최종보고서(연구단 총괄용)

보안등급
일반[✔], 보안[ ]

중앙행정기관명	국토교통부	사업명	사업명	건설기술연구사업
전문기관명	국토교통과학기술진흥원		내역사업명	재난·재해 대비 시설물 유지관리 및 건설안전 기술
공고번호	재공고-제05호	총괄연구개발 식별번호		21SCIP-B146946-04
		연구개발과제번호		21SCIP-B146946-04

국가과학기술 표준분류	EI1101	80%	EI1199	20%	-	-

총괄연구개발명	국문	노후 도로시설(교량, 터널, 사면, 옹벽)의 내진성능관리 의사결정지원 기술 개발			
	영문	Development of decision supporting technology of seismic performance management for aged road facilities (bridges, tunnels, slopes, retaining walls)			
연구개발 과제명 1세부	국문	도로시설의 노후도를 고려한 물리적 지진취약도 평가 기술 개발			
	영문	Development of physical seismic fragility assessment technology considering the aging of road facilities			
연구개발 과제명 2세부	국문	도로망의 지진복원력 평가를 통한 노후 도로시설의 내진성능관리 의사결정지원 기술 개발 및 시범적용			
	영문	Development and pilot application of decision support technology for seismic performance management of aged road facilities through evaluation of earthquake resilience of road network			
주관연구기관	기관명	인하대학교 산학협력단	사업자등록번호	121-82-10209	
	주소	(우)22212 인천광역시 미추홀구 인하로 100	법인등록번호	120171-0003321	
주관연구책임자	성명	신수봉	직위	교수	
	연락처	직장전화 032-860-7552	휴대전화	010-8550-9088	
		전자우편 sbshin@inha.ac.kr	국가연구자번호	1005-4782	
연구개발기간	전체	2018. 04. 13 - 2021. 12. 31(3년 9개월)			
	1년차	2018. 04. 13 - 2018. 12. 31(9개월)			
	2년차	2019. 01. 01 - 2019. 12. 31(1년)			
	3년차	2020. 01. 01 - 2020. 12. 31(1년)			
	4년차	2021. 01. 01 - 2021. 12. 31(1년)			

연구개발비 (단위 : 천원)	정부지원 연구개발비	기관부담 연구개발비		그 외 기관 등의 지원금 지방자치단체		기타( )		합계			연구개발비 외 지원금
	현금	현금	현물	현금	현물	현금	현물	현금	현물	합계	
총계	9,565,000	-	-	-	-	-	-	9,565,000	-	9,565,000	-
1년차	1,913,000	-	-	-	-	-	-	1,913,000	-	1,913,000	-
2년차	2,862,000	-	-	-	-	-	-	2,862,000	-	2,862,000	-
3년차	2,697,000	-	-	-	-	-	-	2,697,000	-	2,697,000	-
4년차	2,093,000	-	-	-	-	-	-	2,093,000	-	2,093,000	-

주관(협동) 연구기관	기관명	책임자	직위	휴대전화	전자우편	비고	
						역할	기관유형
1세부	인하대학교 산학협력단	신수봉	교수	010-8550-9088	sbshin@inha.ac.kr	주관연구	대학
2세부	국토안전관리원	김동주	실장	055-771-1660	djk776.kim@kalis.or.kr	협동연구	정부출연연

연구개발담당자 실무담당자	성명	강경남		직위	박사과정
	연락처	직장전화	070-7536-5823	휴대전화	010-6365-7392
		전자우편	kkn6365@gmail.com	국가연구자번호	1169-0427

이 최종보고서에 기재된 내용이 사실임을 확인하며, 만약 사실이 아닌 경우 관련 법령 및 규정에 따라 제재 처분 등의 불이익도 감수하겠습니다.

2022 년 02 월 17 일

주관연구책임자 : 신 수 봉 (직인)

주관연구기관의 장 : 인하대학교 산학협력단 유 창 경 (직인)

국토교통과학기술진흥원장 귀하

< 요 약 문 >

사업명		건설기술연구사업		총괄연구개발 식별번호		21SCIP-B146946-04	
내역사업명		재난·재해 대비 시설물 유지관리 및 건설안전 기술		연구개발과제번호		21SCIP-B146946-04	
국가과학기술 표준분류		EI1101	80%	EI1199	20%	-	-
총괄연구개발명		노후 도로시설(교량, 터널, 사면, 옹벽)의 내진성능관리 의사결정지원 기술 개발					
연구개발 과제명	1세부	도로시설의 노후도를 고려한 물리적 지진취약도 평가 기술개발					
	2세부	도로망의 지진복원력 평가를 통한 노후 도로시설의 내진성능관리 의사결정지원 기술 개발 및 시범적용					
전체 연구개발기간		2018.04.13 - 2021.12.31(3년 9개월)					
총 연구개발비		총 9,565,000 천원 (정부지원연구개발비 : 9,565,000 천원, 기관부담연구개발비 : 천원, 지방자치단체 : 천원, 그 외 지원금 : 천원)					
연구개발단계		기초[ ] 응용[ ] 개발[✔] 기타(위 3가지에 해당되지 않는 경우)[ ]		기술성숙도		착수시점 기준(-) 종료시점 목표(-)	
연구개발과제 유형		지정공모 [✔] 자유공모 [ ]					
연구개발과제 특성		실용화					
연구개발 목표 및 내용	최종 목표	본 과제는 교량, 터널, 옹벽 및 사면과 같은 노후 도로시설물을 대상으로 지진에 대한 안전성을 확보하여 국민의 생활안전을 보장한다는 비전 아래, 대표 도로시설물의 노후도 및 보수보강 효과를 반영하여 표준화된 지진취약도 함수를 개발하고자 함. 또한 대표 도로시설물별 표준화된 지진취약도 함수를 바탕으로 사회,경제적 복원력과 내진성능 평가를 수행하여 효과적으로 도로망의 내진성능을 관리하기 위한 내진성능관리 의사결정기술 시스템을 개발하고자 하며, 이를 Test Bed 지역에 성공적으로 적용 및 검증하는 것을 최종 연구목표로 함					
	전체 내용	❍ **도로시설의 노후도를 고려한 물리적 지진취약도 평가 기술 개발** - 노후 교량의 지진취약도 및 기초의 내진성능평가 기술 개발 - 노후 교각의 내진성능평가 기술 개발 - 노후 교량받침부의 내진성능 평가 기술 개발 - 도로의 중요도에 따른 내진성능수준 및 부재 손상수준 결정 기술 개발 - 터널, 사면, 옹벽의 노후도를 고려한 지진취약도 평가 기술 개발 - 도로시설물 대표재료의 노후화 및 보강 특성 모델 개발 - 도로 시설물의 내진보수보강 공법 라이브러리 구축 ❍ **도로망의 지진복원력 평가를 통한 노후 도로시설의 내진성능관리 의사결정지원기술 개발 및 시범적용** - 노후 도로시설 내진성능관리 의사결정시스템 Test Bed 실증 - 노후 도로망의 확률론적 내진성능평가 및 보수보강 의사결정지원 기술 개발 - 도로시설 노후도를 고려한 도로망 내진성능 저하 및 회복 평가 기술 개발 - 노후 도로시설 및 도로망의 사회경제적 복원력 유형 분석 및 평가 기술 개발					
연구개발성과		❍ **도로시설의 노후도를 고려한 물리적 지진취약도 평가 기술 개발** - (1-1) 국내 교량 분류체계(안) - (1-1) RC, PSC, 강합성 교량의 지진취약도 분석 검증 보고서 - (1-1) 노후도를 고려한 교량의 지진취약도 표준화 체계(안) - (1-1) 도로시설물과 도로망의 내진성능관리 의사결정지원 기술 연계(안) - (1-1) 부재별 손상상태 정의(안) - (1-1) 보수보강을 고려한 교량의 지진취약도 표준화 체계(안) - (1-1) 교량의 지진취약도 기술 절차서(안) - (1-1) 대표 교량별 지진취약도 라이브러리 DB - (1-2) 교각의 내진성능수준에 따른 손상수준안 제시 - (1-2) 부식 시편 제작 및 실험 기법 정립					

- (1-2) 노후교각의 지진거동특성 파악을 위한 기존 연구 및 현황 분석
- (1-2) 단조가력 부착실험
- (1-2) 보수보강 전후 노후교각실험
- (1-2) 반복가력 부착실험
- (1-2) 교각 해석 절차서 초안 개발
- (1-2) 노후도를 고려한 철근콘크리트 교각 모델개발
- (1-2) 교각 해석 절차서 개선
- (1-3) 성능수준별 교량받침 거동한계(손상수준) 조사 · 분석 보고서
- (1-3) 교량받침 노후도 특성분석 보고서
- (1-3) 영향요인별 시험변수 설정 및 실험체 설계 보고서
- (1-3) 노후요인별 노출도를 고려한 재료특성 시험 보고서
- (1-3) 노후상태 조건 및 노후등급별 부재실험 보고서
- (1-3) 교량받침의 내진성능수준에 따른 손상수준안
- (1-3) 노후도에 따른 부재실험 보고서
- (1-3) 노후등급설정 및 경년변화특성 분석 보고서
- (1-3) 노후등급별 역학적 모델 확립 보고서
- (1-3) 노후등급 경년변화 모델 개발 보고서
- (1-4) 내진성능수준별 부재 손상수준 결정
- (1-4) 대표요소 결정 및 노후도 평가
- (1-4) 대표 터널, 사면, 옹벽의 분류체계
- (1-4) 터널, 사면, 옹벽의 지진취약도 분석체계의 표준화
- (1-4) 부지증폭을 고려한 설계지반운동 DB
- (1-4) 터널, 사면, 옹벽의 지진해석 수치모델 구축
- (1-4) 터널, 사면, 옹벽의 노후도를 고려한 지진취약도 정립 기술
- (1-4) 터널, 사면, 옹벽의 내진 보수/보강을 고려한 지진취약도 정립 기술
- (1-4) 터널, 사면, 옹벽의 복원력을 고려한 지진취약도 함수 보정
- (1-4) 테스트베드 도로망 터널, 사면, 옹벽 적용 및 검증
- (1-4) 터널, 사면, 옹벽 지진취약도 기술 절차서
- (1-5) 도로시설물 대표재료의 노후화 모델 적용식
- (1-5) 동결융해에 따른 콘크리트 노후화 특성 실험 연구 보고서
- (1-5) 복합열화에 따른 철근 부착 특성 실험 연구 보고서
- (1-5) 동결융해된 콘크리트의 보강에 따른 보강 특성 실험 연구 보고서
- (1-5) 노후화된 보 부재의 보강에 따른 보강 특성 실험 연구 보고서
- (1-5) 콘크리트 동결융해에 따른 거동특성 모델
- (1-5) 노후화에 따른 철근 부착 거동 특성 모델
- (1-5) 노후화된 보 부재의 보강에 따른 철근 부착 거동 특성 모델
- (1-5) 콘크리트 시설물 노후화 평가 매뉴얼
- (1-6) 손상모드별 보수보강특성을 고려한 구조 및 내진성능 평가기술 자료 조사
- (1-6) 보수보강공법 라이브러리 구성 및 D/B화 위한 템플릿 개발
- (1-6) 상세기술 조사 및 특성 분석
- (1-6) 보수보강 기법 D/B화
- (1-6) 보수보강에 따른 구조 및 내진성능평가 해석방안 도출
- (1-6) 각 보수보강 공법의 내진성능 향상 효과 표준화
- (1-6) 상세개선 및 추가된 보수보강 공법
- (1-6) 보수보강 공법의 매뉴얼(안) 개발
- (1-6) 교각 내진보강 공법별 주요 내진 성능향상 효과 평가
- (1-6) 국내외 기준 및 규격을 준수하고 검증된 해석기술을 통한 보강공법 별 내진성능향상도 DB 구축

❍ 도로망의 지진복원력 평가를 통한 노후 도로시설의 내진성능관리 의사결정지원 기술 개발 및 시범적용

- (2-1) 도로시설 내진성능 의사결정 시스템 운영현황 조사
- (2-1) 실증 사례조사 및 전략수립 보고서
- (2-1) 내진성능관리 의사결정지원 기술매뉴얼
- (2-1) 내진성능 의사결정지원 플랫폼 보고서

	- (2-1) 내진성능 의사결정지원 소프트웨어 - (2-1) 내진성능관리 의사결정제도(안) 보고서 - (2-1) Test Bed 검증 보고서 - (2-1) 내진성능관리 의사결정기술 교육자료 - (2-1, 위탁) 결정론적 및 확률론적 방법을 고려한 내진보강 최적화 기술개발보고서 - (2-1, 위탁) 의사결정 소프트웨어 알고리즘 - (2-1, 위탁) 결정론적 방법에 따른 시범 도로망 비교 및 평가보고서 - (2-2) 도로망 시스템의 지진동 강도 공간 분포 예측 기술 선행 자료조사 및 기초 모델 수립 - (2-2) 노후화 영향인자를 고려한 시설물의 지진동 수용력 추정기술 선행 자료조사 및 기초 모델 수립 - (2-2) 내진 보수·보강 의사결정지원 방법론 선행 자료조사 및 기초 모델 수립 - (2-2) 지진동 강도 공간분포 예측 기술 개발 - (2-2) 노후화 지도 등 영향인자를 고려한 지진동 수용력 추정기술 개발 - (2-2) 내진성능관리 의사결정법 최적화 알고리즘 개발 - (2-2) 도로망 시스템 내진성능 평가 샘플링 기법 보고서 - (2-2) 범용 예제 적용 결과 보고서 - (2-2) 내진 보수 · 보강 의사결정지원 방법론 개선 - (2-2) 테스트베드 적용 결과 보고서 - (2-2) 포항시 노후 도로시설 내진성능관리 보수보강 우선순위 의사결정 지원 및 방재도로 선정 제안 프로그램 - (2-3) 내진성능 평가 지수 개발 보고서 - (2-3) 시스템신뢰성 해석 기반 노후 도로망 성능 저하 평가 기법 - (2-3) 노후 도로시설 및 도로망 성능 회복 모델링 평가 기법 - (2-3) 노후 도로망의 내진성능 저하 및 회복 평가 기법의 의사결정시스템 적용 및 호환성 검증 - (2-4) 빅데이터 기반 직간접 손실 영향범위 분석 - (2-4) 사회경제적 취약도 분석 - (2-4) 지진재해 직접손실 분석모형 - (2-4) 지진재해 간접손실 분석모형 - (2-4) 복원력 유형화 - (2-4) 지진피해 예측 시나리오 - (2-4) 지진 복원력 평가지표 개발 - (2-4) 지진손실 추정 시뮬레이션 - (2-4) 복원력 평가 알고리즘 개발 - (2-4) 복원력 평가기술 검증 및 적용
연구개발성과 활용방안 및 기대효과	❍ **활용방안** - 대표재료의 노후도에 따른 안전성 평가, 보강시기 결정을 위한 기술개발에 활용 - 국내 내진성능수준에 따른 부재별 손상한계 제시 가능 - 대표 교량에 따른 지진취약도 함수 DB 구축을 통한 표준화된 취약도함수 평가 절차 제시 가능 - 교량, 터널, 옹벽 및 사면의 노후도 등에 따른 지진취약성 곡선의 개발로 내진성능 평가 및 내진설계에 활용 - 도로시설물의 대표재료에 대한 노후도 평가 원천 기술을 활용하여 대표요소에 대한 보강설계 시기 결정기술에 활용가능 - 내진성능관리 의사결정지원 시스템기반의 효율적인 예산분배 가능(관리주체기관) ❍ **기대효과** **(기술적 측면)** - 기능수행, 즉시복구, 장기복구, 붕괴방지 성능수준에 해당하는 교량시스템 및 구조부재의 정량화된 손상수준을 제시하여 교량의 지진취약도 평가 기반 기술 마련 - 내진보강을 반영한 취약도함수를 이용하여 내진보강 효과 판단 가능 시스템 구축 - 노후 도로망 시스템의 내진성능 확률론적 평가 및 보수 · 보강 의사결정지원 방법론 개발 - 지진피해에 따른 도로시설 및 도로망의 사회 · 경제적 복원력 평가체계 구축 - 내진설계 및 보강 기술 개발을 통해 국내 엔지니어링 업체의 기술경쟁력 강화 **(경제적·산업적 측면)** - 내진성능 평가 및 보강 활성화에 따라 관련 산업 발전 - 합리적이고 투명한 내진보강에 의해 관련 정부예산 절감 - 지진 피해를 최소화하여 국가 경제에 대한 충격 최소화 및 단기간 회복

	(사회적 측면) - 시설물의 지진안전성에 대한 정보제공 및 관심 유도 - 지진재난 대비를 통해 재난에 대한 국가 시스템 안정성 확보 - 대형 지진재난으로부터 국민의 생명과 재산 보호 - 철저한 재난 대비를 통해 정부 정책에 대한 국민의 신뢰도 향상
연구개발성과의 비공개여부 및 사유	해당없음

연구개발성과의 등록·기탁 건수	논문	특허	보고서 원문	연구 시설·장비	기술 요약 정보	소프트웨어	표준	생명자원		화합물	신품종	
								생명 정보	생물 자원		정보	실물
	69.5	-	-	-	-	5	-	-	-	-	-	-

연구시설·장비 종합정보시스템 등록 현황	구입기관	연구시설·장비명	규격 (모델명)	수량	구입 연월일	구입가격 (천원)	구입처 (전화)	비고 (설치장소)	ZEUS 등록번호
	-	-		-	-	-	-	-	-

국문핵심어 (5개 이내)	노후 도로시설	지진취약도	지진복원력	내진성능관리	의사결정지원 기술
영문핵심어 (5개 이내)	Aged Road facilities	Seismic Fragility	Seismic Resilience	Seismic Performance Management	Decision Support Technology

〈 목 차 〉

1. 연구개발과제의 개요 ····· 1

2. 연구개발과제의 수행 과정 및 수행내용 ····· 18

3. 연구개발과제의 수행 결과 및 목표 달성 정도 ····· 33

4. 목표 미달 시 원인분석(해당 시 작성) ····· 100

5. 연구개발성과 및 관련 분야에 대한 기여 정도 ····· 100

6. 연구개발성과의 관리 및 활용 계획 ····· 102

별첨자료(참고문헌 등)

1. 연구개발과제의 개요

1) 연구개발과제의 최종 목표

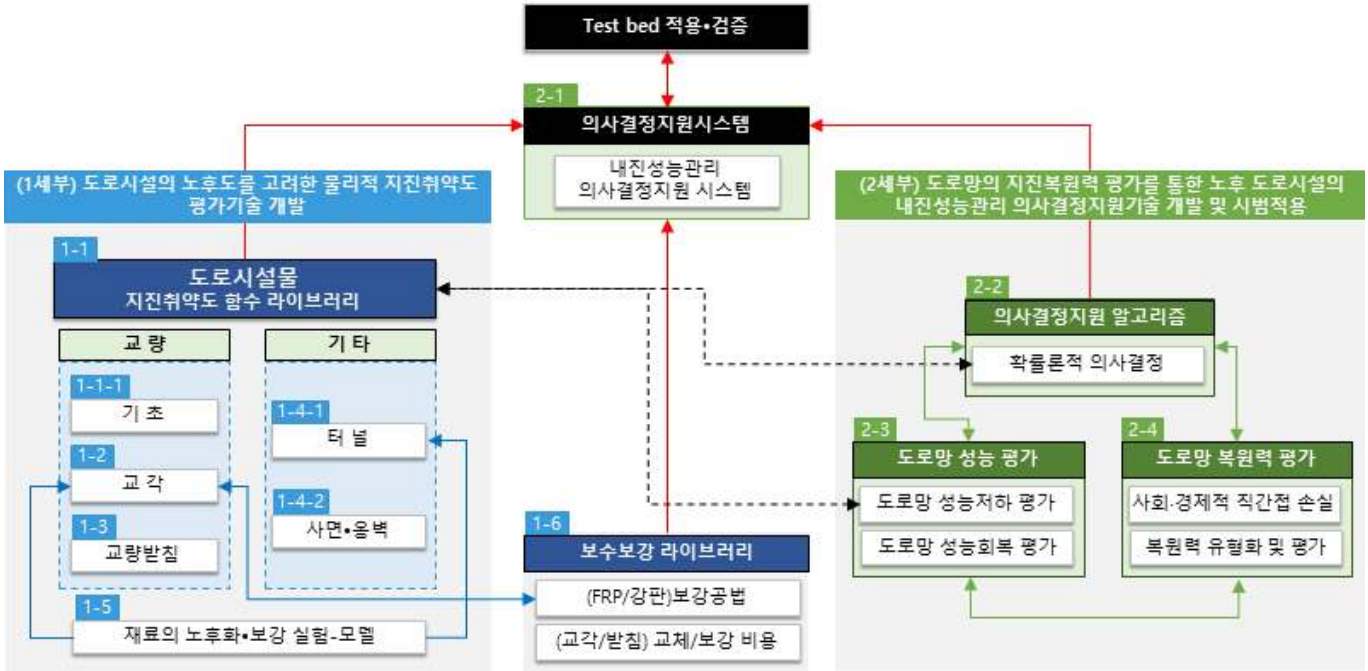
○ (최종목표)노후 도로시설(교량, 터널, 사면, 옹벽)의 내진성능관리를 위한 의사결정지원 기술 개발

- (1세부 최종목표) 도로시설의 노후도를 고려한 물리적 지진취약도 평가기술 개발
  - (목표1-1) 도로의 중요도에 따른 내진성능수준 및 부재 손상수준 결정 기술 개발
  - (목표1-2) 노후 도로시설의 노후도 및 보수보강 효과를 반영한 지진취약도 기술 개발
  - (목표1-3) 도로시설물 대표재료의 노후화 및 보강 특성 모델 개발
  - (목표1-4) 내진보수보강 공법 및 향상효과 D/B 라이브러리 구축
- (2세부 최종목표) 도로망의 지진복원력 평가를 통한 노후 도로시설의 내진성능관리 의사결정지원 기술 개발 및 시범적용
  - (목표2-1) 노후 도로시설 내진성능관리 의사결정지원 시스템 Test Bed 실증
  - (목표2-2) 노후 도로망의 확률론적 내진성능평가 및 보수보강 의사결정지원 기술 개발
  - (목표2-3) 도로시설 노후도를 고려한 도로망 내진성능 저하 및 회복 평가 기술
  - (목표2-4) 노후 도로시설 및 도로망의 사회·경제적 복원력 유형 분석 및 평가 기술 개발

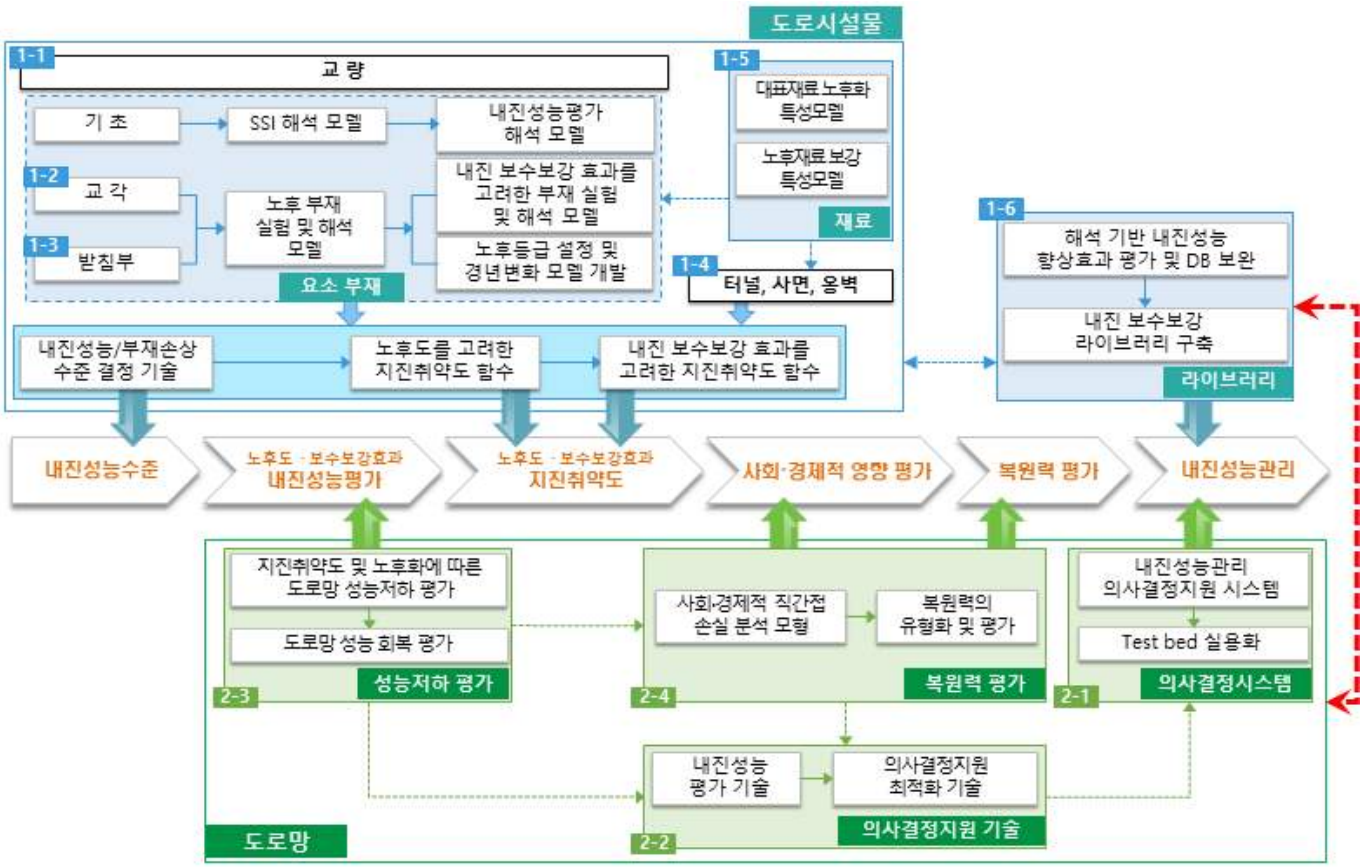
[그림] 연구 비전 및 세부별 연구목표

[그림] 1세부 기관별 연구내용 및 범위

[그림] 2세부 기관별 연구내용 및 범위



[그림] 연구단 연계도



[그림] 세세부 별 성과물 연계도

2) 연구개발과제의 년차별 목표

[1-1, 인하대학교]

□ 1차년도

○ 내진성능평가를 위한 국내 교량의 표준 분류체계

- 국내 대표 교량 분류체계(안) 제시

○ 국내 교량의 표준 지진취약도 분석방법 개발

- 국내외 지진취약도 분석방법 문헌 조사
- 교량의 표준 지진취약도 분석방법 개발 및 검증

○ 국내 교량기초 형식 분류 및 내진성능 평가를 위한 교량기초 모델 및 설계기준 조사/분석

□ 2차년도

○ 샘플 교량에 대한 상세 해석 및 표준 지진취약도 분석 방법 검증

- 상부구조에 따른 교량의 표준 지진취약도 검증 및 상세 해석

○ 노후도를 반영한 교량의 지진취약도 분석

- 노후도를 반영한 교량의 지진취약도 분석방법 개발 및 검증

○ 교량기초 손상수준 분석 및 한계상태 정량화

□ 3차년도

○ 도로의 중요도에 따른 도로시설 내진성능수준 결정 기술 및 부재 손상수준 결정 기술 개발

- 도로망과 도로시설물의 내진성능수준 연계를 위해 교량의 지진취약성 분석 결과를 DB화 및 2세부의 도로망의 내진성능관리 의사결정지원 기술과 연계(안) 제시
- 부재별 실험을 하는 1-2,3세세부와 연계하여 부재별(교각, 교좌) 손상한계 정의 방법 및 분석(안) 개발

○ 보수보강 효과를 반영한 교량의 지진취약도 함수 개발

- 노후도 및 보수보강을 고려한 교량의 지진취약도 표준화 체계(안) 제시

○ 역학적 모델을 이용한 교량기초부의 내진성능 수준 결정

○ SSI 해석을 통한 교량기초 내진성능평가 및 액상화 영향 평가

□ 4차년도

○ 교량의 지진취약도 함수 수정 및 보완

- 세세부 실험 결과 및 연구 내용을 통한 지진취약도 곡선 작성 방법 수정 및 보완
- 선정된 Test-Bed 지역 도로망의 교량의 지진취약도 평가 적용 및 검증
- 교량의 지진취약도 기술 절차서(안) 작성

○ 대표 교량별 지진취약도 라이브러리 작성

- 대표 교량의 요소별 한계상태를 고려한 지진취약도 라이브러리 DB 작성
- 노후도 및 보수보강 효과를 고려한 대표교량의 지진취약도 라이브러리 DB 작성
- 대표 교량의 지진취약도 라이브러리 DB 설명서 작성

○ 테스트베드 교량기초의 내진성능 평가

○ SSI 기법으로 액상화를 고려한 테스트베드 교량기초의 내진성능 평가

[1-1 세세부위탁, 토론토대학교]

□ 1차년도

○ 기초 형식별 SSI 해석을 위한 수치 모델링 방법에 관한 문헌조사

□ 2차년도

○ SSI를 고려할 수 있는 교량기초 내진성능 평가 수치해석 모델 개발

[1-2, 국민대학교]

□ 1차년도

○ 교각에 대한 요구 내진성능수준별 지진거동특성 정량화 기술 개발

○ 노후도를 고려한 부착실험 설계 및 준비

○ 노후도를 고려한 교각실험 설계 및 준비

□ 2차년도

○ 노후도를 고려한 부착거동 단조가력 실험

○ 노후 교각 축소모형 실험

○ 축소모형 실험결과를 기반으로 노후 교각 거동 유한요소해석 기법 개발

○ 교각 실물 실험체 및 겹침이음 보 실험체 제작

□ 3차년도

○ 노후도를 고려한 부착거동 반복가력 실험 및 부착거동 모델 개발

○ 보수·보강 교각 축소모형 실험

○ 노후화를 고려한 교각 유형별 해석모델 개발

○ 실물크기의 노후 교각 및 겹침이음 보 실험

○ 보수·보강 교각 실물 실험체 제작

○ 노후화를 고려한 교각 지진거동 해석절차서 초안

□ 4차년도

○ 실물크기의 노후 교각 및 보수·보강 교각 추가 실험

○ 실물 교각 실험결과를 기반으로 노후 교각 유한요소모델 고도화

○ 노후화를 고려한 교각 유형별 해석모델 고도화

○ 노후화를 고려한 교각 거동 해석지침(안) 개발

○ 노후화를 고려한 교각 지진거동 해석절차서 개선안

[1-3, 울산대학교]

□ 1차년도

○ 교량받침부 거동한계(손상수준) 조사 · 분석

- 국내외 교량받침 및 앵커의 거동한계(손상수준) 문헌 조사
- 교량받침부의 지진피해 사례 조사 및 손상특성 분석
- 노후된 고무받침의 지진피해 원인 조사·분석

○ 교량받침부 노후도특성분석

- 국내외 문헌(논문, 보고서 등) 및 기술자료(한국시설안전공단 보유자료 등) 분석
- 국내 교량받침 및 앵커의 설계·시공 현황 조사
- 교량받침 및 앵커의 노후도 원인 조사·분석
- 교량받침 및 앵커의 노후도와 손상특성 분석
- 국내외 문헌연구를 통해 노후된 교량받침의 다양한 손상특성 조사

○ 영향요인별 시험변수 설정 및 실험체 설계

- 국내외 장기 열화 시험관련 자료 조사·분석
- 재료레벨 시험 및 부재레벨 실험 변수 설정
- 재료레벨 시험 및 부재레벨 실험방법 설정

□ 2차년도

○ 노후도에 따른 재료 및 역학적 특성 규명

- 노후영향요인별 노출도를 고려한 재료특성 시험
- 노후영향요인별 노출도에 따른 노후도 정립

- 노후상태 조건별 부재레벨 실험
- 노후등급의 경년변화 분석
- 노후영향요인별 노출도에 다른 노후도 분류(재료시험 결과)
- 노후등급 분류(부재실험 결과)
- 노후등급 변화에 큰 영향을 미치는 노후영향요인 분석

○ 노후등급별 역학적 모델 제시
- 역학적 특성 실험에 근거한 노후등급별 역학적 모델 제시
- 역학적 모델을 적용한 해석결과와 실험결과 조정
- 취약도 해석을 위한 역학적 모델 제시

□ 3차년도

○ 성능수준별 교량받침의 지진거동특성 정량화 기술개발
- 재료특성 시험 및 부재레벨 실험 결과 비교·분석
- 내진성능수준별 지진거동특성 정량화

○ 노후등급 경년변화특성 분석
- 재료특성 시험 및 부재레벨 실험 결과 비교·분석
- 노후상태조건에 따른 노후등급설정
- 노후등급별 부재레벨 실험
- 노후등급 경년변화특성 분석

○ 노후등급별 역학적 모델 확립
- 재료특성 시험 및 부재레벨 실험 결과 비교·분석
- 노후등급별 역학적 모델 수정 및 보완

□ 4차년도

○ 노후등급 경년변화 모델 개발
- 재료특성 시험 및 부재레벨 실험 결과 비교·분석
- 해석결과와 비교·분석
- 장기사용에 따른 노후등급 경년변화모델 개발

[1-4, 한양대학교]

□ 1차년도

○ 터널, 사면, 옹벽 분류체계 개발
- 취약도 함수 개발을 위한 터널, 사면, 옹벽 설계도면 DB 구축
- 터널, 사면, 옹벽 유형 분류체계 개발

○ 터널, 사면, 옹벽의 대표요소 결정 및 노후 거동 특성 조사
- 내진성능을 지배하는 터널, 사면, 옹벽의 대표요소 결정
- 터널, 사면, 옹벽 대표요소의 노후거동 특성에 관한 문헌조사

○ 터널, 사면, 옹벽의 내진성능수준 및 부재손상수준 결정 기술 개발
- 도로중요도에 따른 터널, 사면, 옹벽의 내진성능수준 결정기술 개발
- 터널, 사면, 옹벽 내진성능수준별 부재손상수준 결정기술 개발

○ 터널, 사면, 옹벽 대표요소의 성능예측을 위한 취약도 함수 표준형식 결정
- 터널, 사면, 옹벽 대표요소의 성능예측을 위한 최적 지반진동변수 결정
- 터널, 사면, 옹벽 대표요소의 성능예측을 위한 취약도 함수 표준형식 결정

□ 2차년도

○ 터널, 사면, 옹벽 취약도 함수 개발을 위한 설계지반운동 산정
- 국내 지진환경 맞춤형 계측 지진파 선정
- 한반도 등재해스펙트럼 도출 및 지진파 매칭 수행

- 도로망 주변의 지반 주상도 조사
- 1차원 비선형 부지응답해석에 기초한 설계지반운동 산정

○ 터널, 사면, 옹벽 대표요소 지진거동특성 정량화 기술
- 요구성능수준별 터널, 사면, 옹벽 동적 수치해석 기술 개발
- 터널, 사면, 옹벽 대표요소 지진거동 예측 및 정량화 기술 개발

□ 3차년도

○ 터널, 사면, 옹벽의 구성요소별 손상모드별 내진 보수/보강 성능 특성 분석
- 터널, 사면, 옹벽의 구성요소별 손상모드별 내진 보수/보강 성능 조사 및 특성 분석

○ 터널의 노후도를 고려한 지진취약도 함수 개발
- 터널의 노후도를 고려한 동적해석 매개변수 연구 수행
- 터널의 노후도를 고려한 지진취약도 곡선 개발

○ 터널의 내진 보수/보강 공법별 지진취약도 함수 개발
- 터널의 내진 보수/보강 공법별 동적해석 매개변수 연구 수행
- 터널의 내진 보수/보강 공법별 지진취약도 곡선 개발

○ 사면, 옹벽의 지진취약도 함수 개발
- 사면, 옹벽의 동적해석 매개변수 연구 수행
- 사면, 옹벽의 지진취약도 곡선 개발

□ 4차년도

○ 터널, 사면, 옹벽의 지진취약도 함수 보정
- 도로망의 복원력을 고려하여 지진취약도 함수 보정

○ 테스트베드 도로망 지반운동 산정 및 터널, 사면, 옹벽 취약도 평가
- 테스트베드 지역 확률론적 지진재해분석에 기반한 대표 지진 시나리오 결정
- 테스트베드 도로망 부지증폭과 감쇠를 고려한 공간적으로 변이하는 지반운동 산정
- 테스트베드 도로망 터널 노후도를 고려한 취약도 분석
- 테스트베드 도로망 터널 내진 보수/보강 시 취약도 분석
- 테스트베드 도로망 사면, 옹벽 취약도 평가

○ 터널, 사면, 옹벽 지진취약도 기술 절차서

[1-5, 경상국립대학교]

□ 1차년도

○ 도로시설물 대표재의 노후화 관련 선행 연구자료 조사 및 분석
○ 도로시설물 대표재료의 노후화 모델 적용식 도출

□ 2차년도

○ 콘크리트 노후화 특성 분석
○ 철근부착에 대한 특성 도출

□ 3차년도

○ 노후화된 콘크리트의 보강거동 특성 분석
○ 노후화된 철근콘크리트 보 부재의 보강에 따른 철근 부착 거동 특성 분석

□ 4차년도

○ 콘크리트의 노후화 특성모델 제안
○ 철근의 노후화 및 보강에 따른 부착 거동 특성 변화 모델
○ 콘크리트 시설물 노후화 평가 매뉴얼

[1-6, 한밭대학교]

□ 1차년도

○ 국내외 내진성능 보수보강 공법의 적용사례 조사

□ 2차년도

○ 주요 구성요소 노후화/손상모드별 보수보강 공법의 정립

○ 내진성능 보수보강 공법의 기술정보 D/B구축

○ 교각의 보수보강 효과분석을 위한 해석기술 정립

□ 3차년도

○ 구성요소별/손상모드별 보수보강기법의 내진성능 향상효과 D/B구축

○ 교각의 보수보강에 따른 내진성능향상도 평가

○ 내진성능 향상효과 D/B 보완 및 검증 연구

□ 4차년도

○ 노후등급을 고려한 교각의 보수보강에 따른 내진성능향상도 평가

○ 내진성능 보수보강 공법 라이브러리의 업그레이드 개선

○ 내진성능 보수보강 공법의 설계시공 기본매뉴얼 개발

[2-1, 국토안전관리원]

□ 1차년도

○ 도로시설 내진성능 의사결정 시스템 운영현황 조사

○ 노후도로시설 내진성능 의사결정지원기술 실증 사례조사 및 전략수립

□ 2차년도

○ 도로시설물 내진성능관리 의사결정지원 기술매뉴얼 개발

- 결정론적 방법과 지진취약도를 고려한 확률론적 방법을 통한 의사결정 장단점 분석
- 의사결정지원 요소기술 적용을 위한 기술 매뉴얼을 작성
- Test Bed 실증 결과를 반영할 수 있는 방안 도출
- Test-Bed 추진을 위한 지자체 협약 체결을 위한 연구 설명
- 내진성능평가 및 내진성능관리 기존 제도 및 관리체계의 현황과 장단점을 비교 분석(추가연구)

○ 내진성능 의사결정 지원 플랫폼 구축

- 물리적 취약도와 관련된 요소기술들을 소프트웨어에 접목하기 위한 요소기술 모듈개발
- 내진성능 의사결정지원 시스템을 소프트웨어에 접목하기 위한 모듈개발
- 개발된 모듈을 활용하기 위한 플랫폼 구축(소프트웨어의 해석 과정 접근이 가능한 방향으로 기술개발)

□ 3차년도

○ 노후 도로시설물 내진성능관리 의사결정 지원소프트웨어 개발

- 내진성능관리 의사결정지원 소프트웨어 기능선정
- 1세부, 2세부에서 개발된 요소기술별 모듈조합 통한, 의사결정 소프트웨어 개발
- 유저 매뉴얼 작성 및 소프트웨어 등록
- 의사결정 STEP과 세세부별 데이터와의 통합 및 연계방안 제시(별지참조)
- UI기반으로 사용자가 직관적으로 사용할 수 있도록 소프트웨어 고도화
- 직접피해규모, 간접피해규모 및 내진성능 지수 비교를 통한 경제성분석 방안제시
- 시스템의 실용화 및 사업화(전국시도로 확대)를 위한 의사결정시스템 범용성 고도화 방안제시

○ 의사결정지원기술 매뉴얼 고도화

- 이론적인 부분을 부록으로 구성하여, 매뉴얼 본문을 단순·명확화
- 입력 값 및 의사결정방법 이해를 돕기 위한 다양한 예제 수록

○ 노후 도로시설물 내진성능관리 의사결정제도(안) 수립
- 국외 도로시설물의 내진성능관리체계 및 의사결정제도 검토
- 국내실정을 반영한 의사결정시범제도 구축
- 도로망 평가를 통한 내진성능 관리체계 확립을 위한 법/제도(안) 수립
- 주요도로시설 관리기관의 유지관리시스템 및 Test Bed 결과의 연계방안 도출

□ 4차년도
○ Test-Bed 실증을 통한 내진성능관리 의사결정 시스템 검증
- Test-Bed 실증일정*에 따른 세부과제별 연계성 강화를 위한 1~2세부 모듈통합* S/W 완성
- 내진성능관리 의사결정지원기술에 대한 실수요자의 의견조회를 위해 실시된 공청회('20.11)결과 및 지자체와의 실증협력회의*의견을 반영하여 의사결정시스템 검증
- 내진성능관리 의사결정 시스템의 실용화를 위해 국토안전관리원(전, 한국시설안전공단) 국가내진센터에서 추진하고 있는 "내진성능평가 공통적용사항(안)" 및 "시설물별 내진성능평가 기준(안)"에 당 연구과제를 통해 작성된 "내진성능관리 의사결정지원 요령"을 인용하도록 지속 추진
- Test-Bed 결과를 활용하여 의사결정 시스템(각 세부별 요소기술) 및 매뉴얼 보완(실증결과 반영)
- 포항시 외 타 도시로 당 시스템의 적용성을 예시하기 위해, 간단한 타도시(예, 경주) 표준화 도로망을 구축하여 시스템에 적용할 예정이며, 적용과정 및 결과를 매뉴얼에 수록예정
○ 내진성능관리 의사결정기술 교육프로그램(안) 개발
- 기존시설물 내진성능관리 시에 활용할 수 있도록 "내진성능관리 의사결정지원 매뉴얼" 내용을 내진성능평가 교육 자료로 개발

[2-1, (위탁) 인천대학교]
□ 1차년도
○ 해당사항 없음

□ 2차년도
○ 결정론적 방법과 지진취약도를 고려한 확률론적 방법에 따른 내진성능보강방안 연구
- 결정론적 방법과 확률론적 방법을 통한 내진성능보강 우선순위 비교 및 분석
- 설계방식에 따른 내진보강 종류를 결정론적 방법과 확률론적 방법을 활용한 내진성능보강 방안과 연계하여 연구 수행
- 결정론적 방법과 확률론적 방법 기반의 의사결정 사례 및 시사점 도출

□ 3차년도
○ 노후 구조물 관리를 위한 의사결정지원 프로그램 알고리즘 조사 및 개발
- 노후 구조물 평가방법에 대한 알고리즘 조사 및 분석
- 확률론적 방법에 대한 수계산 예제 수록
- 내진관리 의사결정 지원 소프트웨어 검토

□ 4차년도
○ OpenSEES를 활용한 내진성능관리 의사결정지원시스템 검증
- Test-Bed 결과를 바탕으로 OpenSEES를 활용한 내진성능관리 의사결정지원 시스템 및 매뉴얼 개선안 도출

[2-2, 서울대학교]
□ 1차년도
○ 확률적 상관관계를 고려한 지진강도 예측 기술 개발 세부 로드맵 수립
- 공간적 불확실성을 고려한 지반 운동 예측에 관한 문헌조사
- 국내외 지진동 강도에 따른 공간 분포 사례 분석
○ 확률적 상관관계를 고려한 지진동 수용력 추정 기술 개발 세부 로드맵 수립

- 국내외 연구 결과 분석을 통해 도로시설물 간 영향인자의 정량화를 위한 지표 설정
- 전문가 자문을 통해 수용력 추정을 위한 노후 도로망 시설물 모델 개발

○ 내진성능관리 최적 의사결정법 기초 모델 설계
- 보수·보강 의사결정법 관련 문헌 및 자료조사
- 구조물의 노후화가 고려된 재난복원력 평가 모델 문헌 및 자료조사
- 내진성능관리 최적의사결정법의 제약 조건 및 목적 함수 정립

□ 2차년도

○ 확률적 상관관계를 고려한 도로망 시스템의 지진동 강도 공간 분포 예측 기술 개발
- 지진원의 공간적 불확실성을 고려한 지반 운동 예측 기술 개발

○ 시설물간 영향인자를 고려한 도로 시설물의 지진동 수용력 추정 기술 개발
- 지진동 수용력에 영향을 주는 도로시설물 간 영향인자(노후도, 노후화 속도, 건설연도) 정량화
- 지진동 수용력 추정을 위한 노후화 정도 및 노후화 변인 지도 개발
- 정량화한 도로 시설물간 영향인자를 바탕으로 도로망 네트워크 시스템의 지진동 수용력 추정기술 개발

○ 내진성능관리 최적 의사결정지원 핵심기술 개발
- 주요 도로시설의 노후화가 반영된 재난복원력 평가 모델 개발
- 보수·보강 의사결정법 및 구조물 노후화 데이터를 기반으로 한 내진성능관리 최적화 알고리즘 개발

□ 3차년도

○ 시나리오 기반 도로망 시스템의 확률론적 내진성능 평가 샘플링 기법 개발
- 도로망 시스템의 요구 지진강도 및 시설물 지진동 수용력 추정 기술, 사회 경제적 복원력 평가 기술 등을 기반으로 한 확률론적 내진성능 평가 샘플링 기법 개발
- 효율적이고 정확한 성능 평가를 위한 샘플링 기법 개선

○ 범용예제 시범 적용을 통한 의사결정지원 방법론 개선 및 적용성 검증
- 개발된 방법론의 범용예제 적용 및 결과 분석
- 결과 분석을 통한 의사결정지원 최적화 알고리즘 개선

□ 4차년도

○ 개발한 도로망 시스템 확률론적 내진성능 평가기술 테스트베드 적용 및 소프트웨어 개발 지원
- 개발 기술의 테스트베드 적용 및 결과 분석
- 결과 분석을 통한 확률론적 내진성능 평가 기술 개선
- 소프트웨어 개발에 사용될 확률론적 내진성능평가 주요 기반 기술 및 샘플링 알고리즘 지원

○ 테스트베드 적용을 통한 내진성능관리(보수·보강) 의사결정지원 방법론 확립
- 개발한 의사결정지원 방법론을 중소 도시 도로망 시스템에 적용
- 결과 분석을 통한 방법론의 적절성 판단
- 소프트웨어 개발팀에 의사결정지원 방법론 기술 지원

[2-3, 울산과학기술원]

□ 1차년도

○ 도로망의 내진성능 평가를 위한 지수 개발
- 노후 도로망의 내진성능 평가에 관한 기존 문헌 조사 및 연구동향 파악
- 지진에 대한 노후도로망의 성능평가를 위한 지수 개발
- 프로토타입 예제 개발 및 해석

□ 2차년도

○ 시스템신뢰성 해석 기반 노후 도로망 성능 저하 평가 기법 개발
- 개별 도로시설들의 확률론적 지진 취약도에 근거한 도로망 성능 저하 평가 기법 개발
- 도로시설의 노후화에 따른 도로망 내진성능 저하 평가 기법 개발

- 몬테카를로 시뮬레이션을 통한 도로망 성능 저하 평가 기법 검증

□ 3차년도
○ 노후 도로시설 및 도로망 성능 회복 모델링 평가 기법 개발
- 도로시설 복구를 통한 도로망 성능 회복 모델링
- 지진발생 후 도로망의 성능 회복 평가 기법 개발
- 개별 도로시설들의 확률론적 지진 취약도에 근거한 도로망 성능 저하 및 회복 평가 모듈 개발

□ 4차년도
○ 노후 도로망 내진성능 저하 및 회복 평가 기법의 의사결정시스템 적용
- 개발 기법의 도로시설 관리 의사결정시스템 적용 및 호환성 검증
- 노후 도로망의 내진성능 저하 및 회복 평가 기법 고도화
- 내진성능관리 의사결정지원 기술 개발을 위한 기초 및 개선사항 연구

[2-4, 연세대학교]
□ 1차년도
○ 빅데이터를 활용한 지진재해의 사회·경제적 직간접 손실 영향 범위 분석
- 텍스트마이닝 기법을 활용한 국내 지진사례(경주, 포항) 분석 및 지진으로 인한 직간접 손실 유형 분류
○ 지진재해의 사회·경제적 직간접 손실 추정 방법론 조사
- 직간접 손실 추정방법론(HAZUS의 결정론적 방법, 투입-산출모형, 연산일반균형(CGE) 등) 관련 선행연구 검토 및 개발모형 선정
○ 지진발생에 따른 도로망 및 지역의 사회·경제적 취약도 분석 및 재해영향권 시범 분석
- 선행연구를 통한 사회·경제적 취약도 개념 검토
- 지진 발생에 따른 영향권 설정 방법론 관련 선행연구 검토 및 시범 적용

□ 2차년도
○ 도로시설 및 도로망의 사회·경제적 직접손실 분석모형 개발
- 지진발생 시나리오, 교량정보, 건설단가를 이용한 직접손실 산출 모형 개발
○ 도로시설 및 도로망의 사회·경제적 간접손실 분석모형 개발
- 교통수요모형을 통합한 연산일반균형모형 개발
○ 지진 발생에 따른 사회·경제적 복원력 유형화
- 도로시설 및 도로망의 사회·경제적 복원력 개념 정의, 유형화 기준 및 정량화 지표 도출

□ 3차년도
○ 도로시설 및 도로망의 사회·경제적 복원력 평가를 위한 지진피해 예측 시나리오 구축
- HAZUS 지진 취약도 함수 기반 지진 재현주기별, 피해규모별 파괴확률 값 산정
- 도로시설물별 파괴확률 값을 활용한 시나리오별 파괴확률(발생확률) 값 산정
- 재현주기별로 파괴확률(발생확률)이 높은 상위 10만개의 시나리오 도출(총 40만개)
○ 도로시설 및 도로망의 사회·경제적 손실 추정 알고리즘 개발
- 도로시설물별 건설단가, 도로시설물의 파괴확률을 고려한 직접손실 추정 알고리즘 개발
- 지진으로 인한 도로시설물 붕괴에 따라 발생하는 지역 간 통행시간(VHT) 증가에 따라 발생되는 통행지연, 교역감소, 생산 및 소비량 변화, 효용변화를 고려한 간접손실 추정 알고리즘 개발
○ 도로시설 및 도로망의 사회·경제적 복원력 평가기술 개발
- 지역 차원의 사회·경제적 복원력 개념화 및 복원력에 영향을 미칠 수 있는 요인 도출 및 평가지표 구성
- 집단 간 비교분석(Kruskal-Wallis), 군집분석을 통한 평가지표 검증
- 평가지표 기반, 사회·경제적 복원력 평가 알고리즘 개발

□ 4차년도

○ Test Bed의 지진발생에 따른 사회·경제적 직간접 손실 예측 및 분석

- 지진규모별(Magnitude: 5.5, 6.0, 6.5, 7.0) 발생확률 상위 10만개의 지진 시나리오별 포항시(Test Bed)의 직간접 손실 예측

○ Test Bed의 지진발생에 따른 사회·경제적 복원력 평가

- 복원력 평가를 위한 평가측면 구성 및 평가지표 고도화
- 포항시(Test Bed) 포함 전국 228개 시군구 지역 대상 재난에 대한 지역 복원력(사회·경제적 복원력) 평가
- 지역 간 비교분석을 통한 포항시(Test Bed)의 상대적인 지역 복원력 수준 분석

○ Test Bed의 사회·경제적 복원력 증진 및 향상방안 도출

- 복원력 증진 및 향상을 위한 지역 차원의 주요 요소(키워드) 도출
- 복원력 증진 및 향상 측면에서의 주요 요소(키워드) 간의 상대적 중요도 분석

[1-1, 인하대학교]

구분	연구개발목표	핵심 연구개발성과 (연구개발성과물)	현재 국내・외 기술수준	연구개발 목표치	목표치 설정 근거	가중치 (%)
1년차 (2018)	국내 교량의 분류체계 및 표준 지진취약도 분석방법 개발	국내 교량 분류체계(안)	- 미국의 경우 교량의 분류체계에 대해 "Hazus-99"를 적용하고 있으며, 교량의 내진성능에 영향을 끼치는 요소를 고려하여 28종류로 분류하였음 - 국내의 경우 한국방재학회에서 수행한 "교량구조물의 지진취약도함수 국산화 연구"를 통해 미국의 분류체계를 변형하여 제시함	통계분석을 통한 교량 분류체계(안) 1건	-기존의 국내 교량 분류체계는 미국의 분류체계를 기준으로 변형하였지만 국내의 실정을 반영하기 위해 FMS 및 국토부 자료를 통해 통계분석을 근거로 한 분류체계 제시가 필요함	10
2년차 (2019)	샘플 교량에 대한 상세 해석 및 표준 지진취약도 분석 방법 검증	RC, PSC, 강합성 교량의 지진취약도 분석 검증 보고서	- 국내외에서 교량의 지진취약도 함수를 구하는 연구가 많이 진행되었지만, 이를 국내 실정에 맞게 변경할 필요가 있음	검증 보고서 1건	- 기존의 방법과 국내 실정에 맞게 변경하여 적용한 결과를 비교분석하여 표준 지진취약도 곡선 절차의 근거로 사용함	15
	노후도를 반영한 교량의 지진취약도 분석 방법 개발	노후도를 고려한 교량의 지진취약도 표준화 체계(안)	- 기존의 교량의 지진취약도 곡선을 구하는 절차에 대해서는 여러 방법이 있지만, 노후도를 고려한 표준 지진취약도 곡선 작성 절차에 대해서는 특정한 예가 없음	교량의 노후도 효과를 반영한 지진취약도 표준화 체계(안) 1건	- 노후도를 고려하기 위해서는 각 교량 요소의 모델링 및 한계상태에 정의가 실험을 통해 필요하지만 표준화를 통해 대표적인 지진취약도 곡선을 작성할 수 있도록 함	15
3년차 (2020)	도로의 중요도에 따른 도로시설 내진성능수준 결정 기술 및 부재 손상수준 결정 기술 개발	도로시설물과 도로망의 내진성능관리 의사결정지원 기술 연계(안)	- 기존의 내진성능평가 추정은 도로시설물의 단일 개념에서 하였지만 도로망과의 연계를 통해 도로망의 내진성능을 관리하는 기술은 연구가 많지 않음	도로시설물과 도로망의 내진성능관리 연계(안) 1건	- 도로시설물들의 지진취약도 곡선 DB와 도로망의 내진성능관리 의사결정지원 기술과의 연계를 제시할 수 있도록 함	7.5
		부재별 손상상태 정의(안)	- 교량의 부재에 대한 연구는 많이 진행되었지만 실험을 통해 각 부재의 노후화에 의한 한계상태를 명확히 정의한 예가 많지 않으며 국내의 사례는 예가 없음	각 부재의 일반 및 노후화에 의한 한계상태 정의(안) 1건	- 실험결과를 통해 교량 부재의 일반 한계상태와 노후도에 의한 변화를 고려한 한계상태를 제시할 수 있도록 함	7.5
	보수보강 효과를 반영한 교량의 지진취약도 함수 개발	보수보강을 고려한 교량의 지진취약도 표준화 체계(안)	- 기존의 교량 지진취약도 곡선을 구하는 절차에 대해서는 여러 방법이 있지만, 보수보강을 고려한 표준 지진취약도 곡선 작성 절차에 대해서는 특정한 예가 없음	교량의 보수보강 효과를 반영한 지진취약도 표준화 체계(안) 1건	- 보수보강을 고려하기 위해서는 각 교량 요소의 모델링 및 한계상태에 정의가 실험을 통해 필요하지만 표준화를 통해 대표적인 지진취약도 곡선을 작성할 수 있도록 함	15
4년차 (2021)	교량의 지진취약도 함수 수정 및 보완	교량의 지진취약도 기술 절차서(안)	- 교량 지진취약도 곡선을 구하는 절차에 대해서 노후도 및 보수보강 효과를 고려한 표준 지진취약도 곡선 작성 절차에 대해서는 국내에 특정한 예가 없음	교량의 지진취약도 기술 절차서(안) 1건	- 1~3차년도의 교량의 지진취약도 표준화 체계를 통합하여 국내 실정을 고려한 교량의 지진취약도 기술 절차서(안)을 도출할 수 있도록 함	10
	대표 교량별 지진취약도 라이브러리 완성	대표 교량별 지진취약도 라이브러리 DB	- 국내의 경우, 명확한 대표 교량 별 분류체계가 없으며, 또한 각 대표교량 별 지진취약도 곡선 DB를 사전에 구축하여 시설물의 내진성능을 평가하는 사례가 없음	대표 교량별 지진취약도 라이브러리 DB	- 국내 대표교량 및 분류체계와 타 세세부의 실험결과를 사용하여 국내 교량의 지진취약도 곡선 라이브러리 DB를 구축하여 소프트웨어 탑재를 목표로 함	20

[1-2, 국민대학교]

구분	연구개발목표	핵심 연구개발성과 (연구개발성과물)	현재 국내·외 기술수준	연구개발 목표치	목표치 설정 근거	가중치 (%)
1년차 (2018)	교각의 내진성능수준에 따른 손상수준	교각의 내진성능수준에 따른 손상수준안 제시 (자문의견서)	국내외 실험을 통한 연구 수행되었으나, 국내 교각의 내진성능수준에 따른 손상수준 제시 미흡	문헌 조사를 통한 교각의 내진성능수준에 따른 손상수준안 제시 1건	실험 수행 이전에 문헌 조사 필요	5
	노후도를 고려한 철근콘크리트 부착 거동특성	부식 시편 제작 및 실험 기법 정립 (보고서)	국내 철근콘크리트에 대한 부식 철근 부착 실험 미비	시편 제작, 부식수행 및 실험셋업 완료	부착 실험 준비	5
	노후도를 고려한 철근콘크리트 교각의 비선형 수치해석 모델	노후교각의 지진거동특성 파악을 위한 기존 연구 및 현황 분석 (보고서)	철근 부식을 고려한 교각 해석 모델 미비	철근 부식을 고려한 교각 해석 모델 관련 문헌조사 1건	해석모델 개발을 위한 문헌 조사 필요	5
2년차 (2019)	노후도를 고려한 철근콘크리트 부착 거동특성	단조가력 부착실험 (보고서)	국내 부식 철근 부착 실험 자료 미비	단조가력 부착실험	단조가력 부착 모델 개발을 위한 실험	10
	노후도를 고려한 철근콘크리트 교각의 비선형 수치해석 모델	보수보강 전후 노후교각실험 (보고서)	겹침이음과 철근부식으로 인한 국내 노후 교각의 거동 자료 미비	축소교각 실험	겹침이음과 철근부식이 교각 거동에 미치는 영향 확인	15
3년차 (2020)	노후도를 고려한 철근콘크리트 부착 거동특성	반복가력 부착실험 (보고서)	국내 철근콘크리트에 대한 부식 철근 부착 실험 미비	반복가력 부착실험	반복가력 부착 모델 개발을 위한 실험	10
	노후도를 고려한 철근콘크리트 교각의 비선형 수치해석 모델	보수보강 전후 노후교각실험 (보고서)	겹침이음 철근부식으로 인한 국내 노후 교각의 거동 자료 미비	실크기 교각 휨실험	겹침이음과 철근부식이 교각 거동에 미치는 영향 확인	10
		교각 해석 절차서 초안 개발 (절차서 초안)	부식된 겹침이음 거동을 고려한 해석모델 개발 필요	해석모델 개발 및 절차서 초안 1건	부식된 겹침이음 거동을 고려한 해석모델 개발	5
4년차 (2021)	노후도를 고려한 철근콘크리트 교각의 비선형 수치해석 모델	보수보강 전후 노후교각실험 (보고서)	겹침이음 철근부식으로 인한 국내 노후 교각의 거동 자료 미비	축소 및 실크기 교각 휨실험	겹침이음과 철근부식이 교각 거동에 미치는 영향 확인	15
		모델개발 (소프트웨어 등록)	부식된 겹침이음 거동을 고려한 해석모델 개발 필요	해석모델 소프트웨어 등록 1건	부식된 겹침이음 거동을 고려한 해석모델 개발	15
		교각 해석 절차서 개선 (절차서)	부식된 겹침이음 거동을 고려한 해석모델 절차서 필요	절차서 1건	부식된 겹침이음 거동을 고려한 해석모델 개발	5

[1-3, 울산대학교]

구분	연구개발목표	핵심 연구개발성과 (연구개발성과물)	현재 국내·외 기술수준	연구개발 목표치	목표치 설정 근거	가중치 (%)
1년차 (2018)	성능수준별 교량받침의 거동한계(손상수준) 및 노후도 특성 조사·분석	성능수준별 교량받침 거동한계(손상수준) 조사·분석 보고서	(일본)고베지진이후 노후 탄성받침에 대한 성능시험 수행	성능수준별 교량받침 거동한계 분석 보고서 1건	손상수준 정량화를 위한 문헌연구	9
		교량받침 노후도 특성분석 보고서	(일본)노후화가 탄성받침의 전단강성을 증가시키는 것으로 보고	교량받침 노후도 특성분석 보고서 1건	탄성받침 노후화에 의한 성능저하 문헌연구	6
		영향요인별 시험변수 설정 및 실험체 설계 보고서	(일본)기존 및 신규 탄성받침에 대한 전단성능시험 수행	영향요인별 시험변수 설정 및 실험체 설계 보고서 1건	재료레벨 및 부재레벨 실험체 설계	13
2년차 (2019)	노후도에 따른 재료 및 역학적 특성 규명	노후요인별 노출도를 고려한 재료특성 시험 보고서	(일본)인장시편에 대한 노화촉진시험 수행	노후요인별 노출도를 고려한 재료특성 시험 보고서 1건	노화촉진된 인장시편 및 전단시편에 대한 재료특성 시험	9
		노후상태 조건 및 노후등급별 부재실험 보고서	(일본)노후화가 전단강성이 미치는 영향 분석	노후상태 조건 및 노후등급별 부재실험 보고서 1건	다양한 노후조건에 따른 탄성받침 부재레벨 실험	13
		노후등급별 역학적 모델 보고서	없음	노후등급별 역학적 모델 보고서 1건	노후도에 따른 역학적 모델 제시	9
3년차 (2020)	노후도에 따른 지진거동특성 정량화	교량받침의 내진성능수준에 따른 손상수준안	(일본)면진고무받침에 대한 3가지	교량받침의 내진성능수준에	교량받침부에 대한 4가지 손상수준	9

	및 역학적 모델 확립		성능등급 제시	따른 손상수준안 1건		
		노후도에 따른 부재실험 보고서	(일본)2011년 동북대지진 이후 100개의 고무받침에 대한 실험 수행	노후도에 따른 부재실험 보고서 1건	노후도에 따라 약 200개 고무받침 성능실험	9
		노후등급설정 및 경년변화특성 분석 보고서	없음	노후등급설정 및 경년변화특성 분석 보고서 1건	사용년수에 따른 노후등급 설정	6
		노후등급별 역학적 모델 확립 보고서	없음	노후등급별 역학적 모델 확립 보고서 1건	노후화에 따른 탄성받침의 강성변화 적용	6
4년차 (2021)	노후도에 따른 노후등급 경년변화모델 개발	노후등급 경년변화 모델 개발 보고서	없음	노후등급 경년변화 모델 개발 보고서 1건	사용년수에 따른 노후등급 설정	11

