

17AUDP
-B06608
3-05

지진 및
기후변화
대응
소규모·기존
건축물
구조
안전성
향상기술
개발

최
종
보
고
서

2018

국
토
교
통
부

국
토
교
통
과
학
기
술
진
흥
원

Infrastructure and Transportation R&D Report

보안 과제(), 일반 과제(√) / 공개(√), 비공개()

도시건축연구사업 최종보고서

국토교통 R&D /
17AUDP-B066083-05

지진 및 기후변화 대응 소규모·기존 건축물 구조안전성 향상기술 개발

최종보고서

2018. 5. 21.

주관연구기관/ 서울대학교

협동연구기관/ 고려대학교

이화여자대학교

국토교통부

국토교통과학기술진흥원

제 출 문 (1/4)

국토교통과학기술진흥원장 귀하

‘지진 및 기후변화 대응 소규모·기존 건축물 구조안전성 향상기술 개발’

(연구개발 기간 : 2013.5.15 ~ 2018.4.14) 과제의 최종보고서 12부를 제출합니다.

2018. 5. 21.

주관연구기관명 : 서울대학교 산학협력단장



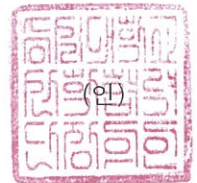
참여기관명 : 두산건설(주) 대표이사



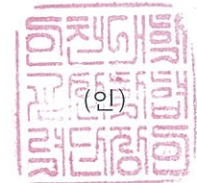
한양대학교 산학협력단장



송실대학교 산학협력단장



인천대학교 산학협력단장



(주)창민우구조컨선탄트 대표이사



국토교통부소관 연구개발사업 운영규정 제38조에 따라
최종보고서 열람에 동의합니다.

제 출 문 (2/4)

국토교통과학기술진흥원장 귀하

‘지진 및 기후변화 대응 소규모·기존 건축물 구조안전성 향상기술 개발’

(연구개발 기간 : 2013.5.15 ~ 2018.4.14) 과제의 최종보고서 12부를 제출합니다.

2018. 5. 21.

단국대학교 산학협력단장



충남대학교 산학협력단장



성균관대학교 산학협력단장



부산대학교 산학협력단장



주관연구기관책임자: 서울대학교

홍성길

참여기관책임자: 두산건설(주)

박영미

한양대학교

유은종

송실대학교

최경규

인천대학교

박지훈

단국대학교

이경구

충남대학교

이강민

(주)창민우구조건설탄트

김태진

성균관대학교

김진구

부산대학교

오상훈

국토교통부소관 연구개발사업 운영규정 제38조에 따라

최종보고서 열람에 동의합니다.

제 출 문 (3/4)

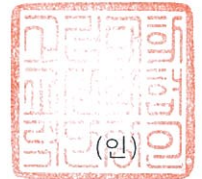
국토교통과학기술진흥원장 귀하

‘지진 및 기후변화 대응 소규모·기존 건축물 구조안전성 향상기술 개발’

(연구개발 기간 : 2013.5.15 ~ 2018.4.14) 과제의 최종보고서 12부를 제출합니다.

2018. 5. 21.

협동연구기관명 : 고려대학교 산학협력단장



참여기관명 : 세종대학교 산학협력단



아주대학교 산학협력단장



서울시립대학교 산학협력단장



협동연구기관책임자: 고려대학교

이한선

참여기관책임자: 세종대학교
아주대학교
서울시립대학교

이기학
조봉호
김형준

국토교통부소관 연구개발사업 운영규정 제38조에 따라
최종보고서 열람에 동의합니다.

제 출 문 (4/4)

국토교통과학기술진흥원장 귀하

‘지진 및 기후변화 대응 소규모·기존 건축물 구조안전성 향상기술 개발’

(연구개발 기간 : 2013.5.15 ~ 2018.4.14) 과제의 최종보고서 12부를 제출합니다.

2018. 5. 21.

주관연구기관명 : 이화여자대학교 산학협력단장

참여기관명 : 서울대학교 산학협력단장

한국건설기술연구원장

협동연구기관책임자: 이화여자대학교

신영수

참여기관책임자: 서울대학교
한국건설기술연구원

박홍근
유영찬



국토교통부소관 연구개발사업 운영규정 제38조에 따라
최종보고서 열람에 동의합니다.

보고서 요약서

과제 고유 번호	17AUDP-B06608 3-05	해당 단계 연구 기간	2013.05.15.- 2018.04.14	단계구분	5차년도/5차년도
연구사업명	중사업명	도시건 축연구사업			
	세부사업명				
연구과제명	대과제명	지진 및 기후변화 대응 소규모 · 기존 건축물 구조안전성 향상기술 개발			
	세부과제명				
연구책임자	홍 성 결	해당단계 참여 연구원 수	총: 59 명 내부: 45 명 외부: 14 명	해당단계 연구개발비	정부:644,000 천원 기업:174,845 천원 정부 외:0 원 계:818,845 천원
		총 연구기간 참여 연구원 수	총: 441 명 내부: 371 명 외부: 70 명	총 연구개발비	정부:9,827,000 천원 기업:2,216,545 천원 정부 외:0 원 계:12,043,545 천원
연구기관명 및 소속 부서명	서울대학교 산학협력단 고려대학교 산학협력단 이화여자대학교 산학협력단 세종대학교 산학협력단 아주대학교 산학협력단 서울시립대학교 산학협력단 두산건설(주) 한양대학교 산학협력단 숭실대학교 산학협력단 인천대학교 산학협력단 단국대학교 산학협력단 충남대학교 산학협력단 (주)창민우구조컨선탄트 성균관대학교 산학협력단 부산대학교 산학협력단 한국건설기술연구원			참여기업명 두산건설(주) 코오롱글로벌(주) (주)동양구조엔지니어링 (주)보성구조기술사 그룹 (주)더나은 구조엔지니어링 (주)아이맥구조 (주)창민우구조컨선탄트 (주)유니슨이테크 (주)제일F&S AVT(주) 삼영엠텍(주) (주)우진 (주)디알비동일 (주)CMR 기술연구원 메트로티엔씨(주) (주)태평피엔이 (주)디에스구조엔지니어링 (주)한울구조안전기술사사무소 K2H 코리아(주)	
국제공동연구	상대국명:			상대국 연구기관명:	
위탁연구	연구기관명: 대한건축사협회			연구책임자: 김홍수	
요약 이 연구는 지진 및 기후변화 등에 취약한 기존 건축물과 소규모 건축물의 구조 안전성 확보를 위한 정책 및 기술 개발에 목적이 있음. 이를 위하여 지진 및 기후변화 대비 건축물 구조안전성 향상을 위한 정책·제도 개발, 기존 건축물 구조안전성 확보 기술 개발, 소규모 건축물의 구조안전성 향상 등 세 가지 방향으로 집중하여 연구를 진행하였으며, 다음과 같은 연구 성과를 확보하였음. (1) 기후변화 및 지진 대응 정책 방향 정립, (2) 기후변화 및 지진대응 설계하중/정책·제도 개정방향 구체화 및 중장기 Action plan 구축, (3) 기후변화 및 지진대응 성능 목표 제시 및 이에 따른 설계하중/성능기반설계지침/정책·제도/안전점검 체크리스트 개발, (4) 기존 건축물 상세 실태조사와 구조성능 실증, (5) 기존 건축물 내진성능 평가 지침 개발, (6) 기존 건축물 구조성능 개선 실무적용을 위한 전산 시스템 및 교육 프로그램 개발 (7) 진동제어장치를 이용한 기존 건축물의 진동성능 향상 기술 및 설계지침 개발 (8) 기후변화 대응 안전성 평가 및 보강기술 검증 및 설계방법 개발, (9) 소규모 구조형식별 현황 DB 구축 및 분석, (10) 소규모 내진상세 구조성능평가 지침 개발				보고서 면수 135p	

< 국문 요약서 >

연구의 목적 및 내용	<연구 목적> 지진 및 기후변화 등에 취약한 기존 건축물과 소규모 건축물의 구조안전성 확보를 위하여, (1) 국내 건축물 특성에 근거하여 경제적이고 보급이 용이한 보수·보강 기술, (2) 보강전후의 안전성 평가를 위한 성능평가기준, (3) 신규로 건축되는 소규모 건축물의 구조설계기준, (4) 이를 지속적으로 뒷받침하기 위한 정책과 제도를 개발하여 건축물의 구조안전성을 선진국 수준으로 개선시키는 것임. <연구 내용> ○ 지진 및 기후변화 대비 건축물 구조안전성 향상을 위한 정책·제도 개발 • 정책·제도 개선 및 설계지진하중 정의 • 기후변화 대응 건축물 종합 대응 시스템 개발 • 건축물 내진보강장치 시험기준 및 인증제도 ○ 지진 및 기후변화 대비 기존 건축물 구조안전성 확보 기술 개발 • 기존 건축물 내진성능 평가지침 개발 • 기존 건축물 보강 상세 및 설계 기준 제안 • 기존 건축물 구조성능 개선 실무적용을 위한 전산시스템 및 교육 프로그램 개발 • 진동제어장치를 이용한 기존 건축물의 진동성능 향상 기술 및 설계지침 개발 • 홍수 재해 대응 설계기준안 마련 ○ 소규모 건축물의 지진 및 기후변화 대비 구조안전성 향상 • 소규모 건축물 규정중심 구조설계 기준 • 표준상세 개발 및 검증 • 구조형식별 표준상세의 테스트베드 현장적용 • 소규모 건축물 구조안전성 확보를 위한 제도 개선
연구개발성과	○ 기후변화 및 지진대응 정책 방향 정립 • 지진 및 기후변화 대비 구조안전성 확보를 위한 중·장기 Action plan 및 정책, 제도와 내진성능목표 및 설계지진하중 정의에 대한 개념 정립 • 확률기반 내진성능 평가 지침 개발 • 이상기후에 의한 건축물 및 공작물 피해사례 분석을 통한 피해유형 및 원인 규명 ○ 기후변화 및 지진대응 설계하중/정책제도 개정방향 구체화 및 중장기 Action plan 구축 ○ 기후변화 및 지진대응 성능목표 제시 및 이에 따른 설계하중/성능기반설계지침/정책·제도/안전점검 체크리스트 개발 • 내진성능목표 및 설계지진하중 정의(안) 제시 및 적용 (KBC2016) • 지진 및 기후변화 대비 구조안전성 확보를 위한 중·장기 Action Plan(안) 및 정책·제도(안) 제시 • 성능기반 내진설계 절차 개발 • 이상기후 대비 건축물 및 공작물 안전점검 기준 개발 • 건축물 내진보강 장치 인증제도 기반구축: 시험표준 정립, 인증기준 및 운용방안 정립 ○ 기존 건축물 상세 실태조사와 구조성능 실증 • 기존 건축물 내진상세 DB 구축 • 국내 비내진 상세 RC 골조 부재 구조성능 실험 • 콘크리트 보강용 앵커 성능실험 • 기존 강재보강 기술 적용 성능평가 • 기존 건축물 적용을 위한 전산시스템 프로세스 개발 및 원형 구축 • 기존 공동주택 적용 댐퍼 적용사례 및 진동제어 특성 분석 ○ 기후변화 대응 보강기술 검증 및 설계방법 개발

	○ 소규모 구조형식별 현황 DB 구축 및 분석 • 국내 소규모 건축물 설계/시공/구조 현황 조사/분석 • 기존 설계기준 및 구조상세 분석을 통한 사양설계기준 개발방향 설정 • 소규모 건축물 구조형식별 구조상세 분석 및 예비평가 ○ 소규모 내진상세 구조성능평가 ○ 성능평가 및 보강기준 개발 • 기존건축물 내진성능평가 및 보강기준 개발 • 조적채움벽 골조 표준보강상세, 학교/RC조 근린상가 구조보강 체크리스트 • RC 골조의 부재별 표준보강상세(안) 개발 • 비내진 필로티형 철근콘크리트 건물 표준보강상세 개발 • 지진 및 이상기후 대비 강제이용 보강설계 지침서 • 기존건축물 구조보강설계 프로세스 및 전산모듈 개발 • 진동제어구조 최적화 연구: 공공건축물에 적합한 진동제어형 내진보강기법 개념 개발 ○ 한국형 소규모 표준 구조 검증 및 평가 • 기후변화 및 지진에 대비하는 소규모 건축물 사양중심 설계기준(안) 및 해설 개발 • 콘크리트조/경량철골조/조적조 소규모 건축물 지진하중 재평가 및 구조상세 표준화				
연구개발성과의 활용계획 (기대효과)	○ 기술실용화 방안 • 기존 건축물의 평가기술, 보강기술/상세 및 소규모 건축물의 구조상세 개발을 통해 실무에서도 적용할 수 있는 설계지침, 시공지침, 사용설명서 등의 전산화 /소프트웨어 개발 • ASP 서비스를 통해 국내개발기술의 국제화 추진 • 개발된 구조성능평가모델, 보강설계기술, 소규모건축물 구조설계기술을 기존의 소프트웨어에 통합하여 제품화 • 개발된 핵심 보강기술/상세 및 소규모건축물 설계/시공기술의 현장적용을 통하여 안전성, 경제성, 보급성, 정책적 파급효과 검증 및 사업화 • 신뢰도 높은 평가/보강 절차를 규정하고 보강 성능과 비용사이의 트레이드오프를 고려한 가이드라인을 제시 • 향후 국내 건축구조기준 (KBC2016, KBC2019)에 반영 ○ 국가 안전망 구축시스템에 활용 • 기후변화에 대비한 계획, 설계, 유지관리 기술 및 방재시스템 개발에 활용 • 복합자연재해 대응 범국가적 융합 방재체계, 재난/재해 안전망 구축에 기본자료로 활용 • 인위적 재해, 사회적 재해, 자연적 재해를 통합한 차세대 국민 안전 융합기술 재난 관리 시스템 구축에 활용 • 건축물 구조안전성 확보를 위한 설계하중 정의 및 정책·제도 개발을 통해 기존 및 소규모 건축물 구조안전성 확보 촉진 제도 및 관리/감독 관련 행정제도 제안 • 건축법, 건축법 시행령, 건축물의 구조기준 등에 관한 규칙 등 소규모 건축물 관련 법령 수정(안)의 참고자료 활용 • 안전점검 기준 및 check list는 지방자치단체의 공무원, 일반 건축기술자 또는 일반인의 구조물/공작물 안전점검 및 설치/유지관리에 활용 ○ 국가적 의사결정 체계의 기초자료로 활용 • 민간 취약 건축물의 최소 비용 보강지침을 통해 민간 건축물에 대한 정부 지원 비용 산정의 기본 지침으로 활용 • 관련 DB 구축으로 향후 건설시장 예측자료로 활용 • 구조보강 우선순위의 기초자료로 활용				
핵심어 (5개 이내)	지진	기후변화	기존 건축물	소규모 건축물	내진평가/보강

〈 SUMMARY 〉

Purpose & Contents	<Research Purpose> To enhance structural performance by securing structural safety of existing buildings and small size buildings that are vulnerable to earthquake or climate changes through (1) the development of economical and easily applicable repair/retrofit techniques based on domestic architectural characteristics; (2) the development of performance evaluation guideline for the assessment of structural safety before and after retrofit; (3) the preparation of design standard for newly built small scale buildings; and (4) the proposal of policies and procedures to keep improving the developed techniques and methodologies toward a leading country in structural safety. <Research Contents> ○ Development of policies and procedures for the enhancement of structural safety against earthquake and climate change: • polices/procedures and design earthquake load • comprehensive building response system for climate change • test criteria and certification system for seismic strengthening device of buildings ○ Development of securing structural safety of existing buildings against earthquake and climate change: • seismic evaluation standard for existing building • retrofit detail and design criteria of existing building • computer-supporting system and education program applicable for field practice about structural performance improvement of existing building • techniques and design guideline to improve vibration resistance of existing building by using vibration control device • design guideline for the response of flood hazard ○ Enhancement of structural performance of small scale buildings against earthquake and climate change: • structural design specification that guide structural plan • preparation and verification of standard detail • field application of the standard detail for the classified structural systems • enhancement of structural stability of small scale buildings
Results	○ Establish direction of climate change and earthquake response policy • Established concept definition for earthquake and climate change prepared mid/long-term Action plan, policy·system, seismic performance objective and design earthquake load to secure structural stability • Develop an evaluation guide for probability based seismic performance • Investigate damage pattern and cause of building and structure damage by abnormal climate through case study ○ Refine revision direction of climate change and earthquake response design load/policy·system and establish mid/long-term Action plan ○ Propose climate change and earthquake response performance objective and develop checklist for design load/performance based design criteria/ policy·system / safety inspection • Propose and apply seismic performance objective and design earthquake load definition(proposal) (KBC2016) • Propose mid/long-term Action Plan(proposal) and policy·system to secure earthquake and climate change prepared structural stability • Develop steps for performance based seismic design

	• Develop safety inspection criteria for building and structure to prepare for abnormal climate • Establish foundation of certification system for seismic retrofitting device of building : establish testing criteria, certification criteria, and application plan ○ Detailed actual condition research of existing building and prove structural performance • Establish seismic detail DB of existing building • Structural performance test of domestic non-seismic detailed RC frame member • Performance test of concrete retrofitting anchor • Performance evaluation of currently applied steel retrofitting technique • Develop computing system process and build prototype to apply at existing building • Case study of damper application at existing apartment house and analyze vibration control characteristic ○ Verify climate respond retrofitting technique and develop design method ○ Establish current condition of small scale structure type DB and analyze • Research/analyze current condition of domestic small scale building design/construction/structure • Set development direction of specification design criteria through analysis of current design criteria and structural detail • analyze structural detail of small scale building by structure type and perform preliminary evaluation ○ Structural performance evaluation of small scale seismic detail ○ Develop performance evaluation and retrofitting criteria • Evaluate seismic performance of existing building and develop retrofitting criteria • standard retrofitting detail of infilled masonry wall frame, school/RC frame neighbor store structural retrofitting checklist • Develop standard retrofitting detail(proposal) for RC frame members • Develop standard retrofitting detail for non-seismic pilotis type reinforced concrete building • Earthquake and abnormal climate prepared retrofitting plan guide using structural steel • Develop structural retrofitting plan process for existing building and automated module • Vibration control structure optimization research : develop concept for vibration controlling seismic retrofitting technique that is applicable for public building ○ Korea model small size standard structure verification and evaluation • Develop climate change and earthquake prepared small size building specification based design criteria(proposal) and explanation • Re-evaluate seismic load of concrete frame/lightweight steel frame/masonry frame small size building and standardize structural detail
Expected Contribution	○ Technique commercialization plan • Computerize practice applicable design principle, construction principle, and instruction manual through development of evaluation technique and retrofitting technique/detail of existing building and structural detail of small scale building / develop software • Internationalization of domestic developed technology through ASP service

	• combine developed structural performance evaluation model, retrofitting plan technique, and small scale building structural plan technique with existing software and manufacture • Verify safety, economic feasibility, suppliability political ripple effect of developed key retrofitting technique/detail and small scale building plan/construction technique by field application and commercialize • Regulate highly reliable evaluation/retrofitting process and provide guideline regarding tradeoff between retrofitting performance and cost • Apply to future domestic building code (KBC2016, KBC2019) • Apply at climate change prepared program, plan, maintenance control and disaster prevention system development • Use as fundamental data at establishing complex natural disaster response cross-national integrated disaster prevention system, and disaster/catastrophe safety net • Use at forming artificial disaster, social disaster, and natural disaster integrated next generation public safety combined-technology disaster control system • Propose promoting system for securing structural stability of building of existing building and small scale building through development of design load definition and policy-system to secure structural stability of building and management/supervision related administration system • Use as reference for Building Act, Building Act Enforcement Decree, and building structure criteria like regulation of small scale building related architectural law amendment(proposal) • safety inspection criteria and check list can be used by local government officials, general architect engineer, or general public to perform safety check and install/maintenance control structure/building ○ Use as baseline data for national decision making system • use as basic guideline for estimating governmental financial support for private building through minimum cost retrofitting system of private vulnerable building • Use as prediction data for future construction market by establishing related DB • Use as baseline data for selecting structural retrofitting priority				
Keywords	Earthquake	Climate Change	Existing building	Small size Building	Seismic evaluation/ retrofit

< Contents >

1. Outline of Research and Development Project	1
2. Status of Technology Development Domestic and Overseas	10
3. Research Tasks and Achievements	47
4. Achievement of Project Goals and contribution to relevant fields	92
5. Application plan of R&D achievements	103
6. Overseas technology information collected during the project	106
7. Security level of R&D achievements	109
8. Status of Research Facilities and Equipment Registered in the NTIS	109
9. Implementation of Safety Measures during the Project	110
10. Representative Research Achievements of the Project	114
11. Miscellaneous Remarks	125
12. References	125

< 목 차 >

1. 연구개발과제의 개요	1
2. 국내외 기술 개발 현황	10
3. 연구 수행 내용 및 성과	47
4. 목표 달성도 및 관련 분야 기여도	92
5. 연구개발성과의 활용 계획	103
6. 연구 과정에서 수집한 해외 과학기술 정보	106
7. 연구개발성과의 보안등급	109
8. 국가과학기술종합정보시스템에 등록한 연구시설·장비 현황	109
9. 연구개발과제 수행에 따른 연구실 등의 안전 조치 이행 실적	110
10. 연구개발과제의 대표적 연구 실적	114
11. 기타 사항	125
12. 참고 문헌	125

8. 본문

제1장. 연구개발과제의 개요

가. 연구개발과제의 설명

(1) 추진 목적

본 연구과제는 지진 및 기후변화에 의한 자연재해에 취약한 기존 건축물 및 소규모건축물의 구조 안전성 확보를 위해 경제적이고 보급이 용이한 보수·보강 기술, 보강전후의 안전성 평가를 위한 성능평가기준, 간편하며 구조성능을 보장할 수 있는 소규모건축물용 구조설계기준을 개발하는 것을 목표로 하고 있으며 추진목적 및 연구개발의 주요 키워드는 다음과 같음.

