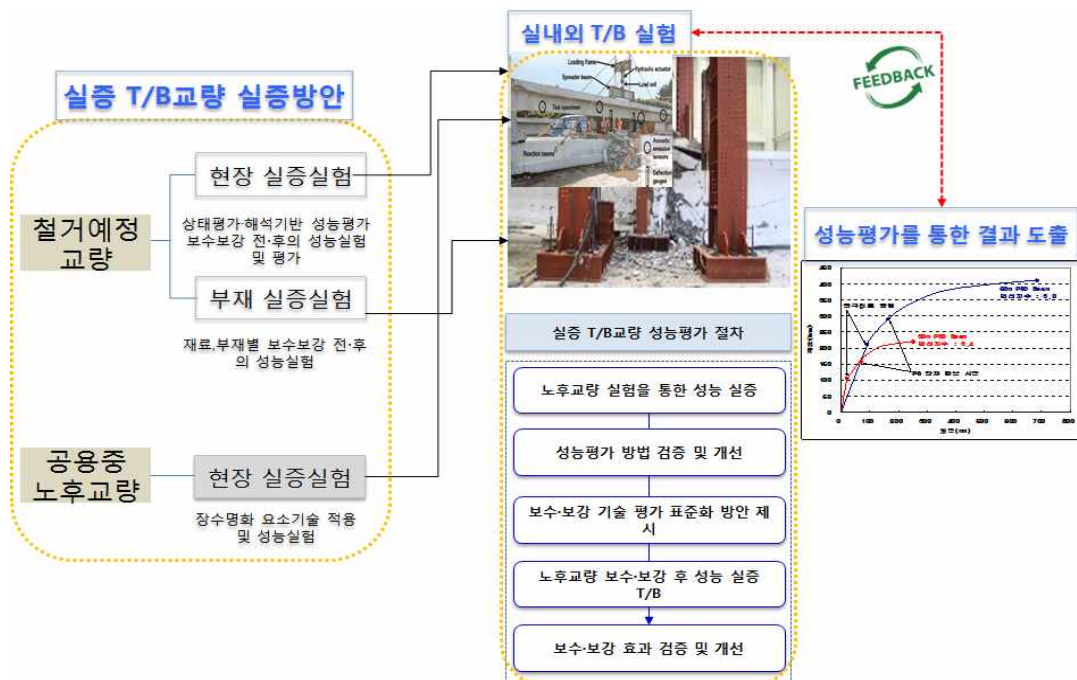


그림 4-15. 실증 T/B교량 선정 및 실내외 성능평가 절차

표 4-7. T/B·철거교량 활용 장수명화 요소기술 실증실험 범위

구분		내용
T/B교량 현장실증 (영구폐쇄 미철거)	보수보강 전·후 성능 검증	<ul style="list-style-type: none"> ○ 보수보강 공법에 대한 성능검증 및 정량화, 의사결정시스템 구축 기초Data 확보 <ul style="list-style-type: none"> - 노후교량을 대상으로 한 보수/보강 전·후 성능검증실험 - 교량형식별 보수/보강 방법 우선순위를 선정하여 실시 - 교량 개소당 다수의 보수보강 공법 적용 ○ 대상교량 형식/수량 : RC슬래브, RC-T빔교, PSC-I교, 라멘교 등 (약 5개소) <ul style="list-style-type: none"> ☞ 기존/신규 보수보강 공법에 대한 성능검증 → 최적 보수보강 의사결정시스템 기초 자료 확보 ☞ 노후교량에 대한 유지관리 및 보수보강 지침/매뉴얼 개발 등에 활용
	성능평가 기준 검증 및 개선	<ul style="list-style-type: none"> ○ 기존 성능평가 기준 검증, 개선점 도출 등 ○ 상태평가, 내구성, 내하성, 사용성 평가 / 정적,준정적,동적 재하시험 ○ 대상교량 형식/수량 : RC슬래브, RC-T빔교, PSC-I교, 라멘교, 강교 등 (약 7개소) <ul style="list-style-type: none"> ☞ 기존 공용중 교량의 종합성능평가 기준 검증 및 개선사항 feedback ☞ 노후교량에 대한 노후도 평가 및 종합성능평가 기준 제시
철거교량 활용 실증실험	철거교량 주요부재별 보수보강 전·후 실내실험 (콘크리트교)	<ul style="list-style-type: none"> ○ 철거교량(콘크리트교)의 주요부재별 보수보강 방법 실증(보수보강 전·후) <ul style="list-style-type: none"> - 교량 개소당 주요 구조부재(거더, 바닥판 등) / 보수보강 전·후 공법 검증 - 주요부재(거더, 바닥판) 성능검증 실험, 센서설치, 시험분석료 ○ 노후교량의 주요 장치 성능실증 : 받침, 신축이음 등 ○ 대상교량 형식/수량 : RC슬래브, RC-T빔교, PSC-I교, 라멘교 등 (약 8개소) <ul style="list-style-type: none"> ☞ 기존/신규 보수보강 공법에 대한 성능검증 → 최적 보수보강 의사결정시스템 기초 자료 확보 ☞ 보수보강 요소기술 실증 지원 및 실증Data 확보 ☞ 실증 Data 및 해석모델을 통한 다양한 데이터기반 분석기술 활용
	현장 파괴실험	<ul style="list-style-type: none"> ○ 노후도가 높은 콘크리트교량 대상 <ul style="list-style-type: none"> - 상태평가, 비파괴, 내구성, 내하력, 사용성 평가 / 정적,준정적,동적 재하시험 - 지간장이 길어 철거 후 실내실험이 어려울 경우, 현장검증실험 수행 - 교량 개소당 다수의 보수보강 공법 적용(보수보강 전·후 실증) ○ 대상교량 형식/수량 : RC슬래브, RC-T빔교, PSC-I교, 라멘교 등 (약 8개소) <ul style="list-style-type: none"> ※ 파괴실험 후, 주요부재 철거운송이 가능한 경우 실내에서 재료·부재별 검증실험 연계 활용 ☞ 기존 공용중 교량의 종합성능평가 기준 검증 및 개선사항 feedback ☞ 노후교량에 대한 노후도평가 및 종합성능평가 기준 제시

※ 교량 형식을 다양화하고 교량 형식별 적용 가능 보수보강 공법을 선정

※ 철거교량은 교량관리주체와 협의를 통해 확보 ⇨ 최소 교량에 최대한 많은 공법 적용

※ 적용 공법은 활용도, 중요도 등을 고려하여 교량 형식별 우선순위 선정

(4) (1-3)보수보강 재료·공법별 요구성능 지표 및 평가시험 방법 개발

□ 연구개발 필요성 및 차별성

- 현재 국내에서도 교량 보수보강 분야에서 다양한 소재·적용방법을 활용한 공법들이 개발되었지만 기술보유 기관 또는 시공업체 자체 기준에 의해 보수보강에 대한 평가 및 설계가 이루어지는 실정으로, 시공업체 능력에 따라 객관적 검증이 부족한 기술이 상이하게 적용되고 있음
 - * (보수 기술의 검증) 보수재료에 대한 한정적인 물성을 평가하는데 그치고 있어 노후교량의 노후도를 고려한 일체화 성능에 대한 평가가 부족
 - * (보강 기술의 검증) 보강 후 교량의 내하성능 향상에 대해서만 평가함에 따라 보강 상세에 대한 객관적 평가 기준이 미흡한 실정
- 보수보강은 이종재료, 신규재료의 부착 등에 의해 성능이 발현하나, 기존 보수보강기법은 재료에 대한 성능예측부분만 평가함에 따라 시스템 단위 성능평가 미흡으로 신뢰성이 저하됨
- 보수보강과 관련된 기존 연구에서는 제한된 공법(FRP보강, 외부긴장)에 대해서만 지침을 제시하거나 보수보강 수준 결정 관점에서만 진행되어 공법의 기본 원리와 교량의 노후도를 고려 할 수 있는 평가방법이 미흡한 실정이며, 주로 기술적 성능에 주목하여 기술자 개별 역량에 따라 보수보강 수준차이가 발생
- 보수보강 공법 또는 재료는 새로운 기술이 꾸준히 개발되고 있으나 노후교량에 적용되었을 때, 시간이력과 사용환경에 따른 장기적인 거동 특성을 평가 할 수 있는 평가방법이 없기 때문에 보수보강된 교량의 성능 지속기간의 평가가 어려운 실정

■ 보수보강 기술

- 표준화된 실험절차 부재
 - 구조물 보수보강 기술에 대한 표준화된 실험항목, 절차, 기준 부재로 기술자의 역량과 경험에 의존하여 기술 수준 차이 발생
- 한정적인 성능 평가 항목
 - 보수보강은 이종재료, 신규재료의 부착 등에 의해 성능 발현하나, 기존 보수보강은 재료에 대한 성능만 평가함에 따라 시스템 단위 성능평가 미흡으로 신뢰성 저하
- 대중적 기법 선호로 신뢰도 저하
 - 손상 및 열화원인 제거 기술보다는 저가의 대중적 기법 선호
 - 보강후에도 잦은 추가 유지관리 필요로 보수보강 기법의 신뢰도 저하

■ 장기성능평가 기술

- 장기성능 데이터 및 평가방법 부재
 - 합리적인 유지관리 계획 수립을 위해서는 보수보강후 객관적 수명예측이 필요하나, 신뢰성 있는 보강 전후 성능평가 데이터 부족
 - 또한, 기존 노후상태를 고려한 장기성능평가기법 부재

■ 보수보강 설계기술

- 노후도가 배제된 보수보강 설계로 효과적인 보수보강 성능도출 미흡, 잦은 재보수보강
- 교량 시스템 전반에 대한 고려 없이 개별 손상에 대한 보수보강 기법 적용 수준
- 전체계에 대한 효과적인 성능확보 부족 및 설계에 대한 검증이 어려워 객관성 결여

▶ 보수보강 요구성능별 평가항목 및 평가시험방법 개발을 통해 기존 보수보강 기법의 성능검증 및 개선 필요



▶ 교량 형식·노후도별 보수보강 전후 신뢰성 있는 장기성능데이터 확보와 장기성능축진시험법 개발로 객관적인 장기성능 평가체계 마련 필요

▶ 보수보강에 따른 수명변화 예측으로 합리적인 유지관리 계획 수립 가능

▶ 보수보강 기법의 신뢰성 제고를 위해서는 교량의 전체시스템을 고려한 표준화된 설계지침 마련 필요

▶ 교량 형식에 맞춰 부재별·노후도별 보수보강 매칭기법 적용을 통해 시스템 단위의 성능확보 기술 개발 필요

그림 4-16. 기존 보수보강기술 문제점 및 필요사항

- 기존 보수보강 기술들은 짧은 주기로 개발되고 단기성능 일부에 대해서만 평가·검증이 이루어지고 있기 때문에, 노후교량의 특성을 반영하고 보수보강의 기본 원리에 따른 잔존수명과 연계한 보수보강 장기성능 평가방법의 개발이 필요
- 기존 연구에서는 주요 보수보강 기술에 대해 재료 및 공법별로 한정적인 평가방법만을 제안하고 있으나,
- 노후교량 장수명화 연구에서는 교량의 노후도를 고려한 보수보강 시스템에서의 요소 평가항목을 도출하고 적합한 평가방법을 제안함으로써, 각 보수보강 기술의 요소항목 평가를 통한 노후교량과 연계된 보수보강 시스템의 평가 체계를 마련
- 보수보강 기술은 특성상 기술개발 주기가 매우 짧고 대부분 중소기업에 의해 개발되어 적용되기 때문에 주로 단기성능 검증에 치우쳐 있어 장기성능에 대한 평가가 미흡한 실정
- 따라서 본 연구에서는 보수보강된 노후교량의 장기성능 평가 데이터를 축적하고, 이를 바탕으로 단기간 내에 장기성능을 평가할 수 있는 적절한 촉진시험 방법을 개발하여 노후교량의 잔존수명과 보수보강 교량의 잔존수명을 동기화 할 수 있는 방안을 마련

☞ 교량 보수보강 관련된 기존 연구 및 공법의 단기성능평가 체계에서 노후도를 고려한 노후교량의 잔존수명과 연계한 보수보강 장기성능 평가 방법의 개발

- 보수보강된 노후교량의 장기성능평가 데이터를 축적하고 이를 바탕으로 단기간 내에 최적의 성능평가를 할 수 있는 촉진방법을 개발
- 장수명화 노후도별 평가항목을 도출하고, 평가방법을 제안하여 노후교량의 잔존수명과 보수보강된 교량의 잔존수명을 동기화 할 수 있는 방안 마련

□ 연구개발 주요 내용

- 교량의 손상 종류, 원인 등 사전 조사
- 보수보강 재료·공법별 요구성능 도출
 - 기존 보수보강 기술 분류 및 요구성능 조사 및 분석
 - 기존 보수보강 교량 현장조사 및 문제점 분석
 - 교량 형식/부재별 노후도에 따른 요구성능 평가항목 및 평가지표 설정
 - * 대상교량 : 국내 도로교의 약 80%를 차지하는 콘크리트교량을 대상으로 선정
 - * 교량 노후도에 따른 수명에 미치는 영향이 가장 큰 부재인 바닥판, 거더, 교각 등을 장수명화 보수보강 기술적용의 주요 대상으로 선정하며, 사용주기가 짧은 경우(포장 등) 및 위험발생빈도가 낮은 특수한 경우(지진, 홍수, 교통사고, 충돌사고, 화재 등 재난 복구) 등은 대상에서 제외
 - ※ 또한, 교량 상부 또는 하부구조를 교체하는 경우에 대해서는 다루지 않고 핵심 부속시설인 받침에 대해서는 대상여부 결정에 대한 추가 검토 필요

- 보수보강 요구성능 평가시험법 개발 및 표준화
 - 보수보강 기술 장기성능 검증 시험 및 데이터 축적
 - 주요 환경요인별 장기 촉진 시험법 개발
 - 이종재료 결합성능 평가시험법 개발 및 표준화
 - 교량 노후도를 고려한 보수보강 요소성능 수준 설정
 - 부재별·노후도별 실증을 통한 지침 개발 및 매뉴얼 작성

(5) (1-4)보수보강 재료·공법별 설계기준 및 시공절차서 작성

□ 연구개발 필요성 및 차별성

- 국내 보강 분야는 기존에 많은 공법이 개발되고 적용되고 있지만 기술보유 기관 또는 시공업체 자체 기준에 의해 설계가 이루어지는 실정으로, 업체의 자의적 기준 적용에 따라 객관적 검증이 부족한 기술이 상이하게 적용되고 있음
 - * (국내) 특히 기존 교량의 노후도를 반영하지 못하고 재료가 완전한 상태로 가정하여 설계됨에 따라 보강성능이 설계와 다를 수 있으며, 이종재료·신구(新舊)재료의 완전부착 또는 완전결합으로 가정하는 오류도 빈번한 실정
 - * (미국) 콘크리트 구조물 설계기준인 ACI-318과 동일한 체계의 FRP 보강 지침을 만들기 위한 연구를 진행하고 있으며, 공용중인 교량에 대한 보강설계임을 고려하여 주요 하중계수, 보강 성능 한계 등을 기존 구조물 설계기준과는 다른 새로운 값으로 설정하기 위한 연구를 진행하고 있음
- 현재 표준화된 설계방법이 제대로 정립되어 있지 않고, 내하성능 위주의 설계만을 하고 있기 때문에 기술자별로 준용하는 상위 기준과 교량의 노후도를 설계에 반영하는 기법이 상이하므로 보강성능의 적절한 확보를 위해서는 사용성 측면에서의 설계방안 마련 필요
 - 기존의 보강설계 기법은 별도의 설계모델 없이 도로교설계기준, 콘크리트구조물설계기준 등 상위 기준을 준용하고 있는 실정
 - 노후교량의 경우 공용 중인 교량의 특성을 반영하여 하중계수, 재료계수 등의 보정을 통해 신설교량과는 다른 특성을 설계에 반영할 필요가 있음

☞ 기존 보강공법은 내하성능 위주의 설계만을 적용해 객관적 검증이 부족한 기술이 현장에 적용되고 있어, 노후교량의 특성을 반영하여 표준화된 설계방법을 제대로 정립할 수 있는 체계 마련이 필요

- 보강설계임을 고려하여 주요 하중계수, 보강 성능 한계 등을 기존 구조물 설계기준과는 다른 새로운 값으로 설정하기 위한 연구가 필요

□ 연구개발 주요 내용

- 교량 형식별 노후도를 고려한 보강 시나리오
 - 교량 사용계획을 반영한 성능개선 목표 설정
 - 교량의 노후도 및 손상에 따른 목표 단계별 보강 적용 방안 도출
 - 최적 보수보강 의사결정 시스템 반영
- 보강 표준 설계 지침 개발
 - 상위 설계기준(도로교설계기준, 콘크리트설계기준 등) 준용 범위 설정
 - 교량 노후도 및 손상 반영 설계 모델 개발
 - 보강기술 요소성능 및 기본원리에 따른 상세 설계 기법 도출
- 보수보강 시공절차서 및 품질관리 요령
 - 표준 설계지침에 따른 T/B 실증 결과 분석
 - 보수보강 재료 및 상세별 품질관리 기준 도출

(6) (1-5)보수보강 교량의 장기성능 및 수명 예측 평가기술 개발

□ 연구개발 필요성 및 차별성

- 현재 교량 구조물 전체에 대한 종합적인 평가가 가능한 성능저하 모델에 대한 연구는 미미한 상태로, 기존에 안전진단기관에서 수행하고 있는 항목별 강도저하에 대한 상태평가 결과를 단순 조합한 수준에 머물러 있음
 - 교량의 잔존수명을 예측하기 위해서는 주요 부재의 내하력을 평가하고, 결과를 바탕으로 재료의 내구성능, 피로응력, 강성저하, 교통량, 주변환경 등 여러 가지 요인들을 종합적으로 고려해야 하지만, 주로 항목별 상태평가 결과기반의 결정론적 모델과 확률론적 모델을 통해 예측하고 있음
 - * 결정론적 모델(Deterministic model)은 다변수 회귀모델을 통해 교량의 노후화 요인에 영향을 미치는 여러 가지 요소들을 고려하는 성능저하 모델을 부재·교량별로 구성할 수 있으나 부재간의 상호작용을 고려하지 못하는 단점이 있음
 - * 확률론적 모델(Probabilistic model)은 시뮬레이션 모델 또는 마코비안 모델을 통해 노후화 과정의 불확실성을 고려할 수 있지만, 독립성의 전제조건과 전이확률 사용 등으로 공용중인 모델에 적용하기에는 비실현적·비실용적인 면이 있음
 - 2012년도에 철거예정인 PC교량을 대상으로 교량의 안전성 평가 기법 개발과 관련하여 상태평가 데이터를 활용한 성능이력곡선을 도출 연구를 통해, 교량열화에 대하여 일반적인

요소(공용수명, 경간수, 경간장 등), 구조적요소(형식, 거더 형식 등), 교통량, 환경적 요소(염화물, 습도, 온도 등) 등의 영향을 고려한 상태성능예측모델(회귀모델) 개발 사례가 있음

- * 교량열화에 대한 상태성능예측 모델은 결정론적 모델(회귀모델)로 여러 요소를 고려할 수는 있지만 부재간의 상호작용을 고려하기 힘들다는 단점을 가지고 있으므로 교량 구조물 전체의 성능 및 잔존수명 예측 모델로 단정하기 어려움
 - * 또한 공용중인 교량의 경우 계측시스템의 도입시기와 BMS(Bridge Management System)의 적용시기를 약 20년 미만으로 고려한다면, BMS의 구축시기를 기점으로 상태평가 데이터의 형태·종류·시기 등이 대부분 다르고, 교량의 성능저하는 단기간에 발생하지 않으므로 예측모델이 신뢰도를 얻기 위해서는 장기 데이터 분석을 통한 성능평가 데이터가 필요함. 따라서 기존의 성능예측 모델을 적용하여 현재 공용중인 교량들의 성능 및 잔존수명을 예측하는 데는 한계가 있음
- 일본 우베의 야마구치대학교에서는 철거예정인 교량에 대한 상태평가 결과를 통합하여 교량의 잔존수명을 예측하는 프로그램을 개발하였고, 더 나아가 개발한 프로그램 결과와 재료의 내구성능 데이터의 분석 결과를 종합하여 잔존수명을 예측하는 연구를 진행함
- (일본) 야마구치대학교의 미야모토교수 연구팀은 철거 예정인 RC-T거더교의 현장점검 데이터를 기반으로 Health Score를 산정하고, Fuzzy 이론과 통계적 기법을 적용하여 2가지 성능(Load-carrying capability, durability)을 평가한 결과를 통해 잔존수명을 예측하는 프로그램을 개발
 - * 콘크리트의 재료적 내구성능 결과데이터(압축강도, 중성화 깊이, 염화물 이온농도 등)와 개발한 프로그램의 결과 분석을 통해 잔존수명을 예측하는 프로세스도 개발
 - * 일본에서도 항목별 상태평가에 의존하는 성능 및 잔존수명 예측 기법들의 한계성을 인식하고, 일각에서는 교량의 성능저하 및 수명단축에 영향을 미치는 여러 요소들을 고려하기 위한 기술 개발 연구가 진행되고 있는 것으로 파악됨
 - (호주) 그리피스대학의 한 연구팀은 결정론적·통계학적 모델로 개발된 기존 선행연구들이 공통적으로 가진 가장 큰 문제점으로 상태평가 데이터의 보유량과 일관성 없는 분포도가 입력데이터로 부적합함을 파악하고, 이를 보완하고자 인공지능(AI) 모델 기반의 장기성능 예측 프로세스를 제안함
 - * 인공지능 기반의 기술은 입력데이터로 교량의 상태등급과 관련된 전반적인 데이터와 교통량, 기후변화, 노출 정도 등과 같이 교량의 성능과 직접적인 관련이 없는 환경·주변조건을 포함하는 방대하고 다양한 데이터들을 요구하므로 연구팀은 뉴욕의 NBI(National Bridge Inventory)를 이용하여 40개 교량에 대한 장기데이터(464개의 inspection records)를 확보하여 개발 기술에 대한 검증을 수행
 - * 또한 ENN(Elman Neural Network)과 BPM(Backard Prediction Model)을 적용하여 40개 교량에 대하여 항목별 성능 저하 예측모델을 구성하고, 교량별 유사한 요소끼리 그룹을 지어 성능저하 패턴을 규명하는 알고리즘을 제안
 - * 기간에 따라 입력데이터와 검증데이터로 구분하여 예측의 정확도와 확률론적 모델인 마코비안 모델(standard Markovian-based model)의 결과와 비교하여 제안한 프로세스를 검증
 - * 호주에서는 보유하고 있는 평가결과 데이터의 양적·질적 한계성을 파악하고 인공지능 기반 개념의 필요성을 인식하여 기술을 개발하였으나, 상태평가 결과를 활용하여 교량 전체의 종합적인 성능을 예측하고 있음

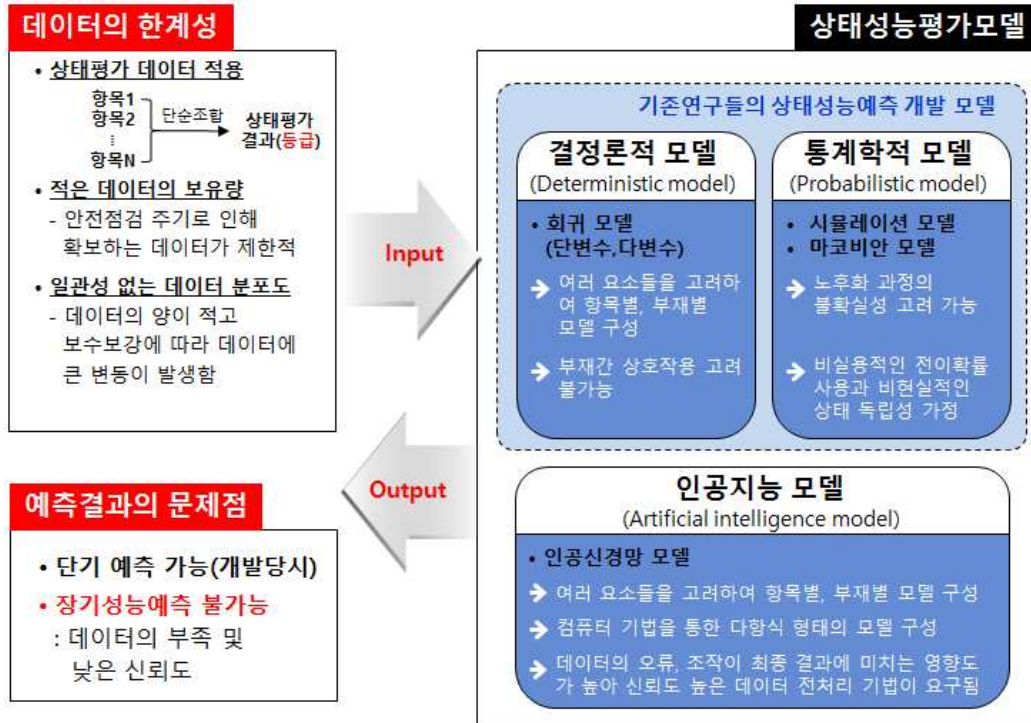


그림 4-17. 기존의 교량 성능예측 및 수명평가 프로세스의 한계성

- 노후교량의 사용성을 극대화하고 수명을 연장시키는 효율적인 유지관리는 “진단-보수보강 예측” 프로세스의 확립과 원활한 운영을 통해 달성되지만, 현재 공용중인 교량의 성능 및 수명을 예측하는 분야에 대한 국내 기술 수준은 손상도평가를 통한 보수보강방안 수립에 중점을 두고 있는 실정
 - 국내 건설시장의 패러다임이 “교량의 장수명화”로 변하면서 교량에 대한 체계적인 유지관리전략 마련이 필수적이며, 정밀안전진단과 객관적이고 정량적인 성능평가, 사전 예측기반을 위한 모니터링 기술 등 교량 수명연장을 위한 기술개발 요구가 증가하고 있음
 - 기술력과 전문성이 요구되는 국내 유지관리 관련 업체들의 질적 성장을 도모하기 위해 유지관리체계 정립, 고도의 예측기술 개발이 요구됨에 따라 교량의 유지관리체계 정립을 통해 사전 예측기반의 요소기술 개발 등 교량의 장기성능 및 잔존수명 예측 기술 개발 필요
 - 특히, 유지관리 및 보수·보강에 대한 투자 우선순위 결정에 근거가 되는 교량의 현재 성능에 대한 중요도 증가에 따라, 교량의 종합적인 성능평가를 위한 성능저하모델 개발 필요
- 기존의 교량 성능 및 잔존수명 예측모델은 주로 강도저하, 손상도평가 등 재료의 내구성 중심의 예측모델로 상태평가 데이터를 활용한 기술들이지만, 교량의 한계상태를 체계적으로 고려하고 각 한계상태별 특성을 교량 전체의 종합적인 성능으로 표현할 수 있는 합리적인 기법 마련 필요
 - * 교량 전체의 종합적인 성능은 주요 부재의 내하력평가, 재료의 내구성, 피로응력, 강성저하, 교통량, 주변 환경 등 여러 가지 요인들에 대한 체계적인 분석을 통해 합리적으로 고려되어야 함