[1-4, 한양대학교]

구분	연구개발목표	핵심 연구개발성과 (연구개발성과물)	현재 국내・외 기술수준	연구개발 목표치	목표치 설정 근거	가중치 (%)
1년차 (2018)	내진성능수준 결정기술	내진성능수준별 부재 손상수준 결정	국외에서 제시한 손상수준 따름	내진성능수준별 부재 손상수준 결정 1건	보고서 작성여부	5
		대표요소 결정 및 노후도 평가	국외 노후도 평가 기준을 따름	대표요소 결정 및 노후도 평가 보고서 1건	보고서 작성여부	5
	국내 터널, 사면, 옹벽의 분류체계	대표 터널, 사면, 옹벽의 분류체계	국내 실정에 맞는 분류체계를 정립하여 사용하고 있음	대표 터널, 사면, 옹벽의 분류체계 제안 1건	자문회의를 통한 자문의견서 여부	7
	지진취약도 기술 정립	지진취약도 분석체계의 표준화	국외 분석체계를 따름	지진취약도 분석체계의 표준화 보고서 1건	보고서 작성여부	7
2년차 (2019)	설계지반운동 산정	부지증폭을 고려한 설계지반운동 DB	PEER에서 NGA-WEST2 등 여러가지 GMPE들을 제공함	부지증폭을 고려한 설계지반운동 DB 구축 1건	DB 구축여부	10
	지진거동 정량화 기술	지진해석 수치모델 구축	국내외 기술수준이 유사함	지진해석 수치모델 구축 1건	내진해석 가능여부	14
3년차 (2020)	지진취약도 기술 정립	노후도를 고려한 지진취약도 정립 기술	국외 노후도 평가 기준을 따름	노후도를 고려한 지진취약도 정립 기술 보고서 1건	보고서 작성여부	12
		내진 보수/보강을 고려한 지진취약도 정립 기술	국내외 내진 보수/보강 공법을 따름	내진 보수/보강을 고려한 지진취약도 정립 기술 보고서 1건	보고서 작성여부	12
4년차 (2021)	지진취약도 기술 정립	복원력을 고려한 지진취약도 함수 보정	테스트베드 복원력 평가자료 요구됨	복원력을 고려한 지진취약도 함수 보정 보고서 1건	보고서 작성여부	9
		테스트베드 도로망 터널, 사면, 옹벽 적용 및 검증	국내 테스트베드 적용 및 검증 가능한 수준임	테스트베드 도로망 터널, 사면, 옹벽 적용 및 검증 보고서 1건	보고서 작성여부	13
		터널, 사면, 옹벽 지진취약도 기술 절차서	국외 지진취약도 기술 절차서와 유사함	터널, 사면, 옹벽 지진취약도 기술 절차서 1건	테스트베드 시범 적용 및 검증	6

[1-5, 경상대학교]

구분	연구개발목표	핵심 연구개발성과 (연구개발성과물)	현재 국내・외 기술수준	연구개발 목표치	목표치 설정 근거	가중치 (%)
1년차 (2018)	콘크리트 노후화 특성 모델	콘크리트 노후화에 대한 문헌조사	시간에 따른 콘크리트 압축강도 추정식 (ACI-209-R92)	콘크리트 노후화 문헌조사 결과 보고서 1건	실험 수행 이전에 문헌 조사 필요	10
	철근의 노후화 및 보강 특성 모델	철근 노후화에 따른 부착 특성변화에 대한 문헌조사	Bond of corroded reinforcement	철근 노후화 문헌조사 결과 보고서 1건	실험 수행 이전에 문헌 조사 필요	10
2년차 (2019)	콘크리트 노후화 특성 모델	비보강 콘크리트의 현장조사와 상관관계 분석	없음	비보강 콘크리트의 현장조사와 상관관계 분석	보고서 작성 여부	10

				보고서 1건		
	철근의 노후화 및 보강 특성 모델	비보강 철근콘크리트 부재의 열화 후 부착 실험	부재단위에서의 부식에 따른 국내 철근 부착 실험 미비	비보강 철근콘크리트 부재의 열화후 부착 실험 보고서 1건	보고서 작성 여부	10
3년차 (2020)	콘크리트 노후화 특성 모델	노후화된 콘크리트 보강 후 압축거동 실험	노후화된 콘크리트의 보강에 따른 국내 압축 거동 실험 미비	노후화된 콘크리트 보강 후 압축거동 실험 보고서 1건	보고서 작성 여부	10
	철근의 노후화 및 보강 특성 모델	열화된 철근 콘크리트 부재 보강 후 부착 실험	철근콘크리트 부재 단위에서의 부식 철근 부착실험 미비	열화된 철근 콘크리트 부재 보강 후 부착 실험 보고서 1건	보고서 작성 여부	10
4년차 (2021)	콘크리트 노후화 특성 모델	콘크리트 노후화 특성 모델 제안	국내 기준이 반영된 콘크리트 노후화 특성 모델 필요	콘크리트 노후화 특성 모델	모델 제안	10
		콘크리트 시설물 노후화 평가 매뉴얼	없음	콘크리트 시설물 노후화 평가 매뉴얼 1건	매뉴얼 적용여부	10
	철근의 노후화 및 보강 특성 모델	노후화에 따른 철근 부착 거동 특성 모델	재료단위에서의 부식에 따른 철근 부착 거동 특성 수준임	노후화에 따른 철근 부착 거동 특성 모델	모델 제안	10
		보강에 따른 철근 부착 거동 특성 모델	재료단위에서의 보강에 따른 철근 부착 거동 특성 수준임	보강에 따른 철근 부착 거동 특성 모델	모델 제안	10

[1-6, 한밭대학교]

구분	연구개발목표	핵심 연구개발성과 (연구개발성과물)	현재 국내・외 기술수준	연구개발 목표치	목표치 설정 근거	가중치 (%)
1년차 (2018)	보수보강 라이브러리 템플릿 구축	손상모드별 보수보강특성을 고려한 구조 및 내진성능 평가기술 자료 조사	보강 FRP 소재에 대한 지침 및 규준 부재	평가기술 자료 보고서 1건	보수보강 공법의 적용사례 조사	10
		보수보강공법 라이브러리 구성 및 D/B화 위한 템플릿 개발		템플릿 보고서 1건	보수보강 공법 D/B화	10
2년차 (2019)	내진성능 보수보강 공법의 기술정보 D/B구축	상세기술 조사 및 특성 분석	보수보강 공법 별 구속효과 반영 모델 필요	공법별 내진성능 표준화 1건	주요 구성요소 노후화/손상모드별 보수보강 공법의 정립	10
		보수보강 기법 D/B화	보수보강 기술정보 구축 미비	해석건수 10건	기술정보 D/B구축	10
	교각 보수보강 해석기술 정립	보수보강에 따른 구조 및 내진성능평가 해석방안 도출	보수보강 내진성능평가 방법론 정립 필요	매뉴얼 1건	보수보강 효과분석을 위한 해석기술 정립	10
3년차 (2020)	구성요소별/손상모드별 보수보강기법의 내진성능 향상효과 D/B구축	각 보수보강 공법의 내진성능 향상 효과 표준화	보수보강에 대한 획일화된 D/B 부족	공법별 내진성능 표준화 10건	구성요소별/손상모드별 보수보강기법의 내진성능 향상효과 D/B구축	10
	내진성능 향상효과 D/B 보완 및 검증 연구	상세개선 및 추가된 보수보강 공법	보수보강 기술정보 구축 미비	해석건수 10건	내진성능 향상효과 D/B 보완	10
	내진성능 보수보강 공법의 공법 매뉴얼(안) 개발	보수보강 공법의 매뉴얼(안) 개발	보수보강의 대한 획일화된 내진성능평가안 부재	매뉴얼 1건	교각의 보수보강에 따른 내진성능향상도 평가	10
4년차 (2021)	교각 보수보강 내진성능 향상도 평가	교각 내진보강 공법별 주요 내진 성능향상 효과 평가	보강 공법 별 내진성능 향상도 기준 미비	실험결과와의 오차 비교 분석	오차율 10%	10
	내진성능 보수보강 공법의 공법 매뉴얼(안) 개선	국내외 기준 및 규격을 준수하고 검증된 해석기술을 통한 보강공법 별 내진성능향상도 DB 구축	보수보강의 성능향상도 D/B 부족	전문학회 소속 전문가 자문	노후도로시설물 내진성능관리 의사결정지원시스템을 위한 보강공법 DB 구성	10

[2-1, 국토안전관리원]

구분	연구개발목표	핵심 연구개발성과 (연구개발성과물)	현재 국내・외 기술수준	연구개발 목표치	목표치 설정 근거	가중치 (%)
1년차 (2018)	도로시설 내진성능 의사결정 시스템 운영현황 조사	운영현황 조사 보고서	해당사항 없음	내진성능 관리시스템 (S/W) 리스트	내진성능 관리시스템 S/W 및 문헌 조사	10
	노후도로시설 내진성능 의사결정지원기술 실증 사례조사 및 전략수립	실증 사례조사 및 전략수립 보고서	해당사항 없음	내진성능관리체계 컨셉설계	내진성능관리 지원기술 방향설정	10
2년차 (2019	도로시설물 내진성능관리 의사결정지원 기술매뉴얼 개발	내진성능관리 의사결정지원 기술매뉴얼	해당사항 없음	매뉴얼 초안	시설물 관리주체 내진관리 의사결정 지원	15
	내진성능 의사결정 지원 플랫폼 구축	내진성능 의사결정지원 플랫폼 보고서	해당사항 없음	내진성능관리 S/W(베타)	내진관리 의사결정지원 툴(Tool) 개발	15
3년차 (2020)	내진성능 의사결정지원 소프트웨어 개발	내진성능 의사결정지원 소프트웨어	해당사항 없음	내진성능관리 S/W(베포)	내진관리 의사결정지원 툴(Tool) 개발	20
	내진성능관리 의사결정제도(안) 수립	내진성능관리 의사결정제도(안) 보고서	해당사항 없음	지침개정(안) 수립	법개정 주체(국토부) 위한 지원자료	5
4년차 (2021)	Test Bed를 통한 내진성능관리 의사결정 시스템 검증	Test Bed 검증 보고서	해당사항 없음	내진성능관리 시스템 실증 및 개선	Test Bed 실증을 통한 개발시스템 검증	20
	내진성능관리 의사결정기술 교육	내진성능관리 의사결정기술 교육자료	해당사항 없음	교육자료 개발	정밀안전진단 교육 시 활용 가능한 자료개발	5

[2-1, (위탁) 인천대학교]

구분	연구개발목표	핵심 연구개발성과 (연구개발성과물)	현재 국내・외 기술수준	연구개발 목표치	목표치 설정 근거	가중치 (%)
1년차 (2018)	-	-	-	-	-	-
2년차 (2019)	의사결과에 적합한 내진성능보강 방안 도출	결정론적 및 확률론적 방법을 고려한 내진보강 최적화 기술개발보고서	해당사항 없음	보고서 1건	-	40
3년차 (2020)	의사결정 소프트웨어 알고리즘	의사결정 소프트웨어 알고리즘	해당사항 없음	보고서 1건	-	30
4년차 (2021)	내진성능관리 의사결정지원 시스템 검증	결정론적 방법에 따른 시범 도로망 비교 및 평가보고서	해당사항 없음	보고서 1건	-	30

[2-2, 서울대학교]

구분	연구개발목표	핵심 연구개발성과 (연구개발성과물)	현재 국내・외 기술수준	연구개발 목표치	목표치 설정 근거	가중치 (%)
1년차 (2018)	도로망 시스템의 지진동 강도 공간 분포 예측 기술 개발	선행 자료조사 및 기초 모델 수립	해당사항 없음	보고서 1건	-	6.25
	노후화 영향인자를 고려한 시설물의 지진동 수용력 추정기술 개발	선행 자료조사 및 기초 모델 수립	해당사항 없음	보고서 1건	-	6.25
	내진 보수·보강 의사결정지원 방법론 개발	선행 자료조사 및 기초 모델 수립	해당사항 없음	보고서 1건	-	12.5
2년차 (2019	도로망 시스템의 지진동 강도 공간 분포 예측 기술 개발	지진동 강도 공간분포 예측 기술 개발	해당사항 없음	보고서 1건	-	7.5
	노후화 영향인자를 고려한 시설물의 지진동 수용력	노후화 지도 등 영향인자를 고려한 지진동 수용력 추정기술	해당사항 없음	보고서 1건	-	7.5

	추정기술 개발	개발				
	내진 보수·보강 의사결정지원 방법론 개발	내진성능관리 의사결정법 최적화 알고리즘 개발	해당사항 없음	보고서 1건	-	10.0
3년차 (2020)	시나리오 기반 도로망 시스템의 확률론적 내진성능 평가 샘플링 기법 개발	도로망 시스템 내진성능 평가 샘플링 기법 보고서	해당사항 없음	보고서 1건	-	12.5
	범용예제 시범 적용을 통한 의사결정지원 방법론 개선 및 적용성 검증	범용 예제 적용 결과 보고서	해당사항 없음	보고서 1건	-	6.25
		내진 보수·보강 의사결정지원 방법론 개선	해당사항 없음	보고서 1건		6.25
4년차 (2021)	개발 기술, 방법론 테스트베드 적용 및 소프트웨어 개발 지원	테스트베드 적용 결과 보고서	해당사항 없음	보고서 2건		12.5
		포항시 노후 도로시설 내진성능관리 보수보강 우선순위 의사결정 지원 및 방재도로 선정 제안 프로그램	해당사항 없음	S/W 시제품 1건		12.5

[2-3 울산과학기술원]

구분	연구개발목표	핵심 연구개발성과 (연구개발성과물)	현재 국내・외 기술수준	연구개발 목표치	목표치 설정 근거	가중치 (%)
1년차 (2018)	도로망의 내진성능 평가 지수 개발	내진성능 평가 지수 개발 보고서	단순화된 연결성 기반의 지수를 주로 채택	개발된 지수 개수 3개 이상	1) 연결성 2) 최대통행량 3) 전체 시스템 통행시간	20
2년차 (2019)	시스템신뢰성 해석 기반 노후 도로망 성능 저하 평가 기법 개발	시스템신뢰성 해석 기반 노후 도로망 성능 저하 평가 기법	해당사항 없음	시스템 수준 노후 도로망 성능저하 평가 정확도 10%이내	시스템 수준 노후 도로망 성능저하 평가 정확도	30
3년차 (2020)	노후 도로시설 및 도로망 성능 회복 모델링 평가 기법 개발	노후 도로시설 및 도로망 성능 회복 모델링 평가 기법	해당사항 없음	시스템 수준 노후 도로망 회복성능 평가 정확도 10% 이내	시스템 수준 노후 도로망 회복성능 평가 정확도	30
4년차 (2021)	노후 도로망 내진성능 저하 및 회복 평가 기법의 의사결정시스템 적용	노후 도로망의 내진성능 저하 및 회복 평가 기법의 의사결정시스템 적용 및 호환성 검증	해당사항 없음	의사결정 시스템 적용	의사결정 시스템 호환여부	20

[2-4, 연세대학교]

구분	연구개발목표	핵심 연구개발성과 (연구개발성과물)	현재 국내・외 기술수준	연구개발 목표치	목표치 설정 근거	가중치 (%)
1년차 (2018)	도로시설 및 도로망의 사회·경제적 직간접 손실 영향범위 및 취약도 분석	빅데이터 기반 직간접 손실 영향범위 분석	해당사항 없음	보고서 1건	직간접 손실 영향범위 분석방법 및 시범적용 결과도출을 목표치로 설정	5%
		사회경제적 취약도 분석	해당사항 없음	보고서 1건	사회·경제적 취약도 분석결과를 목표치로 설정	5%
2년차 (2019	지진재해의 사회·경제적 직간접 손실 분석모형 및 복원력 유형화	지진재해 직접손실 분석모형	해당사항 없음	분석모형 개발	직접손실 모형(방법론)개발 여부를 목표치로 설정	10%
		지진재해 간접손실 분석모형	해당사항 없음	분석모형 개발	간접손실 모형(방법론)개발 여부를 목표치로 설정	10%
		복원력 유형화	해당사항 없음	복원력 유형화 결과에 관한 전문가 자문 1건	복원력 유형화 기준, 결과에 관한 전문가 자문을 통한 검토 필요	10%
3년차 (2020)	도로시설 및 도로망의 사회·경제적 복원력 평가기술 개발	지진피해 예측 시나리오	해당사항 없음	보고서 1건	지진피해 예측 시나리오 구축여부를 목표치로 설정	10%

		지진 복원력 평가지표 개발	해당사항 없음	보고서 1건	지진 복원력 평가지표 개발을 목표치로 설정	10%
		지진손실 추정 시뮬레이션	해당사항 없음	보고서 1건	지진손실 추정 시뮬레이션 결과도출을 목표치로 설정	10%
		평가 알고리즘 개발	해당사항 없음	보고서 1건	복원력 평가 알고리즘 개발을 목표치로 설정	10%
4년차 (2021)	도로시설 및 도로망의 사회·경제적 복원력 평가기술 검증 및 적용	복원력 평가기술 검증 및 적용	해당사항 없음	복원력 평가기술 적용 및 검증결과 분석 보고서 1건 (전문가 자문)	개발된 복원력 평가기술에 관한 전문가 자문을 통한 검증 필요	20%

2. 연구개발과제의 수행 과정 및 수행 내용

2-1. 연구개발 추진전략・방법

[1-1, 인하대학교]

○ 1차년도

- 국내외 도로시설의 내진성능수준 결정 기술 문헌 조사·분석
  - 국내 내진설계기준 공통적용사항(국민안전처,2017)을 비롯하여 미국, 일본, 유럽, 뉴질랜드 등의 국외 내진설계기준에 명시된 내진성능수준 관련 문헌조사 수행
- 국내 교량의 분류체계 및 표준 지진취약도 분석방법 개발
  - 국내외 대표교량 분류체계 및 대표교량의 지진취약도 곡선 기법, 한계상태 정의와 해석 모델링 기법에 대한 문헌조사 수행
  - FMS 및 국토부 교량 정보를 통한 통계분석 및 국내 교량 분류체계(안) 제시
  - 국내 교량 실정을 고려한 지진취약도 분석방법 제안 및 시뮬레이션 검증 수행
- 국내 교량기초 형식 분류 및 내진성능 평가를 위한 교량기초 모델 및 설계기준 조사/분석
  - 국토안전관리원의 국내 교량기초 데이터베이스를 기반으로 교량기초의 형식 분류
  - 내진성능 평가를 위한 교량기초 모델 및 설계기준 조사, 분석

○ 2차년도

- 샘플 교량에 대한 상세 해석 및 표준 지진취약도 분석 방법 검증
  - 1차년도에서 제시한 교량의 지진취약도 평가 절차(안)을 사용하여 상부구조에 따른 샘플 교량 3가지를 선정하였음(RC, PSC, 강합성)
  - 교량의 지진취약도 평가 절차(안)을 토대로 선정한 샘플 교량에 대한 지진취약도 분석을 수행하여 절차에 대한 검증을 수행
- 노후도를 반영한 교량의 지진취약도 분석 방법 개발
  - 교량의 노후도를 반영하기 위해 교량의 내진성능에 영향을 주는 요소에 대한 노후 효과 문헌 조사
  - 각 요소의 노후효과를 반영하기 위해 모델링 방법 및 한계상태 변화 조사
  - 수치해석을 통한 노후 효과에 따른 교량의 내진성능 비교 분석
  - 노후도를 고려한 표준 지진취약도 절차(안) 제시
- 교량기초 손상수준 분석 및 한계상태 정량화
  - 일본 교량기초 손상 사례 보고서 분석 및 한계상태 정량화를 위한 탄성계수 변화에 따른 거동 분석

○ 3차년도

- 도로의 중요도에 따른 도로시설 내진성능수준 결정 기술 개발
  - 도로의 중요도에 따른 도로시설 내진성능수준 결정을 위한 지진취약도 곡선 작성 및 분석
  - 도로시설물과 도로망의 내진성능수준 연계를 위한 교량의 지진취약성 분석 결과를 DB화

- 2세부의 도로망 내진성능관리 의사결정지원 기술과 연계(안) 작성

- 교량 부재 손상수준 결정 기술 개발
  - 부재 별 실험을 하는 1-2,3세세부와 연계하여 부재별(교각, 교좌) 손상한계 정의 방법 및 분석(안) 개발
  - 교좌장치는 노후도 등급을 2단계로 나누어 구분하며 각 노후등급에 따라 기능수행수준과 붕괴방지수준으로 거동한계를 구분함
  - 노후도 등급에 따라 각 교좌의 강성비가 증가하며 이를 전단변형률로 표현함
  - 교각의 손상수준을 구분하기 위해 국내 교량의 설계기준의 성능목표에 부합하는 붕괴방지, 연속운영, 장기복구로 정의함
  - 교각의 손상상태를 결정하는 요구 파라메터로 기존의 변형률은 정량화가 어려우므로 변위비를 사용하여 정의
- 보수보강 효과를 반영한 교량의 지진취약도 함수 개발
  - 보수보강 효과를 반영한 교량의 지진취약도 분석방법 개발 및 검증
  - 노후도 및 보수보강을 고려한 교량의 지진취약도 표준화 체계(안) 제시
  - 상세해석을 통한 노후도 및 보수보강의 한계상태 변화 정의
  - 보수보강 효과를 각 요소의 한계상태로 반영하여 보수보강 교량의 지진취약도 곡선 도출
- 역학적 모델을 이용한 교량기초부의 내진성능 수준 결정
  - 2018년 개정된 내진설계 일반(KDS 17 10 00 : 2018, 국토교통부)의 지반분류체계 중 S1~S5지반에 대하여 지반-구조물 상호작용을 고려한 비선형 정적 해석 시행
- SSI 해석을 통한 교량기초 내진성능평가 및 액상화 평가
  - 기존 시설물(기초 및 지반) 내진성능 평가 요령(국토교통부, 2020)의 유효응력해석에 의한 동적 수치해석 방법 시행

○ 4차년도

- 교량의 지진취약도 함수 수정 및 보완
  - 세세부의 교량 요소 실험결과(교각, 교좌)를 반영한 각 요소의 한계상태 수정 및 보완
  - 교량 요소의 노후도 및 보수보강 한계상태 반영
  - 선정된 Test-Bed 지역 도로망의 테스트 교량(RC,PSC,강합성교)을 선정하여 지진취약도 곡선 DB 적용
  - Hazus와 제안된 지진취약도 곡선 DB를 사용하여 테스트 교량의 지진취약도 분석 결과 비교 검증
  - 1~3차년도에서 제안된 노후도 및 보수보강 효과가 반영된 교량의 지진취약도 평가 절차를 활용하여 교량의 지진취약도 기술 절차서(안) 작성
  - 노후도 및 보수보강을 고려한 교량의 지진취약도 표준화 체계(안) 제시
- 대표 교량별 지진취약도 라이브러리 작성
  - 각 교량요소의 노후도 및 보수보강 효과에 따른 한계상태 정의
  - 제안한 대표교량 및 분류체계 별 요소 지진취약도 곡선 작성
  - 교량 요소의 지진취약도 곡선을 합성하여 시스템 지진취약도 곡선 작성
  - 각 교량의 4단계 지진취약도 곡선의 중앙값과 분산에 대해 텍스트 파일의 형태로 DB 구축
  - 2-1세세부의 소프트웨어에 작성한 교량 지진취약도 DB를 탑재하여 Test-Bed 도로망 및 도로시설물의 내진성능관리 의사결정지원 적용
  - 도로시설물의 직접피해량 비교 검증 후 교량 지진취약도 곡선 수정
  - 사용자를 위한 대표 교량의 지진취약도 라이브러리 DB 설명서 작성
- 테스트베드 교량기초의 내진성능 평가
  - 테스트베드지역 교량기초 형식(직접 및 말뚝기초)에 대한 지진취약도 분석
- SSI 기법으로 액상화를 고려한 테스트베드 교량기초의 내진성능 평가
  - 액상화를 고려한 내진성능평가 기술의 테스트베드지역 교량기초 적용

[1-1 세세부위탁, 토론토대학교]

○ 1차년도

- 기초 형식별 SSI 해석을 위한 수치 모델링 방법에 관한 문헌조사
  - 최근 발표된 연구 논문 및 미국/캐나다의 실무에서 적용하고 있는 기초의 수치해석 모델링 방법에 대한 문헌조사
  - 수치해석 모델링 방법에 대한 실험적 검증에 대한 문헌조사

○ 2차년도

- SSI를 고려할 수 있는 교량기초 내진성능 평가 수치해석 모델 개발
  - 기초 및 주변 지반에 대한 반복 pushover test를 통한 비선형 스프링 이력 거동 정의

[1-2, 국민대학교]

○ 1차년도

- 교각에 대한 요구내진성능수준별 지진거동특성 정량화 기술 개발
  - 교각의 요구내진성능수준별 지진거동을 정량화하기 위한 지표 설정
  - 지진화산재해대책법 제14조(내진설계기준의 설정)에 따라 행정안전부에서 제정한 '내진설계기준 공통적용사항'에서는 기존 '기능수행'과 '붕괴방지'의 2개 내진성능수준에 '즉시복구'와 '장기복구/인명보호'의 2개 내진성능수준을 추가하였으나, 이들 추가된 성능수준에 해당하는 구조부재의 정량화된 손상수준은 아직 제시되어 있지 않은 상태임
- 노후도를 고려한 부착실험 설계 및 준비
  - 국내외 철근콘크리트 부재 실험에 철근부식을 고려하기 위한 부식 방법론을 검토하고, 소형 시편을 이용하여 기존 방법을 검증, 신속하고 효율적이며 본 연구에 적합한 실험체 부식 방법을 결정
  - 이론적인 철근 부식 중량 예측값과 실제 부식률 비교
    - 페러데이의 식 : 이론적인 철근의 부식 중량 예측 $W = \frac{I \times t \times M}{n \times F}$
    - 중량감소율 : 실험 후 철근의 중량을 측정하여 실제 부식율 산정 $c = \frac{w_b - w_a}{w_b} \times 100$
- 노후도를 고려한 교각실험 설계 및 준비
  - 대표 교각에 대하여 fiber 요소를 이용한 비선형 해석모델 개발 및 사전해석
    - OpenSees 등 검증된 구조해석 프로그램을 사용하여 실험 수행 전에 비선형 해석을 수행하여 전반적인 교각의 지진거동 특성을 이해
  - 축소모형 노후 교각 실험을 위한 변수 설정
    - (단면형상) 시설안전공단의 교량현황 자료에 의거하여 교각 형태 중 대표적인 중실 단주 형태의 교각을 중점적으로 실험 및 해석을 수행하고, 그 외의 교각(예, 중공, 벽식 등)은 수치해석을 통해 내진성능 거동특성을 평가
    - (축소비율) 실험여건을 고려하여 1/4로 축소비율을 결정
    - (예상직경) 중실원형 단면일 경우 40cm 내외
    - (형상비) 다른 파괴유형(전단파괴, 휨파괴)을 유도하는 두가지의 형상비를 고려
  - 노후도를 포함한 중요변수에 대한 교각 축소모형 실험체, 실험 set-up 등 설계
    - (제어변수) 철근 부식정도, 형상비, 띠철근 내진상세, 수직하중(압축력), 보수·보강 여부
    - (실험방법) 변위제어 반복가력 실험, 단계별 목표 횡변위당 동일 회수로(2회 또는 3회) 반복가력, 목표 횡변위를 증가시키며 실험 진행
  - 실물크기(full-scale) 노후 교각 실험을 위한 변수 설정
    - (단면형상) 축소모형 실험체과 유사한 단면형상 사용
    - (예상직경) 중실원형 단면일 경우 150cm 내외
    - (축력비) 최대 10% 내외
    - (형상비) 국내 교각 형상비를 참고하여, 다수의 교각이 취약할 파괴유형에 따라 선택
  - 노후도를 포함한 중요변수에 대한 실물 실험체, 실험 set-up 등 설계

▪ (제어변수) 철근 부식정도, 띠철근 내진상세, 보수·보강 여부, 소성힌지 영역에서의 겹침이음 여부

▪ (실험방법) 변위제어 반복가력실험, 축소모형 실험과 유사한 방식으로 수행, 단면 변화에 따른 Δy 변화 고려하여 단계별 목표 횡변위 결정

• 노후화에 따른 철근의 인장이음강도 변화 검토를 위한 철근콘크리트 보 실험 설계

※ 설계기준에서는 소성힌지 구간에는 겹침이음을 설계하지 않도록 규정하나 실제 시공에서의 발생 가능성을 고려하여 철근부식에 따른 이음부분의 성능 변화 검토 목적

▪ (제어변수) 철근부식정도, 겹침이음길이

▪ (실험방법 예) 단순지지보에 대한 3점 또는 4점 단조가력실험

○ 2차년도

- 노후도를 고려한 부착거동 단조가력 실험

• 단조가력 시 부식된 철근의 부착성능 변화를 파악하여 해석모델에 적용하기 위한 데이터 확보

• 단조증가하중 부착실험(pull-out tests)

▪ 콘크리트에 묻힌 철근이 뽑혀 나올 때까지 인장력을 가하여 계면의 부착성능을 확인

• 철근 인장실험(1)

▪ 부식된 철근의 인장응력-변형률 관계 변화 검토, 콘크리트 피복이 없는 일반 철근을 사용

• 철근 인장실험(2) (tension-stiffening tests)

▪ 부식 및 콘크리트 피복의 부착응력으로 인한 철근의 인장응력-변형률 관계의 변화 검토

- 노후 교각 축소모형 실험

• 노후도를 포함한 중요변수에 대한 교각 축소모형 실험체 제작

• 제안된 보수·보강 기법을 선별된 축소모형 실험체에 적용, 보수·보강 교각 실험체 제작

• 노후 교각에 대한 축소모형 실험 수행

▪ 교각의 내진성능에 영향을 주는 주요 인자에 대한 도로교설계기준 내용 변화에 따른 내진설계기준 적용 여부, 노후도 등을 기준으로 분류하여 교각의 내진성능을 평가

- 축소모형 실험결과를 기반으로 노후 교각 거동 유한요소해석 기법 개발

• 축소 교각 실험체에 대하여 fiber 요소 및 Solid 요소를 이용한 비선형 해석모델 개발

▪ OpenSees 및 ANSYS 등 검증된 구조해석 프로그램을 사용하여 비선형 해석을 수행하여 실험결과를 통해 검증

- 교각 실물 실험체 및 겹침이음 보 실험체 제작

• 철근 부식정도, 띠철근 내진상세, 보수·보강 여부, 소성힌지 영역에서의 겹침이음 여부 등 1차년도에 검토한 중요변수 및 우선순위를 반영하여 실물 실험체를 제작

• 노후화에 따른 겹침이음의 인장이음강도 변화 검토를 위한 철근콘크리트 보 실험체 제작

○ 3차년도

- 노후도를 고려한 부착거동 반복가력 실험 및 부착거동 모델 개발

• 노후도를 고려한 부착거동 반복가력실험 설계 및 수행

▪ 반복가력 시 철근부식 계면의 부착성능 변화를 파악하여 노후교각 해석모델에 적용하기 위한 자료를 확보하고자 부착(pull-out) 실험을 설계 및 수행

▪ 단조가력 실험과 비교하여 보다 현실적인 하중조건에서의 부착거동 고찰 가능

▪ (제어변수) 철근직경, 철근 부식정도 (2차년도의 부착실험과 동일 직경, 유사한 부식정도에서 평가)

▪ (측정변수) 부착응력-슬립 관계, 철근 무게감소

• 부착거동 단조가력 및 반복가력 실험의 결과를 반영하여 수치해석을 위한 모델 설정

▪ 노후화된 철근콘크리트 구조요소의 역학적 특성을 반영한 유한요소모델 개발

- 보수·보강 교각에 대한 축소모형 실험 수행

- 축소모형 실험결과를 기반으로 노후 교각 실험체와 보수·보강 교각 실험체의 지진거동특성 비교
- 노후화를 고려한 교각 유형별 해석모델 개발
  - fiber 요소, 등가소성힌지 등을 적용하여 노후화를 고려한 교각 유형별 해석모델 개발
- 실물크기의 노후 교각 실험 및 겹침이음 보 실험
  - 선별된 변수에 대한 실물크기 교각실험을 통한 노후 교각 실험 (1)
  - 노후화에 따른 철근의 인장이음강도 변화 검토를 위한 철근콘크리트 보 실험 수행
- 보수·보강 교각 실물 실험체 제작
  - 제안된 보수·보강 기법을 선별된 실물크기 실험체에 적용, 보수·보강 교각 실험체 제작
- 노후화를 고려한 교각 지진거동 해석절차서 초안
  - 개발된 해석모델을 실무에 활용할 수 있도록 해석절차서 초안 마련

○ 4차년도
- 실물크기의 노후 교각 및 보수·보강 교각 추가 실험
  - 선별된 변수에 대한 실물크기 교각실험을 통한 노후 교각 추가 실험
  - 선별된 변수에 대한 실물크기 교각실험을 통한 보수·보강 교각 추가 실험
- 실물 교각 실험결과를 기반으로 노후 교각 유한요소모델 고도화
  - 크기 영향을 반영하고 부착거동을 보다 정밀하게 구현하도록 3차년도에 개발된 유한요소 해석모델을 보정 및 고도화
- 노후화를 고려한 교각 유형별 해석모델 고도화
  - 실물 교각실험 결과를 반영하여 3차년도에 개발된 교각 유형별 해석모델을 조정 및 고도화, 교량의 지진 취약도 평가의 현실성 및 정확성 제고
- 노후화를 고려한 교각 거동 해석지침(안) 개발
  - 개발된 해석모델을 실무에 활용할 수 있도록 지침(안) 마련
- 노후화를 고려한 교각 지진거동 해석절차서 개선안
  - 개발된 해석모델을 실무에 활용할 수 있도록 해석절차서 개선안 마련

[1-3, 울산대학교]

○ 1차년도
- 성능수준별 교량받침의 거동한계(손상수준) 및 노후도 특성 조사 · 분석
- 국도상 교량 내진성능평가 결과(한국시설안전공단, 2017.005)
  교량받침의 약 86%가 내진성능을 만족하지 못하는 것으로 보고됨
- 고무받침의 손상형태
  - 교량받침의 지진피해 사례
- 교량받침부 거동한계(손상수준) 조사 · 분석
  - 노후된 고무받침의 지진피해 원인 조사 · 분석
- 재료 및 부재성능시험 변수 및 실험방법 설정

○ 2차년도
- 노후도에 따른 재료 및 역학적 특성 규명
- 노후요인별 노출도를 고려한 재료특성 시험
  - 탄성받침 고무재료 분류
  - 영향요인별 재료레벨 노후촉진시험
  - 재료시험체 설계 및 제작
  - 재료레벨 인장시험
- 노후상태 조건 및 노후등급별 부재실험
  - 부재레벨 실험체 설계 및 제작
  - 부재레벨 실험을 위한 설비 구축
  - 부재레벨 전단특성 실험

- 노후등급별 역학적 모델

○ 3차년도
- 노후도에 따른 지진거동특성 정량화 및 역학적 모델 확립
- 교량받침의 내진성능수준에 따른 손상수준안
  - 교량받침 강성에 따른 교량의 지진거동 특성
- 노후도에 따른 부재실험
  - 노후도에 따른 부재특성 실험
  - 노후등급별 부재레벨 실험 결과
- 노후등급설정 및 경년변화특성 분석
  - 노후도에 따른 전단강성비 변화
  - 노후도에 따른 경년변화
- 노후등급별 역학적 모델

○ 4차년도
- 노후도에 따른 노후등급 경년변화모델 개발
- 노후등급 경년변화 모델
  - 교량받침(탄성받침, 강재받침) 손상수준 제시
  - 노후등급 경년변화 모델 제시

[1-4, 한양대학교]
○ 1차년도
- 터널, 사면, 옹벽 분류체계 개발
  - 국내외 터널, 사면, 옹벽의 분류관련 문헌조사 및 비교 분석
- 터널, 사면, 옹벽의 대표요소 결정 및 노후 거동 특성 조사
  - 수치해석을 통한 내진성능을 지배하는 대표 요소 결정
  - 국내 보고서를 통하여 노후도 특성에 관한 문헌조사
- 터널, 사면, 옹벽의 내진성능수준 및 부재손상수준 결정 기술 개발
  - 국내외 내진성능수준 및 기준에 대한 문헌조사 및 비교 분석
  - 수치해석을 통한 부재손상수준 결정
- 터널, 사면, 옹벽 대표요소의 성능예측을 위한 취약도 함수 표준형식 결정
  - 국내외 터널, 사면, 옹벽에 대한 취약도분석에 관한 문헌조사
  - 지반 구조물에 적합한 지진취약도 함수 표준 형식 결정

○ 2차년도
- 터널, 사면, 옹벽 취약도 함수 개발을 위한 설계지반운동 산정
  - 국내 지진환경 맞춤형 계측 지진파 선정
  - 한반도 등재해스펙트럼 도출 및 지진파 매칭 수행
  - 도로망 주변의 지반 주상도 조사
  - 1차원 비선형 부지응답해석에 기초한 설계지반운동 산정
- 터널, 사면, 옹벽 대표요소 지진거동특성 정량화 기술
  - 요구성능수준별 터널, 사면, 옹벽 동적 수치해석 기술 개발
  - 터널, 사면, 옹벽 대표요소 지진거동 예측 및 정량화 기술 개발

○ 3차년도
- 터널, 사면, 옹벽의 구성요소별 손상모드별 내진 보수/보강 성능 특성 분석
  - 국내외 터널의 보수/보강 공법 특성 분석
  - 사면, 옹벽의 구성요소별 손상모드별 내진 보수/보강 공법 라이브러리 구축

- 터널의 노후도를 고려한 지진취약도 함수 개발
  - 수치해석을 활용한 2차원 동적 수치해석 모델 개발
  - 취약도함수 개발을 위한 손상수준 및 손상지수 결정
  - 굴착터널 및 개착터널의 지진취약도 함수 개발
  - 노후도를 고려한 굴착터널의 지진취약도 함수 개발
- 사면, 옹벽의 지진취약도 함수 개발
  - 수치해석을 활용한 2차원 동적 수치해석 모델 개발
  - 사면의 경사도와 지반특성을 고려한 지진취약도 곡선 개발
  - 옹벽의 뒷채움토 경사도와 지반 특성을 고려한 지진취약도 곡선 개발

○ 4차년도
- 테스트베드 도로망 지반운동 산정 및 터널, 사면, 옹벽 취약도 평가
  - 테스트베드 지역의 지진 시나리오 선정
  - 테스트베드 지역 지진 시나리오에 따른 지반운동 산정
  - 테스트베드 도로망 터널, 사면, 옹벽에 대한 지진취약도 평가
  - 테스트베드 도로망 터널의 노후도에 따른 지진취약도 평가
- 터널, 사면, 옹벽 지진취약도 기술 절차서

[1-5, 경상국립대학교]

○ 1차년도
- 도로 시설물 대표재료의 노후화 관련 선행 연구자료 조사 및 분석
  - 콘크리트 재료의 시간에 따른 압축강도에 관한 기존연구 조사
  - 철근의 노후화에 따른 잔류강도 부착특성에 관한 기존연구 조사
  - 동결융해 예비실험을 통한 차년도 실험계획 및 설계
- 도로 시설물 대표재료의 노후화 모델 적용식 도출
  - 콘크리트 재료의 시간에 따른 압축강도 모델 적용식 도출(ACI-209-R92)

○ 2차년도
- 콘크리트 노후화 특성 분석
  - 동결융해 시험 결과와 현장조사 결과와 상관관계 분석
  - 콘크리트 동결융해에 대한 노후화 특성 모델 적용식 분석
- 철근부착에 대한 특성 도출
  - 철근콘크리트 보 부재의 동결융해 기반 노후화 특성 실험 연구
  - 부식에 따른 철근 부착 특성 실험 연구
  - 복합열화에 따른 철근 콘크리트 부재의 철근 부착 실험 연구

○ 3차년도
- 노후화된 콘크리트의 보강거동 특성 분석
  - 노후화된 콘크리트의 보강에 따른 압축 거동 특성 변화 분석 실험 연구
- 노후화된 철근 콘크리트 보 부재의 보강 후 철근 부착 특성 변화에 대한 연구 수행
  - 복합열화된 철근콘크리트 보 부재의 보강 후 철근 부착 특성 변화에 대한 실험 연구 수행

○ 4차년도
- 콘크리트의 노후화 특성모델 제안
  - 동결융해에 따른 콘크리트 재료의 노후화 특성 모델 제안
  - 보강된 노후 콘크리트 재료의 거동 특성 모델 제안
- 철근의 노후화 및 보강에 따른 거동 특성 변화 모델
  - 노후화에 따른 철근 부착 거동 특성 변화 모델

- 보강으로 인한 부착 거동 특성 변화 모델

- 콘크리트 시설물 노후화 평가 매뉴얼
  - 콘크리트 재료의 동결융해에 따른 압축강도 감소율 추정식 제안
  - 국내 지역별 동결융해 횟수 산정
  - 국내 콘크리트 시설물 성능평가, 안전점검 자료 기반 시간에 따른 콘크리트 구조물의 콘크리트 압축강도 추정식 제안
  - 재료실험 기반 압축강도 감소율 추정식과 국내 콘크리트 시설물의 시간에 따른 압축강도 추정식 상관관계 분석 및 상관계수 제안

[1-6, 한밭대학교]

○ 1차년도

- 국내외 내진성능 보수보강 공법의 적용사례 조사
  - 한국시설안전공단 FMS 상태변화진단매뉴얼 분석
  - 도로교량의 주요 손상모드, 보수보강재료 및 공법 분석
  - 내진성능평가방법 및 내진성능향상요령 매뉴얼 분석을 통한, 라이브러리 개발 방향 및 템플릿(안) 구축

○ 2차년도

- 주요 구성요소 노후화/손상모드별 보수보강 공법의 정립
  - 주요 구성요소의 노후도 및 손상모드에 따른 적용가능 공법의 분류
  - 참여연구진 및 전문가그룹 자문 검토 → 대상 보수보강 공법 및 기술의 선정
- 내진성능 보수보강 공법의 기술정보 D/B구축
  - 선정된 공법에 관한 상세기술 조사 및 특성분석
  - 라이브러리 템플릿에 기입 → D/B화
- 교각의 보수보강 효과분석을 위한 해석기술 정립
  - 교각을 구성하는 주요 재료의 특성을 엄밀한 수준으로 반영할 수 있는 고등해석기술개발
  - 강재 및 콘크리트, 복합소재의 비선형-비탄성 재료모델링 기법 연구
  - 콘크리트의 열화 및 강재 부식 등에 의한 강도 및 강성 저하특성 고려방법 도출
  - 철근 부착력 감소를 포함한 주요 부재 접촉상태 변화 고려방법 도출
  - Pushover, Cyclic loading test 및 역량스펙트럼법 등을 통한 구조 및 내진성능평가 수치적 시뮬레이션 이행방법 도출
  - 보수보강에 따른 구조 및 내진성능평가해석방안 도출

○ 3차년도

- 구성요소별/손상모드별 내진성능 보수보강기법 D/B구축
  - 구성요소별/손상모드별 각 보수보강 공법의 내진성능 특성 분석 및 향상 효과 정량화
  - 교각 외 구성요소에 대해 타 세세부 연구 및 조사 결과 반영
- 주요 손상모드 별 교각의 보수보강에 따른 내진성능향상도 평가
  - 교각의 내진보수보강 공법별 내진성능향상의 수치해석적 평가
  - Pushover/Cyclic loading test와 역량스펙트럼법 등을 적용한 주요 내진성능지표의 수치해석적 평가 (변위/곡률/에너지 연성도, 내하력비율, 역량스펙트럼 평가 등)
  - 주요 재료의 노후도 및 손상특성을 반영한 각 공법 별 내진성능향상도 분석
  - 각 보수보강 공법의 효용성 분석 및 내진성능평가
- 내진성능 향상효과 D/B 보완 및 검증 연구
  - 상세개선 또는 추가된 보수보강 공법을 고려한 거동특성 해석: 실험에 의거한 거동특성 모델 및 내진성능 해석기법의 이용 (Fiber Modeling에 의거한 모멘트-곡률해석, 푸쉬오버해석)
  - 교각 등 주요 구성요소에 세부등급 또는 보강상세 등의 변수에 대하여 해석 기반의 보완 검토

○ 4차년도

- 교각 보수보강에 따른 내진성능향상도 평가 (2)
  - 교각의 내진보수보강 공법 별 내진성능향상의 수치해석적 평가

- 피복보강 재료에 대한 특성정립, 설계인자 조사
- 주요 재료의 노후도 및 손상특성을 반영한 각 공법 별 내진성능향상도 분석
- 각 보수보강 공법의 효용성 분석 및 내진성능평가

- 내진성능 보수보강 공법 D/B 업그레이드 개선
  - 타 세세부[1-2, 1-3세세부]에서 검증 및 정립된 정량화 평가기법과 방안에 기초한 내진성능 향상효과에 관한 보수 보강 라이브러리 구축
  - 표준모델의 해석적 연구 결과에 따른 라이브러리 내용 보완
  - 교각 등 주요 구성요소에 세부등급 또는 보강상세 등의 변수에 대하여 해석 기반의 보완 검토
- 내진성능 보수보강 공법의 설계시공 기본매뉴얼 개발

[2-1, 국토안전관리원]

○ 1차년도

- 노후 도로시설 내진성능 의사결정지원기술 실증 사례조사
  - 국내외 도로시설물 내진성능관리 의사결정지원 운영기법 분석
  - 실증을 통한 의사결정지원기술 평가 사례조사
  - 도로시설물 내진성능관리 의사결정지원 실증전략 수립
- 내진성능 의사결정지원 프로그램 운영현황 조사
  - 국내·외의 노후 도로시설물 내진성능관리 의사결정지원 프로그램 현황 조사
  - 국내에 기 구축된 FMS, BMS 등과의 연계방안 도출
  - 의사결정지원 프로그램 분석통한 국내 도로시설물에 적합한 알고리즘 개발

○ 2차년도

- 도로시설물 내진성능관리 의사결정지원 기술매뉴얼 개발
  - 결정론적 방법과 지진취약도를 고려한 확률론적 방법을 통한 의사결정 장단점 분석
  - 의사결정지원 요소기술 적용을 위한 기술 매뉴얼을 작성
  - Test-Bed 실증 결과를 반영할 수 있는 방안 도출(제시)
- 내진성능 의사결정 지원 플랫폼 구축
  - 물리적 취약도와 관련된 요소기술들을 소프트웨어에 접목하기 위한 요소기술 모듈개발
  - 내진성능 의사결정지원 시스템을 소프트웨어에 접목하기 위한 모듈개발
  - 개발된 모듈을 활용하기 위한 플랫폼 구축

○ 3차년도

- 노후 도로시설물 내진성능관리 의사결정지원 소프트웨어 개발
  - 내진성능관리 의사결정지원 소프트웨어 기능선정
  - 1세부, 2세부에서 개발된 요소기술별 모듈조합 의사결정 소프트웨어 개발
  - 유저 매뉴얼 작성 및 소프트웨어 등록
- 노후 도로시설물 내진성능관리 의사결정제도(안) 수립
  - 국외 도로시설물의 내진성능관리체계 및 의사결정제도 검토
  - 국내실정을 반영한 의사결정시범제도 구축
  - 도로망 평가를 통한 내진성능 관리체계 확립을 위한 법·제도(안) 수립
  - 주요 도로시설관리기관의 유지관리 시스템 및 Test Bed 결과의 연계방안 도출
    예) TestBed 결과를 이용한 피드백 시나리오 작성 등

○ 4차년도

- Test-Bed를 통한 내진성능관리 의사결정 시스템 검증
  - Test-Bed의 원활한 진행을 위해 최종사용자인 지자제와 사전협의 실시
  - 실제도로망의 특성을 반영한 Test-Bed 시행방안 구축
  - 피드백 : Test-Bed 결과를 활용하여 각 세부별 요소기술, 의사결정지원 시스템 및 매뉴얼 개선 (3차년도

결과물인 연계방안 시나리오 적용)
- 내진성능관리 의사결정기술 교육
  - 관리주체 등 노후도로시설물 내진성능관리와 관련된 국내 기술자대상 교육프로그램 개발

[2-1, (위탁) 인천대학교]

○ 1차년도
- 해당사항 없음

○ 2차년도
- 결정론적 방법과 지진취약도를 고려한 확률론적 방법에 따른 내진성능보강방안 연구
  - 결정론적 방법과 확률론적 방법을 통한 내진성능보강 우선순위 비교 및 분석
  - 설계방식에 따른 내진보강 종류를 결정론적 방법과 확률론적 방법을 활용한 내진성능보강 방안과 연계하여 연구 수행
  - 결정론적 방법과 확률론적 방법 기반의 의사결정 사례 및 시사점 도출

○ 3차년도
- 노후 구조물 관리를 위한 의사결정지원 프로그램 알고리즘 조사 및 개발
  - HAZUS, RETIS-RISK 등 유사프로그램 및 그 외 의사결정 프로그램에 대한 조사 분석을 수행하여 이슈 검토
  - 의사결정지원 소프트웨어의 메커니즘을 활용하여 단순화된 모델의 직·간접적 피해비용의 수계산 예시 작성
  - 의사결정 지원 소프트웨어 실행에 대한 오류 검토를 수행하고 수정·보완사항을 제시

○ 4차년도
- OpenSEES를 활용한 내진성능관리 의사결정지원시스템 검증
  - Test-Bed 결과를 바탕으로 OpenSEES를 활용한 내진성능관리 의사결정지원 시스템 및 매뉴얼 개선안 도출

[2-2, 서울대학교]

○ 1차년도
- 확률적 상관관계를 고려한 지진 강도 예측 기술 개발 세부 로드맵 수립
  - 공간적 불확실성을 고려한 지반 운동 예측 방법론에 관한 문헌 조사
  - 국내외 지진 이력에 따른 공간 분포 정량화 사례 분석
- 확률적 상관관계를 고려한 지진동 수용력 추정 기술 개발 세부 로드맵 수립
  - 국내외 연구 결과 분석을 통해 다양한 형태의 도로시설물 간 영향 인자 정량화 및 지표 설정
  - 전문가 자문을 통해 수용력 추정을 위한 노후 도로망 시설물 모델 개발
- 내진 성능관리 최적 의사 결정법 기초 모델 설계
  - 보수·보강 의사결정법 관련 문헌 및 자료조사
  - 구조물의 노후화가 고려된 재난복원력 평가 모델 문헌 및 자료조사
  - 내진 성능관리 최적 의사결정법의 제약 조건 및 목적 함수 정립

○ 2차년도
- 확률적 상관관계를 고려한 도로망 시스템의 지진동 강도 공간 분포 예측 기술 개발
  - 지진원의 공간적 불확실성을 고려한 지반 운동 예측 기술 개발
- 시설물간 영향인자를 고려한 도로 시설물의 지진동 수용력 추정 기술 개발
  - 지진동 수용력에 영향을 끼치는 도로시설물 인자(구조물 형태, 노후도, 노후화 속도, 건설연도 등) 정량화
  - 지진동 수용력 추정을 위한 노후화 정도 및 노후화 변인 지도 개발
  - 정량화한 도로 시설물간 영향인자를 바탕으로 도로망 네트워크 시스템의 지진동 수용력 추정기술 개발
- 내진 성능관리 최적 의사 결정지원 핵심기술 개발
  - 베이지안 네트워크를 활용한 주요 도로시설의 노후도가 반영된 재난복원력 평가 모델 개발
  - 보수·보강 의사결정법 및 구조물 노후화 데이터를 기반으로 한 내진 성능관리 최적화 알고리즘 개발

○ 3차년도

- 시나리오 기반 도로망 시스템의 확률론적 내진성능 평가 샘플링 기법 개발
  - 도로망 시스템의 요구 지진 강도 및 시설물 지진동 수용력 추정 기술과 사회 경제적 복원력 평가 기술을 기반으로 한 확률론적 내진 성능 평가 샘플링 기법 개발
  - 효율적이고 정확한 성능 평가를 위한 샘플링 기법 개선
- 포항시 도로망 기반의 범용 예제 시범 적용을 통한 의사결정 지원 방법론 개선 및 적용성 검증
  - 개발된 방법론의 범용 예제 적용 및 결과 분석
  - 제한된 예산 하의 최적의 보수보강 의사결정 제시
  - 도로시설물의 직간접 피해에 따른 의사결정 기준 효용성 제고
  - 결과 분석을 통한 의사결정 지원 최적화 알고리즘 개선

○ 4차년도

- 개발한 도로망 시스템 확률론적 내진 성능 평가기술 포항시 도로망 적용 및 소프트웨어 개발 지원
  - 지진 시나리오 기반 확률론적 포항시 도로 시설물 상태 평가
  - 위의 결과 분석을 통한 확률론적 내진 성능 평가 기술 개선
  - 2-1세세부의 소프트웨어 개발에 사용될 확률론적 내진성능평가 주요 기반 기술 및 샘플링 알고리즘 지원
- 테스트베드 적용을 통한 내진성능관리(보수·보강) 의사결정지원 방법론 확립
  - 개발한 의사결정 지원 방법론 중소 도시에 적용 및 분석, 방법론의 적절성 최종 검토
  - 소프트웨어 개발팀에 의사결정 지원 방법론 기술 지원
- 지진에 대비한 방재 도로 선정 지원 알고리듬 및 시제품 제작
  - 재난 전 최적의 구조물 보수보강 의사결정 제시 이후 지속적인 도로망 성능 관리를 위한 방재 도로 사전 선정 지원
  - 사용자 편의를 향상시킨 포항시 방재 도로 선정 지원 S/W 시제품 제작

[2-3, 울산과학기술원]

○ 1차년도

- 도로망의 내진성능 평가를 위한 지수개발
  - 노후 도로망의 내진성능 평가에 관한 기존 문헌 조사 및 연구동향 파악
  : 노후 도로망의 내진성능 평가에 관한 기존 연구 조사 및 분석, 도로망을 포함한 라이프라인의 복원력 및 시스템 신뢰성 해석에 대한 최신 연구동향 파악
  - 지진에 대한 노후도로망의 성능평가를 위한 지수 개발
  : 1) 연결성, 2) 최대통행가능량, 3) 전체 시스템 통행시간
  - 프로토타입 예제 개발 및 해석
  : 포항시 주변 도로망을 대상으로 프로토타입 예제 개발 및 해석

○ 2차년도

- 시스템신뢰성 해석 기반 노후 도로망 성능 저하 평가 기법 개발
  - 개별 도로시설들의 확률론적 지진 취약도에 근거한 도로망 성능 저하 평가 기법 개발
  : PSHA 및 MSR 기법을 활용한 시스템 수준의 도로망 지진 취약도 및 성능저하 평가기법
  - 도로시설의 노후화에 따른 도로망 내진성능 저하 평가 기법 개발
  : 개별 도로시설 노후도에 따른 시스템 수준의 도로망 지진 취약도 및 성능저하 평가 기법 개발 및 포항시 주변 도로망 예제 적용
  - 몬테카를로 시뮬레이션을 통한 도로망 성능 평가 기법 검증
  : 도로망 성능 저하량의 평균 및 표준편차에 대해 개발 기법의 결과를 몬테카를로 시뮬레이션 결과와 비교해 본 결과, 목표 오차 10% 이내임을 확인

○ 3차년도
- 노후 도로시설 및 도로망 성능 회복 모델링 평가 기법 개발
  • 도로시설 복구를 통한 도로망 성능 회복 모델링
  : 인공신경망기반 노후 도로시설을 고려한 도로망 성능 저하 및 회복 모델링 개발
  • 지진발생 후 도로망의 성능 회복 평가 기법 개발
  : 인공신경망을 이용해 노후 도로시설을 고려한 도로망 성능 저하 및 회복평가 기법 개발, 몬테카를로 시뮬레이션과의 비교를 통한 개발 기법 검증
  • 개별 도로시설들의 확률론적 지진 취약도에 근거한 도로망 성능 저하 및 회복 평가 모듈 개발
  : 개별 도로시설들의 확률론적 지진취약도에 근거한 도로망 성능 저하 평가 모듈(프로토타입) 개발

○ 4차년도
- 노후 도로망의 내진성능 저하 및 회복평가 기법의 의사결정시스템 적용
  • 노후 도로망의 내진성능 저하 및 회복평가 기법 보완
  : 지반운동 및 시설물의 파괴확률 산정 부분 보안 완료, 도로망 성능 저하 평가 모듈 개발 완료
  • 개별기법의 도로시설 관리 의사결정 시스템 적용 및 호환성 검증
  : 전체 플랫폼과 UNIST 모듈 사이의 호환성 검증 완료 (I/O 데이터 공유방식), 포항 및 경주 도로망 네트워크 기반 개발 기법의 도로시설 관리 의사결정시스템 적용 및 호환성 검증 완료
  • 내진성능관리 의사결정지원 기술개발을 위한 기초 및 개선사항 연구
  : 연구개발에 따른 각 세부별 연구목표의 고도화 현황 조사 완료

[2-4, 연세대학교]
○ 1차년도
- 빅데이터를 활용한 지진재해의 사회·경제적 직간접 손실 영향 범위 분석
  • 국내 대형지진에 관한 뉴스기사를 활용한 동시출현빈도분석 및 네트워크 분석
  • 분석결과를 활용한 지진으로 인해 발생될 수 있는 주요 직간접 피해유형 분석
- 지진재해의 사회·경제적 직간접 손실 추정 방법론 조사
  • 지진재해로 인한 사회·경제적 파급효과 분석에 관한 국내외 선행연구 검토
  • 대표적인 분석방법론(I/O분석, 연산일반균형(CGE)분석, 계량모형 등)에 관한 선행연구 검토
- 지진발생에 따른 도로망 및 지역의 사회·경제적 취약도 분석 및 재해영향권 시범 분석
  • 도로망 차원에서 지진발생에 따른 영향권 설정 방법론 관련 국내외 선행연구 검토
  • 선행연구에서 제시된 방법론에 기반한 시범 분석 실시

○ 2차년도
- 도로시설 및 도로망의 사회·경제적 직접손실 분석모형 개발
  • 행정안전부 자연재난조사 및 복구계획수립 요령에 따른 피해액 산정식 검토
  • 도로시설 및 도로망의 파괴확률 및 피해액(건설단가)을 적용한 직접손실 분석모형 개발
- 도로시설 및 도로망의 사회·경제적 간접손실 분석모형 개발
  • 지진피해로 인한 통행시간 증가량 분석을 위한 교통수요분석모형 Framework 구축 및 분석 영향권 설정
  • 지진피해 시나리오(2-3세세부)에 따른 통행시간 증가량 분석모형 개발
  • 통행시간 증가에 따라 발생되는 사회·경제적 간접손실 분석모형(CGE 기반) 개발
- 지진 발생에 따른 사회·경제적 복원력 유형화
  • 지역 차원의 복원력에 관한 개념 및 주요 구성요소 정의
  • 복원력 관련 선행연구 검토를 통한 유형화 기준 선정
  • 전문가 자문을 활용한 복원력 유형화 기준에 대한 검증

○ 3차년도
- 도로시설 및 도로망의 사회·경제적 복원력 평가를 위한 지진피해 예측 시나리오 구축
  • HAZUS 지진 취약도 함수 기반 지진의 재현주기별-피해규모별 도로시설 및 도로망의 파괴확률 도출

- 도로시설 및 도로망별 파괴확률 값을 활용한 지진피해 시나리오별 발생확률 값 산정
- 지진피해 시나리오 중, 발생확률이 높은 상위 10만 개의 시나리오 도출(재현주기별)을 통한 예측 시나리오 구축

- 도로시설 및 도로망의 사회·경제적 손실 추정 알고리즘 개발
  - 도로시설 및 도로망별 건설단가(복구비용의 대체변수) 및 파괴확률 값을 활용한 직접손실 추정 알고리즘 개발
  - 도로시설 및 도로망의 붕괴로 인한 통행지연 등에 따른 지역 간 교역감소, 생산 및 소비량 변화, 효용 변화 분석을 통한 간접손실 추정 알고리즘 개발(CGE 모형 기반)
- 도로시설 및 도로망의 사회·경제적 복원력 평가기술 개발
  - 국내외 선행연구 검토를 통한 지역 차원의 복원력에 영향을 미칠 수 있는 요인 도출
  - 도출된 주요요인에 기반한 복원력 평가지표 구성
  - 통계분석(집단 간 비교분석, 군집분석)을 통한 평가지표 검증
  - 평가지표에 기반한 복원력 평가 알고리즘 개발

○ 4차년도

- Test Bed의 지진발생에 따른 사회·경제적 직간접 손실 예측 및 분석
  - 한국형 지진취약도 함수(1세부)에 따른 포항시(Test Bed) 도로시설물의 지진규모별 파괴확률(2-2세세부)을 활용한 지진피해 시나리오별 발생확률 산정
  - 지진규모별 발생확률이 높은 상위 10만 개의 지진피해 시나리오 선정
  - 사회·경제적 직간접 손실예측 모형을 활용한 시나리오별 포항시의 직간접 손실 분석
- Test Bed의 지진발생에 따른 사회·경제적 복원력 평가
  - 지진발생에 따른 사회·경제적 복원력을 “재난에 대한 지역 복원력”의 개념으로 재정의
  - 재난에 대한 지역 복원력 평가를 위한 평가측면(사회적·경제적·물리적·제도적) 설정 및 평가지표 고도화
  - 평가지표 기반 전국 228개 시군구별 재난에 대한 지역 복원력 평가 및 포항시(Test Bed)의 상대적 복원력 수준 평가
  - 전문가 자문을 활용한 재난에 대한 지역 복원력 평가방법론에 관한 검증 실시(10월 중순 완료예정)
- Test Bed의 사회·경제적 복원력 증진 및 향상방안 도출
  - 복원력 평가방법론에 기반한 향후 재난에 대한 지역 복원력 증진 및 향상을 위한 주요 요소(키워드) 도출
  - 전문가 자문을 활용한 주요 요소(키워드) 간의 상대적 중요도 분석
  - 주요 요소(키워드) 간의 상대적 중요도 분석결과를 활용한 포항시(Test Bed)의 복원력 증진 및 향상방안 제시

2-2. 연구개발 추진체계 [1세부]

연구개발과제	
과제명	도로시설의 노후도를 고려한 물리적 지진취약도 평가 기술 개발

총 참 여 연 구 원
주관연구책임자 (인하대학교 산학협력단) (신수봉) 외 61명

기 관 별 참 여 현 황			
구 분	기관수	인원수	총인원 수
산 업 계			62
대 학	7	62	
국공립(연)			
출 연 (연)			
기 타			

주 관 연 구 기 관	
인하대학교 산학협력단	
주관연구책임자 (신수봉) 외 18 명	
과제명	노후 교량의 지진취약도 및 기초의 내진성능평가 기술 개발
▪ 도로의 중요도(등급)에 따른 도로시설 내진성능수준 결정 기술 ▪ 대표 교량의 지진거동특성 정량화 기술 ▪ 대표 교량의 분류체계안 ▪ 노후도 및 보수보강을 고려한 대표 교량의 지진취약도 정립 기술 ▪ 내진성능관리 의사결정지원 시스템 구축을 위한 지진취약도 라이브러리 ▪ 지반-구조물 상호작용을 고려한 교량 기초-지반 시스템의 내진성능 평가 기술	