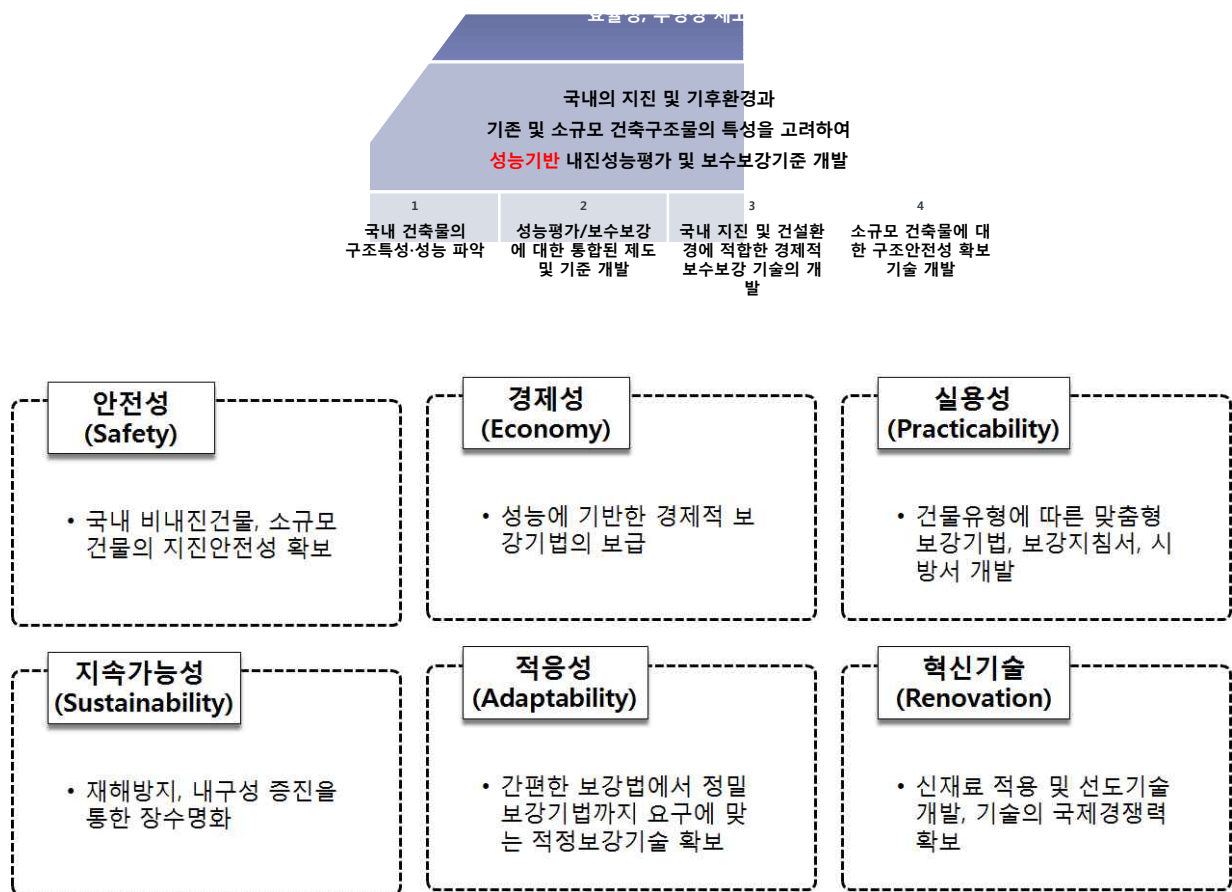


그림 1-1. 연구추진 목적 및 키워드

(2) 추진배경

○ 이상기후로 인한 자연재해의 급증

- 지구 온난화에 따른 기후변화로 인하여 태풍, 폭우와 폭설에 의한 급격한 강수량 증가, 홍수 그리고 산사태 등 자연 재해가 빈번함.
- 기상청 자료에 따르면 지난 50년 동안 한반도의 평균 기온, 8월 강수량, 태풍의 빈도 및 강도가 매우 빠르게 증가하고 있음.

- 최근의 사례로는 2010년 8월의 온태풍 곤파스에 의한 폭우 피해, 2011년 7월의 461mm의 기록적인 폭우에 의한 우면산 산사태, 강원도 지역의 가옥유실 등을 들수 있음. (그림 1-2)



그림 1-2. 폭우에 의한 산사태 피해사례 (2011년 우면산 산사태)

- 기상청에서는 기온과 강수량이 2100년까지 지속적으로 증가할 것으로 전망하고 있음.

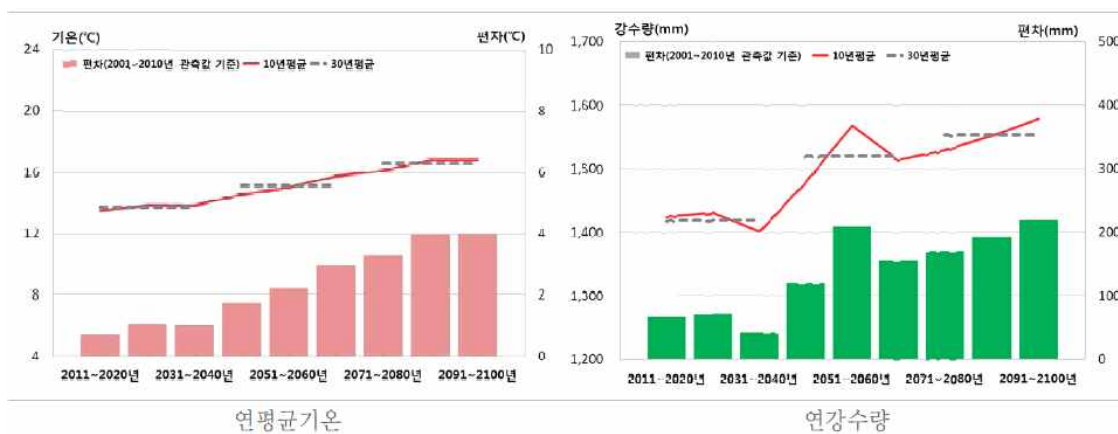


그림 1-3. 우리나라 연평균기온 및 연강수량 미래 전망 (2011년~2100년)

- 태풍의 빈도 및 강도가 높아짐에 따라 강풍에 의한 지붕, 간판, 유리창, 그리고 커튼월 등의 비구조 요소의 돌풍에 의한 탈락으로 인명피해의 위험성이 높으므로 강한 풍하중에 대한 비구조 요소의 내풍설계 기준의 검토가 필요함.

○ 지진 피해 증가에 따른 우려

- 지진에 의한 피해는 광범위한 지역에 걸쳐서 막대한 인명피해와 경제적 손실을 초래하여, 단일 재해로는 국가 신경망의 마비와 중요재해구호시설의 기능손상으로 국가적 재난상황을 발생시킬 수 있음.
- 해외의 피해사례에서 나타나듯이 지진발생으로 인해 복구비용을 포함한 경제적 손실은 2010년 아이티 지진의 경우 아이티 GDP의 120%에 달하였으며, 1995년 일본 고베지진과 2008년 중국 쓰촨성 지진은 대략 140조원의 피해비용이 발생음.
- 일본 이와테현 지진과 중국 쓰촨성 지진은 규모가 거의 비슷하지만 지진피해상황은 이와테현 지진의 경우 인명손상이 수십에서 수백명에 불과하고 중국 쓰촨성 지진의 경우는 사망자 7만명, 실종자 17,000명, 부상자 37만명에 달하는 것으로 보고됨에 따라 내진설계의 중요성이 입증됨.



중국 쓰촨성 지진(2008.5)
 ◦사망 : 69,226명
 ◦건물 786만여채 붕괴
 ◦피해액 : 약 143조원



아이티 지진(2010.1)
 ◦사망 : 222,517명
 ◦주택 10만5천채 붕괴
 ◦피해액 : 약 14조원



일본 동북 대지진(2011.3)
 ◦사망/행방불명: 약 250,000명
 ◦건물 11만5천채 붕괴
 ◦피해액 : 최대 250조원 추정

그림 1-4. 최근 대표적인 지진피해의 손실사례

- 우리나라는 그 동안 지진 안전지대로 평가되어 왔으나 최근 지진발생빈도가 증가 하는 추세임. 2007년 1월 20일에 발생한 오대산 지진의 경우, 지진의 최대지반가속도가 0.15g (N-S성분)로 관측되었고, 이 가속도는 국내 건축구조설계기준에서 제시하고 있는 설계 최대지반가속도 0.11g를 초과하는 수치이므로, 우리나라에서도 구조물에 치명적인 손상을 줄 수 있는 강진이 발생할 가능성을 배제할 수 없는 현실임.
- 또한 우리나라는 급격한 도시화에 따른 인구집중으로 인구밀집지역에 강진이 발생할 경우 막대한 인명, 재산상의 손실을 입을 수 있으나 이에 대한 대비는 미흡한 실정임.

○ 국내 건축물의 내진설계 현황

- 국내 건축물은 현재까지 82%정도의 건축물이 내진설계가 적용되지 않은 비내진 건축물임. 1988년 이후 단계적으로 내진설계 대상 및 기준이 강화되고 있으나 전체건축물중 85%는 내진설계 적용대상이 아니며 현재 기준에 의한 적용대상건물 중에서도 80%는 과거에 건축되어져 내진설계가 적용되지 않았음. (표 1-1)
- 따라서, 국내에 존재하는 건축물의 약 98%가 지진이 발생했을 때 적절하게 저항하도록 설계되었다고 보기 힘들. 따라서 대규모의 지진이 발생할 경우 국가 재난에 이를 수 있는 대규모 피해가 예상됨.
- 중저층의 건축물은 아이티와 터키의 지진피해사례에서 보듯이 지진에 취약하여 큰 피해가 발생됨. 국내의 경우 이러한 규모의 건축물은 전체 건축물 동수에 있어 84%를 차지하고 있으나 대부분 비내진 건축물인만큼 지진발생시 피해가 극심할 것으로 예상되므로 이에 대해 시급히 대책을 수립할 필요성이 있음.

표 1-1. 국내 건축물 내진설계 적용 여부

우리나라 전체 건축물	내진설계 대상여부 (3층이상, 연면적 1000㎡ 이상 건축물)		내진설계 적용여부		
680만동	내진설계 비대상	580만동	-	비적용	85.3%
	내진설계 대상	100만동	84만동	비적용	12.4%
			16만	적용	2.3%
비 고	우리나라 전체 건축물중 2.3%만 내진설계 적용되었으며, 실제 내진설계전문가가 수행한 건축물은 0.6%에 불과함.				

표 1-2. 중요 건축물의 내진설계 적용 비율

시설물명	내진설계 대상	내진설계 적용	내진설계 미적용				내진설계 적용 비율
			소계	내진양호	내진보강	내진보강 필요	
고속철도	161	161	-	-	-	-	100%
공항시설	145	95	50	36	6	8	94.4%
일반철도	3,470	800	2,670	2,257	104	309	91.0%
병원시설	2,334	1,215	1,119	655	19	445	80.9%
도시철도시설	1,421	47	1,374	1,065	-	309	78.2%
정부청사 등 공공건축물	51,903	8,466	43,437	-	-	43,437	16.3%
국가항만시설	449	60	389	2	-	387	13.8%
학교	18,329	2,417	15,912		61	15,851	13.5%

○ 내진성능평가/보강기준의 부재로 인한 문제점

- 1988년 우리나라에서 건축물 내진설계기준이 처음 시행될 당시에는 국가적인 경제적 부담과 충격을 감안하여 6층 이상의 건물에만 이 기준이 적용되었으며 최근에는 3층 이상의 건물로 확대됨. 따라서 국내에는 내진설계가 전혀 적용되지 않은 비내진 건물이 대수 존재함.
- 아래 표에 나타나듯이 지역별로 약간의 차이는 있지만, 전체 건축물중 내진설계가 실시된 건축물의 비율은 불과 16.3% 정도며 나머지 건물은 지진안전성의 사각지대로 남아있음. 따라서 이들 건축물의 내진보강을 위한 성능평가/보강기준, 또한 이를 뒷받침할 수 있는 하위레벨의 지침의 마련이 요구됨.

표 1-3. 전국 건축물 내진설계 현황(3층 이상, 2007년 말 기준 단위: 동)

(출처: 국토부 국감자료, 2007; 나머지 지역은 지면관계상 생략함)

구분	건축물(3층 이상)	내진설계 건물	내진설계 비율(%)
서울	250,058	31,578	12.6
부산	82,028	11,102	13.5
인천	62,160	8,290	13.3
대전	32,563	5,534	17.0
경기	208,506	39,594	18.0
충북	38,455	6,111	15.9
계	193,912	37,482	16.3

- 외국의 경우 원칙적으로 모든 건물이 지진에 대하여 안전하도록 설계되고 있으며 내진기준이 변경될 경우 내진보강을 위해 내진설계기준과 독립된 기존구조물의 내진성능평가 및 보강기준이 사용되고 있음.
- 이는 다양한 설계안 및 불확실성을 고려해야하는 내진설계에 비해 기존구조물의 내진성능평가는 현장확인을 통해 재료강도 및 비구조요소 등의 불확실성을 제거할 수 있으며 평가대상이 유일하므로 고급구조해석을 통해 구조물거동의 정밀한 파악이 가능하며 이를 통해 보다 경제적인 보강이 가능하기 때문임. 또한 내진설계기준을 사용하여 기존건물을 검토할 경우 적합, 부적합만을 판정할 수 있으며 규정미준수시 내진성능에 미치는 영향을 파악할 수 없기 때문이기도 함.
- 따라서 경제적인 보강설계를 위해서는 기존 건물만을 대상으로 하는 성능평가기준이 반드시 필요하며, 국내의 경우는 과거 내진설계대상에서 제외될 때 무분별하게 사용되었던 국내특유의 상세를 가진 비내진 구조요소의 구조성능에 대한 검증이 필요함.
- 또한, 중소규모의 기존 건물은 구조계산서, 구조도면이 없는 경우가 많으므로 이러한 경우에도 개략적인 구조성능평가가 가능하도록 과거에 사용된 재료강도 및 배근상세에 대한 체계적인 조사가 필요함.

- 이러한 내진설계 부재로 인한 예상피해액 혹은 내진설계를 적용 했을시 절감비용을 계산해보면 아래 표 1-4와 같음.
- 공공시설물의 경우 소방방재청의 내진보강 대상건축물 추산 및 보강계획(2010)을 참조하여 내진보강 수량 및 비용을 산정.
- 민간 건축물의 경우 민간 건축물의 경우 수량은 2012년부터 연간 내진보강 시행률이 0.4%씩 증가한다고 가정하였으며, 2035년까지 18년간 보강대상의 68.4%가 보강된다고 가정.
- 시나리오1은 본과제의 수행결과로 공공건축물 보강비용의 10%, 민간건축물 보강비용의 10% 절감을 가정하였으며, 시나리오2는 민간건축물의 보강비용 절감효과를 20%로 가정함.

표 1-4. 제2중점분야 연구과제의 경제성 분석
(내진설계 미적용 기존 건축물의 내진보강 관련)

연도	내진설계 미적용 공공시설물 보강비용 (억원)				내진설계 미적용 민간건축물			절감 비용 (억원)	
	건축물 (학교외) (43437동)	학교 (15851동)	건물합 (59288동)	전체시설 (77296개소)	보강 시행률 (%)	보강 수량 (동)	보강 비용 (억원)	Scinario1 공공 10% 민간 10%	Scinario2 공공 10% 민간 20%
2011	16849	3006	19855	30251	-	-	-	-	-
2012					-	-	-	-	-
2013					-	-	-	-	-
2014					-	-	-	-	-
2015					-	-	-	-	-
2016	33418	5962	39381	60000	-	-	-	-	-
2017					-	-	-	-	-
2018					0.4	3120	9360	1724	2660
2019					0.8	6240	18720	2660	4532
2020					1.2	9360	28080	3596	6404
2021 ~2025	33418	5962	39381	60000	12	93600	280800	32018	60098
2026 ~2030	33418	5962	39381	60000	22	171600	514800	55418	106898
2031 ~2035	33418	5962	39381	60000	32	249600	748800	78818	153698
계	150523	26854	177377	270251	68.4	533520	1600560	174233	334289

○ 한국형 구조설계기준 개발의 시급성

- 현행 국내 내진설계기준이 갖는 큰 문제점 중에 하나는 지진위험도와 건설특성이 다른 미국의 내진 설계기준을 많은 부분 차용하고 있다는 점임.
- 미국기준 차용의 대표적인 문제점은 철근콘크리트 벽식 공동주택 (전체주거 단위수의 58% 점유) 및 우리나라 특유의 강접합 철골구조의 예와 같이 미국의 건축구조시스템과 상이한 우리나라 특유의 건축평면, 시공방식에 의한 구조시스템이 다수를 점하고 있음에도 불구하고, 현행 국내 내진 설계 기준에서는 국내 고유 특성 시스템에 대한 안전성과 기능성을 평가하는 실증적인 자료가 산발적이거나 부족하여 정확한 검증과 분석 없이 유사하다고 생각되는 미국 구조물 시스템의 내진 설계값을 사용하여 설계를 하고 있어 과다 설계에 따른 건설비 증가 또는 과소설계에 따른 불안전설계의 위험이 존재하고 있음.
- 예를 들어 아래 그림에서 보는 바와 같이 국내 저층 필로티형 집합 주택은 아래의 전단벽과 상부에 모멘트골조가 혼합되어 있는 특수한 구조시스템으로 우리나라의 경우 저층 집합주택의 큰 비

을을 차지하고 있음. 이러한 집합주택은 내진성능에 대한 강도는 강화된 기준에 현저히 미달하며 지진 하중을 고려하였다고 하더라도 구조부재와 접합부의 상세가 비내진상세로 설계 및 시공되었으므로 지진 발생 시 전단파괴 등으로 인한 큰 구조적 피해가 발생할 가능성이 높음을 해외 강진 지역의 지진피해 사례 (그림 1-5 참조)를 통하여 알 수 있음.