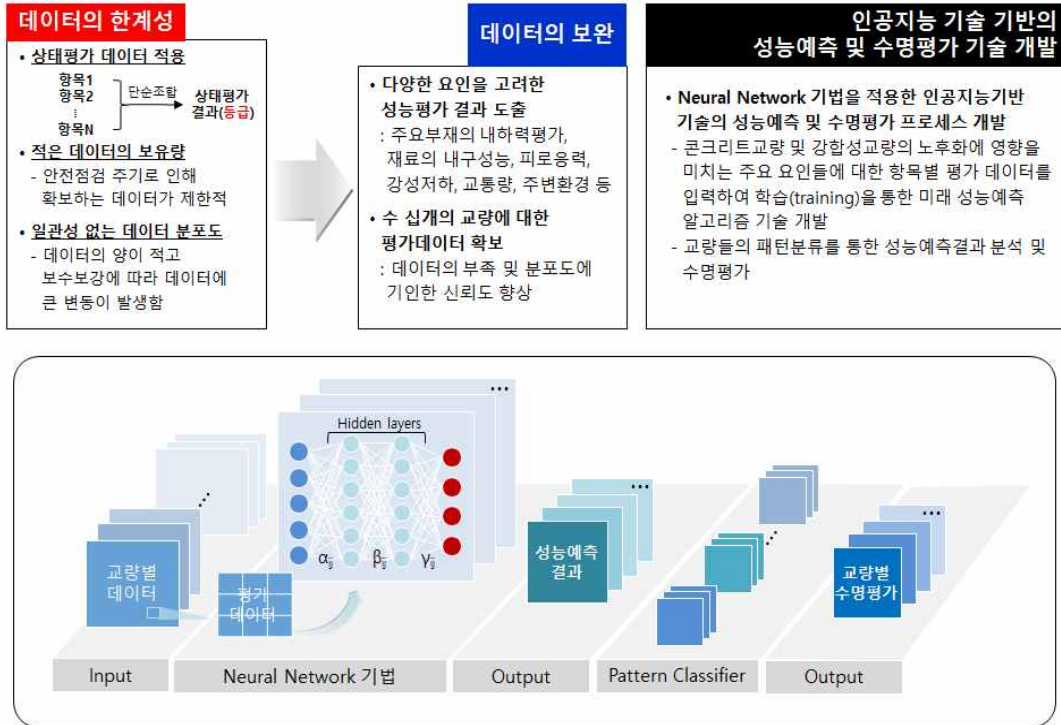


그림 4-18. 장기성능 예측 및 수명평가 기술 프로세스

- ☞ 노후교량 사용성을 극대화하고 수명 연장을 위한 유지관리체계 재정립을 위해서 교량의 종합성능평가 데이터를 활용하여 장기성능예측 및 수명평가 모델 개발 필요
 - 기존 연구들이 가지고 있는 데이터에 대한 한계성을 고려하여 인공지능(AI) 개념을 도입한 교량의 장기성능예측 및 수명평가 모델을 개발
 - 교량의 한계상태를 체계적으로 고려하고 각 한계상태별 특성을 교량 전체의 종합적인 성능으로 표현할 수 있는 합리적인 기법 마련 필요
 - * 교량의 평가데이터는 등급데이터로 안전점검을 실시하는 간격이 길고, 보수·보강에 따라 데이터의 변동폭이 크며, 데이터의 수가 제한적이기 때문에 적은 수의 교량을 가지고 예측 모델을 개발하는 것은 신뢰도를 얻기 어려움
 - * 따라서 동시대에 건설된 수십 개의 교량에 대한 평가데이터를 모두 활용한 인공지능 기반 기술을 통해 각 특성별 성능을 예측하고 유사한 패턴의 교량 또는 성능저하 등을 분류하는 패턴인식 기술을 적용하는 장기성능 및 수명평가 모델 개발이 필요
 - * 또한, 예측 모델에 주기적인 안전진단 및 점검의 종합 성능평가 자료를 지속적으로 반영하여 현재 시점에서의 교량 시스템의 성능을 예측할 수 있는 기법이 필요함. 단, 본 연구를 진행하기 위해서는 수십 개의 콘크리트교량 및 강합성교량에 대한 안전성평가 결과데이터 및 그 외 다양한 데이터의 확보가 가장 중요함(장기데이터)

□ 연구개발 주요 내용

- 교량의 성능·수명예측 분야에 대한 국내외 기술 및 연구동향 파악
 - 국내외 교량의 성능저하 예측 및 수명평가 기법 조사·분석

- * (콘크리트교) 반복하중에 의한 피로로 손상이 발생하기도 하지만 재료의 내구성능 저하속도, 철근의 부식속도, 염화물 축적량 등과 성능 및 잔존수명과의 관계 분석이 필요. 특히, PSC의 경우 장기처짐, 단부거동, 긴장력 변화에 따른 거동 변화를 확인하는 평가 항목이 필요
- * (강합성교) 강재의 경우 발생하는 결함의 대부분은 불연속면(볼트, 리벳 접합부 등)에 작용하는 응력집중에 의한 국부적인 피로파손 등이 원인이므로 주요원인으로 피로응력에 대한 분석 및 평가 항목이 필요
- 국내외 교량 형식별 수명·성능 저하요인 관련 연구 조사·분석
 - * 교량 형식별 성능·수명저하에 대한 원인 분석을 통해, 재료 부재의 특성과 성능저하 또는 단축과의 관계 파악
- 국내외 교량의 성능·수명예측에 활용되는 데이터 수집
 - * 국내 교량의 실정에 적합한 예측 기법들의 적용방법 모색을 위해, 교량의 성능 예측 및 잔존수명 관련 최신 기술들을 파악하고 실제 예측에 적용되는 여러 데이터들을 수집
- 인공지능(AI) 기술 기반의 교량 장기성능예측 모델 및 수명평가 프로세스 정립
 - 인공지능(AI) 기술 기반의 교량의 장기성능예측 및 수명평가 프로세스의 정립
 - * 데이터 딥러닝기법, 통계적기법, 패턴인식기법 적용
 - 평가 항목에 따른 교량 부재별 성능저하 함수 개발 및 시뮬레이션 검증
 - 교량 부재별 성능저하·성능예측 모델 개발 및 검증
- 평가 항목에 따른 교량 전체의 수명평가 알고리즘의 개발 및 검증
 - 평가 항목에 따른 교량 전체의 수명평가 알고리즘의 개발 및 검증
 - 성능평가·성능향상 결과데이터를 활용한 교량의 장기성능예측 및 수명평가 프로세스의 검증
- T/B 교량의 평가 데이터를 활용하여 개발한 장기성능 예측모델과 수명평가 기술의 적용 및 검증
 - T/B 교량 또는 철거교량을 대상으로 데이터를 확보하여 개발한 장기성능 예측모델과 수명평가 기술을 적용하고 결과분석을 통해 실용성을 검증
 - * 다만, 인공지능(AI) 기술 기반의 적용을 위해서는 수십 개의 콘크리트교량 및 강합성교량에 대한 안전성평가 결과데이터 및 그 외 다양한 데이터가 필요함. 따라서 부족한 데이터의 경우 시뮬레이션 데이터로 대체
- 결과 분석을 통한 개발 기술의 보완 및 정립
 - 개발한 장기성능 예측모델과 수명평가 기술을 적용한 결과와 기존의 국내외 성능예측 및 잔존수명예측 기법들을 적용한 결과와 비교·분석을 통해 기술의 타당성 검증



그림 4-19. 교량 장기성능 예측 및 수명평가 기술 개발 연구 내용

(7) (1-6)노후교량 고정밀 입력하중 측정시스템 개발

□ 연구개발 필요성 및 차별성

- 국내의 교량 장기계측시스템은 입력하중은 측정하지 않고 응답만 측정하고 있어, 교량의 정량적인 응답평가를 위한 제대로 된 In-Out에 대한 시스템 계측이 이루어지고 있지 못하고, 응답 추세분석을 통하여 관리기준 상회 여부만 판단하고 있는 실정
- 시설물 안전점검의 경우 기존교량에 대한 안전점검시 교량지점부에 대한 조사가 미흡한 실정이며, 고속 WIM(Weight-In-Motion)기법은 주로 중차량 단속 목적으로만 활용되고 있어 교량의 정량적인 하중 상태를 평가하기 위한 목적의 연구는 이루어지지 않고 있음
- 따라서 차량하중에 의한 부반력이 발생하기 쉬운 곡선교와 같은 교량의 정량적인 하중 상태를 평가하기 위해서는 광섬유센서 기반의 고정밀 extensometer WIN센서를 연구개발 하여, 교량의 입력하중을 측정하고 정확한 하중-응답 관계를 통해 노후교량의 상태평가를 실시하는 연구체계 마련 필요

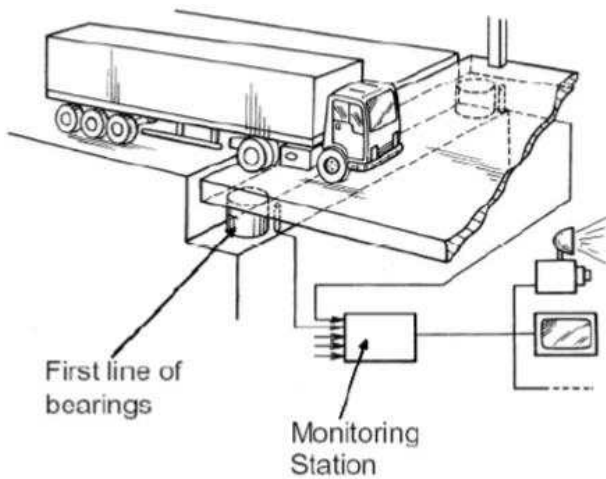


그림 4-20. Weight-In-Motion System(WIMS), OSMOS사(미국)

☞ 국내에 구축된 대부분의 교량 계측시스템은 응답 물리량만 측정하기 때문에, 하중에 대한 측정 없이는 정량적인 교량상태를 파악 할 수 없음. 따라서 광섬유센서 기반 고정밀 입력하중기법을 개발하여 T/B교량에 적용함으로써, 하중-응답 연계 데이터를 활용한 Data기반의 노후교량 성능평가 필요

- 중차량으로 인한 교량 손상을 미연에 방지하기 위해 단속목적으로만 활용되고 있던, WIN기법을 광섬유센서를 활용한 정밀도를 높이고 연구단의 T/B교량에 적용하여 하중-응답 시스템 기반의 교량 성능평가체계를 마련

□ 연구개발 주요 내용

- Extensometer기반 WIM 센서의 스펙 결정 및 설계
 - 기존 교량용 WIM 시스템 조사 및 동향분석
 - 하중-응답 관계 분석을 통한 WIM 센서 및 측정시스템의 성능 결정 및 설계
- 고정밀 광섬유 extensometer 기반 WIM 센서 개발, 실내외 검증실험 및 시스템 보완
 - * 장기계측시스템과 연계를 통하여 교량의 정량적인 상태평가 가능할 수 있도록 구현
- 교량 장기계측모니터링 시스템과의 연계기술 개발 및 T/B 적용을 통한 검증
 - 기존 장기계측 모니터링 시스템과의 연계기술을 개발하여 T/B교량 적용, 검증 및 실용화 패키지 개발
 - 노후교량 장기계측데이터로 활용할 수 있도록 연구단의 T/B교량에 적용

(8) (1-7)노후교량 보강수준 센싱용 보강재 개발

□ 연구개발 필요성 및 차별성

- 국내의 경우 외부긴장공법에 대한 긴장력 저하 추정 연구는 활발히 진행되고 있으나, 시트형 보강재의 경우 보강효과 검증 기술에 대한 연구는 전무한 실정
 - 시트형 보강재의 경우, 보강 효과에 대해서 정량적 파악이 불가능하고 보강 상태 평가 시 점검자가 근접 타격을 통해 단순 확인하는 수준으로 보강 위치에 대한 전수조사가 어렵다는 문제점이 있음
- * (국외) 국내와 마찬가지로 외부긴장공법에 의한 긴장력 저하 추정 연구에 대해서는 활발히 진행되고 있으나, 시트형 보강재에 대한 보강 효과 검증을 위한 연구는 전무한 상태임

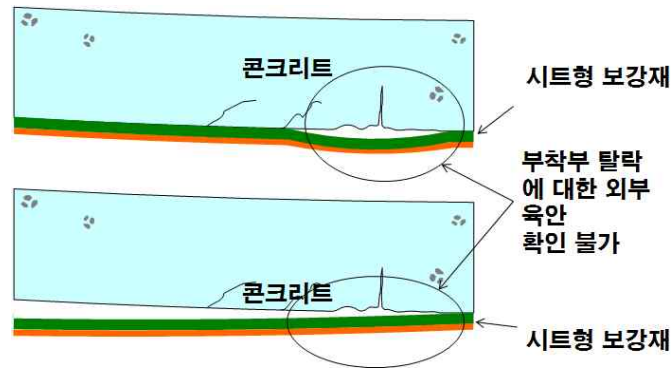


그림 4-21. 시트형 보강재의 한계

- 보강재의 보강상태를 정확히 확인하기 위해서는 보강재에 사전에 센서를 매설하고, 매설된 센서를 활용하여 보강재의 부착 수준을 판정함으로써 전체적인 보강 상태를 정량적으로 판단 할 수 기술개발이 필요
 - 현재는 보강효과 분석을 위해 차량재하실험을 통하여 내하수준 증가 여부를 판정하는 방향으로 주로 수행되고 있으나, 보강 이후 보강재의 보강 성능 수준 평가에 대한 프로세스가 없어 초기 보강 효과 검증 이후에 지속적인 보강효과를 확인할 수 있는 시스템 개발이 필요한 실정임

☞ 보강재의 보강상태를 정확히 확인하고 보강 이후에도 장시간 지속적으로 보강효과를 모니터링하기 위해서는 센서가 내장된 보강재 개발을 통해, 정량적인 보강성능 평가와 노후교량 모니터링시스템에 연계활용 필요

- 센서 내장형 보강재를 T/B교량에 적용하여 노후교량에 대한 적용성을 검증함으로써, 향후 대상 구조물 유지관리 방향에 대한 의사결정시 참고자료로 활용 가능

□ 연구개발 주요 내용

- 센싱 도입 개념 정립
 - 보강재 내장 가능 최적 센서 유형 선정 및 개선
 - 보강재 내 센서 배치 최적화(안) 제시
 - 센싱 결과 기반 보강 효과 분석 프로세스 개념 정립
- 센서 활용 방법론 제시
 - 센터 내장형 보강재의 보강 효과-센싱 데이터 상관성 분석
 - 보강재 내장 센서 기반의 보강 효과 산정 알고리즘 개발
 - 센서 내장형 보강재 시제품 제작 및 성능검증 실험 실시
- 센서 내장형 보강재 개발
 - 센서 내장형 보강재 시제품 개선
 - 보강재 내장 센서 내구성 검증 실험 실시
 - 보강재 내장 센서용 DAQ 장치 시스템 설계
 - * 적용 대상교량 유형 : 노후화된 콘크리트 교량 바닥판 또는 거더
- 보강 수준 모니터링용 보강재 패키지 구현
 - 보강효과 산정 알고리즘 프로그래밍화 구현
 - 테스트 베드 적용* 및 활용·분석
 - * 실증실험 범위 및 규모 : 노후교량 보강 적용 및 효과 검증, T/B교량에 장기계측모니터링 시스템 적용
 - 알고리즘 & DAQ시스템 보완 및 실용화 패키지 개발
 - 설계서, 시공절차서, 유지관리매뉴얼 개발

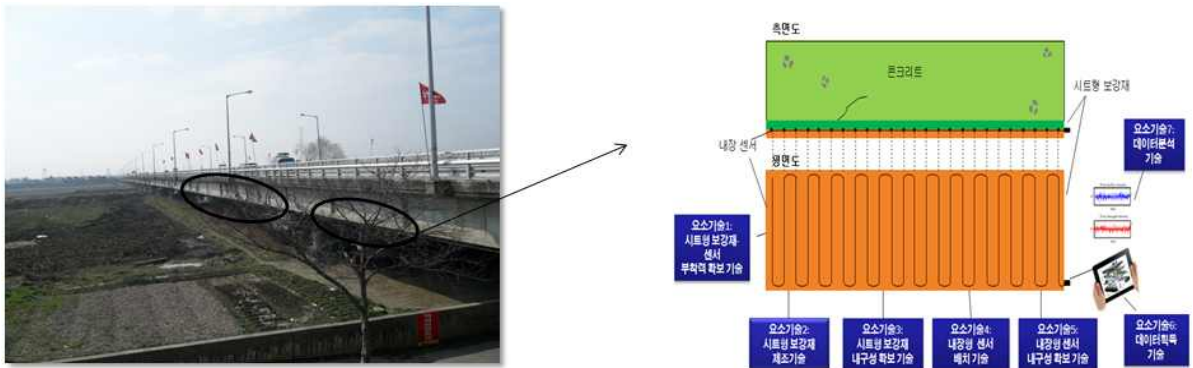


그림 4-22. 센터 내장형 보강재 구현을 위한 요소기술 내역

(9) (1-8)노후교량 장기계측데이터 확보 및 실증DB 제공

□ 연구개발 필요성 및 차별성

- 국내 교량의 계측시스템은 공학적인 정보를 수집 및 분석하여 공용중인 교량의 적절한 유지관리를 목적으로 운영이 되어야 하나 유지관리에 필요한 목적보다는 시공결과의 확인에 집중되고 있음
 - 또한, 대부분의 장기계측시스템이 해상 장대교량(사장교, 현수교)연구에 집중되어 있고 중소 노후교량에 대한 계측·모니터링시스템이 전무하여 노후교량 장수명화 연구에 필요한 장기데이터 확보 및 활용이 어려움
 - * (국내) 1995년 신항주대교에 구축된 계측시스템이 국내기술로 구축된 최초의 계측시스템이며, 1996년 남해대교, 진도대교, 돌산대교 등 국도상 특수교에 계측시스템이 구축되었고, 이후 서해대교, 영종대교, 인천대교 등 다수의 특수교에 계측시스템이 구축되어 운영중
 - 교량별 시스템별 계획, 설계, 시공 등이 분리되어 통합·관리시스템으로의 활용도는 미비한 상태이며, 최근 아치교, Extradosed교 등의 장대교량에도 계측시스템이 지속적으로 구축되고 있으나 과거에 시공된 중소 노후교량에 대한 장기계측시스템 부재로 노후교량의 모니터링 기반 유지관리 체계가 미흡한 실정임
 - * (캐나다) 'Civil Infrastructure System Technology Roadmap'을 수립하여 교량장수명화 성능평가기술과 지능형 모니터링 기술개발 등을 통해 교량 노후화에 대처하고 안전 및 유지관리 업무의 효율성 극대화 방안 모색
 - 또한, ISIS Canada에서는 교각의 내진보강을 실시한 Portage Creek Bridge를 대상으로 내진보강 후의 성능 평가와 검증을 위하여 계측시스템을 구축하여 실시간 계측자료를 모니터링 할 수 있도록 정보를 공개
 - * (EU) 유럽 각국 차원 긴급관리체계 통일화뿐만 아니라, EU 차원에서 국가간 제휴와 IT를 활용해 방재대책 근대화 실현방안 모색
 - EU 정보사회 프로젝트(INSPIRE, Infrastructure for Spatial Information) : 공간, 지리정보, 상호정보체계 확보를 위한 인프라 구축
 - * (영국) 2009년 5월 NMO는 전략보고서 “국가 계측 시스템(NMS) 전략 ”2010~2014”을 발표해, 표준·계측 분야의 경쟁력·우위성 향상을 향한 정부의 투자전략을 제시
 - * (독일) 연방교육연구부(BMBF)을 중심으로 추진하는 ‘첨단기술전략’을 수립 및 계측분석기술(핵심 기술) 추진
 - 센싱, 계측모니터링 기술을 체계화하고 계측 Data기반 성능평가 및 잔존수명 예측기술 개발을 위해서는 다양한 형식의 노후교량을 대상으로 장기계측데이터 확보가 필요
 - 노후교량의 실시간 상태감시, 이상신호 감지 및 획득한 물리적 정보로부터 Data기반의 평가기법 및 예측기술 개발이 가능하도록 센서 배치 및 시스템에 대한 표준화가 중요
 - 또한 T/B교량의 실증 데이터(장기계측, 보수보강, 성능평가 등)를 체계적으로 DB화하여 관련 연구자들이 기술개발에 활용할 수 있도록 실증기반 데이터 공유활용 체계 마련 필요
 - 특히, 보수보강 공법별 정량적인 성능을 체계적으로 DB화함으로써, 교량 유지관리 주체(정부 등 의사결정권자)가 적정 보수보강 공법을 선정할 수 있는 자료 제공이 가능하여 안전성 및 예산 집행의 효율성 확보가 가능

- ☞ 실제 노후교량을 대상으로 장기계측모니터링 시스템을 구축하여 노후교량의 실시간 상태감시, 이상신호 감지와 같은 센싱 및 계측모니터링 기술을 체계화하고, 계측 Data 기반의 기술개발에 활용
- ☞ 또한, 보수보강 및 성능평가 T/B 실증 DB를 구축하여 관련분야 연구자들이 활용할 수 있는 공유활용 체계 마련 필요
 - 기존 FMS/BMS 시스템 연계 및 최적 보수보강 의사결정 시스템과의 연계를 위한 실증 DB 확보

□ 연구개발 주요 내용

- 노후교량에 적합한 장기계측시스템 설계 및 활용계획 수립
 - 교량 장기모니터링 시스템 및 장기계측데이터 DB현황/활용사례 조사 및 분석
 - 노후교량에 적합한 최적 계측시스템(센서위치, 측정물리량 등) 설계 및 활용계획 수립
- 노후 T/B교량을 활용한 장기계측시스템 설치 및 운영
 - * 장기계측데이터는 교량 형식 및 노후도에 따라 계측Data기반의 기술개발에 활용이 가능하여야 함
 - * 장기계측시스템은 교량의 입력하중과 출력 응답 및 환경적 조건을 함께 모니터링 하여야 함
 - * 노후교량의 보수보강 효과를 실시간으로 모니터링이 가능한 최적의 장기계측시스템 구축하여, 기존 교량유지 관리 체계를 보완하고 Data기반 성능평가 기초자료로 활용할 수 있는 체계를 마련
- 장기계측/보수보강/성능평가 등 실증 DB를 공유활용할 수 있는 시스템 구축
 - 실증 DB체계 설계, 시스템 구축 및 서비스
 - 실증 DB 활용방안(지침, 매뉴얼) 작성
 - * 실증 DB는 최적 보수보강 의사결정시스템과 연계하고, 교량 관리주체 및 다양한 연구자들이 활용할 수 있도록 서비스되어야 함



그림 4-23. 노후교량 장기계측데이터 확보 및 실증DATA 공유활용 시스템 구축 방향

표 4-8. T/B·철거교량 활용 장기모니터링시스템 구축 및 실증DB 활용 범위

구분	내용
<ul style="list-style-type: none"> 노후교량 장기모니터링 구축 	<ul style="list-style-type: none"> 대상교량 : 중소 규모의 노후 콘크리트교량(형식, 노후도별) 선정 장기계측 모니터링 데이터 및 요소기술 실증DB 통합스토리지 및 운영시스템 구축 <ul style="list-style-type: none"> ※ 일부 교량은 철거예정교량에 적용하여 성능평가와 비교 검증 - 노후교량 대상 계측모니터링 기술 T/B로 적용 - Data기반 요소기술 개발을 위한 실증DB 확보
<ul style="list-style-type: none"> 요소기술 실증DB 확보, 데이터 활용 	<ul style="list-style-type: none"> - 신뢰도기반&모델업데이팅을 통한 내하력평가기술 개발에 활용 (상시대이터 제공) - 이상신호 감지기술 개발 활용 - 장기성능 예측모델 개발 활용 - 장기계측 Data기반 잔존수명 예측기술 개발 활용 - 관련분야 연구자를 위한 실증데이터 제공

(10) (1-9)계측데이터 기반 교량 노후도 등급화 및 정량화 기술 개발

□ 연구개발 필요성 및 차별성

- 국내 교량 계측 시스템의 취득된 계측정보는 관리기준 상회 여부만 관찰하고 있는 실정이며, 일부의 전문 엔지니어들이 데이터를 분석하여 각 교량별 구조 건전도를 평가하고 있음
 - * (국내) 관리기준치는 안전성 위주로 보수적으로 설정되어 있거나 과거의 공용 환경하에서의 기준을 준용
 - * (미국) 교량의 상태 파악을 주로 외관검사에 의존하고 있어 외관상 보이지 않는 손상 파악이 어려우므로 도면 및 보수보강, 유지관리 자료를 비롯한 비파괴검사 플랫폼(RABIT)을 개발하여 주기적인 정밀점검을 통해 장기 교량거동 프로그램(LTBP, Long-Term Bridge Performance Program)을 추진하여 교량의 성능 및 잔존 수명을 예측하려 하고 있음



그림 4-24. 국내 특수교 통합관리 시스템(좌: 지진관제 이력, 우: 처짐 관제 화면) >

- 복잡한 재하시험과 구조해석 등의 작업 없이 교량의 상시 응답신호를 계측하여 신호처리와 통계 및 확률 해석 기반으로 교량의 노후화 진행에 따른 고유 특성 변화를 정량화하여 등급화할 필요가 있음

* 30년 이상 고령화된 시설물은 지속적으로 증가할 것으로 예측되고 있으나 1, 2종의 안전점검 고려 대상 교량은 전체의 약 27%로, 그 외의 교량은 안전 사각지대로 사고 발생의 불안감 증가

☞ 계측데이터를 기반으로 즉시 교량별 고유 특성을 자동으로 추출하여 교량 노후도 등급을 결정함으로써, 전문 엔지니어의 업무 부담을 경감하고 장기적으로 교량의 기대 수명 결정시 참고자료로 활용 가능

- 교량의 노후도 정량화 기술개발과 실증 T/B교량 적용을 통해, 계측데이터 기반의 노후도 등급을 평가

□ 연구개발 주요 내용

- 교량의 노후도 개념 정립
 - 노후교량 계측 데이터 유형 분석, 교량 신호 패턴 분석 및 통계 확률 해석
 - 노후도 등급화 및 정량화 개념 정립
- 교량 노후도 등급/정량화 기술 개발
 - 노후도 등급화 및 정량화 알고리즘 설계
 - 노후도 등급화 및 정량화 알고리즘 프로그램 모듈 개발
 - 시뮬레이션 해석 모델 및 모형실험 기반 알고리즘 신뢰도 검증
 - 노후도 등급화 및 정량화 소프트웨어 제작
- T/B교량 정량화 기술 시범설치 및 실용화
 - 테스트베드 구축 방안 수립, 테스트베드 적용 및 활용·분석
 - * 실증실험 범위 및 규모: 형식별 5개소 교량을 1년 이상 장기 모니터링 실시
 - 노후도 등급화 및 정량화 알고리즘 보완 및 소프트웨어 최적화
 - 실용화 패키지 개발*(Server-Client형, Standalone형 등)
 - 설계서, 시공절차서, 유지관리매뉴얼 개발

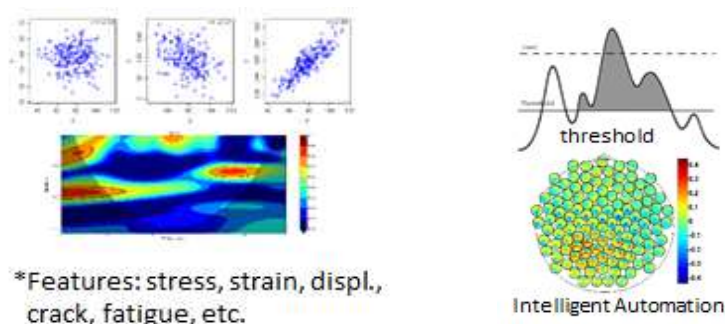


그림 4-25.교량 신호 분석 요소기술 (좌: 패턴 분석, 우: 통계/확률 해석)