공 동 연 구 기 관	
국민대학교 산학협력단	
주관연구책임자 (홍기증) 외 14 명	
과제명	노후 교각의 내진성능평가 기술 개발
▪ 교각의 내진성능수준에 따른 손상수준 결정 기술 ▪ 노후도를 고려한 철근콘크리트 부착모델 및 실험 검증 ▪ 노후도를 고려한 철근콘크리트 교각 해석 모델 및 실험 검증 ▪ 내진보수보강된 노후교각의 거동 실험 검증	

공 동 연 구 기 관	
울산대학교 산학협력단	
공동연구책임자 (김익현) 외 7 명	
과제명	노후 교량받침부의 내진성능평가 기술 개발
▪ 교량받침의 내진성능수준에 따른 손상수준 결정 기술 ▪ 노후도에 따른 노후등급 경년변화 모델 개발 ▪ 노후등급에 따른 역학적 모델 개발	

공 동 연 구 기 관	
한양대학교 산학협력단	
공동연구책임자 (박두희) 외 4 명	
과제명	터널, 사면, 옹벽의 노후도를 고려한 지진취약도 평가 기술 개발
▪ 터널, 사면, 옹벽의 지진취약도 곡선 개발 ▪ 터널의 노후도를 고려한 지진취약도 함수 개발 ▪ 터널, 사면, 옹벽의 내진 보수/보강 공법 라이브러리 구축	

공 동 연 구 기 관	
경상국립대학교 산학협력단	
공동연구책임자 (김진섭) 외 7 명	
과제명	도로시설물 대표재료의 노후화 및 보강 특성 모델 개발
▪ 콘크리트의 노후화(복합열화) 특성 모델 ▪ 노후화(복합열화)에 따른 철근 부착 특성 모델 ▪ 보강에 따른 철근의 부착 특성 모델 ▪ 콘크리트 시설물 노후화 평가 매뉴얼	

공 동 연 구 기 관	
한밭대학교 산학협력단	
공동연구책임자 (최병호) 외 5 명	
과제명	도로시설물의 내진보수보강 공법 라이브러리 구축
▪ 내진성능관리 의사결정 시스템 구축을 위한 교량(교각) 내진성능향상 보강 및 성능평가 DB ▪ 내진보수·보강된 노후교각의 내진성능 수치해석을 통한 향상도 평가 ▪ 내진성능 향상효과 DB 보완 및 검증연구	

참여기업	없음

2-2. 연구개발 추진체계 [2세부]

연구개발과제	
과제명	도로망의 지진복원력 평가를 통한 노후도로시설의 내진성능관리 의사결정지원 기술개발 및 시범적용

총 참 여 연 구 원
협동연구책임자 (국토안전관리원) 김동주 외 34

기 관 별 참 여 현 황

구 분	기관수	인원수	총인원 수
대 학	3	24	35
국공립(연)			
기 타	2	11	
출 연 (연)			
기 타			

협 동 연 구 기 관	
국토안전관리원	
협동연구책임자 (김동주) 외 6명	
과제명	노후 도로시설 내진성능관리 의사결정시스템 Test Bed 실증

- Test-Bed 실증을 통한 내진성능관리 의사결정 시스템 검증
- 내진성능관리 의사결정기술 교육 프로그램(안)개발

공 동 연 구 기 관	
서울대학교	
공동연구책임자 (송준호) 외 14명	
과제명	노후 도로망의 확률론적 내진성능 평가 및 보수·보강 의사결정지원 기술 개발

- 도로망 시스템의 지진강도 공간 분포 예측 기술
- 노후화 정도와 노후화 변인 지도를 고려한 시설물의 지진동 수용력 추정 기술
- 도로망 시스템의 확률론적 내진성능평가 샘플링 기법
- 지진발생 전 내진성능관리(보수 · 보강) 최적 의사결정지원 방법론
- 의사결정지원 최적화 알고리즘
- 테스트베드에 시범 적용 및 보고서

공 동 연 구 기 관	
울산과학기술원	
공동연구책임자 (이영주) 외 3명	
과제명	도로시설 노후도를 고려한 도로망 내진성능 저하 및 회복 평가 기술 개발

- 도로망의 내진성능 평가를 위한 지수 개발
- 시스템신뢰성 해석 기반 노후 도로망 성능 저하 평가 기법 개발
- 노후 도로시설 및 도로망 성능 회복 모델링 및 평가 기법 개발
- 노후 도로망 내진성능 저하 및 회복 평가 기법의 의사결정시스템 적용

공 동 연 구 기 관	
연세대학교 산학협력단	
공동연구책임자 (윤동근) 외 7 명	
과제명	노후 도로시설 및 도로망의 사회·경제적 복원력 유형 분석 및 평가 기술 개발

- Test Bed의 지진발생에 따른 사회 · 경제적 직 · 간접 손실 예측 및 분석
- Test Bed의 지진발생에 따른 사회 · 경제적 복원력 평가
- Test Bed의 사회 · 경제적 복원력 증진 및 향상방안 도출

위 탁 연 구 기 관	
인천대학교	
위탁연구책임자 (허종완) 외 4명	
과제명	확률기반 내진성능 보강기술 개발

- Test-Bed 결과를 바탕으로 OpenSEES를 활용한 내진성능관리 의사결정지원 시스템 및 매뉴얼 개선안 도출

참여기업	없음

3. 연구개발과제의 수행 결과 및 목표 달성 정도

1) 연구수행 결과

(1) 정성적 연구개발성과

[1-1, 인하대학교]

○ 1차년도

- 국내 교량의 분류체계 및 표준 지진취약도 분석방법 개발
  - 대표교량 분류체계(안) 및 자문을 통한 검증
  - 지진취약도 표준화 체계(안) 제시
- 대표 교량기초 형식 분류 제시

○ 2차년도

- 도로의 내진 등급에 따른 내진성능수준 결정 기술 방안 도출
  - 국내 내진성능수준 자료 비교분석
- 샘플 교량에 대한 상세 해석 및 표준 지진취약도 분석 방법 검증
  - RC, PSC, 강합성 교량의 지진취약도 분석 검증
- 노후도를 반영한 교량의 지진취약도 분석 방법 개발
  - 노후도를 고려한 교량의 지진취약도 표준화 체계(안)
- 기초 노후화 사례 비교분석

○ 3차년도

- 도로의 중요도에 따른 도로시설 내진성능수준 결정 기술 개발
  - 도로망 내진성능관리 의사결정지원 기술 연계(안) 제시
- 교량 부재별 손상수준 결정 기술 개발
  - 부재별(교각, 교좌) 손상한계 정의(안) 제시
- 보수보강 효과를 반영한 교량의 지진취약도 함수 개발
  - 노후도 및 보수보강을 고려한 교량의 지진취약도 표준화 체계(안) 제시
- 액상화를 고려한 교량기초 내진성능 평가 분석
- 교량기초 내진성능 평가 절차(안) 제시

○ 4차년도

- 교량의 지진취약도 함수 수정 및 보완
  - 교량의 지진취약도 기술 절차(안) 제시
- 대표 교량별 지진취약도 라이브러리 작성
  - 대표 교량별 지진취약도 라이브러리 DB 구축
  - 교량의 지진취약도 라이브러리 DB 사용자 설명서 작성
- 내진성능평가 기술의 테스트베드 지역 교량 기초 적용 분석
- 테스트베드 지역 교량 기초의 내진성능 평가

[1-1 세세부 위탁, 토론토대학교]

○ 1차년도

- 기초 형식별 수치 모델링 방법에 관한 문헌 조사

○ 2차년도

- 내진해석 가능한 FE/구조해석 모델 제안

[1-2, 국민대학교]

○ 1차년도

- 교각의 노후화에 따른 내진성능 평가를 위한 부식 시편의 기초 실험과 기초 해석을 수행하여, 2차년도부터 수행할 축소교각과 실교각의 반복가력실험 및 해석의 기틀을 마련함

○ 2차년도

- 철근 부식정도를 고려한 철근콘크리트 부착거동 모델을 제안하기 위한 단조가력 실험 수행(60개 시편)
- 철근 부식정도, 겹침이음 등 중요변수를 고려한 축소교각 실험체 제작 및 실험 수행
- 겹침이음 거동 철근요소 해석모델 개발 및 축소모형 실험결과를 기반으로 검증
- 철근 부식정도, 띠철근 내진상세, 보수·보강 여부, 소성힌지 영역에서의 겹침이음 여부 등 1차년도에 검토한 중요변수 및 우선순위를 반영하여 실물 실험체 제작
- 노후화에 따른 겹침이음의 인장이음강도 변화 검토를 위한 철근콘크리트 보 실험체 제작 및 실험

○ 3차년도

- SD400 철근(D10. D13, D19 및 D25)의 단조가력 부착거동 모델링 보완(150개 시편 추가)
- SD400 철근(D13, D19 및 D25)을 사용하여 반복가력 부착거동 실험 수행(60개 시편) 및 모델 제안
- 휨보강 정사각형 단면(시편 5개)/ 휨보강 직사각형 단면(시편 5개)/전단보강 정사각형 단면(시편 5개), 총 15개의 철근콘크리트 축소교각 제작
- 최대축하중 능력의 10%~30%에 해당하는 일정한 축력을 재하하여 축소교각 15개 시편 반복가력실험 수행
- 부식에 의한 겹침이음의 부착거동 저하를 고려한 교각 해석모델 개발
- 무부식 실물크기 교각 실험(4개 시편) 수행
- 무부식 겹침이음 보 실험(12개 시편) 수행
- 보강 교각 실물 실험체 제작 완료
- 부식에 의한 겹침이음의 부착거동 저하를 고려한 교각 해석모델 사용 절차서 초안 작성

○ 4차년도

- 반복가력 부착거동 실험(120개 시편) 추가 수행 및 모델 보완
- 축소교각 휨실험(12개 시편) 완료: 내진/비내진상세 영향, 겹침이음 영향, 보강 영향, 철근부식 영향 분석
- 축소교각 전단실험(6개 시편) 완료: 겹침이음 영향, 철근부식 영향 분석
- 실크기교각 휨실험(4개 시편) 완료: 내진/비내진상세 영향, 겹침이음 영향, 보강 영향, 철근부식 영향 분석
- 겹침이음 보 실험(12개 시편) 완료: 겹침이음 거동 해석모델 구축

[1-3, 울산대학교]

○ 1차년도

- 교량받침부 거동한계(손상수준) 문헌조사(1차년도 별권보고서)
  - 지진시 교량받침부 피해 및 손상사례 조사
  - 고베지진 이후 기존 교량받침 성능실험 문헌조사
- 실험변수 및 실험방법 설정, 실험체 설계, 설비구축(1차년도 별권보고서)
  - 재료레벨 노화촉진시험 변수설정 및 시험방법 설정
  - 부재레벨 노화촉진실험 변수설정 및 실험방법 설정
  - 부재레벨 실험을 위한 성능실험 설비 구축
- 교량받침 노후도 특성 문헌조사(1차년도 별권보고서)
  - 2011년 동북대지진 시 노후된 탄성받침에 대한 성능실험 문헌조사
  - 노후요인에 따른 재료레벨 시험자료 조사

○ 2차년도

- 노후요인별 노출도를 고려한 재료특성 시험(2차년도 별권보고서)
  - 노후도(70℃, 80℃, 90℃)별 재료레벨(CR, NR, CR+NR) 인장특성 시험(총 750개 시편)
  - 노후도(70℃, 80℃, 90℃)별 재료레벨(CR, NR, CR+NR) 전단특성 시험(총 750개 시편)
- 노후상태 조건 및 노후등급별 부재실험(2차년도 별권보고서)
  - 노후도(70℃, 80℃, 90℃)별 부재레벨(CR, NR, CR+NR, CRFP) 전단성능 실험(총 200기 시험체)

- 노후등급별 역학적 모델(2차년도 별권보고서)
  - 노후도에 따른 재료레벨 강성모델 제시

○ 3차년도
- 교량받침의 내진성능수준에 따른 손상수준안(3차년도 별권보고서)
  - 기능수행수준 및 붕괴방지수준에 따른 교량받침의 손상수준(안) 제시
- 노후상태 조건 및 노후등급별 부재실험(3차년도 별권보고서)
  - 2차년도와 연속하여 부재실험 수행(총 200기 시험체)
  - 노후도(70℃, 80℃, 90℃)별 부재레벨(CR, NR, CR+NR, CRFP) 전단성능 실험(총 100기 시험체)
- 노후도에 따른 노후등급설정 및 경년변화 모델(3차년도 별권보고서)
  - 재료레벨 시험 결과를 반영한 노후도에 따른 경년변화 모델 제안

○ 4차년도
- 노후도에 따른 노후등급설정 및 경년변화모델(4차년도 별권보고서)
  - 부재레벨 시험 결과를 반영한 노후도에 따른 경년변화 모델 제안

[1-4, 한양대학교]

○ 1차년도
- 내진성능수준 결정기술
  - 내진성능수준별 부재 손상수준
  - 대표요소 결정 및 노후도 평가
- 국내 터널, 사면, 옹벽의 분류체계
  - 대표 터널, 사면, 옹벽의 분류체계 선정
- 지진취약도 기술 정립
  - 지진취약도 분석체계의 표준화

○ 2차년도
- 설계지반운동 산정
  - 부지증폭을 고려한 설계지반운동 DB 구축
- 지진거동 정량화 기술
  - 지진해석 수치모델 구축

○ 3차년도
- 지진취약도 기술 정립
  - 노후도를 고려한 터널의 지진취약도 정립 기술
  - 사면, 옹벽의 지진취약도 정립 기술

○ 4차년도
- 지진취약도 기술 정립
  - 복원력을 고려한 지진취약도 함수 보정
  - 테스트베드 도로망 터널, 사면, 옹벽 적용 및 검증
  - 터널, 사면, 옹벽 기술절차서 작성

[1-5, 경상국립대학교]

○ 1차년도
- 콘크리트 재료의 시간에 따른 강도 추정식
  - 기존의 연구(ACI-209-R92)에서 콘크리트 재료의 시간에 따른 압축강도 추정식 조사
- 철근 재료의 부식에 따른 부착 특성식 도출
  - 기존의 연구(Bond of corroded reinforcement)에서 철근의 부식에 따른 잔류강도 부착특성 조사
  - 전국 교량의 FMS자료의 정밀안전진단 중 재료강도측정에 대한 자료 조사

○ 2차년도

- 동결융해에 따른 노후화 특성
  - 전국 교량의 FMS자료의 정밀안전진단 중 재료강도측정에 대한 자료 조사
  - 노후화에 따른 철근 부착 특성 도출

  : 각 동결융해에 따른 콘크리트 압축강도 실험 21회 수행, 부식에 따른 철근 부착 특성 실험 4회 수행, 복합열화에 따른 철근 부착 특성 실험 16회 수행

○ 3차년도

- 노후화된 콘크리트의 보강거동 특성 분석
  - 노후화된 콘크리트의 보강에 따른 압축 거동 특성 변화 분석

  : 동결융해 후 보강에 따른 압축 거동 특성 실험 60회 수행
- 노후화된 철근 콘크리트 보 부재의 보강 후 철근 부착 특성 변화 분석
  - 복합열화된 철근콘크리트 보 부재의 보강 후 철근 부착 특성 변화 분석

  : 복합열화 후 보강에 따른 철근 부착 특성 변화 실험 6회 수행

○ 4차년도

- 콘크리트의 동결융해에 따른 압축 거동 특성 모델 제안

  ① 특성1 : 동결융해에 따른 압축 강도 변화

  ② 특성2 : 동결융해에 따른 탄성계수 변화

  ③ 특성3 : 동결융해에 따른 파괴후 거동 특성 변화

  ④ 콘크리트 압축 모델

  ⑤ 철근 콘크리트 보 부재 분석

  ⑥ 유한요소 해석을 위한 보 부재 모델 및 해석연구 수행
- 콘크리트 시설물 노후화 평가 매뉴얼
- 노후화에 따른 철근 부착 거동 특성 모델
- 복합열화에 따른 철근의 노후화 특성 모델
- 동결융해 후 보강에 따른 특성 모델
- 부식 후 보강에 따른 특성 모델
- 복합열화 후 보강에 따른 특성 모델

[1-6, 한밭대학교]

○ 1차년도

- 한국시설안전공단의 FMS 상태변화진단매뉴얼 분석을 통한 도로교량의 주요 손상모드, 보수보강재료 및 공법 분석연구 수행
  - (국내)기존 시설물(교량) 내진성능평가 및 향상요령(국토해양부 2011)/기존 시설물(교량) 내진성능향상요령(국토해양부 2011) 분석을 통한 내진성능평가기법 및 향상절차 분석
- FMS 내진성능평가 실시결과 목록 분석을 통한 도로교량의 내진성능수준 분석-소요역량 및 공급역량, 부재별 보강공법 적용빈도 파악
  - 한국시설안전공단 FMS 내진성능평가실시결과 목록 분석을 통한 도로교량 내진성능평가 결과 분석 수행 및 부재별 보수보강공법 적용 분석
- 내진성능평가방법 및 내진성능향상요령 매뉴얼 분석을 통한, 라이브러리 개발 방향 및 템플릿(안) 구축, 소요 기술정보 및 특성항목 구성방안 정립
  - 현존 내진성능평가매뉴얼 및 내진성능향상요령, 보수보강공법 적용사례 및 최신 기술(논문, 특허) 분석을 통한 보수보강공법 DB템플릿(안) 구성

○ 2차년도

- 도로교량주요 구성요소의 손상 및 보수보강 공법 정리
  - 도로 시설물의 주요 구조부재에서 발생되는 상태변화 해당 손상모드별 보수 보강공법 분석 수행
  - 대표적으로 교각 구조물의 주요 내진 보수보강공법 조사 및 소요 정보 DB구축: 강판보강공법, 콘크리트단면증설공법, FRP보강공법의 적용 방안
- 내진성능 보수보강 공법의 기술정보 D/B구축

- 교각의 휨 연성성능, 전단성능, 축방향 철근 겹침이음부의 내진성능을 고려한 보수보강 공법 D/B 작성
- 현행 내진성능 평가 체계 및 절차에 기반하고, 보강부재의 재료 및 단면특성에 따른 RC 교각의 등가 단면모형에 관한 기술동향 및 응용방안

- 교각의 보수보강 효과분석을 위한 정량적 해석기술 정립
  - 해석 프로그램을 이용한 교각의 비선형 해석 진행
  - 교각의 비선형·비탄성 재료·기하학적 특성을 반영한 정밀 구조해석 기법을 연구하고, 모멘트-곡률 곡선 해석 및 푸쉬오버 비선형 해석에 의거한 대표적인 교각 모형의 내진성능 증진도 평가 수행

○ 3차년도

- 구성요소별/손상 모드별 내진성능 보수보강기법 D/B 구축
  - 도로시설물(교량) 보수보강의 내진성능 향상효과 분석방법 및 표준화 방안 연구
  - 교각 보수보강 공법의 내진성능 향상효과 표준화
- 교각 보수보강 내진성능 향상도 평가
  - 교각 보수보강 교각의 상세개선을 고려한 정략적 변수해석 진행
  - 교각모형에 적합한 해석기법과 모델링방식 수립
  - 횡구속무철근 모형에 대한 해석 후, 건전상태 모형 공급역량 등가수준 회복을 위한 보강공법을 적용한 해석 수행
- 내진성능 향상효과 D/B 보완 및 검증
  - 교각 보수보강 해석기술 정립
    (FRP 및 피복강판 소재, 제원 조사 및 재료적 특성 분석, 현행 국내외 내진성능평가 지침 및 향상 규준 분석, 보강공법 시행 교각의 성능증진 효과 분석을 위한 해석 전략 모색 및 구속효과 재료모델 분석 수행)
  - 국내 도로교량 시설물의 내진성능평가 요령 및 향상요령에 따라 기존 교각의 주철근 겹이음에 따른 콘크리트 성능 차이를 주요 인자로 하는 보강 교각의 모멘트-곡률 해석 및 푸쉬오버 해석 수행

○ 4차년도

- 교각 내진보강 공법별 주요 내진 성능향상 효과 평가
  - 보강교각의 성능증진 효과분석을 위한 기본해석모델 검증
  - 강재 보강된 콘크리트 공시체 압축실험과 내진성능 평가 예제집 결과와 해석 결과 비교 검증
  - FRP wrapping 보강, 강재 보강, 단면증진 보강에 따른 보강교각의 성능 향상 평가 수행
- 국내외 기준 및 규격을 준수하고 검증된 해석기술을 통한 보강공법 별 내진성능향상도 DB 구축
  - 교각의 노후화를 고려하기 위한 해석적 노후도 반영 및 평가 방법론 구축
  - 교각 주요 재료의 노후 및 손상에 따른 강재의 성능 저하, 콘크리트의 성능 저하, 콘크리트-강재 부착성능 저하를 반영하는 방법론 제시
  - 노후화 보강 교각의 구조성능 향상도 평가를 위한 각 보강 방법 및 보강 주요 매개변수 해석 수행
  - 노후 및 손상 재료물성치를 고려한 열화 교각의 보강에 따른 내진성능향상도 평가 자료 구축
  - 건전상태 모형 등가수준의 내진성능 회복을 위한 각 보강공법에 따른 방법론 제시

[2-1, 국토안전관리원]

○ 1차년도

- 노후 도로시설 내진성능 의사결정지원 기술 조사
  - 국내외 도로시설물 내진성능관리 의사결정지원 운영기법 조사 분석
  - 내진성능 의사결정지원 프로그램 운영현황 조사보고서 작성

○ 2차년도

- 도로시설물 내진성능관리 의사결정지원 기술매뉴얼 개발
  - 의사결정지원시스템 적용을 위한 기술 매뉴얼(안) 작성
- 내진성능 의사결정 지원 플랫폼 구축
  - 개발된 요소기술과 의사결정지원 시스템(S/W)의 연계를 위한 모듈개발

○ 3차년도
- 노후 도로시설물 내진성능관리 의사결정지원 소프트웨어 개발
  • 소프트웨어 배포버전을 완성하여 내진성능관리에 필요한 다양한 기능탑재
  • 유저매뉴얼 및 소프트웨어 등록
- 노후 도로시설물 내진성능관리 의사결정제도(안) 작성
  • 내진성능관리 지침 및 요령에 추가할 수 있도록 개정(안) 작성

○ 4차년도
- Test-Bed를 통한 내진성능관리 의사결정 시스템 검증
  • 포항시를 Test Bed로 선정하고 개발된 시스템을 활용하여 실증수행
  • 시스템의 범용성 검증을 위해 경주시를 대상으로 추가 실증 수행
- 내진성능관리 의사결정기술 교육자료 개발
  • 정밀안전진단교육 시 내진성능관리(편)에 사용하기 위한 교육자료 개발(完)

[2-2, 서울대학교]
○ 1차년도
- 확률적 지진동 강도 공간 분포 예측 기술 자료 조사
  • 지진 강도의 불확실성과 공간적 상관관계를 기반으로한 확률론적 지진동 예측 기술 문헌 조사 및 국내 지진동 모사를 위해 요구되는 지진동 자료 현황 분석
- 확률적 상관관계를 고려한 지진동 수용력 예측 기술 자료 조사
  • 지진동 수용력이 고려된 내진성능 평가를 위한 문헌 조사 및 선행연구의 한계를 극복하기 위한 새로운 연구 방법론 수립
- 확률론적 의사결정 방법론의 선행연구 조사 및 향후 방법론 개발전략
  • 노후도로망과 내진보수·보강의 특성을 반영할 수 있는 확률모델과 최적화식 개발 세부 로드맵 수립

○ 2차년도
- 확률적 상관관계를 고려한 도로망 시스템의 지진동 강도 공간 분포 예측 기술 개발
  • Engineering Demand Parameter (EDP)를 기반으로 공간 분포를 예측하고 EDP의 불확실성을 고려한 시뮬레이션 수행
- 시설물간 영향인자를 고려한 도로 시설물의 지진동 수용력 추정 기술 개발
  • 지진동 수용력을 추정하기 위해 비선형 구조해석 방법 중 하나인 Incremental Dynamic Analysis (IDA) 방법을 제안하였고 이를 이용하여 구조물의 지진동 수용력을 추정할 수 있는 방법론 제안
- 내진성능관리 최적 의사결정지원 핵심기술 개발
  • 베이지안 네트워크 기반 확률모델 개발

○ 3차년도
- 도로망 시스템 확률론적 내진성능 평가 샘플링 기법
  • 지진 기록을 활용한 지진 시나리오 생성 및 도로망의 시스템 상태 시뮬레이션에 따른 성능 평가
- 내진 보수·보강 의사결정지원 방법론
  • 내진 보수 · 보강 의사결정지원의 범용 예제 적용 결과
  • 보수 · 보강 의사결정지원 방법론 개선

○ 4차년도
- 도로망 시스템 확률론적 내진성능 평가 기술 및 의사결정기술 방법론의 테스트베드 적용
  • 도로망 시스템 확률론적 내진성능 평가 기술 및 의사결정기술 방법론
  • 소프트웨어 개발 지원

[2-3, 울산과학기술원]
○ 1차년도
- 지진에 대한 노후도로망의 성능평가를 위한 지수 개발

1) 연결성, 2) 최대통행가능량, 3) 전체 시스템 통행시간
- 포항시 주변 도로망을 대상으로 프로토타입 예제 개발 및 해석

○ 2차년도
- 시스템신뢰성 해석 기반 노후 도로망 성능 저하 평가 기법 개발
- 도로망 성능 저하량의 평균 및 표준편차에 대해 개발 기법의 결과를 몬테카를로 시뮬레이션 결과와 비교해 본 결과, 목표 오차 10% 이내임을 확인

○ 3차년도
- 노후 도로시설 및 도로망 성능 회복 모델링 평가 기법 개발
- 인공신경망을 이용해 노후 도로시설을 고려한 도로망 성능 저하 및 회복평가 기법 개발, 몬테카를로 시뮬레이션과의 비교를 통한 개발 기법 검증

○ 4차년도
- 노후 도로망의 내진성능 저하 및 회복평가 기법의 의사결정시스템 적용
- 내진성능관리 의사결정지원 기술개발을 위한 기초 및 개선사항 연구

[2-4, 연세대학교]
○ 1차년도
- 빅데이터 기반 직간접 손실 영향범위 분석
  • 국내 대형지진으로 인한 직간접 손실이 발생할 수 있는 영향범위 분석결과
- 사회·경제적 취약도 분석
  • 지진에 대한 지역 차원의 사회 · 경제적 취약요인(지표) 분석결과

○ 2차년도
- 지진재해 직접손실 분석모형
  • 지진재해로 인한 지역 차원의 직접손실 추정을 위한 분석모형 설계
- 지진재해 간접손실 분석모형
  • 지진재해로 인한 지역 차원의 간접손실 추정을 위한 분석모형 설계
- 복원력 유형화
  • 재난에 대한 지역 복원력의 유형화 방법론 설계 및 전문가 자문결과

○ 3차년도
- 지진피해 예측 시나리오
  • HAZUS 지진취약도 함수 기반 지진의 재현주기별 발생확률이 높은 지진피해 시나리오 도출
  • 재현주기별 발생확률이 높은 상위 10만 개의 지진피해 시나리오 도출(4개 재현주기 - 총 40만 개의 시나리오)
- 복원력 평가지표 개발
  • 재난에 대한 지역 복원력 평가를 위한 평가지표 구성 및 검증
- 직간접 손실 추정 시뮬레이션
  • 지진으로 인한 포항시의 사회 · 경제적 직간접 손실 추정결과
- 복원력 평가 알고리즘 개발
  • 재난에 대한 지역 복원력 평가지표를 활용한 복원력 평가 알고리즘 개발

○ 4차년도
- 복원력 평가기술 검증 및 적용
  • 재난에 대한 지역 복원력 평가기술 및 전문가 자문결과
  • 포항시(Test Bed)에 대한 평가기술 적용결과

(2) 정량적 연구개발성과 (달성 / 목표)

[1-1, 인하대학교]
- 국제 논문 SCIE : 3건 / 2건
- 국내 논문 비SCIE : 13건 / 12건
- 국내 및 국제학술회의 발표 : 19건 / 18건
- 소프트웨어 등록 : 1건 / 0건
- 인력양성 : 12건 / 0건
- 포상 : 2건 / 0건
- 절차서 : 2건 / 2건
- 설명서 : 1건 / 1건

[1-2, 국민대학교]
- 국제 논문 SCIE : 4건 / 4건
- 국내 논문 비SCIE : 4건 / 4건
- 국내 및 국제학술회의 발표 : 10건 / 8건
- 소프트웨어 등록 : 1건 / 0건
- 특허 등록 : 1건 / 0건
- 포상 : 2건 / 0건
- 인력양성 : 5건 / 0건
- 절차서 : 1건 / 1건

[1-3, 울산대학교]
- 국내 논문 비SCIE : 6건 / 6건
- 국내 및 국제학술회의 발표 : 8건 / 7건
- 인력양성 : 1건 / 0건

[1-4, 한양대학교]
- 국제 논문 SCIE : 5건 / 4건
- 국내 논문 비SCIE : 4건 / 3건
- 국내 및 국제학술회의 발표 : 8건 / 7건
- 인력양성 : 3건 / 0건
- 절차서 : 1건 / 1건

[1-5, 경상국립대학교]
- 국내 논문 비SCIE : 5건 / 4건
- 국내 및 국제학술회의 발표 : 17건 / 8건
- 매뉴얼 : 1건 / 1건

[1-6, 한밭대학교]
- 국내 논문 비SCIE : 3건 / 4건
- 국내 및 국제학술회의 발표 : 7건 / 5건
- 지침(안) : 1건 / 1건
- 보고서 : 1건 / 1건

[2-1, 국토안전관리원]
- 국내 논문 비SCIE : 3건 / 3건
- 국내 및 국제학술회의 발표 : 8건 / 5건
- 소프트웨어 등록 : 3건 / 1건
- 소프트웨어 인증 : 1건 / 1건
- 보고서 : 4건 / 4건

[2-1, (위탁) 인천대학교]
- 국제 논문 SCIE : 1건 / 0건
- 국내 논문 비SCIE : 2건 / 1건
- 국내 및 국제학술회의 발표 : 2건 / 2건
- 보고서 : 2건 / 2건

[2-2, 서울대학교]
- 국제 논문 SCIE : 8.5건 / 6건
- 국내 및 국제학술회의 발표 : 18건 / 9건
- 소프트웨어 시제품 : 1건 / 1건
- 인력양성 : 7건 / 0건

[2-3, 울산과학기술원]
- 국제 논문 SCIE : 3.5건 / 3건
- 국내 및 국제학술회의 발표 : 7건 / 6건
- 인력양성 : 3건 / 0건
- 포상 : 1건 / 0건
- 보고서 : 1건 / 1건

[2-4, 연세대학교]
- 국내 논문 비SCIE : 3건 / 3건
- 국내 및 국제학술회의 발표 : 5건 / 4건
- 보고서 : 3건 / 2건

[총 괄]
- 국제 논문 SCIE : 25건 / 19건
- 국내 논문 비SCIE : 43건 / 40건
- 국내 및 국제학술회의 발표 : 109건 / 79건
- 소프트웨어 등록 : 5건 / 1건
- 소프트웨어 인증 : 1건 / 1건
- 소프트웨어 시제품 : 1건 / 1건
- 특허 등록 : 1건 / 0건
- 인력양성 : 31건 / 0건
- 포상 : 5건 / 0건
- 보고서 : 11건 / 10건
- 절차서 : 4건 / 4건
- 지침(안) : 1건 / 1건
- 설명서 : 1건 / 1건
- 매뉴얼 : 1건 / 1건

(3) 세부 정량적 연구개발성과

[과학적 성과]

□ 논문(국내외 전문 학술지) 게재

번호	논문명	학술지명	주저자명	호	국명	발행기관	SCIE 여부 (SCIE/비SCIE)	게재일	등록번호 (ISSN)	기여율 (%)
1	(1-1) H형 주탑 2면 사장교의 지진 안전성 평가지표 개발	한국지진공학회 논문집	소롱고	5	대한민국	한국지진공학회	비SCIE	2019.08		100
2	(1-1) PSC-Box 교량에 적용된 탄성고무 받침과 납-고무 받침의 노후화 효과를 고려한 지진응답의 평가	한국지진공학회 논문집	정연희	6	대한민국	한국지진공학회	비SCIE	2019.11		100
3	(1-1) 대표교량을 이용한 국내 철근콘크리트 교량의 지진취약성 분석 방법	한국전산구조공학회 논문집	안효준	32권 6호	대한민국	한국전산구조공학회	비SCIE	2019.12		100
4	(1-1) 지반공학 분야에 대한 차분진화 알고리즘 적용성 분석	한국지반공학회 논문집	안준상	35권 4호	대한민국	한국지반공학회	비SCIE	2019.04		100
5	(1-1) Impact on high-temperature-water cooling damage on the mechanical properties of concrete	Construction and building materials	Yue Zhai	Vol. 215	Netherlands	SIR Ranking of Netherlands	SCIE	2019.08		100
6	(1-1) Dynamic Response Evaluation of Bridges Considering Aspect Ratio of Pier in Near-Fault and Far-Fault Ground motions	Applied science	안효준	10 (17)	스위스	MDPI	SCIE	2020.09		100
7	(1-1) 노후교량 유지관리를 위한 상부구조물의 상태평가 결과와 교량의 안전성 및 내하력과의 상관관계 분석	한국구조물진단유지관리공학회 논문집	박주현	24 (4)	대한민국	한국구조물진단유지관리공학회	비SCIE	2020.10		100
8	(1-1) 9교각의 노후도 영향에 따른 강합성 상자형 거더교의 지진응답 평가	한국전산구조공학회 논문집	신수봉	33 (5)	대한민국	한국전산구조공학회	비SCIE	2020.10		100
9	(1-1) 공공건축물 안전성 평가를 위한 지진가속도 계측자료의 유효성 검증 방법에 대한 연구	한국구조물진단유지관리공학회 논문집	정성훈	24 (4)	대한민국	한국구조물진단유지관리공학회	비SCIE	2020.10		100
10	(1-1) 교량기초 종류 및 지반-구조물 상호작용을 고려한 지진취약도 분석	한국구조물진단유지관리공학회 논문집	김선재	24 (5)	대한민국	한국구조물진단유지관리공학회	비SCIE	2020.12		100
11	(1-1) PSC 교량의 노후도 및 FRP 보강 효과를 고려한 지진취약도 분석	한국구조물진단유지관리공학회 논문집	안효준	24 (6)	대한민국	한국구조물진단유지관리공학회	비SCIE	2020.12		100
12	(1-1) Improvement of Bearing Capacity of Shallow Foundation with the Wall Attached to the Base-Slab: Model Test	KSCE Journal of Civil Engineering	황정근	25	대한민국	대한토목학회	SCIE	2021.07		100
13	(1-1) 철근 부식을 고려한 교량의 지진취약도 평가	한국전산구조공학회 논문집	신수봉	34 (4)	대한민국	한국전산구조공학회	비SCIE	2021.08		100
14	(1-1) 가속도계를 이용한 사장교의 지진거동 계측시스템 개발에 대한 연구	한국지진공학회 논문집	정성훈	25 (6)	대한민국	한국지진공학회	비SCIE	2021.11		100
15	(1-1) PSC교량의 부재별 상관관계를 고려한 시스템 지진취약도 분석	한국지진공학회 논문집	안효준	-	대한민국	한국지진공학회	비SCIE	2021.11		100
16	(1-1) 현장 데이터	한국터널지하공간학	박진수	23	대한민국	한국터널지하공	비SCIE	2021.12		100

	분석을 통한 Gripper TBM의 Downtime 요소 분석	회 논문집		(6)		간학회				
17	(1-2) Corrosion behaviour of pre-rusted rebars in cement mortar exposed to harsh environment	Applied Science	Gankhuyag Burtuujin	10	스위스	MDPI	SCIE	2020.12	2076-3417	100
18	(1-2) An innovative metallic damper with a flexural and shear-flexural mechanism to enhance the CBF system behavior: An experimental and numerical study	Applied Science	Ali Ghamari	11	스위스	MDPI	SCIE	2021.12	2076-3417	100
19	(1-2) Local behaviour of lap-spliced deformed rebars in reinforced concrete beams	Materials	Agha Syed Muhammad Gillani	14	스위스	MDPI	SCIE	2021.12	1423-7186	100
20	(1-2) Effect of low-level cyclic loading on bond behavior of a steel bar in concrete with pre-existing damage	Materials	Chongku Yi	14	스위스	MDPI	SCIE	2021.12	1996-1944	100
21	(1-2) 복합섬유패널과 FRP시트를 이용한 정사각형 단면의 짧은 철근콘크리트 기둥 전단보강 성능 실험 연구	한국복합신소재구조학회 논문집	이혜린	11 (6)	대한민국	한국복합신소재구조학회	비SCIE	2020.12	2093-5145	100
22	(1-2) BFRP 보강이 직사각형 단면 철근콘크리트 기둥의 지진거동에 미치는 영향	한국구조물진단유지관리공학회 논문집	이혜린	24 (6)	대한민국	한국구조물진단유지관리공학회	비SCIE	2020.12	2234-6937	100
23	(1-2) 철근부식, 겹침이음 및 축하중의 영향을 고려한 원형 전단 교각의 내진성능실험	한국구조물진단유지관리공학회 논문집	이수형	25 (6)	대한민국	한국구조물진단유지관리공학회	비SCIE	2021.12	2234-6937	100
24	(1-2) 노후도를 고려한 실크기 원형단면 교각의 내진성능 휨실험	한국구조물진단유지관리공학회 논문집	이승건	25 (6)	대한민국	한국구조물진단유지관리공학회	비SCIE	2021.12	2234-6937	100
25	(1-3) 다지점 가진에 의한 단일형 현장타설말뚝 교량의 지진거동	한국전산구조공학회 논문집	선창호, 안성민, 김익현	32 (6)	대한민국	한국전산구조공학회	비SCIE	2019.12	1229-3059	100
26	(1-3) 연약지반에 건설된 단일형 현장타설말뚝 교량의 근단층 지반운동에 대한 내진성능	한국구조물진단유지관리 공학회 논문집	선창호, 안성민, 김정한, 김익현	23 (7)	대한민국	한국구조물진단유지관리공학회	비SCIE	2019.12	2234-6937	100
27	(1-3) 가속열 노화로 열화된 탄성받침 고무재료의 전단 특성(1): 천연고무	한국구조물진단유지관리 공학회 논문집	선창호 김익현	25 (6)	대한민국	한국구조물진단유지관리공학회	비SCIE	2021.12	2234-6937	100
28	(1-3) 가속열 노화로 열화된 탄성받침 고무재료의 전단 특성(2): 합성고무	한국구조물진단유지관리 공학회 논문집	선창호 김익현	25 (6)	대한민국	한국구조물진단유지관리공학회	비SCIE	2021.12	2234-6937	100
29	(1-3) 탄성받침용 혼합고무재료의 노화에 따른 전단 특성 변화	한국방재학회 논문집	선창호 김익현	21 (6)	대한민국	한국방재학회	비SCIE	2021.12	1738-2424	100
30	(1-3) 노화촉진 수준에 따른 탄성받침용 고무종류별 전단특성 변화의 차이	한국복합신소재구조학회 논문집	선창호, 김익현	12 (6)	대한민국	한국복합신소재구조학회	비SCIE	2021.12	2093-5145	100
31	(1-4) 박스형 터널의 지진 취약도 평가	한국지반공학회논문집	박두희	11	대한민국	한국지반공학회	비SCIE	2018.11	1229-2427	100
32	(1-4) Effect of Flexibility Ratio on Seismic	Advances in Civil Engineering	Shamsher Sadiq	2019	런던	Hindawi	SCIE	2019.07	1687-8086	100

	Response of Cut-and-Cover Box Tunnel									
33	(1-4) Dynamic Earth Pressure on Embedded Structure	한국지반환경공학회 논문집	Shamsher Sadiq	20	대한민국	한국지반환경공학회	비SCIE	2019.09	1598-0820	100
34	(1-4) Numerical simulation of damage evolution of Daikai station during the 1995 Kobe earthquake	Engineering Structures	Van-Quang Nquyen	206	네덜란드	Elsevier	SCIE	2020.03	0141-0296	100
35	(1-4) 국내 액상화 평가를 위한 지진파 선정	한국지진공학회논문집	장영은	2	대한민국	한국지진공학회	비SCIE	2020.03	1226-525X	100
36	(1-4) Estimation of Seismically Induced Longitudinal Strain in Pipelines Subjected to Incident Shear Wave	KSCE Journal of Civil Engineering	윤세웅	24	대한민국	KSCE	SCIE	2020.07	1226-7988	100
37	(1-4) Factors affect in go ccurrence of landslides induced by the M7.8 April 2015, Nepal Earthquake	KSCE Journal of Civil Engineering	Rubini Mahalingam	25	대한민국	KSCE	SCIE	2021.01	1226-7988	100
38	(1-4) Effect of Characteristics of Ground Motion on Seismically Induced Sliding Surface of Slopes	Applied Sciences	Muhammad Irslan Khalid	12	스위스	MDPI	SCIE	2021.06	2076-3417	100
39	(1-4) 사면 경사도가 있는 뒷채움토와 지반특성을 고려한 역T형 옹벽의 지진시 취약도 평가	대한토목학회논문집	서환우	41 (5)	대한민국	대한토목학회	비SCIE	2021.10	1015-6348	100
40	(1-5) RC보에 부착된 CFRP 플레이트의 동결융해에 의한 부착거동 연구	한국복합신소재구조학회 논문집	권규빈	11 (2)	대한민국	한국복합신소재구조학회	비SCIE	2020.04	2093-5145	100
41	(1-5) 동결융해에 따른 철근콘크리트 보 구조물의 거동 특성 평가	한국복합신소재구조학회 논문집	김상우	11 (2)	대한민국	한국복합신소재구조학회	비SCIE	2020.04	2093-5145	100
42	(1-5) 재생 GFRP 분말을 이용한 모르타르의 재료특성	한국복합신소재구조학회 논문집	이동주	11 (5)	대한민국	한국복합신소재구조학회	비SCIE	2020.10	2093-5145	100
43	(1-5) 기중 급속 동결융해 시험 방법에 따른 철근콘크리트 보의 성능 실험 연구	한국구조물진단유지관리공학회 논문집	김상우	25 (4)	대한민국	한국구조물진단유지관리공학회	비SCIE	2021.08	2234-6937	100
44	(1-5) 주철근의 부식에 따른 철근콘크리트 보의 성능 실험 연구	한국복합신소재구조학회 논문집	김상우	12 (4)	대한민국	한국복합신소재구조학회	비SCIE	2021.08	2093-5145	100

45	(1-6) 탄소섬유강화 플라스틱(CFRP)로 보강된 원형콘크리트 교각의 지진성능 평가	KSCE Journal of Civil Engineering	마벨	40	대한민국	대한토목학회	비SCIE	2020.04	1976-3808	100
46	(1-6) CFRP, GFRP, Steel을 외부 보강재로 활용한 원형무근콘크리트 교각의 내진성능 비교평가를 위한 해석연구	한국복합신소재구조학회 논문집	마벨	2	대한민국	한국복합신소재구조학회	비SCIE	2021.04	2093-5145	100
47	(1-6) 축방향 철근 겹침이음 상세를 고려한 FRP wrapping 보강 교각의 휨 성능 증진 효과 분석	한국복합신소재구조공학회 논문집	이호찬	54권 12호	대한민국	한국복합신소재구조공학회	비SCIE	2021.12	2093-5145	100
48	(2-1) 지진위험도평가 방법을 이용한 내진성능관리 의사결정	한국지진공학회 논문집	김동주	23권 6호	대한민국	한국지진 공학회	비SCIE	2019.11	ISSN 1226-525X	100
49	(2-1) 확률론적 및 결정론적 방법을 이용한 노후도로 시설물 내진성능관리	대한토목학회 논문집	김동주	40권 5호	대한민국	대한 토목학회	비SCIE	2020.10	ISSN 2287-934X	100
50	(2-1) 취약도곡선을 이용한 도로망기반 노후도로시설물 내진성능관리 의사결정	한국구조물진단유지관리공학회논문집	김동주	25권 5호	대한민국	한국구조물 진단유지 관리공학회	비SCIE	2021.10	ISSN 2287-6979	100
51	(2-1 위탁) 초탄성 형상기억합금을 활용한 자동복원 가새 프레임 구조물의 내진성능평가 : 비선형정적해석	한국복합 신소재 구조학회 논문집	허종완	2	대한민국	한국복합 신소재 구조학회	비SCIE	2020.4	ISSN 2288-0232	100
52	(2-1 위탁) A wavelet-Particle swarm optimization -Extreme learning machine hybrid modeling for significant wave height prediction	OCEAN ENGINEERING	허종완	-	영국	PERGAMON-ELSEVIER SCIENCE LTD	SCIE	2020.07	ISSN 0029-8018	100
53	(2-1 위탁) 전역최적화 기법을 활용한 강재 댐퍼의 최적설계 및 성능검증	한국복합 신소재 구조학회 논문집	차영욱 허종완	12	대한민국	한국복합 신소재 구조학회	비SCIE	2021.10	ISSN 2288-0232	100
54	(2-2) Hamiltonian Monte Carlo methods for Subset Simulation in reliability analysis	Structural Safety	Ziqi Wang	76	네덜란드	ELSEVIER	SCIE	2019.01	ISSN 0167-4730	50
55	(2-2) Matrix-based Bayesian Network for effective memory storage and flexible inference	Reliability Engineering and System Safety	변지은	185	영국	ELSEVIER	SCIE	2019.05	ISSN 0951-8320	100
56	(2-2) Bounds on reliability of larger systems by linear programming with delayed column generation	Earthquake Engineering and Structural Dynamics	변지은	146권 4호	영국	Wiley	SCIE	2020.04	ISSN 0733-9399	100
57	(2-2) Efficient probabilistic multi-objective optimization of complex systems using Matrix-based Bayesian Network	Reliability Engineering and System Safety	변지은	200권	영국	ELSEVIER	SCIE	2020.08	ISSN 0951-8320	100
58	(2-2) Multi-scale seismic reliability assessment of networks by centrality-based selective recursive decomposition algorithm	Earthquake Engineering Structural Dynamics	이동규	50권	영국	Wiley	SCIE	2021.03	ISSN 0733-9399	100
59	(2-2) Reliability-Based Design Optimization Using Quantile	ASCE Journal of Engineering Mechanics	김정호	147권 5호	미국	ACSE	SCIE	2021.05	ISSN 0733-9399	100

	Surrogates by Adaptive Gaussian Process									
60	(2-2) Generalized matrix-based Bayesian network for multi-state systems	Reliability Engineering and System Safety	변지은	211권	영국	ELSEVIER	SCIE	2021.07	ISSN 0951-8320	100
61	(2-2) Evaluation of correlation between engineering demand parameters of structures for seismic system reliability analysis	Structural Safety	강철영	93권	네덜란드	ELSEVIER	SCIE	2021.11	ISSN 0167-4730	100
62	(2-2) A general framework of Bayesian network for system reliability analysis using junction tree	Reliability Engineering and System Safety	변지은	216권	영국	ELSEVIER	SCIE	2021.12	ISSN 0951-8320	100
63	(2-3) Seismic fragility analysis of steel liquid storage tanks using earthquake ground motions recorded in Korea	Mathematical Problems in Engineering	이영주	2019	영국	Hindawi Publishing Corporation	SCIE	2019. 07	ISSN 1024-123X	50%
64	(2-3) System-level seismic risk assessment of bridge transportation networks employing probabilistic seismic hazard analysis	Mathematical Problems in Engineering	이영주	2019	영국	Hindawi Publishing Corporation	SCIE	2019. 08	ISSN 1024-123X	50%
65	(2-3) Accelerated System-Level Seismic Risk Assessment of Bridge Transportation Networks through Artificial Neural Network-Based Surrogate Model	Applied Science	이영주	10	스위스	MDPI	SCIE	2020. 09	ISSN 2076-3417	100%
66	(2-3) Analysis of Macroscopic Traffic Network Impacted by Structural Damage to Bridges from Earthquakes	Applied Science	이영주	11	스위스	MDPI	SCIE	2021. 04	ISSN 2076-3417	50%
67	(2-3) Optimal decision making in post-hazard recovery strategies for bridge transportation networks after seismic events	Geomatics, Natural Hazards and Risk	이영주	12	영국	Taylor and Francis Inc.	SCIE	2021. 08	ISSN 1947-5705	50%
68	(2-3) A multi-scale framework for probabilistic structural analysis of PSC girders considering pit corrosion of prestressing wires	Engineering Structures	이영주	244	영국	Elsevier	SCIE	2021.10	ISSN 112745	50%
69	(2-4) 산업연관분석을 활용한 가축질병재난의 경제적 파급효과 분석	한국방재 학회논문집	황요한	19 (7)	대한민국	한국방재학회	비SCIE	2019.12	ISSN 1738-2424	100
70	(2-4) 지진의 지역경제 손실 추정 - 공간연산일반균형의 응용	지역개발 연구	이호준	52 (2)	대한민국	지역개발 연구소	비SCIE	2020.12	ISSN 1229-1471	100
71	(2-4) 포항 지진이 지역경제에 미치는 공간경제적 파급효과 분석: 공간연산일반균형모형 개발	한국방재 학회논문집	김의준	21 (1)	대한민국	한국방재학회	비SCIE	2021.02	ISSN 1738-2424	100

□ 국내 및 국제 학술회의 발표

번호	회의 명칭	발표 내용	발표자	발표 일시	장소	국명
1	(1-1) KSCE 2018 CONVENTION	지진취약도 해석을 위한 국내 대표교량의 선정 및 분류	안효준	2018.10.18	경주 HICO	대한민국
2	(1-1) KSCE 2018 CONVENTION	지진취약도 해석을 위한 교량의 분류 체계에 관한 연구	송종걸	2018.10.18	경주 HICO	대한민국
3	(1-1) 2018 한국전산구조공학회 학술심포지엄	Opensees를 이용한 콘크리트 교량의 지진취약성 분석	정성훈	2018.11.15	제주 대명리조트	대한민국
4	(1-1) 2019 지진공학회 학술발표회	국내 교량에 대한 대표모델 생성 및 지진취약도 분석	신수봉	2019.09.20	제주 아라컨벤션홀	대한민국
5	(1-1) KSCE 2019 CONVENTION	국내 PSC교량 대표모델 생성과 지진취약도 분석	안효준	2019.10.17	평창 알펜시아	대한민국
6	(1-1) IMETI 2019	Development of a structural monitoring system for cable bridges by using seismic accelerometers	정성훈	2019.11.16	Kaogsiung	타이완
7	(1-1) 2019 한국지반공학회 가을 학술발표회	노후 교량 직접기초의 내진성능에 관한 연구: 한계 상태 분석	김선재	2019.09.27	서울대학교	대한민국
8	(1-1) 한국구조물진단유지관리공학회 2020 여름 학술발표회	PSC빔 교량의 노후도를 고려한 지진취약도 비교분석	안효준	2020.07.07	제주 라마다프라자	대한민국
9	(1-1) KSCE 2020 CONVENTION	교각의 FRP보강을 적용한 교량의 지진취약도 비교분석	안효준	2020.10.22	제주 신화월드	대한민국
10	(1-1) KSCE 2020 CONVENTION	FMS자료를 활용한 국내 PSC 대표교량의 지진취약도 분석	장지원	2020.10.22	제주 신화월드	대한민국
11	(1-1) 2020 한국지반공학회 가을학술발표회	지반-구조물 상호작용을 고려한 직접 기초의 동적 거동 특성	김선재	2020.09.24	온라인	대한민국
12	(1-1) KSCE 2020 CONVENTION	액상화를 고려한 말뚝 기초의 동적 거동 특성 분석	김선재	2020.10.22	제주 신화월드	대한민국
13	(1-1) 한국터널공학회 2021 봄 학술발표회	The Suggestion of a Quantitative Design Method of Tunnel Face Reinforcement to Prevent Repetitive NATM Tunnel Heading Collapses	장석부	2021.04.22	aT센터	대한민국
14	(1-1) 한국지반공학회 2021년 가을 학술발표회	교량 지진취약도 분석을 위한 기초의 스프링 강성 산정에 대한 고찰	송기일	2021.10.01	aT센터	대한민국
15	(1-1) 한국지반신소재학회 2021년 가을 학술발표회	액상화가 기초 지진취약도에 미치는 영향 분석	송기일	2021.11.18.	aT센터	대한민국
16	(1-1) 2021 한국전산구조공학회 정기학술대회	교량 요소별 비선형 동적해석을 통한 교량 시스템 지진취약도 분석	안효준	2021.04.08	경주 더케이호텔	대한민국
17	(1-1) 2021 한국구조물진단유지관리공학회 봄 학술발표회	교량 요소별 한계상태를 통한 교량 시스템의 지진취약도 분석	안효준	2021.06.02	부산 파라다이스호텔	대한민국
18	(1-1) 2021 한국구조물진단유지관리공학회 가을 학술발표대회	특수교량의 진동계측시스템 적용에 대한 연구	정성훈	2021.11.18.	제주 휘닉스제주섭지코지	대한민국
19	(1-1) 2021 한국구조물진단유지관리공학회 가을 학술발표대회	RC교량의 요소별 노후도를 고려한 지진취약도 분석	안효준	2021.11.18.	제주 휘닉스제주섭지코지	대한민국
20	(1-2) 2018 대한토목학회 정기학술대회	철근콘크리트 교각의 열화를 고려한 실험 설계 및 해석모델 개발	홍기증	2018.10.19.	경주화백컨벤션센터	대한민국
21	(1-2) 한국콘크리트학회 2018 가을학술대회	가속 부식 실험의 콘크리트 내 철근 부식량 비교	장인동	2018.11.08.	알펜시아리조트 컨벤션센터	대한민국
22	(1-2) 한국콘크리트학회 2018 가을학술대회	철근의 노후도를 고려한 해석적 부착성능 평가	오창국	2018.11.08.	알펜시아리조트 컨벤션센터	대한민국
23	(1-2) 한국콘크리트학회 2019 봄 학술대회	비선형 유한요소 해석과 유사정적 실험을 통한 교각의 지진거동분석	오창국	2019.05.09.	제주신화월드	대한민국
24	(1-2) 2019년 한국지진공학회 Workshop 및 학술대회	축방향철근 겹침이음을 가진 중실원형 교각의 유사동적 실험	홍기증	2019.09.20.	제주대학교	대한민국
25	(1-2) KSCE 2019 Convention	소성힌지구간에 겹침이음된 교각의 유사정적실험을 통한 내진거동평가	오창국	2019.10.17.	평창 알펜시아	대한민국
26	(1-2) 한국콘크리트학회 2019 가을 학술대회	겹침이음부 노후화를 고려한 철근콘크리트 교각의 거동특성 예측	홍기증	2019.11.07.	변산대명리조트	대한민국

27	(1-2) 2020 시공학회학술발표회	이형 철근의 콘크리트 부착 모델 수립을 위한 Micro-CT 활용 단조가력 시험	장인동	2020.11.13.	경주 블루원리조트	대한민국
28	(1-2) 2020 시공학회학술발표회	직경별 부식 철근과 콘크리트 간의 부착강도에 관한 연구	두여준	2020.11.13.	경주 블루원리조트	대한민국
29	(1-2) 2021년도 한국지진공학회 온라인 학술발표회	겹침이음 및 내진설계를 고려한 원형교각의 성능비교 및 보강방안	조정현	2021.03.19.	ZOOM 106	대한민국
30	(1-3) 2018 한국지진공학회 가을 학술발표회	비선형 응답이력해석을 통한 서해대교의 지진거동 분석	선창호	2018.09.14	강원대학교	대한민국
31	(1-3) KSCE 2018 CONVENTION	LRB 면진받침 특성변화에 따른 교량의 거동특성 분석	안성민	2018.10.18	경주 HICO	대한민국
32	(1-3) 한국지진공학회 가을학술발표회	고무재료의 노후화에 따른 탄성받침의 역학적 특성	김익현	2019.09.20	제주대학교	대한민국
33	(1-3) KSCE 2019 Convention	Behavior of Elastic Bearing Considering Rubber Material Profile Variation Caused by Aging	Henrry	2019.10.17	평창알펜시아	대한민국
34	(1-3) 한국구조물진단유지관리공학회 2020 가을 학술발표회	열화된 탄성받침 천연고무 재료의 응력-변형률 곡선	선창호	2020.11.19	한국과학기술회관	대한민국
35	(1-3) 한국구조물진단유지관리공학회 2020 가을 학술발표회	열화시간에 따른 탄성받침 천연고무 재료의 전단강성 변화 특성	선창호	2020.11.19	한국과학기술회관	대한민국
36	(1-3) 한국구조물진단유지관리공학회 2021 가을 학술발표회 및 포럼	열화된 탄성받침 합성고무 재료의 응력-변형률 특성	선창호	2021.11.18	휘익스 제주 섭지코지	대한민국
37	(1-3) 한국구조물진단유지관리공학회 2021 가을 학술발표회 및 포럼	열화시간에 따른 탄성받침 합성고무 재료의 전단강성 변화 특성	선창호	2021.11.18	휘익스 제주 섭지코지	대한민국
38	(1-4) KGS&JGS Joint Workshop	Topographic effects during the 2017 Pohang, Korea, earthquake	김병민	2018.08.23.	인천	대한민국
39	(1-4) KSCE 2018 CONVENTION	도로 터널의 지진 취약도 분석	박두희	2018.10.18.	경주 HICO	대한민국
40	(1-4) 한국터널지하공간학회 봄학술발표	비탄성해석에 기반한 NATM 터널의 내진성능평가	박두희	2019.04.17.	양재 aT센터	대한민국
41	(1-4) 한국지진공학회 가을학술발표	도로터널의 내진성능평가 기술 개발	박두희	2019.09.20.	제주대학교	대한민국
42	(1-4) 2020 한국지반공학회 가을학술발표회	횡하중을 받는 말뚝의 p-y 곡선 평가	박두희	2020.09.24	한국과학기술회관	대한민국
43	(1-4) KSCE 2020 CONVENTION	뒷채움토의 사면 경사도를 고려한 역T옹벽의 지진시 취약도 평가	서환우	2020.10.23	제주신화월드	대한민국
44	(1-4) 2021 한국지반공학회 봄학술발표회	수정된 유사정적해석법을 적용한 토피고가 없는 박스형 터널의 응답 평가	이용국	2021.03.18.	양재 aT센터	대한민국
45	(1-4) 2021 한국지반공학회 봄학술발표회	수정된 유사정적해석법을 적용한 박스형 터널의 내진설계	응엔반쾅	2021.03.18.	양재 aT센터	대한민국
46	(1-5) 한국구조물진단유지관리공학회 2018년도	급속동결융해 실험을 통한 콘크리트 노후화 평가	권민호	2018.10.4	진주 경상대학교	대한민국
47	(1-5) KSCE 2018 CONVENTION	철근 콘크리트 부재의 노후도 평가를 위한 급속동결융해 시험법	김진섭	2018.10.18	경주 화백컨벤션센터	대한민국
48	(1-5) 12th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SANDWICH STRUCTURES ICSS-12	Contact behavior of prefabricated GFRP infill panel on steel frame structure	김진섭	2018.11.19	EPFL Lausanne	스위스
49	(1-5) 2019 한국복합신소재구조학회 학술발표회	동결융해에 따른 철근콘크리트 보의 휨 강도변화	권규빈	2019.04.25	스카이베이 경포호텔	대한민국
50	(1-5) 한국구조물진단유지관리공학회 2019년도 봄 학술발표회	FRP 보강된 철근콘크리트 보의 동결융해 저항성분석을 위한 실험연구	권규빈	2019.04.11	리카이 샌드파인 (강릉)	대한민국
51	(1-5) BEI-2019	Experimental study of RC beam-column joints	김진섭	2019.07.25	Honolulu,	미국

		with different bonding interfaces			Hawaii	
52	(1-5) 한국구조물진단유지관리공학회 2019년도 가을 학술발표회	축력을 받는 철근콘크리트 보의 실험 평가	김상우	2019.10.10	한화리조트 해운대	대한민국
53	(1-5) 한국구조물진단유지관리공학회 2019년도 가을 학술발표회	동결융해에 따른 RC보의 압축영역 검토	권규빈	2019.10.10	한화리조트 해운대	대한민국
54	(1-5) 2020 한국복합신소재구조학회 학술발표회	콘크리트 구조물의 안전점검 및 정밀안전점검 결과 조사연구	김경민	2020.07.09	제주 오리엔탈호텔	대한민국
55	(1-5) 2020 한국복합신소재구조학회 학술발표회	콘크리트 벨크로 보강 면적에 따른 강도 변화 추이 분석	이동주	2020.07.09	제주 오리엔탈호텔	대한민국
56	(1-5) 한국구조물진단유지관리공학회 2020년도 여름 학술발표회	동결융해에 노출된 섬유보강 경량콘크리트의 기계적 거동 평가	Rustamov Sardorbek	2020.07.07	라마다프라자 제주	대한민국
57	(1-5) 2021 한국복합신소재구조학회 학술발표회	동결융해 노출에 따른 복철근콘크리트 보의 성능 실험 평가	이동주	2021.04.20	제주 오리엔탈호텔	대한민국
58	(1-5) 2021 한국복합신소재구조학회 학술발표회	동결융해에 노출된 철근콘크리트 보의 CFRP 보강에 따른 휨 성능 실험 평가	이수영	2021.04.20	제주 오리엔탈호텔	대한민국
59	(1-5) 2021 한국복합신소재구조학회 학술발표회	인장철근의 부식에 따른 복철근콘크리트 보의 성능 실험 평가	김경민	2021.04.20	제주 오리엔탈호텔	대한민국
60	(1-5) 2021 한국복합신소재구조학회 학술발표회	인장철근이 부식된 RC보의 CFRP를 활용한 휨 보강에 따른 성능 실험 평가	김건우	2021.04.20	제주 오리엔탈호텔	대한민국
61	(1-5) 2021 한국구조물진단유지관리공학회 가을 학술발표대회	AE제를 첨가한 RC보 부재의 노후화(동결융해) 실험연구	이수영	2021.11.18.	제주 휘닉스제주섭지코지	대한민국
62	(1-5) 2021 한국구조물진단유지관리공학회 가을 학술발표대회	부식으로 인한 철근 콘크리트 보의 내진성능 비교	김경민	2021.11.18.	제주 휘닉스제주섭지코지	대한민국
63	(1-6) 2018 한국산학기술학회 추계학술대회	도로 교량의 내진 성능 향상 절차에 대한 고찰	이호찬	2018.11.30	경남대학교	대한민국
64	(1-6) 2019년 한국방재학회 학술대회	FRP 피복보강 완전일체식 변위제어 교대 교량의 푸쉬오버 변수해석	이상형	2019.02.20	고려대학교	대한민국
65	(1-6) 2019년 지진공학회 학술발표회	도로 교량 시설물의 내진 보수보강 공법 라이브러리 구축	최병호	2019.09.20	제주대학교	대한민국
66	(1-6) 2020 한국강구조학회 학술대회	강판보강된 콘크리트교각의 지진거동특성 파악을 위한 변수별 해석연구	마벨	2020.06.13	온라인	대한민국
67	(1-6) 2020 한국강구조학회 학술대회	강판보강 교각의 내진성능 향상효과 비교 위한 수치해석 기법 연구	이진영	2020.06.13	온라인	대한민국
68	(1-6) 2020 한국복합신소재구조학회 학술발표회	횡하중을 받는 강판 보강 원형RC교각의 적용방법에 따른 거동특성 고찰	이명진	2020.07.09	제주도	대한민국
69	(1-6) 2021 The 11th International Symposium on Steel Structures	ANALYTICAL EVALUATION OF PERFORMANCE IMPROVEMENT OF FRP-RETROFITTED RC COLUMNS	이호찬	2021.11.03	제주도	대한민국
70	(2-1) 2018년 한국구조물진단 유지관리공학회 가을학술 발표회	노후도로시설의 내진성능관리 의사결정지원 프로그램 개발 방안 검토	김동주	2018.10.4	경상대학교	대한민국
71	(2-1) 2018 대한토목학회 KSCE CONVENTION	노후도로망의 내진성능평가 방법검토	김동주	2018.10.19	경주 HICO	대한민국
72	(2-1) 2019년 한국구조물진단 유지관리공학회 봄 학술발표회	노후도로망의 내진성능관리 의사결정 알고리즘 개발	김동영	2019.4.11	강릉 라카이 샌드파인	대한민국
73	(2-1) 2019년	노후도로시설 내진성능관리 의사결정시스템	김동주	2019.9.20	제주대학교	대한민국