(a) 우리나라 저층 필로티형 집합주택 예 (b) 일본 고베지진(1995)에서의 필로티기둥 파괴
그림 1-5. 우리나라 저층 필로티형 집합주택과 해외의 대형 지진시 붕괴 사례

○ 소규모 건축물 구조안전에 대한 국가 관리체계 부재

- 소규모 건축물이란 ‘층수 2층 이하, 면적 1000m² 이하’의 건축물로 건물동수 기준 국내 전체 건축물의 약 85% 이상을 점유하고 있음.
- 소규모 건축물은 건축신고만으로 건축이 이루어지며 구조계산서의 작성 및 공사 감리등이 의무사항이 아님. 주로 건축사에 의한 경험적으로 구조상세가 결정되어 지진 및 기후변화 대비 재난/재해 등의 구조안전에 매우 취약함.

구 분	건축 허가		건축 신고		
적용 범위	6층 이상	3층~5층	소규모 건축물 (3층 미만, 연면적 1000m2미만)		
			200m ² ~1000m ²	200m ² 이하	기타*
설계도 작성	건축사		의무 대상 아님		
구조계산서**	구조 기술사	건축사 등	의무 대상 아님		
구조도***	(내진 설계 포함)	(내진 설계 포함)			
필요 서류	건축계획서, 배치도 평면도, 입면도, 단면도 구조도, 구조계산서, 시방서 등을 제출		건축계획서, 배치도 평면도, 입면도, 단면도만 제출	표준설계도서에 따라 건축한 건축물: 건축계획서 및 배치도만 제출	

그림 1-6. 소규모 건축물에 대한 건축 인/허가 자료

- 국내 건축법상 건축물의 설계기준은 건축구조기준(KBC2009) 및 ‘소규모건축물 구조기준’으로 구성됨. 이중 건축구조기준은 지속적으로 구조안전성 확보를 위한 개정/보완작업이 진행됨. 그러나 건축법 시행규칙 내에 있는 ‘소규모 건축물 구조기준’은 1970년대 작성된 외국의 최소 사양기준만을 단순 반영한 형태로서, 여기에 적용을 받는 소규모 서민 건축물은 구조안전성의 사각지대로 남아 있음.

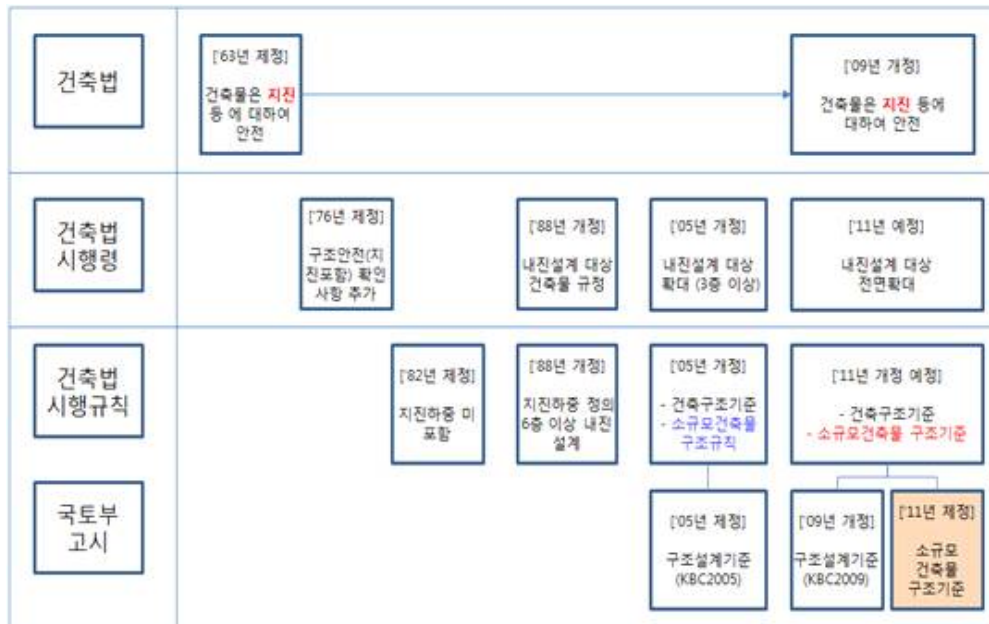


그림 1-7. 소규모 건축물 관련 법규

나. 연구개발의 중요성

(1) 기술 개발의 중요성

○ 기술적 측면 : 현행 사양중심 기준의 보완 및 구조설계/보강기술의 발전

- 현행 국내 구조기준은 많은 부분이 미국의 설계기준을 그대로 차용하고 있음. 미국기준을 차용함에 따라 우리나라 특유의 구조상세 및 구조시스템에 대한 안전성과 기능성을 평가하는 실증적인 자료가 부족함.
- 따라서 본 연구를 통해 국내 건축물의 특유의 상세를 가진 부재에 대한 성능 데이터를 확보하고 이를 기반으로 한 구조성능평가기준의 제정은 합리적인 성목표의 설정 없이 이루어지고 있는 국내 비내진 건물의 내진보강의 기술적 합리성 측면에서 중요함.
- 현행 구조기준에 사용되고 있는 여러 설계계수들은 일반 구조물이 과거의 지진에서 보여주었던 거동과 피해상황에 따른 경험을 바탕으로 산정되었으며 논리적이고 체계적인 분석을 바탕으로 하고 있지 않음.
- 이를 보완하기 위해 선진국에서는 구조물의 정량적인 성능평가에 기초한 내진평가법과 설계법을 도입하고 있음. 하지만 국내에서는 이러한 시도는 관심있는 연구자의 산발적인 연구수준으로 머무르고 있음. 따라서 통일된 기준으로 이를 통합하고 분석하여 국내 건축물의 내진성능을 보다 객관적으로 평가할 수 있는 정량적 도구를 사용하는 내진기준 마련이 시급함.
- 국제표준화기구(ISO)는 기술무역장벽을 낮추기 위해서 모든 국제규준을 성능중심형으로 개선할 것을 요구하고 있는데 반해, 국내에서는 이에 대한 대비가 전혀 이루어지지 못하고 있어 국가 기술 경쟁력 차원에서도 이에 대한 내진 성능 평가 및 설계 기준 마련을 위한 연구 수행이 필요함.
- 기존건축물의 경제적 구조보강을 위한 설계와 시공은 복합적인 구조거동을 합리적이고 정확하게 평가할 수 있는 구조공학기술과 설계정보의 표현과 전달, 그리고 활용을 원활하게 하는 전산설계 기술과 결합되어야 가능하며 국내의 발전된 정보처리기술을 도입할 경우 단기간 내에 기존건축물 구조평가 및 보강에 실용적으로 이용할 수 있는 전산시스템 개발이 가능함.
- 국내외 정책 및 시장분석, 기술동향분석 등을 통한 환경 분석 결과 소규모 건축물 관련 기술은 선진국과 기술격차가 다소 있지만, 정부 주도를 통한 전반적인 통합기술 확보 시 국제시장에서의 기술우위 확보가 가능.

○ 경제·산업적 측면 : 보강 자재 및 공법의 국산화를 통한 산업 발전

- 현재 국내에서는 해체보다는 보수/보강의 중요성이 점점 사회적, 경제적으로 부각되고 있으며, 연간 300조원이 넘는 국가 자원의 낭비초래와 엄청난 건축폐기물을 양산하여 환경문제를 야기하고 제한된 건축자원의 고갈로 나타게 될 것임. 아래 표는 연도별 보수/보강을 통한 건축 리모델링 시장 규모를 보여 주는 것으로 점차 보수/보강을 통한 건설부문에서 새로운 사업 영역이 확대되는 것을 알 수 있음. 최적 내진보강 기술의 확보는 제한된 국가 건설자원의 효과적인 활용을 가져오고 전체 국가 경제에 파급효과가 큰 건설사업의 활성화로 나타나게 되어 건설 관련산업의 부가가치 상승을 가져올 수 있음.

표 1-5. 연도별 리모델링 시장 규모(단위: 천호)

자료: 국내 아파트 리모델링 시장의 성장 전망과 과제, 2004.3.한국건설산업연구원.윤영선

	2005~2009	2010~2014	2015~2019	2020~2024
총 대상호수	664	1377	3127	5231
리모델링 예상호수	119	287	608	1150
연평균 시장규모(천억원)	10.5	25.2	53.5	101.3

- 보강 자재 및 공법의 국산화를 통한 산업 발전 : 국내 건설환경의 특성에 맞는 적절한 내진보강기법의 개발에 의한 기술자립 및 건설산업의 경제적 부가가치 창출 측면에서 중요함.
- 중/약진 지역에 특화된 진동제어장치 및 시스템 개발과 관련된 기술력 증진을 바탕으로 우리나라와 유사한 건축물 환경의 국가에 대한 관련 제품의 수출가능성 확대
- 첨단 전산기술도입에 따른 설계기술 고도화 : 대부분 민간소유인 기존건축물의 구조보강을 촉진하기 위해서는 기존의 간략화된 평가기법을 지양하고, 정확한 예측이 가능한 정밀구조성능평가를 수행하여 과다한 보강을 사전에 방지함으로써 구조보강의 경제성을 확보할 필요가 있음
- 85% 이상을 절대 다수를 차지하는 2층 이하, 1000m² 이하의 소규모 건축물의 경우 지진 및 기후변화 대비하기 위한 사회경제적인 비용이 막대하므로, 경제성적인 구조상세 및 보강기법의 개발을 통하여 신축/기존 소규모 건축물의 구조안전성을 확보하고 소규모 건축물 시장을 확대할 수 있음.
- 지속가능한 건설산업 발전 : 내진보강에 의한 건축물 사용연한 증대를 통해 지속가능한 건축물 실현과 건설폐기물 감소로 인한 지구환경보호 측면에서 중요함.

○ 사회·문화적 측면 : 자연재해 및 지진에 대한 국가 안전망 구축

- 유사 시 재해대응 국가기능 확보 : 중요 건축물의 경우 재해 발생 후 필수 기능을 반드시 유지하여 사회적 안전망을 확보해야 하며, 용도별로 이를 보장할 수 있는 맞춤형 보강 방법 필요.
- 도시화에 따른 방재대책 확보 : 도시에 밀집된 공동주택은 노후화가 상당히 진전되고 있으며, 특히 도시지진을 포함한 비예측 하중에 대한 내진안전성을 확보할 필요성이 있으며, 아이티와 터키의 지진피해사례에서 보듯이 노후화 된 건축물은 지진에 취약하여 큰 피해가 발생됨.
- 서민 복지 : 우리나라 서민의 주거 및 생업이 이루어지는 건물 가운데 상당수의 비중을 차지하는 중/저층 건축물은 내진설계기준 제정 이전에 건설되거나 이후라도 내진설계대상이 아닌 이유로 비내진 건축물임. 따라서 서민 복지 차원에서 현행 내진설계기준에 부합하는 수준의 내진성능 확보 방안을 마련할 필요가 있음.
- 내진보강 절차의 신뢰성 확보 : 법제화된 기준과 표준상세, 시방서 등을 통해 내진보강 공법의 신뢰도를 제고하여 구조안전의 투명성 확보.

- 향후 1기 신도시를 중심으로 도래하는 100만호 이상의 노후 공동주택 리모델링 시장에 있어서 리모델링의 현실적인 사업성 확보를 위한 세대증축 요구에도 불구하고 현재의 수직증축에 따른 구조적 안전성 문제로 인해 제도권에서 받아들여지지 못하고 있으며, 사회적 문제가 되고 있음. 따라서, 건축물 내진보강 성능을 객관적으로 검증할 수 있는 기술기준의 표준화와 더불어 이를 국가 제도권 하에서 확인할 수 있는 기술인증 시스템의 구축을 통하여 리모델링 활성화가 가능할 것으로 판단됨.
- 국내의 소규모 건축물은 중력하중에 대한 구조 검토 없이 설계/시공되었기 때문에 증축 등의 리모델링 공사 중 많은 안전사고가 속출하고 있고, 태풍, 집중호우, 산사태 등 기후변화에 따른 극심한 피해 발생이 예상됨. 소규모 건축물에 대한 구조기준을 정립하고 제도개선을 통하여 국가 건축물의 안전망을 구축하고 국민의 생명과 재산을 보호할 수 있음.

2) 정부지원의 필요성

- 이상기후에 의한 피해로 인해 정부 및 지방자치단체 등의 복구비용이 막대하게 소요됨. 따라서 사전 예방 측면에서 안전점검 기준 등을 정립함으로써, 이러한 피해를 최소화할 수 있으며, 이는 정부 지원을 통해 개발하는 것이 타당함.
- 산재한 각종 설계 및 진단 기준을 통합하고 상호 보완하는 체계적인 설계 및 진단 기준의 정립과 그의 감독 관할을 위한 제도적 시스템의 구축이 필요하며 이는 공공적인 성격을 지니므로 정부지원에 의한 연구가 타당함.
- 중요 공공건물의 구조안전성은 재난발생시 정부의 복구 정책수행 및 사회적 안전망을 유지하는 데 필수적인 요소임. 또한 민간건축물의 구조보강을 유도하여 재난 시 국가전체적인 안전성을 확보하기 위해서는 국가가 선도적인 역할을 수행하여야 하며, 보강 비용을 최소화하여 민간의 자발적인 참여를 유도해야 함.
- 건축물 내진보강에 관련한 국가 기준 정립 및 제도의 구축은 사업화를 목적으로 하는 민간영역에서 수행할 수 없는 분야이며, 업체의 이해관계로부터 자유롭고 객관적이며 신뢰성 있는 결과도출을 할 수 있도록 정부지원에 의한 연구로 수행하는 것이 타당함.

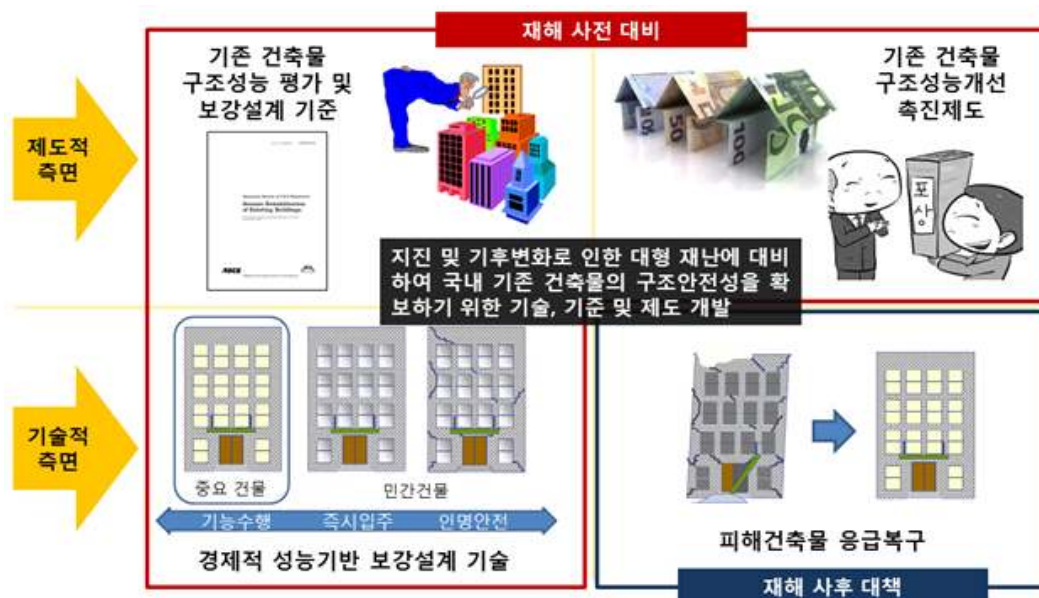


그림 1-8. 연구개발 방향 및 영향

제2장. 국내외 기술 개발 현황

가. 관련 분야의 국내외 연구동향 및 학술적 성과

(1) 국가 연구개발사업 유사연구 실적

본 연구제안의 연구분야별로 이미 진행된 국가연구개발사업중 유사연구를 조사하고 본 연구제안과의 차별성 및 연계방안을 분석하면 다음과 같음.

○ 연구분야 : 건축물의 구조안전성 향상을 위한 정책·제도

부처명 (사업명)	과제명 (예산)	검토결과	연계방안
국토해양부 (건설기술연구사업)	주요 시설물의 내진설계기준 의 재정비 (3억)	기존과제는 교량,도로,댐 등의 토목구조물을 대상으로 외국기준상 개략적인 목표성능을 조사하는 것으로 심도있는 내용이 포함되지 않음.	- 기존기술 개발 보고서 고찰 - 국내외 제도 및 가이드라인 조사에 포함 - 기존 건축물 구조안전 개선 절차 개발 시 참조할 기준으로 활용
국토해양부 건축기획과	건축물의 내진설계 제도 및 피난거리 개선연구	- 기존 과제는 신축건물 내진설계 관련된 제도가 연구 대상인데 반해 후보과제는 기존건축물 구조 성능 관련 제도에 관한 연구임 - 후보과제는 기술이 아닌 제도에 관한 연구임	- 내진설계 관련하여 파악된 문제점을 기존 건축물 구조안전 개선절차 가이드라인 개발방향의 일부로 활용 - 내진성능 평가 및 보강방안 선정 시 주안점을 파악하는데 활용
국토해양부 (도시건축연구사업)	공공임대주택의 주거환경개선을 위한 리모델링 기술적용 및 법제도연구 (2011. 09 ~ 2015. 09) (6.67억)	- 후보과제는 임대주택 뿐만이 아닌 건축물 전반의 구조성능 보강을 촉진하기 위한 것으로서 연구 범위에서 차별화가 됨. - 후보과제는 주거환경 전반이 아닌 구조안전 집중적 연구	- 구조안전 개선 촉진제도 관련 국내외 자료조사를 위한 참고 문헌으로 활용 - 민간 건축물 구조안전성 개선에 대한 효과적인 인센티브 제도의 참고 대안으로서 활용 - 주거환경 개선과 구조안전성 개선의 복합적에 추진에 따른 장단점 검토에 활용
국토해양부 (도시건축연구사업)	집합건축물의 유지관리 제도 개선 (2.8억)	후보과제는 건축물 구조성능 보강을 촉진하기 위한 것으로서 안전성 개선을 목적으로 제도를 개발하는 것이나 기존 연구는 주거환경의 개선 및 유지비용 절감에 관한 제도 연구로서 연구목적이 상이함.	- 민간 건축물 개선 시 중요 고려사항에 대한 파악에 활용 - 건물 유지관리의 관점에서 구조안전 개선의 적정 시기 및 보수 보강 기법 파악 - 구조안전 개선 촉진제도 관련 선행연구로서 조사 분석
소방방재청	국가 내진성능 목표설정 연구개발	기존연구는 각종 시설물의 내진성능 목표에 관한 것이고, 후보과제는 건축물 재해위험도 저감을 위한 실질적 제도와 정책을 개발한다는 점에서 차이가 있음.	- 해외의 건축물 구조안전 개선 촉진제도 기초 조사자료로 활용 - 건축물 구조안전 개선 촉진제도의 기본 목표 설정에 참고 자료로 활용
국토해양부 (도시건축연구사업)	긴급대응형 재난대피시설물 개발 (9.7억)	본 유사과제는 재난 및 재해 발생 시 긴급대응형 재난대피 시설물 내지는 임시거주공간 시스템을 개발 연구로써 본 연구의 연구목표와 차별성이 있음	- 기존기술 개발 보고서 고찰 - 지진, 쓰나미, 태풍, 방사능 유출, 한파, 한서 등 극한환경에 대비해 긴급 재난대피시설물에 대한 연구개발 결과와 재난발생 후 신속대응시스템과의 연계관계에 대한 타당성 분석