(11) (1-10)노후교량 최적 보수보강 선정을 위한 의사결정 시스템 개발

□ 연구개발 필요성 및 차별성

- 국내 유지관리체계는 시트법에 따른 안전점검·안전진단 등 관리 중심의 수동적인 유지관리 형태으로써, 노후교량 수명연장을 위한 목표성능 기반의 적극적 보수보강이 미흡
 - 현재 교량을 포함한 시설물관리시스템인 FMS 및 BMS는 기본적인 관리정보 위주로 구축되어 있으며 성능기반 유지관리를 위한 보수보강 전후 성능 정보 및 예측수명과 같은 정보가 부재
 - * FMS, BMS시스템의 주요 속성정보 : 시설물의 기본 및 상세제원, 시설물의 정밀점검 등 정밀안전진단 시행 여부 관리, 유지관리업무에 필요한 속성정보 포함
- 국내 안전진단 업체가 매우 열악하고 기술력 또한 낮은 상태임에도, 교량 관리주체는 안전진단 보고서에서 제시한 보수보강 방법에 따라 시행하고 있는 실정
 - 대부분의 보수보강기술이 개발한 기관·업체에서 제시한 성능을 제대로 된 검증 없이 그대로 수용하고 있고 설계·시공 역시 그대로 적용하고 있어 시공 이후 성능 미달 및 재시공 사례가 빈번
 - 또한, 대부분이 보수보강 이후 목표 성능과 연장 공용수명에 대한 제시 없이 땀질식으로 이루어지고 있어, 정부 예산의 효율적 투자와 안전성 확보를 위해서는 교량 형식 및 부재별 노후도에 따라 검증된 공법이 적용될 수 있도록 체계화할 필요가 있음
- 따라서 교량 관리주체 및 의사결정자가 최적의 보수보강 공법을 선정할 수 있도록 보수보강 실증DB를 연계한 최적 보수보강 의사결정 시스템 개발이 시급

☞ 예방적 관리차원의 교량유지관리 개념에서 수명연장을 위한 노후교량별 노후도와 검증된 보수보강공법을 반영한 최적 보수보강 의사결정시스템 마련 필요

- 노후교량을 활용한 보수보강기술별 실증DB를 제공함으로써 국가적 차원에서 적시 보수보강 의사결정과 정책 자료로 활용이 가능하여 지속적이고, 체계적인 장수명화 노후교량 유지관리체계 실현 가능

□ 연구개발 주요 내용

- 노후교량의 보수보강 의사결정 알고리즘 개발 및 시스템 설계
 - 노후교량 성능향상 목표에 대한 보수보강 및 유지관리, 비용을 고려한 모델개발
 - 보수보강 기술·공법에 대한 실증DB와 연동
 - ※ “기존 BMS 데이터 연계 활용 방안 수립 및 노후교량 유지관리 제도 개선” 및 “생애주기(LC)기반 노후교량

장수명화 유지관리 방안” 등과 연계 추진

○ 최적 보수보강 의사결정 시스템 구축

- * 노후교량 장수명화를 위한 교량 유지관리 및 조치에 대한 정확한 이력기반의 데이터 확보 및 자료 분석을 통한 노후교량 보수보강에 대한 의사결정시스템 개발
- * 과거 교량 이력관리의 개념에서 장수명화 보수보강공법을 반영한 의사결정 체계 마련

○ 실증을 통한 보완 및 실용화 패키지 개발

- 의사결정권자(정부 및 교량 관리주체 등)가 쉽게 보수보강 방법을 선정하여 시행할 수 있도록 패키지 개발
- 사용자 매뉴얼 및 예제집 작성

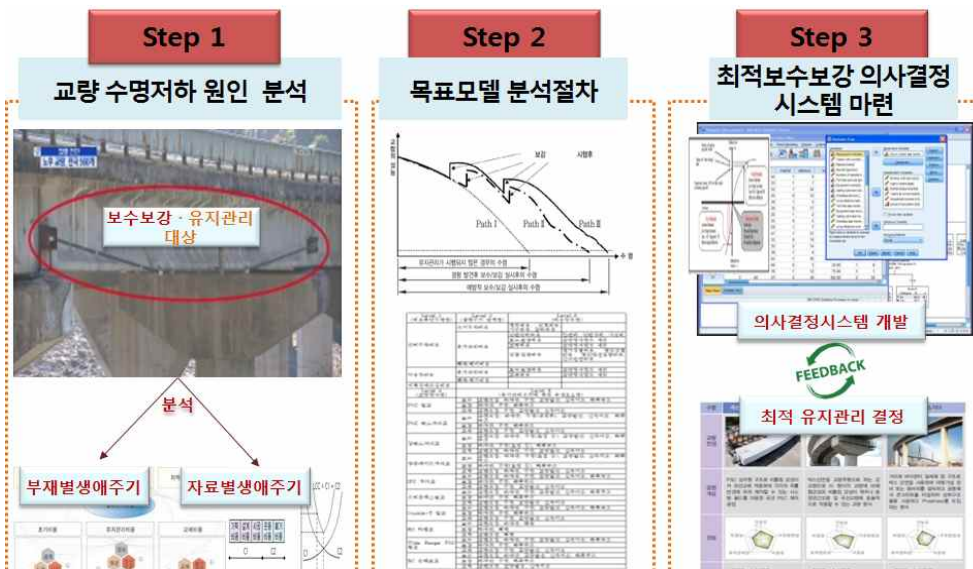


그림 4-26. 노후교량 최적 보수보강 선정을 위한 의사결정 시스템 개발 방향

4.3.2 [2세부]중소 노후교량 종합성능평가 실증 및 개선방안 제시

(1) 연구개발 목표 및 내용

구분	연구개발 목표	주요 연구내용	연차별 계획				
			1년	2년	3년	4년	5년
2-1	다중데이터(Multi-data) 분석을 통한 성능평가기술 개발	<ul style="list-style-type: none"> ○ 국내외 Multi-data를 활용한 진단 기법 조사·분석 ○ 관련 기술·연구 동향 파악 ○ 신뢰도기반의 교량 내하력 평가 기술과의 연계 방안 마련 ○ data별 특성분석을 통한 Multi-data 관계 정립(상호연관성 분석) ○ Multi-data간 연계성을 적용한 모듈화 진단 및 평가 연동 프로세스 MAP 개발 <ul style="list-style-type: none"> - Multi-data별 구조적 특성 추출 및 이를 이용한 데이터간 관계분석 - Multi-data간 관계 정립을 통해 계속data 기반 교량 취약부 분석 - 모듈화된 교량 진단 알고리즘 개발 및 수치예제시물레이션을 통한 검증 - 모듈화 진단 알고리즘의 관계도 연계 성능평가 연동 프로세스 MAP 개발 					
2-2	신뢰도기반의 교량 내하력 평가기술 실증·개선 및 평가매뉴얼 개발	<ul style="list-style-type: none"> ○ 국내외 신뢰도기반 내하력 평가기술 조사 및 분석 ○ 해석모델 업데이트 알고리즘 정립 및 통계특성 업데이트 기법 개발 ○ 통계특성 업데이트 기법을 적용한 신뢰도기반 내하력평가 프로세스 개선 ○ 신뢰도기반 교량 내하력 평가 지침(초안) 작성 ○ 현장실험을 통한 콘크리트교량의 형식별 신뢰도기반 내하력 평가 프로세스 검증 및 보완 ○ 매뉴얼-예제집 작성(콘크리트교: RC Slab, RC/PSC Beam, PSC Box Girder) ○ 현장실험을 통한 강교 및 강합성교량의 형식별 신뢰도기반 내하력 평가 프로세스 검증 및 보완 ○ 매뉴얼-예제집 작성(강교 및 강합성교: Steel Plate Girder, Steel Box Girder) ○ 국외 기준들과의 비교-분석을 통한 지침의 타당성 검증 ○ 지침 개선 및 매뉴얼-예제집 보완 					
2-3	노후 콘크리트교량 종합성능평가 실증 및 개선방안 도출	<ul style="list-style-type: none"> ○ 기존 또는 개발중인 교량 종합성능평가 프로세스 활용을 통해 실제 적용·연계 방안 마련 ○ 종합성능평가 대상 실증 T/B 교량 및 적용 기법 선정 ○ 중소 안전진단 업체를 대상으로 성능평가 개발 기술 시범적용 실시 					
2-4	보수보강 및 종합성능평가 실증 DB의 BMS 연계체계 마련	<ul style="list-style-type: none"> ○ 국내외 교량 유지관리 사례 조사 및 분석(국내 BMS 운영 현황 분석) ○ 노후교량 유지관리 제도 개선(안) 마련 ○ BMS 데이터 연계 활용 방안 수립(정보활용 및 정보제공 방안) 					
2-5	중소 노후교량 유지관리 개선방안 수립	<ul style="list-style-type: none"> ○ 기존 교량 유지관리 기준, 지침, 매뉴얼 조사 및 분석 ○ 기존 교량 생애주기비용 알고리즘 분석 및 유지관리 예산 투입 사례 분석 ○ 노후교량 유지관리 개념 정립 및 중장기적 정책 제안 방안 마련 ○ 노후교량 보수보강/성능평가를 고려한 최적 유지관리체계 구축 전략 ○ 노후교량 보수보강/성능평가를 고려한 생애주기비용 산정 개선 ○ 노후교량 장수명화를 위한 중·장기 계획 수립 및 정책 제안 ○ 생애주기(LC)기반 노후교량 장수명화 유지관리 매뉴얼 개발 					

(2) (2-1)다중데이터(Multi-data) 분석을 통한 성능평가기술 개발

□ 연구개발 필요성 및 차별성

- 교량이 복잡화 대형화되고 계측 및 모니터링 분야에서 다양한 센서들이 개발·적용되면서 데이터의 종류와 양이 크게 증가하고 있으나, 현재까지의 분석기술들은 이를 효율적으로 사용하고 있지 못하여 평가기술의 기대 수준에 미치지 못하는 실정
- 상태평가·안전진단, 장기모니터링, 구조해석 등 각각의 유형별 데이터들은 단일 용도에 따라서는 사용되고 있지만, 이들 데이터 유형 간 상호연관성을 분석하여 교량 성능평가 활용도를 높일 수 있는 연구는 미흡
 - * (국내) 현재 시행되는 교량의 평가는 상태평가, 성능평가, 건전성평가로 구분하여 각각의 데이터를 분석하여 수행하였으며, 데이터간 관계 분석을 바탕으로 교량의 평가 분야를 통합한 평가 프로세스 연구는 전무
- 미국은 국가 교량 인벤토리(NBI: National Bridge Inventory)의 데이터와 구조해석결과 간의 상호관계를 정립하고, 빅데이터 분석 기법의 적용을 통해 교량의 열화현상에 대한 구조적 원인을 확인하는 연구를 진행 중
- 이는 상태평가데이터와 구조해석 결과데이터간의 관계정립을 통한 빅데이터기반 성능평가기술 개발연구로 파악되며, 성능평가, 건전성평가, 상태평가를 모두 연계한 성능평가 기술 개발연구는 아직 진행되고 있지 못한 것으로 파악
 - * (미국) “Multi-Scale Condition and Structural Analysis of Steel Bridge Infrastructure(2016.02~2017.01)”를 통해, 현재 각 데이터간 관계 분석에 기반한 성능평가기술 개발 연구를 진행 중이나, 데이터 유형별 활용도 및 분석기술 수준은 높은 반면 유형 간 상호연관성을 확인하여 평가에 종합적으로 활용하는 기술개발은 부족

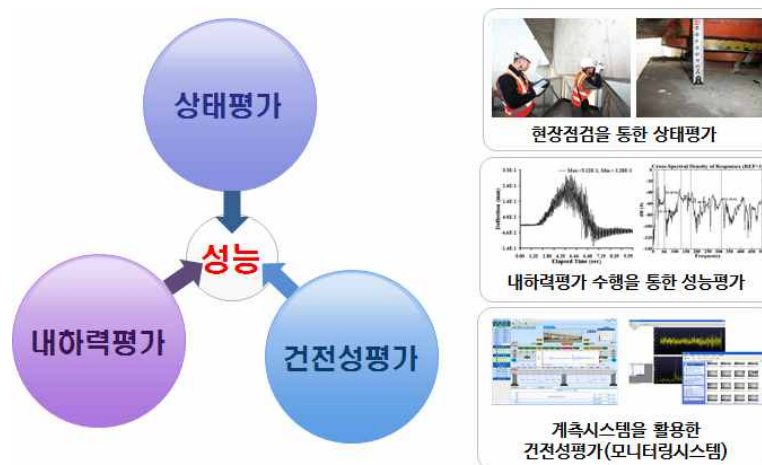


그림 4-27. 현재 교량 센서 데이터 분석 체계

- 현재까지 수행되는 교량의 평가 체계는 상태·성능평가(내하력평가)·건전성평가와 같이 유형별로 데이터 분석이 이루어지고 있는 체계이지만, 기존과 달리 각 유형별 데이터간 관계분석(Multi-data)*을 통해 교량의 성능을 진단하는 기술 개발이 필요

* 다중데이터(Multi-data) 정의 : 교량의 종합적인 성능평가를 위해 수집되는 모든 형태의 데이터들로 정의

- Multi-data 분석을 통한 성능평가 프로세스는 다양한 평가유형별 데이터간 관계를 바탕으로 교량의 성능을 평가하는 과정에서 복잡하고 다양한 특성의 계측데이터는 물론, 시간에 따라 축적되는 D/B 및 평가를 통해 파생되는 데이터 등 여러 종류의 데이터가 발생되므로, Big-data 해석 및 관계분석 모듈화 개념 도입이 필요
- 교량의 평가 및 유지관리는 사용성을 극대화하고 수명연장을 목적으로 수행하는 것이므로, 이를 위해서는 보다 정확한 진단기술의 개발이 요구됨
- 현재 국내 유지관리 분야의 기술수준은 선진국 대비 75% 수준으로 상대적으로 취약하며, 유지관리 분야 질적 성장을 위한 고도기술 개발 및 체계 정립이 필요한 시점
- 따라서 기존에 평가 유형별로 수행되었던 평가체계를 데이터간 관계분석 정립을 통해 하나의 모듈화된 진단 알고리즘을 구성하고, 이들을 연동시켜 평가할 수 있는 평가 연동 프로세스 MAP을 개발·검증하여 새로운 평가체계 정립이 필요

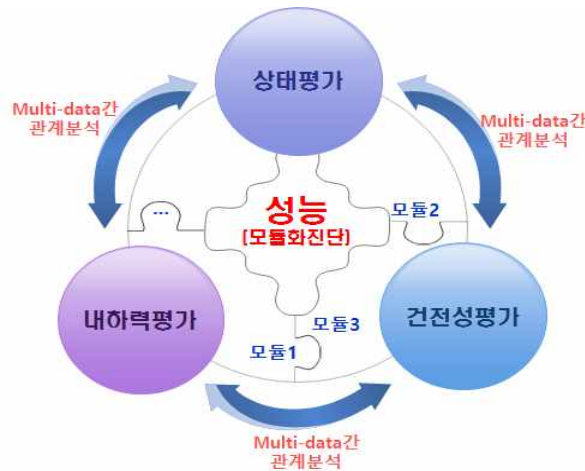


그림 4-28. Multi-data를 활용한 성능평가기술의 차별성

☞ 교량 부재·형식·유형별 데이터간 관계분석(Multi-data)을 통해 교량의 성능을 종합적으로 평가할 수 있는 기술 개발 필요

- 다양한 데이터간 관계분석 정립을 통해 하나의 모듈화된 진단 알고리즘을 구성하고, 평가 연동 프로세스 MAP 개발을 통해 새로운 평가체계 정립 필요

□ 연구개발 주요 내용

- 국내외 Multi-data를 활용한 진단 기법 조사·분석
 - * Multi-data(다중데이터) : 성능평가를 위해 교량에서 직접 수집되거나 해석 등을 통해 발생하는 모든 데이터
- 다양한 진단·평가방법 조사 및 각 방법별 발생하는 데이터 형태 분석
 - * 상태·성능·건전성평가 방법별 데이터 유형 분석
 - * 기존의 데이터 분석법인 통계적 접근법, Data mining, Machine learning 등 다양한 기법들 검토

- 국내외 관련 연구 동향 파악
 - * (미국) “Multi-Scale Condition and Structural Analysis of Steel Bridge Infrastructure(2016.02~2017.01)” 파악
- Multi-data별 특성분석을 통한 관계정립
- Multi-data간 연계성을 적용한 모듈화 진단 및 평가 연동 프로세스 MAP 개발
 - Multi-data별 구조적 특성 추출 및 이를 이용한 데이터간 관계분석
 - Multi-data간 관계 정립을 통해 계측data 기반 교량 취약부 분석
 - 모듈화된 교량 진단 알고리즘 개발 및 수치예제시물레이션을 통한 검증
 - 모듈화 진단 알고리즘간 관계도 파악 및 분석(성능평가 연동 프로세스 MAP 개발)
- 시물레이션 및 Multi-data 적용기반의 모듈화 진단 및 평가 연동 프로세스 검증
 - 수치예제모델 시물레이션을 통해 모듈화 진단 및 평가 연동 프로세스 검증
 - 실제 계측데이터 기반의 Multi-data를 적용한 모듈화 진단 및 평가 연동 프로세스 검증
 - 모듈화 진단 및 평가 연동 프로세스 MAP 보완
- 다중데이터(Multi-data) 활용 내하성능평가 개발기술의 실증 테스트베드 적용 및 종합 성능평가를 위한 실증연구 추진
 - 모듈화 진단 및 평가 통합 프로세스 적용 및 검증
 - 시물레이션 및 Multi-data 적용기반의 모듈화 진단 및 평가 연동 프로세스 검증
 - 상태평가, 안전성평가 등 종합성능평가 프로세스
 - T/B교량 또는 공용중 교량의 계측데이터를 활용한 검증 수행

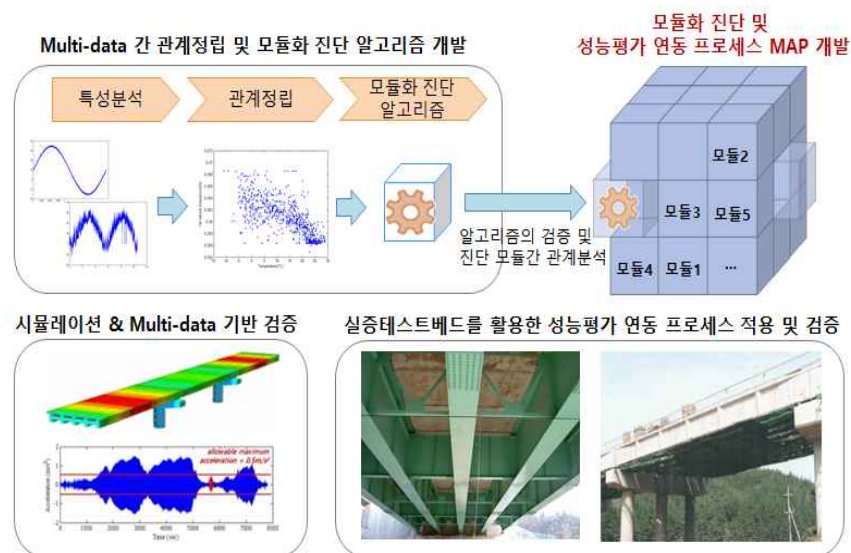


그림 4-29. Multi-data를 활용한 성능평가기술 프로세스

(3) (2-2)신뢰도기반의 교량 내하력 평가기술 실증·개선 및 평가매뉴얼 개발

□ 연구개발 필요성 및 차별성

- 국내의 경우 2012년 도로교설계기준이 한계상태설계법을 고려하여 개정되면서 이를 반영한 안전성평가기법의 개선에 대한 필요성을 인식하여 “안전성 평가 기술 및 지침서”가 개발된 바 있으나, 다양한 교량 형식에 대한 실증실험 등 검증 미흡으로 활용도가 매우 낮은 실정
 - (기존) 중부내륙고속도로 시험도로 구간에 있는 2개 교량*을 대상으로 현장실험을 수행하여 신뢰도기반 안전성평가 지침을 작성
 - * 현장검증 교량은 금당교(단경간 PSC빔교), 연대교(4경간연속 강박스거더교)로서, 모두 노후도가 양호한 교량에만 적용됨
 - 기존 신뢰도기반 안전성평가 지침(2012)은 실용화를 목적으로 개발되었으나, 국내 다양한 형식의 교량에 대한 적용성 검증 부족과 중소 안전진단 업체의 해석·분석 능력 부족으로 활용도가 매우 낮은 실정
- 현재 개정된 교량 정밀안전진단세부지침에는 기존 안전성평가 지침(2012)의 세부내용은 반영되지 못하고 큰 틀에서만 검토되어 신뢰도기반 평가기법의 사용가능성만이 제시된 상태로서, 다양한 실검증을 통한 개선으로 실용성 있는 기준개발이 필요
 - 현재 개정되는 교량 정밀안전진단세부지침에 일부 내용이 큰 틀에서는 반영되어 있으나, 아직 안전계수를 포함한 세부절차와 방법 등에 대한 상세내용이 부족하여 다양한 실증을 통한 개선이 요구됨
 - 현행 결정론적 내하력평가법은 안전성을 보수적으로 평가하여 내하력을 실제보다 다소 과소평가하고 있기 때문에 교량의 안전성평가에 대한 당위성과 신뢰성이 많이 부족
 - * 현 도로교설계기준에서 강교량은 기존의 허용응력설계법이 AASHTO LRFD로 개정되면서 부재계수가 새롭게 정의되었으며, 콘크리트교량은 기존의 부재계수 대신 Eurocode에 따른 재료계수를 사용하는 설계법으로 개정
 - 이에 따라 교량의 안전성평가지 이를 반영한 지침을 준용할 필요가 있으나 현재까지는 교량정밀안전진단지침에 의한 결정론적 교량 안전성평가기법을 적용하고 있는 실정
- 선진국의 교량 안전성평가기법은 실구조물의 하중 및 저항에 대한 통계치를 활용하여 신뢰도기반의 평가기법을 개발하여 표준화하고 있는 추세임
 - * (미국) AASHTO LRFR(2003, 2011)을 반영한 부분안전계수법 적용
 - * (캐나다) 목표신뢰도지수 수준에 따라 다양한 하중계수를 선택 적용하도록 일반화시킨 기준을 제시하고 있으며, 이에 대한 간편법으로 부분안전계수법을 적용하고 있음
 - * (벨기에) 완전확률론적 방법을 지침으로 제시
- 완전확률론적 방법은 아주 숙련된 엔지니어가 아니면 적용할 수 없어 현실적으로 반영이 불가능하며, 캐나다에서 제시하고 있는 부분확률론적 방법도 궁극적으로는 미국이나 유럽 일부 국가에서 제시하고 있는 부분안전계수법의 일반화된 방법론에 지나지 않음

- 신뢰도기반 안전성평가 기법의 보안을 위해서는 계측데이터 및 불확실성 감소를 반영한 통계특성 업데이트 기법의 적용과 함께 해석모델 업데이트 알고리즘 연계를 통한 평가 프로세스의 개선 및 보완 필요

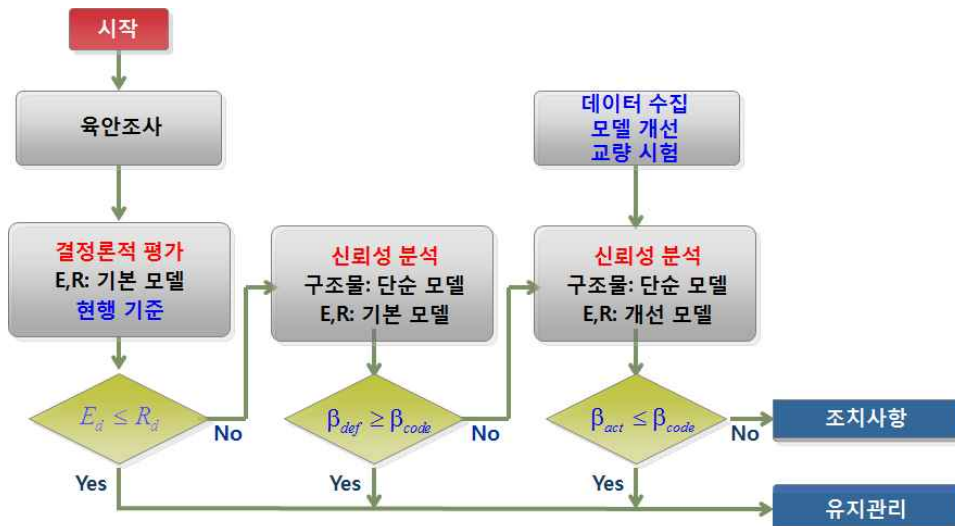


그림 4-30. 신뢰도기반 안전성 평가 기법



그림 4-31. 신뢰도기반 내하력 평가 기법의 개선 방향

- 국내 교량의 실정을 반영한 기법 개선과 다양한 현장실험 검증을 통해 신뢰도기반 내하력 평가기법의 정착화를 목적으로, 기 개발된 신뢰도기반 안전성 평가 지침(안, 2012)을 보완하여 개선
 - 설계와 평가 사이의 불확실성을 낮추고 현재 공용중인 국내 교량의 실정을 가장 잘 반영할 수 있도록 하는 신뢰도기반 내하력 평가 프로세스 개선
 - * 기존의 평가지침(2012)은 현 도로교설계기준에서 사용되는 하중영향과 저항성능 산정공식에 하중평가계수와 저항평가계수를 고려하도록 적용됨
 - * 설계보다 평가에서 감소되는 불확실성을 저항성능이 아닌 하중영향에서만 고려하여, 평가를 위한 하중계수를 통계분석을 통해 산정하고 여기에 추가로 하중평가계수를 고려

- 따라서, 신뢰도기반 교량 안전성평가의 불확실성 감소를 위해 하중, 재료, 저항강도 등에 대한 자료를 획득·분석하여 통계치를 구하는 과정이 필요하며, 보다 정확하고 많은 통계치 확보를 위한 통계특성 기법의 개발이 필요
- * 상시진동실험 등의 동적 계측데이터를 활용한 해석모델 업데이트는 교량의 현재 실정을 가장 잘 반영하도록 수치해석모델을 개선시켜 구조적 성능을 판단할 수 있고, 현장실험이 불가능할 경우 개선된 수치해석모델로 대체하여 그 결과를 내하력 평가에서 활용할 수 있음

☞ 국내 교량의 실정을 고려하여 신뢰도기반 내하력 평가기법의 다양한 현장실험 검증 (T/B 적용)을 수행하여 실구조물 하중 및 저항에 대한 통계치를 반영한 기법의 개선·보완이 필요

- 기술적 판단 능력이 부족한 중소 안전진단 업체 등에서도 쉽게 사용할 수 있도록 기법을 개선하고, 활용도 제고를 위해 매뉴얼 및 예제집 작성·교육 필요
- 또한, 계측데이터 및 불확실성 감소를 반영하는 통계특성 업데이트 기법의 적용과 함께 해석모델 업데이트 알고리즘 연계를 통한 평가 프로세스에 대한 개선·보완 필요
- * 국내 공용중인 대표 유형별 교량을 선정하고 신뢰도기반 내하력 평가를 수행 및 검증

□ 연구개발 주요 내용

- 통계특성 업데이트 기법을 적용한 신뢰도기반 교량 내하력평가 프로세스 개선
 - 국내외 신뢰도기반 교량 내하력 평가기술 조사 및 분석
 - 해석모델 업데이트 알고리즘 정립 및 통계특성 업데이트 기법 개발
 - 기존 신뢰도기반 교량 내하력 평가기법 개선 및 지침(초안) 작성
- 현장실험을 통한 교량 형식별 신뢰도기반 내하력평가 프로세스 검증 및 보완
 - 다양한 교량에 대한 현장실증을 통한 기법 검증
 - * 노후화된 교량을 우선적으로 고려하여 국내 교량 유형별 검증 대상을 선정
 - * 대상 교량을 중심으로 현장실험을 통해 신뢰도기반 내하력 평가 알고리즘 보완
 - * 우선 고려 대상교량 : 단경간 및 연속교 / 콘크리트교(RC Slab, RC Beam, PSC Box Girder, PSC Beam) 강합성교(Steel Plate Girder, Steel Box Girder) 적용
 - 매뉴얼 및 예제집 작성
- 노후 T/B교량을 활용하여 개발된 신내하력 평가 프로세스 검증 및 기술의 실용화
 - T/B교량과 철거예정 교량을 대상으로 신뢰도기반 내하력 평가 수행
 - 현장 실증실험을 통한 내하력평가 결과와 비교·검토
 - 신뢰도기반 내하력평가 프로세스의 정립 및 실용화 패키지 개발