	한국지진공학회 Workshop 및 학술발표회	Test-Bed 실증			아라컨벤션홀	
74	(2-1) 2019 대한토목학회 KSCE CONVENTION	지진위험도평가 방법을 이용한 의사결정	최지혜	2019.10.17	평창 알펜시아리조트	대한민국
75	(2-1) 2020년 한국구조물진단 유지관리공학회 여름 학술발표회	결정론적 및 확률론적 방법을 이용한 노후도로 시설물 내진성능관리	김동주	2020.7.8	제주 라마다프라자	대한민국
76	(2-1) 2020년 한국지진공학회 온라인 Workshop 및 학술발표회	기존 도로시설물 내진성능관리를 위한 평가기법	최지혜	2020.9.25	온라인 ZOOM	대한민국
77	(2-1) 2021년 한국구조물진단 유지관리공학회 봄 학술발표회	도로망기반의 노후도로시설 내진성능관리 의사결정기술 개발	김동주	2021.6.4	부산 파라다이스호텔	대한민국
78	(2-1 위탁) 2019 한국복합신소재구조학회 학술발표회	지능형 신소재를 활용한 새로운 감쇠장치의 원천 기술개발과 내진성능 평가를 위한 구조실험	조한민, 허종완	2019.4.25	한국복합 신소재구조학회	대한민국
79	(2-1 위탁) 2019 한국복합신소재구조 학회 학술발표회	하이브리드 댐퍼에 대한 설계 최적화 연구	김영찬, 허종완	2019.4.25	한국복합 신소재구조학회	대한민국
80	(2-2) 2018 KSCE CONVENTION	복잡 시스템의 확률론적 내진성능평가를 위한 노후 구조물 최대 지진동 수용력 간 상관도 예측	강철영	2018.10.18	경주 HICO	대한민국
81	(2-2) 2018 KSCE CONVENTION	도로망 레질리언스 기반 교량 내진보강 최적 의사결정을 위한 확률기반 모델링, 추론 및 최적화	변지은	2018.10.19	경주 HICO	대한민국
82	(2-2) 2018 KSCE CONVENTION	다중 목적함수 유전알고리즘을 활용한 전력 송전 네트워크의 중대 재난재해 시나리오 도출	최유정	2018.10.18	경주 HICO	대한민국
83	(2-2) 2018 KSCE CONVENTION	구조물 물성치 간접 추정의 정확도 향상을 위한 EQI 기반 관측 위치 순차적 최적화 기법	유승민	2018.10.18	경주 HICO	대한민국
84	(2-2) ICASP13	Linear Programming by Delayed Column Generation for Bounds on Reliability of Larger Systems	변지은	2019.5.27	서울대학교	대한민국
85	(2-2) ICASP13	Efficient Optimization for Multi-Objective Decision-Making on Civil Systems Using Discrete Influence Diagram	변지은	2019.5.28	서울대학교	대한민국
86	(2-2) 2019 KSCE	구조물 물성치 MCMC 기반 간접 추정의 정확도 향상을 위한 관측 위치 순차적 최적화 기법	유승민	2019.10.18	평창 알펜시아	대한민국
87	(2-2) 2019 KSCE	네트워크 중심성 기반 선택적 재귀 분해 알고리즘을 활용한 효율적 시스템 신뢰성 해석	이동규	2019.10.18	평창 알펜시아	대한민국
88	(2-2) 2020년 한국전산구조공학회 정기학술대회	효율적인 신뢰도 기반 최적 설계를 위한 분위 적응형 대리모델 기법 개발	김정호	2020.8.24	대명 델피노리조트	대한민국
89	(2-2) 2020년 한국지진공학회 온라인 Workshop 및 학술발표회	구조물 지진응답 간 상관관계를 고려한 복잡 시스템의 확률론적 내진성능 평가	강철영	2020.9.25	온라인 ZOOM	대한민국
90	(2-2) 2020년 한국지진공학회 온라인 Workshop 및 학술발표회	중심성 기반 선택적 재귀 분해 알고리듬을 이용한 대규모 네트워크의 지진 위험 다중 스케일 신뢰성 분석	이동규	2020.9.25	온라인 ZOOM	대한민국
91	(2-2) KSCE 2020 CONVENTION	구조물 지진응답 간의 상관관계를 고려한 복잡 시스템의 확률론적 내진성능 평가법 개발	강철영	2020.10.22	제주신화월드	대한민국
92	(2-2) KSCE 2020 CONVENTION	네트워크 중심성 기반 재귀 분해법을 이용한 대규모 네트워크의 다중스케일 신뢰성 해석	이동규	2020.10.22	제주신화월드	대한민국
93	(2-2) KSCE 2020 CONVENTION	베이지안 네트워크 방법론에 기반한 단기 교통량 예측	권영준	2020.10.23	제주신화월드	대한민국
94	(2-2) ISRERM2020	Centrality-based Selective Recursive Decomposition Algorithm for Efficient Network Reliability Analysis	이동규	2020.11.13	온라인 ZOOM	중국
95	(2-2) KSCE 2021 CONVENTION	복합 시스템의 확률론적 내진성능 평가를 위한 구조물 지진응답 회귀식 개발	강철영	2021.10.22	광주 김대중 컨벤션 센터	대한민국
96	(2-2) KSCE 2021 CONVENTION	다중-에이전트 이중 심층 Q-신경망 기반 도로망 관리 의사결정	이동규	2021.10.22	광주 김대중 컨벤션 센터	대한민국
97	(2-2) KSCE 2021 CONVENTION	시스템 신뢰성 기반 사회기반시설 네트워크 재난 복원력 평가	권영준	2021.10.21	광주 김대중 컨벤션 센터	대한민국

98	(2-3) 2018 대한토목학회 학술발표회	시스템 신뢰성 해석을 활용한 도시주변 노후 도로망의 성능평가	탁혜영	2018.10.19	HICO 경주	대한민국
99	(2-3) The 2019 World Congress on Advances in Structural Engineering and Mechanics (ASEM19)	Post-hazard performance estimation of bridge transportation networks considering earthquake uncertainty	탁혜영	2019.9.18	ICC 제주	대한민국
100	(2-3) 2019년 한국지진공학회 Workshop 및 학술발표회	인공신경망 기법을 활용한 도로망의 시스템 수준 지진 위험성 평가	이영주	2019.9.20	제주대학교 아라컨벤션홀	대한민국
101	(2-3) 2020년 한국전산구조공학회 정기학술대회	지진 피해조사 데이터를 활용한 지진취약도 곡선 업데이트 기법 개발	이상목	2020.8.24	고성 대명 델피노 리조트	대한민국
102	(2-3) The 2020 Structures Congress	Surrogate model-based seismic risk assessment of bridge transportation networks	이영주	2020.8.27	서울 Global Education Center for Engineers Convention	대한민국
103	(2-3) Asia Pacific Conference of the Prognostics and Health Management 2021 (PHMAP 2021)	A Hybrid Platform Using Finite Element Model and Sensor Data for Bridge Condition Monitoring and Performance Assessment	이승준	2021.9.8	제주 라마다플라자 호텔	대한민국
104	(2-3) The 2nd ZHITU Symposium on Advances in Civil Engineering	Seismic resilience estimation of water transmission networks by considering flow-based network analysis	윤성식	2021.9.29	UNIST	대한민국
105	(2-4) 텍스트마이닝을 활용한 직·간접 지진 위험 영향 분석	지진으로 인한 우리나라의 직간접 손실의 유형 및 영향범위 분석	윤소연	2018.10.19	경주화백 컨벤션센터	대한민국
106	(2-4) An Estimation of the Economic Ripple Impact of Damages to Road Facilities by Earthquake	지진으로 인한 포항시 내의 도로망 손상에 따른 경제적 파급효과 분석	황요한	2019.8.22	서울시립 대학교	대한민국
107	(2-4) 지진재해로 인한 직간접 손실 분석모형 및 사회·경제적 복원력 유형화	지진으로 인한 도로망 손상에 따른 직간접 손실 추정 및 복원력 유형화 분석	황요한	2019.9.20	제주대학교 아라컨벤션홀	대한민국
108	(2-4) 재난에 대한 경제적 회복력 유형화 및 영향요인 분석 연구	재난에 대한 지역별 경제적 복원력 유형화 분석 및 영향요인(지역 특성) 분석	최연우	2020.8.20	온라인 ZOOM	대한민국
109	(2-4) 지역의 재난 회복력에 영향을 미치는 사회경제적 특성요인 분석	지역의 재난 회복력에 영향을 미칠 수 있는 지역별 사회경제적 특성요인 분석	최연우	2021.4.24	온라인 ZOOM	대한민국

□ 기술 요약 정보

- 해당없음

□ 보고서 원문

- 해당없음

□ 생명자원(생물자원, 생명정보)/화합물

- 해당없음

[기술적 성과]

□ 지식재산권(특허, 실용신안, 의장, 디자인, 상표, 규격, 신품종, 프로그램)

번호	지식재산권 등 명칭 (건별 각각 기재)	국명	출원				등록			기여율	활용 여부
			출원인	출원일	출원 번호	등록 번호	등록인	등록일	등록 번호		
1	(1-2) 콘크리트 사각 기둥의 보강 장치	대한민국	국민대학교 산학협력단	2019.10.17	10-2019-0129254	10-2316208-0000	국민대학교 산학협력단	2021.10.18	10-2316208-0000	100	기술 이전

ㅇ 지식재산권 활용 유형

- 해당없음

□ 저작권(소프트웨어, 서적 등)

번호	저작권명	창작일	저작자명	등록일	등록번호	저작권자명	기여율
1	(1-1) 지진취약도 해석을 위한 교량응답 라이브러리 자동화 구축 프로그램	2020년 10월	안효준	2020.11.04	C-2020-039377	인하대학교 산학협력단	100
2	(1-2) 겹침이음 부식 고려 철근콘크리트 부재 해석 프로그램	2020년 11월	국민대학교산학협력단	2020.11.17.	C-2020-042640	국민대학교 산학협력단	100
3	(2-1) 내진성능관리 의사결정 지원 프로그램	2019년 12월	국토안전관리원	2019.12.24	C-2019-042338	국토안전관리원	100
4	(2-1) 도로망 내진성능관리 의사결정 지원 프로그램	2020년 10월	국토안전관리원	2020.10.21	C-2020-036556	국토안전관리원	100
5	(2-1) 도로망 기반 내진성능관리 의사결정지원 프로그램	2021년 10월	국토안전관리원	2021.11.4	C-2021-045294	국토안전관리원	100
6	(2-1 위탁) Materials Science: Properties and Technologies	2019년 2월	허종완	2019.7.10.	978-3-0357-1485-2	허종완	100

□ 신기술 지정

- 해당없음

□ 기술 및 제품 인증

번호	인증 분야	인증기관	인증 내용		인증 획득일	국가명
			인증명	인증번호		
1	(2-1) 소프트웨어 인증	한국정보통신기술협회 소프트웨어시험 인증연구소	내진성능관리 의사결정지원 프로그램	BT-C-20-0036	2020.10.20	대한민국

□ 표준화

- 해당없음

[경제적 성과]

□ **시제품 제작**

- 해당없음

□ **현장적용**

- 해당없음

□ **기술 실시(이전)**

- 해당없음

□ **사업화 투자실적**

- 해당없음

□ **사업화 현황**

- 해당없음

□ **매출 실적(누적)**

- 해당없음

□ **사업화 계획 및 무역 수지 개선 효과**

- 해당없음

□ **고용 창출**

- 해당없음

□ **고용 효과**

- 해당없음

□ **비용 절감(누적)**

- 해당없음

□ **경제적 파급 효과**

- 해당없음

□ **산업 지원(기술지도)**

- 해당없음

□ **기술 무역**

- 해당없음

[사회적 성과]

□ 법령 반영

- 해당없음

□ 정책활용 내용

- 해당없음

□ 설계 기준/설명서(시방서)/지침/안내서에 반영

번호	구 분 (설계 기준/설명서/지침/안내서)	활용 구분 (신규/개선)	설계 기준/설명서/ 지침/안내서 명칭	반영일	반영 내용
1	(2-1) 안내서	개선	기존시설물 내진성능평가 및 향상요령	미정 (지속추진)	현재 예비평가 실무에서 사용하고 있는 결정론적 방법의 대안으로 확률론적 방법제시

□ 신진연구자 채용

번호	채용 연구개발기관명	채용일	근로기간	채용인원(명)	채용인원 중 청년인력(명)
1	국민대학교	2020.04.01	2020.04.01. ~ 2021.09.30	1	1
2	울산과학기술원	2020.03.01	2020.03.01. ~ 2021.12.31.	1	1

□ 전문 연구 인력 양성

번호	분류	연도	현황(명)										
			학위별				성별		지역별				
			박사	석사	학사	기타	남	여	수도권	충청권	영남권	호남권	기타
1	학사	2018~2021			3		2	1	3				
2	석사	2018~2021		16			15	1	14		1		
3	박사	2018~2021	9				6	3	7		2		

□ 산업 기술 인력 양성

- 해당없음

□ 다른 국가연구개발사업에의 활용

- 해당없음

□ 국제화 협력성과

- 해당없음

□ 홍보 실적

번호	홍보 유형	매체명	제목	홍보일
1	발표	대한토목학회	2018 KSCE 전문연구세션(노후도로 내진성능관리)	18.10.18
2	전시	국토교통부	2019 스마트 건설기술안전 엑스포	19.11.27~19.11.29
3	전시	국토교통부	스마트건설 EXPO 2021	21.11.17~21.11.19

□ 포상 및 수상 실적

번호	종류	포상명	포상 내용	포상 대상	포상일	포상 기관
1	학회 표창	공로상	재난방재분야 연구과제 및 학술활동	이영주 (울산과학기술원)	2019.02.21	한국방재학회
2	이사장 표창	표창장	시설물안전관리	신수봉 (인하대학교)	2019.03.29	한국시설안전공단
3	학회 표창	공로상	지진공학 공로	신수봉 (인하대학교)	2020.06.05	한국지진공학회
4	학회 표창	논문상	건설분야 학술논문	홍기증 (국민대학교)	2021.11.26.	한국복합신소재구조학회
5	국토교통부 장관상	표창장	토목기술 발전 공로	홍기증 (국민대학교)	2021.07.10	국토교통부

[인프라 성과]

□ 연구시설 • 장비

- 해당없음

[그 밖의 성과](해당 시 작성)

[1-6, 한밭대학교]

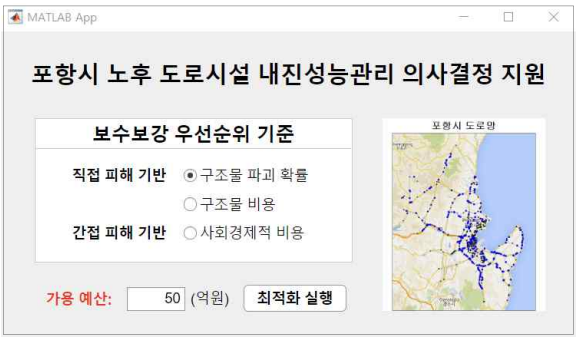
○ 한국복합신소재구조학회지 2021.03 학술기사

- 축방향 철근 겹침이음을 고려한 FRP 보강 RC 교각의 휨 성능 증진 효과 분석 (이호찬, 최병호, 김승준)

[2-2, 서울대학교]

○ S/W 시제품

- 포항시 노후 도로시설 내진 성능관리 보수보강 우선순위 의사결정 지원 프로그램
- 포항시 노후 도로시설 지진 방재도로 선정 제안 프로그램



[그림] S/W 시제품 화면 캡처
(보수보강 의사결정 지원)

[그림] S/W 시제품 화면 캡처
(방재 도로 선정)

2) 목표 달성 수준

연 구 개 발 목 표	달 성 내 용	달성도(%)
[1-1, 인하대학교] 대표 교량별 지진취약도 라이브러리 DB 구축 ○ 국내 교량의 대표 모델 및 분류체계 제안 ○ 국내 교량의 표준 지진취약도 기술 절차서(안) 제시 ○ 국내 교량 지진취약도 라이브러리DB 구축	○ 국내 교량의 대표 모델 및 분류 체계 제안 - 국내 교량의 상세 제원 자료(FMS 및 국토교통부)를 통해 통계분서 수행 - 교량의 내진성능에 영향을 끼치는 각 제원에 대해 최빈값을 도출 후 국내 실정을 고려한 대표 교량 및 분류체계 제안 - 전문가 자문을 통해 대표 교량 및 분류체계에 대한 검증을 수행함 ○ 국내 교량의 표준 지진취약도 기술 절차서(안) 제시 - 국내외 교량의 표준 지진취약도 절차 관련 문헌 조사를 통하여 국내 교량 표준 지진취약도 기술 절차 수립 - 교량의 비선형 동적해석을 위한 각 요소의 수치해석 모델링 방법 및 지진취약도 곡선 작성 방법 정의 - 각 교량요소에 대한 실험 결과를 반영하여 요소의 한계상태 정의 및 노후화, 보수보강 효과 고려 - 국내 교량의 표준 지진취약도 기술 절차서(안) 작성 ○ 국내 교량 지진취약도 라이브러리 DB 구축 - 대표 교량 및 분류체계와 지진취약도 절차서를 사용하여 국내 교량 지진취약도 라이브러리 DB 구축 - 내진성능관리 의사결정지원 소프트웨어 탑재를 위한 교량 지진취약도 라이브러리 DB 형식 수정 - Test-Bed 적용을 통한 교량 지진취약도 라이브러리 DB 검증 보완	100
[1-2, 국민대학교] 노후 교각의 내진성능평가 기술 개발 ○ 교각의 내진성능수준에 따른 손상수준 ○ 노후도를 고려한 철근콘크리트 부착 거동특성 ○ 노후도를 고려한 철근콘크리트 교각의 비선형 수치해석 모델	○ 교각의 내진성능수준에 따른 손상수준 - 해외문헌 조사와 실험 결과를 토대로 교각의 내진성능수준 별 횡변위비 제시 - 교각 실험을 통한 손상수준별 횡변위비 측정 ○ 노후도를 고려한 철근콘크리트 부착 거동특성 - 철근부식을 고려한 단조가력 부착실험 수행 - 철근부식을 고려한 단조가력 부착거동 모델 제시 - 철근부식을 고려한 반복가력 부착실험 수행 - 철근부식을 고려한 반복가력 부착거동 모델 제시 ○ 노후도를 고려한 철근콘크리트 교각의 비선형 수치해석 모델 - 겹침이음과 철근부식을 고려한 축소 교각 실험 수행 - 겹침이음과 철근부식을 고려한 실크기 교각 실험 수행 - 겹침이음 보 실험 수행 - 겹침이음 거동을 고려한 해석 모델 - 겹칩이음 부식 고려 철근콘크리트 부재 해석 절차서	100
[1-3, 울산대학교] 노후 교량받침부의 내진성능평가 기술 개발 ○ 교량받침 내진성능수준별 손상수준 정량화 ○ 노후도에 따른 노후등급 경년변화 모델 ○ 노후등급에 따른 역학적 모델	○ 교량받침 내진성능수준별 손상수준 제시 - 교량받침부 거동한계(손상수준) 문헌조사 - 노후도를 고려한 교량받침의 지진거동특성 정량화 ○ 노후도에 따른 노후등급 경년변화 모델 - 실험변수 및 실험방법 설정, 실험체 설계 - 노후요인별 노출도를 고려한 재료특성 시험 - 노후상태 조건 및 노후등급별 부재실험 - 노후도에 따른 노후등급설정 및 경년변화 모델 제시 ○ 노후등급에 따른 역학적 모델 - 교량받침 노후도 특성 문헌조사 - 노후등급별 역학적 모델 제시	100
[1-4, 한양대학교] 터널, 사면, 옹벽의 노후도를 고려한 지진취약도 평가 기술 ○ 터널, 사면, 옹벽의 지진취약도 평가 기술 정립 ○ 터널, 사면, 옹벽의 노후도를 고려한 지진취약	○ 터널, 사면, 옹벽의 지진취약도 평가 기술 정립 - 내진성능수준별 부재 손상수준 결정 - 대표요소 결정 및 노후도 평가 - 대표 터널, 사면, 옹벽의 분류체계 - 부지증폭을 고려한 설계지반운동 DB	100

도 정립 및 기술 절차서 제시	- 지진해석 수치모델 구축 - 지진취약도 분석체계의 표준화 ○ 터널, 사면, 옹벽의 노후도를 고려한 지진취약도 정립 및 기술 절차서 제시 - 노후도를 고려한 지진취약도 정립 기술 - 내진 보수/보강을 고려한 지진취약도 정립 기술 - 테스트베드 도로망 터널, 사면, 옹벽 적용 및 검증 - 터널, 사면, 옹벽 지진취약도 기술 절차서	
[1-5, 경상국립대학교] 도로시설물 대표재료의 노후화 및 보강 특성 모델 개발 ○ 콘크리트의 노후화 특성 모델 ○ 철근의 노후화 및 보강 특성 모델	○ 콘크리트의 노후화 특성 모델 제안 - 콘크리트 노후화 특성 모델으로 동결융해에 따른 콘크리트 재료의 노후화 특성을 3가지 도출함. 콘크리트에 대한 노후화 특성을 해석 연구 및 전문가 자문을 통해 검증을 완료함. - 콘크리트 재료의 동결융해에 따른 압축강도 감소율 추정식을 바탕으로 시간에 따른 콘크리트 시설물의 노후화(동결융해) 평가 매뉴얼을 정리함. 전문가 자문을 통해 검증을 완료함. ○ 철근의 노후화 및 보강 특성 모델 - 동결융해와 부식 그리고 복합열화에 따른 철근의 부착 거동 특성을 실험결과를 바탕으로 도출함. 도출된 특성을 바탕으로 해석연구와 전문가 자문을 통해 검증을 완료함. - 노후화된 철근콘크리트 부재의 보강에 따른 부착 거동 특성을 도출함. 해석연구 및 전문가 자문을 통해 검증을 완료함.	100
[1-6, 한밭대학교] 도로시설물의 내진보수보강 공법 라이브러리 구축 ○ 도로시설물의 내진보수보강 공법 라이브러리 구축 ○ 교각 내진보강 공법별 주요 내진 성능향상 효과 평가	○ 도로시설물의 내진보수보강 공법 라이브러리 구축 - 기존의 내진성능 평가 매뉴얼과 지침 분석을 통해 교각 내진성능평가를 위한 자료 조사 수행함 - 한국 시설안전공단의 FMS를 활용하기 위한 기초 자료 조사를 수행하였으며, 향후 연구성과를 FMS와 연동할 수 있는 방안 마련을 위한 기본 템플릿(안)을 개발함 - FMS 상태변화 분석을 통한 도로교량 주요 상태변화 D/B 작성 - 교각의 내진성능 보수보강공법 기술정보 D/B 구축 - 분석 대상 예제 교각의 보강전 내진성능평가 결과를 바탕으로, 대표 보강공법인 FRP보강공법과 강판보강공법이 적용된 교각의 성능증진 효과에 대한 분석을 수행함(Midas Civil (2019) & Opensees program 활용) ○ 교각 내진보강 공법별 주요 내진 성능향상 효과 평가 - 주요 보강공법인 FRP 보강공법, 강판보강공법, 콘크리트 단면증설 공법의 주요 적용 원리, 시공방법, 시공 재료 및 성능 증진효과 분석 절차 등을 매뉴얼(안)으로 구성 - 강재 보강된 콘크리트 공시체 압축실험과 내진성능 평가 예제집 결과와 해석 결과 비교 검증 - FRP wrapping 보강, 강재 보강, 단면증진 보강에 따른 보강교각의 성능 향상 평가 수행 - 교각의 노후화를 고려하기 위한 해석적 노후도 반영 및 평가 방법론 구축 - 교각 주요 재료의 노후 및 손상에 따른 강재의 성능 저하, 콘크리트의 성능 저하, 콘크리트-강재 부착성능 저하를 반영하는 방법론 제시 - 노후화 보강 교각의 구조성능 향상도 평가를 위한 각 보강 방법 및 보강 주요 매개변수 해석 수행 - 노후화 보강교각의 요구 소성변형 기준으로 내진성능향상 수준 평가 - 내진성능향상절차는 '기존 시설물(교량) 내진성능 향상요령, 2011.07' 참조하여 강재 및 섬유 재료 라이닝 공법에 한하여 평가	100
[2-1, 국토안전관리원] 내진성능관리 의사결정 지원 시스템 ○ 내진성능관리 의사결정 기술매뉴얼 개발 ○ 내진성능관리 의사결정 체계·제도 구축 ○ 내진성능관리 의사결정지원 소프트웨어 개발 ○ 내진성능관리 의사결정지원 테스트베드(포항, 경주) 실증	○ 내진성능관리 의사결정 기술매뉴얼 개발 - 결정론적 방법과 지진취약도를 고려한 확률론적 방법을 통한 의사결정 장단점 분석 - 의사결정지원 요소기술 적용을 위한 기술 매뉴얼을 작성 - Test-Bed 실증 결과를 반영할 수 있는 방안 도출 ○ 내진성능관리 의사결정 체계·제도 구축 - 국외 도로시설물의 내진성능 관리체계 및 의사결정 제도 검토 - 도로망 기반의 내진성능 관리를 위한 제도개선(안) 제시	100

	○ 내진성능관리 의사결정지원 소프트웨어 개발 - 내진성능관리 의사결정지원위한 다양한 지원기능탑재 - 한국형 취약도곡선 등 1세부, 2세부에서 개발된 요소기술을 코드화한 의사결정 소프트웨어 개발 - 사용자(User) 매뉴얼 작성 및 소프트웨어 등록 ○ 내진성능관리 의사결정지원 테스트베드(포항, 경주) 실증 - Test-Bed의 원활한 진행을 위해 최종사용자인 지자제와 사전협의 - 실제도로망특성을 반영한 Test-Bed 수행 - Test-Bed 결과를 활용하여 각 세부별 요소기술, 의사결정지원 시스템 및 매뉴얼 개선	
[2-2, 서울대학교] 노후 도로망의 확률론적 내진성능평가 및 보수보강 의사결정지원 기술 개발 ○ 도로망 시스템의 지진동 강도 공간 분포 예측 및 노후화 영향인자를 고려한 시설물의 지진동 수용력 추정기술 개발 ○ 시나리오 기반 노후 도로망의 확률론적 내진성능 평가 샘플링 기법 개발 ○ 노후 도로망의 내진 보수보강 의사결정지원 방법론 개발 ○ 개발된 방법론의 테스트베드 적용 및 소프트웨어 개발 지원	○ 도로망 시스템의 지진동 강도 공간 분포 예측 및 노후화 영향인자를 고려한 시설물의 지진동 수용력 추정기술 개발 - 지진원의 공간적 불확실성을 고려한 지반 운동 예측 기술 개발 - 지진동 수용력에 영향을 끼치는 도로시설물 인자(구조물 형태, 노후도, 노후화 속도, 건설연도 등) 정량화 - 지진동 수용력 추정을 위한 노후화 정도 및 노후화 변인 지도 개발 - 정량화한 도로 시설물간 영향인자를 바탕으로 도로망 네트워크 시스템의 지진동 수용력 추정기술 개발 ○ 시나리오 기반 노후 도로망의 확률론적 내진성능 평가 샘플링 기법 개발 - 도로망 시스템의 요구 지진 강도 및 시설물 지진동 수용력 추정 기술과 사회 경제적 복원력 평가 기술을 기반으로 한 확률론적 내진성능 평가 샘플링 기법 개발 - 효율적이고 정확한 성능 평가를 위한 샘플링 기법 개선 ○ 포항시 도로망 기반의 범용 예제 시범 적용을 통한 의사결정 지원 방법론 개선 및 적용성 검증 - 개발된 방법론의 범용 예제 적용 및 결과 분석 - 제한된 예산하의 최적의 보수보강 의사결정 제시 - 도로시설물의 직간접 피해에 따른 의사결정 기준 효용성 제고 - 지진에 대비하여 지속적인 도로망 성능 관리를 위한 방재 도로 사전 선정 지원 알고리듬 및 시제품 제작 - 결과 분석을 통한 의사결정 지원 최적화 알고리즘 개선 ○ 개발된 방법론의 테스트베드 적용 및 소프트웨어 개발 지원 - 테스트베드 적용을 통한 내진성능관리(보수 · 보강) 의사결정지원 방법론 확립 - 개발한 의사결정 지원 방법론을 인근 도시(경주시)에 적용 및 분석, 방법론의 적절성 최종 검토 - 소프트웨어 개발팀에 의사결정 지원 방법론 기술 지원	100
[2-3, 울산과학기술원] 도로시설 노후도를 고려한 도로망 내진성능 저하 및 회복 평가 기술 ○ 도로망의 내진성능을 평가를 위한 지수개발 ○ 시스템신뢰성 해석 기반 노후 도로망 성능 저하 평가 기법 개발 ○ 노후 도로시설 및 도로망 성능 회복 모델링 평가 기법 ○ 노후 도로망 내진성능 저하 및 회복 평가 기법의 의사결정시스템 적용	○ 도로망의 내진성능 평가를 위한 지수개발 - 노후 도로망의 내진성능평가에 관한 기존 문헌조사 및 연구동향 파악 - 지진에 대한 노후도로망의 성능평가를 위한 지수개발 (1. 연결성, 2. 최대통행가능량, 3. 전체 시스템 소요 시간) - 프로토타입 예제 개발 및 해석 ○ 시스템신뢰성 해석 기반 노후 도로망 성능 저하 평가 기법 개발 - 개별 도로시설들의 확률론적 지진 취약도에 근거한 도로망 성능 저하 평가 기법 개발 - 도로시설의 노후화에 따른 도로망 내진성능 저하 평가 기법 개발 - 몬테카를로 시뮬레이션을 통한 도로망 성능 저하 평가 기법 검증 (몬테카를로 시뮬레이션 대비 오차 10% 이내 확인) ○ 노후 도로시설 및 도로망 성능 회복 모델링 평가 기법 - 도로시설 복구를 통한 도로망 성능 회복 모델링 - 지진발생 후 도로망의 성능 회복 평가 기법 개발 - 도로망 성능 저하 및 회복 평가 모듈 개발 ○ 노후 도로망 내진성능 저하 및 회복평가 기법의 의사결정시스템 적용 - 개발 기법의 도로시설 관리 의사결정시스템 적용 및 호환성 검증 (포항시 및 경주시 주변 도로망 적용 완료) - 노후 도로망의 내진성능 저하 및 회복 평가 기법 고도화 - 내진성능관리 의사결정지원 기술 개발을 위한 기초 및 개선사항 연구	100
[2-4, 연세대학교] 노후 도로시설 및 도로망의 사회·경제적 복원력	○ 도로시설 및 도로망의 사회·경제적 복원력 유형 분석 및 평가기술 개발 - 빅데이터 기반 지진으로 인한 직·간접 손실 영향범위 분석	100

	- 지진재해로 인한 사회·경제적 파급효과 분석방법론 관련 국내외 선행연구 검토 - 지진발생에 따른 영향권 설정 방법론 관련 선행연구 검토 및 방법론 시범적용	
유형 분석 및 평가 기술 개발 ○ 도로시설 및 도로망의 사회·경제적 복원력 유형 분석 및 평가기술 개발 ○ 지진재해의 사회·경제적 직간접 손실 분석 모형 및 복원력 유형화 ○ 도로시설 및 도로망의 사회·경제적 복원력 평가기술 개발 ○ 도로시설 및 도로망의 사회·경제적 복원력 평가기술 검증 및 적용	○ 지진재해의 사회·경제적 직간접 손실 분석모형 및 복원력 유형화 - 도로시설 및 도로망의 사회·경제적 직접손실 분석모형 개발 - 도로시설 및 도로망의 사회·경제적 간접손실 분석모형 개발 - 지진 발생에 따른 사회·경제적 복원력 유형화 ○ 도로시설 및 도로망의 사회·경제적 복원력 평가기술 개발 - 도로시설 및 도로망의 사회·경제적 복원력 평가를 위한 지진피해 예측 시나리오 구축 - 도로시설 및 도로망의 사회·경제적 직간접 손실 추정 알고리즘 개발 - 도로시설 및 도로망의 사회·경제적 복원력 평가기술 개발 ○ 도로시설 및 도로망의 사회·경제적 복원력 평가기술 검증 및 적용 - Test Bed의 지진발생에 따른 사회·경제적 직간접 손실 예측 및 분석 - Test Bed의 지진발생에 따른 사회·경제적 복원력 평가 - Test Bed의 사회·경제적 복원력 증진 및 향상방안 도출	

[1-1] 인하대학교 (주관기관) - 대표 교량별 지진취약도 라이브러리 DB 구축

연구개발 목표		연구결과자료
1	대표 교량별 지진취약도 라이브러리 DB 구축	국내 교량의 대표 모델 및 분류 체계 제안

FMS 및 국토부 자료를 통한 분류인자에 따른 국내 교량의 수 비교

상부구조 재료				하부구조 형식			경간 구성	
RC	PSC	Steel	기 타	단주	다주	기 타	단경간	다경간
2902	6390	4646	568	9412	2899	2195	2146	12360

상부구조 형식			교대 기초			교각 기초		
거더	박스	기 타	말뚝	확대	기 타	말뚝	확대	기 타
5885	4924	3697	6386	3631	4489	3068	4557	6881

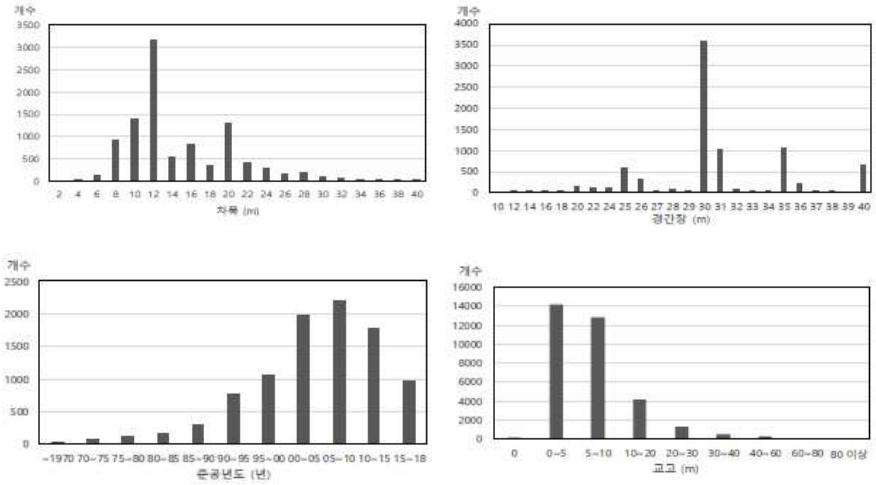
교좌 장치	
탄성	일반
5141	9365

내진설계여부	
C	S
3860	10646

통계분석을 통한 국내 교량 분류체계 제시

상부구조	하부구조	교좌	기초	내진설계여부	분류	개수
RC	단주	탄성	말뚝	C	1	37
				S	2	84
			확대	C	3	76
				S	4	55
		일반	말뚝	C	5	77
				S	6	90
			확대	C	7	107
				S	8	65
	다주	탄성	말뚝	C	9	25
				S	10	62
			확대	C	11	26
				S	12	38
		일반	말뚝	C	13	64
				S	14	109
			확대	C	15	100
				S	16	63
PSC	단주	탄성	말뚝	C	17	116
				S	18	1438
			확대	C	19	97
				S	20	756
		일반	말뚝	C	21	194
				S	22	480
			확대	C	23	136
				S	24	340
	다주	탄성	말뚝	C	25	33
				S	26	445
			확대	C	27	16
				S	28	217
		일반	말뚝	C	29	45
				S	30	123
			확대	C	31	19
				S	32	92
Steel	단주	탄성	말뚝	C	33	19
				S	34	270
			확대	C	35	102
				S	36	852
		일반	말뚝	C	37	162
				S	38	1547
			확대	C	39	86
				S	40	714
	다주	탄성	말뚝	C	41	1
				S	42	44
			확대	C	43	4
				S	44	22
		일반	말뚝	C	45	37
				S	46	365
			확대	C	47	20
				S	48	167
기타					49	4572

국내 대표 교량 모델 선정



Supersturcture		Height(m)	Length(m)	Width(m)	Number of span	Continuous
RC	Slab	-	15	8	1	Single Span
	Slab	5, 10	15	8	1	Simply-supported
	Slab	5, 10	15	8	2	Continuous
	Rahmen	5	15	8	2	Continuous
PSC	Beam	-	30	12	1	Single Span
	Beam	5, 10	30	12	1	Simply-supported
	Beam	5, 10	30	12	3	Continuous
	Box	5, 10	50	12	3	Continuous
강합성	Beam	-	40	12	1	Single Span
	Beam	5, 10	40	12	1	Simply-supported
	Beam	5, 10	40	12	3	Continuous
	Box	5, 10	50	12	3	Continuous

[1-1] 인하대학교 (주관기관) - 대표 교량별 지진취약도 라이브러리 DB 구축

연구개발 목표		연구결과자료
2	대표 교량별 지진취약도 라이브러리 DB 구축	국내 교량의 표준 지진취약도 기술 절차서(안) 제시 (1)

01 노후 교량의 지진취약도 및 기초의 내진성능평가 기술 개발

「부록」

교량의 지진취약도 기술 절차서(안)

노후 도로시설의 내진성능관리 의사결정지원 기술 개발

2021. 11

인하대학교

[노후 도로시설 내진성능관리 연구단]

- 46 -

노후 교량의 지진취약도 및 기초의 내진성능평가 기술 개발 01

목 차

01. 지진취약도 평가의 개요 ····· 1
1.1 지진취약도 분석의 배경 및 필요성 ····· 2
1.2 지진취약도 곡선의 종류 ····· 3
1.3 참고문헌 ····· 4

02. 지진취약도 분석의 절차 ····· 5
2.1 지진취약도 분석의 기본 구성요소 ····· 6
2.2 지진위험도 산정 ····· 6
2.3 구조물 응답의 통계적 예측 ····· 8
2.4 한계상태 정의 ····· 9
2.5 불확실성의 정량화 ····· 9
2.6 지진취약도 곡선의 도출 ····· 10
2.7 참고문헌 ····· 11

03. 교량의 지진취약도 분석 예제 ····· 12
3.1 대표 교량의 제원 결정 ····· 13
3.2 해석모델 ····· 15
3.3 시간이력해석 수행 ····· 17
3.4 교량의 한계상태 정의 ····· 21
3.5 지진취약도 곡선의 도출 ····· 22
3.6 참고문헌 ····· 23

- 47 -

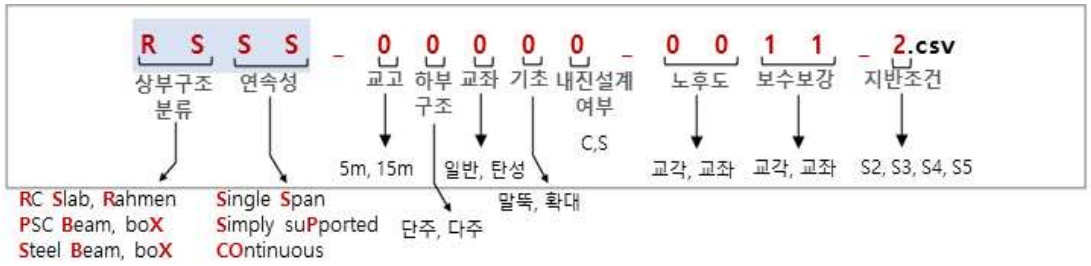
연구개발 목표		연구결과자료
2	대표 교량별 지진취약도 라이브러리 DB 구축	국내 교량의 표준 지진취약도 기술 절차서(안) 제시 (2)

교량 지진취약도 기술 절차서 자문 결과 및 조치 계획

□ 자문 의견에 대한 조치계획

번호	자문의견	수용 여부	조치계획
1	2장에서 제안된 지진취약도 분석의 절차에서는 지진위험도 산정, 응답의 통계적 예측 및 불확실성의 정량화 등이 체계적으로 기술되어 있는 것으로 판단됩니다. 다만 지진취약도 곡선에 의한 파괴확률이 고려하는 한계상태에 크게 의존하므로 한계상태에 정의가 매우 중요합니다. 이런 의미에서 표 2.7.1에 나타낸 노후 탄성받침의 한계상태에 대한 참고문헌을 제시하면 좋을 것으로 판단됩니다.	수용	2.4절에 한계상태에 대해 각 부재(교각, 교량받침) 및 교량의 제원 별로 상세하게 설명을 추가하였으며, 실험을 통해 얻은 한계상태의 값과 가정을 통한 한계상태를 명시하였음
2	3장에서 제시하고 있는 교량의 지진취약도 분석 예제에서 교량의 해석모델 구성, 지진파의 선정 및 시간이력해석 등 교량의 지진취약도 곡선 유도과정이 적절하게 설명되어 있는 것으로 판단됩니다. 다만 지진취약도 곡선을 유도하기 위해 선택한 교각의 변위비 손상한계상태에 대한 근거와 함께 2장에서 기술된 AASHTO의 노후도 계수 0.85의 반영 여부를 추가로 기술하면 좋을 것으로 판단됩니다.	수용	한계상태 및 노후도에 대한 설명을 추가로 2.4절 및 2.7절에 명시하였음
3	노후화에 따른 받침 거동도 모사하여 응답의 크기를 판단하는 것도 중요해보이며, 탄성받침에 대한 손상한계 상태를 결정론적 값으로 사용하였는데, 노후도에 따른 시간의존적인 한계상태를 제시해야 될 것으로 판단됩니다. 또한, 한계상태의 변동성을 고려한 확률론적 손상상태의 정의도 필요해보입니다. 한계상태 정의에 따라 취약도가 크게 달라집니다. 따라서 이에 대한 손상상태별 한계상태 모델의 값이 정확하게 제시되어야 될 것으로 보입니다.	수용	절차서 2.4절에 한계상태에 대해 각 부재(교각, 교량받침) 및 교량의 제원 별로 상세하게 설명을 추가하였으며, 실험을 통해 얻은 한계상태의 값과 가정을 통한 한계상태를 명시하였음
4	노후도에 따른 교각에 대한 한계상태는 없는지 궁금합니다.	수용	절차서 2.7절에 노후도에 따른 교각의 한계상태 가정을 명시하였음
5	국내지진파를 사용하지 않고 미국 서부에서 발생가능한 지진파를 사용한 것으로 판단됩니다. 이에 대한 적절한 설명이 필요해보입니다.	수용	지진파의 정당성을 위해 국내에서 발생한 대표적인 지진파 및 해외의 지진파를 국내 설계스펙트럼에 피팅하여 만든 인공 지진파 20개를 사용하여 재해석 하였음
6	교량 구조물의 손상도 판정은 시스템 레벨에서 이루어져야 할 것으로 판단됩니다. 도로 네트워크의 취약성을 판단하기 위해서는 교량 자체의 지진취약성이 필요합니다. 이를 위해 부재 간의 의존성을 고려하여 교량 시스템의 취약도가 필요할 것으로 판단되는데, 이에 대한 기술이 이루어져야 할 것으로 판단됩니다.	수용	시스템 지진취약도 분석을 위해 2.6절에 시스템 지진취약도 산출 식을 명시하였음
7	- 최신 자료 활용 요망 : 그림 2.2.1 국가위험지도, KDS 17 10 00:2018 내진설계일반의 자료가 최신임	수용	KDS 17 10 00:2018은 국가위험지도에 대해 새롭게 명시된 것이 없으며, 현재 2013년 소방방재청에서 제시한 국가위험지도에 대해 사용하고 있음.
8	- 설계기준의 용어 사용 요망 : 교좌장치 -> 교량받침	수용	해당 단어에 대해 교체하여 명시하였음.
9	- 포트받침인 경우의 해석모델도 필요함 : 교량의 해석모델에서 교량받침은 탄성받침이 다수이기에 탄성받침으로 모델링하였으나, 아래 표와 같이 2000 전후에 건설된 교량의 경우, 다수가 포트받침이며, 유지관리상 교체시에도 포트받침으로 교체되는 경우가 대부분임.	수용	강재받침(포트받침)에 대한 한계상태를 2.4절에 명시하였음.
10	- 설계기준의 변화를 포함한 통계학적 고려가 필요함 : 일본의 교량 지진피해 사례를 보면 설계기준의 변천에 따른 지진피해의 현격한 차이를 확인할 수 있음. 우리나라의 교량 내진설계기준의 경우, 경험이음, 소성설계, 연성도설계 등에 관한 변화가 최근 20여 년간 이어진 바 있음.	수용	설계기준에 대한 변경을 고려하여 교각의 전단강도에 대한 설계식 및 내진성능평가요령을 참고하여 한계상태를 산정하였으며, 해당 사항에 대한 내용은 2.4절에 명시하였음.

연구개발 목표		연구결과자료
3	대표 교량별 지진취약도 라이브러리 DB 구축	국내 교량 지진취약도 라이브러리 DB 구축



	상부구	연속성	교고	하부구	교좌	기초	내진설계	노후도(교	노후도(교	수보강(	수보강(	지반조		파일명
0	PSC Beam	연속교	5m이하	단주	일반	말뚝	C	X	X	X	X	2		PBCO_00000_0000_2(median).csv
1	PSC Beam	연속교	5m이하	단주	일반	말뚝	C	X	X	X	X	3		PBCO_00000_0000_3(median).csv
2	PSC Beam	연속교	5m이하	단주	일반	말뚝	C	X	X	X	X	4		PBCO_00000_0000_4(median).csv
3	PSC Beam	연속교	5m이하	단주	일반	말뚝	C	X	X	X	X	5		PBCO_00000_0000_5(median).csv
4	PSC Beam	연속교	5m이하	단주	일반	말뚝	C	X	X	X	O	2		PBCO_00000_0001_2(median).csv
5	PSC Beam	연속교	5m이하	단주	일반	말뚝	C	X	X	X	O	3		PBCO_00000_0001_3(median).csv
6	PSC Beam	연속교	5m이하	단주	일반	말뚝	C	X	X	X	O	4		PBCO_00000_0001_4(median).csv
7	PSC Beam	연속교	5m이하	단주	일반	말뚝	C	X	X	X	O	5		PBCO_00000_0001_5(median).csv
8	PSC Beam	연속교	5m이하	단주	일반	말뚝	C	X	X	O	X	2		PBCO_00000_0010_2(median).csv

PBCO_00000_0000_2(median)	2021-09-10 오후...	Microsoft Excel ...
PBCO_00000_0000_3(median)	2021-09-10 오후...	Microsoft Excel ...
PBCO_00000_0000_4(median)	2021-09-10 오후...	Microsoft Excel ...
PBCO_00000_0000_5(median)	2021-09-10 오후...	Microsoft Excel ...
PBCO_00000_0001_2(median)	2021-09-10 오후...	Microsoft Excel ...
PBCO_00000_0001_3(median)	2021-09-10 오후...	Microsoft Excel ...
PBCO_00000_0001_4(median)	2021-09-10 오후...	Microsoft Excel ...
PBCO_00000_0001_5(median)	2021-09-10 오후...	Microsoft Excel ...
PBCO_00000_0010_2(median)	2021-09-10 오후...	Microsoft Excel ...
PBCO_00000_0010_3(median)	2021-09-10 오후...	Microsoft Excel ...
PBCO_00000_0010_4(median)	2021-09-10 오후...	Microsoft Excel ...
PBCO_00000_0010_5(median)	2021-09-10 오후...	Microsoft Excel ...
PBCO_00000_0011_2(median)	2021-09-10 오후...	Microsoft Excel ...
PBCO_00000_0011_3(median)	2021-09-10 오후...	Microsoft Excel ...
PBCO_00000_0011_4(median)	2021-09-10 오후...	Microsoft Excel ...
PBCO_00000_0011_5(median)	2021-09-10 오후...	Microsoft Excel ...
PBCO_00000_0100_2(median)	2021-09-10 오후...	Microsoft Excel ...
PBCO_00000_0100_3(median)	2021-09-10 오후...	Microsoft Excel ...
PBCO_00000_0100_4(median)	2021-09-10 오후...	Microsoft Excel ...
PBCO_00000_0100_5(median)	2021-09-10 오후...	Microsoft Excel ...
PBCO_00000_0101_2(median)	2021-09-10 오후...	Microsoft Excel ...
PBCO_00000_0101_3(median)	2021-09-10 오후...	Microsoft Excel ...
PBCO_00000_0101_4(median)	2021-09-10 오후...	Microsoft Excel ...
PBCO_00000_0101_5(median)	2021-09-10 오후...	Microsoft Excel ...
PBCO_00000_0110_2(median)	2021-09-10 오후...	Microsoft Excel ...

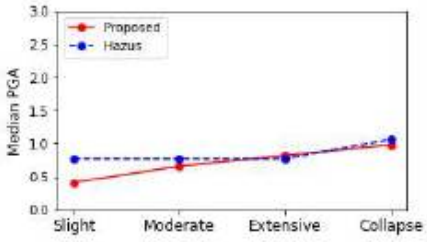
1.1 선정된 Test-Bed 지역 도로망의 교량 적용 및 검증

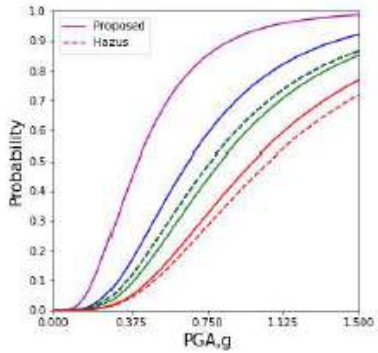
1.1.1 개요

본 절에서는 1차년도부터 4차년도까지 정립한 표준 지진취약도 기술과 이를 사용하여 작성한 대표 교량별 지진취약도 라이브러리 DB를 통해 Test-bed지역(포항)에 있는 교량에 적용하여 기존의 연구결과인 Hazus의 지진취약도 곡선과 비교분석을 진행하였다. 다양한 교량의 비교분석을 위해 Test-bed 도로망 내의 교량 중 상부구조 별로 RC, PSC, 강합성 교량을 선정하였다.

1.1.2 형산 IC 육교(RC 라멘교)

RC 교량의 지진취약도 검증을 위해 선정한 형산 IC 육교는 경상북도 포항시 남구 연일읍에 있으며, 2경간 라멘교이다. 또한, 상세한 제원으로는 총길이 30m, 총폭 25m에 높이 10m를 가지고 있으며, 교량의 준공년도는 2006년에 지어졌다. 검증에 사용한 RC교량을 그림 1.1.1에 나타내었다. 본 연구에서 설정한 대표 교량과 비교를 하였을 때, 대표 교량보다 총길이와 총폭이 약 2배 정도 큰 것을 알 수 있으며 경간수는 2개로 같은 것을 확인하였다. Hazus에서 해당 교량은 내진설계가 된 콘크리트 연속교에 해당하며, 본 연구에서는 대표교량 중 RC 연속 라멘교에 속하게 된다. 각 한계상태 별 지진취약도 중앙값에 대해서 그림 1.1.2에 정리하였다. Hazus와 결과를 비교하였을 때, 본 연구에서 제안한 RC 라멘교의 지진취약도 곡선 중앙값이 더 높게 산정되었으며, Hazus 결과와 비교해 모든 한계상태에서 약 2배 정도 높은 파괴확률을 가진다. 또한, 지진취약도 곡선에서 필요한 분산은 Hazus의 경우, 모든 교량에 대해 0.6을 사용하며 본 연구에서는 지진응답의 분산을 계산하여 0.52의 분산 값을 사용하여 큰 차이가 발생하지 않았다. 따라서 형산 IC 육교의 Hazus의 결과와 제안된 지진취약도 곡선은 다음 1.1.3과 같다. 이러한 차이가 발생하는 이유는 Hazus 기준은 라멘교가 아닌 연속 콘크리트교에 대한 지진취약도 곡선을 사용하였지만 본 연구는 라멘교와 연속 콘크리트교를 나누어 산정하였으므로 차이가 발생하는 것으로 사료된다.





1.3 대표 교량별 지진취약도 라이브러리 DB 설명서

1.3.1 개요

구조물의 지진취약도 함수란 무작위의 다양한 강도를 가진 지진하중에 대하여 구조물이 가지는 지진으로 인한 단계별 손상이 발생할 확률을 나타낸다. 이를 사용하여 구조물의 내진성능 및 지진취약도를 평가할 수 있다. 도로시설물의 내진성능관리 의사결정지원 소프트웨어는 이러한 도로시설물의 지진취약도 함수를 통해 각 도로망 안에 있는 도로시설물의 파괴확률과 직접 피해량을 산출한다. 이를 위해서는 해당 도로망의 모든 도로시설물에 대해 비선형 동적해석을 통해 지진취약도 곡선을 작성하여야 하지만, 이는 많은 시간과 인력이 필요한 일이다. 따라서, 국내 교량에 대해 통계분석을 통하여 국내실정을 고려할 수 있는 대표 교량과 분류체계를 만들고 이를 통해 지진취약도 라이브러리 DB를 작성하여 소프트웨어에 탑재하는 것을 목표로 한다. 본 설명서는 소프트웨어 사용자가 교량의 지진취약도 라이브러리 DB를 사용함에 있어 대표 교량 및 분류체계, 지진취약도 해석 절차, DB의 Input/Output에 대한 정보를 제시한다.

1.3.2 통계분석을 통한 대표 교량 및 분류체계 선정

(1) 교량의 분류체계에 대한 기존연구 현황

1) ATC-13

ATC-13에서는 교량의 길이와 상부구조의 연속성에 따라 아래의 표 1.3.1와 같이 교량을 3가지만 분류하였다.