국토해양부 (도시건축연구사업)	재난·재해 대비 임시거주공간 시스템 개발 (11억)	본 유사과제는 재난 및 재해 발생 시 긴급대응형 재난대피 시설물 내지는 임시거주공간 시스템을 개발 연구로써 본 연구의 연구목표와 차별성이 있음	- 기존기술 개발 보고서 고찰 - 재난·재해 대비 임시거주공간 시스템에 대한 연구개발결과와 재난발생 후 신속대응시스템과의 연계관계에 대한 타당성 분석
한국연구재단	한반도 지진특성을 고려한 시설물 기초 지반의 내진설계기술 개발	유사 과제는 기초 및 지반의 설계스펙트럼 작성을 주요 목표로 하며, 본 기획연구와 일부 유사한 내용이 있음. 따라서, 위 연구내용 중 지반 스펙트럼 개발 내용을 본 기획연구의 내용에 반영하여 연계하고, 건축물의 내진설계를 위한 구조설계기준 개정에 활용하여 개발할 필요가 있음.	- 기존기술 개발 보고서 고찰 - 지진시 국내지반조건에서의 지반 증폭현상 평가 및 실험결과 활용 - 국내지반의 재분류 및 부지고유의 설계응답스펙트럼 작성 기술을 국내 지반 및 지진환경을 고려한 지진하중 정의에 연계
국토해양부 (건설교통기술촉진연구사업)	이상기후에 대비한 시설기준 강화 (68.7억)	본 과제는 이상기후에 대한 하중기준, 설계기준 정비, 법제도 정비 모두 포함함	- 기존기술 개발 보고서 고찰 - 이상기후 대비 설계기준 작성을 위한 자료로 활용
소방방재청	기존시설물 내진보강 기본계획 수립 (2.82억)	본 연구과제는 건축물 뿐만아니라 도로 교량 등 토목구조물 전반의 내진보강 방향을 개략적으로 다룬 것으로 본 연구과제와는 차별성이 있음	기존기술 개발 보고서 고찰
국토해양부 (건설기술연구사업)	시설물 보강공법 성능인증을 위한 시험항목·방법 및 평가기준 설정 연구 (3.14억)	기존과제는 FRP를 이용한 정적보강에 대한 연구로 신규과제의 내진보강공법의 시험표준 및 인증제도 구축과 중복성 없음	시험표준 및 인증절차 제안사항 참고

○ 연구분야 : 기존 건축물 구조안전성 확보 기술

부처명 (사업명)	과제명 (예산)	검토결과	연계방안
한국시설안전공단	기존 건축물 내진성능평가 및 향상요령 보완.개정 (1.72억원)	- 제안 과제는 유사과제와 달리 한국적 특수성을 가진 국내 건축물 구조성능에 대한 실증적 자료를 제시하고, 평가판정 기준에 이를 반영하도록 함. - 기존 과제는 내진성능 향상요령이 개편 수준의 내용을 담고 있어서 실무 적용에 한계가 있으나 제안 과제는 건물의 용도 및 중요성에 따른 특화된 성능개선 방안 개발함. - 제안 과제는 '요령'이 아닌 법제화된 '기준'을 개발하는데 목표를 둠.	- 성능기반평가기술 국내 도입과정에서 보완되어야 할 점을 파악함. - 기존의 평가 및 향상 요령은 법제화된 '기준' 초안 작성 시 참고 - 기존기술 개발 보고서 고찰 - 기존 주요 공공 건축물의 보강 지침 개발에 참고 - 민간 취약 건축물의 최소 비용 보강 지침 개발에 참고 - 기존 보강방안을 종합정리하여 우수한 보강법을 선별하고, 보강 상세 및 시방서를 제시
교육과학기술부 (일반연구자지원)	국내 벽식 공동주택의 기본 주기 실측에 관한 연구 (0.57억원)	유사과제는 국내의 공동주택을 대상으로 하고 있으나 지진이 아닌 상시미진동시의 주기산정에 한정됨	- 구조시스템별 주기예측식 산정을 위한 기본 데이터로 활용 - 타 구조시스템의 주기실측을 위한 실험계획서 참고자료로 활용
교육과학기술부 (중견연구자지원)	필로티형 저층 RC 집합주택의 내진성능평가 및 사전.사후 내진 보강법 개발 (1.27억원)	유사과제는 각기 특수한 구조형식 (필로티, 목조, 저층 RC조)만을 대상으로 하고 있음.	- 필로티 구조의 단면상세별 구조부재의 성능데이터 구축을 위한 기본 데이터로 활용 - 상세가 다른 구조요소 및 타

		유사과제는 평가개념에 따른 내진성능 평가법이 아닌 서로 다른 평가법의 개념(내진설계 기준, 일본의 내진평가기법)에 따른 내진 평가법을 제안함.	구조시스템의 성능데이터 확보를 위한 실험계획서 참고자료로 활용 필로티 구조의 해석기법분석을 위한 기초자료로 활용
소방방재청 (방재기술연구개발)	목조 건축물의 내진성능 평가항목에 따른 내진진단법의 개발	제안 과제는 한국적인 특수성을 가진 국내의 건축물을 포함한 모든 구조형식에 적용되는 성능기반 내진평가 기법을 개발하고 '기준'으로서 법제화하는데 목표를 두고 있다는 점에서 유사과제와 차별화됨. 다만, 기존과제에서 수행한 실험데이터는 활용가능함.	- 목구조의 해석기법분석을 위한 기초자료로 활용 - 목구조의 구조요소별 성능데이터 구축을 위한 기본데이터로 활용
과학기술부 (특정기초연구지원)	전단 및 휨파괴형 부재가 혼합된 저층 철근콘크리트 건물의 내진성능 평가법 (1.0억원)		- 골조+전단벽 구조의 구조요소별 비선형거동분석을 위한 기초자료로 활용 - 골조+전단벽 구조의 해석기법분석을 위한 기초자료로 활용
국토해양부 (첨단도시개발사업)	도심지 내 중, 저층 주요시설물(학교, 병원 등)의 응급복구 내진보강기술 개발 (5.4억원)	제안 과제는 특정 구조 보강재의 개발보다는 건물의 용도에 특화되어 경제적으로 적정 성능 수준을 확보하기 위한 보강설계 방법 및 보강방법 선정 지침을 제시하고 법제화된 보강설계 기준을 개발하는데 차이가 있음.	- 기존기술 개발 보고서 고찰 - 보강 상세 및 설계법 지침 개발에 참고
건설교통부 (건설핵심기술연구개발사업)	카본복합재료를 이용한 노후 벽식 공동 주택의 리모델링을 위한 구조부재의 성능 향상을 통한 내진성능 확보 (2.54억원)		- 기존기술 개발 보고서 고찰 - 보강 상세 및 설계법 지침 개발에 참고
건설교통부	우리나라 중·저층 철근콘크리트 건축물의 지진피해 예측 및 보수보강법 연구	제안 과제는 건물 유형별로 성능평가 및 보강 방안에 접근하는 방식은 수용하되 보강 전후의 건물모두를 동일한 절차에 따라 성능평가를 수행하는 통일성 있는 보강설계 기준 개발	민간 취약 건축물의 최소 비용 보강 지침 개발에 수용하고 구체적인 상세 및 시방서 등을 추가함.
건설교통부	기존 시설물에 대한 내진성평가기법 개발	제안 과제는 실제 활용 가능한 구체적인 보강설계 방안을 법제화된 '설계기준' 형태로 제시하도록 한다는 점에서 기존 연구와 차이가 있음.	- 기존기술 개발 보고서 고찰 - 기존 주요 공공 건축물의 보강 지침 개발에 참고 - 민간 취약 건축물의 최소 비용 보강 지침 개발에 참고
소방방재청 (방재기술연구개발)	조적조 건축물의 내진보강기법 실태분석에 관한 연구	제안 과제는 민간 건물에 맞는 보강 기법을 추출하여 보강된 건물의 성능향상 수준을 평가하고 설계지침과 시방서를 제시함.	- 기존기술 개발 보고서 고찰 - 민간 취약 건축물의 최소 비용 보강 지침 개발에 참고 - 기존 보강방안을 종합정리하여 우수한 보강법을 선별하고, 보강 상세 및 시방서를 제시
국토해양부 (건설핵심기술연구개발사업)	조적조 건물의 내진 성능향상 및 고층화 실현 방안을 위한 연구 (3.53억원)		
과학기술부 (국가지정연구실사업)	리모델링을 위한 노후공동주택의 내진성능 등급화 및 차세대 보강기술 개발 (2.6억원)	제안 과제는 비용을 최소화하고 성능을 극대화하는 보강 방안을 제시하고 최종적으로는 법제화된 보강설계 기준을 개발하는데 차이가 있음.	- 기존기술 개발 보고서 고찰 - 기존 보강방안을 종합정리하여 우수한 보강법을 선별하고, 보강 상세 및 시방서를 제시
건설교통부 (건설기술연구사업)	웹기반 중저층 RC건물 구조설계 및 실시도면 전산화 (7.34억원)	이 과제는 소규모 신축건물의 구조설계지원을 웹기반으로 수행할 수 있는 기술개발에 있지만 제안과제에서는 기존건축물의 평가	

		및 보강설계를 위한 전산시스템 구축에 그 목적을 두고 있으므로 중복성 없음	
국토해양부 (건설교통기술촉진연구사업)	BIM 기반 골조공사 관리 시스템 ConiForm 개발 (3.0억원)	이 과제는 신축건물의 설계단계에서의 BIM기반 구축과 이를 이용한 골조공사 관리시스템 개발에 있지만 제안과제에서는 기존 건물의 보강설계를 위한 BIM활용에 목적을 두고 있음.	이 과제의 성과물 중 기존건물 보강에 적용가능한 사항은 BIM기반 구조보강 모듈개발에 반영예정임.
국토해양부 (도시건축연구사업)	BIM 기반 RC구조와 강구조 표준상세 연구 및 데이터베이스구축 (3.0억원)	이 과제는 설계단계에서의 BIM기반 구축 및 데이터베이스 구축에 중점을 두고 있지만 제안 과제에서는 구조보강을 위한 BIM활용에 목적이 있음	이 과제의 성과물 중 일부는 BIM기반 구조보강상세 3차원 라이브러리 구축에 활용 예정
국토해양부 (도시건축연구사업)	비정형 통합설계시스템 개발 (83.0억원)	이 과제는 일반적인 설계하중에 대한 비정형 초고층 건축물의 구조설계를 위해 필요한 전산플랫폼 개발에 목적을 두고 있으나 제안 과제에서는 지진 및 기후변화에 따른 기존 중저층 건축물의 구조보강설계를 위한 전산활용기술 개발에 그 목적이 있으므로 차별성이 있음	- 이 과제를 통해 개발된 요소 기술 중 기존건축물 보강에 적용가능한 것은 전산시스템에 도입예정 - 파라메트릭 설계기술은 기존 건축물 보강에 적용하여 최적 대안선정 기술개발에 활용
과학기술부 (국가지정연구실사업)	리모델링을 위한 노후공동주택의 내진성능 등급화 및 차세대 보강기술 개발 (2.6억원)	기존 구조물의 최적보강시스템 제시와 관련 기준(안) 개발이 목표인 본 연구과제에서는 다양한 진동제어장치에 대한 성능을 제시하므로 차별성이 명확함	- 기존기술 개발 보고서 고찰 - 진동제어장치의 기존 국내건축물 적용성 및 실험적 검증방법에 대한 기초자료로 활용 - 기존 국내건축물 보강기술에 대한 기초자료로 활용
국토해양부 (건설핵심기술연구개발사업)	물탱크를 이용한 기존 공동주택의 진동제어 기술 개발 (2.26억원)	유사과제는 제한적인 진동제어방식 사용하였으며, 진동성능 또한 한정적임	- 기존기술 개발 보고서 고찰 - 소규모주택에 대한 진동제어 기술에 대한 기초자료로 활용 - 기존 공동주택에 대한 내진성능 파악 및 진동제어 방식에 대한 기초자료로 활용
교육과학기술부 (일반연구지원사업)	에너지소산형 접합부를 가지는 외부골조 신설형 학교건축물 내진보강기술 (1.76억원)	유사과제는 학교건축물이라는 대상건물이 제한적	- 기존기술 개발 보고서 고찰 - 기존 저층의 철근콘크리트 건축물에 대한 진동성능확보 방안에 제시 시 기초자료로 활용 - 기존 건축물의 내진보강기법에 개발에 대한 기초자료로 활용

○ 연구분야 : 소규모 건축물의 구조안전성 확보 기술

부처명 (사업명)	과제명 (예산)	검토결과	연계방안
국토해양부 국토정책 국 도시정책관실 건축기획과	소규모 건축물 내진설계 개선 방안 마련 (2.85억)	현재 소규모 건축물 관련 표준접합상세지침은 전체 건축물을 대상으로 하므로 소규모 건축물에 국한된 건축물의 표준 접합부 상세 개발과 이에 적합한 인증방안을 제시.	기존 연구에서 제시된 문제점을 고려하여 개선방안 마련 및 검증 해석 연구 수행

		구조 성능에 영향을 줄 수 있는 벽체 또는 계단 등의 요소를 감안한 소규모 철근 콘크리트 건축물에 보다 실용적인 표준 상세 개발을 목표로 함.	
소방방재청 (방재기술연구개발)	목조 건축물의 내진성능 평가항목에 따른 내진진단법의 개발	국내 상황에 적합하고 효율적으로 내진성능을 파악할 수 있는 목조 건축물에 대한 내진성능평가 방법을 제시	- 목조 건축물의 내진성능에 영향을 미치는 주요 요소 분석에 활용 - 국내 환경을 고려하여 내진성능을 포함한 중력하중과 이상 기후 현상에 영향을 받는 주요 요소 분석
국토해양부(도시건축 연구사업)	조적조 건물의 내진 성능향상 및 고층화 실현 방안을 위한 연구 (3.5억)	- 소규모 조적조 건축물에 적합한 구조 안전성 평가 및 구조 상세 제시 - 구조 성능에 영향을 미칠수 있는 다양한 요인을 제시하여 이를 연구에 반영	- 조적조 건축물의 지진피해 현황 자료 참고 - 관련 전문가와 협력 연구를 통해 소규모 중심의 조적조 구조 설계기준안 제시

(2) 관련분야의 국내외 연구동향 및 학술적 흐름 분석

1) 국내 연구동향

- 연구자 중심으로 성능기반 내진설계 방법론에 대한 개별 연구가 진행되고 있기는 하지만, 아직까지 국내는 성능기반 내진설계기준과 관련 국가적인 연구는 전무한 상태임.
- 국내에서 이루어진 지진위험도 및 방재 관련 연구, 내진성능평가 및 보강과 관련한 연구는 아래 표에 정리될 수 있음. 하지만 1) 내진성능평가에 대한 연구가 다양에게 수행되었으나 기준화하기에는 미흡, 2) 보강에의 경우도 개별 구조체에 대한 보강 재료 및 방법에 대한 연구는 다양하게 진행되었으나 보강 절차를 기준화하기에는 미흡, 3) 최근 한국시설안전공단에서 ‘기존 건축물의 내진성능 평가 및 향상 요령’을 발간하였으나 기준화되지는 않음, 4) 기존 또는 현 시점의 기후변화와 관련된 건설분야의 연구들은 대부분 토목 부분으로 물관리 또는 댐 수문 관리쪽으로 치우쳐 있음, 5) 아직까지 기후변화에 의한 자연 재해가 건축물의 구조적 안정성에 미치는 영향을 직접적으로 연구한 프로젝트는 없음.

표 2-1. 지진위험도 및 방재 관련 연구

제목	연도
지진재해대응기술기획사업	1997/07
기존시설물에대한내진성평가기법개발	2004/04
지진위험도추정을 위한 알고리즘분석연구	2005/12
재해위험도 추정기법개발을 위한 기반자료 구축방안 연구	2006/01
재해피해 추정기법 취약도함수 구축방안 연구	2007/04
재해저항형 지역사회를위한자연재해저감기술개발최종보고서	2007/04
실시간 지진 분석 및 지진재해 정량적 예측 기술 개발	2008/12
지진피해 취약도함수 국산화연구(4차년도); 비보강 조적조 건축물의 지진취약도함수 개발	2008/12
실시간 지진관측 및 대도시 지진 위험도 예측 기술 개발	2009/12
지진감시기술지원 및 활용연구(I)	2009/12
국가 지진조기경보시스템 구축 설계 및 실시간 지진자료 공유기반 연구	2010/02

표 2-2. 구조안전성능평가 및 보강 관련 연구

제목	연도
구조물의 수명연장 및 성능개선과 내진성능 향상에 관한연구: 건설교통기술연구개발사업,(1차년도 연차),1997	1997
섬유보강 콘크리트의 외측 보-기둥 접합부에 관한 실험연구	1997/04
CFST 합성 구조의 내진 안전성 확보를 위한 접합부 성능 개발 연구	1998
반복재하 시험을 통한 철골 모멘트 접합부의 내진거동 연구	1998/00
구조물의 내진설계 및 내진성능 향상에 관한 연구	2000/00
우리나라 중저층 철근콘크리트 건축물의 지진피해예측 및 보수보강법 연구	2002/02
철근콘크리트 구조물의 구조성능 개선을 위한 고성능 탄소섬유판 보강 신기술 개발	2002/08
장방형 철근콘크리트 벽체의 극한거동 및 보강방안에 관한 연구	2002/10
철근콘크리트 건축물 보강공법의 개발 및 성능평가 -유리섬유 및 아라미드섬유쉬트 보강공법을 중심으로-	2003/08
내진 성능평가 시뮬레이션 기술 개발 ; 2003년도 기본사업 보고서	2003/12
내진성능 향상을 위한 모멘트 골조의 접합부 상세에 관한 연구	2004/03
기존시설물에 대한 내진성 평가기법 개발	2004/04
리모델링을 위한 노후공동주택의 내진성능 등급화 및 차세대 보강기술 개발	2004/08
가새골조의 내진성능 평가 및 보강방법 개발	2005/10
조적조 건물의 내진성능향상 및 고층화 실현방안을 위한 연구	2006/07
중약진 지역인 우리나라에 적합한 보-기둥 접합부 개발에 관한 연구 -CFT 접합부를 중심으로-	2006/12
철골조 시설물의 붕괴를 방지하는 설치 용이한 경제적인 보강기구 개발	2006/12
고인성, 고내구성 신섬유복합 모르타르 및 구조물 보수/보강 신기술 개발	2007/04
리모델링을 위한 노후공동주택의 내진성능 등급화 및 차세대 보강기술 개발	2007/08
전단 및 휨파괴형 부재가 혼합된 저층 철근콘크리트 건물의 내진성능 평가법	2007/11
국내 플랫 플레이트 골조의 내진성능평가 및 보수보강 방법	2009/04
목조 건축물의 내진성능 평가기술 개발; 목조 건축물의 내진성능 평가항목 개발을 위한 조사연구	2009/04
조적조 건축물의 내진보강기법 실태분석에 관한 연구	2009/12
목조 건축물의 내진성능 평가항목에 따른 내진진단법의 개발	2009/12
국내 벽식 공동주택의 기본주기 실측에 관한 연구	2010/04
비정형평면을 가진 건물의 지진 취약성 분석 및 동적증폭계수의 검증	2010/04
필로티형 저층 RC 집합주택의 내진성능평가 및 사전.사후 내진 보강법 개발	2010/08
허니컴형 보강재와 방청성 모르타르 및 난연성 마감재를 이용한 내진 보수. 보강 공법 및 재해저감기술	2010/12
기존 건축물의 내진성능 평가 및 향상요령	2011/07

2) 국외 연구동향

- 지금까지 미국에서는 개발된 내진성능평가/ 보강기술의 발전과정은 다음의 그림과 같음.