- 중소 안전진단 업체를 대상으로 시범적용 실시
- 국외 기준들과의 비교·분석을 통한 지침의 타당성 검증
 - 기준의 타당성 검증을 통한 지침 개선 및 매뉴얼·예제집 보완
- 노후 T/B교량 활용 개발된 신뢰도기반 내하력 평가 프로세스 검증 및 기술의 실용화
 - 신뢰도기반 내하력평가 프로세스 정립 및 실용화 패키지 개발
- 현장 실증실험을 통한 내하력평가 결과와 비교·검토
 - 콘크리트, 강교, 강합성교량의 형식별 신뢰도기반 내하력 평가 실증



그림 4-32. 신뢰도기반의 교량 내하력 평가기술 적용성 검증 및 성능평가 기준 개선 프로세스

(4) (2-3)노후교량 종합성능평가 실증 및 개선방안 도출

□ 연구개발 필요성 및 차별성

- 노후·철거교량을 대상으로 보수·보강기술에 대한 실증·성능평가 외 타 연구과제에서 개발 중에 있는 종합성능평가 프로세스를 활용하여 실제 적용하는 연구 필요
- 유사과제 중복성 검토 결과, 기존에 수행된 또는 수행중인 과제는 종합성능평가 절차·기준을 정립하는 것을 목표로 하고 있으나, 교량(도로교)에 대한 실질적인 테스트베드* 적용 및 검증 내용이 부족

※ 총 3개 교량에 적용 : 남대천대교(콘크리트 PC박스거더교(PCB), `04년 준공, 최대경간장 110m, 안전등급(B), 춘성대교(강박스거더교(STB), 舊 `89, 新 `99년 준공, 최대경간장 50m, 안전등급(舊:C, 新:B)), 돌산대교(사장교(CS), `84년 준공, 최대경간장 280m, 안전등급(C))

- 또한, 종합성능평가에 있어 내구성, 사용성 및 기능성에 대해서만 평가항목, 등급 산정 및 시범적용을 하고, 상태평가 및 안전성평가(내하력)에 대한 자료는 기존 안전진단

결과를 사용하는 것으로 계획되어 있음

- 따라서, 보수보강 기술의 실증연구와 추가로 기존 과제에서 개발하는 종합성능평가 절차의 검증 차원에서 대상 노후교량을 적용한 종합성능평가 실증 연구가 필요함

□ 연구개발 주요 내용

- 기존 또는 개발중인 교량 종합성능평가 프로세스 활용을 통해 실제 적용·연계 방안 마련
- 종합성능평가 대상 실증 T/B 교량 및 적용 기법 선정
- 중소 안전진단 업체를 대상으로 성능평가 개발 기술 시범적용 실시

(5) (2-4)보수보장 및 종합성능평가 실증 DB의 BMS 연계체계 마련

□ 연구개발 필요성 및 차별성

- 국내 안전점검·안전진단 등 유지관리체계는 선진국 대비 규제 중심의 수동적인 유지관리 형태로써 교량의 기본 및 상세제원, 시설물의 정밀점검 등 정밀안전진단 시행여부관리, 유지관리업무 수행으로 유지관리에 필요한 속성정보는 포함하고 있지 않아 노후화된 교량 유지관리체계 개선에 미흡
 - 선진국 경우 점차 사고예방을 위한 안전성 검사, 사용성 평가, 계측 데이터 등 DB수집을 통한 유지관리 측면의 요구가 증가하여 노후시설물 유지관리 확립을 위해 통합적 최적관리 시스템을 통한 기술동향이 변화하고 있음
- 시설물 노후화, 차량증가로 인해 노후교량 안전관리 비용이 계속 증가할 전망이고 중·소 교량을 관리하는 각 지자체의 재원확보 부담도 점점 커지고 있는 실정이므로, 적기적소에 노후교량 유지관리 투자를 지원하는 노후교량 장수명화 최적유지관리제도 개선을 마련하여 체계적인 교량 관리는 물론 효율적 예산투자 필요

- ☞ 과거 수동적인 교량 유지관리 형태를 탈피하여 실제 노후교량에 대한 안점검점 이력, 부재별, 형식별 계측데이터 등을 포함한 T/B교량 데이터 활용방안을 연구 모색하여 관련기관에 정보공유 및 활용가능토록 제도 개선 필요
 - 기존 안전성 검사, 사용성 평가 등 DB수집을 통한 통합적 최적관리 시스템 구현
 - 적기적소에 노후교량 유지관리 투자를 지원하는 노후교량 장수명화 최적유지관리제도개선을 마련

□ 연구개발 주요 내용

- 국내외 교량 유지관리 사례 조사 및 분석
- 국내 BMS 운영 현황 분석
- 노후교량 유지관리 제도 개선(안) 마련
- 기존 BMS 데이터 연계 활용 방안 수립
 - 기존 BMS에서 정보를 활용하여 성능검증된 정보제공을 통한 통합적인 이력관리 수립
 - 일반국도 교량 유지관리 시스템에서 폐교량, 개축교량 등 부재별 성능평가(Test bed) 대상 교량 D/B공유 및 활용방안 제시 등

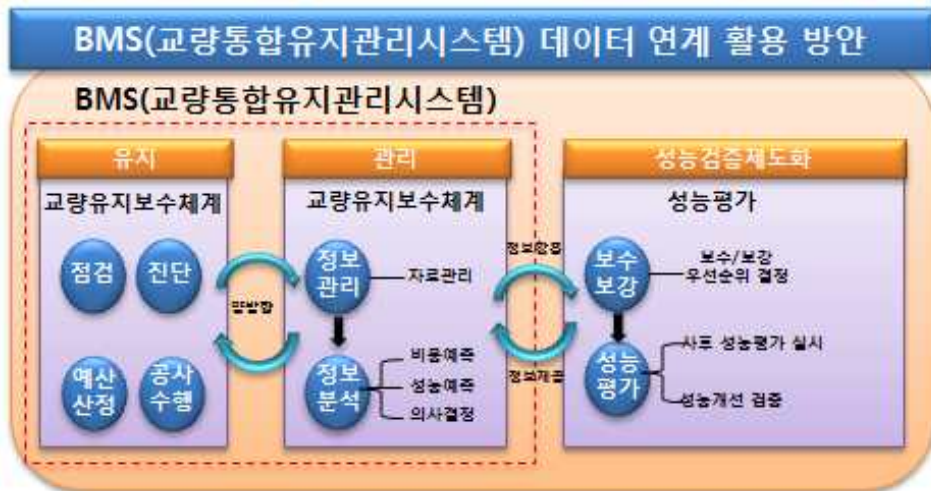


그림 4-33. 기존 BMS시스템과의 데이터 연계활용 방안

○ T/B교량을 통한 유지관리제도 개선

- 현재의 기준·제도는 보수보강 후 유지관리 방안을 제시하는 것에 국한되어 있으나, 성능평가 실시 후 개선효과를 검증하는 방안을 제도 개선에 반영

* 교량 정보 활용도를 높이고, 유지관리 관점에서 실검증을 통해 성능확보 여부를 판단할 수 있으며, 폐교량을 이용하여 부재별로 다양한 보수보강 기술개발 가능

(6) (2-5)중소 노후교량 유지관리 개선방안 수립

□ 연구개발 필요성 및 차별성

○ 국내의 과거 노후교량점검은 손상 파악 후 보수보강에 집중했으나, 점차 사고예방을 위한 안전성 평가, 사용성 평가를 포함한 성능평가에 대한 요구 증가로, 상태·안전성 평가 등 세부 평가방법 연구 중심에서 통합된 교량 자산관리 및 생애주기 관리중심으로 유지관리 기술이 변화되고 있음

* (미국,유럽) LC(Life-cycle)기반의 시설물 유지관리 확립을 위해 자산관리 기법을 활용한 시설물 유지관리 최적화



그림 4-34. 선진국 교량 유지관리자산관리 체계

- 노후교량의 증가에 따른 사고발생시 사회적·경제적 과급력이 확산됨에 따른 노후교량 유지관리 개념의 생애주기관리(life-cycle management) 차원의 접근 및 자산(asset) 개념을 도입하여 노후교량 장수명화를 위한 선진화된 유지관리 방안 수립 필요
 - 교량의 생애주기 개념의 유지관리 방안은 구조적 복잡성과 재료의 혼합성 등을 고려한 교량의 안전과 위험도에 대한 고려, 유지관리 조치에 대한 비용모델과 열화 및 성능향상 모델, 예산과의 연계성 등 다각적인 인자들을 고려하여 최적 유지관리 전략수립 필요
 - 또한, 유지관리 대한 정확한 이력정보 관리를 통한 사전적 예방시스템과 개별 교량수준이 아닌 전체 교량에 대한 중장기적 정책적 판단을 위한 전략적인 접근이 필요
 - 단순한 교량 유지관리 정보를 입력 및 축적하는 방식에서 탈피하여 노후교량 관리주체 및 담당자에게 가치 있는 정보를 제공함으로써 의사결정과 정책 자료로 활용 가능하며, 지속적인 운영·개선을 통해 신뢰도 있는 교량 유지관리 결과를 제공하여야 함

☞ 노후교량 유지관리 개념에 있어 생애주기관리차원의 접근 및 자산관리 기법을 활용하여 다양한 분석방법과 기법 및 시스템화 등에 대한 연구가 필요

- 사전적 예방시스템과 개별적 교량수준이 아닌 전체 교량에 대한 중장기적 정책판단을 위한 전략적인 접근이 필요
- 기존 BMS와 실증 T/B교량을 통해 생성되는 다양한 DB를 활용하여 교량의 수명연장을 목표로 한 노후교량 최적 유지관리체계 개선이 필요

□ 연구개발 주요 내용

- 기존 교량 유지관리 기준, 지침, 매뉴얼 조사 및 분석
- 기존 교량 생애주기비용 알고리즘 분석 및 유지관리 예산 투입 사례 분석
- 노후교량 보수보강/성능평가를 고려한 유지관리체계 구축 방안 수립
 - * 교량의 초기 상태를 중·장기적으로 유지하기 위한 방안으로, 적절한 보수보강을 선택 방법을 적용, 성능평가를 통한 개선효과를 검증하여 교량의 장수명화의 기틀을 마련
 - * 내하력 및 기능저하 시 대규모 보수보강은 막대한 비용이 소요됨. 따라서 LC분석을 통한 보수보강 우선순위 및 적정시점 등 유지관리 투자전략을 수립하여, 효율적인 유지관리를 통한 교량 장수명화를 위한 중·장기 계획 마련
- 노후교량 보수보강/성능평가를 고려한 생애주기비용 산정 개선
 - * 현재성능과 초기성능의 차이를 분석하여 투자비용 대비 효과를 극대화
- 노후교량 장수명화를 위한 중·장기 계획 수립 및 정책 제안
- 생애주기(LC)기반 노후교량 장수명화 유지관리 매뉴얼 개발

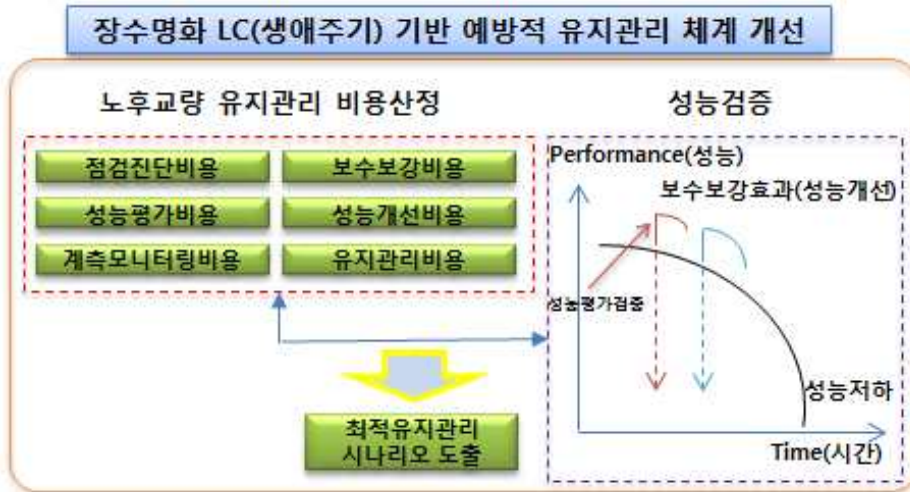


그림 4-35. 장수명화 예방적 유지관리 체계

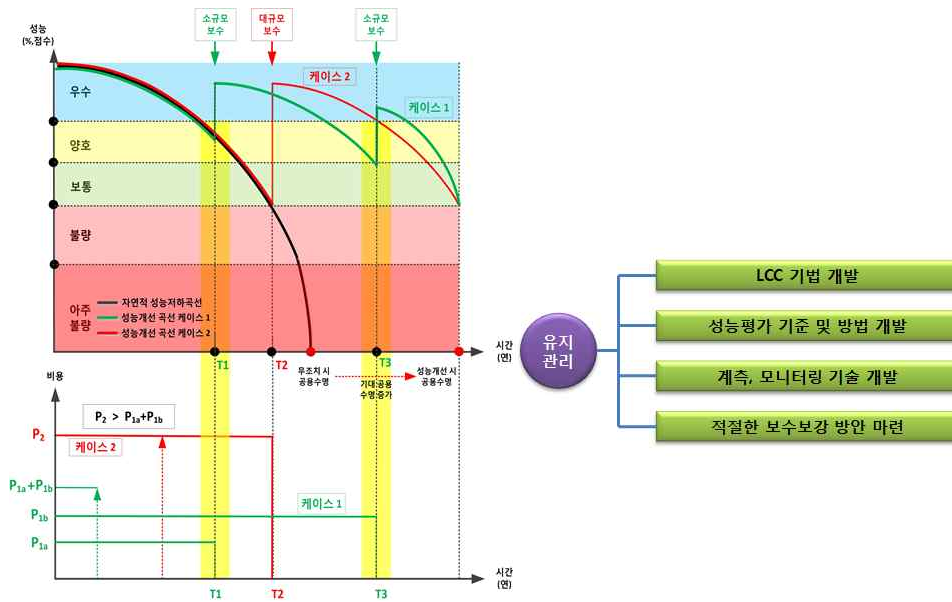


그림 4-36. 규모에 따른 교량보수평가 기준

4.4 세부과제별 과제카드

4.4.1 1세부 과제카드

중소 노후 콘크리트교량의 장수명화를 위한 보수보강 실증 연구

<p>1. 목적</p>	<ul style="list-style-type: none"> ○ 공용중 노후교량의 장수명화를 위한 기술중심형 “노후교량 교량 장수명화 연구단을 구축하여, 장수명화를 위한 기술간(유지관리, 보수보강, 성능평가, 모니터링 등) 연계 및 시너지 창출을 할 수 있는 컨트롤 타워 역할과 활용방안을 수립하고, 노후교량 수명연장을 위한 선순환 체계(중장기 전략 및 제도) 마련 ○ T/B·노후교량을 활용한 장수명화 요소기술 및 보수보강 전후의 실증을 통해 노후교량 및 요소기술에 대해 정량적 성능평가를 수행하여 노후교량 장수명화를 위한 합리적이고 실질적인 유지관리 및 보수보강을 통한 노후교량 성능 제고와 세계적 수준의 기술역량 강화로 경제도약의 기반 마련 <ul style="list-style-type: none"> - 노후교량 대상 계측 데이터를 활용한 노후화 수준을 정량적으로 평가하고, 센서가 내장된 시트형 보강재를 활용함으로써 현재 보강수준을 정확히 판단할 수 있는 기반 구축
<p>2. 정책 · 기술 · 시장 동향 조사 및 분석</p>	<ul style="list-style-type: none"> ○ 미국은 사회기반시설물 노후화 및 잇따른 교량 붕괴사고로 교량에 대한 안전문제가 사회적 이슈로 대두 <ul style="list-style-type: none"> - 1983년 6월 코네티컷 Mianus River 교량 붕괴, 1987년 4월 뉴욕 주 Thruway 교량 붕괴, 2007년 8월 미네소타 교량 붕괴, 2013년 5월 워싱턴 주 고속도로가 붕괴 등('89년부터 '00년까지 503곳의 교량붕괴 사고 발생) - 미국 토목학회 사회기반시설 평가체계 보고서에 따르면, 시설물의 노후화 증가로 유지보수 비용이 급격히 증가하며, 미국의 안보는 외부테러보다 시설물 노후화가 더 위험하다고 지적(도로, 교량, 공항, 댐 상하수도, 수자원 등 15개 분야의 유지보수 비용(전체등급 D) : 2001년 1조3천억\$ → 2005년 1조6천억\$ → 2009년 2조2천억\$로 증가) - 2011년 오바마 美 대통령은 연두교서에서 “사회기반시설물에 대한 노후화 예방을 위한 비용은 늦어지면 질수록 비용이 더 커진다.”고 심각성을 경고 ○ 일본은 2012년 12월 도쿄 인근 고속도로 터널붕괴 사고를 계기로 노후화의 심각성을 인지하여, 아베 총리는 경기부양을 위한 116억\$ 중 78억\$을 사회기반시설물에 대한 재건에 투자하기로 결정 <ul style="list-style-type: none"> - '07년 13명이 사망한 미국 뉴욕의 미니애폴리스 교량 붕괴사고를 “他山之石”으로 삼아 국토교통성 주도로 도시시설물 수시점검 및 교량 보수 장기회 계획 수립 - '13.11월 “인프라 노후화 대책 추진에 관한 관계부처 연락회의”에서 “인프라 장수명화 기본계획”을 마련, 국토교통성은 “인프라 장수명화 계획(행동계획)” 수립 - 국토교통성은 안전사고 발생 교량 및 철거 대상교량을 대상으로 토목연구소에 위탁하여 주요 부재들에 대한 성능평가 실험을 수행하고 이를 DB화 하는 연구를 추진중

	<ul style="list-style-type: none"> ○ 우리나라는 선진국에 비해 신규건설 대비 유지·보수 투자비율이 낮은 편이고, 노후교량 급증에 따라 2030년에는 시설물 유지관리비용은 약 11조에 달할 것으로 전망됨 - 30년 이상 노후기반시설물이 '14년 기준 9.5%에서 '24년에는 2배이상 급증해 21.6%에 달할 것으로 전망됨(한국건설산업연구원) - 유지관리 시장은 2010년 중반까지 10% 내외의 증가율에서 2020년 이후부터는 증가세가 보다 확대될 것으로 예상됨(국토교통부) - 교량의 보수보강관련 기술 특허출원도 1995년 19건에서 2003년에는 91건으로 증가할 것으로 전망함(특허청)
<p>3. 기술개발 필요성</p>	<ul style="list-style-type: none"> ○ 우리나라 교량 건설은 교량설계 및 시공능력이 부족했던 '70-80년대에 집중적으로 건설되어, 향후 10년 이후에는 노후교량이 급격히 증가할 것으로 예상 <ul style="list-style-type: none"> - 35년 이상(1980년 이전 준공) 공용중인 교량은 전국에 1,785개소(6.1%) <ul style="list-style-type: none"> * 전체교량은 29,127개소로 '80년대 3,070개소, '90년대 9,483개소, '00년대 12,289개소, '10년대 2,500개소 - 「시설물의 안전관리에 관한 특별법」에 의한 국가주요시설물 중 교량은 총 9,954개소(1종: 3,889개소, 2종: 6,065개소) ○ 국내 신규 구축이 점차 감소하면서 장기적인 유지보수를 통한 수명연장이 새로 개축하는 것보다 2~3배의 비용 절감 효과 기대 <ul style="list-style-type: none"> - 국내 교량사업이 포함된 도로투자의 경우, 현재 유지보수 투자비중이 OECD에서 가장 낮은 10% 내외 수준 <ul style="list-style-type: none"> * 미국 뉴욕시는 지난 1980년대부터 '교량 갱신 사업계획'을 추진, 건설한 지 100년이 경과한 교량도 사용 중 * 일본은 최근 급격히 증가한 노후교량 문제를 해결하기 위해 지방자치단체별로 '교량 수명 장기화 계획'을 수립해 추진 중 - 국토연구원은 교량 28,152개(2011년말 기준) 중 절반 이상이 20년 이하 교량으로, 체계적인 유지보수 및 개량을 통해 교량 수명을 연장하지 않을 경우 미래세대에 큰 부담으로 작용할 것으로 전망 ○ 교량 구조물의 노후화는 내구연한 감소와 서비스 수준의 저하를 유발하여 교통흐름이 방해되고 성능보완 및 노후교량 수명연장을 위한 경제적 부담 증가 초래 <ul style="list-style-type: none"> - 노후교량의 장수명화를 위해서는 잔존수명에 대한 정확한 예측과 적정 보수·보강기술 개발이 필요하나 관련 검증 기반이 부족 <ul style="list-style-type: none"> * '11년 기준 신기술 지정건수: 건축(52건, 25.7%), 토목(100건, 49.5%), 환경(26건, 12.9%), 시설물 유지관리(24건, 11.9%) * 보수·보강 기술수준: 7점 만점 중 3.2로 보통 이하 수준(시설안전공단, '10년 설문조사) ○ T/B·철거교량을 활용 노후교량의 요소기술에 대해 성능평가 방법, 보수보강 기술 개발에 활용하고 실증자료를 DB화 및 서비스하여 관련기술개발에 기여할 수 있는 노후교량 수명연장을 위한 선순환체계 마련 필요

	<ul style="list-style-type: none"> - 기존의 성능평가 방법들은 대부분 신설 교량 대상으로, 노후교량에 대한 평가방법은 전무 - T/B·철거교량의 성능평가, 모니터링 및 D/B화로 성능중심 설계·기준마련을 위한 기초자료 확보 필요 - 기술개발 여건(중소기업의 T/B확보, 연구장비 부족 등)이 열악한 중소 보수보강업체에 대한 기술검증 현장제공, 연구장비활용지원으로 신기술 지정 및 사업화 확대를 통해 창조경제 실현, 중소기업 지원, 일자리 창출 등 정부기조에 부흥 <ul style="list-style-type: none"> * 배경: '제3차 시설물의 안전 및 유지관리 기본계획(2013~2017년, 국토부) * 근거: 시설물의 안전 및 유지관리 기본계획: 정책·제도 선진화, 연구개발 촉진, 우수인력 양성, 효율적인 정보체계 구축에 관한 5년 단위 국가계획(시특법 제3조) ○ 세계적으로 교량의 신규 구축보다는 유지관리 시장으로 변화하고 있는 추세에서 우리나라도 열악한 중견·중소기업이 교량의 유지관리, 안전진단 및 보수보강분야의 선진화된 기술개발 기회 및 세계시장에 경쟁할 수 있도록 기술지원이 필요함 - 미국의 경우 교량의 상태 파악을 주로 외관검사에 의존하고 있어 외관상 보이지 않는 손상 파악이 어려우므로 도면 및 보수보강, 유지관리 자료를 비롯한 비파괴검사 플랫폼(RABIT)을 개발 및 활용중임 - 주기적인 정밀점검을 통해 장기 교량거동 프로그램(LTBP, Long-Term Bridge Performance Program)을 추진하여 교량의 성능 및 기대 수명을 예측하려고 있음 ○ 국내외적으로 외부긴장공법에 의한 긴장력 저하 추정에 대한 연구는 활발히 진행되고 있으나, 시트형 보강재에 대한 보강효과 검증을 위한 연구는 전무한 상태임
--	--

	최종목표	산출물	연차
4. 기술개발 최종목표 및 산출물	노후교량 실증 테스트베드(T/B) 확보·활용 지원 및 총괄	노후교량 장수명화 연구단 구축 및 실증 T/B교량 확보	1-5
	T/B·철거교량 활용 보수보강 기술 실증·지원 및 개선 연구	실증(T/B교량, 보수보강 전후) 및 성능평가보고서	1-5
	보수보강 재료·공법별 요구성능 지표 및 평가시험 방법 개발	보수보강 기술 설계기준 및 표준시험절차서	1-4
	보수보강 재료·공법별 설계기준 및 시공절차서 작성	설계기준 및 시공절차서	3-5
	보수보강 교량의 장기성능 및 수명 예측 평가기술 개발	성능예측 및 수명평가 알고리즘	2-5
	노후교량 고정밀 입력하중 측정시스템 개발	고정밀 extensometer 기반 WIM 센서 개발	1-3

	노후교량 보강수준 센싱용 보강재 개발	보강재 내장 센서 기반 보강 효과 산정 알고리즘 개발	1-4
	노후교량 장기계측데이터 확보 및 실증DB 제공	장기계측모니터링 시스템 구축 및 실증DB 시스템 구축	2-5
	계측데이터 기반 교량 노후도 등급화 및 정량화 기술 개발	노후도 등급화 및 정량화 S/W	2-4
	노후교량 최적 보수보강 선정을 위한 의사결정 시스템 개발	보수보강 의사결정 시스템 개발	3-5
5. 세부연구내용	<p>(1-1) 노후교량 실증 테스트베드(T/B) 확보·활용 지원 및 총괄</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ 연구단 운영체계 구축 및 총괄 (자체평가지표 작성, 자문/자체평가위원회 구성 등) ○ T/B·철거교량 현황조사 및 확보/교량관리주체(국토부, 지자체 등)와 T/B교량 활용 협력체계 구축 <ul style="list-style-type: none"> - 실증 대상교량 선정, 현지조사, 관련기관 협의 추진 등에 대한 세부 계획 수립 ○ 장수명 요소기술 실증을 위한 T/B·철거교량 활용방안 마련 ○ 노후·철거교량의 R&D 지속 활용 및 선순환 방안 수립 <p>(1-2) T/B·철거교량 활용 보수보강 기술 실증 및 개선 연구</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ 교량형식, 노후도별 보수보강 기술 조사 및 분석 <ul style="list-style-type: none"> - 교량의 손상 종류, 원인 등에 대한 사전 조사 및 분석 ○ 기존 보수보강 기술의 검증·개선 대상 우선순위 선정 ○ T/B·철거교량 활용 기존 보수보강 기술 실증 ○ 보수보강 전후 성능비교, 효과분석 및 성능 정량화 ○ 교량형식 및 노후도별 보수보강 목표 요구성능 및 보강성능등급 설정 ○ 기존 보수보강 기술 개선사항 도출 ○ 교량형식 및 노후도를 고려한 보수보강 기술 성능개선·개량 ○ T/B교량 적용을 통한 성능개선 검증 및 효과 분석 <p>(1-3) 보수보강 재료·공법별 요구성능 지표 및 평가시험 방법 개발</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ 기존 보수보강 재료·공법별 요구성능 분석 및 성능조사 ○ 실제 적용된 보수보강 교량에 대한 현장 조사 및 문제점 분석 ○ 교량 형식/부재별 노후도에 따른 대표 보수보강 재료 및 공법 선정 ○ 대표 보수보강 재료·공법에 대한 요구성능별 성능평가 지표 설정 ○ 보수보강 요구성능별 평가항목 및 평가시험법 개발 ○ 부재별 표준시험절차 작성 <p>(1-4) 보수보강 재료·공법별 설계기준 및 시공절차서 작성</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ 기존 보수보강 재료 및 공법에 대한 성능개선 목표 설정 ○ 대상 보수보강 재료·공법별 표준 보수보강 설계기준 작성 		

- 교량 노후현상 및 노후도별 보강 시나리오·매뉴얼 작성
- T/B 적용을 반영한 시공절차서 및 매뉴얼 작성(품질관리 요령 등)
- 보수보강 매뉴얼 작성(설계서, 시공절차서, 유지관리매뉴얼 등)
- 최적 보수보강 의사결정 시스템 반영