표 1.3.1 ATC-13의 교량분류 체계

교량분류 번호	교 량 설 명
24	전통적인 교량 (경간장 < 500 ft), 다경간
25	연속교 (단일 경간 포함)
26	장대교량 (경간장 > 500 ft)

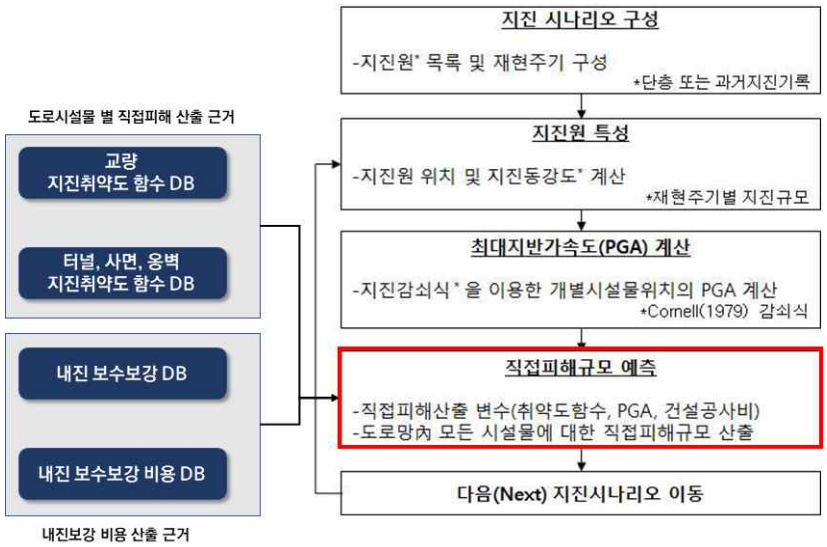
[1-1] 인하대학교 (주관기관) - 대표 교량별 지진취약도 라이브러리 DB 구축

연구개발 목표		연구결과자료
3	대표 교량별 지진취약도 라이브러리 DB 구축	국내 교량 지진취약도 라이브러리 DB 구축

구축 DB 별 의사결정지원 시스템 반영 절차

내진성능 의사결정지원 소프트웨어 구성

단계	내용	모듈	비고
파일입력	내진성능평가에 필요한 파일 입력	-	UI
step1	표준 도로망 지도	도로망모듈	GI
step2	도로망 정보	도로망모듈	UI
step3	시설물 이력정보 및 취약도 구성	취약도모듈	GI
step4	지진동강도	지진시나리오 구성	GI
step5	도로망손상수준 결정	직접피해 해석모듈	GI
step6	회복역량	회복역량 DB 모듈	UI
step7	노선상태(정상 vs 폐쇄) 정보	교통시나리오 모듈	GI
step8	교통시나리오 기반 교통 해석	교통해석 모듈	GI
step9	복구기간별 지표(도로기능율, 추가비용)	간접피해 결과모듈	GI
step10	개별시설물별 직접피해규모 산출	직접피해 결과모듈	GI
step11	내진성능관리 의사결정	의사결정 모듈	GI



연구개발 목표		연구결과자료
1	노후 교각의 내진성능평가 기술 개발	교각의 내진성능수준에 따른 손상수준

HAZUS의 Low-Rise 건물 손상수준별 횡변위비

Seismic Design Level	Building Type (Low-Rise)	Drift Ratio at the Threshold of Structural Damage			
		Slight	Moderate	Extensive	Complete
High-Code	W1/W2	0.004	0.012	0.040	0.100
	C1L, S2L	0.005	0.010	0.030	0.080
	RM1L/RM2L, PC1/PC2L	0.004	0.008	0.024	0.070
Moderate-Code	W1/W2	0.004	0.010	0.031	0.075
	C1L, S2L	0.005	0.009	0.023	0.060
	RM1L/RM2L, PC1/PC2L	0.004	0.007	0.019	0.053
Low-Code	W1/W2	0.004	0.010	0.031	0.075
	C1L, S2L	0.005	0.008	0.020	0.050
	RM1L/RM2L, PC1/PC2L	0.004	0.006	0.016	0.044
	URML, C3L, S5L	0.003	0.006	0.015	0.035
Pre-Code	W1/W2	0.003	0.008	0.025	0.060
	C1L, S2L	0.004	0.006	0.016	0.040
	RM1L/RM2L, PC1/PC2L	0.003	0.005	0.013	0.035
	URML, C3L, S5L	0.002	0.005	0.012	0.028

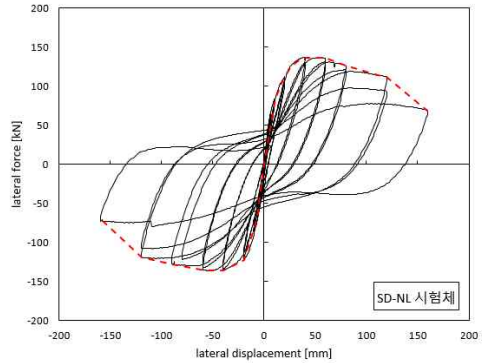
내진성능수준별 Low-rise 건물의 손상수준에 따른 횡변위비

Damage level		Low-Code	Moderate-Code	High-Code
Damage state 1	NO	-	-	-
Damage state 2	Slight	0.0050	0.0050	0.0050
Damage state 3	Moderate	0.0080	0.0087	0.0100
Damage state 4	Extensive	0.0200	0.0233	0.0300
Damage state 5	Complete	0.0500	0.0600	0.0800

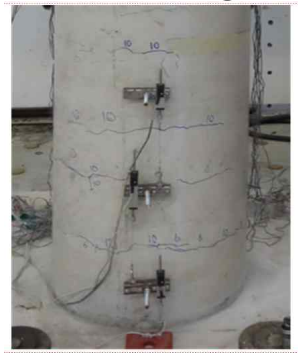
내진설계된 교각 실험체의 횡변위비 비교: HAZUS vs 실험결과

손상수준	Low-rise (HAZUS)		실험결과	
	Low-code	Moderate-code	포락곡선	육안관찰
NO	-	-	-	-
Slight	0.0050	0.0050	0.008	0.005
Moderate	0.0080	0.0087	-	0.01~0.02
Extensive	0.0200	0.0233	-	0.02~0.04
Complete	0.0500	0.0600	0.056	0.06

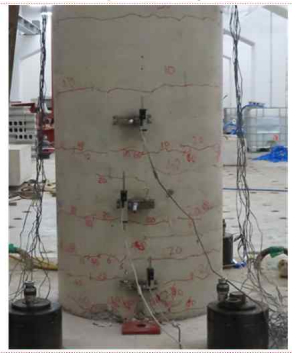
내진설계 실험체의 횡하중-횡변위 관계



내진 실험체의 횡변위비에 따른 손상수준 관측자료



a) drift ratio = 0.005, Slight



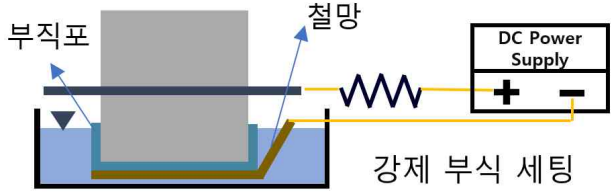
b) drift ratio = 0.01~0.02, Moderate

c) drift ratio = 0.03~0.04, Extensive

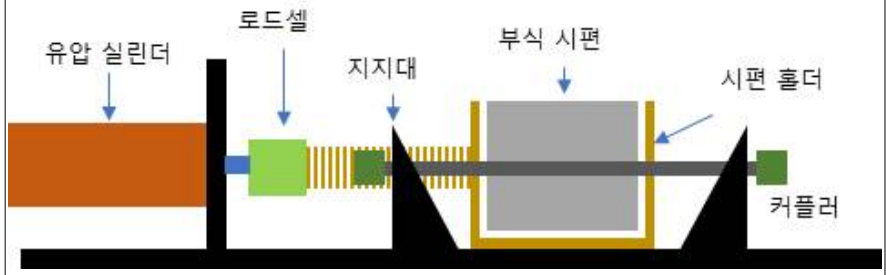
d) drift ratio = 0.06, Complete

연구개발 목표		연구결과자료
2	노후 교각의 내진성능평가 기술 개발	노후도를 고려한 철근콘크리트 부착 거동특성

철근 부식 가속화 셋업

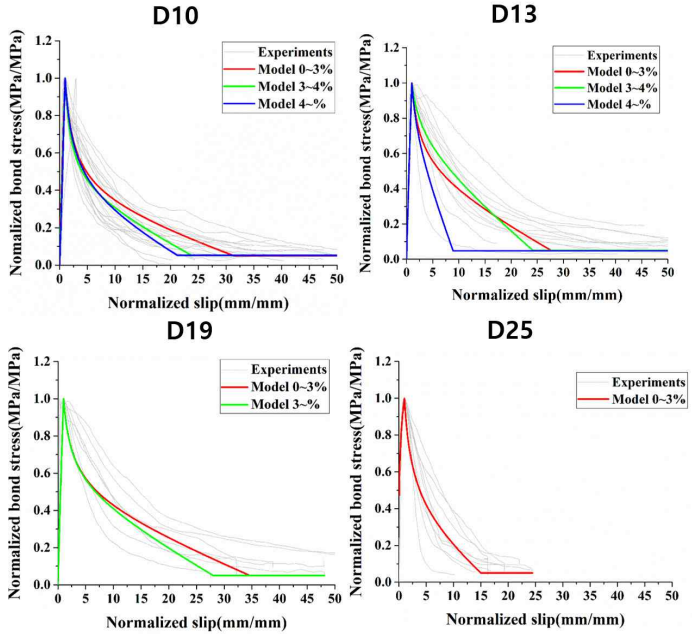


인발시험 장치

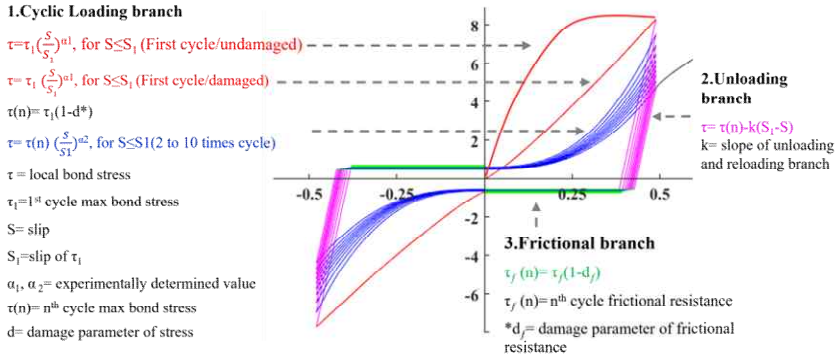


부식 중인 부착실험 시편

SD400 철근 직경 별 부식량에 따른 단조가력 부착거동 모델



반복가력 부착거동 모델



연구개발 목표		연구결과자료
3	노후 교각의 내진성능평가 기술 개발	노후도를 고려한 철근콘크리트 교각의 비선형 수치해석 모델

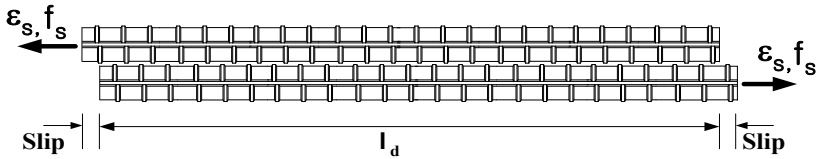
Finite elements in RCAHEST

RCAHEST

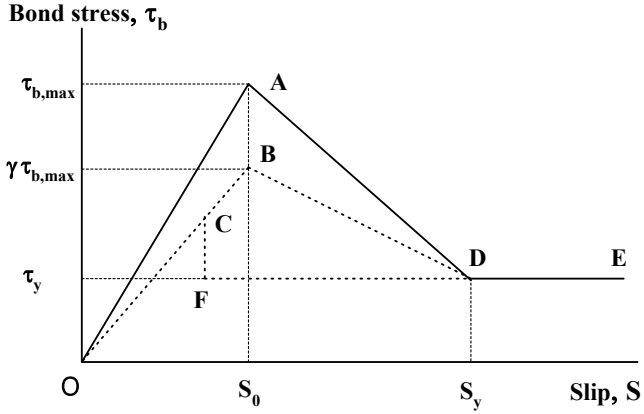
Reinforced Concrete Analysis in Higher Evaluation System Technology

- 2D or 3D Flexibility-based fiber beam-column element
- 2D or 3D Spring element
- 4 nodes RC shell element
- 4 nodes PSC shell element
- 2D Elasto-plastic plane stress element
- RC Plane stress element
- Interface element
- Lap spliced reinforcing bar element + Considering Aging
- Joint element

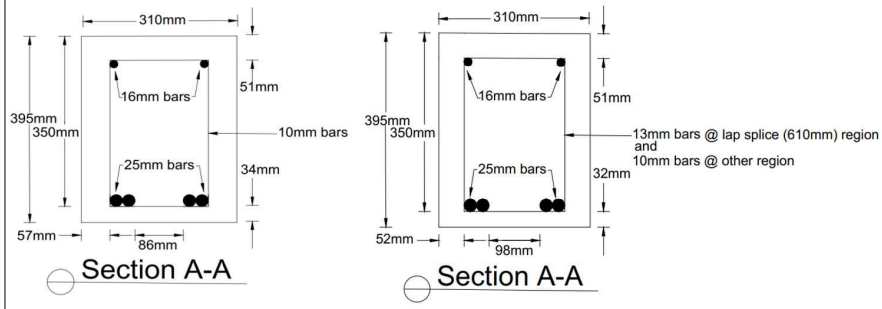
Lap spliced bars



Idealized bond stress-slip relationship (Hawkins 등, 1987)



해석예제 - 보의 단면

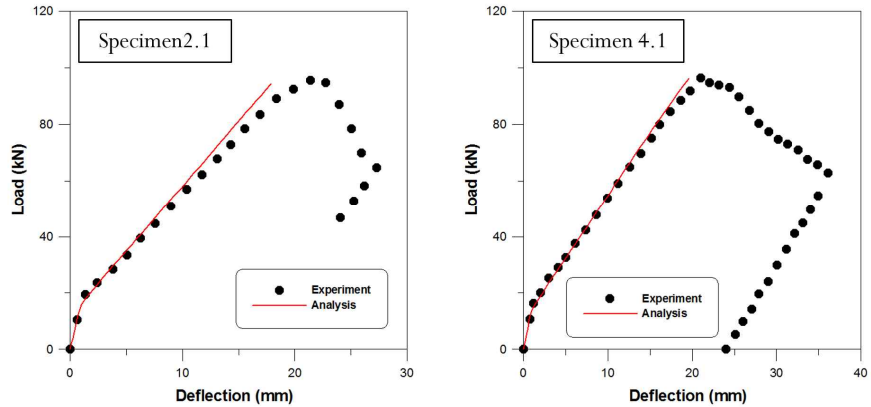


Specimen2.1 | Specimen 4.1

해석예제 - 보의 경계조건 및 메쉬

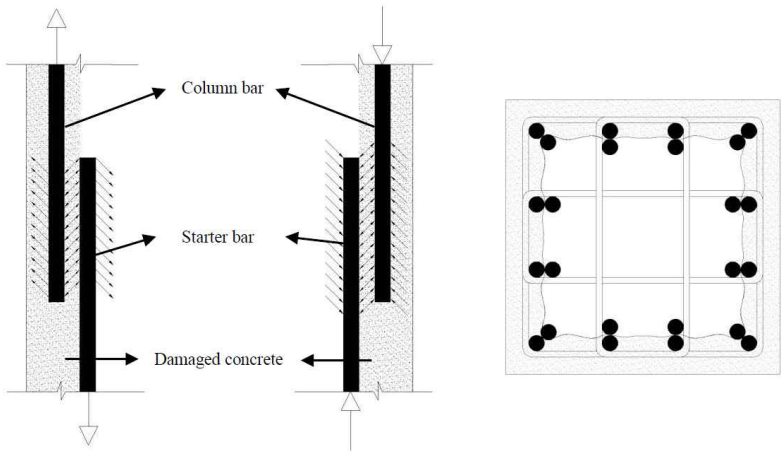
8-node RC element	75
2-node Lap spliced bar element	1

해석예제 - 해석결과와 실험결과 비교

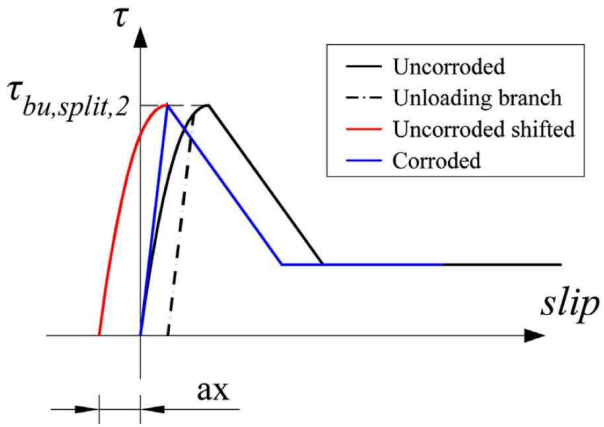


연구개발 목표		연구결과자료
3	노후 교각의 내진성능평가 기술 개발	겹침이음 부식 고려 철근콘크리트 부재 해석 절차서

Corrosion damage at lap-spliced region (Sotoud and Aboutaha, 2013)



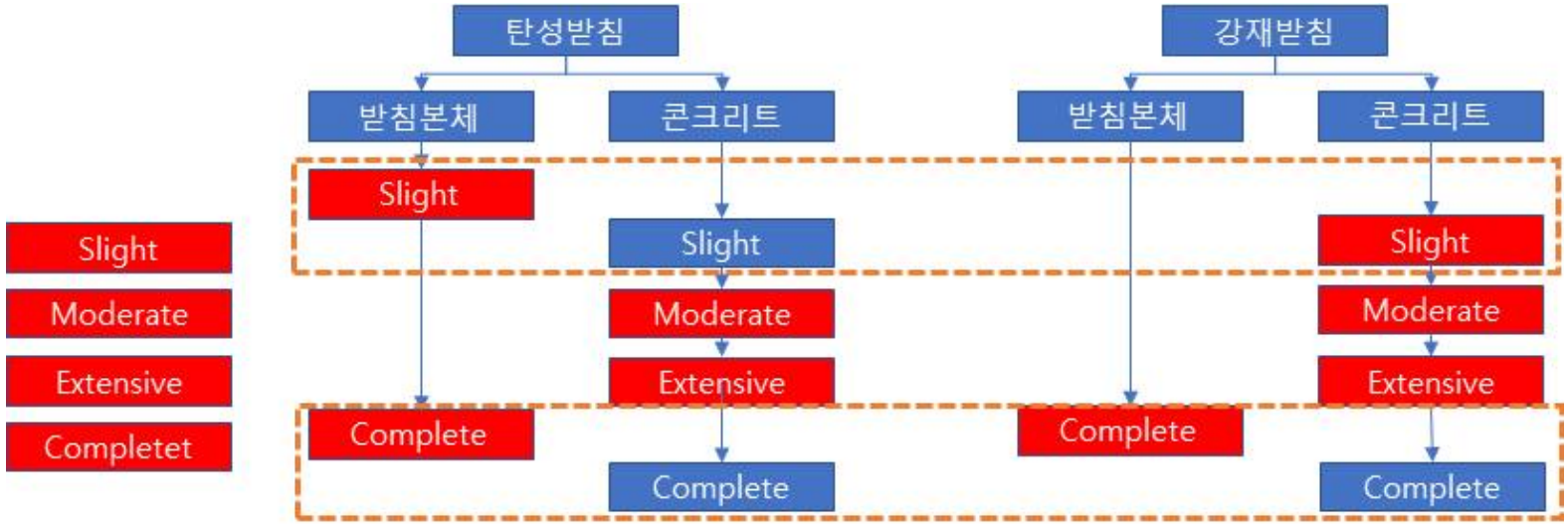
Bond-slip response of the corroded reinforcement (Lundgren, 2005)



재료모델 입력 데이터

Formation	Definition							
MATErial,8	요소에 할당되는 재료번호 정의							
USER,33	사용되는 재료모델 번호(USER,33)							
1	Solution type (0:Stop when failure criteria, 1:No failure criteria)							
369.1 30.0 1.0 0.6	fc		ft		Adjust coeffcient for fc		Adjust coeffcient for ft	
2.0 4.9067 2.5 61. 5.715 4.333 3.373 0.071	Number of Longi. bars (n)	Area of Longi. bar (Ab)	Diameter of Longi. bar (db)	Length of Lap splice (ld)	Side Cover (Cso)	Minimum Clear Spacing of Longi. bars (Csi)	Bottom Cover (Cb)	Relative rib area (0.065<Rr <0.14, mean= 0.0727)
7 0.71256 2 20	Number of Transverse bars crossing lap splice		Area of Transverse bars		Number of splitting bars		Percentage of corrosion level (C) MAX=50	
2000000. 4915	es (young's modulus of reinforcing bar)		fy (yield strength of reinforcing bar)		eult (ultimate strain of reinforcing bar) default =0.15		Coefficient for tension stiffening model (0.2=wire mesh, 0.4=deformed bar, 0.6=round bar, 2.0=plain concrete) default =2.0	

연구개발 목표		연구결과자료
1	노후 교량받침부 내진성능평가 기술 개발	교량받침 내진성능수준별 손상수준 제시

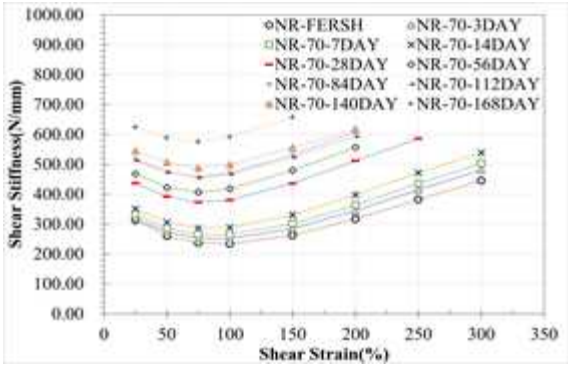


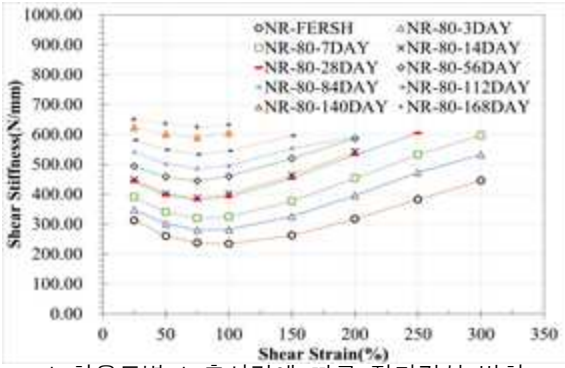
Damage Level	탄성받침		강재받침	
	Fresh	노후화	Fresh	노후화
Slight	75%(F-75%)	75%/K	F-80%	F-80%*0.85
Moderate	100%(F-100%)	F-100%*0.85	F-100%	F-100%*0.85
Extensive	125%(F-125%)	F-125%*0.85	F-125%	F-125%*0.85
Complete	150%(F-150%)	150%/K	수직용량의 10%	수직용량의 10%

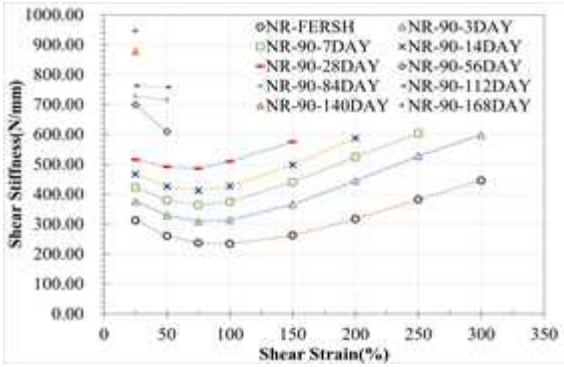
75%, 100%, 125%, 150% : 변형값
F-75%, F-100%, F-125%, F-150% : 변형값에해당되는 Force
0.85 : 노후화에 의한 콘크리트 강도저하
K : 노후화에 의한 탄성받침 받침본체강성증가

연구개발 목표		연구결과자료
2	노후 교량받침부 내진성능평가 기술 개발	노후도에 따른 노후등급 경년변화 모델

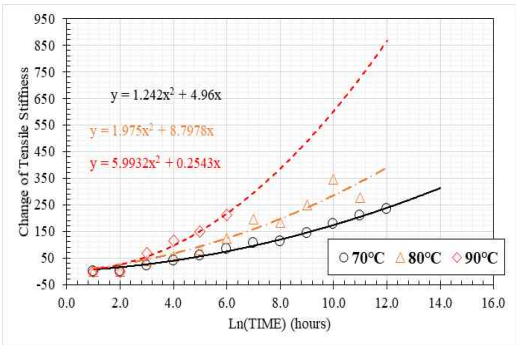
노후도에 따른 부재성능 실험



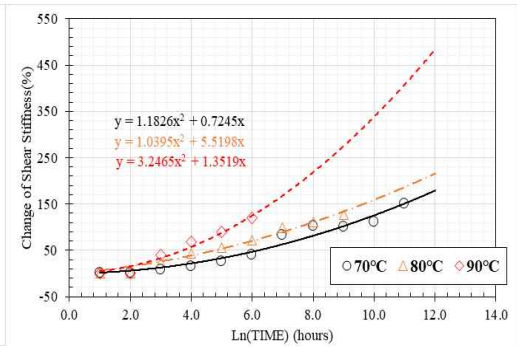




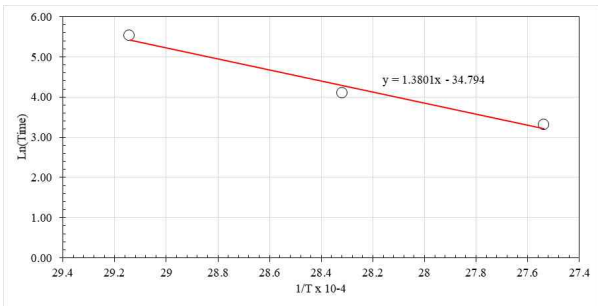
노화온도별 노출시간에 따른 전단강성 변화



강성변화 모델 at strain 75%

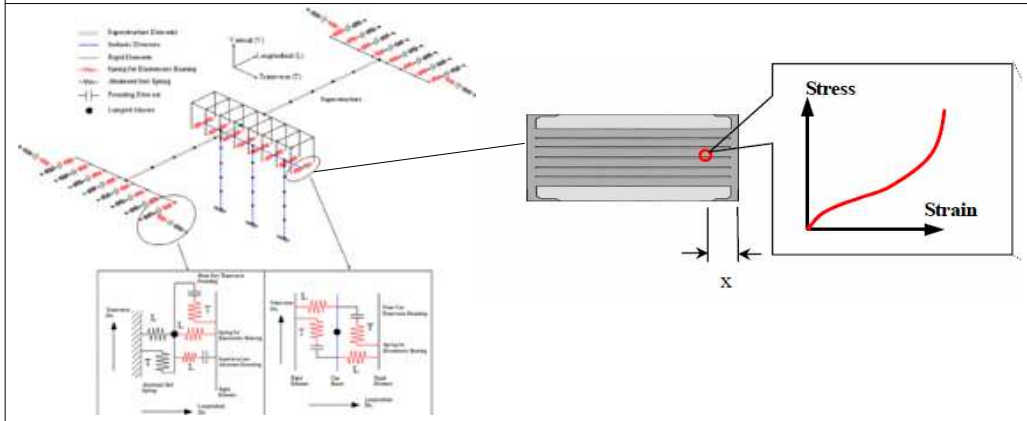


강성변화 모델 at strain 150%

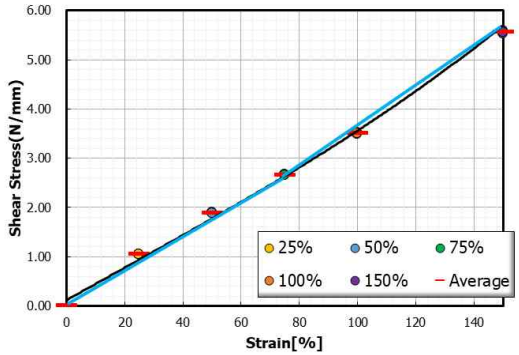


상온(20℃)에서 강성 40%증가에 소요되는 사용년수(약 25년)

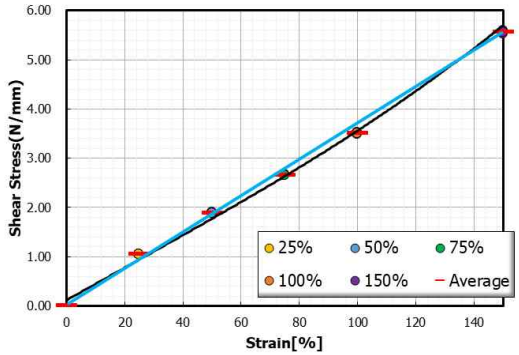
연구개발 목표		연구결과자료
3	노후 교량받침부 내진성능평가 기술 개발	노후등급에 따른 역학적 모델



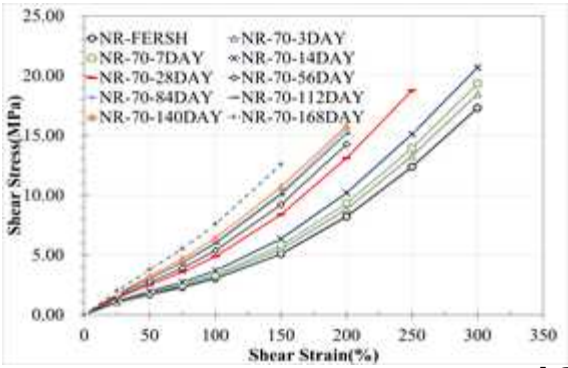
고무계열 교량량받침의 지진해석 모델

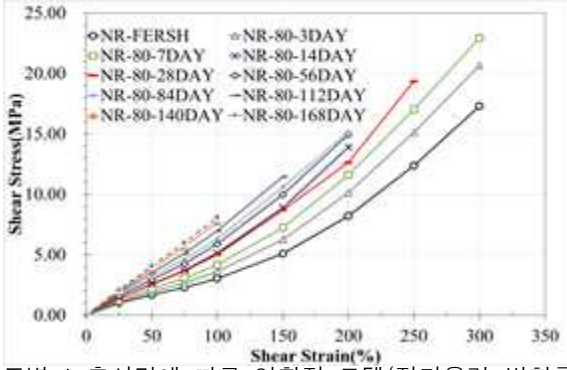


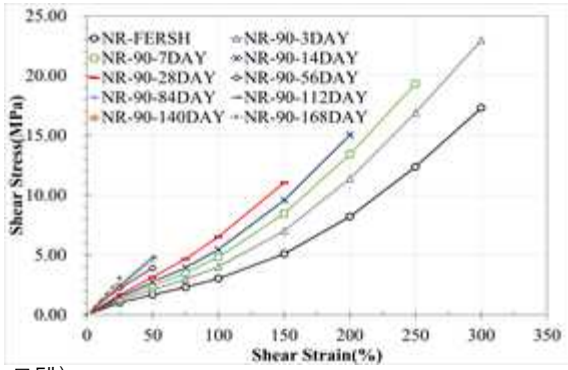
2선형 역학모델



1선형 역학모델





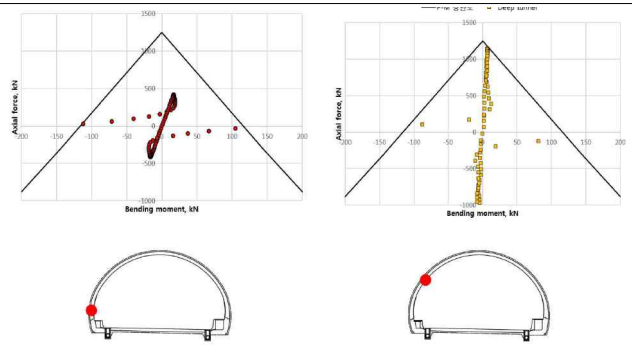


노출온도별 노출시간에 따른 역학적 모델(전단응력-변형률 모델)

연구개발 목표		연구결과자료

1 터널, 사면, 옹벽의 노후도를 고려한 지진취약도 평가 기술

터널, 사면, 옹벽의 지진취약도 평가 기술 정립



(a) Case1 (Vs = 250 m/s) (b) Case2 (Vs = 750 m/s)

그림 4.3.5 P-M 상관도와 Case별 응답특성

표 4.3.4 손상상태와 손상지수

Case	손상상태	손상정의	철근, 콘크리트 변형률	손상지수 (M/My, N/T)
Soft ground (Vs = 250m/s)	None	No damage	-	DI < 0.8
	Minor	Tension crack	$\epsilon_{concrete}$>0.00017	0.8≤DI < 1.4
	Moderate	Element yield	$\epsilon_{concrete}$>0.001 ϵ_{steel}>0.002	1.4≤DI < 1.8
	Extensive	Element collapse	$\epsilon_{concrete}$>0.0033 ϵ_{steel}>0.02	1.8≤DI
Stiff ground (Vs = 750m/s)	None	No damage	-	DI < 0.8
	Minor	Tension crack	$\epsilon_{concrete}$>0.00017	0.8≤DI < 0.9
	Moderate	Element yield	ϵ_{steel}>0.002	0.9≤DI < 1.0
	Extensive	Element collapse	ϵ_{steel}>0.02	1.0≤DI

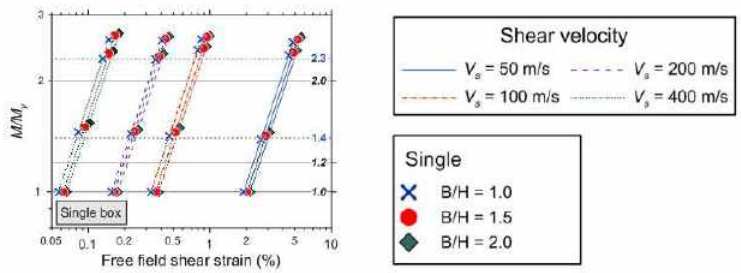


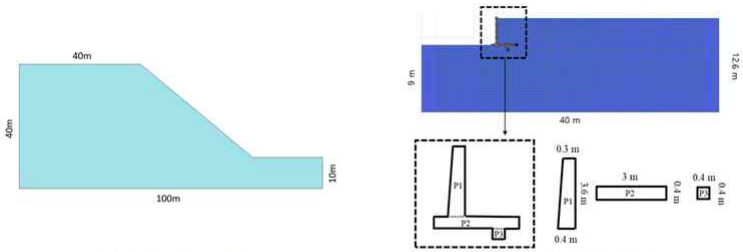
그림 4.3.1 개착형 터널의 폭/높이 비에 따른 손상지수의 비교

표 4.3.2 손상상태와 손상지수 (Lee et al., 2016)

터널 종류	손상상태	플라스틱 힌지 개수 (NPH)	손상지수 (M/M_y)
Single box	None	0	DI < 1.0
	Minor	1≤NPH < 2	1.0≤DI < 1.2
	Moderate	2≤NPH < 3	1.2≤DI < 2.0
	Extensive	3≤NPH	2.0≤DI

표 4.3.3 손상상태와 손상지수(Nguyen et al., 2019)

Tunnel Type	Damage State	Number of Plastic Hinges (NPH)	DI of Lee et al. [21]	Updated DI
Single box	None	0	DI < 1.0	DI < 1.0
	Minor	1 ≤ NPH < 2	1.0 ≤ DI < 1.2	1.0 ≤ DI < 1.4
	Moderate	2 ≤ NPH < 3	1.2 ≤ DI < 2.0	1.4 ≤ DI < 2.3
	Extensive	3 ≤ NPH	2.0 ≤ DI	2.3 ≤ DI
Double box Triple box	None	0	DI < 1.0	DI < 1.0
	Minor	1 ≤ NPH < 2	1.0 ≤ DI < 1.2	1.0 ≤ DI < 1.2
	Moderate	2 ≤ NPH < 3	1.2 ≤ DI < 2.0	1.2 ≤ DI < 2.0
	Extensive	3 ≤ NPH < 5	2.0 ≤ DI	2.0 ≤ DI < 3.5
	Collapse	5 ≤ NPH	N.A.	3.5 ≤ DI



(a) 대표 사면 모델 (b) 대표 옹벽 모델

그림 4.1.9 대표 사면, 옹벽 모델

표 4.1.6 사면의 지진 시 발생하는 수평변위에 대한 손상상태와 손상지수

Damage state	Minor	Moderate	Major	Collapse
Damage index(m)	≤ 0.05	0.05-0.15	0.15-0.3	0.3 ≤

표 4.1.7 옹벽의 지진 시 발생하는 벽체의 수평변위와 뒷채움토의 침하량에 대한 손상상태와 손상지수 (H는 옹벽 높이를 나타냄)

Damage state	Minor	Moderate	Severe
Damage index (수평변위, 단위:m)	0.02H	0.05H	0.1H
Damage index (침하, 단위:m)	0.05	0.15	0.3

연구개발 목표		연구결과자료
2	터널, 사면, 옹벽의 노후도를 고려한 지진취약도 평가 기술	터널, 사면, 옹벽의 노후도를 고려한 지진취약도 정립 및 기술 절차서 제시

「절차서」

터널 · 사면 · 옹벽의 지진취약도 기술 절차서

노후 도로시설의 내진성능관리 의사결정지원 기술 개발

2021. 11

한양대학교

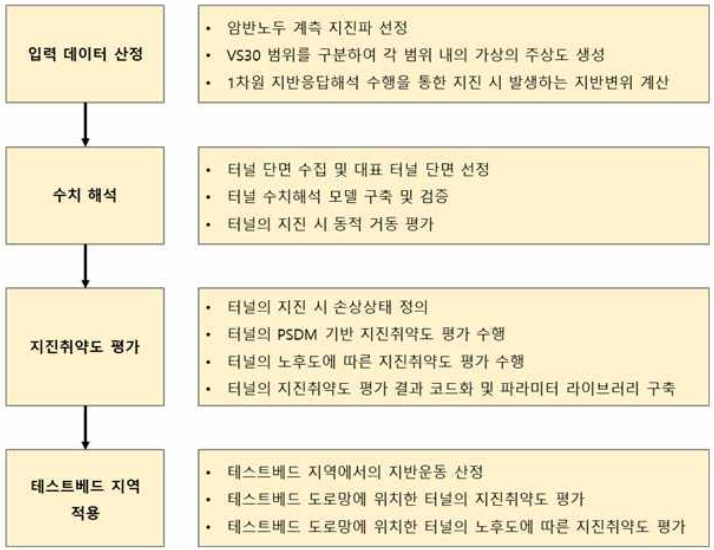


그림 4.5.1 터널의 지진취약도 평가 순서도

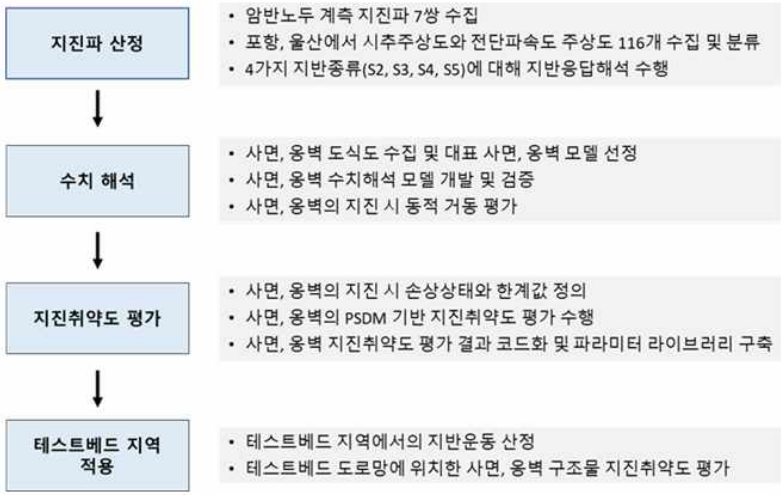


그림 4.5.2 사면, 옹벽의 지진취약도 평가 순서도

연구개발 목표		연구결과자료

2 터널, 사면, 옹벽의 노후도를 고려한 지진취약도 평가 기술

터널, 사면, 옹벽의 지진취약도 라이브러리 DB 구축

Mined/Bored Tunnel = 굴착식 터널 , Cut-and-cover structure= 개착식 터널

M B 0 _ 0 1000 _ 00

터널 분류 | 지진취약도 함수 표준형식 결정 | 토층의 Vs 범위 | 노후도

Mined/Bored 0

Cut-and-cover 1: single box

Cut-and-cover 2: Duble box Or Triple box

0: Shear strain
1:PGV
2:PGA
3:PGV/Vs30

0001:250~350
0002:350~450
0003:450~550
0004:550~650
0005:650~750
그외,
xxxx: Vs값

00: 노후도 고려x
11: t=50 years
12: t=75 years
13: t=100 years

No.	터널분류	지진취약도 함수 표준 형식	토층의 Vs 범위(m/s)	노후도 고려(years)	파일명
1	굴착터널	Strain	250~350	-	MB0_00001_00
2	굴착터널	Strain	250~350	50	MB0_00001_11
3	굴착터널	Strain	250~350	75	MB0_00001_12
4	굴착터널	Strain	250~350	100	MB0_00001_13
5	굴착터널	Strain	350~450	-	MB0_00002_00
6	굴착터널	Strain	350~450	50	MB0_00002_11

MB0_20001_00(median).csv	2021-08-26 오후 11:45	Microsoft Excel
MB0_20001_11(median).csv	2021-08-27 오전 12:03	Microsoft Excel
MB0_20001_12(median).csv	2021-08-27 오전 12:13	Microsoft Excel
MB0_20001_13(median).csv	2021-08-26 오후 11:38	Microsoft Excel
MB0_20002_00(median).csv	2021-08-26 오후 11:46	Microsoft Excel
MB0_20002_11(median).csv	2021-08-27 오전 12:04	Microsoft Excel
MB0_20002_12(median).csv	2021-08-27 오전 12:14	Microsoft Excel
MB0_20002_13(median).csv	2021-08-26 오후 11:37	Microsoft Excel
MB0_20003_00(median).csv	2021-08-26 오후 11:47	Microsoft Excel
MB0_20003_11(median).csv	2021-08-27 오전 12:08	Microsoft Excel
MB0_20003_12(median).csv	2021-08-27 오전 12:16	Microsoft Excel
MB0_20003_13(median).csv	2021-08-26 오후 11:39	Microsoft Excel
MB0_20004_00(median).csv	2021-08-26 오후 11:47	Microsoft Excel
MB0_20004_11(median).csv	2021-08-27 오전 12:08	Microsoft Excel
MB0_20004_12(median).csv	2021-08-27 오전 12:16	Microsoft Excel
MB0_20004_13(median).csv	2021-08-26 오후 11:40	Microsoft Excel
MB0_20005_00(median).csv	2021-08-26 오후 11:49	Microsoft Excel
MB0_20005_11(median).csv	2021-08-27 오전 12:09	Microsoft Excel
MB0_20005_12(median).csv	2021-08-27 오전 12:17	Microsoft Excel
MB0_20005_13(median).csv	2021-08-26 오후 11:41	Microsoft Excel
MB0_20006_00(median).csv	2021-08-26 오후 11:52	Microsoft Excel
MB0_20006_11(median).csv	2021-08-27 오전 12:10	Microsoft Excel
MB0_20006_12(median).csv	2021-08-27 오전 12:17	Microsoft Excel

3.2 테스트베드 도로망 터널, 사면, 옹벽 지진취약도 평가

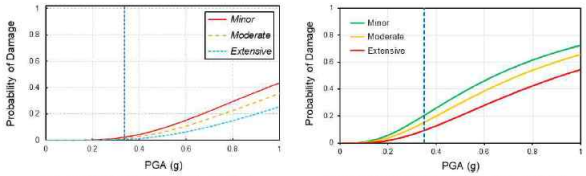
3.2.1 테스트베드 도로망 터널 지진취약도 평가

(1) 터널의 지진취약도 평가

본 과업에서는 터널의 지진취약도 평가를 수행하기 위해 유한요소법을 기반으로 한 수치해석 프로그램인 ABAQUS를 사용하여 7개 V_{S30} 범위에 대해 지반 변형률의 범위를 0.01 ~ 0.5%까지 변화를 주어 적용하였다. 개착터널에서와 동일하게 굴착터널에 대해 EUROCODE8 (2004)의 지반분류 방법에 따라 Site class B에서 D까지로 구분하여 결과를 분석하였다. 터널의 지진 시 지반 거동에 대한 손상상태와 한계값을 정의하여 확률론적 지진요구성능모델(probabilistic seismic demand model; PSDM)을 기반으로 각 지진하중에 대한 손상확률을 산정하였다. 기존의 지진취약도 평가 시 사용하였던 V_{S30} 범위에 테스트베드 도로망에서 터널 위치에서의 V_{S30} 범위(750 ~ 950 m/s)를 추가하였다. 본 과업에서는 7개의 V_{S30} 범위에서 가상의 지반 주상도 10개씩 선정하여 총 70개의 터널에 대한 지진취약도 평가를 수행하였다.

(2) 테스트베드 도로망 터널의 지진취약도 평가

굴착터널의 경우 성곡터널에서 PGA가 0.388g로 가장 크게 산정되었으며, 해당 부지의 V_{S30}은 900 m/s이다. 테스트베드 도로망 터널의 V_{S30}이 기존 구축한 터널의 지진취약도 곡선의 V_{S30} 범위보다 크기 때문에 상대적으로 손상 확률이 작게 계산된다. 따라서 가장 위험할 것으로 판단되는 V_{S30} = 250 ~ 350 m/s 범위에 대한 지진취약도 곡선으로 산정한 손상확률이 가장 크게 나타난다. V_{S30} = 250 ~ 350 m/s 범위에 대한 지진취약도 곡선에 산정된 PGA를 적용할 경우 손상상태가 Minor인 확률은 3.82%, Moderate인 확률은 2.37%, Extensive인 확률은 1.15%로 나타났다(그림 3.2.1a). 개착터널의 경우 입체교차로터널에서 PGA가 0.351g로 가장 크게 산정되었으며, 해당 부지의 V_{S30}은 740 m/s이다. Site class C에 대한 지진취약도 곡선에 산정된 PGA를 적용할 경우 손상상태가 Minor인 확률은 20.4%, Moderate인 확률은 15.43%, Extensive인 확률은 9.55%로 나타났다(그림 3.2.1b). 표 3.2.1은 V_{S30} = 250 ~ 350 m/s 범위의 지진취약도 곡선을 사용하여 굴착터널에서 발생 가능한 3가지 손상상태(Minor, Moderate, Extensive)에 대한 손상확률들의 최댓값을 나타내었으며, 표 3.2.2는 Site class B와 C에 대해 개착터널에서의 3가지 손상상태에 대한 손상확률을 나타내었다.



(a) 굴착터널(성곡터널, PGA=0.388g) (b) 개착터널(입체교차로터널, PGA=0.351g)

그림 3.2.1 테스트베드 도로망의 굴착 및 개착터널에 대한 지진취약도 평가

표 3.2.1 지진 시나리오를 고려한 굴착터널의 손상확률(V_{S30} = 250 ~ 350 m/s, 상위 12개)

PGA (g)	Minor	Moderate	Extensive
0.388	3.8×10^{-2}	2.4×10^{-2}	1.1×10^{-2}
0.382	3.6×10^{-2}	2.2×10^{-2}	1.1×10^{-2}
0.306	1.5×10^{-2}	8.6×10^{-3}	3.7×10^{-3}
0.297	1.3×10^{-2}	7.4×10^{-3}	3.2×10^{-3}
0.292	1.2×10^{-2}	6.8×10^{-3}	2.9×10^{-3}
0.281	1.0×10^{-2}	5.7×10^{-3}	2.4×10^{-3}
0.250	5.9×10^{-3}	3.2×10^{-3}	1.3×10^{-3}
0.235	4.4×10^{-3}	2.3×10^{-3}	8.9×10^{-4}
0.226	3.6×10^{-3}	1.9×10^{-3}	7.1×10^{-4}
0.211	2.5×10^{-3}	1.3×10^{-3}	4.7×10^{-4}
0.201	1.9×10^{-3}	9.8×10^{-4}	3.5×10^{-4}
0.173	8.2×10^{-3}	3.9×10^{-4}	1.3×10^{-4}

01 노후 교량이 지진취약도 및 기초의 내진성능평가 기술 개발

4.4 대표 터널, 사면, 옹벽의 표준 지진취약도 함수 DB

4.4.1 터널 표준 지진취약도 함수 DB

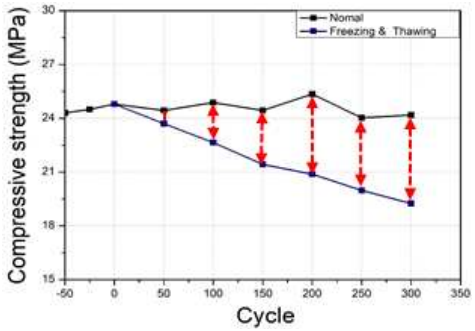
본 과업에서는 개발된 70개(V_{S30} 범위 7개 × 범위 내 가상의 지반 주상도 10개) 굴착터널과 개착터널에 대한 지진취약도 곡선을 코드화하여 표 4.4.1과 표 4.4.2에 정리하였다. 대수정규분포를 따르는 사면과 옹벽의 지진취약도 곡선의 파라미터인 중간값(Median)과 대수표준편차(Lognormal standard deviation)를 세 가지 손상상태(Minor, Moderate, Extensive)에 대하여 각각 표 4.4.3과 표 4.4.4에 정리하였다. 각 코드명은 10자리로 구성되어 있으며, 첫 번째부터 세 번째 자리는 구조물을 나타내는 문자로, 굴착터널은 Mined & Bored 0 (MB0)이고 개착터널은 Cut & Cover 1: single box (CC1)과 Cut & Cover 2: double box or triple box (CC2)로 구분하였다. 네 번째 자리는 지진취약도 함수 표준형식을 결정하는 값으로 전단변형률은 0, PGV는 1, PGA는 2, PGV/V_{S30}은 3으로 구분하였다. 다섯 번째 자리부터 여덟 번째 자리까지는 토층의 V_{S30} 범위를 나타내는 값으로 250 ~ 350 m/s는 0001, 350 ~ 450 m/s는 0002, 450 ~ 550 m/s는 0003, 550 ~ 650 m/s는 0004, 650 ~ 750 m/s는 0005, 750 ~ 850 m/s는 0006, 850 ~ 950 m/s는 0007로 구분하였다. 토층의 V_{S30} 범위를 지반등급으로 나타내는 경우 Site class B는 000B, Site class C는 000C, Site class D는 000D로 구분하였다. 마지막 두 자리는 노후도 고려 여부를 나타내는 값으로 노후도를 고려하지 않은 경우 00, 50년 후는 11, 75년 후는 12, 100년 후는 13으로 구분하였다.

표 4.4.1 굴착터널의 지진취약도 평가 결과 코드화

번호	터널분류	지진취약도 함수 표준 형식	토층의 V_{S30} 범위 (m/s)	노후도 고려 (yrs)	코드명
1	굴착터널	PGV	250 ~ 350	0	MB0_10001_00
2	굴착터널	PGV	250 ~ 350	50	MB0_10001_11
3	굴착터널	PGV	250 ~ 350	75	MB0_10001_12
4	굴착터널	PGV	250 ~ 350	100	MB0_10001_13
5	굴착터널	PGV	350 ~ 450	0	MB0_10002_00
6	굴착터널	PGV	350 ~ 450	50	MB0_10002_11
7	굴착터널	PGV	350 ~ 450	75	MB0_10002_12
8	굴착터널	PGV	350 ~ 450	100	MB0_10002_13
9	굴착터널	PGV	450 ~ 550	0	MB0_10003_00
10	굴착터널	PGV	450 ~ 550	50	MB0_10003_11

연구개발 목표		연구결과자료
1	도로시설물 대표 재료의 노후화 및 보강 특성 모델 개발	콘크리트의 노후화 특성 모델 제안

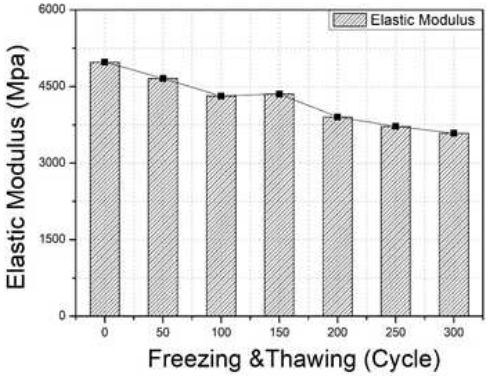
콘크리트의 동결융해에 따른 노후화 특성



✓ **동결 융해에 따른 콘크리트 압축강도 감소율 추정 식**

$$y = -0.0001x^2 + 0.1076x$$

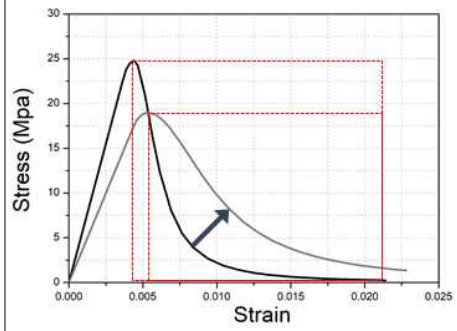
x=동결융해 횟수 (Cycle횟수)
y=동결 융해로 인한 감소하는 압축강도 감소량 값



✓ **동결 융해에 따른 탄성계수 감소율 추정식**

$$\mathbf{y = 0.0000007x^2 - 0.0011x}$$

x=동결융해 횟수(Cycle횟수)
Y=동결 융해로 인한 감소된 탄성계수 감소율 값



Number of Cycle	Freezing & Thawing	
	Peak Stress Occured Displacement(mm)	Difference(mm)
000	0.185	0
050	0.192	0.007
100	0.195	0.01
150	0.201	0.016
200	0.209	0.024
250	0.218	0.033
300	0.232	0.047

노후 교량의 지진취약도 및 기초의 내진성능평가 기술 개발 01

5.2 콘크리트 노후화 특성모델

5.2.1 재료 물성

(1) 콘크리트 재료

본 연구에서 사용된 시험체는 ϕ100× 200mm 원형 콘크리트 표준 공시체를 kS F 2405에 따라 제작하였다. 사용된 콘크리트의 종류는 보통 콘크리트로 포틀랜트 시멘트 1종을 이용하였다. 굵은 골재 최대치수는 25mm, 슬럼프는 120mm, 설계 강도는 24MPa로 사용하였다.

시험체 형상으로 아래 그림 (2)와 같으며, 재령 28일 표준 양생하였다. 공시체 양생은 기중 양생으로 이루어졌다. 공시체는 기중 양생 콘크리트(Normal Concrete, N), 동결융해 콘크리트(Freezing & Thawing Concrete, F) 공시체로 나누어 설계하였다. 동결융해는 그림과 같이 진행되었다. 각 Cycle 별로 3개씩 제작하였으며, 공시체 총 설계와 실험결과를 표5.2.1.2에 정리하였다.

표 5.2.1.1 콘크리트 호칭

콘크리트의 종류	굵은 골재의 최대치수	호칭 강도	슬럼프	시멘트 종류
보통 콘크리트	25mm	24MPa	120mm	포틀랜드 시멘트 1종

표 5.2.1.2 콘크리트 공시체 설계 및 실험 결과

Name of Specimens	Cycle	Status	Number of Specimens	Result of Test
N000	0	Natural curing	3	24.79
F050	50		3	23.7
F100	100		3	22.64
F150	150		3	21.43
F200	200		3	20.88
F250	250		3	19.98
F300	300		3	19.25

연구개발 목표		연구결과자료
2	도로시설물 대표 재료의 노후화 및 보강 특성 모델 개발	철근의 노후화 및 보강 특성 모델

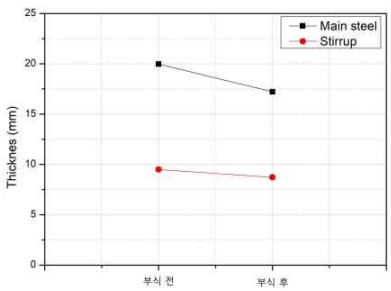
철근의 노후화(부식) 특성 모델

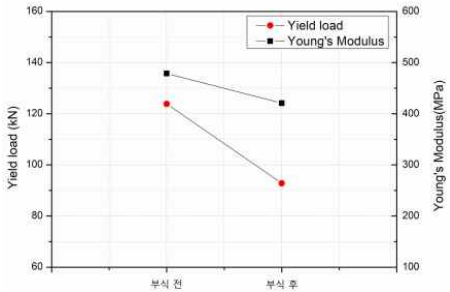
5.4 노후화에 따른 철근 부착 거동 특성 모델

5.4.1 철근의 노후화 특성모델 제안

부식에 따른 철근부착 특성모델은 콘크리트의 부식에 따른 철근부착 특성모델을 제안하기에 앞서 부식 특성 세 가지를 제안하였다. 철근을 부식함에 따라 철근 두께, 부재의 탄성계수, 부재의 휨 강도가 달라지는 것을 확인하였다. 부식에 따라 철근의 두께 감소 그리고 부재의 탄성계수와 휨 강도 저하가 발생하였다. 이러한 실험결과 수치와 그래프를 이용하여 부식에 따른 콘크리트 재료 해석을 위한 부식 특성을 세 가지로 나타낼 수 있다. 다음으로 세 가지의 부식 특성에 대해 정리하였다. 부식 특성을 이용하여 철근 콘크리트 보의 부식에 따른 철근 부착 특성모델을 제안하였다.

그림 5.4.1.1 철근의 노후화에 따른 철근부착 특성모델 개발 과정 요약





보강 특성 모델

5.5 보강에 따른 철근 부착 특성모델 개발

철근 콘크리트 보의 보강에 따른 철근부착 특성모델 개발은 노후화에 따른 보강 후 거동 특성 모델을 제안하기 위해 보강에 따른 철근 부착특성으로 두 가지를 제안하고자 합니다. 보강 특성 거동은 휨 강도, 탄성계수가 보강작업의 수행에 따라 달라지는 것을 확인하였다. 보강에 따라 철근콘크리트 보의 휨강도와 탄성계수의 성능 상승이 발생하였다. 이러한 실험결과 수치와 그래프를 이용하여 보강에 따른 철근콘크리트 보 부재 해석을 위한 철근부착 특성을 두 가지로 나타낼 수 있다. 다음으로 두 가지의 압축 거동 특성에 대해 정리하였다. 이러한 두 가지의 보강에 따른 특성을 이용하여 노후화된 철근 콘크리트 보의 보강에 따른 철근부착 특성모델을 제안하고자 한다. 노후화된 철근 콘크리트 보의 보강에 따른 철근부착 특성모델 제안에 대한 요약과정을 아래 그림으로 나타내었다.

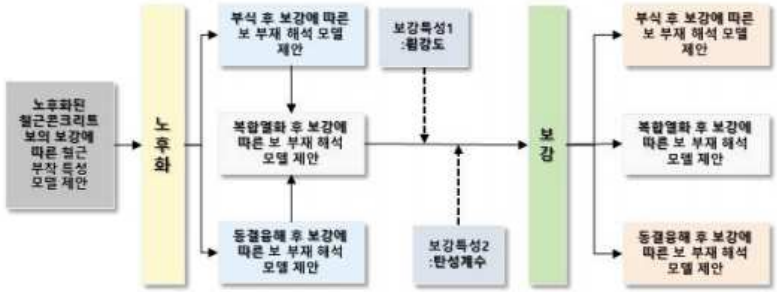
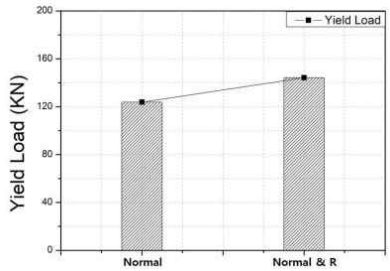
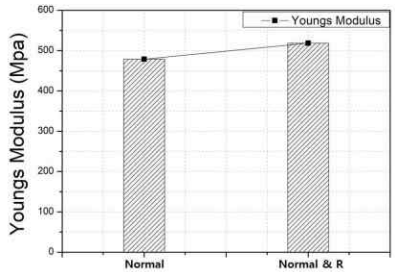
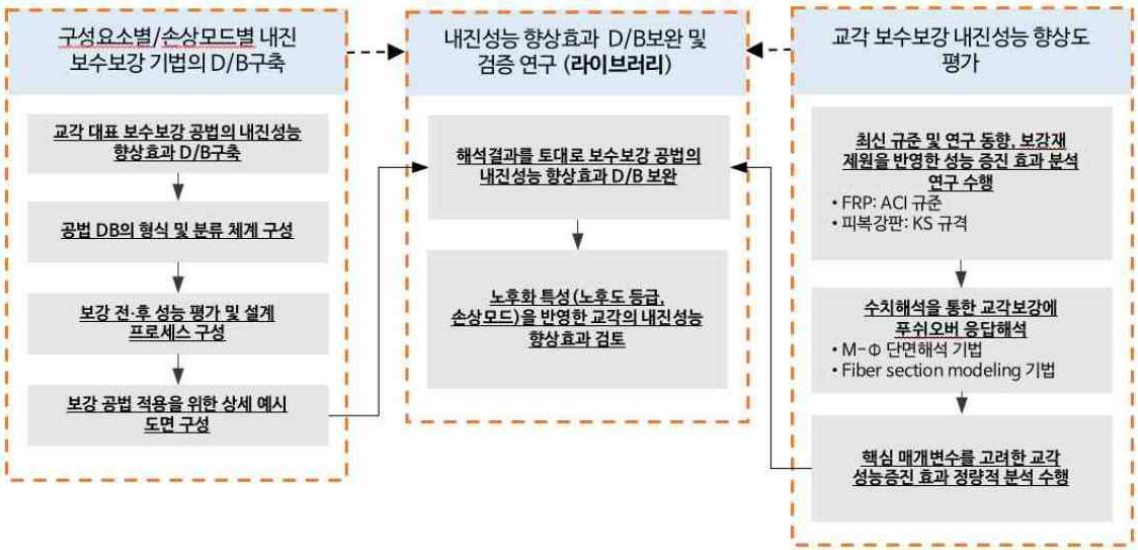


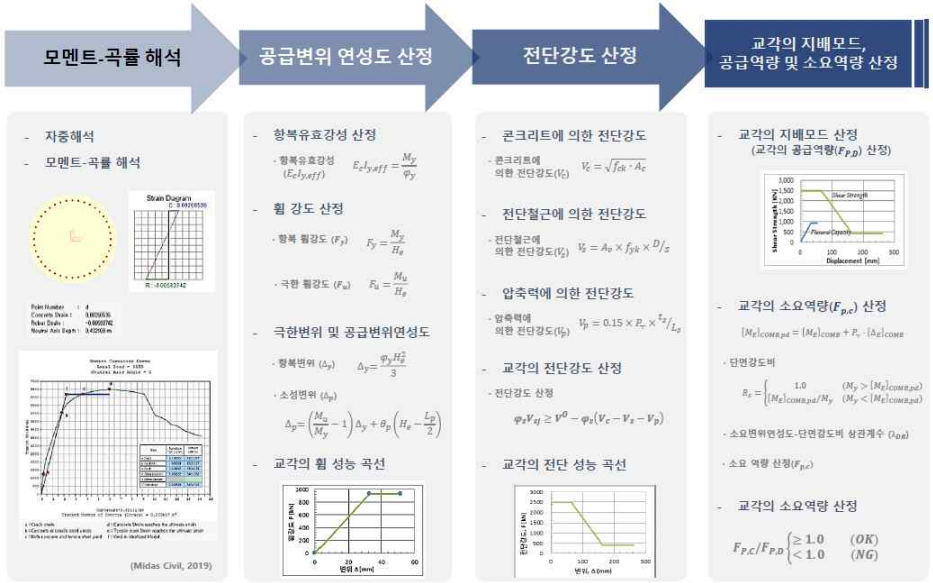
그림 5.5.1 노후화된 철근 콘크리트 보 보강에 따른 철근부착 특성모델 개발 과정 요약





연구개발 목표		연구결과자료
1	도로시설물의 내진보수보강 공법 라이브러리 구축	도로시설물의 내진보수보강 공법 라이브러리 구축





「지침(안)」

의사결정 지원시스템을 위한 내진성능향상도 DB

노후 도로시설의 내진성능관리 의사결정지원 기술 개발

2021. 12

인하대학교

[노후 도로시설 내진성능관리 연구단]

목 차

01. 내진성능향상도 보강공법 DB 개요 ····· 1
1.1 연구목적 및 필요성 ····· 2
1.2 교각상태에 따른 내진성능 표준화 방안 ····· 3

02. 도로교량 교각의 내진보강공법 ····· 4
2.1 도로교량 교각의 내진성능 평가 ····· 5
2.2 강판 보강공법 ····· 12
2.3 FRP 보강공법 ····· 17
2.4 콘크리트 단면증설공법 ····· 22

03. 내진보강 교각의 성능향상 분석 ····· 27
3.1 도로교량 교각의 내진성능 평가 ····· 28
3.2 교각 축방향 철근 겹침이음부의 고려 및 성능 향상 분석 ····· 49
3.3 노후도를 고려한 보강 교각의 성능 향상 분석 ····· 69

04. 보수보강 설계 예제 ····· 111
4.1 일반사항 ····· 112
4.2 모멘트-곡률 해석 ····· 113
4.3 내진성능 향상 설계 ····· 115
4.4 내진성능 보강설계예제 결과고찰 ····· 119

05. 참고문헌 ····· 120

연구개발 목표		연구결과자료
2	도로시설물의 내진보수보강 공법 라이브러리 구축	교각 내진보강 공법별 주요 내진 성능향상 효과 평가

▪ **Major conditions considering the existing RC column**

- In the analysis model, transverse reinforcements exists in the RC column by the construction manual. However, it is assumed that there is no internal lateral confining effect due to insufficient ratio of them.

- maximum compressive strength of concrete

  f'_co=f'_cc=f_ck,

- Strain at ultimate strength of concrete is parameterized.

  ε_cc=ε_co=ε_cu=0.004 ~ 0.0025 (changes with 0.0005)

- Strain at yield strength of concrete is assumed to be 70% of ultimate strain of it.

  ε_cy = 0.7ε_cc

- Strain at spalling of cover concrete is assumed to

  ε_sp ≒ ε_cc + 0.002

▪ **Considerations for FRP-wrapping**

- Structural analysis program : Opensees
- Design specification : ACI Committee 440 manual (ACI440.2R-17)
- Material models of FRP-confined concrete : BGL model
- It is assumed that FRP wrapping is applied through the entire height of the columns
- According to the ACI manual, layers of FRPs is restricted to prevent crushing of inner concrete due to excessive lateral confining pressure.

$$\varepsilon_{ccu} = \varepsilon_c'\left(1.50 + 12\kappa_b \frac{f_l}{f_c'}\left(\frac{\varepsilon_{fe}}{\varepsilon_c'}\right)^{0.45}\right)$$

$$\varepsilon_{c,max} \le \varepsilon_{ccu} \le 0.01$$

ε_{ccu} : the maximum concrete strain ($\varepsilon_{c,max} \le \varepsilon_{ccu} \le 0.01$, due to prevent excessive cracking and the resulting loss of concrete integrity)

κ_b : the efficiency factor accounting for the geometry of section

Existing Column Conditions

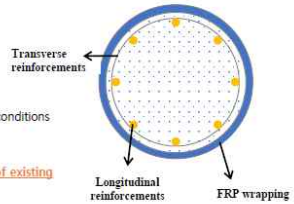
Longitudinal Reinforcement

: D29 @ 40EA

Transverse Reinforcement

: D13 @ 10EA

- In this case, transverse reinforcement conditions were not satisfied by the codes.
- - So, in this study, the confinement effect of concrete of existing column was ignored.



FRP Retrofitting conditions

- Major considerations for FRP-retrofitting

: Specifications for FRP materials

Fiber type		Elastic modulus [Gpa]	Ultimate strength [Mpa]	Rupture strain (min., [%])
Carbon	General Purpose	220-240	2050-3790	1.2
	High-Strength	220-240	3790-4820	1.4
	Ultra-high-strength	220-240	4820-6200	1.5
	High-modulus	340-520	1720-3100	0.5
	Ultra-high-modulus	520-690	1380-2400	0.2
Glass	E-glass	69-72	1860-2680	4.5
	S-glass	86-90	3440-4140	5.4
Aramid	General Purpose	69-83	3440-4140	2.5
	High-performance	110-124	3440-4140	1.6

→ FRP properties

-Materials (ACI 440.2R-17)

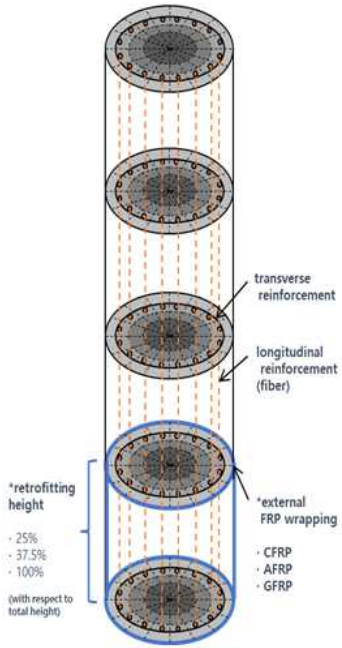
: CFRP – General Purpose,
- High-strength
- Ultra-High-strength
- High-modulus
- Ultra-High-modulus

: GFRP – E-glass

: AFRP – General Purpose
- High-performance

: wrapping thickness (n-ply)

: Retrofitting height : 25%, 37.5%, 50%, 75%, 100%

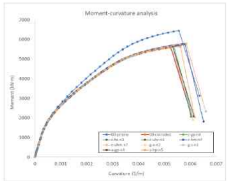


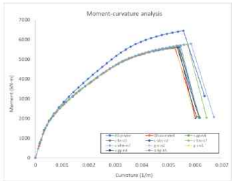
▪ Constituting pristine & deteriorated RC columns

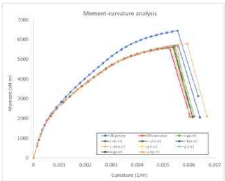
→ Corrosion of reinforcements

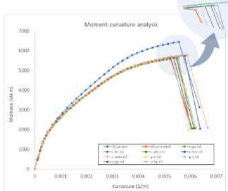
		Pristine		Deteriorated (corrosion rate : 10%)	
Geometrical conditions		Reinforcement arrangement - longitudinal : D29 @ 40 EA (28.6 mm) ($\rho_{sl} = 0.015$) - transverse : D13 @ 40 EA (12.7 mm) ($\rho_{sh} = 0.0013$)		reinforcement arrangement - longitudinal : D29 @ 40 EA (22.88 mm) ($\rho_{sl} = 0.012$) - transverse : D13 @ 40 EA (10.16 mm) ($\rho_{sh} = 0.00106173$)	
Material conditions	Concrete	ultimate strain of concrete (ε_{cu})	$\varepsilon_{cu} = 0.004 + \alpha_{sh} = 0.004 + \frac{1.4\rho_{sh} f_{sh} \varepsilon_{su}}{f'_{cc}} = 0.006870148$	ultimate strain of concrete ($\varepsilon_{cu,corr}$)	$\varepsilon_{cu} = 0.004 + \alpha_{sh,corr} = 0.004 + \frac{1.4*\rho_{sh,corr}*f_{sh,corr}*\varepsilon_{su,corr}}{f'_{co,corr}} = 0.005606522$
		compressive strength of confined concrete (f'_{cc})	$f'_{cc} = \left(-1.254 + 2.254\sqrt{1 + \frac{7.54 f_l}{f_c}} - 2\frac{f'_l}{f'_{co}}\right) f_c = 25.27$ MPa	compressive strength of confined concrete ($f'_{cc,corr}$)	$f'_{cc,corr} = \left(-1.254 + 2.254\sqrt{1 + \frac{7.54 f_{l,corr}}{f_{co,corr}}} - 2\frac{f'_{l,corr}}{f'_{co,corr}}\right) f_c = 16.4894.832$ MPa
		compressive strength of unconfined concrete $f_{co}(= f_{ck})$	$f_{ck} = 24\,MPa$	the residual strength of unconfined concrete $f_{co,corr}$	$f_{co,corr} = \lambda f_{ck} = 0.52219 * 24 = 15.6546$ MPa
	Steel	yield strength(f_y)	300 MPa	yield strength($f_{y,corr}$)	285 MPa
		ultimate strength(f_u)	450 MPa	ultimate strength($f_{u,corr}$)	427.5 MPa
		fracture strain(ε_{su})	0.125	fracture strain($\varepsilon_{su,corr}$)	0.0625

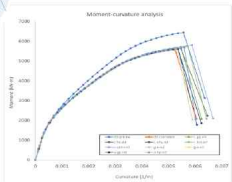
Moment – curvature analysis Opensees

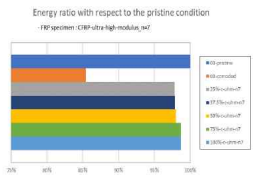

Retrofitting height : 25%


Retrofitting height : 35.5%


Retrofitting height : 50%


Retrofitting height : 75%


Retrofitting height : 100%



ex) Energy ductility enhancement of CFRP-ultra high modulus(n-7)

연구개발 목표		연구결과자료
2	도로시설물의 내진보수보강 공법 라이브러리 구축	교각 내진보강 공법별 주요 내진 성능향상 효과 평가

01 내진성능향상도 보강공법 DB 개요

1.1 연구목적 및 필요성

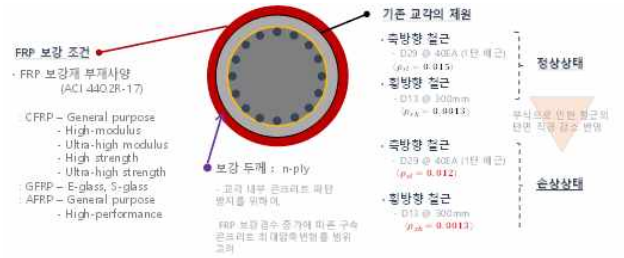
본 연구는 내진성능관리 의사결정 시스템 구축을 위한 도로 교량 시설물의 내진성능을 증진시킬 수 있는 보수보강공법에 대한 라이브러리 구축을 목적으로, 교량 내진성능평가, 최신 재료특성 설계기준에 의거한 교각 보강부재 설계변수에 따른 내진성능 향상DB 반영 및 보강공법 기술정보 공유를 통해 Test-Bed 지역 내진성능관리 의사결정 시스템 구축에 관련 보강기술 및 정보를 지원하는 것이다.