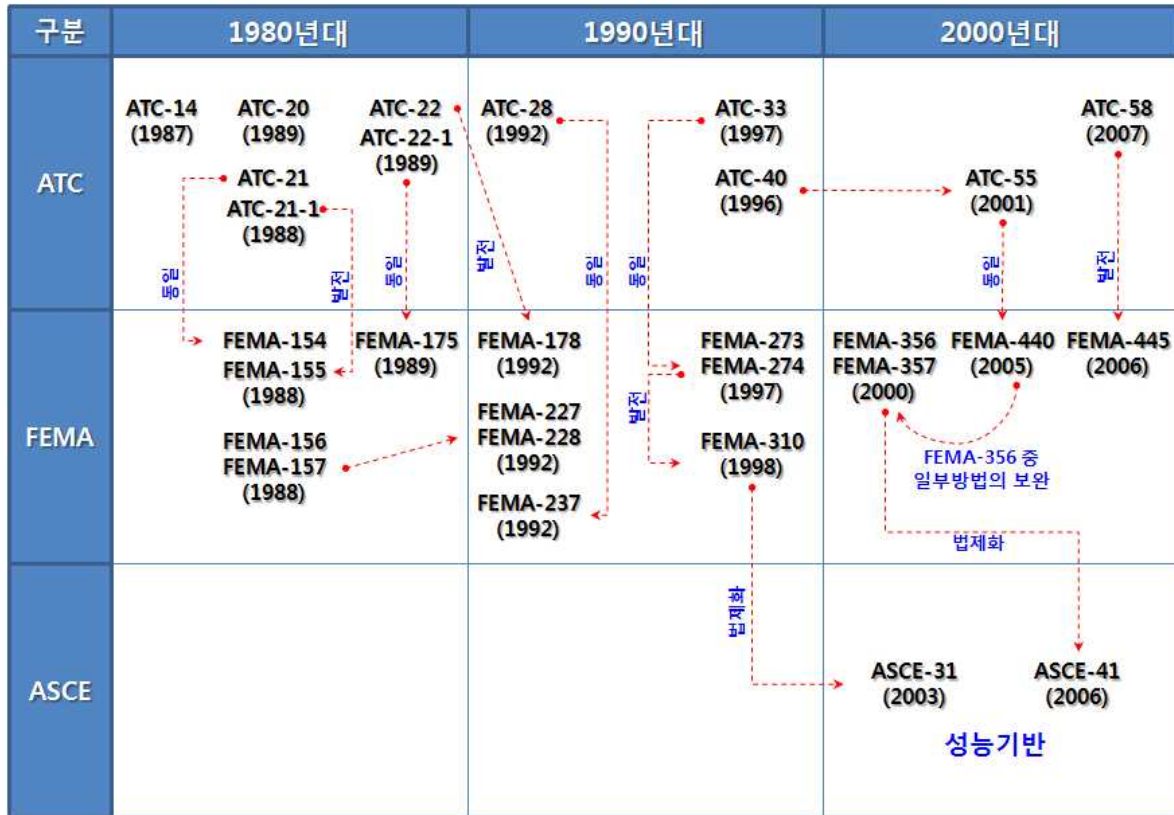
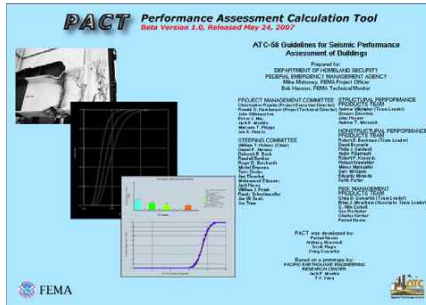
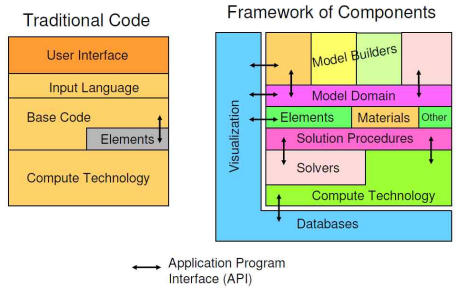


그림 2-1. 미국에서의 기존 건축물 내진성능 평가/보강 기술 발전 과정

- 현재 미국에서는 기존에 개발된 성능평가법을 일반인이 더욱 이해하기 쉽도록 경제적 비용과 확률론적인 개념을 사용하는 차세대 성능기반 내진설계지침을 개발하기 위해 연방재난관리국 (Federal Emergency Management Agency)의 지원으로 ATC (Applied Technology Council)의 ATC 58 프로그램이 진행되고 있음. ATC 58은 “Development of Next Generation Performance-Based Seismic Design Procedures for New and Existing Buildings”으로 2001년에 처음 프로젝트가 시작하여 현재 75% Draft (ATC 2011)까지 진행되었음. 이 연구에 앞서 차세대 성능기반 내진설계지침 개발, 즉 ATC-58 프로그램을 위한 일종의 사전 또는 기획 연구가 되었으며, 그 결과 「Next-Generation Performance-Based Seismic Design Guidelines」으로 FEMA 445 (FEMA 2006)이 제시되었음. FEMA 445에서는 성능기반 내진설계를 위해 필요한 주제들과 그 배경 및 의미를 설명하고 있음.
- FEMA 445에서는 앞으로 발전해 나가야 하는 성능기반 내진설계를 차세대 내진설계 방법으로 정의하고 이전 성능기반 내진설계(1 세대 성능기반 내진설계)과 구분하고 있으며, 차세대 내진설계 방법에서는 1 세대 절차에 정의된 성능 수준을 평가하는 요소 외에 이해 관계자의 의사 결정에 도움을 줄 수 있는 새로운 성능 평가 요소들 (예: 수리 비용, 사상자, 그리고 건물사용 중단 시간)을 기준으로 할 것을 제시하였음.
- 이를 위해서 지진으로 인한 구조물의 응답 및 피해를 더 정확히 예측할 수 있는 성능평가 체제를 개발하고 있으며, 건물주와 더 잘 소통할 수 있도록 새 건물 또는 기존 건물이 지진으로 발생할 수 있는 수리비, 피해복구, 복구 시 걸리는 시간을 예측할 수 있는 평가 절차를 개발하고 있음.
- 현재 연구결과로 ATC-58을 실무적으로 구현하기 위한 전산도구인 PACT가 개발되어 그 원형이 ATC 홈페이지를 통해 전 세계적으로 배포되고 있음. 또한 PEER 센터에서 개발한 지진해석 플랫폼인 OpenSEES가 학술적 연구에 널리 활용되고 있음.



(a) PACT: 성능평가 전산도구



(b) OpenSEES: 지진해석 플랫폼

그림 2-2. 성능기반 구조안전성평가를 위한 전산도구

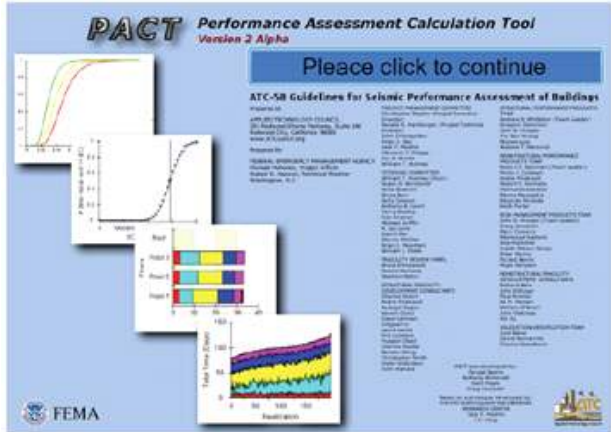


그림 2-3. PACT Splash Screen & PACT Control Screen

나. 국내외 법, 제도 및 정책동향

(1) 국내동향

○ 지진 및 자연재해관련 국내 법, 제도, 정책 동향

- 풍수해대책법(1967년 2월 28일 제정) : 국토와 국민의 생명·신체 및 재산을 재해로부터 보호하기 위하여 방재계획의 수립과 재해예방·재해응급대책·재해복구 기타 재해대책에 관하여 필요한 사항을 규정함.
- 자연재해대책법 제정(1995년 12월 6일 풍수해대책법을 전면 개정함):
 - 1) 이 법은 자연재해로부터 국토와 국민의 생명·신체 및 재산을 보호하기 위한 방재조직 및 방재계획 등 재해예방·재해응급대책·재해복구 기타 재해대책에 관하여 필요한 사항을 규정함.
 - 2) "재해"라 함은 태풍·홍수·호우·폭풍·해일·폭설·가뭄 또는 지진(지진해일을 포함) 기타 이에 준하는 자연현상으로 인하여 발생하는 피해를 지칭함. 1995년 일본 고베지진이후 지진방재종합대책 근거 마련되어 이후 매년 개정됨(1996 - 2005년).
 - 3) 2011년 3월 7일 일부개정을 통하여 현 자연재해대책법의 토대가 마련되었으며, 태풍, 홍수 등 자연현상으로 인한 재난으로부터 국토를 보존하고 국민의 생명·신체 및 재산과 주요 기간시설(基幹施設)을 보호하기 위하여 자연재해의 예방·복구 및 그 밖의 대책에 관하여 필요한 사항을 포함시켰으며, 자연재해를 태풍, 홍수, 호우(豪雨), 강풍, 풍랑, 해일, 조수(潮水), 대설, 낙뢰, 가뭄, 지진(지진해일을 포함), 황사, 그 밖에 이에 준하는 자연현상으로 인하여 발생하는 재해로 규정하고 '풍수해'(風水害)란 태풍, 홍수, 호우, 강풍, 풍랑, 해일, 조수, 대설, 그 밖에 이에 준하는 자연현상으로 인하여 발생하는 재해를 말함.

4) 사전재해영향성검토란 자연재해에 영향을 미치는 각종 행정계획 및 개발사업으로 인한 재해 유발요인을 예측·분석하고 이에 대한 대책을 마련하였으며, 자연재해 극복을 위하여 방재책임자의 권리와 역할을 명확하게 규명하여 방재책임자라 함은 중앙행정기관의 장, 특별시장·광역시장 및 도지사(시·도지사), 시장·군수 및 구청장(자치구의 구청장), 대통령령으로 정하는 행정기관의 장과 단체등의 장 기타 법령에 의하여 재해예방·재해응급대책·재해복구에 관한 책임이 있는 기관·단체 등을 말하며, 방재시설이라 함은 재해방지의 기능을 수행하고 있는 시설로서 대통령령으로 정하는 것을 말함.

- 지진방재종합대책 수립 추진(2005년 3월 22일):

- 1) 소방방재청, 지방자치단체 및 민간전문가로 구성된 지진방재종합개선기획단을 발족(2005년 5월 30일).
- 2) 후쿠오카 근해지진 발생 시 국무총리 지시. 지진방재종합개선기획단 구성·운영(2005년 5월 30일 - 12월 31일). 소방방재청, 자치단체, 삼성방재연구소 등 민간전문가로 구성. NSC, 방송위원회, 교육부, 국방부, 해수부, 건교부, 산자부, 농림부, 기상청 등 10개 부처 40명 비상근으로 참여함. 지진방재종합대책 국무회의 보고·확정(2006년 4월 11일).
- 3) 지진재해대책법 제정(2008년 3월 28일): 지진재해경감을 위한 국가 및 재난관리책임기관의 책무 근거 마련. 지진 및 지진해일 관측망 종합계획과 지진관측 시설 표준화. 기존 시설물의 내진보강기본계획 수립 및 내진보강사업 추진. 지진피해경감을 위한 지진재해대응체계의 구축 근거 마련. 현행 지진재해대책법은 공공건물에 대해서 내진보강대책을 세우도록 하고 있음. 이에 의해 정부의 각 기관에 의해 내진평가 및 보강에 대한 연구 및 용역이 발주되고 있음. (2040년까지 내진성능확보율 80% 달성목표로 한 서울시의 내진보강계획, 교육과학부 및 교육청의 내진보강 그린스쿨사업, 복지부의 병원 내진설계기준 제정계획, 표 2-3 참조).

표 2-3. 교육과학부 및 교육청의 내진보강계획

구분		'10	'11	'12	'13	'14	계
시범사업	학교수(교)	16	.	.	.	.	16
	특 교(억원)	83.2	.	.	.	.	83.2
내진보강사업	학교수(교,동)	61(110)	124(223)	127(229)	124(223)	121(218)	557(1,002)
	사업비(억원)	263.9	595.6	616.4	605.5	594.6	2,676

- 내진설계 기준 제정 및 개정 이전에 건설된 건축물에 대한 내진보강대책 필요한 시점에서 정부는 다음과 같은 계획을 수립하였음: 공동주택의 리모델링을 위한 구조설계 및 보강지침 (건설교통부, 2003). 기존 건축물의 내진성능 평가 요령 (건설교통부, 2005). 기존 시설물 내진보강 기본계획(소방방재청, 2009) 수립하였지만 법제화된 내진성능평가 기준이나 보강설계 기준이 부재함에 따라 중복투자가 이루어지는 등 실제 시행 시 많은 혼란을 겪고 있어 내진평가 및 보강방법의 기본적인 절차를 규정하는 합의된 기준의 제정이 필요하며 평가 및 보강방법의 유효성을 검증하기 위한 인증시스템/제도의 마련이 필요함. 또한 민간건물에 대해서는 법적으로 내진보강을 강제할 수 없으므로 내진보강 촉진제도의 마련이 필요함.
- 국토해양부에서는 건축법시행령 일부개정령(안)을 입법 예고(2011년 5월)하여 구조안전확인대상 건축물 확대를 추진: 현 건축법 시행령 32조1항에서는 구조의 안전확인대상을 3층이상, 연면적 1천 제곱미터 이상으로 규정하고 있는 반면, 개정안에서는 원칙적으로 건축물의 건축 또는 대수선시 구조의 안전을 확인(내진 포함)하도록 하고, 구조안전확인 면제 대상 건축물을 규정하고 있음.
- 서울시의 내진보강계획(2040년까지 내진성능확보율 80% 달성목표): 교육과학부 및 교육청의 내진보강계획 등 최근 내진평가 및 내진보강에 대한 수요가 급증하고 있음. 그러나 내진설계기준을 원용하

거나 통일되지 않은 규정을 사용하여 내진평가 및 보강설계가 이루어지고 있어 보강에 따른 내진성능향상의 확인, 신뢰성 및 일관성 있는 보강설계가 어려움.

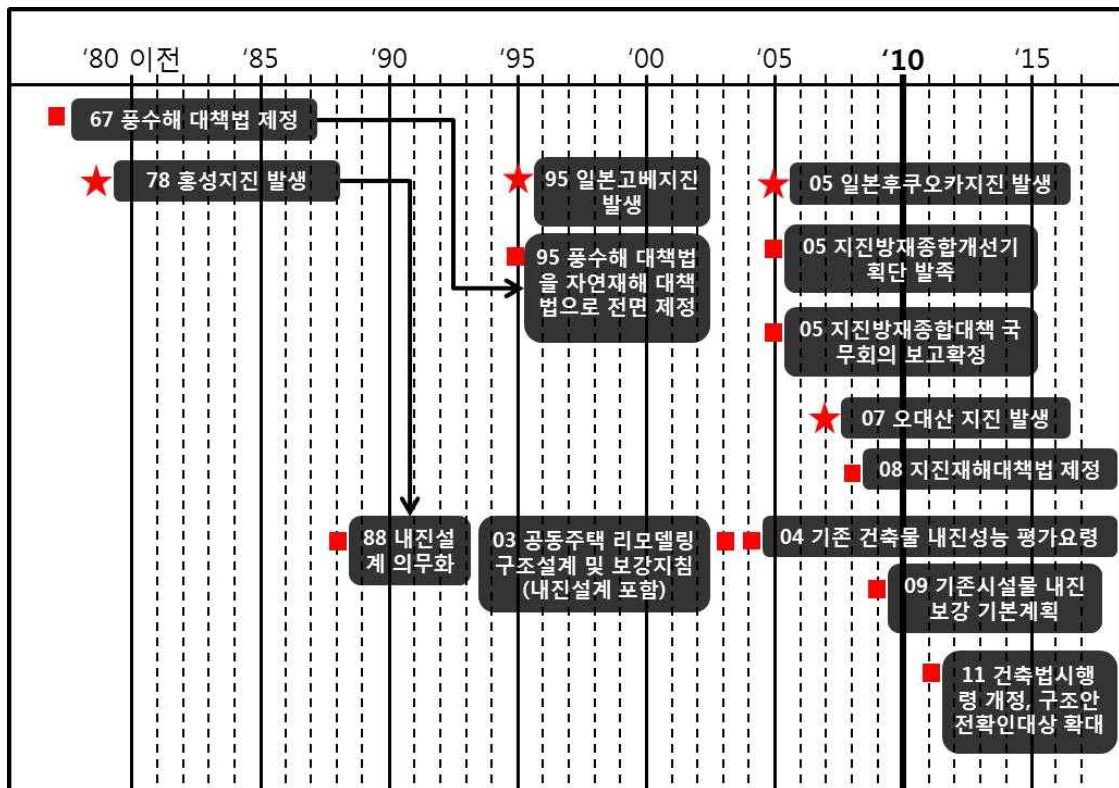


그림 2-4. 지진을 포함한 기후변화를 고려한 국내 건축물 구조안전성 확보를 위한 정책동향

○ 국내 내진설계기준

- 1985년 멕시코 지진 이전까지만 해도 우리나라에서는 일반적으로 지진에 대한 위험도가 낮다고 생각하여 구조물 설계 시 지진의 영향을 고려하지 않았으나, 1985년 멕시코지진에서 보여준 막대한 인명과 재산피해에 자극을 받아 기본적으로 ATC 3-06(ATC, 1978)과 UBC 85를 참고하여 관계법령에 내진설계관련 조항이 처음으로 추가되었음.
- 이후 1997년 건교부가 한국지진공학회에 의뢰하여 이루어진 내진설계 상위개념 관련 내진설계기준연구(한국지진공학회, 1997)가 수행된 바 있으며, 이후 2000년에는 대한건축학회에서 다른 하중기준들과 함께 내진설계기준도 기본골격은 AIK 1988과 같고 지엽적인 부분만 보완하였음.
- KBC 2005(대한건축학회, 2004)의 내진설계기준이 전면 개정되었으며 많은 부분이 IBC 2000(ICC, 2000)에 의한 방법을 따랐으며 이후 IBC의 개정에 맞추어 KBC2009로 개정됨.