(1-5) 보수보강 교량의 장기성능 및 수명 예측 평가기술 개발

- 국내외 교량의 성능저하 예측 및 수명 평가기법 조사·분석
- 국내외 교량 형식별 수명·성능 저하요인 관련 연구 조사·분석
- 국내외 교량의 성능·수명예측에 활용되는 데이터 수집
- 인공지능(AI) 기술 기반의 교량 장기성능예측 모델 및 수명평가 프로세스의 정립 (neural network, genetic algorithm 등 데이터 딥러닝, 통계기법, 패턴인식 기법적용)
- 평가 항목에 따른 교량 부재별 성능저하·성능예측 모델 개발 및 검증
- 평가 항목에 따른 교량 전체의 수명평가 알고리즘의 개발 및 검증
- 성능평가·성능향상 결과데이터를 활용한 교량의 장기성능예측 및 수명평가 프로세스의 검증(시뮬레이션 데이터 포함)
- T/B 교량의 평가 데이터를 활용하여 개발한 장기성능 예측모델과 수명평가 기술의 적용 및 검증
- 결과 분석을 통한 개발 기술의 보완 및 정립

(1-6) 노후교량 고정밀 입력하중 측정시스템 개발

- 기존 교량용 WIM 시스템 조사 분석
- Extensometer 기반 WIM 센서 스펙 결정 및 설계
- 고정밀 광섬유 extensometer 기반 WIM 센서 시제품 제작
- 실내외 검증실험 및 보완
- 기존 교량 장기계측 모니터링 시스템과의 연계기술 개발
- T/B교량 적용 검증 및 실용화 패키지 개발

(1-7) 노후교량 보강수준 센싱용 보강재 개발

- 보강재 내장 가능 최적 센서 유형 선정, 배치 등 및 개선(안) 제시
- 센싱 결과 기반 보강 효과 분석 프로세스 개념 정립
- 보강재 보강 효과-센싱 데이터 상관성 분석
- 센서 내장형 보강재 시제품 제작 및 성능검증 실험 실시
- 보강재 내장 센서용 DAQ 장치 시스템 설계
- 보강재 보강효과 산정시스템 패키지화 구현
- 보강효과 산정 알고리즘 프로그래밍화 구현
- 테스트 베드 적용 및 활용·분석
- 알고리즘 & DAQ시스템 보완 및 실용화 패키지 개발

(1-8) 노후교량 장기계측데이터 확보 및 실증DB 제공

- 국내 교량 장기모니터링 시스템 사례조사 및 분석
- 장기계측 데이터 DB현황/활용사례 조사 및 분석
- 노후교량에 적합한 최적 센서위치, 측정물리량, 계측시스템 설계
- 노후교량 계측Data 확보를 위한 모니터링시스템 설치 및 운영
- 장기계측/보수보강/성능평가 DB구축 시스템 설계

	<ul style="list-style-type: none"> ○ 장기계측/보수보강/성능평가 실증Data 확보 및 공유활용 시스템 구축 ○ 장기계측/보수보강/성능평가 DB 활용방안(지침,매뉴얼) 수립 ○ 장기계측/보수보강/성능평가 실증Data DB화 및 공개 서비스 (1-9) 계측데이터 기반 교량 노후도 등급화 및 정량화 기술 개발 ○ 노후교량 계측 데이터 유형 분석 및 교량 신호 패턴 분석 ○ 노후도 등급화 및 정량화 개념 정립 ○ 데이터 프로세싱 기반 노후도 등급화 및 정량화 모듈 개발 ○ 기존 알고리즘 연계 및 검증 ○ 테스트 베드 구축 방안 수립 ○ T/B 교량 정량화 기술 적용 및 활용·분석 ○ 노후도 정량화·등급화 알고리즘 보완 및 실용화 패키지 개발 (1-10) 노후교량 최적 보수보강 선정을 위한 의사결정 시스템 개발 ○ 노후교량의 보수보강 의사결정 알고리즘 개발 및 시스템 설계 ○ 노후교량의 보수보강 의사결정 시스템 구축 및 보수보강 실증DB 연동 ○ 실증을 통한 보완 및 실용화 패키지 개발 	
<p>6. 소요기간 및 예산</p>	<ul style="list-style-type: none"> ○ 노후교량 실증 테스트베드(T/B) 확보·활용 지원 및 총괄 · 소요기간 : 5년, 예산 : 7.5억원 ○ T/B·철거교량 활용 보수보강 기술 실증·지원 및 개선 연구 · 소요기간 : 5년, 예산 : 71.5억원 ○ 보수보강 재료·공법별 요구성능 지표 및 평가시험 방법 개발 · 소요기간 : 4년, 예산 : 10.5억원 ○ 보수보강 재료·공법별 설계기준 및 시공절차서 작성 · 소요기간 : 3년, 예산 : 9.0억원 ○ 보수보강 교량의 장기성능 및 수명 예측 평가기술 개발 · 소요기간 : 4년, 예산 : 8억원 ○ 노후교량 고정밀 입력하중 측정시스템 개발 · 소요기간 : 3년, 예산 : 6억원 ○ 노후교량 보강수준 센싱용 보강재 개발 · 소요기간 : 4년, 예산 : 13.5억원 ○ 노후교량 장기계측데이터 확보 및 실증DB 제공 · 소요기간 : 4년, 예산 : 19.5억원 ○ 계측데이터 기반 교량 노후도 등급화 및 정량화 기술 개발 · 소요기간 : 3년, 예산 : 7.5억원 ○ 노후교량 최적 보수보강 선정을 위한 의사결정 시스템 개발 · 소요기간 : 3년, 예산 : 7.5억원 	
<p>7. 예상성과 및 활용처</p>	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="text-align: center;">최종 성과물</td> </tr> </table> <ul style="list-style-type: none"> ○ 노후교량 장수명화 연구단 구축 및 실증 T/B교량 확보 ○ 실증(T/B교량, 보수보강 전후) 및 성능평가보고서 ○ 보수보강 기술 설계기준 및 표준시험절차서 ○ 설계기준 및 시공절차서 	최종 성과물
최종 성과물		

	<ul style="list-style-type: none"> ○ 성능예측 및 수명평가 알고리즘 ○ 고정밀 extensometer 기반 WIM 센서 개발 ○ 시트형 보강재 내장 센서 기반 보강 효과 산정 알고리즘 개발 ○ 장기계측모니터링시스템 구축 및 실증DB 시스템 구축 ○ 노후도 등급화 및 정량화 기술 ○ 보수보강 의사결정 시스템 개발 	
	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="text-align: center;">성과 활용처</td> </tr> </table> <ul style="list-style-type: none"> ○ 보수보강 및 유지관리업체 ○ 산학연 기초연구분야 ○ 정부 및 교량관리 주체 ○ 보수보강 및 유지관리업체 ○ 정부 및 관리주체 ○ 보수보강 기술 장기성능 시험법 및 성능평가를 바탕으로 안전하고 내구성이 향상된 보수보강 기법에 활용 ○ 교량 관리 주체는 보수보강의 기초자료를 활용하여, 상황발생 시 신속하고 안전한 보수보강을 수행할 수 있음 ○ 장기 및 요구성능 평가 시험법은 국내 및 국제 표준으로 활용 가능 ○ 교량 관리 주체는 최종 성과물을 활용하여, 상황발생 시 신속하고 안전한 보수보강을 수행할 수 있음 ○ 표준화된 보수보강 설계로 구조물 품질 향상 가능 	성과 활용처
성과 활용처		
<p>8. 활용방안·기대효과</p>	<ul style="list-style-type: none"> ○ 보수보강 및 유지관리업체 실증기반의 신기술개발 및 공법개발에 따른 기술경쟁력 확보 ○ 노후교량 실증을 통한 산학연 보수보강 기초 연구 및 기법개발 연구기회를 제공 ○ 정부 및 교량관리 주체에서 노후교량에 대한 보수보강 의사결정, 시기 및 공법 결정을 위한 자료활용 ○ 노후교량 장수명화 연구단을 통한 노후교량 유지관리 및 보수보강분야 컨트롤 타워 기능 및 중장기 마스터 플랜 수립 가능 ○ 표준화된 보수보강 기법을 통해 교량 사용자들에게 편익을 제공하며, 사회적 비용을 최소화시킴 ○ 보수보강 기술의 장기성능을 확보하여 교량의 수명을 연장하고 국가적으로 많은 예산을 절감할 수 있음 ○ 요구성능별 평가를 통해 국내 보수보강 기술의 표준화 기여 ○ 보수보강 기술 및 성능을 효율적으로 활용하여 시공성 및 경제성 향상, 안전성 및 내구성 증진이 가능함 ○ 보수보강 기술 및 요구성능과 연계하여 신뢰성 있는 보수보강 설계시공 가능 ○ 계측데이터의 효율적 활용을 통하여 해당 노후 교량의 안전 수준을 정량적으로 제시함과 동시에 유지관리 방향에 대한 의사결정 근거자료로 활용 가능 ○ 자가 진단형 시트형 보강재 개발을 통하여 향후 시트형 보강이 적용된 노후화 교량의 보강 수준에 대한 지속적인 모니터링 가능 ○ 노후 교량의 상태 수준 정량적 평가 및 보강 효과 모니터링을 통하여 시설물의 	

	<p>안전 확보 및 장수명화 유도 가능</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ T/B·철거교량을 활용한 요소기술 실증 및 성능평가를 통한 정량적인 기술검증 및 개발이 가능함 ○ 노후교량 보수보강을 위한 재료계수 개발 및 개선으로 설계 및 시공 선진화와 합리화가 가능 ○ 보수보강 및 유지관리업체 실증기반의 신기술개발 및 공법개발에 따른 기술경쟁력 확보 ○ 노후교량 실증을 통한 산학연 보수보강 기초 연구 및 기법개발 연구기회를 제공 ○ T/B·철거교량을 활용한 요소기술 실증 및 성능평가를 통한 정량적인 기술검증 및 개발이 가능함 ○ 노후교량 보수보강을 위한 재료계수 개발 및 개선으로 설계 및 시공
--	--

4.4.2 2세부 과제카드

중소 노후교량 종합성능평가 실증 및 개선방안 제시

<p>1. 목적</p>	<ul style="list-style-type: none"> ○ 교량의 현 상태를 객관적으로 판단할 수 있는 정량화된 성능평가 기술을 개발하고, 이를 뒷받침하고 정착시킬 수 있는 기준의 정립을 통해 국내 노후교량을 효율적으로 관리하기 위함 ○ 또한 노후교량의 사용성을 극대화하고 이에 따른 수명연장을 위해 고도의 진단기술을 개발하고, 새로운 체계정립을 통하여 국내 유지관리 분야의 질적성장을 도모하기 위함 ○ 사전 예측기반 성능평가 기술 개발을 통해 교량의 보수보강 성능 및 연장수명을 예측하고 노후교량의 성능을 효율적으로 유지관리하기 위함 ○ 일상적으로 작용하는 여러 가지 요인들로 인해 발생하는 손상이 누적되고 있는 공용중인 교량의 성능을 장기적으로 예측하는 모델을 개발하고, 더 나아가 앞으로의 교량의 잔존수명을 파악하기 위한 수명평가 모델을 개발하여 노후교량을 효율적으로 관리하기 위함
<p>2. 정책 · 기술 · 시장 동향 조사 및 분석</p>	<ul style="list-style-type: none"> ○ 전 세계적 시설물 안전에 대한 수요의 증가로 글로벌 시설물 안전시장 규모는 '11년 기준 295조원('21년까지 연평균 8% 성장 예상)이며, 교량 건설시장 또한 국내를 포함한 선진국의 경우 노후화로 인해 교량의 교체 및 유지관리 시장이 활성화될 전망이다 ○ 미국, 유럽, 일본 등의 선진국에서는 국가차원의 시설물 유지관리 예산이 투자되고 있으며, 노후교량의 성능평가 및 성능향상 연구 등 시설물 수명 장기화를 목적으로 한 R&D 투자가 증가하고 있음 <ul style="list-style-type: none"> - 미국은 도로/교량 성능향상 투자가 중심이 된 MAP-21(Moving Ahead for Progress in the 21st Century)(2012)을 추진하여 도로 및 교량, 안전관련 사업 계획시, 성과검증을 위한 구체적 목표 설정을 강제 - FHWA(Federal Highway Administration)은 National Historic Covered Bridge Preservation Program(2000~2012)을 통해 시설물 수명을 장기화하는 것을 목표로 추진되었으며, '12년 기준, 22개 프로젝트를 대상으로 976만 달러를 지원 - 또한 미국의 CAIT는 데이터 유형별 활용도 및 분석 기술 수준은 높은 반면 유형 간의 상호연관성을 확인하고 평가에 종합적으로 활용하는 기술개발 연구는 없는 것을 파악하고, 'Multi-Scale Condition and Structural Analysis of Steel Bridge Infrastructure'(2016)를 통해 현재 데이터간의 관계를 분석하여 성능평가기술 개발연구를 진행중에 있음 - 유럽은 '13년부터 Infravation(Infrastructure Innovation Programme) Project 지원을 통해 차세대 인프라 성능 평가방법, 인프라 내구성 및 수명연장, 비파괴 검사, 교통흐름저영향 유지보수기술, 기후변화 대응 인프라 성능을 확보할 계획 - 캐나다는 'Civil Infrastructure System Technology Roadmap'(2003~2013)을 통해 장수명화·성능평가 기술과 자연재해 극복기술, 지능형 모니터링 기술의 개발 등을 통해 사회기반시설의 고령화와 자연재해에 대처하고, 안전 및 유지관리 업무의 효율성 증대를 모색 - 일본은 国土強忍化기본계획(2013), 長壽命化기본계획(2013) 등을 수립하고 추진하고 있으며, 2017년까지 개별 인프라시설물별 Action Plan을 수립

	<ul style="list-style-type: none"> ○ 또한, 교량의 장수명화를 목적으로 하는 성능 중심의 예방적 유지관리체계를 구축하고, 성능개선을 통한 장수명화를 실현함 <ul style="list-style-type: none"> - 일본 유지관리비 69% 절감(21.1조→6.6조), 호주 유지관리비 40% 절감 ○ 전세계적으로 시설물 노후화에 따른 시설물 유지관리 및 장수명화를 위한 정부 투자를 확대해 주요 기반 시설물의 유지관리·해체 시장이 활성화 <ul style="list-style-type: none"> - 시설물 투자비 대비 유지관리비 비중은 미국 '14년 기준 56%, EU 주요국 '13년 기준 40%를 상회하는 것으로 조사되었으며, 지속적으로 높아질 것으로 전망 - 일본 인프라 시설의 미래 유지관리비용은 '13년 3.6조원에서 '33년에는 4.6조~5.5조원으로 전망 ○ 선진국에서는 교량 노령화에 따라 교량 상태평가기준을 정립하고 교량상태 DB를 구축했으며 교량 상태 모니터링을 위한 센서기술, 상태평가기술개발이 활발함 <ul style="list-style-type: none"> - '14년 미국 Mineta National Transit Research Consortium에서는 철도교량의 잔존 피로수명과 누적 손상을 평가하기 위한 방법론을 개발하였음 - 일본의 NEXCO 동일본 그룹은 2013년 ICT 및 기계화 기술을 활용해 종합적 관리체계를 구축하는 것을 목적으로 스마트 유지보수 고속도로(SMH: Smart Maintenance Highway)계획을 발표 - 캐나다의 'Civil Infrastructure System Technology Roadmap'은 장수명화·성능평가 기술과 자연재해 극복기술, 지능형 모니터링 기술의 개발 등을 통해 사회기반시설의 고령화와 자연재해에 대처하고, 안전 및 유지관리 업무의 효율성 증대 모색 ○ 최근 호주의 Griffith University에서는 논문발표를 통해 교량의 장기성능예측에 관한 연구를 꾸준히 진행해오고 있으며, 기존 성능예측모델들과 데이터의 한계성을 인식하고, 40개 교량에 대한 데이터를 모두 활용한 인공지능 기반의 기술을 개발중에 있음 ○ 국내에서도 「제3차 시설물의 안전 및 유지관리에 관한 기본계획('13~'17)」 등을 통해 노후시설물에 대한 유지관리정책을 추진하고 있으며 R&D 분야에서는 제5차 건설기술진흥기본계획('13~'17)을 통해 지능형 시설물에 투자를 지속하고 있음 <ul style="list-style-type: none"> - 국내 유지관리 시장규모의 증가가 예상되지만, 시설물 자산가치 대비 유지관리 투자는 외국의 1.0%의 1/3수준인 0.3% 정도로, 이를 근거로 국내 유지관리 투자실태를 추산하면 신규건설의 약 8% 수준으로 신규건설대비 유지관리 투자가 21.7%인 일본의 1/3 수준임(이탈리아 57.2%, 영국 38%, 독일 26%, 미국 15.8%)
<p>3. 기술개발 필요성</p>	<ul style="list-style-type: none"> ○ 국내외 교량의 노후화가 점차 가속화되고 있으며, 공용중인 교량에 대한 효과적인 성능평가 기술의 개발 및 적용의 요구가 점차 증대함에 따라 실효성 있는 우수한 유지관리 기술의 확보가 필요함 <ul style="list-style-type: none"> - 성능평가 기법 등은 개발이 되고 있으나 현장실험을 통한 실제적 적용성 검증은 거의 이루어지지 못하고 있음 - 한국도로공사 「신뢰도기반 교량 안전성 평가 지침(안)」이 개발되어 2015년부터 일부 교량에 대한 용역발주가 있으나 실험을 통한 검증이 이루어지지 못함 - 시설안전공단 「교량 정밀안전진단세부지침」에 일부 내용이 반영되는 틀은 갖추었으나 개념적 가능성만 제시하고 있음 - 따라서 개발된 지침안의 신뢰도기반 교량 안전성 평가 기법을 보완하고 전체적인 현장실험검증을 통해 지침의 정착화 노력이 요구됨

- 국내 건설시장이 ‘시설물의 장수명화’로 패러다임이 전환되면서 사고예방형 유지관리에서 시설물의 연식, 이용량 등을 분석하는 성능관리형 유지관리로 전환이 요구됨
 - 국내 교량의 평가법은 상태평가, 내하력평가, 네트워크 기반의 건전성평가와 같이 크게 3가지로 분류될 수 있으며, 현행 성능평가는 상태평가와 내하력평가의 종합결과로 현 건설시장의 요구사항을 만족하지 못하는 상태
- 국내 시설물 안전진단 시장은 최근 10년간 시장규모 1,000억 원대로 성장의 한계에 진입했음에도 안전진단기관은 매년 증가하고 있는 추세이지만, 관련 업체의 보유 기술력, 전문성이 요구수준에 비해 보통 또는 그 이하 수준임
 - '12년 기준 안전진단기관 중 130개사는 수주실적이 없고 상위 22개사가 전체 실적의 50% 이상 수주하는 실정
 - 시설물안전진단협회에 따르면 등록업체의 76.1%가 1개 분야에만 등록된 영세업체로, 이러한 영세성은 안전점검의 전문성 및 신뢰성 저하 요인임
 - 유지관리 분야의 기술수준은 선진국 대비 75% 수준으로 상대적으로 취약하며, 유지관리 분야 질적성장을 위한 고도기술 개발 및 체계 정립이 필요한 시점
 - 따라서 3가지로 분류되어 수행되고 있는 평가 체계에서 벗어나 평가유형별 데이터간 관계를 분석하고 정립하는 연구가 필요하며, 이를 바탕으로 교량의 성능을 평가하는 새로운 패러다임의 성능평가체계 정립이 필요한 시점임
- 국내 건설산업은 기존의 신규 건설시장에서 ‘시설물의 장수명화’를 목표로 하는 성능개선 및 보수 중심의 시설물 유지관리시장으로 재편되고 있으며, 노후화, 기상이변, 사용자 요구 등으로 인한 시설물의 성능향상이 불가피한 상황
 - 노후교량에 대한 체계적 유지관리와 보수보강 전략이 마련되지 못할 경우에는 국가 안전망 확보에 큰 지장을 초래할 수 있음
 - 국민 안전과 직결되는 교량에 대한 체계적 유지관리와 보수보강 전략 마련이 필수적이며, 사전예측기반을 위한 모니터링 기술 등 교량 수명연장을 위한 기술개발 요구가 증가됨
- 국내 노후교량의 구조적 안전 확보는 물론 성능유지 및 향상, 종합적 비용 편익 분석을 통해 한정된 재정을 효율적으로 투자할 수 있는 근거확보를 위한 성능평가체계 마련 필요
 - 시설물의 연식, 이용량, 성능평가 결과 등의 모든 D/B를 활용·분석하여 교량의 보수결과 및 연장수명 예측을 통한 체계적이고 선제적인 예방적 유지관리 개념의 도입이 필요함
 - IT, ICT 첨단 기술을 활용한 모니터링 등 신뢰도 높은 핵심요소 기술이 필요함

4. 기술개발 최종목표 및 산출물	최종목표	산출물	연차
	다중데이터(Multi-data) 분석을 통한 성능평가기술 개발	성능평가 알고리즘	2-5
	신뢰도기반의 교량 내하력 평가기술 실증·개선 및 평가매뉴얼 개발	성능평가 지침 및 예제집	1-4
	노후 콘크리트교량 종합성능평가 실증 및 개선방안 도출	종합성능평가 실증 성과보고서	2-5
	보수보강 및 종합성능평가 실증 DB의 BMS 연계체계 마련	연구성과보고서	1-2
	중소 노후교량 유지관리 개선방안 수립	유지관리 매뉴얼	3-5

5. 세부연구내용

(2-1) 다중데이터(Multi-data) 분석을 통한 성능평가기술 개발

- 국내외 Multi-data를 활용한 진단 기법 조사·분석
- Multi-data별 특성분석을 통한 관계 정립
- Multi-data간 연계성을 적용한 모듈화 진단 및 평가 연동 프로세스 MAP 개발 (Data fusion,compression, mining, 통계적 접근법 등 기법)
- 다중데이터(Multi-data) 활용 내하성능평가 개발기술의 실증 테스트베드 적용 및 종합성능평가를 위한 실증연구 추진
 - 모듈화 진단 및 평가 통합 프로세스 적용 및 검증
 - 시뮬레이션 및 Multi-data 적용기반의 모듈화 진단 및 평가 연동 프로세스 검증
 - 상태평가, 안전성평가 등 종합성능평가 프로세스

(2-2) 신뢰도기반의 교량 내하력 평가기술 실증·개선 및 평가매뉴얼 개발

- 국내외 신뢰도기반 내하력 평가기술 조사 및 분석
- 해석모델 업데이트 알고리즘 정립
- 통계특성 업데이트 기법 개발
- 통계특성 업데이트 기법을 적용한 신뢰도기반 내하력평가 프로세스 개선
- 신뢰도기반 교량 내하력 평가 지침(초안) 작성
- 현장실험을 통한 콘크리트교량의 형식별 신뢰도기반 내하력평가 프로세스 검증
- 매뉴얼·예제집 작성
- 현장실험을 통한 강교, 강합성교량의 형식별 신뢰도기반 내하력 평가 프로세스 검증
- 매뉴얼·예제집 작성
- 국외 기준들과의 비교·분석을 통한 지침의 타당성 검증
- 지침 개선 및 매뉴얼·예제집 보완
- 노후 T/B교량 활용 개발된 신뢰도기반 내하력 평가 프로세스 검증 및 기술의 실용화
 - 신뢰도기반 내하력평가 프로세스 정립 및 실용화 패키지 개발
- 현장 실증실험을 통한 내하력평가 결과와 비교·검토
 - 콘크리트, 강교, 강합성교량의 형식별 신뢰도기반 내하력 평가 실증

(2-3) 노후 콘크리트교량 종합성능평가 실증 및 개선방안 도출

- 기존·개발중인 교량 종합성능평가 프로세스 활용을 통해 실제 적용·연계 방안 마련
- 종합성능평가 대상 실증 T/B 교량 및 적용 기법 선정
- 중소 안전진단 업체를 대상으로 성능평가 개발 기술 시범적용 실시

(2-4) 보수보강 및 종합성능평가 실증 DB의 BMS 연계체계 마련

- 국내외 교량 유지관리 사례 조사 및 분석
- 국내 BMS 운영 현황 분석
- 노후교량 유지관리 제도 개선(안) 마련
- BMS 데이터 연계 활용 방안 수립(정보활용 및 정보제공 방안)

(2-5) 중소 노후교량 유지관리 개선방안 수립

- 기존 교량 유지관리 기준, 지침, 매뉴얼 조사 및 분석
- 기존 교량 생애주기비용 알고리즘 분석 및 유지관리 예산 투입 사례 분석
- 노후교량 보수보강/성능평가를 고려한 유지관리체계 구축 방안 수립
- 노후교량 보수보강/성능평가를 고려한 생애주기비용 산정 개선

	<ul style="list-style-type: none"> ○ 노후교량 장수명화를 위한 중·장기 계획 수립 및 정책 제안 ○ 생애주기(LC)기반 노후교량 장수명화 유지관리 매뉴얼 개발 				
<p>6. 소요기간 및 예산</p>	<ul style="list-style-type: none"> ○ 다중데이터(Multi-data) 분석을 통한 성능평가기술 개발 · 소요기간 : 4년, 예산 : 8억원 ○ 신뢰도기반의 교량 내하력 평가기술 실증·개선 및 평가매뉴얼 개발 · 소요기간 : 4년, 예산 : 9.5억원 ○ 노후 콘크리트교량 종합성능평가 실증 및 개선방안 도출 · 소요기간 : 4년, 예산 : 12억원 ○ 보수보강 및 종합성능평가 실증 DB의 BMS 연계체계 마련 · 소요기간 : 2년, 예산 : 4억원 ○ 중소 노후교량 유지관리 개선방안 제시 · 소요기간 : 3년, 예산 : 6억원 				
<p>7. 예상성과 및 활용처</p>	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="text-align: center;">최종 성과물</td> </tr> <tr> <td> <ul style="list-style-type: none"> ○ 다중데이터 분석을 통한 성능평가 알고리즘 ○ 성능평가 지침 및 예제집 ○ 종합성능평가 실증 성과보고서 및 개선방안(안) ○ BMS 연계 DB 확보 ○ 유지관리 매뉴얼 </td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">성과 활용처</td> </tr> <tr> <td> <ul style="list-style-type: none"> ○ 보수보강 및 유지관리업체 ○ 산학연 기초연구분야 ○ 정부 및 교량관리 주체 </td> </tr> </table>	최종 성과물	<ul style="list-style-type: none"> ○ 다중데이터 분석을 통한 성능평가 알고리즘 ○ 성능평가 지침 및 예제집 ○ 종합성능평가 실증 성과보고서 및 개선방안(안) ○ BMS 연계 DB 확보 ○ 유지관리 매뉴얼 	성과 활용처	<ul style="list-style-type: none"> ○ 보수보강 및 유지관리업체 ○ 산학연 기초연구분야 ○ 정부 및 교량관리 주체
최종 성과물					
<ul style="list-style-type: none"> ○ 다중데이터 분석을 통한 성능평가 알고리즘 ○ 성능평가 지침 및 예제집 ○ 종합성능평가 실증 성과보고서 및 개선방안(안) ○ BMS 연계 DB 확보 ○ 유지관리 매뉴얼 					
성과 활용처					
<ul style="list-style-type: none"> ○ 보수보강 및 유지관리업체 ○ 산학연 기초연구분야 ○ 정부 및 교량관리 주체 					
<p>8. 활용방안·기대효과</p>	<ul style="list-style-type: none"> ○ 교량 성능평가 기준의 정립을 통한 성능평가 프로세스의 정착화 ○ 객관적이고 정량적인 성능관리형 유지관리 체계 구축 ○ 노후교량의 보수보강 시기 결정 등 유지관리의 기초자료로 활용 ○ 노후교량의 사용수명 연장에 따른 사회간접비용 절감 기대 ○ 유지관리 소요예산 산정 시 객관적인 자료 제공 ○ 유지관리 전략 수립을 위한 DB로 활용 ○ 사전예측기반의 성능평가개념 도입을 통한 효율적인 유지관리체계 구축 ○ 성능유지관리 실현으로 합리적 예산관리 및 비용절감 실현 기대 ○ 노후교량의 보수보강 시기 결정 등 유지관리의 기초자료로 활용 ○ 노후교량의 사용수명 연장에 따른 사회간접비용 절감 기대 ○ 성능 및 잔존수명 예측에 대한 독자적인 기술력 확보 기대 ○ 유지관리 소요예산 산정 시 객관적인 자료 제공 ○ 유지관리 전략 수립을 위한 DB로 활용 ○ 최종 성과물을 활용하여, 상황발생 시 신속하고 안전한 보수보강을 수행할 수 있음 ○ 보수보강 기술 장기성능 시험법 및 성능평가를 바탕으로 안전하고 내구성이 향상된 보수보강 기법에 활용 ○ 장기 및 요구성능 평가 시험법은 국내 및 국제 표준으로 활용 가능 ○ 표준화된 보수보강 설계로 구조물 품질 향상 가능 				