한국시설안전공단 시설물정보관리종합시스템(FMS)의 시설물 상태변화 진단 보수보강매뉴얼을 토대로 교량시설물의 상태변화 현황을 분석하고, 이를 통해 손상도를 고려한 내진 보수보강공법 라이브러리 구성 및 D/B 템플릿 개발을 상세 목적으로 하고 있다. 본 연구의 성과품인 내진 보수보강공법 DB를 통해, 도로교량 RC 교각에 대한 대표 내진성능 증진 보강공법 적용 시 성능증진 효과를 상세히 제시하고, 예시 설계도면 및 대표 보강재 제원 등을 제공하여 시설물 및 구조요소의 보강에 대하여 산학연에서 직관적 활용 및 응용이 가능하도록 하는 것을 목적으로 하고 있다.

주요 구조물 보강용 FRP 및 피복강판의 소재와 제원을 조사와 재료적 특성을 분석하였고, 보강공법 시행 교각의 성능증진효과 분석을 위하여 현행 국내외 내진성능평가 지침 및 향상 규준을 분석하였으며, 선행연구 분석을 통해 보강공법 시행 교각의 성능증진 효과를 분석하기 위한 해석 전략을 모색하고 구속효과 재료모델에 대한 분석을 수행하였다. 보수보강공법 시행 교각의 정량적 성능증진 효과 분석을 위하여, 국내 도로교량 시설물의 내진성능평가 요령 및 향상요령에 따라 기존 교각의 주철근 겹이음에 따른 콘크리트 성능 차이를 주요 인자로 하여, 보강교각의 모멘트-곡률 해석 및 푸쉬오버 해석을 수행하였다.

교각 보수보강 공법의 내진성능 향상효과에 대한 표준화를 위해 내진성능에 영향을 주는 결함요인에 따라 내진성능 평가를 위한 교각모형에 적합한 해석기법과 모델링방식을 수립하였다. 수립된 모델링 방식을 이용하여 M-Φ 단면해석과 파이버모델링에 의한 푸쉬오버해석을 진행하였고, 주요 보강설계 영향인자에 관한 변수해석을 수행하고 유사성 확인을 통해 푸쉬오버해석 모형의 정당성을 확보하고 해당 모형을 통해 횡구속무철근 모형에 대한 해석 후, 건전상태 모형에 준한 공급역량 등가수준 회복의 가능성과 소요 보강설계인자의 관한 정보를 확인하기 위한 보강 공법을 적용한 해석을 수행하였다.

본 연구 과업의 성과를 통해, 보강공법이 적용된 교각의 구조적 성능증진 효과 정량적 분석이 가능하고, 보강 교각의 성능증진 효과를 반영할 수 있는 선 요소 기반 등가 단면 재료모델 연구에 활용될 수 있을 것으로 판단된다.



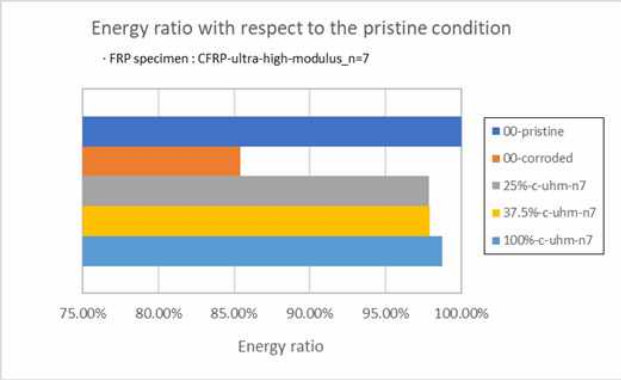


표 4.5 FRP 보강(열화상태) 결과표

구분	요구 소성변형 Δp mm)	휨 연성 성능 향상 보강		전단 성능 향상 보강	
		소요 두께(mm)	보강 두께(mm)	소요 두께(mm)	보강 두께(mm)
Carbon H.M	50	2.179	3.000	0.000	0.000
	100	6.329	7.000	0.081	1.000
	150	10.479	11.000	0.294	1.000
	200	14.628	15.000	0.294	1.000
Carbon U.H.M	50	6.790	7.000	0.000	0.000
	100	19.721	20.000	0.053	1.000
	150	32.651	33.000	0.192	1.000
	200	45.581	46.000	0.192	1.000
Glass - E	50	0.224	3.000	0.000	0.000
	100	0.650	3.000	0.399	1.000
	150	1.077	3.000	1.448	2.000
	200	1.503	3.000	1.448	2.000
Glass - S	50	0.101	3.000	0.000	0.000
	100	0.293	3.000	0.320	1.000
	150	0.485	3.000	1.162	2.000
	200	0.677	3.000	1.162	2.000
Aramid G.P	50	0.218	3.000	0.000	0.000
	100	0.633	3.000	0.399	1.000
	150	1.048	3.000	1.448	2.000
	200	1.463	3.000	1.448	2.000
Aramid H.P	50	0.341	3.000	0.000	0.000
	100	0.989	3.000	0.250	1.000
	150	1.637	3.000	0.908	1.000
	200	2.286	3.000	0.908	1.000

표 3.7 FRP 보강 교각 해석 대상 매개변수 설정 및 해석 Case

FRP 소재					해석 Case
소재		Elastic Modulus [GPa]	Ultimate Strength [MPa]	Rupture Strain (min, [%])	
CFRP	General Purpose	220-240	2050-3790	1.2	c-gp-n
	High-modulus	340-520	1720-3100	0.5	c-hm-n
	Ultra-high-modulus	520-690	1380-2400	0.2	c-uhm-n
	High-strength	220-240	3790-4820	1.4	c-hs-n
	Ultra-high-strength	220-240	4820-6200	1.5	c-uhs-n
GFRP	E-glass	69-72	1860-2680	4.5	g-e-n
	S-glass	86-90	3440-4140	5.4	g-s-n
AFRP	General purplose	69-83	3440-4140	2.5	a-gp-n
	High-performance	110-124	3440-4140	1.6	a-hp-n

		건전상태		열화상태 (부식율 10%)	
기하 조건		철근 배치 -종방향 철근 : D29@40EA (D=28.6mm) -횡방향 철근 : D13@300mm (D=12.7mm)		철근 배치 -종방향 철근 : D29@40EA (D=25.74mm) -횡방향 철근 : D13@300mm (D=11.43mm)	
재료 조건	콘크리트	극한 변형률 (ε_{cu})	0.002451	극한 변형률 ($\varepsilon_{cu,corr}$)	0.002347
		구속 콘크리트 압축강도 (f'_{cc})	25.08297MPa	구속 콘크리트 압축강도($f'_{cc,corr}$)	24.8318MPa
		콘크리트 설계강도 (f_{co})	24MPa	콘크리트 설계강도 $f_{co,corr}$)	24MPa
	철근	항복강도 (f_y)	300MPa	항복강도 ($f_{y,corr}$)	285MPa
		극한강도 (f_{su})	450MPa	극한강도 ($f_{su,corr}$)	427.5MPa
		극한변형률 (ε_{su})	0.125	극한변형률 ($\varepsilon_{su,corr}$)	0.0625

연구개발 목표	연구결과자료
2 도로시설물의 내진보수보강 공법 라이브러리 구축	교각 내진보강 공법별 주요 내진 성능향상 효과 평가

일 반 사 항

본 표준도에 제시된 제품(공법)은 실시설계시 공사비 기초금액 산출을 위해 잠정 제시된 표현이므로, 시공전 실시설계 당시에 검토 자료 등과 상호 비교 검토하여 발주청(감독관) 사전 협의 후 재질, 규격, 성능 등이 동등 이상인 제품(공법)으로 변경 적용할 수 있음.

1. 내진등급

○ 교량의 내진등급은 내진설계기준에 의거하여 교량의 중요도에 따라 분류

내 진 등 급	해 당 교 량
내진 특등급	내진 I 등급 중에서, 국방, 방재상 매우 중요한 교량 또는 지진 피해 시 사회경제적으로 영향이 매우 큰 교량
내진 I 등급	1) 고속도로, 자동차전용도로, 특별시도, 광역시도 또는 일반국도 상위 교량 및 이들 도로 위를 횡단하는 교량 2) 지방도, 시도 및 군도 중 지역의 방재계획상 필요한 도로에 건설된 교량 및 이들 도로 위를 횡단하는 교량 3) 해당도로의 일일계획교통량을 기준으로 판단했을 때 중요한 교량
내진 II 등급	내진특등급 및 내진 I 등급에 속하지 않는 교량

2. 내진성능목표

○ 국가가 지진에 대비해서 국가적 기능을 유지하기 위하여 설정한 목표

평균재현주기	내진설능수준			
	기능수행	즉시복구	장기복구/인명보호	붕괴방지
50년	내진II등급			
100년	내진I등급			
200년	내진특등급			
500년		내진특등급	내진 I 등급	내진 II 등급
1,000년				내진 I 등급
2,400년				내진특등급

3. 유효수평지반가속도

○ 행정구역에 의해 결정하는 경우에는 지진구역계수(Z)와 위험도계수(I)의 곱으로 정의

- 지진구역

지 진 구 역		행 정 구 역
I	시	서울, 인천, 대전, 부산, 대구, 울산, 광주, 세종
	도	경기, 강원 남부, 충북, 충남, 경북, 경남, 전북, 전남
II	도	강원 북부, 제주

※강원 남부(군, 시) : 영월, 정선, 삼척, 강릉, 동해, 원주, 태백
강원 북부(군, 시) : 홍천, 철원, 화천, 횡성, 평창, 양구, 인제, 고성, 양양, 춘천, 속초

- 지진구역계수 Z

지 진 구 역	I	II
구역계수, Z (g)	0.11	0.07

※평균재현주기 500년에 해당

- 위험도계수 I

평균재현주기(년)	50	100	200	500	1,000	2,400
위험도계수, I	0.40	0.57	0.73	1.0	1.4	2.0

- 내진성능 평가기준지진 유효수평지반가속도(G)

내 진 등 급	지진 I 구역	지진 II 구역
내진 특등급	0.220 g	0.140 g
내진 I 등급	0.154 g	0.098 g
내진 II 등급	0.110 g	0.070 g

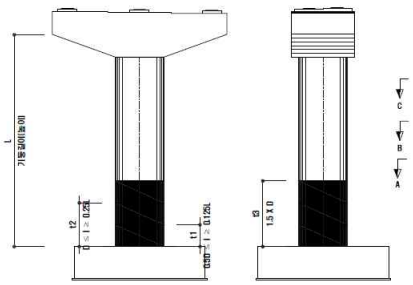
※유효수평지반가속도(G)는 국가지진위험지도를 이용하여 결정하는 경우에는 행정구역에 의해 결정한 값의 80% 보다 작지 않아야 한다.

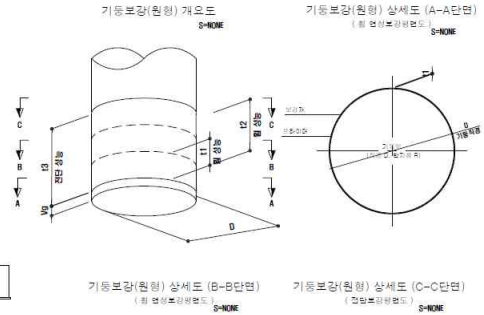
섬유 보강공법 (1)

본 표준도에 제시된 제품(공법)은 실시설계시 공사비 기초금액 산출을 위해 잠정 제시된 표현이므로, 시공전 실시설계 당시에 검토 자료 등과 상호 비교 검토하여 발주청(감독관) 사전 협의 후 재질, 규격, 성능 등이 동등 이상인 제품(공법)으로 변경 적용할 수 있음.

원형기둥 보강

S=NONE





보강재 두께 제원표

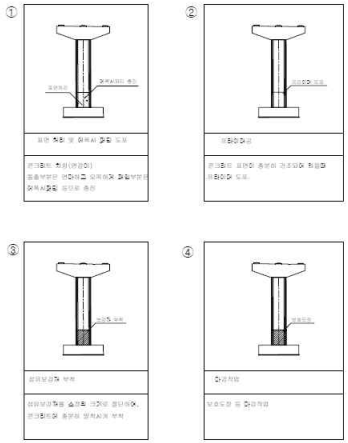
(단위 : mm)

요구 소성변형 Δp	보강재 두께		
	t1	t2	t3
	0.5D ≤ I ≤ 0.125L	D ≤ I ≤ 0.25L	1.5 X D
50	4.000	2.000	–
100	4.000	2.000	1.000
150	4.000	2.000	1.000
200	4.000	2.000	1.000

자문 의견	조치계획 및 반영사항
내진성능 보강설계예제는 설계 실무자에게 강재 및 복합재료로 보강(안) 방향을 제시하고자 검토하였는바, 본 해석보다 정밀하게 보강효과를 고려할 수 있는 해석방법이 있으면 그 방법을 따라도 무방하다.	MIDAS GSD를 사용한 해석 외에, Opensees, Abaqus 프로그램을 활용하여 강판과 FRP 보수보강에 대한 성능효과를 분석하고 결과를 제시함.
본 설계 예제의 보강 소요 두께 산정은 변위법을 통해 산정되며, 건전상태와 열화상태를 비교 분석한 결과 열화상태에서의 소요량이 적게 산정되었다. 이는 소요 보강 두께의 필요 압축 변형률은 필요 곡률과 보강하고자 하는 단면의 중립축의 곱으로 산정되는데, 열화상태의 보유 성능이 작아 건전상태 보다 더 적은 보강 소요량이 산정되므로, 열화상태를 고려한 소요 보강 두께 산정에서는 다른 방법이 필요하다.	"기존 시설물(교량) 내진성능 향상요령"을 따라 요구 소성변형을 고려한 내진보강 방법은 열화 상태평가에 한계가 있음. 열화 상태 교각의 보수보강 효과를 평가하기 위하여, 소성 에너지를 기반으로 한 보수보강 평가를 수행함.

섬유 보강공법 (2)

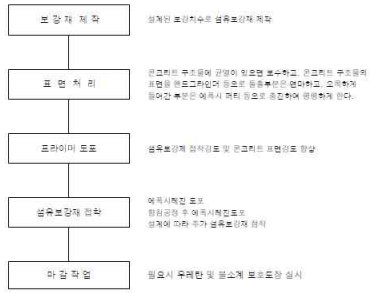
본 표준도에 제시된 제품(공법)은 실시설계시 공사비 기초금액 산출을 위해 잠정 제시된 표현이므로, 시공전 실시설계 당시에 검토 자료 등과 상호 비교 검토하여 발주청(감독관) 사전 협의 후 재질, 규격, 성능 등이 동등 이상인 제품(공법)으로 변경 적용할 수 있음.



1. 개요

○ 기존의 교각에 섬유보강재를 피복하여 주요하중 증대시킴으로써 소요변위연성능을 확보하는 공법

2. 시공방법

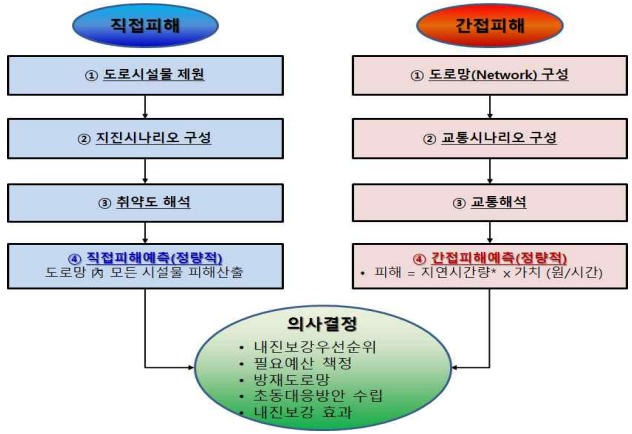


[2-1] 국토안전관리원 (협동기관) - 내진성능관리 의사결정 지원 시스템

연구개발 목표		연구결과자료
1	내진성능 관리 의사결정 지원 시스템	내진성능관리 의사결정 기술매뉴얼 개발

AS-IS (정성적 평가 & 우선순위선정 의사결정만 가능)

TO-BE (정량적 평가 & 다양한 의사결정 가능)



[세세부 2-1]
내진성능관리
의사결정지원 기술매뉴얼

사업구분	건설기술연구사업
전문기관	국토교통과학기술진흥원
과제명	노후도로시설(교량, 터널, 사면, 옹벽)의 내진성능관리 의사결정지원 기술 개발
CTE 명	[CTEx-x] 노후도로시설의 내진성능관리 의사결정 매뉴얼개발
연구기관	국토안전관리원
연구책임자	김동주 실장

<목 차>

1. 매뉴얼 일반사항 1
1.1. 매뉴얼 개요 1
1.2. 매뉴얼 구성 3
1.3. 용어 정의 4
1.4 자료조사 및 정리 7

2. 도로망 구성 8
2.1 도로망 개요 8
2.2 도로망 공간정보 8
2.3 도로망 시설물정보 10
2.4 도로망 교통정보 11
2.5 도로망 수요 13
2.6 공간정보 프로그램을 이용한 도로망 구성 13

3. 노후도 15
3.1 상태변화 노후화(열화) 15
3.2 요구성능 노후화 17

4. 취약도함수 구성 19
4.1 취약도함수 개요 19
4.2 손상기준 19
4.3 취약도함수 개발 22

5. 직접피해 예측 25
5.1 지진시나리오 구성 25
5.2 지진 특성 26
5.3 최대지반가속도 산정 28
5.4 직접피해규모 예측 29

6. 간접피해 예측 31
6.1 간접피해 개요 31
6.2 교통시나리오 구성 32
6.3 간접피해규모 예측 40
6.4 도로망 내진성능관리 지수 43

7. 도로망 내진성능관리 의사결정 47
7.1 도로망 내진보강 우선순위 의사결정 47
7.2 도로망 성능지수 의사결정 內 49
7.3 소요예산 산정 50
7.4 생존도로망 선정 51

부록 A. 확률론적 내진성능관리 의사결정(예제) 53
부록 B. 내진성능관리 의사결정지원 소프트웨어 81
부록 C. 지진등강도 계산(Baker 제안식) 97

연구개발 목표		연구결과자료
2	내진성능 관리 의사결정 지원 시스템	내진성능관리 의사결정 체계 · 제도(안) 구축

■ 내진성능관리 관련 기존 법/제도의 한계

- 내진성능관리 실무에서 주로 사용되고 있는「기존시설물(교량, 터널) 내진성능평가 요령, 국토안전관리원」은 **지진에 따른 시설물 손상한계수준을 제시하지 않아 시설물 피해정도(등급)의 산정이 불가하며, 예산투입에 대한 효과 검증 방법을 제공하고 있지 않음**
- 「기존시설물(교량, 터널) 내진성능평가 요령, 국토안전관리원」에서 제시하는 예비평가는 특정 구역에 포함된 **개별 도로시설물에 대한 내진보강 우선순위만을 제안**
- 내진보강 우선순위가 도로망에 대한 고려없이 특정구역의 개별시설물 기준으로 결정됨에 따라 내진보강이 되었음에도 불구하고 지진 시 도로가 정상적인 교통통행 기능을 수행하지 못하는 상황이 발생하며 지진 직후 긴급물자 이송을 위한 **방재도로 선정과 같은 도로망과 관련된 다양한 내진성능의사결정 판단자료를 기존 지원기술로는 제시할 수 없는 한계 발생**

「시설물의 안전 및 유지관리에 관한 특별법」에는 정밀안전진단 시 참고할 수 있는 내진성능관리를 위한 별도의 지침 및 세부지침을 제시하고 있지 않고, 국토안전관리원이 제공하고 있는「기존시설물(교량, 터널) 내진성능평가 요령」을 통해 내진성능관리업무를 수행하고 있어 법적효력이 없는 실정이다.「기존시설물(교량, 터널) 내진성능평가 요령」은 지진에 따른 시설물 손상한계수준이 부재하여 시설물피해정도(등급)의 산정이 불가하며, 예산투입에 대한 효과 검증을 하기 위한 방법을 제공하고 있지 않다. 또한, 개별시설물 관점의 정성적인 지수 값 계산을 통해 내진보강우선순위 선정에 대한 의사결정만 지원하고 있어, 다음과 같은 한계를 보이고 있다.

- 내진보강 우선순위에 대한 의사결정만 지원
- 개별시설물의 물리적취약도 중심의 관리기술로, 도로망의 도로기능에 대한 관리 불가
- 도로망의 물리적인 정량적 직접피해규모 산출불가
- 도로시설물 직접피해에 따른 도로망 기능저하로 유발되는 간접피해규모 예측불가
- 인적 물적 이송을 위한 방재도로망 확보위한 기술지원 불가
- 내진성능관리를 위한 공법만을 제공하고 있어, 예산산정 기술지원 불가
- 내진보강 효과(정량적, 정성적) 검증을 위한 기술지원 불가

■ 내진성능관리 의사결정 체계 · 제도(안) 구축

- 본 연구성과를 통해 도출된 다양한 내진성능관리 의사결정을 토대로 **내진성능관리 의사결정 지침 개정(안)을 제시**하였으며, **예산투입 효과검증 및 도로망 기반 내진성능평가*를 수행하도록 유도함**

* 내진성능관리 의사결정 지원 매뉴얼을 활용 도로망 기반 내진성능평가 수행

- 국토안전관리원 內 「국가내진센터」에서는 지진안전체계 강화를 위해 내진성능평가를 현 진단체계와 동등한 수준으로 분리하여 「시설물 안전법」의 역할 강화를 추진하고 있으며, 내진성능 평가 제도개선 간담회를 통해 내진성능평가 대상 확대, 실시시기 및 방법 개선, 내진보강 추진의무화, 내진보강 평가 및 보강설계 검증제도 개선을 추진하고 있음
- [별표 9]와 [별표 13]은「국가내진센터」에서 제시한 "내진성능평가 및 내진보강 과업내용, "안전점검등 실시결과 보고서에 포함되어야 할 내용" 에, **본 연구성과물을 통해 제안된 "작간접피해 규모 검토" 및 "도로망의 안전성검토" 과업내용을 포함하여 내진성능관리 의사결정 지침개정(안)을 제시하였음**

[별표9] 안전점검등의 과업내용 (제18조 관련)

3. 내진성능평가 (수행시)		내진성능평가를 정밀안전진단에 포함하여 실시할 경우 대상시설물의 특성 및 지진하중 등을 감안하여 실시하여야 한다.
	가. 자료 수집 및 분석	◦준공도면, 내진설계 및 내진성능평가 구조계산서 ◦기존 내진설계 및 내진성능평가 실시결과 ◦내진보강 이력 및 도면
	나. 현장조사 및 시험	◦지반 비선형거동 특성 시험
	다. 내진성능평가	**◦해당시 망(도로,상하수도,공동구 등)의 내진성능평가** ◦대상 시설물과 지반의 상호작용을 반영한 지진해석 ◦지진하중을 포함한 하중조합에 대한 내진성능평가
	라. 내진보강	◦내진보강 방안 제시 **◦내진보강 효과의 정량적(직/간접피해 규모) 검토**

[별표13] 안전점검 등 실시결과 보고서에 포함되어야 할 사항

다. 내진성능평가	과업내용에 따라 실시한 현장조사 및 재료시험 등의 결과를 분석하고 이를 바탕으로 시설물의 지진시 구조적, 기능적 안전성을 평가한다. ◦지진구역, 지반분류 등 분석결과 ◦내진등급, 내진성능 수준 선정 분석결과 ◦지진해석 단면, 구간 선정 등의 적정성 분석 ◦내진성능 수준별 지진하중 산정 분석결과 ◦시설물의 지진해석법 선정 분석결과 **◦네트워크(도로망 등) 지진시 안전성검토 분석결과** **◦네트워크(도로망 등) 지진시 직간접피해 분석결과**

■ 내진성능관리 의사결정 체계 · 제도(안)

- 시설물의 안전 및 유지관리 실시 등에 관한 지침(안)

시설물의 안전 및 유지관리 실시 등에 관한 지침 신·구조문 대비표

시설물의 안전 및 유지관리 실시 등에 관한 지침 (2020.12.)	시설물의 안전 및 유지관리 실시 등에 관한 지침 (안)
제64조(평가의 실시 등)	**제64조(평가의 실시 등)**
①~④ (생 략) ⑤ (생략) 1. (생 략) 2. 정밀안전진단 평가항목 및 배점 가. 진단계획수립 및 보고서체계의 적정성 : 5점 나. 자료조사 · 분석의 적정성 : 10점 다. 외관조사 및 결과분석의 적정성 : 15점 라. 현장 비파괴시험, 재료시험 등 각종 시험 · 분석의 적정성 : 10점 마. 구조해석, 안전성검토 등의 적정성 : 15점 바. 손상 및 결함 등에 대한 원인 추정의 적정성 : 10점 사. 평가결과의 적정성 : 15점 아. 보수 · 보강 방법의 적정성 : 10점 자. 종합결론의 적정성 : 10점 3. (신설)	①~④ (현행과 같음) ⑤ (현행과 같음) 1. ~ 2. (현행과 같음) 3. 내진성능평가를 포함한 정밀안전진단 평가항목 및 배점 가. 진단계획수립 및 보고서체계의 적정성 : 5점 나. 자료조사 · 분석의 적정성 : 9점 다. 외관조사 및 결과분석의 적정성 : 12점 라. 현장 비파괴시험, 재료시험 등 각종 시험 · 분석의 적정성 : 10점 마. 구조해석, 안전성검토 등의 적정성 : 12점 바. 내진성능평가 수행 등의 적정성 : 12점 사. 손상 및 결함 등에 대한 원인 추정의 적정성 : 10점 아. 평가결과의 적정성 : 12점 자. 보수 · 보강 방법의 적정성 : 8점 차. 종합결론의 적정성 : 10점
⑥ (생 략) 1. (생 략) 2. 정밀안전진단 실시결과에 대한 평가점수의 총점이 70점 미만이거나 평가항목 중 제5항제2호다목, 마목 또는 사목(이하 "정밀안전진단 중요평가항목"이라 한다)의 평가점수가 배점의 100분의 40이하인 경우 3. (신설)	⑥ (현행과 같음) 1. ~ 2. (현행과 같음) 3. 내진성능평가를 포함한 정밀안전진단 실시결과에 대한 평가점수의 총점이 70점 미만이거나 평가항목 중 제5항제3호다목, 마목, 바목 또는 아목(이하 "정밀안전진단 중요평가항목"이라 한다)의 평가점수가 배점의 100분의 40이하인 경우

시설물의 안전 및 유지관리 실시 등에 관한 지침 신·구조문 대비표

시설물의 안전 및 유지관리 실시 등에 관한 지침 (2020.12.)	시설물의 안전 및 유지관리 실시 등에 관한 지침 (안)
[별표9]안전점검등의 과업내용 (제18조 관련) **3.정밀안전진단과업내용**	[별표9]안전점검등의 과업내용 (제18조 관련) **3.정밀안전진단과업내용**
과업구분 / 내 용	과업구분 / 내 용
1. 기본과업: (생 략)	1. 기본과업: (현행과 같음)
가.~사. (생 략): (생 략)	가. ~ 사. (생 략): (현행과 같음)
2. 선택과업: (생 략)	2. 선택과업: (현행과 같음)
가~나 (생 략): (생 략)	가. ~ 나. (생 략): (현행과 같음)
다. 안전성 평가: ·구조 · 지반 · 수리 · 수문 해석 (구조계의 변화 또는 내하력 및 구조 안전성 저하가 예상되는 경우 필수) ·구조 안전성평가 등 전문기술을 요하는 경우의 전문가 자문 ·내진성능 평가 및 사용성 평가 ·제시한 보수 · 보강방법에 따라 보수 · 보강 시 예상되는 임시 고정하중에 대한 안전성평가	다. 안전성평가: ·구조 · 지반 · 수리 · 수문 해석 (구조계의 변화 또는 내하력 및 구조 안전성 저하가 예상되는 경우 필수) ·구조 안전성평가 등 전문기술을 요하는 경우의 전문가 자문 ·~~내진성능 평가 및~~ 사용성 평가 ·제시한 보수 · 보강방법에 따라 보수 · 보강 시 예상되는 임시 고정하중에 대한 안전성평가
라. 보수 · 보강방법: ·내진보강 방안제시 ·시설물 유지관리 방안 제시	라. 보수·보강 방법: ·~~내진보강 방안제시~~ ·시설물 유지관리 방안 제시
3. (신설)	3. 내진성능평가 (수행시): 내진성능평가를 정밀안전진단에 포함하여 실시할 경우 대상 시설물의 특성 및 지진하중 등을 감안하여 실시하여야 한다.
가.(신설)	가. 자료 수집 및 분석: ·준공도면, 내진설계 및 내진성능평가 구조계산서 ·기존 내진설계 및 내진성능평가 실시결과 ·내진보강 이력 및 도면
나.(신설)	나. 현장조사 및 시험: ·지반 비선형거동 특성 시험
다.(신설)	다. 내진성능평가: ·해당시 망(도로,상하수도,공동구 등)의 내진성능평가 ·대상 시설물과 지반의 상호작용을 반영한 지진해석 ·지진하중을 포함한 하중조합에 대한 내진성능평가
라.(신설)	라. 내진보강: ·내진보강 방안 제시 ·내진보강 효과의 정량적(직/간접피해 규모) 검토

시설물의 안전 및 유지관리 실시 등에 관한 지침 신·구조문 대비표

시설물의 안전 및 유지관리 실시 등에 관한 지침 (2020.12.)	시설물의 안전 및 유지관리 실시 등에 관한 지침 (안)
[별표13]안전점검등 실시결과 보고서에 포함되어야 할 사항(제36조제1항 관련)	[별표13]안전점검등 실시결과 보고서에 포함되어야 할 사항(제36조제1항 관련)
구 분 / 내 용	구 분 / 내 용
1. ~ 2. (생 략): (생 략)	1. ~ 2. (생 략): (생 략)
3. 정밀안전진단 보고서: (생 략)	3. 정밀안전진단 보고서: (생 략)
가. 나.: (생 략)	가. ~ 나.: (현행과 같음)
다. 자료수집 및 분석: 정밀안전진단의 관련자료를 검토 · 분석하고 그 내용을 기술한다. ·설계도면, 구조계산서 ·기존 정밀안전점검 · 정밀안전진단 실시결과 ·보수 · 보강이력 및 용도변경 ·시설물의 내진설계 여부 확인 ·기타 관련자료	다. 자료수집 및 분석: 정밀안전진단의 관련자료를 검토 · 분석하고 그 내용을 기술한다. ·설계도면, 구조계산서 ·기존 정밀안전점검 · 정밀안전진단 실시결과 ·보수 · 보강이력 및 용도변경 ·~~시설물의 내진설계 여부 확인~~ ·기타 관련자료
라. ~ 마.: (생 략)	라. ~ 마.: (현행과 같음)
바. 시설물의 안전성평가: 과업내용에 따라 실시한 현장조사 및 재료시험 등의 결과를 분석하고 이를 바탕으로 구조물의 내(하)력, 사용성 등을 검토하고 시설물의 구조적, 기능적 안전성을 평가한다. ·현장 재하시험 및 계측 결과분석 ·지형, 지질, 지반, 토질조사 등의 결과분석 ·시설물의 변위, 거동 등의 측정결과 분석 ·시설물의 구조해석 및 구조계산을 통한 분석결과 ·수문, 수리 등 해석결과 및 분석 (관리주체의 요구 등 필요한 경우) ·시설물의 내(하)력 평가 ·시설물의 내진성능, 사용성 평가 (관리주체의 요구 등 필요한 경우) ·정밀안전진단 결과 시설물의 보수 · 보강방법을 제시한 때에는 보수 · 보강시 예상되는 임시 고정하중(공사용 장비 및 자재 등)이 시설물에 현저하게 작용하는 경우에 대한 구조안전성 평가 포함 시행 ·시설물의 안전성평가 결정	바. 시설물의 안전성평가: 과업내용에 따라 실시한 현장조사 및 재료시험 등의 결과를 분석하고 이를 바탕으로 구조물의 내(하)력, 사용성 등을 검토하고 시설물의 구조적, 기능적 안전성을 평가한다. ·현장 재하시험 및 계측 결과분석 ·지형, 지질, 지반, 토질조사 등의 결과분석 ·시설물의 변위, 거동 등의 측정결과 분석 ·시설물의 구조해석 및 구조계산을 통한 분석결과 ·수문, 수리 등 해석결과 및 분석 (관리주체의 요구 등 필요한 경우) ·시설물의 내(하)력 평가 ·~~시설물의 내진성능,~~ 사용성 평가 (관리주체의 요구 등 필요한 경우) ·정밀안전진단 결과 시설물의 보수 · 보강방법을 제시한 때에는 보수 · 보강시 예상되는 임시 고정하중(공사용 장비 및 자재 등)이 시설물에 현저하게 작용하는 경우에 대한 구조안전성 평가 포함 시행 ·시설물의 안전성평가 결정 ·네트워크(도로망 등) 기능성 평가 (관리주체의 요구 등 필요한 경우)
사.종합평가: (생 략)	사. 종합평가: (현행과 같음)
아. 보수·보강 방법: 시설물의 상태평가와 안전성평가 결과에 따라 손상 및 결함이 있는 부위 또는 부재에 대하여 적용할 보수 · 보강 방법을 제시함.(내진성능 평가 후 내진능력 부족시의 경우를 포함)	아. 보수·보강 방법: 시설물의 상태평가와 안전성평가 결과에 따라 손상 및 결함이 있는 부위 또는 부재에 대하여 적용할 보수 · 보강 방법을 제시함.~~(내진성능 평가 후 내진능력 부족시의 경우를 포함)~~
자~차: (생략)	자~차: (생략)

시설물의 안전 및 유지관리 실시 등에 관한 지침 신·구조문 대비표

시설물의 안전 및 유지관리 실시 등에 관한 지침 (2020.12.)	시설물의 안전 및 유지관리 실시 등에 관한 지침 (안)
[별표13]안전점검등 실시결과 보고서에 포함되어야 할 사항 (제36조제1항 관련)	[별표13]안전점검등 실시결과 보고서에 포함되어야 할 사항 (제36조제1항 관련)
구 분 / 내 용	구 분 / 내 용
1. ~ 2. (생 략): (생 략)	1. ~ 2. (생 략): (생 략)
3. 정밀안전진단 보고서: (생 략)	3. 정밀안전진단 보고서: (생 략)
4. (신설)	4. 내진성능평가 보고서(수행시)
가. (신설): (신설)	가. 자료수집 및 분석: 내진성능평가와 관련된 자료를 검토 · 분석하고 그 내용을 기술한다. ·기존 내진설계 및 내진성능평가 실시결과 ·내진보강 설계 및 시공 이력
나. (신설)	나. 현장조사 및 시험: 내진성능평가 수행에 필요한 현장조사, 시험 및 측정 등의 결과분석 내용을 기술한다.(정밀안전진단에서 수행한 현장조사, 시험 및 측정 등 결과 활용 가능) ·지반 비선형거동 특성 시험 분석
다. (신설) / 라. (신설)	다. 내진성능평가: 과업내용에 따라 실시한 현장조사 및 재료시험 등의 결과를 분석하고 이를 바탕으로 시설물의 지진시 구조적, 기능적 안전성을 평가한다. ·지진구역, 지반분류 등 분석결과 ·내진등급, 내진성능 수준 선정 분석결과 ·지진해석 단면, 구간 선정 등의 적정성 분석 ·내진성능 수준별 지진하중 산정 분석결과 ·시설물의 지진해석법 선정 분석결과 ·네트워크(도로망 등) 지진시 안전성검토 분석결과 ·네트워크(도로망 등) 지진시 직간접피해 분석결과
마. (신설)	라. 내진성능 향상방안: 지진시 안전성 검토 분석결과 내진성능이 미확보된 구간에 대하여 적용할 내진보강 방법을 제시함 ·적용 가능한 내진보강방법 제시 ·시설물 내진성능 향상을 위한 요령, 대책 등 ·시설물 내진성능 향상을 위한 요령, 대책 등
바. (신설)	마. 결론&건의: ·내진성능평가 실시결과의 종합결론 ·기타 필요한 사항
	바. 부록: ·지진해석 구간의 도면, 지반조사 자료 및 현장조사 및 시험 자료 ·지진시 구조해석 모델링 및 수치해석 자료

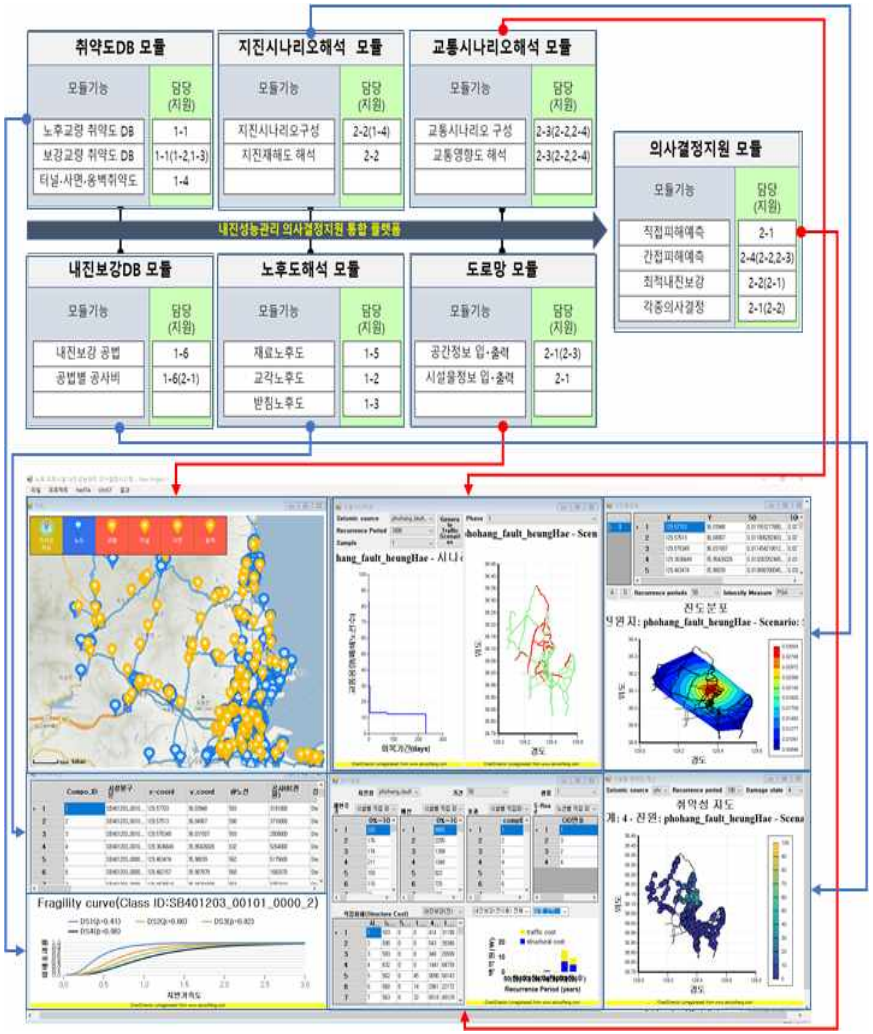
<제도개선을 통한 경제적 효과>

· 제도적 개선을 통해, 정량적인 직간접피해 규모를 예측하고 이를 통해 내진보강효과를 검증을 가능하게 하는 기반을 마련함으로써, 내진성능관리 비용절감 가능

· 개별시설물이 아닌 도로망 중심의 내진성능평가를 가능하게 함으로써 설계된 본래의 도로기능을 상시 유지할 수 있게 하고 이를 통해 교통지연으로 유발되는 간접손실을 획기적으로 줄일 수 있는 계기를 마련함

· 또한, 도로망 및 노선에 대한 내진성능평가를 수행할 수 있는 법적근거를 마련함으로써, 방재도로를 합리적으로 선정할 수 있고 이를 통해 2차 피해(경제적)를 최소화 할 수 있음

연구개발 목표		연구결과자료
3	내진성능 관리 의사결정 지원 시스템	내진성능관리 의사결정지원 소프트웨어 개발

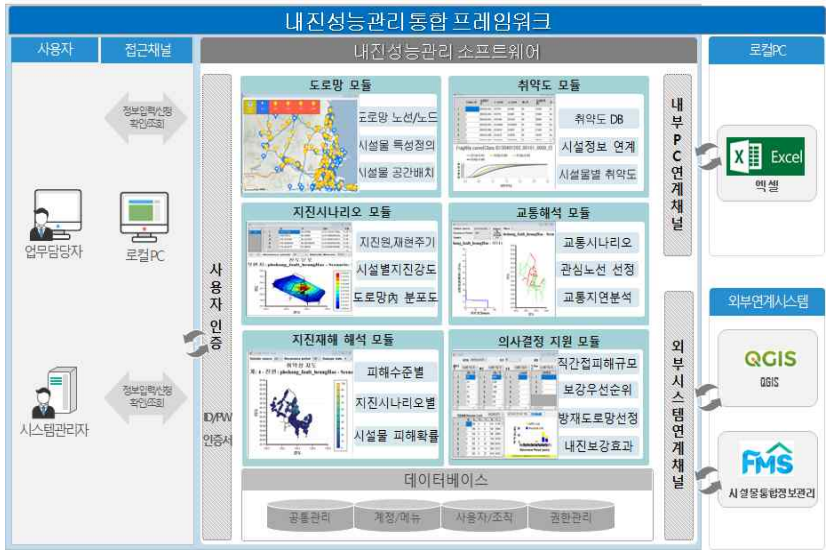


세세부 요소기술 & 시스템 모듈 연계도

손상기준	표준 정의
DS1(경미)	경미한 비구조적 손상 (균열, 단차, 배부름 등)
DS2(보통)	구조적 손상(균열, 볼트변형, 암석탈락, 단차 등)
DS3(극심)	기능상실(심각한 영구변형, 극심한 지반침하 등)
DS4(붕괴)	구조물 붕괴 임박상태(기둥파괴, 부재탈락 임박)

도로시설물 손상수준

지진위험도 평가절차

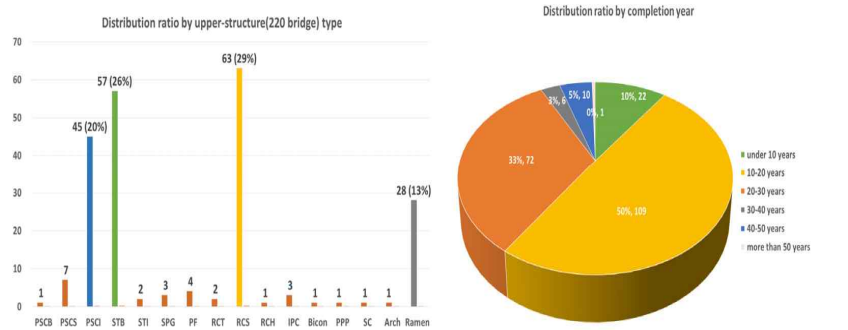


내진성능관리 통합프레임워크 모식도

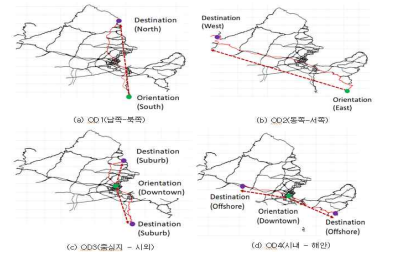
연구개발 목표		연구결과자료
4	내진성능 관리 의사결정 지원 시스템	내진성능관리 의사결정지원 테스트베드(포항, 경주) 실증

내진성능관리 의사결정지원요령 공청회

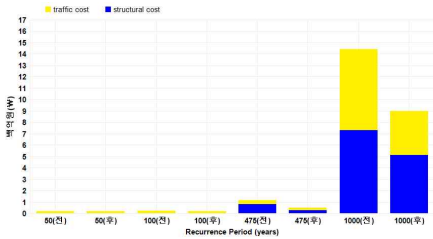
No	주요의견
1	해외 FHWA(2006)의 시설물 자료와 비교하여 국내에서도 이와 동등한 수준의 자료 업데이트가 필요하며, 취약도등 **구축된 DB 신뢰도를 높이기 위한 노력** 필요
2	의사결정 지원 시스템을 사용하는 **최종 사용자(End-User)**가 누가 될지에 대한 많은 논의가 필요함(누구나 사용할 수 있는 프로그램 보다는 배경지식이 있는 사용자가 사용할 수 있도록 해야 결과의 신뢰도가 높아질 것임)
3	최근 서울시에서도 지진피해 저감을 위한 **비상도로망 지정**(주축 단위 기준으로 내진보강 등의 우선순위 선정)과 관리방안에 대한 연구를 통해 합리적인 내진성능관리가 되도록 노력하고 있음
4	시스템 구축 이후에 시·군·구 등의 관리주체의 전문인력이 부족하기에 의사결정 시스템을 활용하기엔 부담이 될 수 있으며, 이런 부분을 해소하기 위한 **교육과 홍보 요청**
5	내진성능평가를 수행할 때 시설물안전법과 지진재해대책법 사이에 혼동을 많이 겪고 있음, 시설물안전법 상의 내진성능평가 요령 같은 경우에는 법적인 구속력은 없는 참고도서 등의 가이드 역할을 하고 있음
6	사용자를 고려하여 개인적인 배경지식과 관계없는 **일관된 결과가 나오도록** 객관적이고 단순화된 시스템 구축 필요
7	본 의사결정 시스템의 활용자는 **지자체의 공무원 위주로 활용될 가능성**이 높으므로, 이에 걸맞는 수준의 활용법 및 **매뉴얼 개발이 필요**



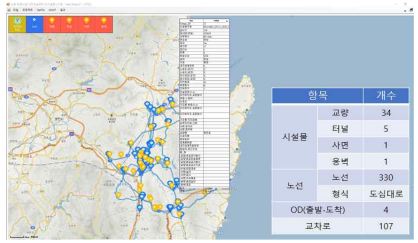
포항시 도로시설물 분포도



포항시 OD노선(출발-도착)



포항시 보강(전후) 직간접 피해규모

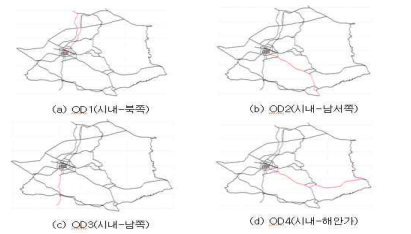


경주시 도로망

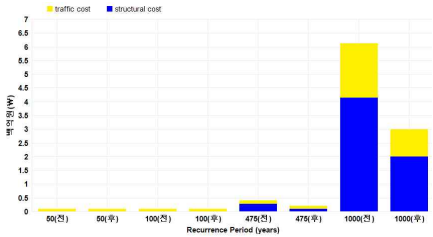
내진보강효과 단위: 억원

노선	피해구분	내진보강(전)	내진보강(후)	보강효과
475년	직접피해	29	11	18
	간접피해	11	9	2
1000년	직접피해	415	202	213
	간접피해	197	96	101

경주시 내진보강 효과



경주시 OD노선(출발-도착)



경주시 보강(전후) 직간접 피해규모

연구개발 목표		연구결과자료
4	내진성능 관리 의사결정 지원 시스템	내진성능관리 의사결정지원 시스템의 타 지자체(광역도시 포함) 기술적용 확산

단계		내용	모듈	비고
①	관리지역 도로망 구성	● 각 지자체별(시, 도, 광역시 등) 내진성능관리 구역설정 ● 공간정보프로그램(예, Q-gis)를 이용하여 설정된 관리구역의 도로망 공간정보 구성	도로망모듈	UI
②	관리지역 시설물 이력정보 구성	● FMS를 통해 해당지역 내 도로시설물 확인 ● 필수 시설물 정보(제원, 준공년도, 공사비, 설계방법 등) 입력	도로망 모듈	GI
③	관리지역의 지진시나리오 구성	● 과거 해당지역 및 인접지역의 지진기록 조사 ● 해당지역 및 인접지역의 단층지역 조사 ● 조사된 과거 기록 및 단층자료를 바탕으로 지진원 특정 ● 지진원 별 지진동강도 시나리오 구성	지진시나리오 모듈	GI
④	지진 취약도함수 확인	● 관리지역 시설물 이력정보를 바탕으로 내진관리 시스템 실행 ● 생성된 지진 취약도 함수 확인	취약도 해석모듈	GI
⑤	교통시나리오 구성	● 지진 시 물류/인적 수송을 위한 지점(출발,도착점) 구성	교통시나리오 모듈	UI
⑥	내진성능관리 프로그램 실행	● 손상수준 및 직접피해규모 (개별시설물별, 노선별) 확인 ● 노선별 간접피해규모 확인 ● 다양한 판단자료를 바탕으로 다양한 의사결정 수행	의사결정 모듈	GI

내진성능관리 의사결정지원 시스템의 지자체(광역시 등) 적용 절차

재현 주기	시설물	실측 피해 (억원)	예측 피해 (억원)
475 년	유강램프 E교	0.14	0.12
	남송IC교	2.67	3.69
	용흥교	1.92	1.35
	동빈큰다리	3.07	2.06
	성곡2교	3.25	2.80
	성곡1교	3.61	0.66
	곡강IC교	1.51	0.77
	성곡1교	2.42	3.73
	소계	**18.60**	**15.20**

<실측피해 vs 예측피해 검토 시사점>

- 예측피해는 실측피해는 성곡1교를 제외하고 큰 차이가 없는 것으로 확인
- 따라서 개발된 내진성능관리 시스템은 의사결정에 필요한 수준의 판단자료(직접피해)를 생성하는 것으로 확인 됨

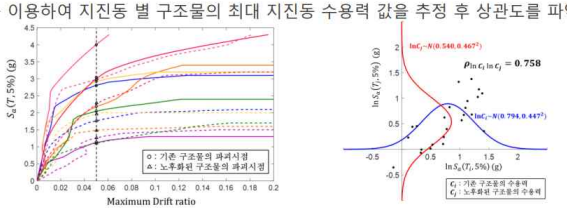
<성곡1교 피해예측 오차 발생>

- 피해내역
  - 받침 및 신축이음 장치파손
  - 균열 및 박리
- 원인 제언
  - **내진설계가 된 받침 임**에도 피해가 발생함에 따라 **시공 불량**에 따른 강도부족으로 사료됨

연구개발 목표		연구결과자료
1	노후 도로망의 확률론적 내진성능 평가 및 보수보강 의사결정지원 기술 개발	도로망 시스템의 지진동 강도 공간 분포 예측 및 노후화 영향인자를 고려한 시설물의 지진동 수용력 추정기술 개발

확률적 상관관계를 고려한 지진강도 예측 및 지진동 수용력 추정 기술 개발

- **요구 지진강도(Demand) 예측 기술 개발 세부 로드맵 수립**
  - 지진의 규모(M), 진원과 구조물 사이의 거리(R), 지반특성(λ) 및 지진강도의 불확실성(η, ε) 등을 고려하여 지진강도(D_i : Spectral Acceleration, PGA 등)를 예측
    → $\ln D_i(T_n) = f(M, R_i, \lambda_i, T_n) + \eta(T_n) + \varepsilon_i(T_n)$
  - 국내외 연구사례(Lim and Song, 2012)와 국내지진 데이터 이용하여 상관도 파악
- **지진동 수용력(Capacity) 추정 기술 개발 세부 로드맵 수립**
  - 비선형 구조해석을 수행하여 IDA(Incremental Dynamic Analysis) Curve를 구하고, 이를 이용하여 지진동 별 구조물의 최대 지진동 수용력 값을 추정 후 상관도를 파악(新기술 개발)



C. Kang, and J. Song (2018), Prediction of Correlation between Seismic Capacities of Deteriorated Structures for Seismic Reliability Analysis of Complex Systems, *Korean Society of Civil Engineers 2018 Convention*, October 17-19, Gyeongju, Korea

확률적 상관관계를 고려한 지진강도 예측 및 지진동 수용력 추정 기술 개발

- **지진동 수용력(Capacity)과 요구 지진강도(Demand) 기반 구조물 내진성능 평가**
  - 취약도 함수를 통한 구조물의 파괴확률 산정
    → 안전율(Safety Factor, F_i) 기반 구조물 파괴/실패 정의 : $F_i = \ln C_i - \ln D_i \le 0$ (파괴/실패)
  - 특정 지진 시나리오에 대해 구조물별 요구 지진강도(D_i)와 지진동 수용력(C_i)을 추정하고 취약도 함수에 대입함으로써 개별 구조물의 파괴확률을 산정
    → $P(F_i \le 0 | IM) = \Phi\left[-\frac{\mu_{F_i}(IM)}{\sigma_{F_i}(IM)}\right] = \Phi\left[-\frac{\lambda_{C_i} - \lambda_{D_i}(IM)}{\sqrt{\xi_{C_i}^2 + \xi_{D_i}^2}(IM)}\right]$
- **시스템 신뢰성 해석**
  - 시스템 레벨 신뢰성 해석의 정확도를 위해 구조물 i와 j의 안전율 간의 상관계수의 영향 고려
    → $\rho_{F_iF_j} = \frac{\zeta_{C_i}\zeta_{C_j} \times \rho_{\ln C_i \ln C_j} + \zeta_{D_i}\zeta_{D_j} \times \rho_{\ln D_i \ln D_j}}{\left(\zeta_{C_i}^2 + \zeta_{C_j}^2\right)^{1/2} \times \left(\zeta_{D_i}^2 + \zeta_{D_j}^2\right)^{1/2}} = A_C \cdot \rho_{\ln C_i \ln C_j} + A_D \cdot \rho_{\ln D_i \ln D_j}$
    → A_C, A_D: 지진동 수용력과 요구 지진강도의 안전율 상관계수 기여도
    → 지진동 수용력의 상관도($\rho_{\ln C_i \ln C_j}$)와 요구 지진강도의 상관도($\rho_{\ln D_i \ln D_j}$)를 예측하여 시스템 내진성능 평가에 반영

2.3 지진동 강도 예측 기술 개발

2.3.1 지진강도의 불확실성과 공간적 상관관계 모델

일반적으로 지진동 예측 감쇠식(Earthquake Attenuation Law)은 식 (1)의 형태로 가정한다.

$$\ln Y_i(T_n) = f(M, R_i, \lambda_i, T_n) + \eta(T_n) + \epsilon_i(T_n) \quad (1)$$

이때, $Y_i(T_n)$ 는 위치 i 에서 지진으로 인해 발생한 지진 강도(예: 지반 가속도)를 의미하며 일반적으로 고유주기 T_n 에 의해 결정된다. 함수 $f(M, R_i, \lambda_i, T_n)$ 는 지진동의 감쇠를 지진 강도 M, 진앙지와 대상지와의 거리 R, 그리고 기타 설명변수 λ_i 로 정의되고, $\eta(T_n)$ 와 $\epsilon_i(T_n)$ 는 각각 상호 사건(inter-event), 내적 사건(intra-event) 잔차를 의미한다. $\eta(T_n)$ 는 서로 다른 지진사건 간의 차이를 나타내는 변수로서, 평균과 표준편차가 각각 0 과 $\sigma_\eta(T_n)$ 으로 설정되며, $\epsilon_i(T_n)$ 는 동일한 지진 사건 내의 차이를 나타내는 변수로서 평균과 표준표차를 각각 0 과 $\sigma_\epsilon(T_n)$ 로 가정한다. 서로 다른 지진 시나리오 간의 잔차인 $\eta(T_n)$ 는 동일한 고유주기 T_n 에 대해 모든 공간적 위치에서 동일하다는 가정을 내포한다. 반면, 단일 지진 시나리오 내 발생하는 잔차인 $\epsilon_i(T_n)$ 는 각기 다른 공간적 위치 간의 상관관계를 지닌 확률변수이다. 다수의 선행 연구에서 $\eta(T_n)$ 와 $\epsilon_i(T_n)$ 는 서로 독립이며 정규분포를 따른다고 가정하였다.

동일한 지진사건 내 공간적 상관관계의 불확실성을 반영하기 위해서, Goda와 Hong(2008)은 식 (2)와 같이 지진강도 잔차의 연관성을 모델링할 것을 제안하였다[1]. 공간적으로 거리가 Δ 만큼 떨어져 있는 두 지점 i 와 j 에 대해서, 각각의 위치에서 상호, 내적 사건 잔차의 합은 각각 $X_i(T_n^i) = \eta(T_n^i) + \epsilon_i(T_n^i)$ 와 $X_j(T_n^j) = \eta(T_n^j) + \epsilon_i(T_n^j)$ 이다. 이때, $\eta(T_n)$ 와 $\epsilon_i(T_n)$ 의 통계적 독립을 가정하면, 두 항의 상관계수 $\rho_{X_iX_j}(\Delta, T_n^i, T_n^j)$ 는 식 (2)와 같이 유도된다.

$$\rho_{X_iX_j}(\Delta, T_n^i, T_n^j) = \rho_{\eta\eta}(T_n^i, T_n^j)\frac{\sigma_\eta(T_n^i)\sigma_\eta(T_n^j)}{\sigma_X(T_n^i)\sigma_X(T_n^j)} + \rho_{\epsilon\epsilon_i}(\Delta, T_n^i, T_n^j)\frac{\sigma_\epsilon(T_n^i)\sigma_\epsilon(T_n^j)}{\sigma_X(T_n^i)\sigma_X(T_n^j)} \quad (2)$$

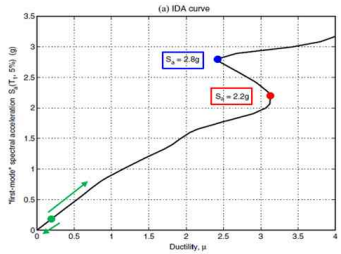


그림 2.4.1 IDA 곡선 예

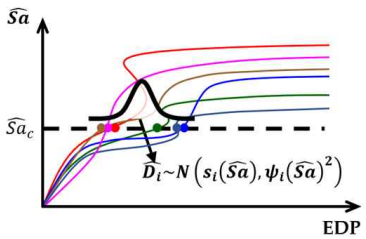


그림 2.4.2 IDA 곡선을 활용한 구조물의 EDP 분포 추정 예

2.4 지진동 수용력 추정 기술 개발

2.4.1 Engineering Demand Parameter (EDP) 기반 내진성능 평가

본 연구에서는 지진동 수용력과 요구 지진강도를 바탕으로 도로구조물의 내진성능을 평가하기 위하여, 안전계수 Fi 를 도입하여 구조물의 파괴를 $F_i = \hat{d}_i - \hat{D}_i \le 0$ 의 사건으로 정의하였다. 여기서 $\hat{d}_i$는 구조물 거동의 한계상태를 의미하며, $\hat{D}_i$는 지진동으로 인해 구조물에 발생한 거동(EDP)를 나타내며 아래 식 (1)과 같다.

$$\hat{D}_i = s_i(\widehat{Sa}_i) + \psi_i(\widehat{Sa}_i) \quad (1)$$

여기서, $\widehat{Sa}_i$는 GMPE를 통해 얻어진 지역 i의 지진강도를 의미하며, s_i는 GMPE에 내포된 불확실성으로 인한 EDP의 불확실성, ψ_i는 지진 시나리오에 대한 구조물 응답의 불확실성으로 인한 EDP의 불확실성을 의미한다.

위 정의를 바탕으로 구조물 i와 j의 안전계수 Fi, Fj 의 상관계수 $\rho_{F_iF_j}$가 아래 식 (2)와 같이 유도된다.

$$\rho_{F_iF_j} = A_s \cdot \rho_{s_is_j} + A_\psi \cdot \rho_{\psi_i\psi_j} \quad (2)$$

위 식에서 $\rho_{s_is_j}$는 GMPE에 내포된 불확실성으로 인한 상관관계이며, $\rho_{\psi_i\psi_j}$는 구조물 응답의 불확실성으로 인한 상관관계로, 두 가지 모두를 함께 고려함으로써, 도로구조물의 내진성능평가의 정확도를 높일 수 있다.

2.4.2 지진 시나리오에 대한 구조물 응답의 불확실성으로 인한 EDP의 불확실성 추정

IDA는 지진하중크기에 대한 구조물의 성능을 면밀히 추정하기 위하여 제안된 비선형 구조해석 방법론이다. 특정 지진동데이터에 상수를 곱하여 점차적으로 그 강도를 높이면서 구조해석을 수행하여 각 강도에 대한 구조물의 응답을 바탕으로 그림 2.4.1과 같은 IDA 곡선을 얻을 수 있다. 그림 2.4.2는 여러 지진동에 대하여 구조해석을 수행하여 다수의 IDA 곡선을 얻은 결과이며, 이를 바탕으로 구조물의 EDP 분포를 추정할 수 있다.

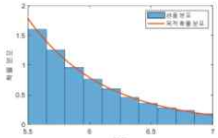
연구개발 목표		연구결과자료
2	노후 도로망의 확률론적 내진성능 평가 및 보수보강 의사결정지원 기술 개발	시나리오 기반 노후 도로망의 확률론적 내진성능 평가 샘플링 기법 개발

→ 지진의 확률론적 특성을 고려한 샘플링 기반의 내진성능 평가 방법론을 개발하였음

노후 도로시설의 내진성능관리 의사결정지원 기술 개발

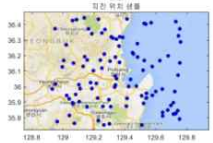
지진 기록을 통한 관심 지역 내 지진 모델 구축

- Area method 활용
- 선행 연구* 지진 기록을 활용하여 지진의 규모와 발생 빈도 간의 관계 추정



지진 모델을 활용한 지진 시나리오 생성

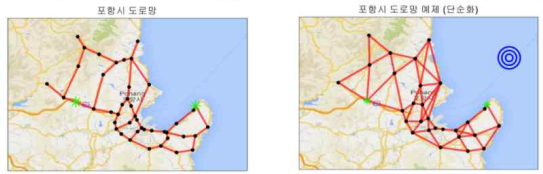
- 지진이 발생할 가능성을 지진 발생 구역 내에서 등분포로 가정
- 지진 규모에 대한 확률분포 이용하여 n_{EQ}개의 지진 시나리오 생성



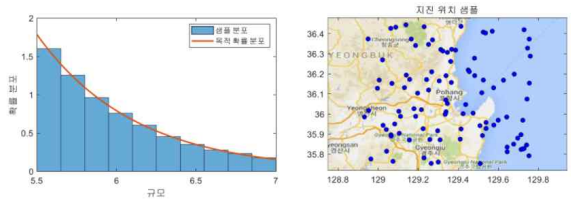
* Tak, H. Y., Suh, W., & Lee, Y. J. (2019). System-Level Seismic Risk Assessment of Bridge Transportation Networks Employing Probabilistic Seismic Hazard Analysis. Mathematical Problems in Engineering.