표 2-4. 국내 내진설계기준의 변화 (한상환, 이한선, 2007)

구분	내진기준2000	내진기준2005	내진기준2008	내진기준2000에 대한 내진기준2005 변경사항	내진기준2005에 대한 내진 기준2008 변경사항
지진응답 계수	$C \leq 1.75$	$C_g \geq 0.044 S_{dc} I_E$	$C_g \geq 0.01$	-	최소값 축소
주기 산정법	$T \leq 1.2 T_a$	$T \leq 1.2 T_a$	$T \leq C_u T_a$	동일	주기상한계수 C_u 도입
설계 값의 산정	-	$C_m = V / V_t$	$C_m = 0.85 V / V_t$	-	보정계수 변화
형 변위 제한	0.010h	0.010h, 0.015h, 0.020h	0.010h, 0.015h, 0.020h	내진등급에 따라 구분	동일
비정형 구조물	수직, 수평 비정형 검토	수직, 수평 비정형 검토	수직, 수평 비정형 검토	구조물의 강성과 건물 형태의 비정형성을 고려	동일
피로티 구조물	제한사항 없음	특별지진하중 (초과강도계수)비정형검토	특별지진하중 (초과강도계수)비정형검토	부재크기의 증대 불안정 구조물의 자양	동일
최대 지진하중	500년 재현주기	2400년 재현주기의 2/3	2400년 재현주기의 2/3	33% 증가	동일
지역계수	재현주기 500년 지진위험도의 유효지반 가속도	재현주기 500년 지진위험 도의 유효지반 가속도	재현주기 2400년 지진위 험도의 최대지진 유효지반 가속도	동일	2배 증가 상해 지진재해도 이용 가능
지반종류	S1, S2, S3, S4	S_A, S_B, S_C, S_D, S_E	S_A, S_B, S_C, S_D, S_E	설계 초기 진단과 속도측 정 충실하고 면밀한 지반 조사	지반 분류는 지표면을 기준으로 정함
설계범주	없음	A, B, C, D	A, B, C, D	설계 범주에 따라 구체적 설계방법 제시	내진설계 범주 "D"에 대한 시 스템 제한과 높이 제한 설정
내진등급	특, (I), (II)	특, I, II	특, I, II	15층 이상 오피스텔, 3층 이상 학교로 강화됨	도시계획구역과 그 외 구역 구분이 없어짐 15층 이상 아파트와 오피스 텔이 1등급으로 하향조정
설계 스펙트럼 가속도	지반 가속도에 근거	건물의 가속도로 표현	건물의 가속도로 표현	단주기 영역, 연약지반 영 역의 지진력 증폭 고려	설계 스펙트럼 산정식 변화 증폭계수 F_a, F_v 사용

- KBC2009 내진기준의 지진구역 및 이에 따른 지역계수 값은 이전 기준에서 정의된 지역계수의 2배를 적용하고 있으며, 이는 재현주기가 2400년인 지진 위험도로 정의된 최대예상지진의 유효지반 가속도를 반영하기 위함임.
- 현행 KBC2009 기준에서는 50년간 발생확률이 2%인 지진, 즉 재현주기 2400년의 지진위험도를 갖는 최대 예상 지진 (Maximum Considered Earthquake, MCE) 을 정의하고 있고, 이에 대한 가속도 스펙트럼 값을 제공하고 있으며, 설계지진하중 (가속도 스펙트럼)은 최대 예상지진하중의 값에 2/3 감소계수를 적용하여 결정하도록 하고 있음. 이는 내진설계 조항에서 기본적으로 구조물에 대한 내진설계 시 구조물의 붕괴를 일으키는 지진하중 값에 대하여 1.5배의 지진하중에도 저항할 수 있도록 여유분을 설계 식에 보유하고 있다고 가정하여 결정된 값임.
- KBC2009가 기존 기준들에 비하여 크게 발전된 부분은 다양한 구조시스템을 허용하였고 이에 대한 반응수정계수와 초과강도계수 그리고 변위증폭계수를 마련하였으며 구조시스템의 제한, 시스템별 높이제한, 해석방법, 그리고 상세규정이 내진설계범주의 개념에 따라 마련되었다는 점임.
- 비구조재 내진성능의 경우 KBC2009의 0306에서 건축, 기계 및 전기 비구조요소에 대해 적용범위, 등가정하중, 상대변위, 중요도계수, 정착 등에 대해 규정하고 있으나(IBC 2006을 따름) 수직하중에 대한 규정은 빠져있음. 또한 소방 방재청의 「소방설비배관 내진설계 기준 의무화」, 보건복지부의 「병원시설 내진설계 기준 정립」 등 각 기관 및 시설별로 비구조재 관련 내진설계 연구가 일부 수행되었음.
- 하지만 국내 내진설계기준은 1) 국내에서 사용되는 구조시스템과 접합디테일에 대한 실질적인 성능평가를 기반으로 제정된 것이 아니며 2) 아웃리거, 면/제진관련 규정이 누락되어 있고 기준적용이 모호하며, 3) 의료시설, 방송국 등 자연재해시 기능 유지가 필수적인 국가주요건축물의 성능유지를 실질적으로 보장하지 못하고 있으므로 이에 대한 개선이 필요함. 현재 국제표준화기구(ISO)는 기술무역장벽을 낮추기 위해서 모든 국제규준을 성능중심형으로 개선할 것을 요구하고 있으며 미국뿐 아니라,

일본, 중국 등 많은 국가들이 보다 경제적이며 안전한 설계를 위해 성능수준을 명확히 하고 정밀한 해석 및 검증을 요구하는 성능기반형 기준을 사용하고 있는 추세를 볼 때 우리나라도 성능기반형 설계기준의 도입이 요구되고 있음.

○ 기존건축물 내진성능평가 및 내진보강 관련 제도

- 국가차원에서 관리하고 있는 내진설계기준과 달리, 기존건축물의 내진평가와 내진보수보강에 대한 국가차원에 기준은 현재 전무한 상태이며, 해당 관청별로 기존 건축물 내진성능평가 및 보수보강을 위한 가이드라인 혹은 지침이 산발적으로 제정되고 있으며 중요 해외지진이 발생하게 되면 상황에 따라 지진방재종합대책(2005년 3월)과 같은 임기응변적인 대책이 마련되고 있는 실정임.
- 대표적인 기존건축물 내진평가 및 보수보강 대책은 현행 지진재해대책법으로는, 공동주택의 리모델링을 위한 구조설계 및 보강지침 (건설교통부, 2003). 기존 건축물의 내진성능 평가 요령 (건설교통부, 2004). 기존 시설물 내진보강 기본계획(소방방재청, 2009) 등이 있으나 모두 지침 혹은 요령의 수준에 머물러 있어 법적인 강제력을 가지지 못한 상태이며, 그 내용 또한 외국의 평가기법을 답습하는 수준에 머무름에 따라 우리나라에서만 사용되고 있는 비내진 구조요소, 필로티 구조, 단근 내력벽, 조적채움벽 구조, 비보강 조적벽체 등 독특한 구조요소의 평가에는 한계를 가지고 있음.
- 따라서 과거 우리나라 내진설계 적용대상이 고층건물, 대규모 건물로 한정됨에 따라 내진설계대상에서 제외되었던 중소규모의 건축물의 경우는 대형지진에 대한 안전성이 확보되지 않은 상태이며 이러한 건물은 전체건물 중 85.3%에 이르는 상황임. 이들 건물의 내진성능확보를 위해 우리나라에서만 사용되는 독특한 구조요소 및 형식에 대해서도 정확한 내진평가가 가능한 내진성능평가 및 내진보강 기준의 제정이 시급한 과제임.

○ 내진보강장치 시험기준 및 인증제도

- 건축물 내진보강에 관련한 기존 연구는 FRP를 이용한 정적 보강에 대한 시험항목·방법 및 평가기준에 관한 연구가 2004년에 한국건설기술연구원에서 국가R&D로 수행되었으며, 2007년~2009년까지 한국시설안전기술공단에서 발주하여 한국구조물진단유지관리공학회에서 보수/보강기술 인증기준에 관한 연구가 수행되었으나, 상기 연구는 FRP를 이용한 정적보강에 관한 연구임. 또한 내진보강 장치 중 최근에 적용사례가 증가하고 있는 제진장치는 2010년 대한건축학회에서 제진구조설계지침이 2012년 한국면진제진협회에서 제진구조설계 기술검토 지침이 발간되었으며, 2013년 KBC2013에서 제진장치 설계기준이 추가될 예정이지만 제진장치의 시험표준 및 성능기준에 대한 세부사항은 다루고 있지 못함.

○ 소규모 건축물의 법정 내진구조 관련 제도

- 우리나라 건축법은 1963년에 제정된 이후에 모든 건축물에 대하여 지진안전성 확보를 규정하고 있으나, 건축물에 내진설계기준이 제정된 것은 1988년으로 통상 6층 이상, 10,000 m² 이상의 대규모 건축물을 대상으로만 제정됨. 이 당시에도 「건축물의 구조기준 등에 관한 규칙」에서는 구조형식별로 구조재료, 부재상세 등의 요구사항을 규정하여 건축물의 구조안전에 대한 최소기준을 구축함.
- 국내 건축물의 지진위험도가 높아짐에 따라 내진설계기준도 매년 강화되어 2005년에는 국내의 내진설계 대상 건축물을 건축법 시행령에 의거하여 3층 이상, 연면적 1,000m² 이상, 높이 13m 이상으로 규정하고 있음. 이와 같이 강화된 내진설계 범위에 수반하여 상기의 내진설계 대상건축물이 아닌 경우 (이하 소규모 건축물) 별도의 구조규칙에서 규정하고 있는 구조안전 요구사항을 만족하도록 규정함으로써 법 체계 상으로는 모든 건축물에 대하여 내진성능 확보를 위한 법체계를 구비함.
- 그러나 상기 구조규칙의 세부사항은 내진설계 이전에 작성되었던 일반 건축물에 대한 최소 구조 요구사항을 그대로 담고 있어, 내진성능의 확보를 위한 실질적인 보강방안으로서 부족한 실정이며, 현업에서는 거의 적용하지 않은 사문화된 규칙으로 남아 있음.

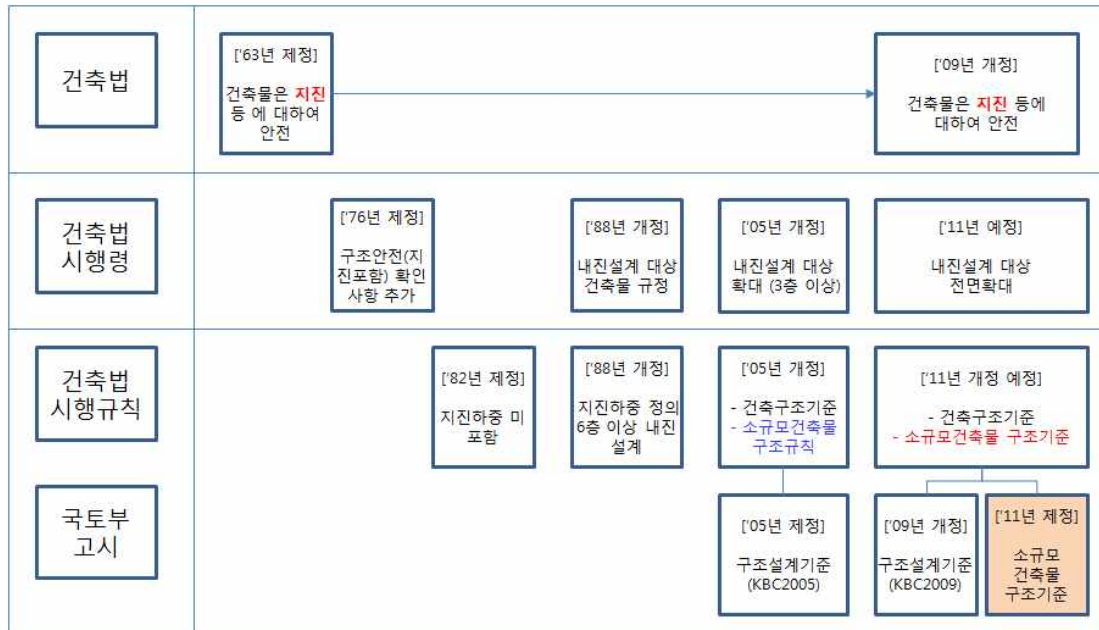
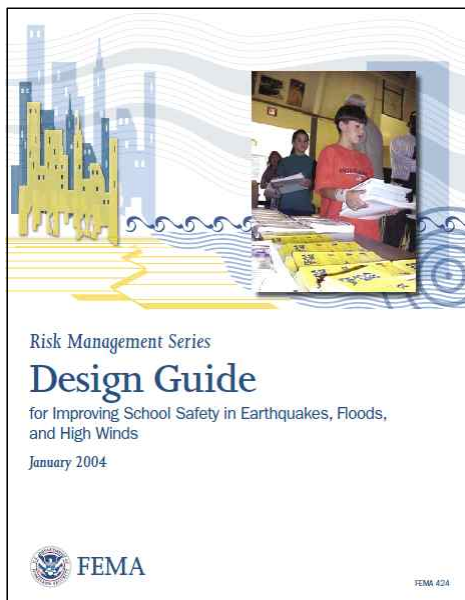


그림 2-5. 소규모 건축물 구조설계를 위한 제도 발전 동향

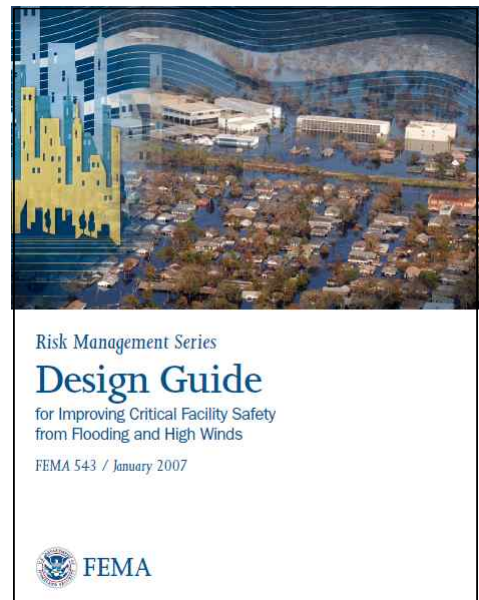
(2) 국외동향

○ 미국의 홍수 및 강풍에 대한 구조안전성 향상 지침

- 2004년에 학교건물의 구조안전성 향상 지침서인 FEMA 424가 발표된 이후 병원 및 방재거점 시설로 지침이 확대 발표됨 : FEMA 424 Design Guide for Improving School Safety in Earthquakes, Floods, and High Winds (2004)
- 2006년에 이들 중요 시설에 대한 구조안전성 향상 방안 중 홍수와 강풍에 해당되는 부분이 별도로 종합된 지침서가 발간됨 : FEMA 543 Design Guide for Improving Critical Facility Safety from Flooding and High Winds (2006)



(a) FEMA 424
(학교)



(b) FEMA 543
(중요 시설물: 학교, 병원, 방재시설)

그림 2-6. FEMA의 홍수 및 강풍에 대한 중요 건축물 설계 및 보강 가이드라인

- FEMA 543에서는 지진과 마찬가지로 홍수와 강풍에 대해서도 성능기반 설계가 가능함을 언급하고 있음. 이를 위해 홍수 및 강풍에 대한 건축물 성능을 정의하였으나 구체적인 성능기반 설계방법은 제시하고 있지 않음.
- 홍수의 경우 ASCE 7에 하중 산정 기준에 따라 다음과 같은 7종류의 하중을 고려하여 설계하도록 제안하고 있음 : Lateral hydrostatic forces, Vertical (buoyant) hydrostatic forces, Hydrodynamic forces, Surge forces, Impact forces of flood-borne debris, Breaking wave forces, Localized scour
- 강풍에 대한 성능설계에 있어서 가장 큰 문제점으로 건물 외피 성능과 외부에 설치된 부착물들에 대한 평가가 어려움을 지적하고 있음. 주요 원인은 외피 시스템에 대한 해석 도구의 부재, 장기적 내풍 성능에 대한 데이터 부족을 들고 있으며 이에 따라 현재는 실험에 의존하고 있으나 장기적으로는 외피 해석에 유한요소법이 도입될 가능성이 높음. 이를 위해 강풍에 대한 건축물 응답에 관한 지속적인 연구가 필요함.

		INCREASING LEVEL OF PERFORMANCE			
		Performance Groups			
		Performance Group I	Performance Group II	Performance Group III	Performance Group IV
MAGNITUDE OF DESIGN EVENT Increasing Magnitude of Event	Very Large (Very rare)	Severe	Severe	High	Moderate
	Large (Rare)	Severe	High	Moderate	Mild
	Medium (Less Frequent)	High	Moderate	Mild	Mild
	Small (Frequent)	Moderate	Mild	Mild	Mild

그림 2-7. FEMA 543에서 인용하고 있는 성능 수준별 허용 가능한 최대 손상 수준 (International Code Council, 2006)

		DESIGN EVENT		
		Seismic	Flood	Wind
MAGNITUDE OF DESIGN EVENT	Very Large (Very rare)	2,475 Years	Determined on Site-Specific Basis	125 Years
	Large (Rare)	475 Years (Not to Exceed Two-Thirds of the Intensity of Very Large)	Determined on Site-Specific Basis	100 Years
	Medium (Less Frequent)	72 Years	500 years	75 Years
	Small (Frequent)	25 Years	100 Years	50 Years

그림 2-8. FEMA 543에서 인용하고 있는 지진, 홍수, 바람에 대한 성능설계용 하중 수준 정의

- 기존건축물의 홍수에 대한 구조안전성 향상 방안으로는 직접적 보강보다는 간접적으로 하중을 줄이기 위한 방안, 제방 또는 그와 같은 역할을 하는 벽을 설치, 건물의 1층을 홍수 수위 위로 높이는 방안, 유체의 흐름을 바꿔서 하중을 저감하는 방안을 제시하고 있음.
- 기존건축물의 강풍에 대한 구조안전성 향상방안으로 구조체의 경우는 지붕구조체의 보강으로 한정되어 언급되고 있으며 외피 시스템의 경우는 창호와 지붕 마감재 보수방안이 소개되고 있음. 외부 설치

시설물의 경우는 안테나와 낙뢰방지 시스템 등의 보수 방안 소개되어 있음.

- 최근에는 강풍에 대한 보강수준별 Cost-Benefit Analysis Tool을 개발하여 보수보강 계획 및 설계에 활용하고 있으며, 명시적인 성능설계가 아닌 보수보강의 정도에 따른 비용과 향후 재해 발생 시 손실을 비교하고 있음 (FEMA P-804, 2010). 비용과 손실 분석 시 구체적인 구조해석을 수행하는 것이 아니므로 과거의 피해 통계를 토대로 하고 있는 것을 추측됨.
- 상기 검토 결과를 토대로 향후 기술의 개발 방향은 소규모 건축물에 대해서 명시적인 성능설계 보다는 간단한 체크리스트와 보강 가이드라인을 토대로 보강 수준에 따른 손실을 개략적으로 추산하는 방법(일반인이 이해하기 쉬운)으로 발전할 것으로 보임.
- 현재까지 바람 및 홍수에 대비하여 FEMA에 의해 발행된 지침 및 가이드라인은 다음과 같음.