4.5 연구내용별·연차별 최종성과지표

□ (1세부)중소 노후 콘크리트교량 장수명화를 위한 보수보강 실증 연구

〈1세부 연구내용별 성과지표〉

연구내용	성과지표				
	성과목표	성과지표	목표치	측정방법	설정근거
(1-1) 노후교량 실증 테스트베드 (T/B) 확보·활용 지원 및 총괄	정책개발	자문/평가위원회 구성	2건	위원회 구성	운영 및 평가체계 구축
	기술협약	상호협력약정	2건	상호협력약정서	T/B·철거교량 확보 및 실증실험
	실증 현장 확보 (T/B)	T/B·철거교량 확보	4건	현장 실증 및 지원 건수	실증 평가 목표 고려
	표준화	활용지침	2건	활용지침서 제시	활용성과 확대를 위한 활용지침서 제시
	연구성과 확산 노력	연구개발 관련 홍보	5건	홍보 건수	관련 학회 발표 등 행사 참관을 통한 연구성과 확산
(1-2) T/B·철거교량 활용 보수보강 기술 실증 및 개선 연구	현장실증	현장실증 및 지원	4건	성능평가 및 활용지원 건수	장수명화 현장 요소기술 성능검증
	테스트베드 구축 및 활용	테스트베드 설계·구축	4건	테스트베드 설계·구축 건수	
	테스트베드 구축 및 활용	테스트베드 운영 지침 및 매뉴얼	2건	테스트베드 운영 지침 및 매뉴얼 개발 건수	
	기술적 성능실증	보수보강 전후 성능실증	8건	보수보강 전후 성능실증 건수	
	기술성능목표달성	실증보고서	4건	실험검증보고서 확인	장수명화 요소기술 성능검증 및 평가
	표준화	매뉴얼	2건	보수보강 매뉴얼 제시	활용성과 확대를 위한 매뉴얼 제시
	학술적성과	국내외 학술지 논문 게재	3건	국내외 학술지 게재여부	기술적 가치 인정 필요
(1-3) 보수보강 재료·공법별 요구 성능 지표 및 평가시험 방법 개발	학술적성과	국내외 학술지 논문 게재	1건	국내외 학술지 게재여부	기술적 가치 인정 필요
		국내외 학술회의 발표	4건	국내외 학술회의 발표 여부	기술적 가치 인정 필요
	시험 및 조사관측 역량	요구성능 조사 실적	1건	조사 건수	요구성능 제시
	시험 및 조사관측 역량	지표 개발 실적	1건	지표 개발 건수	성능평가 지표 제시
	표준실험절차서	실험절차서 개발 건수	2건	부재별 표준실험절차서	표준화된 실험절차서 작성
	지식 재산권	특허출원/등록건수	1건	특허출원확인서 특허등록증	기술 가치 확보
(1-4) 보수보강 재료·공법별 설계 기준 및 시공절차서 작성	학술적성과	국내외 학술지 논문 게재	1건	국내외 학술지 게재여부	기술적 가치 인정 필요
		국내외 학술회의 발표	3건	국내외 학술회의 발표 여부	기술적 가치 인정 필요
	-	기준·지침 반영	1건	기준·지침 반영 건수	기술 가치 확보
	지식 재산권	특허출원/등록건수	1건	특허출원확인서 특허등록증	기술 가치 확보
	시험 및 조사관측 역량	매뉴얼 개발 실적	3건	매뉴얼 개발 건수	매뉴얼 제시
(1-5) 보수보강 교량의 장기성능 및 수명 예측 평가기술 개발		국내외 학술지 논문 게재	1건	국내외 학술지 게재여부	기술적 가치 인정 필요
		국내외 학술회의 발표	3건	국내외 학술회의 발표 여부	기술적 가치 인정 필요
	장기성능 예측 및 수명평가 알고리즘	S/W 등록 건수	2건	S/W 등록증 확인	성과목표 분야 1건 고려
		현장적용 건수 (시범적용, T/B 적용 등)	1건	현장적용 건수	실용화 목표 고려
		기술성능 목표 달성도	90%	기술성능검증 보고서 확인	신뢰도기반 교량 내하력 평가기술 고려

		인력양성	3명	국내외 기술연수 및 교육 건수	연차별 1명 연수 및 교육 기준
(1-6) 노후교량 고정밀 입력하중 측정시스템 개발	산업재산권	특허출원/등록건수	1건	특허출원확인서 특허등록증	기술가치 확보
	산업재산권	시제품 제작 건수	1건	시제품 제시	
	산업재산권	실험(성능)성적서	1건	실험(성능)성적서 제시	
	학술적성과	국내외 학술지 논문 게재	1건	국내외 학술지 게재여부	기술적 가치 인정 필요
		국내외 학술회의 발표	1건	국내외 학술회의 발표 여부	기술적 가치 인정 필요
(1-7) 노후교량 보강수준 센싱용 보 강재 개발	센서 내 시트형 보강재 개념설계서	특허출원(등록)건수 (국내)	1건	특허 출원 및 등록증 확인	연차별 1건 출원 기준
	보강효과 산정 알고리즘, 센서 내장형 센싱용 보강재 성능검증서	특허출원(등록)건수 (국내)	1건	특허 출원 및 등록증 확인	연차별 1건 출원 기준
	센싱용 보강재 내구성 검증서	국내외 학술회의 및 학술지 게재	2건	논문 게재 확인	-
		제품성능목표 달성도	95%	제품성능검증 보고서 확인	보강 수준 정량화 결과의 정확도 평가 필요
	센싱용 보강재 시스템, 테스트 베드 운용보고서	국내외 학술회의 및 학술지 게재	1건	논문 게재 확인	1억당 1건 계상
		S/W 등록 건수	1건	S/W 등록 건수	기술선점을 통한 사업화 기반 확보
		특허출원(등록)건수 (국내)	1건	특허 출원 및 등록증 확인	연차별 1건 출원 기준
		기술이전건수	1건	기술이전계약서 확인	성과목표 기술 이전 고려
테스트베드 구축 건수	1건	테스트베드 운용 확인	실용화 목표 고려		
(1-8) 노후교량 장기계측데이터 확 보 및 실증DB 제공	산업재산권	시스템 개발	2건	모니터링 및 보수보강 시스템 개발 건수	실증 DB구축 시스템 구축 필요
	산업재산권	S/W 등록 건수	2건	S/W 등록 건수	기술선점을 통한 사업화 기반 확보
	현장적용	현장적용 건수	3건	모니터링시스템 현장적용 건수 (시범적용 포함)	실용화 목표 달성 고려
	기술성능목표달성	구축보고서	3건	장기모니터링 구축보고서 확인	장기모니터링 시스템 설치 및 운영
	기술자료구축	DB구축	3건	장기모니터링 데이터 DB 구축 건수	장기모니터링 시스템 설치에 따른 생성자료 자료화
			14건	요소기술 성능 DB 구축	요소기술 실증에 따른 생성자료 자료화
	표준화	지침 및 매뉴얼	1건	DB활용 매뉴얼 제시	활용성과 확대를 위한 매뉴얼 제시
연구성과 확산 노력	연구개발 DB 구축/등록/활용	3건	DB 구축/등록/활용 건수	DB 구축을 통한 연구성과 확산	
(1-9) 계측데이터 기반 교량 노후 도 등급화 및 정량화 기술 개발	데이터 패턴 분석서	국내외 학술회의 및 학술지 게재	1건	논문 게재 확인	1억당 1건 계상
		특허출원(등록)건수 (국내)	1(1)건	특허 출원 및 등록증 확인	연차별 1건 출원 기준
	노후도 정량화 알고리즘	국내외 학술회의 및 학술지 게재	2건	논문 게재 확인	1억당 1건 계상
		특허출원(등록)건수 (국내)	2(2)건	특허 출원 및 등록증 확인	연차별 1건 출원 기준
	테스트 베드 운용보고서, 노후도 정량화 S/W	국내외 학술회의 및 학술지 게재	2건	논문 게재 확인	1억당 1건 계상
		S/W 등록	1건	S/W등록증 확인	성과목표 분야 1건 고려
		기술이전건수	1건	기술이전계약서 확인	성과목표 기술 이전 고려
테스트베드 구축 건수		1건	테스트베드 운용 확인	실용화 목표 고려	
(1-10) 노후교량 최적 보수보강 선정을 위한 의사결정 시스템 개발	학술적성과	국내외 학술회의 발표	2건	국내외 학술회의 발표 여부	기술적 가치 인정 필요
	산업재산권	시스템 개발	1건	보수보강 의사결정 시스템 개발 건수	기술가치 확보
	표준화	지침 및 매뉴얼	1건	시스템활용 매뉴얼 제시	활용성과 확대를 위한 매뉴얼 제시

<1세부 연차별 양적성과지표>

연구내용	성과지표					
	1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	5차년도	최종 성과 목표
(1-1) 노후교량 실증 테스트베드 (T/B) 확보·활용 지원 및 총괄	위원회 구성 (2건)					운영/자체 평가위원회 (2건)
	상호협력약정 (1건)	상호협력약정 (1건)				상호협력약정 (2건)
	T/B·철거교량 확보 (1건)	T/B·철거교량 확보 (1건)	T/B·철거교량 확보 (1건)	T/B·철거교량 확보 (1건)		T/B·철거교량 확보 (4건)
	성과홍보 (1건)	성과홍보 (1건)	성과홍보 (1건)	성과홍보 (1건)	성과홍보 (1건)	성과홍보 (5건)
			활용지침 (1건)		활용지침 (1건)	활용지침 (2건)
(1-2) T/B·철거교량 활용 보수보 강 기술 실증 및 개선 연구		현장 실증 및 지원 (1건)	현장 실증 및 지원 (1건)	현장 실증 및 지원 (1건)	현장 실증 및 지원 (1건)	T/B교량활용 현장 실증 및 활용지원 (4건)
		보수보강 전후 성능평가 실증 (2건)	보수보강 전후 성능평가 실증 (2건)	보수보강 전후 성능평가 실증 (2건)	보수보강 전후 성능평가 실증 (2건)	보수보강 전후 성능평가 실증 건수 (8건)
		실증보고서 (1건)	실증보고서 (1건)	실증보고서 (1건)	실증보고서 (1건)	실증보고서 (4건)
				보수보강 매뉴얼 (1건)	보수보강 매뉴얼 (1건)	보수보강 매뉴얼 (2건)
	국내외 학술지 논문 게재 (1건)		국내외 학술지 논문 게재 (1건)		국내외 학술지 논문 게재 (1건)	국내외 학술지 게재 건수 (3건)
	국내외 학술회의 발표 (1건)	국내외 학술회의 발표 (1건)	국내외 학술회의 발표 (1건)	국내외 학술회의 발표 (1건)	국내외 학술회의 발표 (1건)	국내외 학술회의 발표 건수 (5건)
		석박사졸업생 (1명)	석박사졸업생 (1명)	석박사졸업생 (1명)	석박사졸업생 (1명)	석박사졸업생 (4명)
(1-3) 보수보강 재료·공법별 요구 성능 지표 및 평가시험 방법 개발				국내외 학술지 논문 게재 (1건)		국내외 학술지 게재 건수 (1건)
	국내외 학술회의 발표 (1건)	국내외 학술회의 발표 (1건)	국내외 학술회의 발표 (1건)	국내외 학술회의 발표 (1건)		국내외 학술회의 발표 건수 (4건)
	요구성능 조사실적 (1건)					조사 건수 (1건)
	성능평가 지표 (1건)					지표 개발 건수 (1건)
		시험법, 표준시험절차 개발 (1건)	시험법, 표준시험절차 개발 (1건)			시험기법개발 건수 (2건)
				출원증명서 (1건)		특허출원(등록) 건수(국내) (1건)
(1-4) 보수보강 재료·공법별 설계 기준 및 시공절차서 작성					국내외 학술지 논문 게재 (1건)	국내외 학술지 게재 건수 (1건)
			국내외 학술회의 발표 (1건)	국내외 학술회의 발표 (1건)	국내외 학술회의 발표 (1건)	국내외 학술회의 발표 건수 (3건)
			매뉴얼 작성 (1건)	매뉴얼 작성 (1건)	매뉴얼 작성 (1건)	매뉴얼 개발건수 (3건)
					출원증명서 (1건)	특허출원(등록) 건수(국내) (1건)
					기준·지침 반영 (1건)	기준·지침 반영 건수 (1건)
(1-5) 보수보강 교량의 장기성능 및 수명 예측 평가기술 개발				국내외 학술지 논문 게재 (1건)	국내외 학술지 게재 건수 (1건)	

		국내외 학술회의 발표 (1건)	국내외 학술회의 발표 (1건) 등록증명서 2건	국내외 학술회의 발표 (1건)		국내외 학술회의 발표 건수 (3건) S/W 등록 건수 (2건) 현장적용 건수 (시범적용 등) (1건) 기술성능 목표 달성도 (90%)
(1-6) 노후교량 고정밀 입력하중 측정시스템 개발		특허출원/등록 (1건)				특허출원/등록 (1건) 시제품 (1건) 실험(성능)성적서 (1건)
	시제품 (1건)					
	실험(성능)성적서 (1건)		국내외 학술지 논문 게재 (1건)			국내외 학술지 게재 건수 (1건)
		국내외 학술회의 발표 (1건)				국내외 학술회의 발표 건수 (1건)
(1-7) 노후교량 보강수준 센싱용 보 강재 개발				국내외 학술지 논문 게재 (1건)		국내외 학술지 게재 건수 (1건)
		국내외 학술회의 발표 (1건)	국내외 학술회의 발표 (1건)	국내외 학술회의 발표 (1건)		국내외 학술회의 발표 건수 (3건)
	출원증명서 (2건)	출원증명서 (2건)				특허출원(등록)건수 (국내) (4)(4건) 기술이전건수 (1건)
		TB 운용보고서 (1건)		기술이전계약서 (1건)		테스트베드 구축 건수 (1건) S/W 등록증명서 (1건)
				S/W 등록 (1건)		
(1-8) 노후교량 장기계측데이터 확보 및 실증DB 제공		모니터링시스템 현장적용 (1건) 구축보고서 (1건) S/W등록증명서 (1건)	모니터링시스템 현장적용 (1건) 구축보고서 (1건)	모니터링시스템 현장적용 (1건) 구축보고서 (1건) S/W 등록 (1건)		모니터링시스템 현장적용 (3건) 구축보고서 (3건) S/W등록증명서 (2건)
		모니터링 DB시스템개발 (1건)	보수보강 DB시스템개발 (1건)			DB시스템개발 (2건)
		모니터링데이터 DB구축 (1건)	모니터링데이터 DB구축 (1건)	모니터링데이터 DB구축 (1건)		모니터링데이터 DB구축 (3건)
			보수보강 성능DB구축 (6건)	보수보강 성능DB구축 (5건)	보수보강 성능DB구축 (3건)	보수보강 성능DB구축 (14건)
			지침 및 매뉴얼 (1건)			지침 및 매뉴얼 (1건)
					국내외 학술지 논문 게재 (1건)	국내외 학술지 게재 건수 (1건)
				국내외 학술회의 발표 (1건)		국내외 학술회의 발표 건수 (1건)
(1-9) 계측데이터 기반 교량 노후도 등급화 및 정량화 기술 개발		출원증명서 (1건)				특허출원(등록)건수 (국내) 1(1)건
			국내외 학술회의 발표 (1건)	국내외 학술회의 발표 (1건)		국내외 학술지·학술회의 게재(발표) 건수 (2건)

			출원증명서 (1건)	출원증명서 (1건)		특허출원(등록)건수 (국내) 2(2)건
			국내외 학술지 논문 게재 (1건)	국내외 학술지 논문 게재 (1건)		국내외 학술지 게재 건수 (2건)
				S/W 등록 (1건)		S/W등록건수 (1건)
				기술이전계약서 (1건)		기술이전건수 (1건)
				TB 운용보고서 (1건)		테스트베드 구축 건수 (1건)
(1-10) 노후교량 최적 보수보강 선정을 위한 의사결정 시스템 개발			국내외 학술회의 발표 (1건)	국내외 학술회의 발표 (1건)		국내외 학술회의 발표 건수 (2건)
				시스템 개발 (1건)		시스템 개발 (1건)
					지침 및 매뉴얼 (1건)	지침 및 매뉴얼 (1건)

□ (2세부)중소 노후교량 종합성능평가 실증 및 개선방안 제시

〈2세부 연구내용별 성과지표〉

연구내용	성과지표				
	성과목표	성과지표	목표치	측정방법	설정근거
(2-1) 다중데이터(Multi-data) 분석을 통한 성능평가기술 개발	Multi-data를 활용한 성능평가 알고리즘 및 S/W	국내외 학술지 논문 게재	1건	국내외 학술지 게재여부	기술적 가치 인정 필요
		국내외 학술회의 발표	2건	국내외 학술회의 발표 여부	기술적 가치 인정 필요
	산업재산권	S/W 등록 건수	1건	S/W 등록증 확인	성과목표 분야 1건 고려
(2-2) 신뢰도기반의 교량 내하력 평가기술 실증·개선 및 평가매뉴얼 개발	평가기술 지침화 및 실용화	국내외 학술지 논문 게재	2건	국내외 학술지 게재여부	기술적 가치 인정 필요
		국내외 학술회의 발표	2건	국내외 학술회의 발표 여부	기술적 가치 인정 필요
		지침, 예제집	1건	S/W 등록증 확인	성과목표 분야 1건 고려
		현장적용 건수	1건	T/B적용 등	실용화 목표 고려
		지침, 예제집	1건	S/W 등록증 확인	성과목표 분야 1건 고려
		현장적용 건수	1건	T/B적용 등	실용화 목표 고려
		기술성능 목표 달성도	95%	기술성능검증 보고서 확인	신뢰도기반 교량 내하력 평가기술 고려
인력양성	2명	석박사 졸업생 수	분야별 인력양성 배출 실적 고려		
(2-3) 노후 콘크리트교량 종합성능평가 실증 및 개선방안 도출	학술적성과	국내외 학술지 논문 게재	2건	국내외 학술지 게재여부	기술적 가치 인정 필요
		국내외 학술회의 발표	2건	국내외 학술회의 발표 여부	기술적 가치 인정 필요
	기술적 성능실증	현장적용 건수	4건	T/B적용 등	실용화 목표 고려
	기술적 성능실증	시범적용 건수	2건	시범적용	실용화 목표 고려
(2-4) 보수보강 및 종합성능평가 실증 DB의 기존 BMS 시스템 연계체계 마련	학술적성과	국내외 학술지 논문 게재	1건	국내외 학술지 게재여부	기술적 가치 인정 필요
		국내외 학술회의 발표	1건	국내외 학술회의 발표 여부	기술적 가치 인정 필요
	지침/매뉴얼	연구성과 보고서	1건	연구성과 보고서 확인	성과목표 분야 1건 고려
(2-5) 중소 노후교량 유지관리 개선 방안 제시	지침/매뉴얼	국내외 학술지 논문 게재	1건	국내외 학술지 게재여부	기술적 가치 인정 필요
		국내외 학술회의 발표	2건	국내외 학술회의 발표 여부	기술적 가치 인정 필요
		연구성과 보고서	1건	연구성과 보고서 확인	성과목표 분야 1건 고려

〈2세부 연차별 양적성과지표〉

연구내용	성과지표					
	1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	5차년도	최종 성과 목표
(2-1) 다중데이터(Multi-data) 분석을 통한 성능평가기술 개발				국내외 학술지 논문 게재 (1건)		국내외 학술지 게재 건수 (1건)
			국내외 학술회의 발표 (1건)		국내외 학술회의 발표 (1건)	국내외 학술회의 발표 건수 (2건)
				S/W 등록 (1건)		S/W 등록증명서 (1건)
(2-2) 신뢰도기반의 교량 내하력 평가기술 실증·개선 및 평가 매뉴얼 개발		국내외 학술지 논문 게재 (1건)		국내외 학술지 논문 게재 (1건)		국내외 학술지 게재 건수 (2건)
	국내외 학술회의 발표 (1건)		국내외 학술회의 발표 (1건)			국내외 학술회의 발표 건수 (2건)
		현장적용 1건 지침, 예제집 1건		현장적용 1건 지침, 예제집 1건		현장적용 건수 (시범적용, T/B적용 등) (2건) 지침, 예제집 (2건)
		현장적용 1건 지침, 예제집 1건		현장적용 1건 지침, 예제집 1건		현장적용 건수 (시범적용, T/B적용 등) (2건) 지침, 예제집 (2건)
		검증보고서 60%		검증보고서 95%		기술성능 목표 달성도 (95%)
		석박사졸업생 1명		석박사졸업생 1명		인력양성 (2명)
(2-3) 노후 콘크리트교량 종합성능 평가 실증 및 개선방안 도출			국내외 학술지 논문 게재 (1건)		국내외 학술지 논문 게재 (1건)	국내외 학술지 게재 건수 (2건)
		국내외 학술회의 발표 (1건)		국내외 학술회의 발표 (1건)		국내외 학술회의 발표 건수 (2건)
			현장적용 2건	현장적용 2건		현장적용 건수 (시범적용, T/B적용 등) (4건)
				시범적용 2건		시범적용 건수 (2건)
(2-4) 보수보강 및 종합성능평가 실증 DB의 기존 BMS 시스템 연계체계 마련		국내외 학술지 논문 게재 (1건)				국내외 학술지 게재 건수 (1건)
	국내외 학술회의 발표 (1건)					국내외 학술회의 발표 건수 (1건)
		연구성과 보고서 (1건)				연구성과 보고서 건수 (1건)
(2-5) 중소 노후교량 유지관리 개선 방안 제시					국내외 학술지 논문 게재 (1건)	국내외 학술지 게재 건수 (1건)
			국내외 학술회의 발표 (1건)	국내외 학술회의 발표 (1건)		국내외 학술회의 발표 건수 (2건)
				매뉴얼 1건		매뉴얼 건수(1건)

4.6 기술로드맵

□ 중기 목표

- 실증 T/B를 활용한 노후교량 장수명화 연구를 위한 선순환체계를 마련하고 보수보강 요소기술 실증·개선 등 핵심 요소기술 개발
 - * 노후교량 성능평가 기준체계를 마련하여 향후 노후교량 또는 노후도의 우려가 있는 교량에 대해 선제적으로 대응
 - * 노후교량 장수명화 요소기술 적용을 통한 유지관리 및 보수보강시 약 30% 이상의 수명 연장 실현이 가능하며, 신축·개축 대비 2~3배의 비용절감 효과 기대

중소 노후교량 장수명화 요소기술 실증 및 최적화 연구	
연구 목표	<ul style="list-style-type: none"> ○ 노후교량 장수명화 연구기반 구축 및 보수보강 요소기술 실증 ○ 노후교량 보수보강 성능평가 절차 및 설계기준 개발 ○ 실증을 통한 노후교량 성능평가 기술 검증개선 및 장기성능예측기술 개발 ○ 장수명화 요소기술을 적용한 노후교량 유지관리 체계 개선
연구단 최종 목표	<ul style="list-style-type: none"> ○ 노후교량 보수보강 요소기술의 실증 및 최적화를 통해 상용화·사업화 및 동남아시아 등 해외 교량 유지관리 시장 진출 지원 ○ FMS, BMS 등 기존 교량 유지관리시스템과의 연계를 통한 DB 연계·제공 및 교량 관리주체(정부, 지자체 등)의 보수보강 최적 의사결정 지원 ○ 교량 장수명화 원천기술의 민간 전문업체 기술이전 추진 ○ 교량 관리주체(정부, 지자체 등)의 기술적 판단력 제고를 위해 최적 보수보강 의사결정 시스템 구축 및 보급

□ 기술로드맵(TRM)

- 5년간 총 2개의 세부과제에 대해 15개의 세세부과제(요소기술) 추진

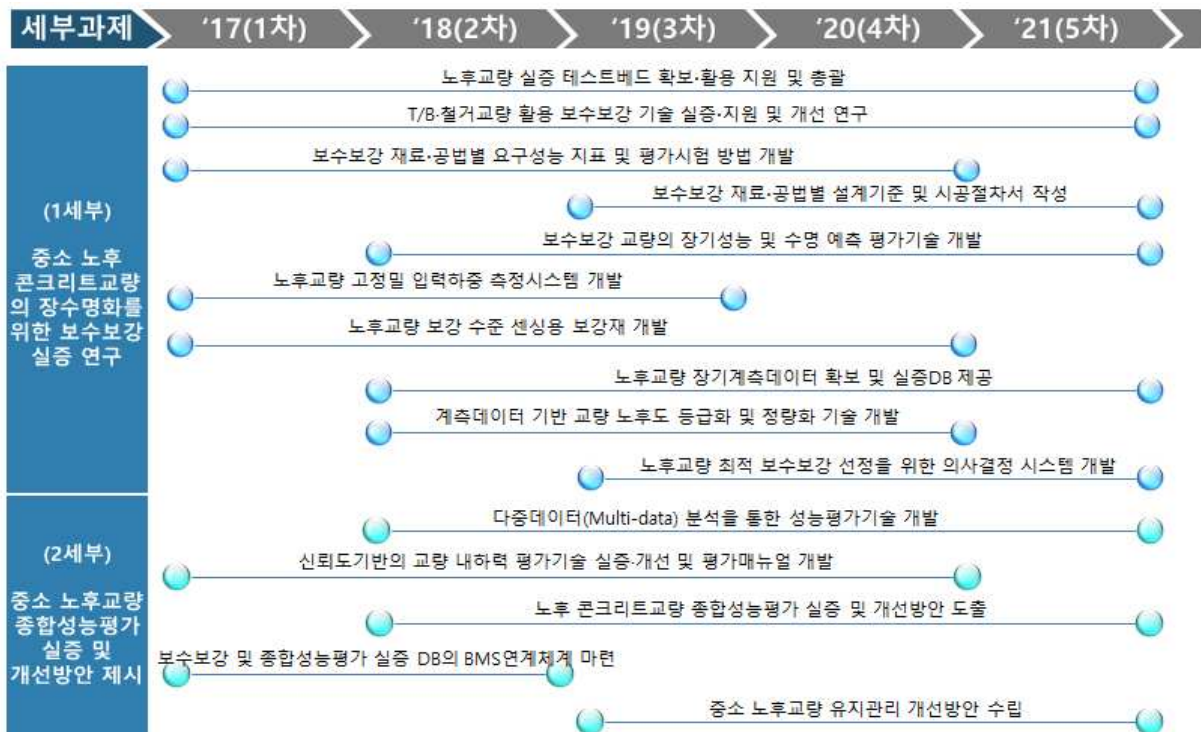


그림 4-37. 연구개발 기술로드맵(TRM)

제5장

세부과제 및 소요예산(안)