노후 도로시설의 내진성능관리 의사결정지원 기술 개발

- **포항시 예제("Simple version", 교량 30개)**
  - 내진성능관리 의사결정 지원 프로그램 예제 (추후 "Full version" 구조물 262개로 확장 예정)



  - 지진 규모 및 발생 위치 샘플링



2.3 도로망 시스템의 확률론적 내진성능 평가 샘플링 기법

2.3.1 지진 기록을 활용한 지진 시나리오별 도로망 시스템의 상태 시뮬레이션

(1) Gutenberg-Richter recurrence law 기반 지진 규모 발생 모델

지진의 규모에 대한 불확실성을 고려하기 위하여 관심 지역에서 지진의 발생률은 Gutenberg-Richter (G-R) recurrence law를 따르는 것으로 가정하였다. G-R recurrence law는 식 (1)과 같다.

$$\log \lambda_m = a - bm \tag{1}$$

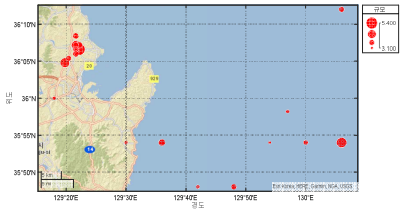
이때, m은 지진 규모, λ_m은 규모 m 이상인 지진의 발생률을 의미하며 G-R 매개변수인 a와 b는 과거 지진 기록으로부터 결정되는 상수이다. 지진의 재현 주기와 관련된 G-R recurrence law는 푸아송 과정(Poisson process)에 대한 다음의 네 가지 가정을 기반으로 한다.

- 지진은 어떠한 임의의 시간에도 발생할 수 있다.
- 주어진 시간에서의 지진 발생은 해당 시간 이외의 시간에서의 지진 발생과 독립적이다.
- 짧은 시간 내에서 발생하는 지진의 발생 확률은 구간의 길이에 비례한다.
- 짧은 시간 내에서 두 번 이상의 지진이 발생할 확률은 극히 낮다.

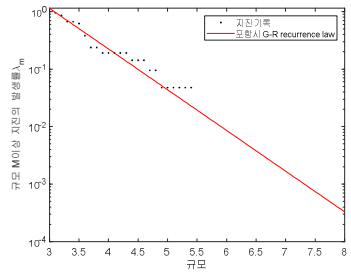
실제 도로망 시스템의 내진성능을 평가하기 위한 지진 시나리오를 생성하기 위해서는 발생 지진의 최소/최대 규모를 정해야 한다. 최소 규모보다 작은 규모의 지진에 대해서는 도로망 시스템의 손상이 발생하지 않은 것으로 간주할 수 있으며 최대 규모보다 큰 규모의 지진에 대해서는 발생 확률이 극히 낮아 발생하지 않는 것으로 간주할 수 있는 최소/최대 규모를 정한다. 이후 식(1)을 이용하여 누적 분포 함수를 구하면 식 (2)와 같다.

$$F_M(m) = P(M \le m | m_{min} \le M \le m_{MAX}) = \frac{1-10^{-b(m-m_{min})}}{1-10^{-b(m_{MAX}-m_{min})}} \tag{2}$$

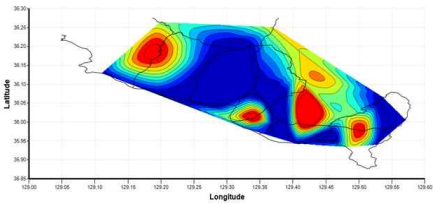
위 식 (2)에서 $F(.)$은 확률 변수인 지진 규모 M에 대한 누적 분포 함수를 의미하며 m_{min}와 m_{MAX}는 각각 최소/최대 지진 규모를 의미한다. 식 (2)를 미분하여 확률 밀도 함수를 구하면 식 (3)과 같다.



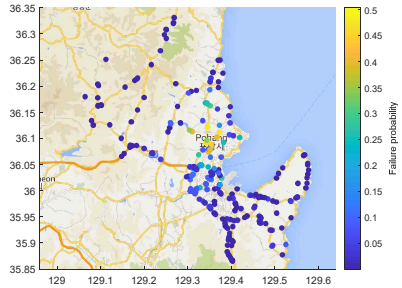
포항시 부근 지진 기록 (20개)



포항시 G-R recurrence law



포항시 지진재해도



7.0 지진에 대한 시설물별 예상 파괴확률

연구개발 목표		연구결과자료
3	노후 도로망의 확률론적 내진성능 평가 및 보수보강 의사결정지원 기술 개발	포항시 도로망 기반의 범용 예제 시범 적용을 통한 의사결정 지원 방법론 개선 및 적용성 검증

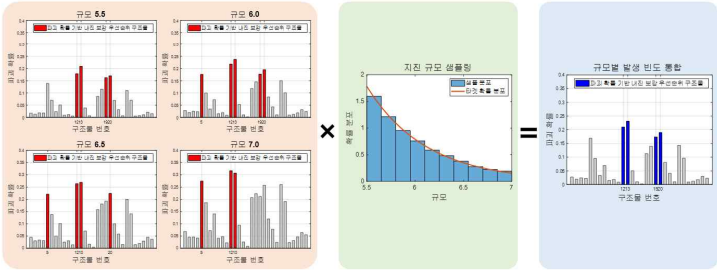
→ 지진의 확률론적 특성을 고려하여 개발한 샘플링 기반의 내진성능 평가 방법론을 검증하였음

포항시 도로망("Simple version")

- **의사결정을 위한 최종 기준 제시**
  - 직접 피해 (1. 구조물 파괴 확률 / 2. 피해 비용)
  - 간접 피해 (3. 시간에 따른 교통시간 증가 / 4. 사회경제적 복원력 저하)
  - → 도로망 교통량 저감 정도와 사회경제적 복원력 지수로부터 각각의 단일 지수 도출

예시1) 직접 피해(파괴 확률) 기반 보수 ·보강 우선 순위 의사결정: 지진의 확률론적 특성 고려

[지진 규모별 의사결정 기준] × [지진 규모별 발생빈도] = [기준별 우선순위 도출]

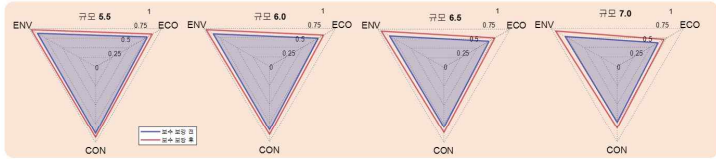


포항시 도로망("Simple version")

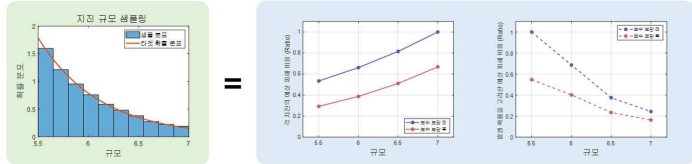
예시2) 간접 피해(도로망 성능지수) 기반 보수·보강 우선 순위 의사결정

- 정상 상태 대비 선정 구조물의 보수·보강 이후 도로망 성능 지수 변화(예상 피해 비용 산정)

[지진 규모별 의사결정 기준]



[지진 규모별 발생빈도] × [대상 구조물 보수·보강 전/후의 지진 규모별 예상 피해 비용] =



2.4 내진 보수·보강 의사결정지원 방법론 평가

2.3의 확률론적 지진 시나리오와 구조물의 취약도 곡선을 고려한 샘플링을 기반으로 네트워크 보수·보강에 대한 의사결정을 위해 다양한 지수를 산정하였다. 2.4.1과 2.4.2에 각 지수에 대한 설명, 도입방식 및 결과를 정리하였다.

그림 2.4.1과 2.4.2의 포항시 모의 도로 네트워크(30개의 노드와 57개의 양방향 링크, 총 30+57×2=144개 요소로 구성)에 대해 위 방법론의 적합성을 검증했다. 샘플링 기반의 방법론을 다음 모의 네트워크에 원활히 적용하기 위해 지진 규모를 5.5, 6.0, 6.5, 7.0으로 이산화하여 식 (5)에 대입하였다. 추후 이 방법론을 262개의 구조물(노드)로 이루어진 네트워크에 대해 확장 적용할 예정이다.

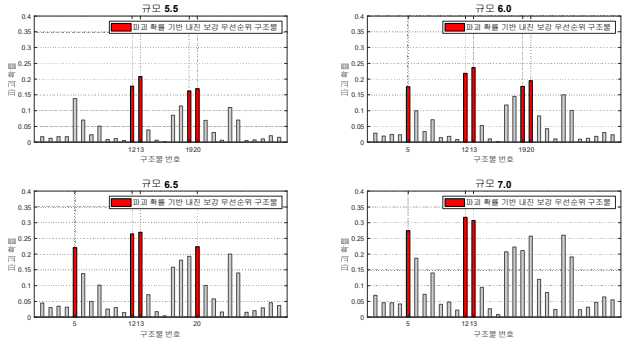
그림 2.4.1 포항시 모의 네트워크

그림 2.4.2 포항시 모의 네트워크 (교차로 추가)

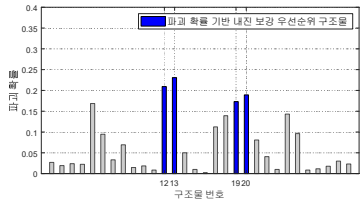
2.4.1 직접 피해 기반 보수·보강 우선순위 의사결정

(1) 구조물 파괴 확률 최소화

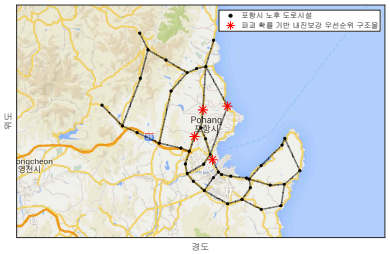
가정한 지진 시나리오에 따라 지진을 발생시켰을 때 예상 파괴 확률이 가장 높은 구조물을 우선으로 보강하는 의사결정 전략으로, 가장 직관적이고 이해하기 쉬운 전략으로 사료된다. 그림 2.4.3은 구조물별 지진 규모에 따른 예상 파괴 확률 막대그래프를 나타낸다. 지진 규모에 따라 우선적으로 보수·보강해야 하는 구조물이 다른 것을 볼 수 있는데, 이는 적절한 보수·보강 대상 구조물 선정을 위해 지진 규모별 발생빈도가 필수적으로 고려되어야 함을 의미한다. 그림 2.3.2에 나타난 포항시의 지진 규모별 상대적 발생빈도를 고려하여 예상 파괴 확률을 재산정하면 그림 2.4.4와 같다. 그림 2.4.5는 그림 2.4.4에서 가장 높은 파괴 확률을 가질 것으로 파악된 4개의 구조물을 포항 모의 네트워크에 표기한 그림이며, 대개 포항시 시내 한복판에 위치한 구조물이 선정된 것을 확인할 수 있다.



지진 규모에 따른 예상 파괴 확률



발생빈도를 고려한 예상 파괴 확률 막대그래프



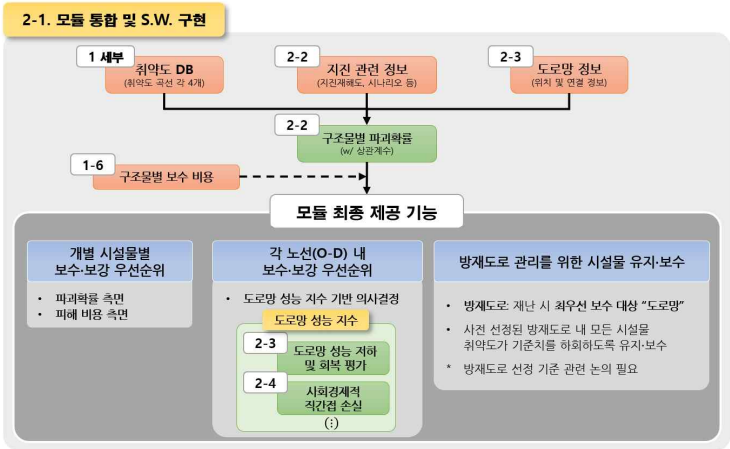
파괴 확률 기반 내진보강 우선 구조물

피해 비용 기반 내진보강 우선 구조물

연구개발 목표		연구결과자료
4	노후 도로망의 확률론적 내진성능 평가 및 보수보강 의사결정지원 기술 개발	개발된 방법론의 테스트베드 적용 및 소프트웨어 개발 지원

→ 개발한 방법론을 기반으로 포항시 도로망의 장기간 시스템 성능을 위한 보수 · 보강 의사결정 소프트웨어를 개발하였음 (지진을 대비한 보수보강 예산의 효율적 배분 가능)

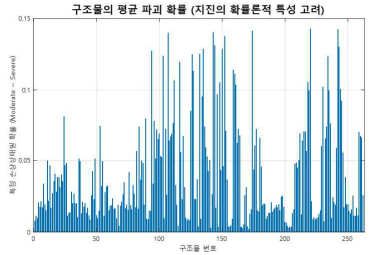
→ 내진성능 평가 결과를 기반으로 포항시의 지진 방재도로를 제안하는 알고리듬을 사용자 인터페이스 형태로 구현하였음



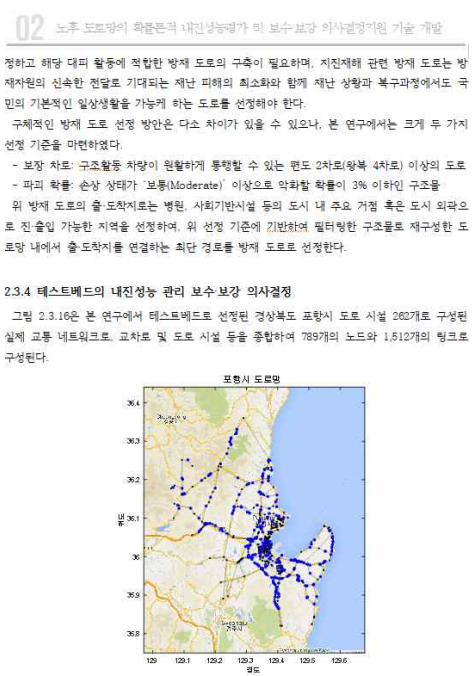
포항시 도로망("Full version")

- **개별 구조물의 손상 상태에 대한 확률 벡터와 상관계수 행렬 산정**
  → 확률 벡터와 상관계수 행렬을 기반으로 구조물 보수·보강을 통한 절약 비용 계산

- 2-3 세세부 제공 -



- **개별 구조물의 보수·보강 이후 간접 피해 감소량 산정**
  - 특정 (한 개) 구조물이 Slight 이하의 상태라고 가정
  → 위의 행렬을 기반으로 **간접 피해(통행 시간, 사회경제 지수) 재산정**
  → 정상 상태 대비 간접 피해 증가율 등을 의사결정을 위한 단일 지수로 선정



02 노후 도로망의 확률론적 내진성능평가 및 보수·보강 의사결정지원 기술 개발

정하고 해당 대피 활동에 적합한 방재 도로의 구축이 필요하며, 지진재해 관련 방재 도로는 방재자원의 신속한 전달로 기대되는 재난 피해의 최소화와 함께 재난 상황과 복구과정에서도 국민의 기본적인 일상생활을 가능케 하는 도로를 선정해야 한다.

구체적인 방재 도로 선정 방안은 다소 차이가 있을 수 있으나, 본 연구에서는 크게 두 가지 선정 기준을 마련하였다.

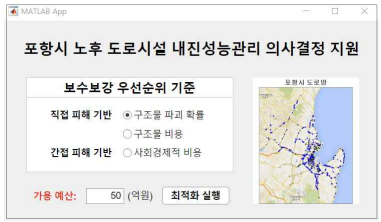
- 보장 차로: 구조활동 차량이 원활하게 통행할 수 있는 편도 2차로(왕복 4차로) 이상의 도로
- 파괴 확률: 손상 상태가 '보통(Moderate)' 이상으로 악화할 확률이 3% 이하인 구조물

위 방재 도로의 출·도착지로는 병원, 사회기반시설 등의 도시 내 주요 거점 혹은 도시 외곽으로 진·출입 가능한 지역을 선정하여, 위 선정 기준에 기반하여 필터링한 구조물로 재구성한 도로망 내에서 출·도착지를 연결하는 최단 경로를 방재 도로로 선정한다.

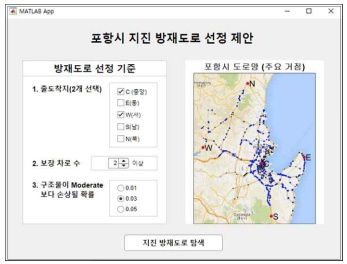
2.3.4 테스트베드의 내진성능 관리 보수·보강 의사결정

그림 2.3.16은 본 연구에서 테스트베드로 선정된 경상북도 포항시 도로 시설 2602개로 구성된 실제 교통 네트워크로, 교차로 및 도로 시설 등을 종합하여 789개의 노드와 1,512개의 링크로 구성된다.

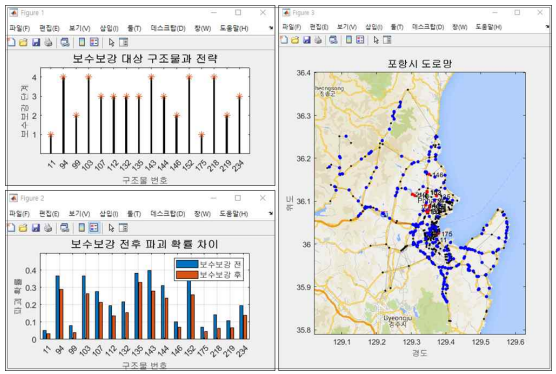
포항시 도로망



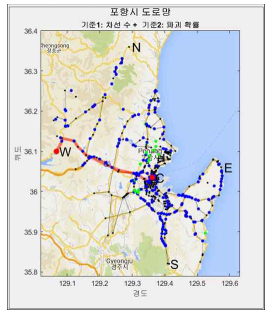
의사결정지원 소프트웨어 입력창



지진 방재 도로 선정 입력창



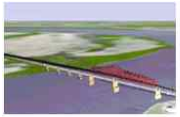
내진성능관리 의사결정지원 소프트웨어 결과창



지진 방재 도로 선정 결과창

연구개발 목표		연구결과자료
1	도로시설 노후도를 고려한 도로망 내진성능 저하 및 회복 평가 기술	도로망의 내진성능 평가를 위한 지수개발

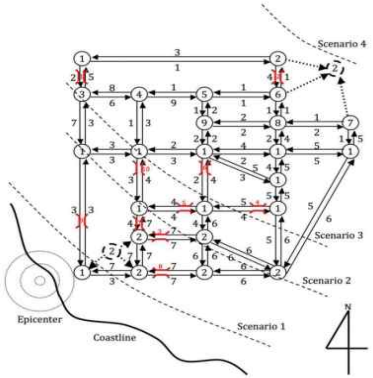
노후 도로망의 내진성능평가에 관한 기존 문헌조사 및 연구동향 파악

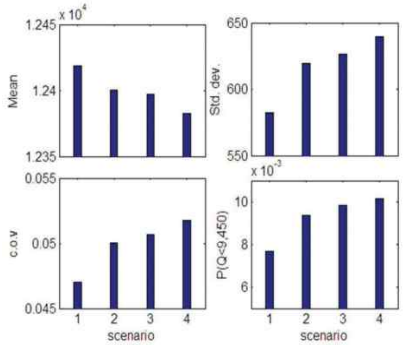


- 개별 요소 기반 지진피해 예측(1단계)
- 개별 구조물들에 대한 구조해석 시뮬레이션
- 낮은 수준의 계산비용(1990년대 이전)

- 네트워크 기반 지진피해 예측(2단계)
- 라이프라인에 대한 시스템 수준의 시뮬레이션
- 중간 수준의 계산 비용(1990년대 이후)

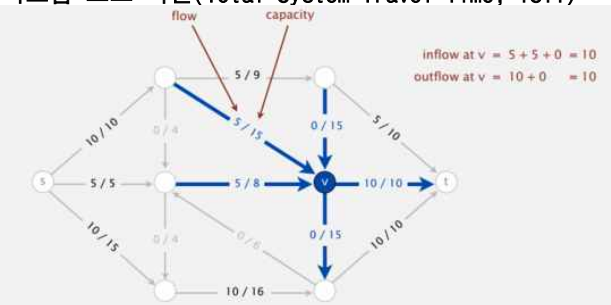
- 지역 기반 지진피해 예측(3단계)
- 라이프라인 서로간의 상호작용과 지역 전체의 취약성을 함께 고려한 시뮬레이션
- 가장 높은 수준의 계산량과 복잡성(2010년대 이후)





지진에 대한 노후도로망의 성능평가를 위한 지수개발

(1) 연결성(Connectivity)
(2) 최대통행가능량(Maximum flow capacity)
(3) 전체 시스템 소요 시간(Total System Travel Time, TSTT)

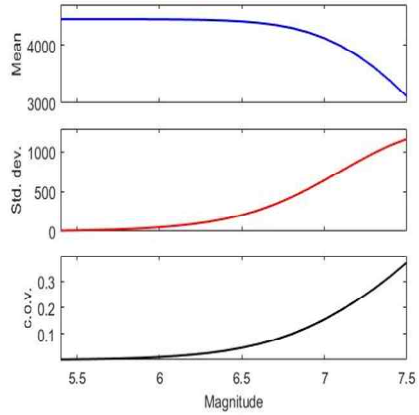


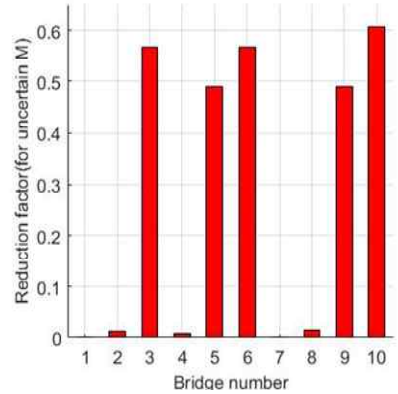
프로토타입 예제 개발

포항시 10개 교량 제원 정보

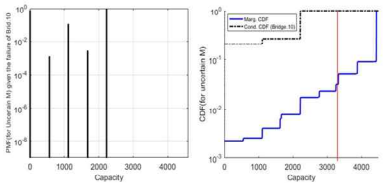
	시설명	총길이 (m)	총폭(m)	경간수	최대경간장(m)	종류	준공년도	차선수
1	곡강교	169.7	20.5	7	25.7	PSC I형교	1992	6
2	유강2교	345	7.5	7	60	강상자형교	2006	4
3	공현교	455	28	13	35	PSC I형교	2009	4
4	유강교	300	21	8	40	PSC I형교	2011	4
5	동해IC-E교	290	6.5	6	50	강상자형교	2012	2
6	세계교차로교	140	20	3	50	강상자형교	2012	4
7	칠포2교	102	9.5	7	14.6	RC슬래브교	1992	2
8	냉천교	125.2	24	5	26	강판형교	1975	6
9	내단2교	480	12.1	9	60	강상자형교	2004	4
10	서포항IC2교	115	8.5	3	45	강상자형교	2004	6

프로토타입 예제 해석 결과



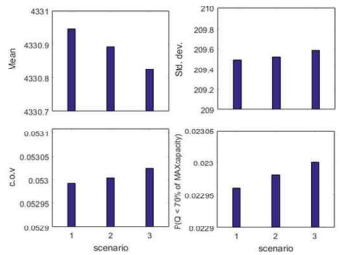


→ 10th 교량의 손상 상태를 Collapse 100%로 가정할 때의 uncertain M에서의 확률밀도함수와 누적분포함수



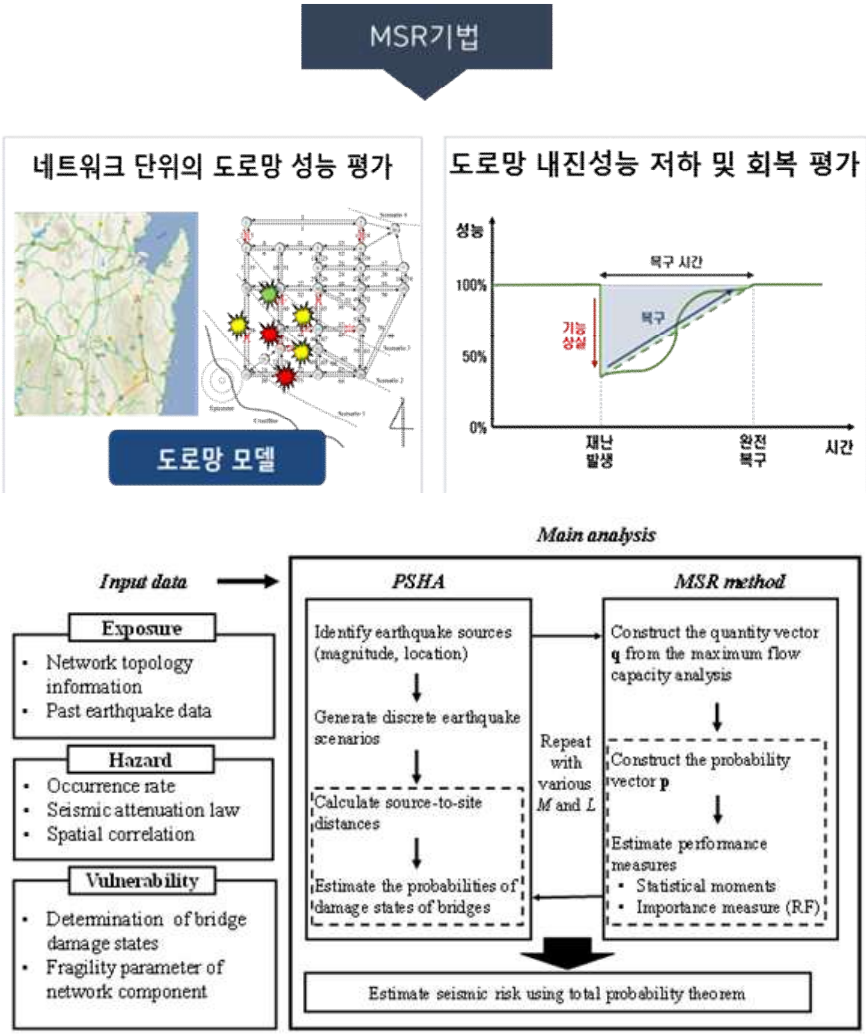
통계 변수	성능 값 (Conditional (Marginal))
평균	299.114 (4330.948)
표준편차	700.528 (209.493)
변동 계수	2.342 (0.053)

시나리오	S1	S2	S3
노후	진행되지 않음	연안으로부터 5km이내의 교량 (1,4,5,7,8)	모든 교량



연구개발 목표		연구결과자료
2	도로시설 노후도를 고려한 도로망 내진성능 저하 및 회복 평가 기술	시스템신뢰성 해석 기반 노후 도로망 성능 저하 평가 기법 개발

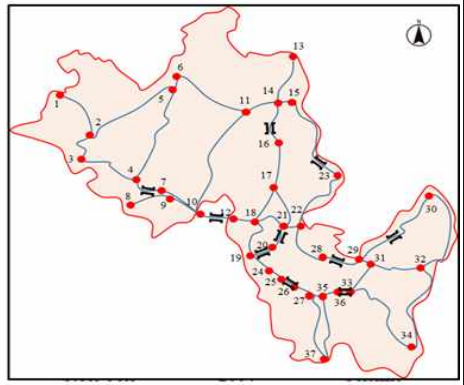
시스템신뢰성 해석 기반 노후 도로망 성능 저하 평가 기법



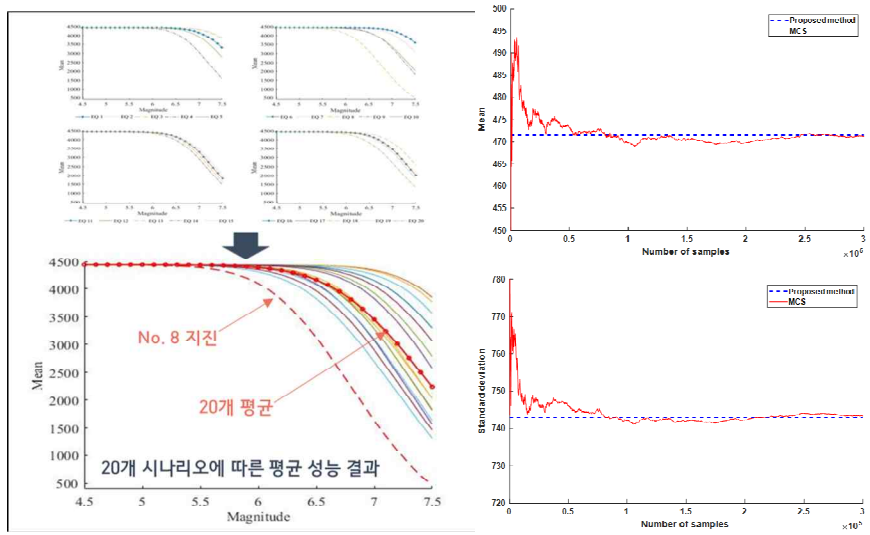
시스템신뢰성 해석 기반 노후 도로망 성능 저하 평가 예제 적용

- 포항 지역 주변 주요 교량 정보 (출처: 한국시설안전공단 FMS)

Bridge no.	Total length (m)	Width (m)	Maximum span length (m)	Type	Year of construction	Design
1	169.7	20.5	25.7			
2	345	7.5	60			
3	455	28	35			
4	300	21	40			
5	25	8	12.5			
6	140	20	50			
7	102	9.5	14.6			
8	125.2	24	26			
9	480	12.1	60			
10	115	8.3	45			



해석 결과 및 몬테카를로 시뮬레이션을 통한 검증
(몬테카를로 시뮬레이션 대비 오차 10% 이내 확인)



연구개발 목표		연구결과자료
3	도로시설 노후도를 고려한 도로망 내진성능 저하 및 회복 평가 기술	노후 도로시설 및 도로망 성능 회복 모델링 평가 기법

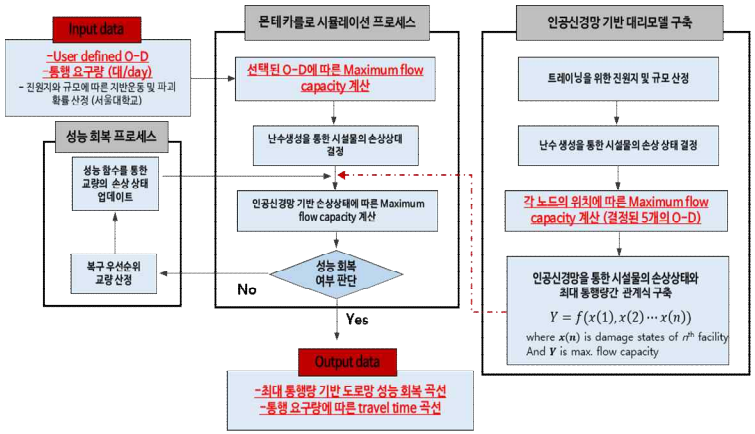
도로시설 복구를 통한 도로망 성능 회복 모델링

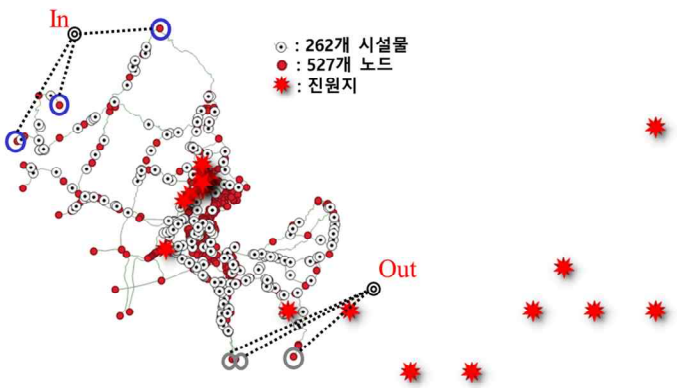
교량의 손상 상태에 따른 차량 통행 성능 및 복구 시간 (HAZUS-MH)

Damage state	Reduced capacity
Complete damage	0%
Extensive damage	25%
Moderate damage	50%
Slight damage	75%
No damage	100%

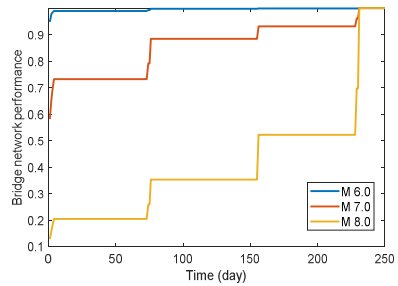
Damage State	Roadways		Highway Bridges		Highway Tunnels	
	Mean (Days)	σ (days)	Mean (Days)	σ (days)	Mean (Days)	σ (days)
Slight/Minor	0.9	0.05	0.6	0.6	0.5	0.3
Moderate	2.2	1.8	2.5	2.7	2.4	2.0
Extensive	21	16	75.0	42.0	45.0	30.0
Complete			230.0	110.0	210.0	110.0

지진발생 후 도로망의 성능 회복 평가 기법 개발

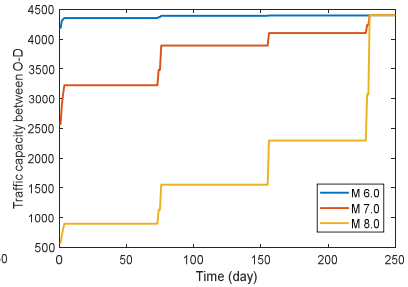




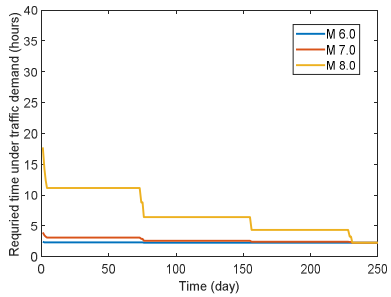
지진발생 후 도로망의 성능 회복 평가 해석 결과



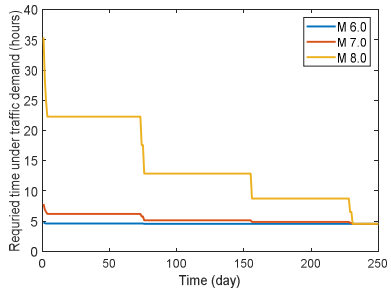
시설물 복구에 따른 교량 네트워크의 성능 변화



시설물 복구에 따른 maximum flow capacity



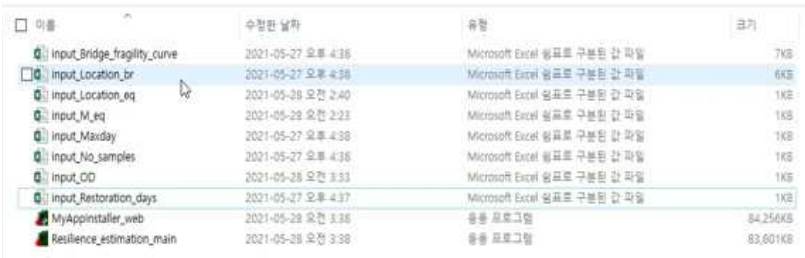
통행요구량이 10000대/hour인 경우의 필요 시간



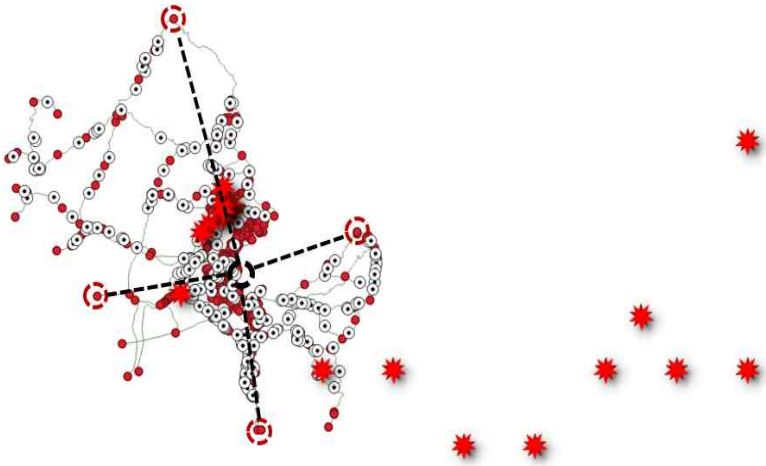
통행요구량이 20000대/hour인 경우의 필요 시간

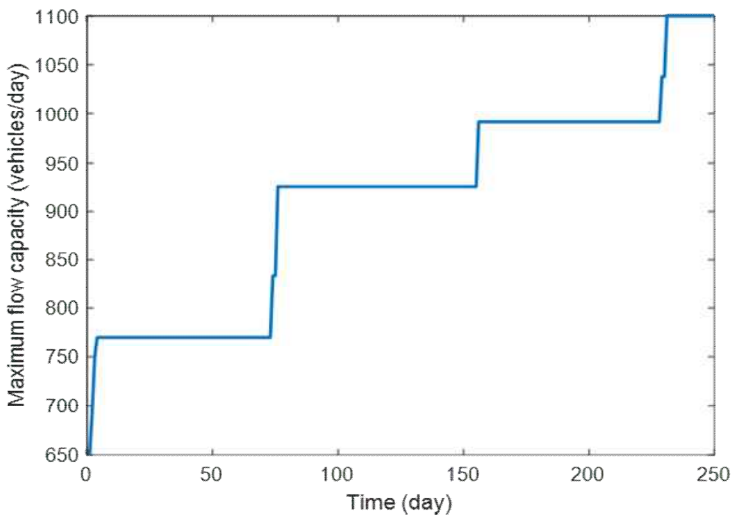
도로망 성능 저하 및 회복 평가 모듈 개발

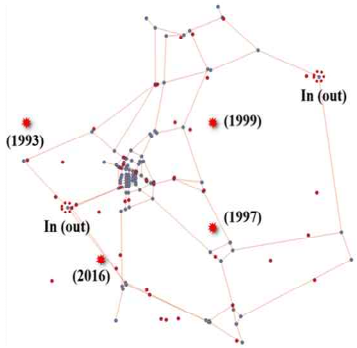
- MATLAB 기반 코드 구성 (MATLAB R2018a 기준)
- EXE파일은 MATLAB 실행없이 실행 가능
- Artificial Neural Network기반 대리 모델을 통해 회복 곡선을 도출

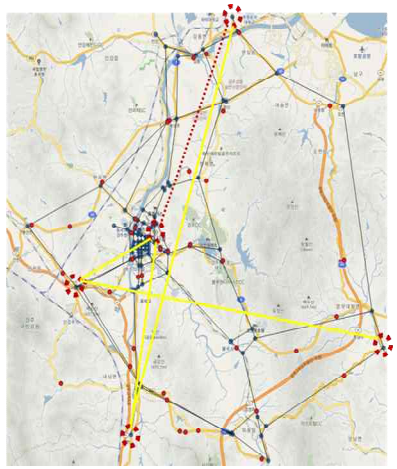


연구개발 목표		연구결과자료	
4	도로시설 노후도를 고려한 도로망 내진성능 저하 및 회복 평가 기술	노후 도로망 내진성능 저하 및 회복평가 기법의 의사결정시스템 적용	
		개발 기법의 도로시설 관리 의사결정시스템 적용 및 호환성 검증 (포항시 및 경주시 주변 도로망 적용 완료)	노후 도로망의 내진성능 저하 및 회복 평가 기법 고도화

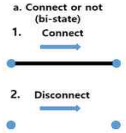
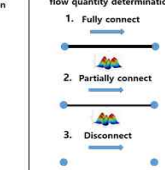
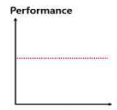
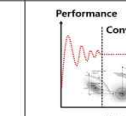








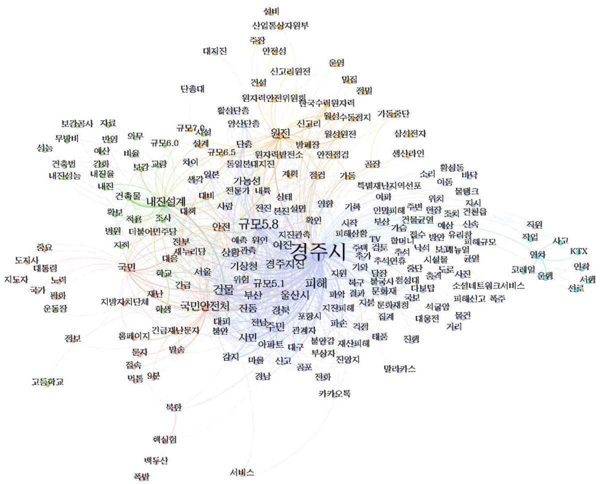
내진성능관리 의사결정지원 기술 개발을 위한 기초 및 개선사항 연구

연구목표	연구내용		
	1단계 연구 이전 (AS-IS)	1단계 연구 이후 (TO-BE)	2단계 연구 시 개선사항 (TO-BE Further)
지진에 대한 노후 도로망의 성능 평가 지수	연결성 기반 도로망 성능지수 (bi-state)	최대통행량 기반 도로망 성능지수 (multi-state)	전체시스템 통행 시간(TSTT) 기반 도로망 성능지수 (multi-state)
			
지진에 대한 노후 도로망의 범위 및 성능 평가 방법론	결정론 기반 개별 구조물 단위 도로망 성능 평가	확률론 기반 지역 단위 도로망 성능 평가	확률론 기반 전국 단위 도로망 성능 평가
			

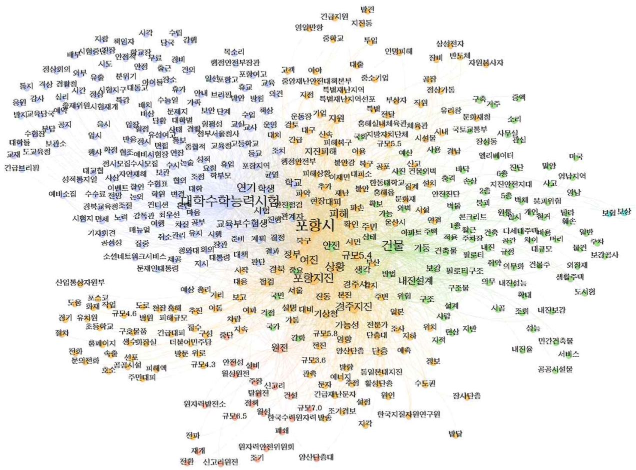
연구개발 목표		연구결과자료
1	노후 도로시설 및 도로망의 사회경제적 복원력 유형화 분석 및 평가 기술 개발	도로시설 및 도로망의 사회·경제적 복원력 유형 분석 및 평가기술 개발

빅데이터 기반 지진으로 인한 직·간접 손실 영향범위 분석

- 텍스트마이닝 기법을 활용한 국내 지진사례(경주, 포항) 분석 및 지진으로 인한 직간접 손실 유형 분류



경주지진 전체 네트워크 분석결과



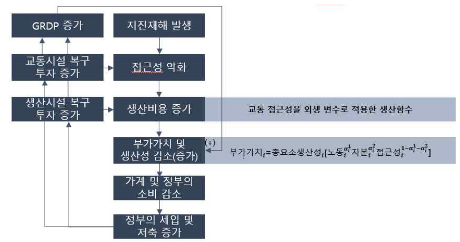
포항지진 전체 네트워크 분석결과

지진지해로 인한 사회·경제적 파급효과 분석방법론 관련 국내외 선행연구 검토

- 직간접 손실 추정방법론(HAZUS의 결정론적 방법, 투입-산출모형, 연산일반균형(CGE) 등) 관련 선행연구 검토 및 개발모형 선정

지출 / 수입	①생산활동	②상품	③노동[1]	④자본[1]	⑤가계	⑥기업	⑦정부	⑧자본계정	⑨해외부문	합계
①생산활동		국내공급							수출	총산출
②상품	중간재수요				가계소비		정부지출	투자		총수요
③노동	피용자보수								국외수취 피용자보수	노동소득
④자본	영업잉여								국외수취 기업·재산소득	자본소득
⑤가계			임금	분배이윤		이전거래	이전거래		경상이전	가계수입
⑥기업				비분배이윤	이전거래		이전거래		경상이전	기업수입
⑦정부	생산세	수입생산물세			소득세	법인세			경상이전	정부수입
⑧자본계정[2]	감가상각				가계저축	기업저축	정부저축		경상계정잉여(흑자)	총저축
⑨해외부문		輸入	국외지급 피용자보수	국외지급 기업·재산소득	민간해외 이전지출	기업해외 이전지출	정부해외 이전지출	경상계정잉여(적자)		외환지불
합계	총투입(생산비용)	총공급	노동소득	자본소득	가계지출	기업지출	정부지출	총투자	외환수취	

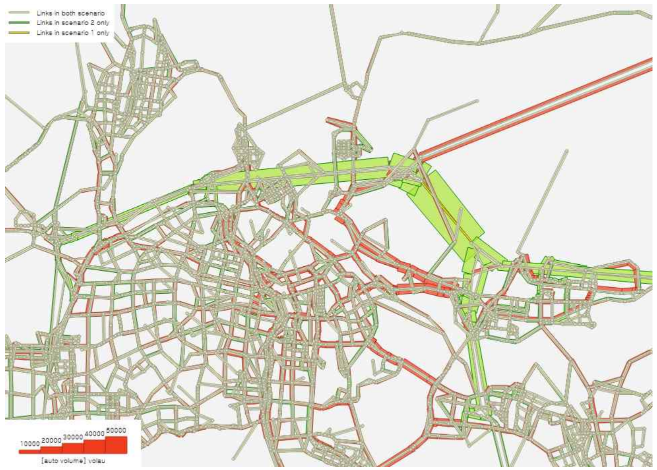
CGE 모형 개발을 위한 사회계정행렬(SAM)의 기본 구조



CGE 기반 지진재해의 파급효과 흐름 예시

지진발생에 따른 영향권 설정 방법론 관련 선행연구 검토 및 방법론 시범적용

- 선행연구 검토를 통한 사회·경제적 취약도 개념 검토
- 지진 발생에 따른 영향권 설정 방법론 관련 선행연구 검토 및 시범 적용



시범적용 결과(지진 발생 전/후 통행패턴 비교)

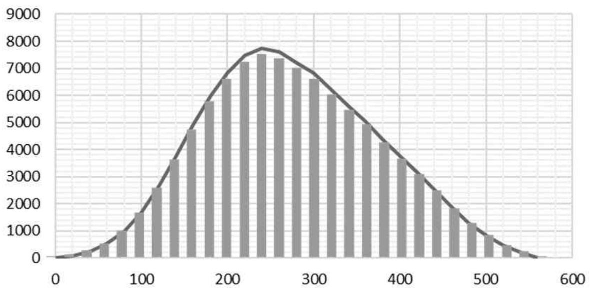
연구개발 목표		연구결과자료
2	노후 도로시설 및 도로망의 사회경제적 복원력 유형화 분석 및 평가 기술 개발	지진재해의 사회·경제적 직간접 손실 분석모형 및 복원력 유형화

도로시설 및 도로망의 사회·경제적 직간접 손실 분석모형 개발

- 지진발생 시나리오, 교량정보, 건설단가를 이용한 직접손실 산출 모형 개발

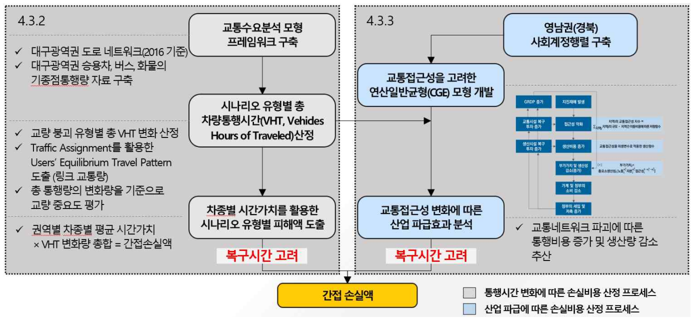
시나리오	곡강교	유강2교	공현교	유강교	흥환교	세계교	철포2교	냉천교	내단2교	서포항IC2교	파괴 확률	직접손실액 (억원)
1	5	1	4	1	5	5	5	1	5	5	0.000366191	309.9936
2	5	1	4	2	5	5	5	1	5	5	0.000343691	281.1936
3	5	1	5	1	5	5	5	1	5	5	0.00033836	244.4736
4	5	1	4	1	5	5	5	2	5	5	0.000332085	285.9552
5	5	1	5	2	5	5	5	1	5	5	0.00031757	215.6736
6	5	1	4	2	5	5	5	2	5	5	0.00031168	257.1552
7	5	1	5	1	5	5	5	2	5	5	0.000306846	220.4352
8	5	1	5	2	5	5	5	2	5	5	0.000287992	191.6352
9	5	1	4	1	5	5	4	1	5	5	0.000281548	314.8896
10	5	1	4	2	5	5	4	1	5	5	0.000264249	286.0896
11	5	1	5	1	5	5	4	1	5	5	0.000260151	249.3696
12	5	1	4	1	5	5	4	2	5	5	0.000255326	290.8512
13	5	3	4	1	5	5	5	1	5	5	0.000245205	293.4336
14	5	1	5	2	5	5	4	1	5	5	0.000244166	220.5696
15	5	1	4	2	5	5	4	2	5	5	0.000239637	262.0512
16	5	1	5	1	5	5	4	2	5	5	0.000235921	225.3312
17	5	1	4	3	5	5	5	1	5	5	0.000231256	252.3936
18	5	3	4	2	5	5	5	1	5	5	0.000230138	264.6336
19	5	1	4	1	5	5	2	1	5	5	0.000229379	324.6816
20	5	3	5	1	5	5	5	1	5	5	0.000226569	227.9136
21	5	3	4	1	5	5	5	2	5	5	0.000222367	269.3952
22	5	1	5	2	5	5	4	2	5	5	0.000221425	196.5312
23	5	1	4	4	5	5	5	1	5	5	0.000215799	223.5936
24	5	1	4	2	5	5	2	1	5	5	0.000215285	295.8816
25	5	1	5	3	5	5	5	1	5	5	0.00021368	186.8736
26	5	3	5	2	5	5	5	1	5	5	0.000212647	199.1136
27	5	1	3	1	5	5	5	1	5	5	0.000211961	375.5136
28	5	1	5	1	5	5	2	1	5	5	0.000211946	259.1616
29	5	1	4	3	5	5	5	2	5	5	0.000209717	228.3552
30	5	3	4	2	5	5	5	2	5	5	0.000208704	240.5952

시나리오별 직접손실액 피해결과(시범적용)



지진 발생 시나리오별 피해액 분포도

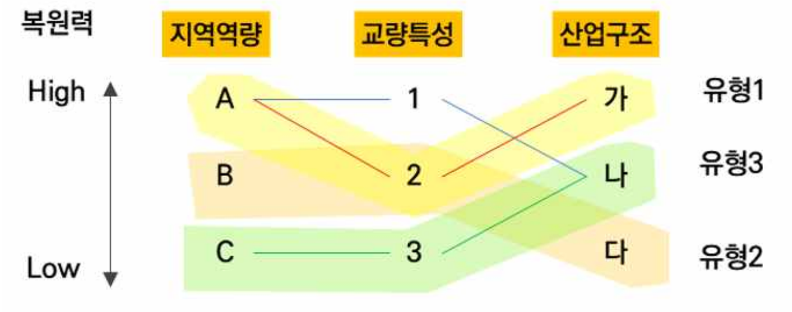
- 교통수요모형을 통합한 연산일반균형(CGE) 모형 개발



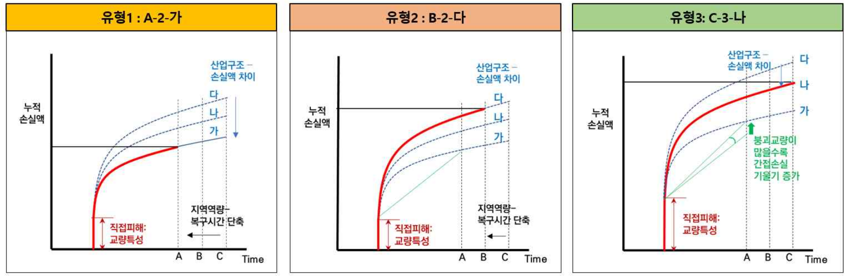
간접손실 분석모형 구조

지진 발생에 따른 사회·경제적 복원력 유형화

- 도로시설 및 도로망의 사회경제적 복원력 개념 정의, 유형화 기준 및 정량화 지표 도출



도로시설 및 도로망의 사회·경제적 복원력 유형 예시



도로시설 및 도로망의 사회·경제적 복원력 유형 예시 그래프

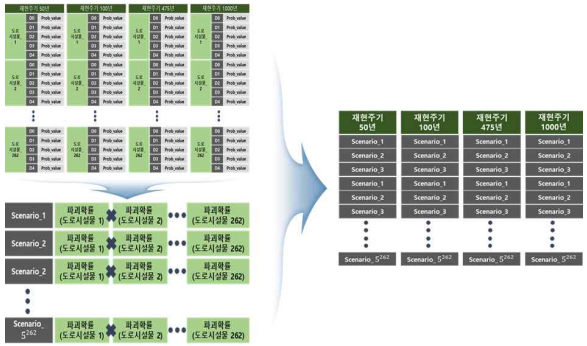
기준	대표 지표	지표 선정 사유
지역역량	•지자체별 재정자립도 및 예비비 규모	복구를 위한 신속한 재정 투입 가능 정도
	•지자체별 건설업 생산액 및 종사자 수	복구를 위한 신속한 인력 투입 가능 정도
교량특성	•지자체 내 교량 중 3종 교량의 비중	지자체 내 도로시설물의 취약 정도
	•지자체별 도로총연장	선택 가능한 대안경로
산업구조	•지자체별 도로운송서비스 생산액 비중 및 종사자 수	도로시설물 피해로 인한 간접손실 영향
	•해당 지자체의 도로운송서비스 입지계수	도로운송서비스 특화도 평가

도로시설 및 도로망의 사회·경제적 복원력 정량화 및 유형화 지표(기준)

연구개발 목표		연구결과자료
3	노후 도로시설 및 도로망의 사회경제적 복원력 유형화 분석 및 평가 기술 개발	도로시설 및 도로망의 사회·경제적 복원력 평가기술 개발

도로시설 및 도로망의 사회·경제적 복원력 평가를 위한 지진피해 예측 시나리오 구축

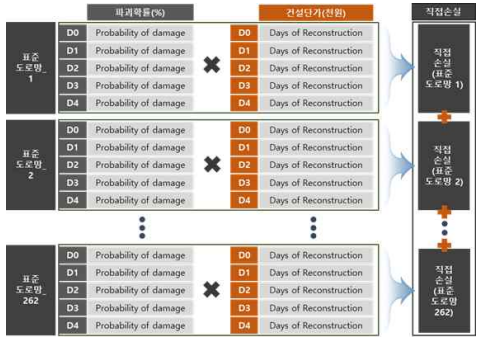
- 재현주기별로 파괴확률(발생확률)이 높은 상위 10만개의 시나리오 도출(총 40만개)



지진피해 예측 시나리오 구축 프로세스

도로시설 및 도로망의 사회·경제적 직간접 손실 추정 알고리즘 개발

- 도로시설물별 건설단가, 도로시설물의 파괴확률을 고려한 직접손실 추정 알고리즘 개발
- 지진으로 인한 도로시설물 붕괴에 따라 발생하는 지역 간 통행시간(VHT) 증가에 따라 발생되는 통행지연, 교역감소, 생산 및 소비량 변화, 효용변화를 고려한 간접손실 추정 알고리즘 개발

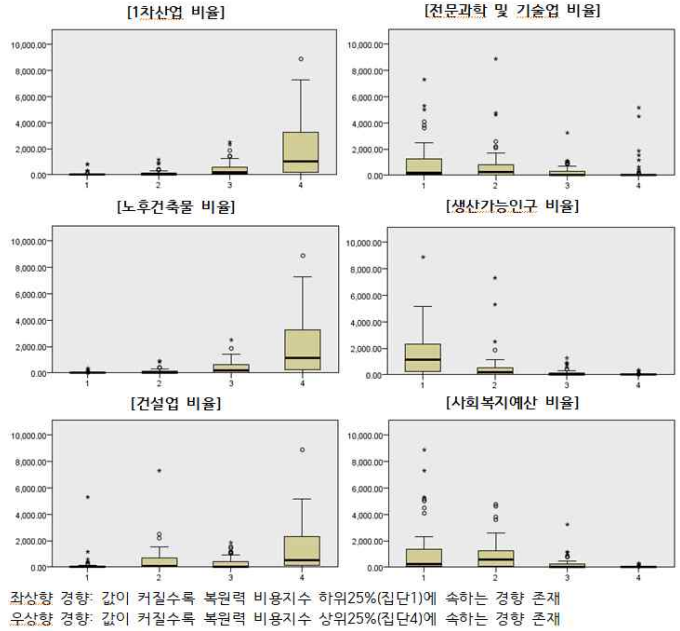


직접손실 추정 알고리즘

간접손실 추정 알고리즘(공간연산일반균형(SCGE) 모형)

도로시설 및 도로망의 사회·경제적 복원력 평가기술 개발

- 지역 차원의 사회·경제적 복원력 개념화 및 복원력에 영향을 미칠 수 있는 요인 도출 및 평가지표 구성
- 집단 간 비교분석(Kruskal-Wallis)을 통한 평가지표 검증 및 사회·경제적 복원력 평가 알고리즘 개발



평가지표 검증결과(Kruskal-Wallis 분석결과)

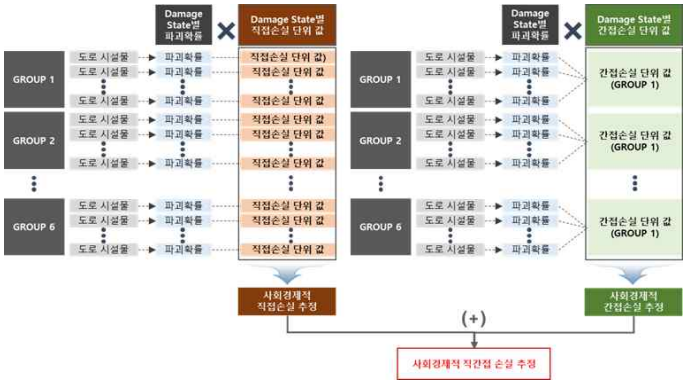
사회·경제적 복원력 평가 알고리즘

연구개발 목표		연구결과자료
4	도로시설 및 도로망의 사회·경제적 복원력 평가기술 검증 및 적용	도로시설 및 도로망의 사회·경제적 복원력 평가기술 검증 및 적용

Test Bed의 지진발생에 따른 사회·경제적 직간접 손실 예측 및 분석

- 지진규모별(Magnitude: 5.5, 6.0, 6.5, 7.0) 발생확률 상위 10만개의 지진 시나리오별 포항시(Test Bed)의 직간접 손실 예측

지진피해 시나리오별 발생확률 산정 프로세스



사회·경제적 직간접 손실추정 프로세스

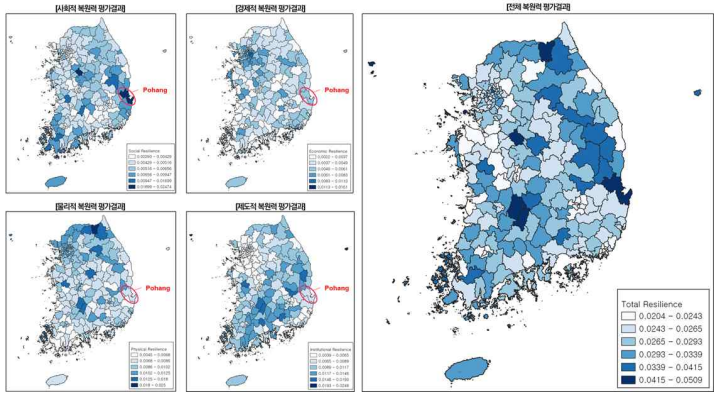
(단위: 천원)

구분	지진규모(Magnitude)							
	5.5		6.0		6.5		7.0	
	직접손실 (전체)	간접손실 (일 단위)	직접손실 (전체)	간접손실 (일 단위)	직접손실 (전체)	간접손실 (일 단위)	직접손실 (전체)	간접손실 (일 단위)
평균 값	392,483	42,420	734,690	88,253	898,617	100,389	1,703,512	183,057
최대 값	1,034,165	101,402	2,256,368	239,535	2,961,184	312,468	4,925,596	426,438

사회·경제적 직간접 손실추정 결과

Test Bed의 지진발생에 따른 사회·경제적 복원력 평가

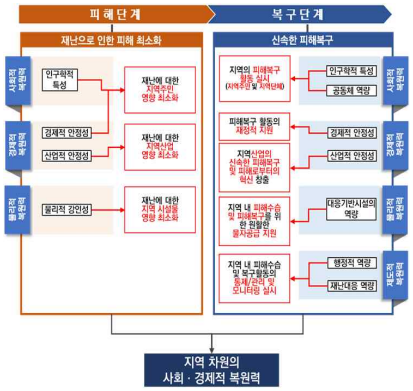
- 포항시(Test Bed) 포함 전국 228개 시군구 지역 대상 복원력 평가
- 지역 간 비교분석을 통한 포항시(Test Bed)의 상대적인 복원력 수준 분석



복원력(사회·경제적 복원력) 평가결과

Test Bed의 사회·경제적 복원력 증진 및 향상방안 도출

- 복원력 증진 및 향상을 위한 지역 차원의 주요 요소(키워드) 도출
- 복원력 증진 및 향상 측면에서의 주요 요소(키워드) 간의 상대적 중요도 분석



지역 차원의 사회·경제적 복원력의 개념도

평가측면	주요 요소	평가지표	Entropy Weight
사회적 복원력	인구학적 특성	고등교육 이수 거주민 비율	0.01796
		재난취약계층(노인, 어린이) 거주비율	0.00127
		건강 위험군 거주비율	0.00057
	공동체 역량	자원봉사 참여율	0.00353
		인구 천명당 자원봉사자 등록 수	0.00286
		자원봉사 활동 지원예산액 비율	0.14361
		청장년층 인구 거주비율	0.00235
경제적 복원력	경제적 안정성	인구당 평균 월 소득액	0.00301
		사업체당 종사자 수	0.00615
		재정자립도	0.02584
		총 예산액	0.03958
	산업적 안정성	산업 다양성 지수	0.00226
		1인당 지역 내 총생산(GRDP)	0.05242
		생산가능인구 비율	0.00079
		고부가가치산업 비율	0.03090
		연구개발지원예산 비율	0.04500
물리적 복원력	물리적 강인성	시설물 안전등급(점수)	0.00055
		노후건축물 비율	0.03124
		방치된 빈집 비율	0.03138
	대응기반시설의 역량	인구 천명당 재난대피소 수	0.03598
		도로 포장률	0.00094
		지역 면적당 도로 연장길이	0.08909
제도적 복원력	행정적 역량	인구 천명당 공무원 수	0.01968
		재난취약계층 천명당 사회복지시설 종사자 수	0.02408
		사회복지 예산비율	0.02856
	재난대응 역량	재난관리 관련 예산비율	0.06928
		인구 천명당 재난관리 관련 부서 내 공무원 수	0.05232
		인구 천명당 병상 수	0.04102
		인구 천명당 의료인력 수	0.04949
		인구 천명당 경찰관서 수	0.07536
		인구 천명당 소방관서 수	0.05910