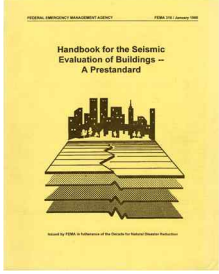
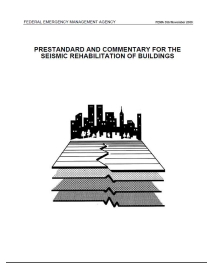
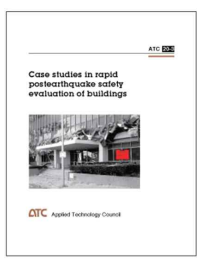
표 2-5. FEMA 보고서 (바람, 홍수에 대한 개인 주택, 주요건물의 대비)

번호	제목	연도
FEMA 247	Against the Wind: Protecting Your Home from Hurricane and Wind Damage	1993
FEMA 543	Design Guide for Improving Critical Facility Safety from Flooding and High Winds: Providing Protection to People and Buildings	2007
FEMA 577	Design Guide for Improving Hospital Safety in Earthquakes, Floods, and High Winds	2007
FEMA 361	Design and Construction Guidance for Community Safe Rooms	2008
FEMA P-85	Protecting Manufactured Homes from Floods and Other Hazards	2009
FEMA P-312	Homeowner's Guide to Retrofitting: Six Ways to Protect Your Home From Flooding	2009
FEMA P-798	Natural Hazards and Sustainability for Residential Buildings	2010
FEMA P-804	Wind Retrofit Guide for Residential Buildings	2010
FEMA P-798	Natural Hazards and Sustainability for Residential Buildings	2010
FEMA P-499	Home Builder's Guide to Coastal Construction	2010
FEMA 424	Design Guide for Improving School Safety in Earthquakes, Floods, and High Winds	2010

○ 미국의 지진관련 설계 및 내진성능평가, 보강관련 제도

- 미국의 내진설계기준은 1927년에 처음으로 성문화되었으며, 그 이후로 지진에 대한 구조물의 성능관찰, 실험 및 해석에 의한 연구자료 등에 기초하여 수차 개정되어 왔다. 건축물 기준의 주요 발전은 주로 미국 서부지역에서 발생한 주요 지진(1925년 Santa Barbara 지진, 1933년 Long Beach 지진, 1971년 San Fernando 지진 등)과 밀접하게 연관되어 있음. IBC 2006(ICC, 2006 및 ASCE, 2005)은 기본적인 틀은 IBC 2000에서 큰 변화가 없으나, 장주기영역에서 제시한 최소값 제한이 삭제되고, 변위일정영역이 신설됨.
- 미국에서는 기존 건축물에 대한 내진평가 및 내진보강기준이 신규건물의 내진설계기준과 동등한 법적 지위를 가지는 규정으로 제정되어 있음. 신규건물을 대상으로 한 내진설계기준으로는 ASCE 7, 기존 건물의 내진평가기준으로는 ASCE 31, 내진보강을 위해서는 ASCE 41이 모델코드로 제정되어 있음.

표 2-6. 미국에서 개발된 내진성능 평가/내진보강/지진피해 건축물 기준 및 지침

기존 건축물 내진성능 평가 기준	기존 건축물 내진보강 기준, 지침	지진피해 건축물 내진성능 평가 기준
		
ASCE 31-03	ASCE 41-06	ATC 20-3

- 미국에서는 FEMA와 ATC를 중심으로 지진과 관련한 대형 연구들을 수행하였고 현재도 많은 연구들이 진행 중임.
- 아래 표는 내진성능평가와 보수/보강에 관한 FEMA, ATC, ASCE 보고서들을 정리한 것으로 간략 성능평가에서부터 확률적인 개념을 사용한 정밀한 평가법, 개별 요소에서부터 시스템별, 건물 용도별 평가/보강지침이 다양하게 제시되고 있음.

표 2-7. 간략 성능 평가법 관련

번호	제목	연도
FEMA 154	Rapid Visual Screening of Buildings for Potential Seismic Hazards	2002
ATC 38	Postearthquake Building Performance Assessment Form	2000

표 2-8. 건물의 성능평가 및 보수/보강 지침 관련

번호	제목	연도
FEMA 172	NEHRP Handbook of Techniques for the Seismic Rehabilitation of Existing Buildings	1992
FEMA 273	NEHRP Guidelines for the Seismic Rehabilitation of Buildings	1997
FEMA 274	NEHRP Commentary on the Guidelines for the Seismic Rehabilitation of Buildings	1997
FEMA 310	Handbook for the Seismic Evaluation of Buildings	1998
FEMA 356	Prestandard and Commentary for the Seismic Rehabilitation of Buildings	2000
FEMA 357	Global Topics Report on the Prestandard and Commentary for the Seismic Rehabilitation of Buildings	2000
FEMA 547	Techniques for the Seismic Rehabilitation of Existing Buildings	2006
ASCE 31	Seismic Evaluation of Existing Buildings	2003
ASCE 41	Seismic Rehabilitation of Existing Buildings	2006

표 2-9. 개별 구조 요소의 성능 평가 및 보수/보강 지침 관련

번호	제목	연도
ATC 40	Seismic Evaluation and Retrofit of Concrete Buildings	1996
FEMA 306	Evaluation of Earthquake Damaged Concrete and Masonry Wall Buildings – Basic Procedures Manual	1998
FEMA 307	Evaluation of Earthquake Damaged Concrete and Masonry Wall Buildings – Technical Resources	1998
FEMA 308	Repair of Earthquake Damaged Concrete and Masonry Wall Buildings	1998
FEMA 351	Recommended Seismic Evaluation and Upgrade Criteria for Existing Welded Steel Moment-Frame Buildings	2000
FEMA 352	Recommended Postearthquake Evaluation and Repair Criteria for Welded Steel Moment-Frame Buildings	2000
FEMA P774	Unreinforced Masonry Buildings and Earthquakes: Developing Successful Risk Reduction Programs	2009
FEMA E-74	Reducing the Risks of Nonstructural Earthquake Damage—A Practical Guide, Fourth Edition	2011

표 2-10. 건물 용도별 보수/보강 지침 관련

번호	제목	연도
FEMA 395	Incremental Seismic Rehabilitation of School Buildings	2002
FEMA 396	Incremental Seismic Rehabilitation of Hospital Buildings	2002
FEMA 397	Incremental Seismic Rehabilitation of Office Buildings	2002
FEMA 398	Incremental Seismic Rehabilitation of Multifamily Apartment Buildings	2004
FEMA 399	Incremental Seismic Rehabilitation of Retail Buildings	2004
FEMA 400	Incremental Seismic Rehabilitation of Hotel and Motel Buildings	2005
FEMA P420	Engineering Guideline for Incremental Seismic Rehabilitation	2009

표 2-11. 지진 취약도 관련

번호	제목	연도
FEMA 366	HAZUS-MH Estimated Annualized Earthquake Losses for the United States	2008
FEMA 433	Using HAZUS-MH for Risk Assessment How-To Guide	2004

표 2-12. 확률 및 신뢰도 기반 성능평가 지침 관련

번호	제목	연도
FEMA 355F	State of the Art Report on Performance Prediction and Evaluation of Steel Moment-Frame Buildings	2000
FEMA 445	Next-Generation Performance-Based Seismic Design Guidelines	2006
FEMA P695	Quantification of Building Seismic Performance Factors	2009
ATC 58	Guidelines for Seismic Performance Assessment of Buildings	2009

- 비구조재의 내진성능 향상방안 ASCE 7 등에 규정되어 있음. ASCE 7에서는 비구조요소의 내진설계를 위한 설계하중 뿐 아니라, 간단한 방법으로 내진성능 확보가 가능한 사양적 설계방안이 포함되어 있어 비구조요소의 내진성능 확보가 용이함. 또한 천장틀의 경우, 천장틀 협회의 자체 기준 및 ASTM E580등에서 천장틀의 구조성능 확보를 위한 기준을 제공하고 있으며, 커튼월은 AAMA(미국 자재협

회)에서 자체적인 내진성능 및 내풍성능 기준을 제공하고 있음.

표 2-13. 비구조재 내진설계 관련 국내외 기준 분석

기준명	특징
■ IBC 2009 • ASCE 7-10 Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures • Chapter 13 Seismic design requirements for nonstructural components	• 적용범위, 등가정하중, 상대변위, 중요도계수, 정착 등에 대해 규정함(수직하중에 대한 규정 포함) • 외벽, 유리, 천장, 바닥, 파티션 등에 대한 상세 기준 제시
■ FEMA E-74 (2011) • Reducing the Risks of nonstructural earthquake damage-A practical guide	• 구조 비전문가(건축주, 유지관리인 등)가 사용할 수 있도록 비구조재의 지진안전성향상을 위한가이드제시
■ FEMA 750 (2009) • NEHRP Recommended Seismic Provisions for New Buildings and Other Structures	• Part 2에서 Commentary to ASCE 7/05을 제공함
■ FEMA 454 (2006) • Design for earthquakes : A manual for architects	• Chapter 9 (Nonstructural Design Philosophy)에서 설계자를 위한 비구조재 종류별내진설계디테일제공

○ 일본의 내진설계 및 내진 평가 관련 제도

- 일본에서는 1998년의 건축기준법개정을 통해 성능기반 기준을 도입함. 즉, 건물이 성능기준을 만족하고 있는가를 몇 가지 루트로 검증할 수 있는 성능기준에 기초한 내진설계 절차를 수립하였으며 아래 표의 내진메뉴를 사용하여 1급에서 5급까지의 5단계로 내진등급을 구분하여 건축물을 관리하고 있음.

표 2-14. 일본의 내진등급

		지진동의 강도				
		D	C	B	A	S
내 진 등 급	내진 5급	무피해	경미한 손상	중간손상		대파·붕괴
	내진 4급	무피해		경미한 손상	중간손상	대파·붕괴
	내진 3급	무피해		경미한 손상		중간손상 대파·붕괴
	내진 2급	무피해			경미한 손상	중간손상 대파·붕괴
	내진 1급	무피해				경미한 손상 중간손상

주) 그림 중 5단계의 「지진동의 크기」는 건물이 건설되는 장소의 조건에 따라 판단되는 아래에 기술한 지진동의 크기를 나타낸다.
D : 건물의 공용기간 중에 발생 가능성이 자주(수회) 있는 지진동, C : B와 D의 중간 지진동
B : 건물의 공용기간 중에 발생 가능성이 가끔(1회 정도) 있는 지진동, A : 건물의 공용기간 중에 발생할 가능성이 드문 지진동
S : 건물의 공용기간 중에 발생할 가능성이 아주 드문 지진동

표 2-15. 지진시 주요구조에 대한 요구성능 MATRIX의 예

하중레벨		L ₁	L ₂	L ₃	L ₄
재현기간		20년	100년	500년	1000년
50년간의 초과확률		92%	39%	9.5%	4.9%
주요구조의 등급	A	· 무피해 · 변형제한*	· 무피해 · 변형제한*	· 계속사용 가능 · 상시하중 지지부재의 탄성잔류변형 제한	· 보수후 사용 가능 · 잔류변형 제한
	B	· 무피해 · 변형제한*	· 계속사용 가능 · 상시하중 지지부재의 탄성잔류변형 제한	· 보수후 사용 가능 · 잔류변형 제한	· 비도괴 · 인명보호
	C	· 계속사용 가능 · 상시하중 지지부재의 탄성잔류변형 제한	· 보수후 사용 가능 · 잔류변형 제한	· 비도괴 · 인명보호	-
	D	· 보수후 사용 가능 · 잔류변형 제한	· 비도괴 · 인명보호	-	-

*표는 비구조부재와 관련되어 결정되는 criteria로서 확실히 제한치는 아님

- 기존에 사용되던 사양규정형 기준에서는 설계부터 시공까지 규격·치수, 제한사항을 세부적으로 규정하므로 균질한 일정레벨의 성능을 가진 건물을 대량으로 건축하기에 좋은 방법이나 각 규정과 그것으로부터 얻을 수 있는 부재의 강도나 인성 등의 성능과의 관계가 명확하지 않아 설계된 건물의 구조성능을 정량적으로 파악하기 어려운 문제가 있음.
- 이에 반해 성능규정형 설계법에서는 계획건물의 요구성능을 정하고 건물의 제원을 설정하여 필요한 해석을 수행한 후 해석결과에 따라 보유성능을 평가하여 보유성능이 요구성능을 만족시키도록 설계함.
- 요구성능은 여러 단계의 지진위험도에 대해 설정되어 있으며 각 지진위험도별로 기동이나 보 등의 주요구조, 가벽이나 마감재와 같은 비구조부재, 설비 등에 대하여 안전성, 업무계속, 거주성 등 여러 관점에서 설정된 요구성능을 건물전체의 구조성능과 함께 아래 표와 같은 MATRIX 형태로 표현함.
- 일본에서도 기존 건축물의 내진성능평가 및 내진보강기준을 설계기준과 별도로 제정하여 사용하고 있음. 또한 지진피해를 받은 건물의 내진성능을 잔존내진성능을 바탕으로 평가하여 복구 및 영구적인 보강의 판단여부를 결정하기 위한 「지진피해를 받은 건축물의 지진피해도 구분판정 기준 및 복구기술지침」을 제정하고 사용하고 있음.

표 2-16. 일본에서 개발된 내진성능 평가/내진보강/지진피해 건축물 기준 및 지침

기존 건축물 내진성능 평가 기준	기존 건축물 내진보강 기준, 지침	지진피해 건축물 내진성능 평가 기준
		

- 진동제어장치 및 시스템 관련 정책: 2008년부터 면진건축물여부에 따라 성능표시방법이 추가되었으며, 지진보험에 있어서도 면진건축물의 경우 내진등급할인과 건축년 할인제도가 도입됨.

- 기존건축물의 내진보강과 관련한 각 종 지침이며, 노후화 된 공동주택에 대해 ‘개수(改修)에 의한 성능의 종합적 개선’ 차원에서 내진성능, 베리어프리(Barrier Free) 성능, 방법성능, 에너지절약 성능, 정보통신 성능, 생활공간, 옥외환경 등 7가지의 항목을 위주로 종합적 개선을 정책적으로 추진하고 있음.

○ 중국, 유럽, 뉴질랜드의 지진관련 제도

■ 중국

- 중국의 경우 내진설계기준으로 현재 건축내진설계규범(Code for Seismic Design of Building: GB 50011-2001)을 사용하고, 중국의 내진설계기준의 적용 범위는 내진진도와 제한 높이 등에 따라 제한되어있음.
- 국내의 건축법 시행령에 나타난 것과는 달리 지진의 진도와 구조시스템에 따른 건축물의 사용 높이를 제한함.
- 내진설계 건물 분류: 중국의 건축물은 사용용도의 중요성에 따라 甲, 乙, 丙, 丁 4가지 종류로 분류.
- 내진설계 대상이 되는 건축행위의 범주: 중국 전 지역에 대한 내진진도를 정의하고 있으며, 내진진도 6도 이상인 경우에 내진설계를 하도록 규정하고 있음.
- 내진설계대상 지진의 규모: 중국기준에서는 건물의 용도에 따라 지진규모(3수준)에 따른 설계법(2단계)을 결정함.

■ 유럽

- 건축물에 대한 내진 기준: 이탈리아에서 1909년 16만명의 인명피해가 발생한 Messina 지진 이후, 지진 피해에 대한 경험을 기초로 횡력 계수를 8.3%에서 12.5%로 증가하였으며, 1950년대에는 밀면전단력 계수를 구조물의 동적 특성과 연관시켜 높이에 따른 횡력 분포에 모드의 영향을 고려하게 됨.
- 유럽 각국의 내진 기준을 통합하여 성능기반형 설계기준이 Eurocode 8이 개발되고 있음. Eurocode 8에서 성능목표는 인명안전, 손상제한, 기능유지로 구분됨.

■ 뉴질랜드

- 뉴질랜드는 자연재해에 의한 충격을 감소시키기 위한 건물의 설계기준과 그 활용에서는 세계 제일의 수준으로, 구조물의 설계목표를 사용성 한계상태(Serviceability Limit State)와 한계상태(Limit State)를 구분하여 성능(performance)을 제시하는 일종의 성능기반 설계법을 사용하고 있음.
- 사용성 한계상태는 약진에서의 구조물의 손상 방지(No Damage)를 위한 것이며, 극한 한계상태(Ultimate Limit State)는 강진에서의 구조물의 붕괴 방지(No Collapse)를 위한 것으로 구조물의 성능은 이 두 가지 한계상태 모두에 대해 적절히 검토되어야 함을 명시하고 있음.

○ 건축물 지진응답 저감이 가능한 지진안전 장치 및 시스템 관련

- 미국과 일본을 중심으로 바람과 지진 등과 같은 자연재해로 인한 비정상 하중에 의한 구조물 진동제어에 대한 연구는 ‘성능기반설계법(Performance-Based Design, PBD) 개발’을 통하여 1990년대 후반부터 본격적으로 수행되고 있음.
- 일본의 경우 1995년 일본 고베지진이후 거의 모든 중층이상의 건축물에서 제진장치, 면진장치, 또는 제진장치와 면진장치를 함께 사용하여 구조물의 내진성능을 확보하고 있는 실정이며, 강진지역인 미국과 캐나다 서부에서는 제진장치의 사용이 일반화되고 있으며, 허리케인과 토네이도가 빈번히 발생하는 미국 중부와 동부에서도 풍진동 제어를 위한 제진장치의 사용이 활발히 논의되고 있음.

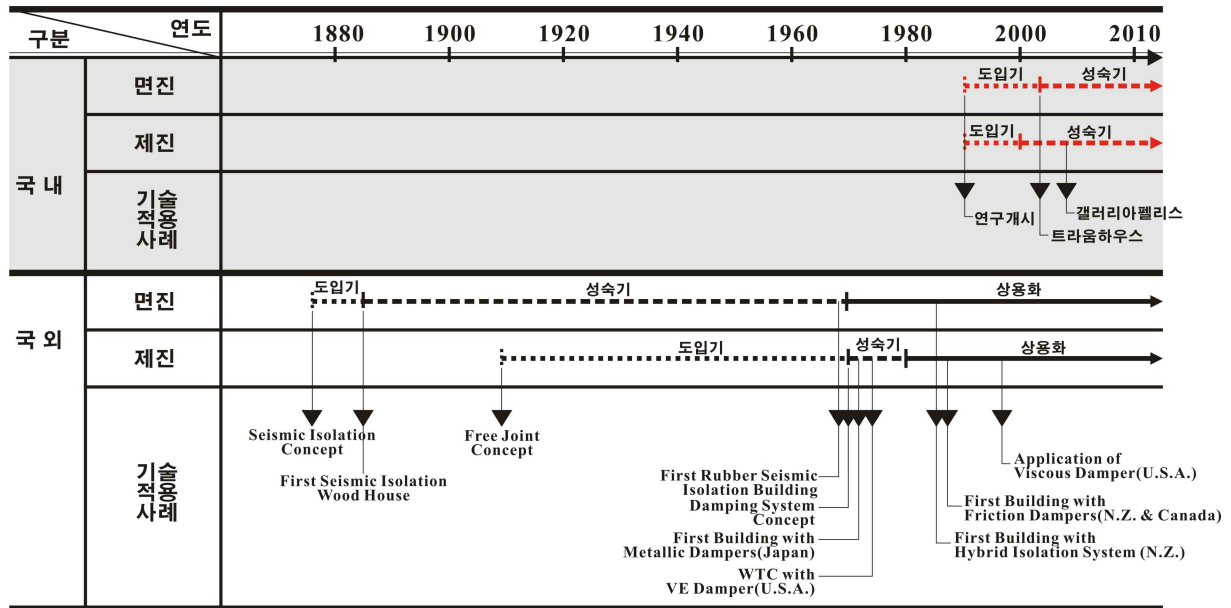


그림 2-9. 국외 면진/제진 시스템 기술 발전사

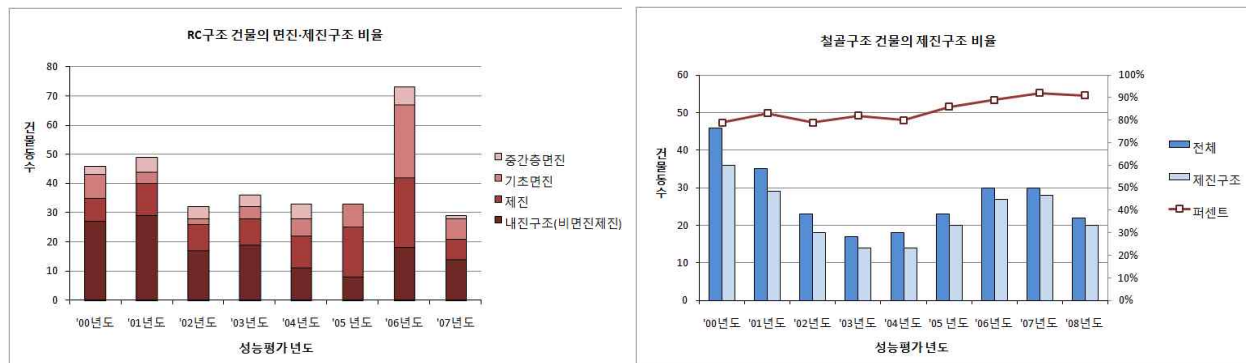


그림 2-10. 일본 건축물의 제진/면진장치 적용 동향

○ 소규모 건축물의 내진성능 확보 관련

- 미국의 경우 모든 구조물은 물론 구조체에 영구히 고정되는 모든 비구조재 및 지지점은 지진을 견딜 수 있도록 설계하도록 규정하고 있음. 예외적으로 내진설계를 수행하지 않아도 되는 건축물을 다음과 같이 규정하고 있음.
 - 내진설계범주(Seismic Design Category, SDC) A,B,C 및 S_s 가 0.4g 보다 작은 곳에 위치한 한 가구 혹은 두 가구 독립주택
 - 2308조항에 부합되는 목재 골조 건물의 내진 시스템
 - 부수적으로 사람이 사용하기 위하여 지어진 농산물 창고
 - 응답특성과 환경적 요인에 대한 특별한 고려가 필요한 구조로서 IBC2009 또는 ASCE7에서 언급되지 않는 구조
- 일본의 경우 2층이상, 연면적 200m²이상 건축물은 내진설계를 의무화하고 있고, 그 외의 건축물은 소규모 건축물로 분류하고 별도의 사양기준을 적용하고 있음.