5.1 연차별 추진계획

□ (1세부)중소 노후 콘크리트교량의 장수명화를 위한 보수보강 실증 연구

주요 연구내용	연차별 추진계획				
	1차년	2차년	3차년	4차년	5차년
○ 노후교량 실증 테스트베드(T/B) 확보·활용 지원 및 총괄					
○ T/B·철거교량 활용 보수보강 기술 실증·지원 및 개선 연구					
○ 보수보강 재료·공법별 요구성능 지표 및 평가시험 방법 개발					
○ 보수보강 재료·공법별 설계기준 및 시공절차서 작성					
○ 보수보강 교량의 장기성능 및 수명 예측 평가기술 개발					
○ 노후교량 고정밀 입력하중 측정시스템 개발					
○ 노후교량 보강수준 센싱용 보강재 개발					
○ 노후교량 장기계측데이터 확보 및 실증DB 제공					
○ 계측데이터 기반 교량 노후도 등급화 및 정량화 기술 개발					
○ 노후교량 최적 보수보강 선정을 위한 의사결정 시스템 개발					

□ (2세부) 중소 노후교량 종합성능평가 실증 및 개선방안 제시

주요 연구내용	연차별 추진계획				
	1차년	2차년	3차년	4차년	5차년
○ 다중데이터(Multi-data) 분석을 통한 성능평가기술 개발					
○ 신뢰도기반의 교량 내하력 평가기술 실증·개선 및 평가매뉴얼 개발					
○ 노후 콘크리트교량 종합성능평가 실증 및 개선방안 도출					
○ 보수보강 및 종합성능평가 실증 DB의 BMS 연계체계 마련					
○ 중소 노후교량 유지관리 개선방안 수립					

5.2 소요예산(안)

5.2.1 소요예산 총괄

□ 총 정부출연금(5년간): 20,000백만원

< 세부과제별 예산(안) >

세부과제	연차별 소요예산(안), [백만원]					계
	1차년	2차년	3차년	4차년	5차년	
[1세부] 중소 노후 콘크리트교량 장수명화를 위한 보수보강 실증 연구	700	4,080	4,550	4,350	2,370	16,050
○ 노후교량 실증 테스트베드(T/B) 확보·활용 지원 및 총괄	150	150	150	150	150	750
○ T/B·철거교량 활용 보수보강 기술 실증·지원 및 개선 연구	130	2,000	2,000	2,000	1,020	7,150
○ 보수보강 재료·공법별 요구성능 지표 및 평가시험 방법 개발	150	300	300	300	-	1,050
○ 보수보강 재료·공법별 설계기준 및 시공절차서 작성	-	-	300	300	300	900
○ 보수보강 교량의 장기성능 및 수명 예측 평가기술 개발	-	200	200	200	200	800
○ 노후교량 고정밀 입력하중 측정시스템 개발	120	280	200	-	-	600
○ 노후교량 보강수준 센싱용 보강재 개발	150	400	400	400	-	1,350
○ 노후교량 장기계측데이터 확보 및 실증DB 제공	-	500	500	500	450	1,950
○ 계측데이터 기반 교량 노후도 등급화 및 정량화 기술 개발	-	250	250	250	-	750
○ 노후교량 최적 보수보강 선정을 위한 의사결정 시스템 개발	-	-	250	250	250	750
[2세부] 중소 노후교량 종합성능평가 실증 및 개선방안 제시	300	1,050	1,000	900	700	3,950
○ 다중데이터(Multi-data) 분석을 통한 성능평가기술 개발	-	200	200	200	200	800
○ 신뢰도기반의 교량 내하력 평가기술 실증·개선 및 평가매뉴얼 개발	150	300	300	200	-	950
○ 노후 콘크리트교량 종합성능평가 실증 및 개선 방안 도출	-	300	300	300	300	1,200
○ 보수보강 및 종합성능평가 실증 DB의 BMS 연계체계 마련	150	250	-	-	-	400
○ 중소 노후교량 유지관리 개선방안 수립	-	-	200	200	200	600
계	1,000	5,130	5,550	5,250	3,070	20,000

5.2.2 세부과제별 소요예산

□ (1세부)중소 노후 콘크리트교량 장수명화를 위한 보수보강 실증 연구

최종목표	연구내용	예산 (백만원)
노후교량 장수명화 연구기반 구축 및 보수보강 요소기술 실증	□ 노후교량 실증 테스트베드(T/B) 확보·활용 지원 및 총괄	750
	○ 연구단 운영체계 구축 및 총괄 (자체평가지표 작성, 자문/자체평가위원회 구성 등)	500
	○ T/B-철거교량 현황조사 및 확보/교량관리주체(국토부, 지자체 등)와 T/B교량 활용 협력체계 구축 - 실증 대상교량 선정, 현지조사, 관련기관 협의 추진 등에 대한 세부 계획 수립	150
	○ 장수명 요소기술 실증을 위한 T/B-철거교량 활용방안 마련	
	○ 노후-철거교량의 R&D 지속 활용 및 선순환 방안 수립	100
	□ T/B·철거교량 활용 보수보강 기술 실증 및 개선 연구	7,150
	○ 교량형식, 노후도별 보수보강 기술 조사 및 분석	200
	○ 기존 보수보강 기술의 검증개선 대상 우선순위 선정	
	○ T/B-철거교량 활용 기존 보수보강 기술 실증	4,900
	○ 보수보강 전후 성능비교, 효과분석 및 성능 정량화	
	○ 교량형식 및 노후도별 보수보강 목표 요구성능 및 보강성능등급 설정	1,050
	○ 기존 보수보강 기술 개선사항 도출	
	○ 교량형식 및 노후도를 고려한 보수보강 기술 성능개선-개량	1,000
	○ T/B교량 적용을 통한 성능개선 검증 및 효과 분석	
	□ 보수보강 재료·공법별 요구성능 지표 및 평가시험 방법 개발	1,050
	○ 교량의 손상 종류, 원인 등에 대한 사전 조사 및 분석	
	○ 기존 보수보강 재료·공법별 요구성능 분석 및 성능조사	150
	○ 실제 적용된 보수보강 교량에 대한 현장 조사 및 문제점 분석	
	○ 검토대상 보수보강 기법에 대한 우선순위 선정	
	○ 교량 형식/부재별 노후도에 따른 대표 보수보강 재료 및 공법 선정	200
	○ 대표 보수보강 재료·공법에 대한 요구성능별 성능평가 지표 설정	
○ 보수보강 요구성능별 평가항목 및 평가시험법 개발 - 보수보강 기술 장기성능 검증 시험 및 데이터 추적 - 주요 환경요인별 장기 촉진 시험법 - 이종재료 결합성능 평가시험법 개발 - 교량 노후도를 고려한 보수보강 요소성능 수준 설정	500	
○ 부재별 표준실험절차 작성 - 교량 부재별·노후도별 실증을 통한 지침 개발 및 매뉴얼 작성	200	
□ 보수보강 재료·공법별 설계기준 및 시공절차서 작성	900	
○ 기존 보수보강 재료 및 공법에 대한 성능개선 목표 설정	150	
○ 대상 보수보강 재료·공법별 표준 보수보강 설계기준 작성	300	
○ 교량 노후현상 및 노후도별 보강 시나리오·매뉴얼 작성		
○ T/B 적용을 반영한 시공절차서 및 매뉴얼 작성(품질관리 요령 등)	300	
○ 보수보강 매뉴얼 작성(설계서, 시공절차서, 유지관리매뉴얼 등)		
○ 최적 보수보강 의사결정 시스템 반영	150	
□ 보수보강 교량의 장기성능 및 수명 예측 평가기술 개발	800	
○ 국내외 교량의 성능저하 예측 및 수명 평가기법 조사·분석		
○ 국내외 교량 형식별 수명·성능 저하요인 관련 연구 조사·분석	100	
○ 국내외 교량의 성능·수명예측에 활용되는 데이터 수집		

<ul style="list-style-type: none"> ○인공지능(AI) 기술 기반의 교량 장기성능예측 모델 및 수명평가 프로세스의 정립(neural network, genetic algorithm 등 데이터 딥러닝, 통계 기법, 패턴인식 기법적용) 	200
<ul style="list-style-type: none"> ○평가 항목에 따른 교량 부재별 성능저하·성능예측 모델 개발 및 검증 	250
<ul style="list-style-type: none"> ○성능평가·성능향상 결과데이터를 활용한 교량의 장기성능예측 및 수명평가가 프로세스의 검증(시뮬레이션 데이터 포함) 	
<ul style="list-style-type: none"> ○T/B 교량의 평가 데이터를 활용하여 개발한 장기성능 예측모델과 수명평가 기술의 적용 및 검증 	150
<ul style="list-style-type: none"> ○결과 분석을 통한 개발 기술의 보완 및 정립 	100
□ 노후교량 고정밀 입력하중 측정시스템 개발	600
<ul style="list-style-type: none"> ○기존 교량용 WIM 시스템 조사 분석 ○Extensometer 기반 WIM 센서 스펙 결정 및 설계 ○기존의 교량에 대한 정량적 응답평가의 현황 및 문제점 분석 ○정확한 하중-응답 관계를 통한 노후교량의 상태평가 방안 마련 	120
<ul style="list-style-type: none"> ○고정밀 광섬유 extensometer 기반 WIM 센서 시작품 제작 ○실내외 검증실험 및 보완 	280
<ul style="list-style-type: none"> ○기존 교량 장기계측 모니터링 시스템과의 연계기술 개발 ○T/B교량 적용 검증 및 실용화 패키지 개발 	200
□ 노후교량 보강수준 센싱용 보강재 개발	1,350
<ul style="list-style-type: none"> ○보강재 내장 가능 최적 센서 유형 선정, 배치 등 및 개선(안) 제시 ○센싱 결과 기반의 보강 효과 분석 프로세스 개념 정립 	150
<ul style="list-style-type: none"> ○보강재 보강 효과-센싱 데이터 상관성 분석 ○센서 내장형 보강재 시작품 제작 및 적용을 통한 성능검증 실험 실시 	450
<ul style="list-style-type: none"> ○보강재 내장 센서용 DAQ 장치 시스템 설계 ○보강재 보강효과 산정시스템 패키지화 구현 ○보강효과 산정 알고리즘 프로그래밍화 구현 ○테스트 베드 적용 및 활용분석 	450
<ul style="list-style-type: none"> ○알고리즘 & DAQ시스템 보완 및 실용화 패키지 개발 	300
□ 노후교량 장기계측데이터 확보 및 실증DB 제공	1,950
<ul style="list-style-type: none"> ○국내 교량 장기모니터링 시스템 사례조사 및 분석 ○장기계측 데이터 DB현황/활용사례 조사 및 분석 ○노후교량에 적합한 최적 센서위치, 측정물리량, 계측시스템 설계 	200
<ul style="list-style-type: none"> ○노후교량 계측Data 확보를 위한 모니터링시스템 설치 및 운영 	800
<ul style="list-style-type: none"> ○장기계측/보수보강/성능평가 DB구축 시스템 설계 ○장기계측/보수보강/성능평가 실증Data 확보 및 공유활용 시스템 구축 	550
<ul style="list-style-type: none"> ○장기계측/보수보강/성능평가 DB 활용방안(지침,매뉴얼) 수립 ○장기계측/보수보강/성능평가 실증Data DB화 및 공개 서비스 	400
□ 계측데이터 기반 교량 노후도 등급화 및 정량화 기술 개발	750
<ul style="list-style-type: none"> ○노후교량 계측 데이터 유형 분석 및 교량 신호 패턴 분석 ○교량 노후도 등급화 및 정량화 개념 정립 	150
<ul style="list-style-type: none"> ○계측 데이터 프로세싱 기반 노후도 등급화 및 정량화 모듈 개발 ○기존 알고리즘 연계 및 검증 ○등급화·정량화 기술 적용 테스트 베드 구축 방안 수립 	150
<ul style="list-style-type: none"> ○T/B 교량 정량화 기술 적용, 분석 및 활용방안 마련 ○노후도 정량화·등급화 알고리즘 보완 및 실용화 패키지 개발 	450
□ 노후교량 최적 보수보강 선정을 위한 의사결정 시스템 개발	750
<ul style="list-style-type: none"> ○노후교량의 보수보강 의사결정 알고리즘 개발 및 시스템 설계 	500

	<ul style="list-style-type: none"> ○ 노후교량의 보수보강 의사결정 시스템 구축 및 보수보강 실증DB 연동 ○ 실증을 통한 보완 및 실용화 패키지 개발 	250
계		16,050

□ (2세부) 중소 노후교량 종합성능평가 실증 및 개선방안 제시

최종목표	연구내용	예산 (백만원)
교량의 종합성능평가 실증 및 개선방안 마련	□ 다중데이터(Multi-data) 분석을 통한 성능평가기술 개발	800
	○ 국내외 Multi-data를 활용한 진단 기법 조사·분석	150
	○ 관련 기술·연구 동향 파악	
	○ 신뢰도기반의 교량 내하력 평가 기술과의 연계 방안 마련	250
	○ data별 특성분석을 통한 Multi-data 관계 정립(상호연관성 분석)	
	○ Multi-data간 연계성을 적용한 모듈화 진단 및 평가 연동 프로세스 MAP 개발 - Multi-data별 구조적 특성 추출 및 이를 이용한 데이터간 관계분석 - Multi-data간 관계 정립을 통해 계측data 기반 교량 취약부 분석 - 모듈화된 교량 진단 알고리즘 개발 및 수치예제시물레이션을 통한 검증 - 모듈화 진단 알고리즘의 관계도 연계 성능평가 연동 프로세스 MAP 개발	400
	□ 신뢰도기반의 교량 내하력 평가기술 실증·개선 및 평가매뉴얼 개발	950
	○ 국내외 신뢰도기반 내하력 평가기술 조사 및 분석	
	○ 해석모델 업데이트 알고리즘 정립 및 통계특성 업데이트 기법 개발	150
	○ 통계특성 업데이트 기법을 적용한 신뢰도기반 내하력평가 프로세스 개선	
	○ 신뢰도기반 교량 내하력 평가 지침(초안) 작성	
	○ 현장실험을 통한 콘크리트교량의 형식별 신뢰도기반 내하력 평가 프로세스 검증 및 보완	300
	○ 매뉴얼예제집 작성(콘크리트교: RC Slab, RC/PSC Beam, PSC Box Girder)	
	○ 현장실험을 통한 강교 및 강합성교량의 형식별 신뢰도기반 내하력 평가 프로세스 검증 및 보완	400
	○ 매뉴얼예제집 작성(강교 및 강합성교: Steel Plate Girder, Steel Box Girder)	
	○ 국외 기준들과의 비교·분석을 통한 지침의 타당성 검증	100
	○ 지침 개선 및 매뉴얼·예제집 보완	
	□ 노후 콘크리트교량 종합성능평가 실증 및 개선방안 도출	1,200
	○ 기존 또는 개발중인 교량 종합성능평가 프로세스 활용을 통해 실제 적용·연계 방안 마련	300
	○ 종합성능평가 대상 실증 T/B 교량 및 적용 기법 선정	
○ 다중데이터(Multi-data) 활용 내하성능평가 개발기술의 실증 테스트베드 적용 및 종합성능평가를 위한 실증연구 추진 - 모듈화 진단 및 평가 통합 프로세스 적용 및 검증 - 시물레이션 및 Multi-data기반의 모듈화 진단 및 평가 연동 프로세스 검증 - 상태평가, 안전성, 사용성, 기능성 평가 등 종합성능평가 프로세스	300	
○ 노후 T/B교량 활용 개발된 신뢰도기반 내하력 평가 프로세스 검증 및 기술의 실용화 - 신뢰도기반 내하력평가 프로세스 정립 및 실용화 패키지 개발	400	
○ 교량 형식별 현장 실증실험을 통한 내하력평가 결과와 비교·검토		
○ 중소 안전진단 업체를 대상으로 성능평가 개발 기술 시범적용 실시	200	
□ 보수보강 및 종합성능평가 실증 DB의 BMS 연계체계 마련	400	
○ 국내외 교량 유지관리 사례 조사 및 분석(국내 BMS 운영 현황 분석)	150	
○ 노후교량 유지관리 제도 개선(안) 마련	250	
○ BMS 데이터 연계 활용 방안 수립(정보활용 및 정보제공 방안)		
□ 중소 노후교량 유지관리 개선방안 수립	600	
○ 기존 교량 유지관리 기준, 지침, 매뉴얼 조사 및 분석		
○ 기존 교량 생애주기비용 알고리즘 분석 및 유지관리 예산 투입 사례 분석	150	
○ 노후교량 유지관리 개념 정립 및 중장기적 정책 제안 방안 마련		
○ 노후교량 보수보강/성능평가를 고려한 최적 유지관리체계 구축 전략	250	
○ 노후교량 보수보강/성능평가를 고려한 생애주기비용 산정 개선		
○ 노후교량 장수명화를 위한 중·장기 계획 수립 및 정책 제안	200	
○ 생애주기(LC)기반 노후교량 장수명화 유지관리 매뉴얼 개발		
계		3,950

□ T/B·철거교량 활용 요소기술 실증실험 세부예산(안)

구분	범위 및 방법	단가 (백만원)	단위	수량		소요예산 (백만원)	
				교량 (개소)	수량/ 공법		
(1) T/B & 노후교량 활용 장수명화 요소기술 실증							
T/B교량 현장실증 (영구폐쇄 미철거)	기본 보수보강공법 실증	보수보강 전후	110	1식	5	2	1,100
	보수보강공법 개선	보수보강 후	70	1식	5	2	700
	소계		-	-	-	-	1,800
철거교량 활용 실증실험	현장실험	보수보강 전	40	1식	2	1	80
		부수보강 후	70	1식	2	2	280
		철거/폐기	120	1식	2	1	240
		하중재하장치 제작	200	1식	1	1	200
	실내실험	부재 성능검증 실험	50	1식	6	4	1,200
		장치 성능검증 실험	30	1식	6	2	360
		철거/운송/폐기	140	1식	6	1	840
	소계		-	-	-	-	3,200
계		-	-	-	-	5,000	
(2) T/B교량 활용 장기모니터링 및 요소기술 성능DB 구축 서비스							
○ 현장 장기모니터링 계측시스템 설치		100	1식	8	-	800	
계		-	-	-	-	800	
(3) T/B교량 활용 신뢰도기반 성능평가 기술·기준 개선							
○ 현장 실증실험(T/B교량 5개소 & 강교량 2개소)		70	1식	7	2	980	
계		-	-	-	-	980	
합계						6,780	

※ 철거교량 확보는 교량관리주체와 협의에 따라 변동될 수 있음

5.3 소요인력(안)

□ 총 인력투입 계획(5년간): 270명

< 세부과제별 인력투입 계획(안) >

세부과제	연차별 인력투입 계획(안), [명]					계
	1차년	2차년	3차년	4차년	5차년	
[1세부] 중소 노후 콘크리트교량 장수명화를 위한 보수보강 실증 연구	13	51	53	49	33	199
○ 노후교량 실증 테스트베드(T/B) 확보·활용 지원 및 총괄	3	2	2	2	2	11
○ T/B·철거교량 활용 보수보강 기술 실증·지원 및 개선 연구	2	17	16	16	14	65
○ 보수보강 재료·공법별 요구성능 지표 및 평가시험 방법 개발	2	5	4	4	-	15
○ 보수보강 재료·공법별 설계기준 및 시공절차서 작성	-	-	5	5	5	15
○ 보수보강 교량의 장기성능 및 수명 예측 평가기술 개발	-	3	3	3	3	12
○ 노후교량 고정밀 입력하중 측정시스템 개발	3	4	3	-	-	10
○ 노후교량 보강수준 센싱용 보강재 개발	3	7	6	6	-	22
○ 노후교량 장기계측데이터 확보 및 실증DB 제공	-	7	6	6	6	25
○ 계측데이터 기반 교량 노후도 등급화 및 정량화 기술 개발	-	6	5	4	-	15
○ 노후교량 최적 보수보강 선정을 위한 의사결정 시스템 개발	-	-	3	3	3	9
[2세부] 중소 노후교량 종합성능평가 실증 및 개선방안 제시	6	19	17	16	13	71
○ 다중데이터(Multi-data) 분석을 통한 성능평가기술 개발	-	5	4	4	4	17
○ 신뢰도기반의 교량 내하력 평가기술 실증·개선 및 평가매뉴얼 개발	3	4	3	3	-	13
○ 노후 콘크리트교량 종합성능평가 실증 및 개선 방안 도출	-	5	5	4	4	18
○ 보수보강 및 종합성능평가 실증 DB의 BMS 연계체계 마련	3	5	-	-	-	8
○ 중소 노후교량 유지관리 개선방안 수립	-	-	5	5	5	15
계	19	70	70	65	46	270

6.1 활용방안

□ 기술적 측면

- 『장수명화 연구기반 구축 및 요소기술 실증』 노후교량 최적유지관리 시스템은 교량 관리 주체, 관련 기술 개발 업체 등에서 공동 활용이 가능하며, 보수보강 시기 및 공법 의사 결정을 위한 지침으로 활용
- 『장수명화 성능평가 및 잔존수명 예측기술』 성능관리형 노후교량 유지관리 체계를 구축하며, 종합 노후교량 성능평가 기준의 정립을 통한 프로세스 정량화
- 『장수명화 데이터 계측, 보수보강 기법기술』 표준화된 보수보강 기법을 적용하여 교량의 내구성을 증진 시키며, 데이터 분석 알고리즘을 통한 교량 및 타 시설물 안전도 평가

□ 사회·경제적 측면

- 『노후(철거)교량 유지관리 인프라산업 강화』 향후 노후교량 유지관리 사업의 추진을 위한 계획 및 설계에 활용하며 이에 대한 경험을 축적함으로써 노후교량 유지관리체계가 미흡한 동남아시아 등 해외 노후교량산업 시장 Total Solution 동반진출, 일자리 창출, 창조경제 기여
- 『노후(철거) 교량 수명연장을 위한 선순환 체계 마련』 T/B실증을 통한 각 요소기술의 연구를 활용한 기술경쟁력 확보, 정부 및 교량관리주체에서 보수보강 공법 결정을 위한 자료로 활용하여 사용수명 연장에 따른 사회간접비용 절감 기대
- 『R&D 신기술 신뢰성 확보 및 기술사업화 촉진』 노후(철거)교량 T/B실증을 통한 첨단 유지관리기술(보수보강, 모니터링 등)의 신뢰성을 향상시켜 성과의 확산을 통한 체계적인 검인증 체계의 확립
- 『T/B활용 기술교육』 노후·철거교량 T/B활용 해석 및 적용을 위한 관련 분야 대학/대학원생 또는 전문가 양성 및 교육 프로그램 및 전문시험 인력 교육 양성

□ 정책적 측면

- 노후교량 장수명화 요소기술의 최종 실무수요자는 주관부처인 국토교통부를 비롯해 공사, 공단 정부부처 뿐만 아니라, 지자체가 되며 노후화된 교량 특성 변화에 능동적으로 대응

할 수 있는 관련 법·제도·정책 마련으로 국민의 생명과 재산 보호

- 교량뿐만 아니라, 다양한 SOC 노후시설물 업무에 지원 가능하며 향후 제4차 시설물의 안전 및 유지관리 기본계획 수립시 국가 차원의 교량 최적유지관리체계 마련 및 관련 정책 수립에 활용
- 국가차원의 교량 유지관리체계 마련 및 노후교량 관련 정책 수립에 활용
- 시특법 개정시 장수명화 노후교량 기술요소를 의사결정 기초자료로 활용
- 신설 교량위주의 건설정책에서 노후교량 성능개선, 예방적 유지관리 및 안전에 대한 선제적인 대응으로 우리나라 건설산업 패러다임 변화로 국민의 삶의 질적 향상에 기여

6.2 기대효과

- 국가 SOC 시설물(교량)의 유지보수 예산 절감에 크게 기여
- 노후교량 안전성 확보를 통한 국민의 안전 인식도 향상
- 노후교량 장수명화 요소기술 적용을 통해 수명연장이 가능하여 국민안전 복지 실현
- 정부의 노후교량에 대한 선제적 기술개발 대응을 통해 미래 유지보수 비용을 연간 약 1,000억원 이상의 경제적 예산 절감 기대
- 교량 안전성 확보를 통한 국민의 안전 인식도 향상
- 기존 BMS연동 노후교량 장수명화 통합 관리 시스템 구축의 효율성 제고
- 장수명화 요소기술인 보수보강, 모니터링 및 유지관리 분야의 실증실험 및 기술개발로 내수경제 활성화와 민간자본 투자확대로 국내 노후교량 시장 규모 확대 가능

참고1

과제 제안요구서(RFP(안))

연구개발과제명	중소 노후 콘크리트교량 장수명화 요소기술 실증 및 최적화 연구
1. 연구개발 목표	<ul style="list-style-type: none"> ○ 중소 노후 콘크리트교량의 공용수명 연장을 위한 장수명화 기술 확보 및 철거(폐)교량 실증연구를 통한 선순환 연구기반 마련 <ul style="list-style-type: none"> - 중소 노후 콘크리트교량 장수명화를 위한 보수보강 실증 연구 - 중소 노후교량 종합성능평가 실증 및 개선방안 제시
2. 연구개발의 필요성 및 기술동향	<p data-bbox="167 689 343 779">□ 연구개발의 필요성</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ 최근, 안전사고·재해 등으로 국민의 안전인식도가 급격히 낮아진 상태로, 시설물 전반에 대한 불안감 증가 및 노후교량 문제가 사회적 이슈로 대두 <ul style="list-style-type: none"> - 교량의 노후화는 내구연한 단축과 서비스 수준의 저하를 유발하여 교통흐름을 방해하고, 국민 안전인식도 하락은 정부의 안전시책 불신으로 이어져, 내수 위축 및 국가 전체 경제의 악영향을 초래 - 급격한 노후교량(공용 30년 이상)의 증가로 적기의 체계적인 유지보수·개량 미흡시 미래세대에 대한 경제적 부담과 국가 안전망에 큰 위협 초래 <ul style="list-style-type: none"> * '15.12 기준 전체 교량 30,983개 중에 공용년수 30년 이상 경과한 교량은 3,057개(9.9%)이며, 향후 10년 후에는 9,576개(30.9%), 20년 후에는 21,737개(70.2%)로 크게 증가 예상 - 1,2종 교량시설물의 경우 「시설물의 안전관리에 관한 특별법」에 의해 유지관리가 체계적으로 수행되고 있으나, 지자체 관리대상 및 종외 교량시설물은 상대적으로 관리가 취약한 상황 <ul style="list-style-type: none"> * 시설물에 대한 사회안전 인식도 불만족율: ('05년) 36.8% → ('10년) 21.9% → ('14년) 51.3% * 서울 정릉천고가교 텐던 파단('16.02)으로 내부순환로 7.5km구간 전면 통제(일일 통행량 10만대) 되었으며 이로 인한 경제·사회적 손실은 최소 500억원 이상으로 추정됨 - 설계·시공 품질관리 능력이 부족했던 '70년대에 건설한 중소 콘크리트교량이 30~40년 이상 사용되고 있고, 그동안 보수보강 미흡으로 체계적인 관리가 되지 못할 경우 향후 심각한 인명재해 발생 우려 ○ 최근 5년간 정부의 교량 유지관리*에 투입된 국가 예산이 3배 이상 급증하고 있으며, 특히 재정자립도가 취약한 지자체의 부담이 고조됨에 따라 노후교량에 대한 유지관리 재정 부담을 완화하기 위해서는 예방적 보수보강·유지관리 대책 마련이 필요 <ul style="list-style-type: none"> * (정부) 노후교량 개축, 저등급교량 성능개선, 기존 교량 내진보강, 통수단면 부족교량 개선, 교량·터널 보수 비용 : '11년 1,154억원 → '16년 3,591억원 (317% ↑) * (서울시) 교량 안전·유지관리 및 수준향상 비용 : '11년 509억원 → '15년 880억원(2011/2015 도로안전본부 교량관리과 (정책)교량관리 예산, 서울시) - 미국의 경우, '80년대에 고령화 진입 및 적정 대처 실패로 사회 불안감과 경제적 부담 증가(11년간(89'~'00년) 503개소 교량 붕괴)