복원력 관련 주요 요소(키워드)의 상대적 중요도 분석 결과

연구개발 목표		연구결과자료
4	도로시설 및 도로망의 사회·경제적 복원력 평가기술 검증 및 적용	도로시설 및 도로망의 사회·경제적 복원력 평가기술 자문결과

재난에 대한 지역 복원력(단계, 평가측면, 주요 요소, 키워드, 평가지표)의 개념적 정의	재난에 대한 지역 복원력(평가측면별 복원력, 전체 복원력) 산정식

재난에 대한 지역 복원력 평가방법에 대한 전문가 자문결과

1. 재난에 대한 지역 복원력(단계, 평가측면, 주요 요소, 키워드, 평가지표)의 개념적 정의

번호	자문의견
1	- 재난에 대한 지역 복원력을 피해단계와 복구단계로 구분한 것은 복원력 평가에 매우 효과적일 것으로 판단됨. 피해단계와 복구단계의 특성이 뚜렷이 구분될 뿐 아니라 두 단계가 혼재된 상태에서는 복원력을 요소별로 구분하는 것이 상당히 어려울 수 있기 때문임
2	- 피해단계와 복구단계로 구분된 개념은 적절하다고 판단됨
3	- 재난에 대한 지역 복원력을 피해와 복구단계로 구분하고, 이를 사회적, 경제적, 물리적, 제도적 측면으로 구분한 것에 이의는 없음 - 다만, 해당 복원력 평가지표가 '어느 정도' 지역에 영향/피해를 주는 재난(윗거 충격이나 스트레스)를 한정하거나 정의한다면 더욱 명확할 것으로 판단됨
4	- 어떤 지역이 재난의 피해를 견디어 내고, 빠르게 복구하며, 더 나은 상태로 회복할 수 있는 역량을 복원력으로 정의한다는 관점에서 적절한 것으로 판단됨
5	- '피해단계'라는 명칭보다는 '피해저감단계'로 명칭을 변경하는 것이 적합할 것으로 판단됨 - 본 연구에서 명한 피해단계는 재해발생 전에 예방능력 강화에 따른 충격발생시 피해를 저감할 수 있는 능력을 측정하는 단계이기 때문에 단순 '피해단계'보다는 '피해저감 단계'로 명하는 것이 적절하다고 판단됨

2. 재난에 대한 지역 복원력(평가측면별 복원력, 전체 복원력) 산정식

번호	자문의견
1	- 현재로서는 적정하게 정의되었다고 판단됨
2	- 지표를 구성하는 방식은 일반적으로 사용되는 방식으로 큰 문제는 없다고 판단됨
3	- 복원력 지표를 목표지향적인 측면에서 정의하고 평가지표도 그러한 목표달성과 관련된 지표 중심으로 구성한 것에 대해서는 공감함 - 단, 이 경우 정책적인 통제가능성(지표 값을 변화시키는 것)을 염두해 둔 지표가 중심이 될 것임
4	- 적절한 것으로 판단되나, 가중치의 산정이 쉽지는 않을 것으로 판단됨

4. 목표 미달 시 원인분석(해당 시 작성)

- 해당 없음

5. 연구개발성과의 관련 분야에 대한 기여 정도

○ 기술적 측면

- 국내 교량의 지진취약도 라이브러리 DB를 통해 기존의 많은 시간소모를 요구하던 개별 구조물 별 상세해석 기반 내진성능평가에 기여 가능
- 대표 교량에 따른 지진취약도 라이브러리 DB를 통한 표준화된 교량의 취약도함수 평가 절차 제시 가능
- 교각의 내진성능수준 별 횡변위비를 제시하였으므로, 이를 토대로 교각의 취약도를 구할 수 있음.
- 철근부식을 고려한 교각 해석모델을 개발하였으므로, 이에 대한 추가 검증을 통해 실무에서 활용 가능
- 교량받침의 정량화된 손상수준을 제시하여 교량의 지진취약도 평가 기반 기술 마련
- 기존 교량 내진성능 평가 시 교량받침의 노후도를 반영하여 내진성능을 평가할 수 있도록 평가요령, 지침, 세부지침 등의 제·개정 시 활용. 다만, 면진받침 및 면진장치 등에 대한 노후도 평가를 위해서는 이에 대한 추가적인 연구가 필요함
- 터널, 사면, 옹벽 시설물의 노후도를 고려한 지진해석 및 리스크 평가기술은 국외에서도 체계적으로 연구된 사례가 없는 고급 기술로써 국내 엔지니어링 기술력 제고에 기여할 것으로 기대됨
- 노후도를 고려한 터널, 사면, 옹벽 시설물의 지진취약도 라이브러리 DB를 구축 및 제공하여 각 시설물의 취약도를 평가할 수 있음.
- 도로시설물 대표 재료인 콘크리트와 철근의 노후화에 따른 거동 특성을 개발함으로써 콘크리트와 철근을 사용한 모든 구조물의 노후화에 따른 거동 변화 분석에 필요한 기초 자료 제공
- 시설물의 구성요소 및 손상모드별 보수보강기법의 내진성능 향상효과에 대한 D/B 라이브러리를 구축하고 교각 보수보강에 따른 내진성능 향상도를 평가하여 내진성능 향상효과 D/B를 보완
- 강판보강, FRP보강, 단면확대 등 주요 보강공법의 내진성능 향상효과를 Pushover 해석을 통해 모멘트-곡률, 강도-변위 변화를 해석하고, 이를 통해 효율적인 보수보강공법을 도출하여 보수보강공법의 가이드라인 마련 가능
- 요구 소성변형 기준뿐만 아니라 구조물의 연성에너지 평가를 통한 보수보강 성능향상 평가방안 보완
- 개별시설물이 아닌 도로망 관점의 정량적인 직접피해 및 간접피해 규모예측기술 확보함으로써, 도로시설물이 본래 목적인 도로기능을 유지·관리 할 수 있게 지원할 수 있는 툴 제공
- 의사결정자를 지원하기 위한 공간정보를 활용한 직관적인 내진성능관리 의사결정지원 기술체계구축
- 지진의 불확실성을 고려한 시나리오(지진시나리오, 교통시나리오)기반 내진성능관리 기술 개발
- 현재 국내 실무에서 내진성능관리를 위해 사용중인 결정론적 방법인 “지수평가“는 내진보강 우선순위만 제공하고 있지만, “지진위험도평가” 방법을 개발함으로써 다양한 내진성능관리 의사결정을 수행할 수 있는 정량적이고 기술적인 토대 마련
- 내진보강에 대한 효과를 직접적이고 정량적으로 검증할 수 있음
- 노후 도로망 시스템의 내진성능 확률론적 평가 및 보수·보강 의사결정지원 방법론 개발
- 지진 발생 시 최적의 복구 시나리오 및 복구 우선순위에 대한 가이드라인 제시 가능
- 정확한 성능지수에 기반한 네트워크 관점에서의 내진 성능 및 회복력 평가에 대한 국내 기술력 확보
- 시설물의 피해사례 및 내진성능 보수보강공법 연구를 통해 시설물 유지관리측면에 대한 기술력 확보
- 지진피해로 인한 도로시설 및 도로망 피해발생에 따른 지역 단위의 사회·경제적 복원력 평가체계 구축
- 환경부, 산업부, 행안부, 지방자치단체의 다양한 시설에 대한 지진복원력 평가에 적용 가능하므로, 타부처의 유사연구에 본 연구결과를 활용하여 의사결정 기술 개발 가능

○ 경제적·산업적 측면

- 교량받침에 대한 노후도 평가 원천 기술을 활용하여 보강설계 시기 결정기술 확보
- 교량받침 내진설계/내진보강의 기술개발 유도 및 품질 향상, 기술경쟁력 강화
- 교량받침 등에 대한 노후도를 반영함으로써 교량의 내진성능을 정확히 평가하여 불필요한 내진보강에

의한 경제적 손실을 방지할 수 있으며, 선제적 보수보강으로 장기적인 유지관리비를 절감하여 경제적 손실을 저감할 수 있음, 또한, 불필요한 내진보강을 방지하여 관리주체의 내진보강사업의 합리적인 예산 편성 시 활용

- 터널에 대한 노후도 평가 기술을 통해 사전에 보강함으로써 피해 및 복구로 인한 경제적 손실 절감
- 지진파를 이용하여 도로망 주변의 옹벽과 사면노반의 유한요소신뢰성해석을 통한 지진취약성 분석으로 옹벽과 사면노반의 피해 및 손실을 예측하는 것이 가능
- 정량적인 직·간접피해 규모를 예측하고 이를 통해 내진보강효과를 검증할 수 있게 함으로써, 보다 경제적이고 합리적인 내진성능관리 가능
- 개별시설물이 아닌 도로망 중심의 내진성능평가를 수행함으로써, 설계된 본래의 도로기능을 상시 유지할 수 있게 하고 이를 통해 교통지연으로 유발되는 간접손실을 획기적으로 줄일 수 있음
- 확률론적 내진보강 의사결정으로 인한 관련 정부예산 절감
- 지진 시 발생할 수 있는 각종 인명, 재산피해를 사전에 예측, 방지함으로써 경제적인 손실을 줄일 것으로 기대
- 노후 도로시설의 보강시기 결정을 위한 의사결정 시스템의 활용으로, 최적의 시기에 최대의 효과를 발행 시킬 수 있는 보강기술을 적용함으로써, 경제적 설계가 가능
- 내진성능관리 의사결정지원 시스템기반의 효율적인 예산분배
- 노후 도로망 시스템의 내진성능 확률론적 평가 및 보수·보강 의사결정지원 방법론, 지진 복원력 향상 및 평가기법 개발을 통한 도로 시설물 유지관리 및 피해복구에 필요한 소관 부처의 예산 절감
- 최적의 복원력 시나리오에 따른 효율적인 예산집행 가능 및 2차 피해에 의한 경제적 손실 절감
- 사전에 도로망에 대한 정비계획을 세울 수 있을 뿐만 아니라, 지진이 발생한 직후에 복구방법에 대한 전략을 제시
- 내진 성능 평가 및 보수보강 활성화에 따른 관련 산업 활성화
- 교통량에 따른 교통흐름을 재분배할 수 있으며, 재난지원에 대한 전략수립
- 지진에 대한 사회·경제적 복원력 향상 및 평가기법 개발을 통한 도로 시설물 유지관리 및 피해복구에 필요한 소관부처의 예산 절감

○ 사회적 측면

- 교량받침 손상수준에 따른 효과적인 시설물의 유지관리가 가능하여 관련 산업의 전문성 제고와 지속적 운영에 기여 가능
- 교량받침 등에 대한 노후도를 반영함으로써 교량의 내진성능의 신뢰도를 높이고, 기존 교량의 내진성능의 과대평가를 방지하며, 선제적인 보수보강으로 장기적인 유지관리비 저감이 가능
- 터널, 옹벽, 사면의 노후도를 고려한 취약성 평가 방법을 개발함으로써 신뢰도 높은 사회 안전망 구축
- 도시 내 전체 노선을 포함하는 도로망을 대상으로 교통해석을 수행함으로써, 노선 간 내진성능을 비교할 수 있고 이를 통해 지진 직후 생존 물자를 공급할 수 있는 최적의 방재도로 선정 가능
- 시나리오 기반의 도로망 내진성능평가 및 피해예측을 수행하고, 지진 직후 실제지진과 가장 유사한 시나리오 결과(피해예측)를 활용하여 적절한 초동 대응할 수 있도록 할 수 있는 정보제공
- 도로시설물 관리를 위한 의사결정에 도로중요도, 노후거동특성, 부재내진성능, 지진취약도함수 및 내진보수보강 방법별 효과를 평가할 수 있는 다양한 의사결정기준을 적용하여 관리주체가 추구하고자 하는 정책 및 목표를 효과적으로 달성할 수 있도록 지원가능
- 시설물 생애주기 전반에 대한 운영비용을 정확하게 추정함으로써 사회적 이익 및 국민 복지 향상에 기여 가능
- 노후 도로시설의 재난복원력 제고를 통한 재난 예방 및 체계적 관리
- 지진재난 대비를 통해 재난에 대한 국가 시스템 안정성 확보
- 노후 시설물 재난대응관련 기술 개발을 통한 안전산업 활성화 및 신성장 동력 발굴
- 대형 지진재난으로부터 국민의 생명과 재산보호
- 노후 도로시설의 사회·경제적 복원력 현황파악 및 향상방안 마련을 통한 재난 예방 및 체계적 관리 도모

6. 연구개발성과 관리 및 활용 계획

1) 연구성과 총괄

과제명 (세부과제명)	해당 기관명	핵심연구성과	요소기술*	정부출연금 (백만원)	기술실시계약 대상여부**	비고
1세부 : 도로시설의 노후도를 고려한 물리적 지진취약도 평가 기술 개발	주관 : 인하대학교 산학협력단	노후 교량의 지진취약도 기술	1-가. 대표 교량별 지진취약도 라이브러리 DB	1,434.75	*비대상*	
	공동 : 국민대학교 산학협력단	노후 교각의 내진성능평가 기술 개발	1-나. 노후도를 고려한 철근콘크리트 교각의 비선형 수치해석 모델	2,582.55	*비대상*	
	공동 : 울산대학교 산학협력단	노후 교량받침부의 내진성능평가 기술	1-다. 노후 교량받침부 내진성능평가 기술	1,434.75	*비대상*	
	공동 : 한양대학교 산학협력단	터널, 사면, 옹벽의 노후도를 고려한 지진취약도 평가 기술	1-라. 터널, 사면, 옹벽 지진취약도 기술 절차서	573.90	*비대상*	
	공동 : 경상국립대학교 산학협력단	도로시설물 대표재료의 노후화 특성 모델	1-마. 콘크리트 및 철근의 노후화 특성 모델	750.00	*비대상*	
	공동 : 한밭대학교 산학협력단	교각보강성능 향상 평가 기술	1-바. 노후화된 교각의 FRP, 강판보강에 따른 구조적 내진성능 평가	821.392	*비대상*	
소 계				7,597.342		
2세부 :	협동 : 국토안전관리 원	실증기반 내진성능관리 의사결정 지원 시스템	2-가. 도로시설물 내진성능관리 의사결정 기술매뉴얼	299.484	*비대상*	
			2-나. 의사결정지원 소프트웨어	329.073	*비대상*	
	공동 : 서울대학교 산학협력단	노후 도로망의 확률론적 내진성능 평가를 이용한 보수보강 의사결정지원 기술	2-다. 내진성능관리 의사결정지원 알고리듬	446.367	*비대상*	
	공동 : 울산과학기술 원	도로시설 노후도를 고려한 도로망 내진성능 저하 및 회복 평가 기법	2-라. 의사결정시스템 적용을 위한 도로시설 노후도를 고려한 도로망 내진성능 저하 및 회복 평가 기법	446.367	*비대상*	
	공동 : 연세대학교 산학협력단	노후 도로시설 및 도로망의 사회·경제적 복원력 평가기술	2-마. 도로시설 및 도로망의 사회·경제적 복원력 평가기술	446.367	*비대상*	
소 계				1,967.658		
연구단 운영비				-		
합 계				9,565.000		

구 분	1-가
요소기술명	대표 교량별 지진취약도 라이브러리 DB
기술개요	노후 도로시설물의 내진성능관리 의사결정 시 도로망 내의 구조물에 대한 지진취약도 평가를 수행할 필요가 있음. 하지만, 모든 구조물에 대해 상세 지진취약도 해석을 하는 것은 많은 인력과 시간이 필요한 작업이므로 사전에 대표 구조물에 대한 지진취약도 해석을 통해 이러한 문제점을 극복하고자 함. 본 기술은 대표 교량에 대한 사전 지진취약도 해석을 통해 해석 결과를 라이브러리 DB화하여 내진성능관리 의사결정지원 소프트웨어 탑재를 목표로 함.
관련 키워드	노후 교량, 대표 교량, 지진취약도 해석, 지진취약도 곡선
기술 분류	*EI1101*
결과물 유형*	□공법/기법 □장비/장치 □재료/자재 ■SW □시스템 □기준/지침 □기타
기술수명주기**	□기술도입기 ■기술성장기 □기술성숙기 □기술쇠퇴기

구 분	1-나
요소기술명	겹침이음 부식 고려 철근콘크리트 부재 해석 프로그램
기술개요	겹침이음 부식 고려 철근콘크리트 부재 해석 모델을 유한요소해석 프로그램으로 개발
관련 키워드	철근콘크리트, 겹침이음, 유한요소해석, 프로그램
기술 분류	*EI1101*
결과물 유형*	□공법/기법 □장비/장치 □재료/자재 ■SW □시스템 □기준/지침 □기타
기술수명주기**	□기술도입기 ■기술성장기 □기술성숙기 □기술쇠퇴기

구 분	1-다
요소기술명	노후 교량받침부 내진성능평가 기술
기술개요	1-가 요소기술인 노후 도로시설물의 내진성능관리 의사결정 시 도로망 내의 구조물에 대한 지진취약도 평가 시 대표 교량에 대한 사전 지진취약도 해석을 수행할 때 교량 구성요소 중 교량받침에 대해서 노후도를 반영한 내진성능평가 기술을 제시하는 것을 목표로 함.
관련 키워드	노후 교량, 교량받침, 탄성받침, 손상수준
기술 분류	*EI1101*
결과물 유형*	■공법/기법 □장비/장치 □재료/자재 □SW □시스템 □기준/지침 □기타
기술수명주기**	□기술도입기 ■기술성장기 □기술성숙기 □기술쇠퇴기

구 분	1-라
요소기술명	터널, 사면, 옹벽 지진취약도 기술 절차서
기술개요	도로망에서 지반지형과 인접한 구간의 경우 터널, 사면, 옹벽 등의 지반구조물을 건설하여 도로망의 안정성을 확보하게 되는데, 지진 시 터널, 사면, 옹벽의 취약도를 평가하는 기술은 정립되어 있지 않음. 따라서 국내 도로망 터널, 사면, 옹벽에 적용 가능한 지진취약도 곡선을 제시하였고, 지진취약도 평가도 함께 수행함. 본 기술은 터널, 사면, 옹벽의 지진취약도를 평가하는 과정을 수록한 기술 절차서이며, 추후 내진성능평가에 반영되는 것을 목표로 함.
관련 키워드	터널, 사면, 옹벽, 지진취약도 평가, 지진취약도 곡선, 내진성능평가
기술 분류	*EI0306*
결과물 유형*	■공법/기법 □장비/장치 □재료/자재 □SW □시스템 □기준/지침 □기타
기술수명주기**	□기술도입기 ■기술성장기 □기술성숙기 □기술쇠퇴기

구 분	1-마
요소기술명	콘크리트 및 철근의 노후화 특성 모델
기술개요	노후 도로시설물 중 교량의 내진 보수보강 효과를 고려한 부재 실험 및 해석 모델 개발 시 도로시설물 대표재료인 콘크리트와 철근의 노후화 특성 모델이 필요함. 모든 노후화 영향 인자에 대해 노후화 특성 모델 개발을 한 실험을 한다는 것은 많은 인력과 시간이 필요한 작업이므로 각 대표재료의 중요 노후인자인 동결융해와 부식에 대한 노후화 특성 모델을 제안하였음. 본 기술은 도로시설물 대표재료인 콘크리트의 동결융해에 따른 노후화 특성과 철근의 부식에 따른 노후화 특성을 실험연구를 통해 도출하여 교량의 내진 보수보강 효과를 고려한 해석 연구 시 기초자료 활용을 목표로 함.
관련 키워드	콘크리트, 철근, 노후화 특성 모델
기술 분류	*EI1101*
결과물 유형*	□공법/기법 □장비/장치 □재료/자재 □SW □시스템 □기준/지침 ■기타
기술수명주기**	■기술도입기 □기술성장기 □기술성숙기 □기술쇠퇴기

구 분	1-바
요소기술명	노후화된 교각의 FRP, 강판보강에 따른 구조적 내진성능 평가
기술개요	- 교각의 노후화를 고려하기 위한 해석적 노후도 반영 및 평가 방법론 - 교각 주요 재료의 노후 및 손상에 따른 강재의 성능 저하, 콘크리트의 성능 저하, 콘크리트-강재 부착성능 저하를 반영하는 방법론 - 노후 및 손상 재료물성치를 고려한 교각의 보강에 따른 내진성능향상도 평가 자료 구축 - 건전상태 모형 등가수준의 내진성능 회복을 위한 각 보강공법에 따른 방법론
관련 키워드	노후 교량, 보강 공법, 보강 성능
기술 분류	*EI1101*
결과물 유형*	□공법/기법 □장비/장치 □재료/자재 ■SW □시스템 □기준/지침 □기타
기술수명주기**	□기술도입기 ■기술성장기 □기술성숙기 □기술쇠퇴기

구 분	2-가
요소기술명	도로시설물 내진성능관리 의사결정 기술매뉴얼
기술개요	기존시설물 내진성능관리에 필요한 다양한 의사결정을 지원할 수 있는 판단자료를 산출하고 이를 통해 다양한 의사결정을 할 수 있도록 가이드 하기 위한 기술 매뉴얼 [판단자료 항목] 개별시설물별 직·간접 피해규모 - 노선별 직·간접피해 규모 - 내진보강 효과 - 내진관리 예산 - 정성적 지수(경제지수, 연결지수, 환경지수) [의사결정 항목] - 내진보강 우선순위산정 - 필요예산 책정 - 방재도로 선정
관련 키워드	- 확률론적 방법, 내진성능관리, 정량적 직·간접 피해규모예측, 내진성능관리예산, 방재도로, 내진보강우선순위 선정, 내진보강효과
기술 분류	- EI1199. 달리 분류되지 않는 시설물안전/유지관리 기술
결과물 유형*	□공법/기법 □장비/장치 □재료/자재 □SW □시스템 □기준/지침 ■기타
기술수명주기**	□기술도입기 ■기술성장기 □기술성숙기 □기술쇠퇴기

구 분	2-나
요소기술명	의사결정지원 소프트웨어
기술개요	복잡한 내진성능관리 의사결정에 필요한 다양한 판단자료를 S/W를 활용하여 간편하게 산출하고 이를 통해 직관적인 의사결정을 수행할 수 있도록 지원하는 관리 툴(Tool) - 공간정보 오픈소스 프로그램인 Q-GIS와 호환되고, 공간정보를 그래픽 처리할 수 있는 프로그램을 개발, 이를 통해 도로망 구성, 구역별 정량적 지진피해규모, 시간별 피해복구상황 등을 직관적으로 살펴볼 수 있는 툴 제공 - 의사결정 지원 S/W를 활용하여 지자체 주요 도로시설물에 대한 표준도로망을 구축하고 이를 활용하여 지자체 담당부서의 내진성능관리 의사결정을 지원하고, “내진성능관리 의사결정 지원 요령”에 의사결정 지원 S/W 활용방안 제안 - 내진성능관리 판단자료로 활용 할 수 있는 도로시설물의 물리적인 직접피해규모 산출 - 도로시설물의 물리적인 직접피해로부터 유발되는 도로망 기능저하에 따른 간접 피해규모 산출
관련 키워드	- 내진성능관리 지원툴(Tool), 확률론적 방법, 내진성능관리, 정량적 직·간접 피해규모 예측, 내진성능 관리예산, 방재도로, 내진보강 우선순위 선정, 내진보강효과
기술 분류	- EI1199. 달리 분류되지 않는 시설물안전/유지관리 기술
결과물 유형*	□공법/기법 □장비/장치 □재료/자재 ■SW □시스템 □기준/지침 □기타
기술수명주기**	□기술도입기 ■기술성장기 □기술성숙기 □기술쇠퇴기

구 분	2-다
요소기술명	내진성능관리 의사결정지원 알고리듬
기술개요	구조물의 파괴 확률 혹은 예상 피해 비용을 평가하고, 한정된 가용 예산으로 이를 최소화할 수 있도록 구조물을 보수·보강 의사결정 및 방재 도로 구축
관련 키워드	정수 최적화, 보수·보강 의사결정, 한국형 지진동 예측 방정식, 방재 도로
기술 분류	- EI1199. 달리 분류되지 않는 시설물안전/유지관리 기술
결과물 유형*	■공법/기법 □장비/장치 □재료/자재 □SW □시스템 □기준/지침 □기타
기술수명주기**	□기술도입기 ■기술성장기 □기술성숙기 □기술쇠퇴기

구 분	2-라
요소기술명	의사결정시스템 적용을 위한 도로시설 노후도를 고려한 도로망 내진성능 저하 및 회복 평가 기법
기술개요	본 요소기술은 의사결정시스템 적용을 위한 도로시설 노후도를 고려한 도로망의 내진성능 저하 및 회복 평가 기법이다. 노후화된 도로망 네트워크에 대해 지진 발생 직후 저하된 내진성능을 시스템 수준으로 평가하고, 개별 구조물의 회복에 따른 네트워크 관점에서의 회복력을 평가하는데 이용 가능한 기술이다.
관련 키워드	노후 도로망, 내진성능, 회복평가, 교통해석
기술 분류	- EI1199. 달리 분류되지 않는 시설물안전/유지관리 기술
결과물 유형*	■공법/기법 □장비/장치 □재료/자재 □SW □시스템 □기준/지침 □기타
기술수명주기**	■기술도입기 □기술성장기 □기술성숙기 □기술쇠퇴기

구 분	2-마
요소기술명	도로시설 및 도로망의 사회·경제적 복원력 평가기술
기술개요	재난(지진재해)에 대한 지역 차원의 복원력 평가기술
관련 키워드	지진재해, 지역, 복원력
기술 분류	- EI1199. 달리 분류되지 않는 시설물안전/유지관리 기술
결과물 유형*	□공법/기법 □장비/장치 □재료/자재 □SW □시스템 □기준/지침 ■기타
기술수명주기**	■기술도입기 □기술성장기 □기술성숙기 □기술쇠퇴기

구분	1-가	요소기술명	대표 교량별 지진취약도 라이브러리 DB

1. 동 연구개발결과의 향후 5년간(활용보고서 제출 기간) 성과활용 목표·계획을 표기해 주십시오.

단계	종료 후 1년	종료 후 2년	종료 후 3년	종료 후 4년	종료 후 5년
Ⅰ	기술 개발 단계	기술 개발 단계	기술 개발 단계	기술 개발 단계	기술 개발 단계
	■ 완료	■ 완료	■ 완료	■ 완료	■ 완료
Ⅱ	기술 검증·보완 단계	기술 검증·보완 단계	기술 검증·보완 단계	기술 검증·보완 단계	기술 검증·보완 단계
	□ 준비 ■ 진행중 □ 완료	□ 준비 ■ 진행중 □ 완료	□ 준비 ■ 진행중 □ 완료	□ 준비 ■ 진행중 □ 완료	□ 준비 □ 진행중 ■ 완료
Ⅲ	실용화 추진 단계 (마케팅)	실용화 추진 단계 (마케팅)	실용화 추진 단계 (마케팅)	실용화 추진 단계 (마케팅)	실용화 추진 단계 (마케팅)
	□ 준비 □ 진행중	□ 준비 □ 진행중	□ 준비 □ 진행중	□ 준비 □ 진행중	□ 준비 □ 진행중
Ⅳ	시장수용 단계	시장수용 단계	시장수용 단계	시장수용 단계	시장수용 단계
	□ 초기발생 □ 지속발생	□ 초기발생 □ 지속발생	□ 초기발생 □ 지속발생	□ 초기발생 □ 지속발생	□ 초기발생 □ 지속발생

2. 귀 기관이 위 1번에서 응답한 활용계획의 주요 활동내용(예정/기획)을 구체적으로 설명해 주십시오.

단계	단계명	주요 활동내용			
		주체*	성과물**/개수	시기	내용
Ⅰ	기술 개발 단계	-	-	R&D종료시점	R&D 기간 내 완료
Ⅱ	기술 검증·보완 단계	인하대학교 산학협력단	현장적용 / 1회	~종료후 5년	Testbed 지역 시험 적용
Ⅲ	실용화 추진 단계	-	-	-	-
Ⅳ	시장 수용 단계	-	-	-	-

* 주체: 연구주관기관(연구책임자)과 함께 Co-Work을 진행하는 기업/기관명
** 성과물: 각 단계별 성과활용 과정에서 발생한 성과물(예: 시험적용, 시제품, 현장적용 등)

3. 귀 기관의 R&D 결과물을 활용하기 위해서는 기준이나 지침의 제·개정이 필요합니까? (2)
1, 예, 필요합니다. 2. 아니오, 필요하지 않습니다.

4. <u>위 3에서 1번이라고 응답한 경우,</u> 향후 기준/지침 채택을 위한 세부적인 활동 계획을 설명해 주십시오.

구 분 (설계기준/시방서/지침)	활용구분 (신규/개선)	내용

구분	1-나	요소기술명	겹침이음 부식 고려 철근콘크리트 부재 해석 프로그램

1. 동 연구개발결과의 향후 5년간(활용보고서 제출 기간) 성과활용 목표·계획을 표기해 주십시오.

단계	종료 후 1년	종료 후 2년	종료 후 3년	종료 후 4년	종료 후 5년
Ⅰ	기술 개발 단계	기술 개발 단계	기술 개발 단계	기술 개발 단계	기술 개발 단계
	□ 완료	□ 완료	□ 완료	□ 완료	□ 완료
Ⅱ	기술 검증·보완 단계	기술 검증·보완 단계	기술 검증·보완 단계	기술 검증·보완 단계	기술 검증·보완 단계
	■ 준비 □ 진행중 □ 완료	□ 준비 ■ 진행중 □ 완료	□ 준비 ■ 진행중 □ 완료	□ 준비 ■ 진행중 □ 완료	□ 준비 □ 진행중 ■ 완료
Ⅲ	실용화 추진 단계 (마케팅)	실용화 추진 단계 (마케팅)	실용화 추진 단계 (마케팅)	실용화 추진 단계 (마케팅)	실용화 추진 단계 (마케팅)
	□ 준비 □ 진행중	□ 준비 □ 진행중	□ 준비 □ 진행중	□ 준비 □ 진행중	□ 준비 □ 진행중
Ⅳ	시장수용 단계	시장수용 단계	시장수용 단계	시장수용 단계	시장수용 단계
	□ 초기발생 □ 지속발생	□ 초기발생 □ 지속발생	□ 초기발생 □ 지속발생	□ 초기발생 □ 지속발생	□ 초기발생 □ 지속발생

2. 귀 기관이 위 1번에서 응답한 활용계획의 주요 활동내용(예정/기획)을 구체적으로 설명해 주십시오.

단계	단계명	주요 활동내용			
		주체*	성과물**/개수	시기	내용
Ⅰ	기술 개발 단계	-	-		
Ⅱ	기술 검증·보완 단계	국민대학교	추가 연구 기획	~종료후 1년	추가 검증 연구 추진
Ⅲ	실용화 추진 단계				
Ⅳ	시장 수용 단계				

* 주체: 연구주관기관(연구책임자)과 함께 Co-Work을 진행하는 기업/기관명
** 성과물: 각 단계별 성과활용 과정에서 발생한 성과물(예: 시험적용, 시제품, 현장적용 등)

3. 귀 기관의 R&D 결과물을 활용하기 위해서는 기준이나 지침의 제·개정이 필요합니까? (2)
1, 예, 필요합니다. 2. 아니오, 필요하지 않습니다.

4. 위 3에서 1번이라고 응답한 경우, 향후 기준/지침 채택을 위한 세부적인 활동 계획을 설명해 주십시오.

구 분 (설계기준/시방서/지침)	활용구분 (신규/개선)	내용

구분	1-다	요소기술명	노후 교량받침부 내진성능평가 기술

1. 동 연구개발결과의 향후 5년간(활용보고서 제출 기간) 성과활용 목표·계획을 표기해 주십시오.

단계	종료 후 1년	종료 후 2년	종료 후 3년	종료 후 4년	종료 후 5년
Ⅰ	기술 개발 단계	기술 개발 단계	기술 개발 단계	기술 개발 단계	기술 개발 단계
	■ 완료	■ 완료	■ 완료	■ 완료	■ 완료
Ⅱ	기술 검증·보완 단계	기술 검증·보완 단계	기술 검증·보완 단계	기술 검증·보완 단계	기술 검증·보완 단계
	□ 준비 ■ 진행중 □ 완료	□ 준비 ■ 진행중 □ 완료	□ 준비 ■ 진행중 □ 완료	□ 준비 ■ 진행중 □ 완료	□ 준비 □ 진행중 ■ 완료
Ⅲ	실용화 추진 단계 (마케팅)	실용화 추진 단계 (마케팅)	실용화 추진 단계 (마케팅)	실용화 추진 단계 (마케팅)	실용화 추진 단계 (마케팅)
	□ 준비 □ 진행중	□ 준비 □ 진행중	□ 준비 □ 진행중	□ 준비 □ 진행중	□ 준비 □ 진행중
Ⅳ	시장수용 단계	시장수용 단계	시장수용 단계	시장수용 단계	시장수용 단계
	□ 초기발생 □ 지속발생	□ 초기발생 □ 지속발생	□ 초기발생 □ 지속발생	□ 초기발생 □ 지속발생	□ 초기발생 □ 지속발생

2. 귀 기관이 위 1번에서 응답한 활용계획의 주요 활동내용(예정/기획)을 구체적으로 설명해 주십시오.

단계	단계명	주요 활동내용			
		주체*	성과물**/개수	시기	내용
Ⅰ	기술 개발 단계	울산대학교 산학협력단	교량받침손상수준/1개	R&D종료시점	노후 교량받침부 내진성능평가 기술 제시
Ⅱ	기술 검증·보완 단계	울산대학교 산학협력단	현장적용 / 1회	~종료후 5년	1-1세세부 Testbed 지역 시험 적용시 반영
Ⅲ	실용화 추진 단계	-	-	-	-
Ⅳ	시장 수용 단계	-	-	-	-

* 주체: 연구주관기관(연구책임자)과 함께 Co-Work을 진행하는 기업/기관명
** 성과물: 각 단계별 성과활용 과정에서 발생한 성과물(예: 시험적용, 시제품, 현장적용 등)

3. 귀 기관의 R&D 결과물을 활용하기 위해서는 기준이나 지침의 제·개정이 필요합니까? (1)
1, 예, 필요합니다. 2. 아니오, 필요하지 않습니다.

4. 위 3에서 1번이라고 응답한 경우, 향후 기준/지침 채택을 위한 세부적인 활동 계획을 설명해 주십시오.

구 분 (설계기준/시방서/지침)	활용구분 (신규/개선)	내용
지침	신규	기존 교량 내진성능평가 시 탄성받침의 노후도를 고려한 전단강성 증가 부분을 반영할 필요 있음

구분	1-라	요소기술명	터널, 사면, 옹벽 지진취약도 기술 절차서

1. 동 연구개발결과의 향후 5년간(활용보고서 제출 기간) 성과활용 목표·계획을 표기해 주십시오.

단계	종료 후 1년	종료 후 2년	종료 후 3년	종료 후 4년	종료 후 5년
Ⅰ	기술 개발 단계	기술 개발 단계	기술 개발 단계	기술 개발 단계	기술 개발 단계
	■ 완료	■ 완료	■ 완료	■ 완료	■ 완료
Ⅱ	기술 검증·보완 단계	기술 검증·보완 단계	기술 검증·보완 단계	기술 검증·보완 단계	기술 검증·보완 단계
	□ 준비 ■ 진행중 □ 완료	□ 준비 ■ 진행중 □ 완료	□ 준비 ■ 진행중 □ 완료	□ 준비 ■ 진행중 □ 완료	□ 준비 □ 진행중 ■ 완료
Ⅲ	실용화 추진 단계 (마케팅)	실용화 추진 단계 (마케팅)	실용화 추진 단계 (마케팅)	실용화 추진 단계 (마케팅)	실용화 추진 단계 (마케팅)
	□ 준비 □ 진행중	□ 준비 □ 진행중	□ 준비 □ 진행중	□ 준비 □ 진행중	□ 준비 □ 진행중
Ⅳ	시장수용 단계	시장수용 단계	시장수용 단계	시장수용 단계	시장수용 단계
	□ 초기발생 □ 지속발생	□ 초기발생 □ 지속발생	□ 초기발생 □ 지속발생	□ 초기발생 □ 지속발생	□ 초기발생 □ 지속발생

2. 귀 기관이 위 1번에서 응답한 활용계획의 주요 활동내용(예정/기획)을 구체적으로 설명해 주십시오.

단계	단계명	주요 활동내용			
		주체*	성과물**/개수	시기	내용
Ⅰ	기술 개발 단계	-	-	R&D 종료시점	R&D 기간 내 완료
Ⅱ	기술 검증·보완 단계	한양대학교 산학협력단	실증부지 적용 / 1회	~ 종료후 5년	테스트베드 지역 시험 적용
Ⅲ	실용화 추진 단계	-	-	-	-
Ⅳ	시장 수용 단계	-	-	-	-

* 주체: 연구주관기관(연구책임자)과 함께 Co-Work을 진행하는 기업/기관명
** 성과물: 각 단계별 성과활용 과정에서 발생한 성과물(예: 시험적용, 시제품, 현장적용 등)

3. 귀 기관의 R&D 결과물을 활용하기 위해서는 기준이나 지침의 제·개정이 필요합니까? (2)
1, 예, 필요합니다. 2. 아니오, 필요하지 않습니다.

4. <u>위 3에서 1번이라고 응답한 경우,</u> 향후 기준/지침 채택을 위한 세부적인 활동 계획을 설명해 주십시오.

구 분 (설계기준/시방서/지침)	활용구분 (신규/개선)	내용

구분	1-마	요소기술명	콘크리트 및 철근의 노후화 특성 모델

1. 동 연구개발결과의 향후 5년간(활용보고서 제출 기간) 성과활용 목표·계획을 표기해 주십시오.

단계	종료 후 1년	종료 후 2년	종료 후 3년	종료 후 4년	종료 후 5년
Ⅰ	기술 개발 단계	기술 개발 단계	기술 개발 단계	기술 개발 단계	기술 개발 단계
	■ 완료	■ 완료	■ 완료	■ 완료	■ 완료
Ⅱ	기술 검증·보완 단계	기술 검증·보완 단계	기술 검증·보완 단계	기술 검증·보완 단계	기술 검증·보완 단계
	□ 준비 □ 진행중 ■ 완료	□ 준비 □ 진행중 ■ 완료	□ 준비 □ 진행중 ■ 완료	□ 준비 □ 진행중 ■ 완료	□ 준비 □ 진행중 ■ 완료
Ⅲ	실용화 추진 단계 (마케팅)	실용화 추진 단계 (마케팅)	실용화 추진 단계 (마케팅)	실용화 추진 단계 (마케팅)	실용화 추진 단계 (마케팅)
	□ 준비 □ 진행중	□ 준비 □ 진행중	□ 준비 □ 진행중	□ 준비 □ 진행중	□ 준비 □ 진행중
Ⅳ	시장수용 단계	시장수용 단계	시장수용 단계	시장수용 단계	시장수용 단계
	□ 초기발생 □ 지속발생	□ 초기발생 □ 지속발생	□ 초기발생 □ 지속발생	□ 초기발생 □ 지속발생	□ 초기발생 □ 지속발생

2. 귀 기관이 위 1번에서 응답한 활용계획의 주요 활동내용(예정/기획)을 구체적으로 설명해 주십시오.

단계	단계명	주요 활동내용			
		주체*	성과물**/개수	시기	내용
Ⅰ	기술 개발 단계			R&D종료시점	R&D 기간 내 완료
Ⅱ	기술 검증·보완 단계			R&D종료시점	R&D 기간 내 완료
Ⅲ	실용화 추진 단계				
Ⅳ	시장 수용 단계				

* 주체: 연구주관기관(연구책임자)과 함께 Co-Work을 진행하는 기업/기관명
** 성과물: 각 단계별 성과활용 과정에서 발생한 성과물(예: 시험적용, 시제품, 현장적용 등)

3. 귀 기관의 R&D 결과물을 활용하기 위해서는 기준이나 지침의 제·개정이 필요합니까? (2)
1, 예, 필요합니다. 2. 아니오, 필요하지 않습니다.

4. <u>위 3에서 1번이라고 응답한 경우,</u> 향후 기준/지침 채택을 위한 세부적인 활동 계획을 설명해 주십시오.

구 분 (설계기준/시방서/지침)	활용구분 (신규/개선)	내용

구분	1-바	요소기술명	노후화된 교각의 FRP, 강판보강에 따른 구조적 내진성능 평가

1. 동 연구개발결과의 향후 5년간(활용보고서 제출 기간) 성과활용 목표·계획을 표기해 주십시오.

단계	종료 후 1년	종료 후 2년	종료 후 3년	종료 후 4년	종료 후 5년
Ⅰ	기술 개발 단계	기술 개발 단계	기술 개발 단계	기술 개발 단계	기술 개발 단계
	■ 완료	■ 완료	■ 완료	■ 완료	■ 완료
Ⅱ	기술 검증·보완 단계	기술 검증·보완 단계	기술 검증·보완 단계	기술 검증·보완 단계	기술 검증·보완 단계
	■ 준비 □ 진행중 □ 완료	□ 준비 ■ 진행중 □ 완료	□ 준비 ■ 진행중 □ 완료	□ 준비 ■ 진행중 □ 완료	□ 준비 □ 진행중 ■ 완료
Ⅲ	실용화 추진 단계 (마케팅)	실용화 추진 단계 (마케팅)	실용화 추진 단계 (마케팅)	실용화 추진 단계 (마케팅)	실용화 추진 단계 (마케팅)
	□ 준비 □ 진행중	□ 준비 □ 진행중	□ 준비 □ 진행중	□ 준비 □ 진행중	□ 준비 □ 진행중
Ⅳ	시장수용 단계	시장수용 단계	시장수용 단계	시장수용 단계	시장수용 단계
	□ 초기발생 □ 지속발생	□ 초기발생 □ 지속발생	□ 초기발생 □ 지속발생	□ 초기발생 □ 지속발생	□ 초기발생 □ 지속발생

2. 귀 기관이 위 1번에서 응답한 활용계획의 주요 활동내용(예정/기획)을 구체적으로 설명해 주십시오.

단계	단계명	주요 활동내용			
		주체*	성과물**/개수	시기	내용
Ⅰ	기술 개발 단계	-	-	R&D종료시점	R&D 기간 내 완료
Ⅱ	기술 검증·보완 단계	인하대학교 산학협력단	현장적용 / 1회	~종료후 5년	Testbed 모델 시험 적용 및 평가
Ⅲ	실용화 추진 단계				
Ⅳ	시장 수용 단계				

* 주체: 연구주관기관(연구책임자)과 함께 Co-Work을 진행하는 기업/기관명
** 성과물: 각 단계별 성과활용 과정에서 발생한 성과물(예: 시험적용, 시제품, 현장적용 등)

3. 귀 기관의 R&D 결과물을 활용하기 위해서는 기준이나 지침의 제·개정이 필요합니까? (2)
1, 예, 필요합니다. 2. 아니오, 필요하지 않습니다.

4. 위 3에서 1번이라고 응답한 경우, 향후 기준/지침 채택을 위한 세부적인 활동 계획을 설명해 주십시오.

구 분 (설계기준/시방서/지침)	활용구분 (신규/개선)	내용

구분	2-가	요소기술명	도로시설물 내진성능관리 의사결정 기술매뉴얼

1. 동 연구개발결과의 향후 5년간(활용보고서 제출 기간) 성과활용 목표·계획을 표기해 주십시오.

단계	종료 후 1년	종료 후 2년	종료 후 3년	종료 후 4년	종료 후 5년
Ⅰ	기술 개발 단계	기술 개발 단계	기술 개발 단계	기술 개발 단계	기술 개발 단계
	□ 완료	□ 완료	□ 완료	□ 완료	□ 완료
Ⅱ	기술 검증·보완 단계	기술 검증·보완 단계	기술 검증·보완 단계	기술 검증·보완 단계	기술 검증·보완 단계
	□ 준비 □ 진행중 ■ 완료	□ 준비 □ 진행중 □ 완료	□ 준비 □ 진행중 □ 완료	□ 준비 □ 진행중 □ 완료	□ 준비 □ 진행중 □ 완료
Ⅲ	실용화 추진 단계 (마케팅)	실용화 추진 단계 (마케팅)	실용화 추진 단계 (마케팅)	실용화 추진 단계 (마케팅)	실용화 추진 단계 (마케팅)
	□ 준비 □ 진행중	■ 준비 □ 진행중	□ 준비 □ 진행중	□ 준비 □ 진행중	□ 준비 □ 진행중
Ⅳ	시장수용 단계	시장수용 단계	시장수용 단계	시장수용 단계	시장수용 단계
	□ 초기발생 □ 지속발생	■ 초기발생 □ 지속발생	□ 초기발생 ■ 지속발생	□ 초기발생 ■ 지속발생	□ 초기발생 ■ 지속발생

2. 귀 기관이 위 1번에서 응답한 활용계획의 주요 활동내용(예정/기획)을 구체적으로 설명해 주십시오.

단계	단계명	주요 활동내용			
		주체*	성과물**/개수	시기	내용
Ⅰ	기술 개발 단계	-	-	*R&D종료시점*	*R&D 기간 내 완료*
Ⅱ	기술 검증·보완 단계	*국토안전관리원 (국가내진센터)*	*실무적용/2회*	*~ 종료 후 1년*	*포항 및 경주시 도로시설물 시험적용*
Ⅲ	실용화 추진 단계	*국토안전관리원 (국가내진센터)*	*세부지침 개정*	*~ 종료 후 3년*	*국토부와 협업을 통한 세부지침 개정*
Ⅳ	시장 수용 단계	*포항시청 및 경주시청 (도로시설과)*	*정밀안전진단 시 공식 활용*	*~ 종료 후 4년*	*개정된 세부지침에 따라 도로시설물의 내진성능관리에 적용*

* 주체: 연구주관기관(연구책임자)과 함께 Co-Work을 진행하는 기업/기관명
** 성과물: 각 단계별 성과활용 과정에서 발생한 성과물(예: 시험적용, 시제품, 현장적용 등)

3. 귀 기관의 R&D 결과물을 활용하기 위해서는 기준이나 지침의 제·개정이 필요합니까? (2)
1, 예, 필요합니다. 2. 아니오, 필요하지 않습니다.

4. <u>위 3에서 1번이라고 응답한 경우,</u> 향후 기준/지침 채택을 위한 세부적인 활동 계획을 설명해 주십시오.

구 분 (설계기준/시방서/지침)	활용구분 (신규/개선)	내용

구분	2-나	요소기술명	의사결정지원 소프트웨어

1. 동 연구개발결과의 향후 5년간(활용보고서 제출 기간) 성과활용 목표·계획을 표기해 주십시오.

단계	종료 후 1년	종료 후 2년	종료 후 3년	종료 후 4년	종료 후 5년
Ⅰ	기술 개발 단계	기술 개발 단계	기술 개발 단계	기술 개발 단계	기술 개발 단계
	□ 완료	□ 완료	□ 완료	□ 완료	□ 완료
Ⅱ	기술 검증·보완 단계	기술 검증·보완 단계	기술 검증·보완 단계	기술 검증·보완 단계	기술 검증·보완 단계
	□ 준비 □ 진행중 ■ 완료	□ 준비 □ 진행중 □ 완료	□ 준비 □ 진행중 □ 완료	□ 준비 □ 진행중 □ 완료	□ 준비 □ 진행중 □ 완료
Ⅲ	실용화 추진 단계 (마케팅)	실용화 추진 단계 (마케팅)	실용화 추진 단계 (마케팅)	실용화 추진 단계 (마케팅)	실용화 추진 단계 (마케팅)
	□ 준비 □ 진행중	■ 준비 □ 진행중	□ 준비 □ 진행중	□ 준비 □ 진행중	□ 준비 □ 진행중
Ⅳ	시장수용 단계	시장수용 단계	시장수용 단계	시장수용 단계	시장수용 단계
	□ 초기발생 □ 지속발생	■ 초기발생 □ 지속발생	□ 초기발생 ■ 지속발생	□ 초기발생 ■ 지속발생	□ 초기발생 ■ 지속발생

2. 귀 기관이 위 1번에서 응답한 활용계획의 주요 활동내용(예정/기획)을 구체적으로 설명해 주십시오.

단계	단계명	주요 활동내용			
		주체*	성과물**/개수	시기	내용
Ⅰ	기술 개발 단계	-	-	*R&D종료시점*	*R&D 기간 내 완료*
Ⅱ	기술 검증·보완 단계	*국토안전관리원*	*실무적용/2회*	*~ 종료 후 1년*	*포항 및 경주시 도로시설물 시험적용*
Ⅲ	실용화 추진 단계	*국토안전관리원*	*세부지침 개정*	*~ 종료 후 3년*	*국토부와 협업을 통한 세부지침 개정*
Ⅳ	시장 수용 단계	*포항시청 및 경주시청 (도로시설과)*	*정밀안전진단 시 공식 활용*	*~ 종료 후 4년*	*개정된 세부지침에 따라 도로시설물에 내진성능관리에 적용*

* 주체: 연구주관기관(연구책임자)과 함께 Co-Work을 진행하는 기업/기관명
** 성과물: 각 단계별 성과활용 과정에서 발생한 성과물(예: 시험적용, 시제품, 현장적용 등)

3. 귀 기관의 R&D 결과물을 활용하기 위해서는 기준이나 지침의 제·개정이 필요합니까? (2)
1, 예, 필요합니다. 2. 아니오, 필요하지 않습니다.

4. 위 3에서 1번이라고 응답한 경우, 향후 기준/지침 채택을 위한 세부적인 활동 계획을 설명해 주십시오.

구 분 (설계기준/시방서/지침)	활용구분 (신규/개선)	내용

구분	2-다	요소기술명	내진성능관리 의사결정지원 알고리듬

1. 동 연구개발결과의 향후 5년간(활용보고서 제출 기간) 성과활용 목표·계획을 표기해 주십시오.

단계	종료 후 1년	종료 후 2년	종료 후 3년	종료 후 4년	종료 후 5년
Ⅰ	기술 개발 단계	기술 개발 단계	기술 개발 단계	기술 개발 단계	기술 개발 단계
	□ 완료	□ 완료	□ 완료	□ 완료	□ 완료
Ⅱ	기술 검증·보완 단계	기술 검증·보완 단계	기술 검증·보완 단계	기술 검증·보완 단계	기술 검증·보완 단계
	□ 준비 ■ 진행중 □ 완료	□ 준비 □ 진행중 ■ 완료	□ 준비 □ 진행중 □ 완료	□ 준비 □ 진행중 □ 완료	□ 준비 □ 진행중 □ 완료
Ⅲ	실용화 추진 단계 (마케팅)	실용화 추진 단계 (마케팅)	실용화 추진 단계 (마케팅)	실용화 추진 단계 (마케팅)	실용화 추진 단계 (마케팅)
	□ 준비 □ 진행중	□ 준비 □ 진행중	■ 준비 □ 진행중	□ 준비 ■ 진행중	□ 준비 □ 진행중
Ⅳ	시장수용 단계	시장수용 단계	시장수용 단계	시장수용 단계	시장수용 단계
	□ 초기발생 □ 지속발생	□ 초기발생 □ 지속발생	□ 초기발생 □ 지속발생	□ 초기발생 □ 지속발생	■ 초기발생 □ 지속발생

2. 귀 기관이 위 1번에서 응답한 활용계획의 주요 활동내용(예정/기획)을 구체적으로 설명해 주십시오.

단계	단계명	주요 활동내용			
		주체*	성과물**/개수	시기	내용
Ⅰ	기술 개발 단계	-	-	R&D종료시점	R&D 기간 내 완료
Ⅱ	기술 검증·보완 단계	경상북도,국토교통부	현장시험/2회	~ 종료 후 2년	포항시 현장에 시험적용
Ⅲ	실용화 추진 단계	국토교통부	기술실시계약/1회	~ 종료 후 4년	연구개발결과 기술이전
Ⅳ	시장 수용 단계	국토교통부	현장적용 1회	~ 종료 후 5년	경상북도 전역에 확대 적용

* 주체: 연구주관기관(연구책임자)과 함께 Co-Work을 진행하는 기업/기관명
** 성과물: 각 단계별 성과활용 과정에서 발생한 성과물(예: 시험적용, 시제품, 현장적용 등)

3. 귀 기관의 R&D 결과물을 활용하기 위해서는 기준이나 지침의 제·개정이 필요합니까? (2)

1, 예, 필요합니다. 2. 아니오, 필요하지 않습니다.

4. 위 3에서 1번이라고 응답한 경우, 향후 기준/지침 채택을 위한 세부적인 활동 계획을 설명해 주십시오.

구 분 (설계기준/시방서/지침)	활용구분 (신규/개선)	내용

구분	2-라	요소기술명	의사결정시스템 적용을 위한 도로시설 노후도를 고려한 도로망 내진성능 저하 및 회복 평가 기법

1. 동 연구개발결과의 향후 5년간(활용보고서 제출 기간) 성과활용 목표·계획을 표기해 주십시오.

단계	종료 후 1년	종료 후 2년	종료 후 3년	종료 후 4년	종료 후 5년
Ⅰ	기술 개발 단계	기술 개발 단계	기술 개발 단계	기술 개발 단계	기술 개발 단계
	□ 완료	□ 완료	□ 완료	□ 완료	□ 완료
Ⅱ	기술 검증·보완 단계	기술 검증·보완 단계	기술 검증·보완 단계	기술 검증·보완 단계	기술 검증·보완 단계
	■ 준비 □ 진행중 □ 완료	□ 준비 ■ 진행중 □ 완료	□ 준비 ■ 진행중 □ 완료	□ 준비 ■ 진행중 □ 완료	□ 준비 □ 진행중 ■ 완료
Ⅲ	실용화 추진 단계 (마케팅)	실용화 추진 단계 (마케팅)	실용화 추진 단계 (마케팅)	실용화 추진 단계 (마케팅)	실용화 추진 단계 (마케팅)
	□ 준비 □ 진행중	□ 준비 □ 진행중	□ 준비 □ 진행중	□ 준비 □ 진행중	□ 준비 □ 진행중
Ⅳ	시장수용 단계	시장수용 단계	시장수용 단계	시장수용 단계	시장수용 단계
	□ 초기발생 □ 지속발생	□ 초기발생 □ 지속발생	□ 초기발생 □ 지속발생	□ 초기발생 □ 지속발생	□ 초기발생 □ 지속발생

2. 귀 기관이 위 1번에서 응답한 활용계획의 주요 활동내용(예정/기획)을 구체적으로 설명해 주십시오.

단계	단계명	주요 활동내용			
		주체*	성과물**/개수	시기	내용
Ⅰ	기술 개발 단계	-	-	R&D종료시점	R&D 기간 내 완료
Ⅱ	기술 검증·보완 단계	포항 및 경주시 국토관리사무소/ 한국도로공사	현장시험/2회	~ 종료후 5년	포항 및 경주시 현장에 시험적용을 통한 기술검증 및 보완
Ⅲ	실용화 추진 단계				
Ⅳ	시장 수용 단계				

* 주체: 연구주관기관(연구책임자)과 함께 Co-Work을 진행하는 기업/기관명
** 성과물: 각 단계별 성과활용 과정에서 발생한 성과물(예: 시험적용, 시제품, 현장적용 등)

3. 귀 기관의 R&D 결과물을 활용하기 위해서는 기준이나 지침의 제·개정이 필요합니까? (2)

1, 예, 필요합니다. 2. 아니오, 필요하지 않습니다.

4. 위 3에서 1번이라고 응답한 경우, 향후 기준/지침 채택을 위한 세부적인 활동 계획을 설명해 주십시오.

구 분 (설계기준/시방서/지침)	활용구분 (신규/개선)	내용

구분	2-마	요소기술명	도로시설 및 도로망의 사회·경제적 복원력 평가기술

1. 동 연구개발결과의 향후 5년간(활용보고서 제출 기간) 성과활용 목표·계획을 표기해 주십시오.

단계	종료 후 1년	종료 후 2년	종료 후 3년	종료 후 4년	종료 후 5년
Ⅰ	기술 개발 단계	기술 개발 단계	기술 개발 단계	기술 개발 단계	기술 개발 단계
	□ 완료	□ 완료	□ 완료	□ 완료	□ 완료
Ⅱ	기술 검증·보완 단계	기술 검증·보완 단계	기술 검증·보완 단계	기술 검증·보완 단계	기술 검증·보완 단계
	■ 준비 □ 진행중 □ 완료	□ 준비 ■ 진행중 □ 완료	□ 준비 ■ 진행중 □ 완료	□ 준비 □ 진행중 □ 완료	□ 준비 □ 진행중 □ 완료
Ⅲ	실용화 추진 단계 (마케팅)	실용화 추진 단계 (마케팅)	실용화 추진 단계 (마케팅)	실용화 추진 단계 (마케팅)	실용화 추진 단계 (마케팅)
	□ 준비 □ 진행중	□ 준비 □ 진행중	□ 준비 □ 진행중	■ 준비 □ 진행중	□ 준비 □ 진행중
Ⅳ	시장수용 단계	시장수용 단계	시장수용 단계	시장수용 단계	시장수용 단계
	□ 초기발생 □ 지속발생	□ 초기발생 □ 지속발생	□ 초기발생 □ 지속발생	□ 초기발생 □ 지속발생	■ 초기발생 □ 지속발생

2. 귀 기관이 위 1번에서 응답한 활용계획의 주요 활동내용(예정/기획)을 구체적으로 설명해 주십시오.

단계	단계명	주요 활동내용			
		주체*	성과물**/개수	시기	내용
Ⅰ	기술 개발 단계	-	-	*R&D종료시점*	*R&D 기간 내 완료*
Ⅱ	기술 검증·보완 단계	-	-	-	-
Ⅲ	실용화 추진 단계	-	-	-	-
Ⅳ	시장 수용 단계	-	-	-	-

* 주체: 연구주관기관(연구책임자)과 함께 Co-Work을 진행하는 기업/기관명
** 성과물: 각 단계별 성과활용 과정에서 발생한 성과물(예: 시험적용, 시제품, 현장적용 등)

3. 귀 기관의 R&D 결과물을 활용하기 위해서는 기준이나 지침의 제·개정이 필요합니까? (2)

1, 예, 필요합니다. 2. 아니오, 필요하지 않습니다.

4. 위 3에서 1번이라고 응답한 경우, 향후 기준/지침 채택을 위한 세부적인 활동 계획을 설명해 주십시오.

구 분 (설계기준/시방서/지침)	활용구분 (신규/개선)	내용

2) 2단계 연구를 위한 추가연구 필요사항

1세부: 도로시설의 노후도를 고려한 물리적 지진취약도 평가 기술 개발

○ 지진에 대한 노후 도로망의 성능평가 지수
- 1단계 연구결과: 노후도 및 보수보강 효과를 고려한 교량 구조물의 지진취약도 곡선 DB구축
- 2단계 필요사항: 각 교량 구조물 상세 요소를 고려한 지진취약도 곡선 DB구축

○ 겹침이음 부식이 노후 교각의 내진성능에 미치는 영향 평가
- 1단계 연구결과: 겹침이음 부식이 노후 교각의 내진성능에 미치는 영향 파악
- 2단계 필요사항: 겹침이음 부식이 노후 교각의 내진성능에 미치는 영향에 대한 매개변수 실험 필요

○ 겹침이음 부식을 고려한 노후교각 해석모델 개발
- 1단계 연구결과: 겹침이음 부식을 고려한 노후 교각의 해석모델 프로그램 등록
- 2단계 필요사항: 겹침이음 부식을 고려한 노후 교각의 해석모델 검증 필요

○ 노후 철근콘크리트의 성능 데이터베이스
- 1단계 연구결과: 반복가력 노후 철근의 단순 부착모델
- 2단계 필요사항: 부식도 및 하중이력에 따른 다변수 데이터베이스 확보

○ 노후도 연계 앵커그룹의 받침 모델개발
- 1단계 연구결과: 노후도 연계 단일앵커로서의 받침모델
- 2단계 필요사항: 노후도 연계 앵커그룹으로서의 받침모델

2세부: 도로망의 지진복원력 평가를 통한 노후 도로시설의 내진성능관리 의사결정지원 기술 개발 및 시험 적용

○ 본 연구개발과제의 최종 결과물인 내진성능관리 의사결정지원 기술은 향후 도로시설물 내진성능관리 분야로의 기술이전이 가능할 것으로 판단됨
- 도로시설물의 노후도가 높은 지자체 및 해당 지자체 도로시설물 관리기관을 중심으로 기술이전 대상을 발굴 및 추진할 수 있음(지진에 대한 위험수준이 높은 지역 포함)

○ 내진성능 관리지원 S/W 전파
- 지자체를 대상으로 프로그램을 무상으로 설치해주고, 필요한 실행방법 교육

○ 도로망 기반 내진성능관리 의사결정
- 1단계 연구결과: 도로망 기반의 내진성능관리 시범사업
- 2단계 필요사항: 도로망 기반의 내진성능관리 확산

○ 방재도로선정
- 1단계 연구결과: 방재도로 선정을 위한 정량적 판단자료 제공
- 2단계 필요사항: 방재도로 선정을 위한 판단자료 고도화 (내진보강예산, 회복곡선)

○ 노후 도로망의 보수·보강 의사결정 지원
- 1단계 연구결과: 기제안된 도로망 성능지수 산출 및 최적화 알고리즘 기반의 보수·보강 의사결정
- 2단계 필요사항: 정책 수립자가 추구하는 새로운 성능지수 제안 및 실시간 보수·보강 의사결정

○ 지진에 대한 방재도로 선정
- 1단계 연구결과: 지진취약도 기반 방재도로 사전선정 및 도로망 내진성능 관리
- 2단계 필요사항: 지진취약도 및 시스템통행시간 기반 방재도로 선정

○ 지진에 대한 노후 도로망의 성능평가 지수
- 1단계 연구결과: 최대통행량 기반 도로망 성능지수
- 2단계 필요사항: 전체시스템 통행시간 기반 도로망 성능지수

○ 지진에 대한 노후 도로망의 범위 및 성능 평가 방법론
- 1단계 연구결과: 확률론 기반 지역 단위 도로망 성능 평가
- 2단계 필요사항: 확률론 기반 전국 단위 도로망 성능 평가

○ 노후 도로시설 및 도로망의 사회·경제적 복원력 유형 분석 및 평가기술 개발
- 1단계 연구결과: 평가지료 기반 재난에 대한 지역 차원의 취약요소 및 복구역량을 고려한 복합적인 복원력 평가
- 2단계 필요사항: 재난 유형별 피해 발생 양상 및 피해복구 특성을 고려한 지역 차원의 복원력 평가방법 고도화 (재난 유형별 복원력 평가방법 개발)

< 별첨 >

별첨 자료
1. 참고문헌
2. 총 연구개발기간 성과점검기준표 및 증빙자료
3. 세부 정량적 연구개발성과 증빙자료(총 연구개발기간 성과점검기준표 실적 증빙자료에 기 포함되어 있는 증빙자료 제외)

주 의

1. 이 보고서는 국토교통부에서 시행한 국토교통과학기술 연구개발사업 '노후 도로시설(교량, 터널, 사면, 옹벽)의 내진성능관리 의사결정지원 기술 개발' 연구개발과제 최종보고서이다.

2. 이 연구개발내용을 대외적으로 발표할 때에는 반드시 국토교통부(국토교통과학기술진흥원)에서 시행한 국토교통과학기술 연구개발사업의 결과임을 밝혀야 한다.

3. 국가과학기술 기밀 유지에 필요한 내용은 대외적으로 발표 또는 공개하여서는 안 된다.