- * 시설물 평균등급 D+ (ASCE, 13.03): 교량 9개 중 1개 구조적 결함 (61만 개 평균연령 42세)
- * 유지보수비 US\$3.6조(3,840조)로 오바마 정부 집중투자 (2013년 US\$ 400억(42.6조) 투자에도 불구하고 필요 재정의 55.6% 수준
- 반면 일본의 경우에는 `00년대부터 작은 규모의 유지관리를 반복적으로 시행하는 예방관리 방식으로 전환하여 예방관리 방식 적용
 - * `13년부터 향후 30년간 동경도 교량 유지관리에산의 69% 절감 전망(21.2→6.6조원)
- `10년 기준 OECD 회원국의 경우 GDP 대비 SOC 유지·보수비 투자는 평균 0.3%, 개발도상국은 1.8%를 투자중이나 우리나라는 0.26%로 매우 미흡
- 교량 노후화에 따른 국민의 안전 불안감 해소 및 기술 환경 변화에 체계적으로 대응하기 위해서 정부는 다양한 정책을 마련하고 있으나, 실증기반의 선순환 연구체계는 부족한 실정
 - 『시설물 관리주체 안전 및 유지관리 실태조사(한국시설안전공단, 2010)』 결과, SOC시설물의 노후화가 진전되고 있으며, 이에 대한 정확한 평가 및 유지관리의 시급성 언급
 - 『시설물 안전 및 유지관리 계획』(`13~`17)
 - * 인프라 유지관리 예산을 확충하여 시설물의 안전성 확보 강조
 - 『창조경제 실현을 위한 국토교통 R&D 중장기 전략 수립』(`14~`23)
 - * 지능형 인프라 자동관리 투자 확대, SOC 시설물 장수명화, 관리효율화
 - * 선제적 보수계획 수립 노후교량에 IoT센서 탑재 ‘이상’ 징후 포착 실시간 대응
 - 『제4차 국토종합계획 수정계획』(`11~`20)
 - * 시설물 관리대책 제시(국민체감형 시설물 안전관리 필요성 강조)
 - * 대형시설물 중심의 규제 위주 탈피, 시설물 복구능력 강화 시스템 필요
- 따라서 관리 사각지대에 있는 중소 노후교량의 유지관리체계 개선 및 유효한 보수보강기술 확보를 위해서는 영구폐쇄·철거교량을 테스트베드 (T/B)로 활용한 실증연구 필요
 - 철거 교량을 활용한 지속적인 성능평가 D/B화로 성능중심설계 기준 마련을 위한 기초자료 확보 및 종합성능평가 절차 개선 필요

□ 기술동향 [국내 기술동향]

- 노후교량 안전문제 이슈화에 따라 서울시에서는 문래 고가차도 등 철거 교량을 활용한 성능평가 연구를 수행한 적은 있으나, 실증연구 기반이 턱없이 부족함
 - 서울시는 문래고가차도 등 폐기된 교량을 활용하여 사용 중인 교량의 안전성 평가기법 개발 수행(`11~`12년)
 - * ‘철거교량을 활용한 도시시설물의 안전성 평가기법 개발 연구’(2012.8월)
 <고가교 3개(노량진·화양·문래고가), 일반교량 2개(응봉교·월암교), 복개교량 1개(정릉천)>
 - 교량의 장수명화를 위해서는 잔존수명에 대한 정확한 예측과 적정 보수·보강 기술 개발이 필요하나 관련 검증 기반이 부족

- 국내의 기술수준은 과학적인 진단 체계가 미흡하여, 정확하고 실질적인 상태 평가에 따른 개량(보수, 보강 등)이 어려운 상태
 - 진단조사(균열, 박리, 열화 등)는 인력에 의존하여 점진적인 육안조사로 상당한 시간이 소요됨. 부분적 조사로 종합상태 조사에는 한계가 있으며, 대안으로 사용되는 비파괴 장비도 점적인 두께 측정상에 그치고 있어 결과에 대한 신뢰도가 부족한 상황
- 기존에는 손상 파악 후 보수보강에 집중하여 상태평가/내하력 평가 등 부분적 진단·평가 및 연구 중심으로 진행되었으나 점차 사고예방을 위한 안전성 검사, 사용성 평가를 포함한 성능평가에 대한 요구가 증가하여 상태평가, 안전성 평가 등을 복합적으로 반영한 종합성능평가 기준* 마련중
 - 종합성능평가에 있어 내구성, 사용성 및 기능성에 대해서만 평가항목, 등급 산정 및 시범적용을 하고, 상태평가 및 안전성평가(내하력)에 대한 자료는 기존 안전진단 결과를 사용하고 있어 검증의 신뢰성이 저하됨
 - * 사회기반시설(SOC)의 성능중심 관리·운영을 위한 한국형 성능등급 산정기술 개발(한국건설기술연구원, '14~'17)
- 콘크리트, FRP 등 기존 재료를 활용하여 구조적 안전도를 향상시키는 보수보강 기술은 다수 존재하나 사용성 및 종합성능에 대한 적합성 여부가 불확실하여 보강기술에 대한 만족도가 낮은 수준임
 - 보수보강 기술은 표준화된 실험절차가 부재하고, 아직까지 구조적 안전도 향상에 중점을 두어 구조물의 사용성 향상과 관련된 보수보강 기술은 미흡한 편임
 - 보수보강 공법의 성능에 대한 객관적인 평가 방법과 설계·시공 시방서 부재로 검증되지 않은 공법이 적용되고 있음
 - * 시설물의 보수보강 방법 및 수준결정에 대한 연구('11)에서는 보수보강 필요성 판단, 보수보강 재료와 공법 선정, 우선순위 결정 시에 적용 가능한 가이드라인 부재로 불필요한 시공이나 부실시공 등에 대한 위험이 존재함을 언급하고, 시설물의 상태에 따른 적절한 보수보강 필요성 판단기준, 재료 및 공법 선정 요령, 보수보강 우선순위 결정 근거 등을 제시하였으나 보편적 현장적용은 어려움

[국외 기술동향]

- 미국, 일본 등 해외 기술 선진국들은 국가차원의 선제적 지원하에 시설물 안전망 확보의 일환으로 교량 유지관리 분야에 대한 투자를 확대하고, 노후교량의 성능 개선 및 장수명화 연구 적극 추진중
- (미국) 도로·교량 성능향상 투자 중심의 MAP-21추진('12), FHWA는 National Historic Covered Bridge Preservation Program('00~'12)을 통해 시설물 수명 장기화 추진
 - 연방교통예산법에 따라 '12~'14년간 약 8억 달러 규모의 연구예산을 배정하여,

고속도로 교량 약 5만 6천개 중 4%에 달하는 노후교량의 구조적 결함 및 붕괴 위험 부재의 성능평가 등 수행

- 미국 CAIT는 ‘Multi-Scale Condition and Structural Analysis of Steel Bridge Infrastructure’(2016)를 통해 현재 데이터간의 관계를 분석하고, 유형 간의 상호 연관성을 확인하여 시설물 성능평가에 종합적으로 활용
- (캐나다) "Civil Infrastructure System Technology Roadmap"을 수립하여 장수명화·성능평가 기술과 자연재해 극복기술, 지능형 모니터링 기술 개발 등을 통해 사회기반시설의 고령화와 자연재해에 대처하고, 안전·유지관리 업무의 효율성 증대
- (일본) OECD의 “Infrastructure to 2030"에 따르면, 일본은 종래의 사회기반시설과 정보기술을 연계하여 정보의 통합관리·운영이 가능토록 하는 ”차세대 인프라 정비를 위한 기술 개발 사업“을 추진중
 - ‘2020 인프라 장수명화 기본계획’을 수립(’13.11)하여 ICT/IoT 기반의 시설물 모니터링 체계를 개선하고 공용수명 향상을 위한 R&D 투자를 강화
 - 국토교통성은 안전사고 발생 교량 및 철거 대상교량 등을 대상으로 토목 연구소에 위탁하여 주요 부재의 시편을 이용한 성능평가 실험을 수행하고 이를 DB화하는 연구를 꾸준히 추진중
 - * 노후 콘크리트교를 대상으로 실제 교량 철거부재를 활용한 실험사례로 최근 약 30여건의 실증연구를 수행(바닥판, 교각, 열화, 염해, 알칼리, 강재부식, PSC 등)
- (EU) ECTP(European Construction Technology Platform)의 ”Networking Europe Vision 2030 and SRA“도 장기성능 예측 모델, 자연재해에 강한 신소재, 손상조기감지 기술개발 등을 통해 사회기반시설의 고령화와 자연재해에 대비하고, 안전 및 유지관리 업무의 지능화를 꾀하고 있음
 - (네덜란드)The Netherlands Directorate General for Public Works and Water Management(교량 관리기관)은 현존·철거교량의 내하력 시험, 성능평가 등 활발히 추진

3. 연구개발내용

- 세부과제별 연구내용
- [1세부과제] 중소 노후 콘크리트교량 장수명화를 위한 보수보강 실증 연구
 - 노후교량 실증 테스트베드(T/B) 확보·활용 지원 및 총괄
 - T/B·철거교량 활용 보수보강 기술 실증·지원 및 개선 연구
 - 보수보강 재료·공법별 요구성능 지표 및 평가시험 방법 개발
 - 보수보강 재료·공법별 설계기준 및 시공절차서 작성
 - 보수보강 교량의 장기성능 및 수명 예측 평가기술 개발
 - 노후교량 고정밀 입력하중 측정시스템 개발
 - 노후교량 보강수준 센싱용 보강재 개발
 - 노후교량 장기계측데이터 확보 및 실증DB 제공

- 계측데이터 기반 교량 노후도 등급화 및 정량화 기술 개발
- 노후교량 최적 보수보강 선정을 위한 의사결정 시스템 개발

○ [2세부과제] 중소 노후교량 종합성능평가 실증 및 개선방안 제시

- 다중데이터(Multi-data) 분석을 통한 성능평가기술 개발
- 신뢰도기반의 교량 내하력 평가기술 실증·개선 및 평가매뉴얼 개발
- 노후 콘크리트교량 종합성능평가 실증 및 개선방안 도출
- 보수보강 및 종합성능평가 실증 DB의 BMS 연계체계 마련
- 중소 노후교량 유지관리 개선방안 수립

4. 연구개발 추진방법

□ 추진전략

- 각 단위과제별로 목표를 수립하고, 그에 적합한 추진전략 및 일정계획 수립
 - 효율적인 연구추진을 위해 기관별, 연차별 세부추진계획 수립 및 지속적 관리
- [중점전략1] 중소 노후 콘크리트교량 장수명 연구단 운영
 - 실증 테스트베드(T/B) 활용을 통해 실용화 기술 중심의 연구성과 활용 극대화
 - 지자체/정부기관·연구기관·기업체 등 관련 기관과의 협력체계 마련 및 효율적인 기술중심의 연구기반 구축 전략 수립
- [중점전략2] T/B교량·노후(철거)교량 확보 및 활용
 - 연구 초기(1차년)에 실증 테스트베드를 위한 세부계획 수립(실증 대상교량 선정, 현지조사, 관련기관 협력 방안 등)
 - 다양한 조건하에서의 실내실험과 현장검증 지원 방안 마련
- [중점전략3] 노후교량 장수명화 요소기술 개발·실증 및 기존 기술 연계활용
 - 중소 노후 콘크리트교량의 장수명화를 위한 유지관리 프로세스 정립
 - 각 기술의 성능을 정량화하고 각 요소기술 간의 연계 활용 체계 마련
 - 유형, 지역, 환경 등을 고려한 손상 정도, 원인 등에 대한 사전 분석
 - * 교량의 손상 종류, 원인 등에 대한 사전조사
 - * 검토대상 보수보강 기법에 대한 우선순위 선정
- [중점전략4] 장수명화 모니터링 데이터, 요소기술 DB구축·연계활용
 - T/B교량의 장기계측 DB 및 노후교량 장수명화 요소기술의 실증DB를 구축
 - 기존의 FMS 및 BMS와 연계·활용
 - 장수명화 실증DB는 최적 유지보수 의사결정시스템과 연동하여 활용
- [중점전략5] 생애주기(LC)기반 노후교량 장수명화 유지관리 체계 마련
 - 생애주기기반 노후교량 장수명화 중장기 계획 수립 및 정책 제언
- [중점전략6] 장수명화 유지관리 기준, 제도화 및 인력양성
 - 시설물의 안전 및 유지관리 기술의 기준·지침·매뉴얼 개발 및 제도화
 - 체계적 교육 시스템·프로그램 마련으로 전문인력 양성 추진
- 관련 기업, 공공기관, 기술개발 기업 등 기술수요처와 유기적 협조체제 구축
 - T/B 확보·적용 및 실증을 통한 성과물(지침, 매뉴얼 등)의 활용성 확보 방안 제시

- 보수보강 업체의 실질적 참여를 유도하여 현장 애로사항 및 의견을 반영

○ 관련분야 전문가 자문

- 과제성공률 제고를 위한 자문회의 등 내·외부 전문가 의견 수렴

□ 추진체계

○ 본 공모과제는 기초·원천, 실용화 등 다양한 성격의 연구를 포함하므로, 산·학·연 공동연구진 구성을 지향함

※ 관련 기술을 확보한 연구기관 및 성과물을 활용할 수 있는 산업체 참여 필요

○ 정부(지자체) 및 관련 교량 관리주체 등 기술수요처와의 유기적 협조체제 구축

- T/B 확보를 통해 실증이 가능하도록 관련 기술수요처 의견수렴

○ 보수보강 기존 보유 기관 및 기업의 실질적 참여 유도

- 현장 애로사항 및 의견을 연구개발에 반영

- 기술개발의 주체가 될 수 있는 중소·중견기업 전문가 다수 활용

○ 필요시 외국 전문가 또는 외국기관 활용

○ 관련분야의 다양한 산학연 전문가·자문위원회를 구성하여 운영

- 기술·정책·제도 반영을 위한 관련 전문가 참여 유도

○ 연구진의 연구참여율을 높여 연구집중도 제고

5. 최종성과물

□ 주요

최종성과물

○ [1세부과제] 중소 노후 콘크리트교량 장수명화를 위한 보수보강 실증 연구

- 연구 기반(연구단 구축, 전문가·평가위원회 구성, 협력체계 기반 구축) 마련 및 실증 T/B교량 확보

- 실증(T/B교량, 보수보강 전후) 및 성능평가보고서

- 고정밀 입력하중 측정시스템

- 보강 효과 산정 알고리즘(센싱용 보강재)

- 장기계측데이터·실증DB 시스템

- 보수보강 의사결정 시스템

- 노후도 등급화·정량화 S/W

- 보수보강 설계기준 및 표준실험절차서

- 보수보강 기술 설계기준 및 시공절차서

○ [2세부과제] 중소 노후교량 종합성능평가 실증 및 개선방안 제시

- 신뢰도기반의 교량 내하력 성능평가 지침 및 예제집

- 다중데이터 분석을 통한 성능평가 알고리즘

- 성능예측 및 수명평가 알고리즘

- 종합성능평가 실증 성과보고서 및 개선방안(안)

- BMS 시스템 연계·활용방안이 포함된 연구성과보고서

- 노후교량 유지관리 매뉴얼

- ※ 연구내용·추진년도별 연구 성과목표, 성과지표, 예상목표치, 측정방법, 설정근거 등 정량적 성과목표(수치) 제시
 - 실증교량 확보, T/B적용건수, 보수보강 방법의 검증 등 예상성과물의 정량적 목표치, 최소요구조건 제시(연구성과의 정량적·정성적 예상성과 제시)
 - 성과지표는 「건설교통R&D 성과지표 설정 안내('09.02)」를 참고하며, 연구내용 특성에 맞추어 추가 예상성과 제시

6. 활용방안 및 기대효과

- **활용방안**
 - 교량 관리 주체(정부, 지자체 등)와 관련 기술 개발 업체 등에서 합리적인 보수보강 시기 및 공법 의사 결정을 위한 지침으로 공동활용 가능
 - SOC시설물 안전망 확보를 위한 정책·제도 및 로드맵 수립
 - 교량 유지관리 체계 마련에 활용(T/B활용, 지침 및 매뉴얼 개발)
 - 교량의 안전진단, 보수보강, 성능평가 기법의 검인증 및 T/B 활용
 - 유지보수·유지관리·보수보강 전문업체의 기술자 교육 자료로 활용
- **기대효과**
 - 노후 철거교량을 활용한 교량 보수보강분야 R&D 실증연구 및 기술개발에 활용함으로써 국가예산의 효율적 투자 가능
 - 세계적 수준의 노후교량 Smart 진단·감시 기술 확보 및 고도화를 통한 선제적 사고 예방기술 확보
 - 기존 BMS 연계를 통해 노후교량 장수명화 통합 관리 체계 마련
 - 노후교량의 안전성 확보 및 장수명화를 위한 DB구축으로 교량 유지관리시스템의 활용도 제고
 - 국가 SOC 시설물(교량)의 유지보수 예산 절감에 크게 기여
 - 교량 유지관리·보수보강 기술력 제고로 노후교량의 수명연장을 통한 사회 기반시설물의 국가 예산 투자 절감
 - 정부의 노후교량에 대한 선제적 기술개발 대응을 통해 미래 유지보수 비용을 연간 약 1,000억원 이상의 경제적 예산 절감 기대
 - 기술개발 여건이 열악한 중소기업에 실증 T/B 제공 및 기술 실용화 지원으로 실증기반의 신기술 및 공법 개발에 따른 기술경쟁력 확보
 - 국내 노후교량 유지관리 산업의 세계적 선도 기술력 확보, 참여기업의 실적증명을 통한 해외 진출 기반 조성
 - 향후 교량의 신규 구축보다는 성능개선·보수보강 등 유지관리 산업 및 예산 확대될 것으로 예상되어 관련 분야 일자리 창출이 크게 증가할 것으로 기대
 - 관련분야 기술전문 인력양성(교육) 및 전문기업 육성

- 교량 안전성 확보를 통한 국민의 안전 인식도 향상 및 교량의 수명연장을 통한 국민안전 복지 실현
 - 급증하는 사회기반시설물 관련 재해에 대한 안전성 확보로 국민의 삶의 질 제고
- 교량 안전진단/유지관리/보수보강 분야 제도개선

7. 연구개발기간 및 소요예산

- 총 연구기간 : 2017.02 ~ 2022.01 (5년)
 - 1차년도 연구개발기간 : 2017.02. ~ 2018.01. (1년)
- 총 정부출연금 : 20,000백만원
 - 1차년도 정부출연금 : 1,000백만원
- ※ 정부출연금은 향후 선정평가 결과 또는 정부예산사정에 따라 조정될 수 있음
- ※ 기업참여시 기업부담금은 연차별로 “국토교통부소관 연구개발사업 운영 규정”의 기준을 따르되, 추가 부담 가능
- ※ 연구단과제는 세부과제 별로 기업부담금 비율 준수
- ※ 연구비에 대한 구체적 산정내역을 제시해야 하며, 예산산정 근거가 불명확하거나 타당성이 부족할 경우 축소조정 가능

8. 기 타

- 본과제의 연구개발과제 보안등급은 “일반과제”임
- 연구단장 신청자는 반드시 세부과제의 주관연구책임자 또는 총괄과제의 연구책임자로 참여하여야 함
 - ※ 연구단장은 연구단의 효율적 운영·관리를 위해 총괄과제 수행 가능
 - ※ 본과제 제안 기관은 T/B 사전 조사 및 교량 관리주체와의 협의를 통해 T/B 대상 교량을 확보한 후 제안할 것
 - ※ 본 공모과제는 컨소시엄형태의 공모로 연구단(주관, 협동연구기관)으로 구성하며 효과적인 연구진행을 위해 필요시 세부과제 구성 변경이 가능
 - ※ 실증연구를 고려하여 실질적인 계획에 맞추어 연구비 조정 가능
- 연구개발계획서는 과제제안요구서(RFP)에 제시된 연구내용을 참고하여 작성하되, 과제목적 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
 - ※ www.kaia.re.kr, <http://rndgate.ntis.go.kr>의 유사과제목록 참조
- 공모과제와 관련하여 기 수행되었거나 현재 수행중인 과제의 연구성과와 구체적인 연계·통합 및 활용방안을 연구계획에 포함

- 제안된 연구내용이 타 유사과제와 연구방법이나 목표 등에서 차별화되는 경우에는 포함 하여도 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
- 각 과제 성과의 검증, 시범적용 여부 및 구체적 적용 방안 등 통합 성과 검증 또는 시범적용 전략을 수립하여 제시할 것
 - 통합 성과검증 또는 시범적용이 가능한 조직체계로 구성할 것
- 연구성과의 확산을 위한 기술강좌/강습 등 기술교육, 성과홍보 계획을 검토 하여 제시할 것
- 국제공동연구 또는 전문가 활용방안
 - 필요시 관련 기술 해외 선도기관과의 공동연구 추진방안 및 전문가 활용계획을 연구계획에 포함
- 추후 연구단 운영계획 및 연구개발계획은 수정·보완될 수 있으며, 이에 따라 과제내 특정 기술개발에 대한 추진방식 등이 변경될 수 있음
 - 본 과제의 연구기간은 추후 협약시 변경될 수 있음
 - 연구단장 및 전문기관은 필요시 선정된 주관기관(연구책임자)과 협의를 거쳐 연구 개발계획서의 수정·보완(연구목표, 내용 및 범위 등을 구체화·명확화)할 수 있음
 - 연구추진과정에서 관련기술 환경변화에 따라 연구내용(연구비 포함)이 조정될 수 있음
- 연구수행과정에서 실험이 필요한 경우, 국토교통연구인프라운영원을 통한 “국토교통 대형실험시설 6종” 적극 활용

참고2

평가기준(안)

- 과제는 “연구단” 형태로 컨소시엄공모 방식을 통해 1세부(주관연구기관), 2세부(협동연구기관) 선정
 - 유관기관 협업 및 체계적인 연계 방안 도출을 위해 컨소시엄공모 방식 채택

□ 연구기관 및 연구책임자 참여기준

○ 신청기관 자격

- 신청기관을 대상으로 사업추진계획, 단계별 연구목표 및 내용, 전문성, 추진전략 및 체계, 표준 관련 협력체계 구축 계획 등 평가요소에 관한 종합적 심층 평가를 통하여 최적의 주관연구기관 선정
- 주관연구기관 선정의 객관성, 공정성 및 신뢰성을 확보하기 위하여 중립적인 관련 전문가로 평가단을 구성하고 서류평가 및 발표평가 실시

○ 신청자격

- 국공립 연구기관
- 「정부출연연구기관 등의 설립·운영 및 육성에 관한 법률」에 의하여 설립된 정부출연연구기관
- 특정연구기관육성법에 의한 특정연구기관
- 고등교육법에 의한 대학·산업대학 또는 기술대학
- 민법 또는 다른 법률에 의하여 법인으로 설립된 연구기관
- 정부투자기관, 출연기관, 출자기관의 부설연구소 또는 연구개발전담부서

※ 연구개발사업 신청자(주관연구기관의 총괄연구책임자 또는 연구단장)은 중점 연구 추진 분야를 포함한 연구단을 구성하여 신청

※ 연구단 구성 및 운영방안은 「연구단 운영 및 관리지침」에 따름

○ 연구책임자의 자격 및 참여제한

○ 연구책임자의 자격

- 책임급 연구원 이상 또는 건설분야 학과에 재직 중인 정규직 교원(대학 신청시)

○ 연구책임자 등의 참여제한

- 「건설기술연구개발사업관리및운영규정」 제10조 및 「연구단 운영 및 관리지침」에 의거하여 총괄(협동)연구책임자는 기수행 중인 과제를 포함하여 3개 과제 이내에서 참여(전문기관의 장이 인정하는 경우에 한함) 가능

□ 1세부 과제

- 제안요청과제의 목적성 부합, 연구목표 달성을 위한 전문성 및 활용계획을 중점적으로 평가 (연구단 운영·관리 및 세부과제의 성과 연계·활용)

기준항목		세목항목	배점
연구개발 계획 적정성 (30)	연구개발목표 (10)	최종목표 및 연차별 성과목표의 명확성 및 구체성	5
		성과지표 설정의 명확성 및 적정성	5
	연구개발내용 (20)	RFP와의 적합성	5
		과제목표달성을 위한 세부과제 구성 및 상호연계성	5
		연차별 연구내용의 차별성 및 창의성	5
		유관기관과의 협력 체계 구축 계획의 구체성	5
추진 전략 (45)	추진전략 및 계획 (20)	연구수행체계 적정성 및 연구진 전문성	5
		연구추진 전략의 구체성 및 타당성	5
		연구인프라 및 연구지원시스템의 적절성	5
		연구기간 및 연구개발비 편성의 적절성	5
	개발기술의 실용성 및 경제성 (25)	개발기술의 혁신성 및 차별성	10
		개발기술의 실용성 및 사업성	5
		개발기술의 경제적 기대성과(투자 및 파급효과 등)	5
		연구성과의 사회·정책적 파급효과	5
연구성과 활용 및 실증 방안 (15)	연구성과 실증방안 (15)	연구개발 성과의 적정성 및 달성가능성	5
		연구성과의 기술/기준 마련 방안 및 교육활용 적절성	5
		연구성과의 홍보 계획의 구체성 및 우수성	5
연구단장 평가 (10)	연구책임자의 전문성 및 관리능력 (10)	연구과제 이해도 및 연구개발과제 성과도출 능력(5점)	5
		관련분야 연구 기획·관리 및 운영 능력(전문성)(5점)	5
합 계			100

※ 총점은 100점이며, 60점 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
보안등급 적정성 평가	보안등급 분류의 적정성 검토 후 보안등급 결정 (공동규정 제24조5 제2항, 운영규정 제23조 제2항 제4호)

□ 2세부 과제

- 제안요청과제의 목적성 부합, 연구목표 달성을 위한 전문성 및 활용계획을 중점적으로 평가 (기술 개발 성과 및 활용 계획)

기준항목		세목항목	배점
연구개발 계획 적정성 (25)	연구개발목표 (10)	최종목표 및 연차별 성과목표의 명확성 및 구체성	5
		기술개발 성능수준 및 성과지표 설정의 명확성 및 적정성	5
	연구개발내용 (15)	RFP와의 적합성	5
		연차별 연구내용의 차별성 및 창의성	5
		1세부 연구과제와의 연계 방안 계획의 적절성	5
추진 전략 (50)	추진전략 및 계획 (20)	연구수행체계 적정성 및 연구진 전문성	5
		연구추진 전략의 구체성 및 타당성	5
		연구인프라 및 연구지원시스템의 적절성	5
		연구기간 및 연구개발비 편성의 적절성	5
	개발기술의 실용성 및 경제성 (30)	개발기술의 혁신성 및 차별성	10
		개발기술의 실용성 및 사업성	5
		개발기술의 경제적 기대성과(투자 및 파급효과 등)	5
		연구성과의 사회·정책적 파급효과	5
		연구성과 확산 및 실용화를 위한 의지	5
연구성과 활용 및 실증 방안 (15)	연구성과 실증방안 (15)	연구개발 성과의 적정성 및 달성가능성	5
		연구성과 활용 및 적용 방법의 실현 가능성	5
		연구성과의 홍보 계획의 구체성 및 우수성	5
(협동)연구 책임자평가 (10)	연구책임자의 전문성 및 관리능력 (10)	연구과제 이해도 및 연구개발과제 성과도출 능력(5점)	10
합 계			100

※ 총점은 100점이며, 60점 미만인 경우에는 탈락

부합성 평가	평가위원 과반수 이상이 연구개발계획서가 과제제안요구서 (RFP)와 부합되지 않는다고 판정시탈락 조치
중복성 평가	평가위원 과반수 이상이 기 수행되었거나, 수행중인 과제와 중복되는 것으로 판정시 탈락 조치
보안등급 적정성 평가	보안등급 분류의 적정성 검토 후 보안등급 결정 (공동규정 제24조5 제2항, 운영규정 제23조 제2항 제4호)