표 2-17. 일본의 건축물 규모별 내진성능 확인 방법

건축법 제20호구분	범위	지진안전성 확인 방법
제1호 초고층건축물	· 높이 60m 초과 건축물	· 구조계산에 의한 안전확인 · 국토교통성에 의한 인정필요
제2호 대규모건축물	· 높이 20~60m RC 건축물 · 4층 이상 60m 이하 철골구조	· 구조계산에 의한 안전확인 · 구조적합성 판정 필요
제3호 중규모건축물	· 2층 이상 또는 200m ² 이상 건축물	· 구조계산에 의한 안전확인 · 구조적합성 판정 필요
제4호 소규모건축물	· 2층 미만 200m ² 미만 건축물	· 대통령령에 의한 구조기준

다. 국내외 관련 기술 특허 동향

- NDSL을 통한 국내외 특허 동향조사를 수행하였으며 특허조사 대상은 다음 표와 같음.

표 2-18. 특허조사 대상 DB : 한국과학기술정보연구원 (NDSL 특허)

유형	대상	수록기간	구축건수
한국특허	한국 출원, 공개/등록, 실용신안, 디자인	1945-2011.08	3,590,318
미국특허	미국 공개/등록 특허	1976-2011.08	7,098,413
유럽특허	유럽 공개특허	1976-2011.08	2,447,112
국제특허	WIPO PCT 특허	1976-2011.08	2,114,927
일본특허	일본 공개특허	1976-2011.08	8,993,908
계			24,244,67

(1) 비구조재 분야 특허 동향

- 비구조재의 형태를 건축요소(partition, ceiling, cladding), 설비요소(pipe, equipment)의 접합으로 구분하여 특허분석을 수행함.
- Partition 관련 특허 분석.
 - ‘seismic’과 ‘partition’을 주제어로 검색된 특허는 총 63건이며, 국가별/연도별 출원 현황은 그림 2.62와 같음.
 - 1993년 이후 특허 출원이 급증하였으며, 미국과 일본에서의 특허 출원이 활발한 것으로 분석됨.

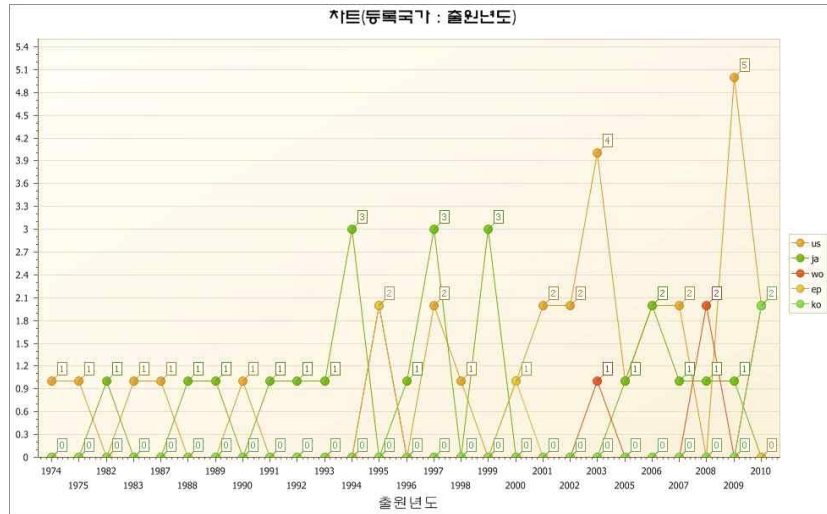


그림 2-11. 비구조체 분야 국가별/연도별 특허 수

○ Ceiling관련 특허 분석

- ‘seismic’과 ‘ceiling’을 주제로 검색된 특허는 총 151건이며, 국가별/연도별 출원 현황은 그림 2.63과 같으며, 1995년 이후 일본에서의 특허 출원이 급증하였으며, 2000년대 이후 미국에서의 특허 출원이 활발한 것으로 분석됨.

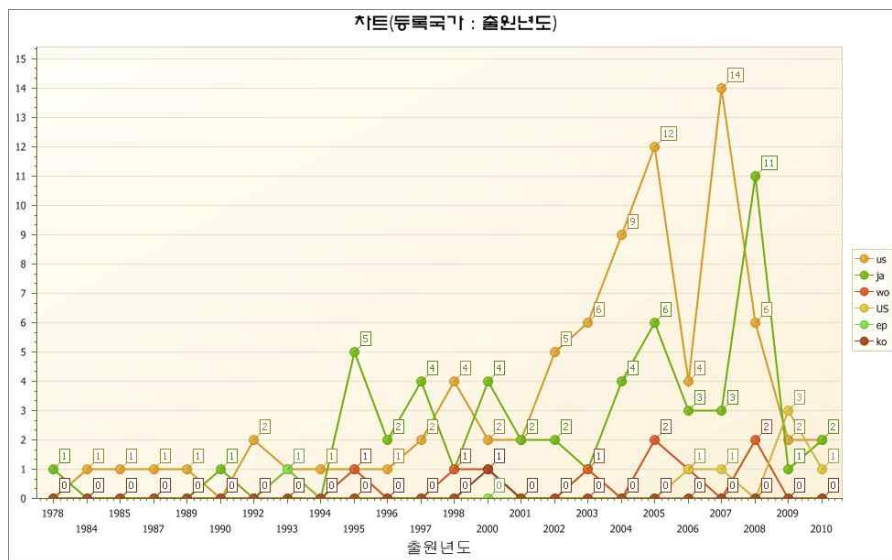


그림 2-12. Ceiling 관련 국가별/연도별 특허 수

○ 내진 액세스 플로어관련 특허

- 비구조요소 중 장치 등의 지진안전성 확보를 위해 필수적인 내진 액세스 플로어 관련 특허 현황을 살펴보면, 1990년대 이후 출원된 223건 중 일본이 102건(45.7%)으로 가장 큰 비중을 차지하였고, 그 다음으로 미국이 63건(28.3%), 한국이 45건(20.2%), 유럽이 13건(5.8%)을 차지하고 있음.

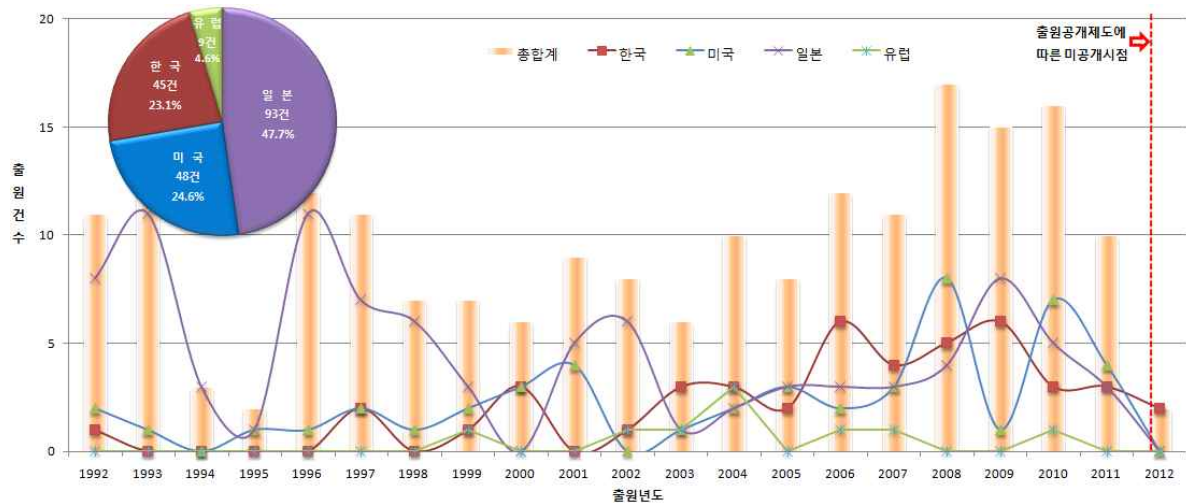


그림 2-13. 내진 액세스 플로어 관련 특허 출원 동향

- 내진 액세스 플로어 관련 한국에서의 기술발전단계를 살펴보면, 관련 기술들은 제1구간(1992~1996)에서 제4구간(2007~2011)에 이르기까지 출원건수 및 출원인수가 꾸준히 증가하는 발전기의 양상을 보이고 있음. 특히 제4구간에 접어들면서 출원인수의 증가가 두드러진다는 국내의 관련 기술개발 전망이 높음.

○ 특허분석 종합

- 미국과 일본을 중심으로 건축용 비구조재(칸막이, 천장시스템, 외장재) 및 장치, 파이프 등의 내진장치관련 특허들이 출원된 것으로 분석됨.
- 시기적으로는 1990년대 중반 이후 특허들이 본격적으로 출원되며, 2000년대 이후 미국을 중심으로 특허가 다수 출원되었음.
- 이는 고베지진과 노스리지 지진 등으로 비구조재의 피해 사례가 다수 보고되고, IBC에 2000년대 이후 비구조재의 내진설계 관련 규정이 강화된 데에서 기인한 것으로 평가됨.
- 건축용 비구조재 중에서는 천장들의 지진피해를 줄이기 위한 장치들이 다수 출원된 것으로 분석됨.
- 내진천장시스템 관련 특허의 출원인별 출원 현황은 다음과 같으며, 미국의 USG, Amstrong사 등과 일본의 Taisei등 천장시스템 관련 제작사들에서의 특허 출원이 활발한 데 비해 국내의 관련 특허는 거의 없는 것으로 분석됨.

(2) 내진보강 분야 특허 동향

- 건축물에 적용하는 내진평가, 내진보강, 내진피해저감방법, 댐퍼, 제진, 면진장치를 중심으로 검색함.
- 특허의 수는 1995년을 중심으로 그 이후 출원이 크게 늘어 매년 20건 이상이 출원되고 있음.
- 특허 등록국가별 분석에 의하면 일본에서 출원된 특허가 전체 435건중 296건으로 68%를 차지하고 있으며 출원인은 일본의 대형건설사가 중심을 이루는 것으로 나타났음.
- 특허는 보강공법이 전체의 76%를 차지하고 있으며 평가관련은 12%정도로 상대적으로 낮은 편임. 보강공법의 경우 적용부위별로 보면 건물의 전체적인 골조에 적용하는 방법과, 벽, 기둥, 기초에 적용하는 기법순으로 나타났으며 그 밖에 조적과 목조 건물에 적용하는 기법도 30여건이 있는 것으로 분석되었음.

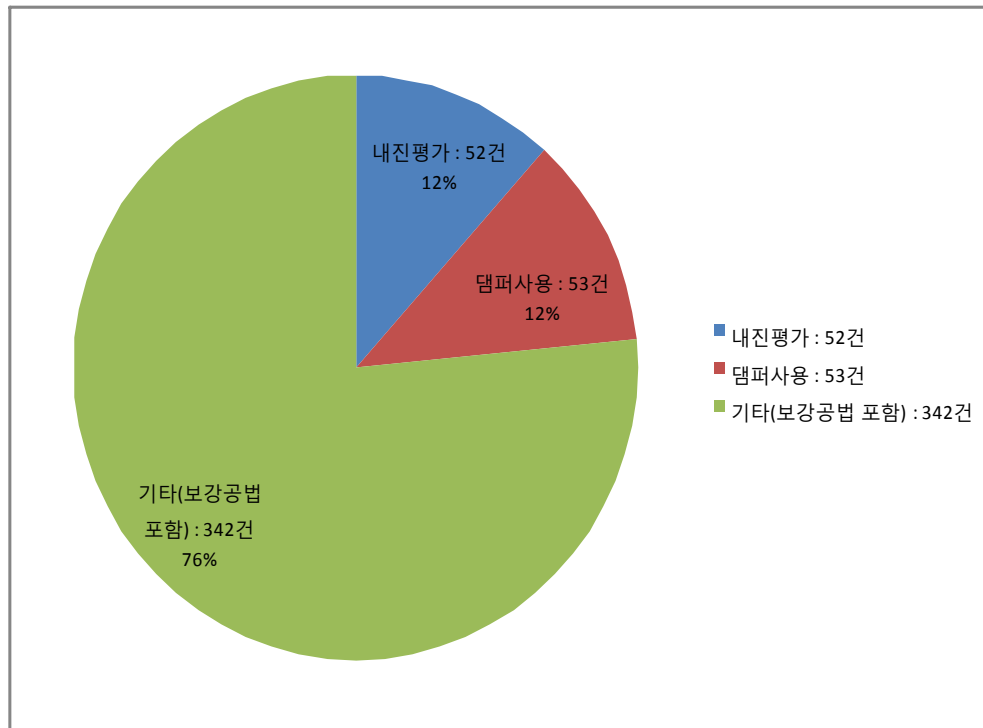


그림 2-14. 내용별 분류 : 전체 447건

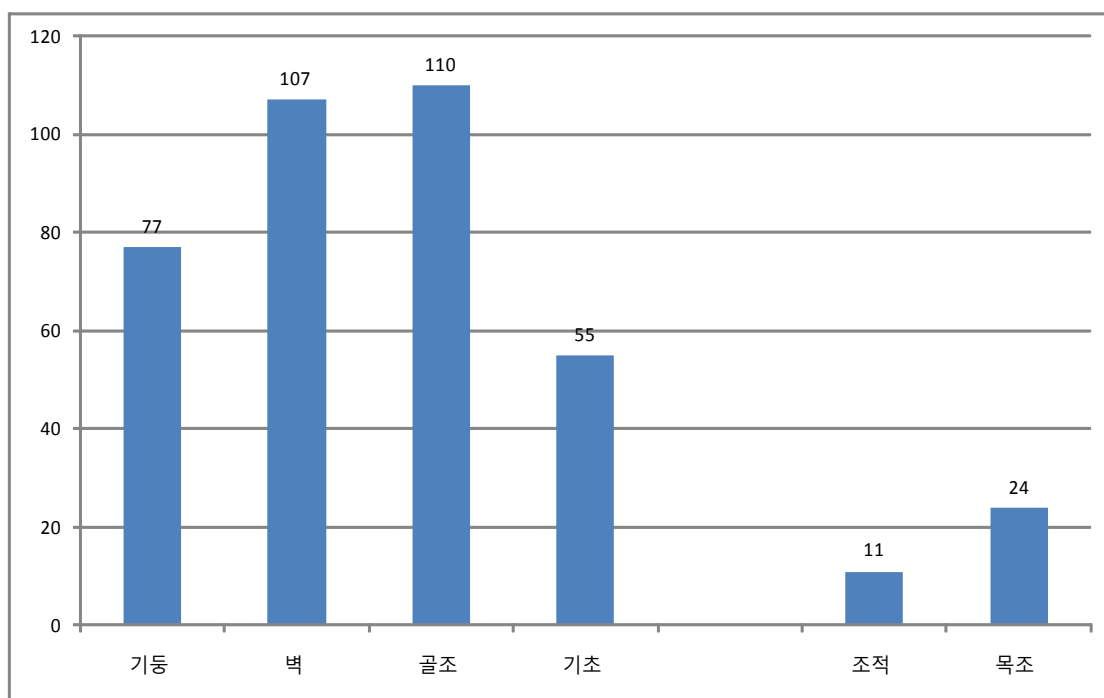


그림 2-15. 내진보강 공법의 적용부위별 분류

- 다음의 표는 국내에서 출원된 내진보강관련 특허임.

표 2-19. 대표적인 국내 내진보강 관련 특허

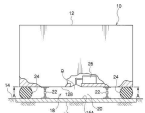
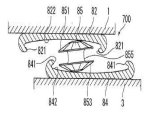
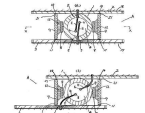
발명자	출원번호	IPC(Int.Cl.)	발명의 명칭
박장호	10-1999-0018108	E04H-009/02	지진에 의한 건축 구조물의 붕괴방지 방법 및 장치

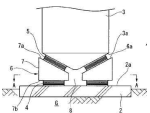
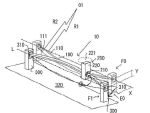
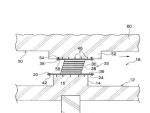
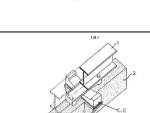
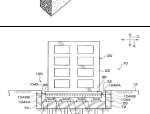
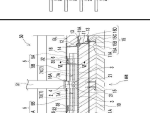
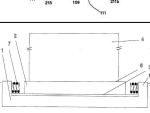
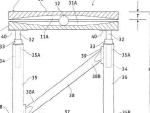
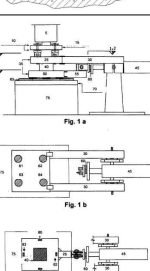
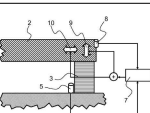
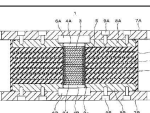
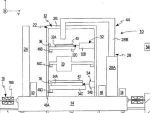
가부시킴가이샤 닛뽀 에이세이 센터	10-1999-0035850	E04B-001/98 E04B-001/26	내진 보강 기구
가부시킴가이샤 닛뽀 에이세이 센터	10-2000-0031409	E04H-009/02	목조 가옥용 내진 보강 기구
가부시킴가이샤 닛뽀 에이세이 센터	10-2000-0066678	E04B-001/26	내진 보강구
가부시킴가이샤 닛뽀 에이세이 센터	10-2001-0038192	E04H-009/02	내진 보강 금구
가부시킴가이샤 닛뽀 에이세이 센터	10-2001-0047273	E04H-009/02	내진 보강 금구
김광민	10-2002-0030858	E04H-009/02	내진강도(耐震强度) 7·8·9
최승일	10-2005-0030283	E02D-027/01 E02D-027/08	경량 건축물의 기초구조 및 그 시공방법
권정효	10-2005-0083135	E04H-009/02	이동이 가능하고 지진에 안전하며 계절에 따라 방향을 바꿀수 있는 주거 가능한 수상 구조물
한국전력공사	10-2005-0103209	F16F-015/02	폴리형 지진진동 저감장치
동부건설 주식회사 김윤용, 하기주	10-2007-0125725	E04C-005/06 E04B-005/43	슬래브-기둥 접합부의 전단 내력이 향상된 철근 콘크리트구조물
쌍용건설 주식회사 (주)동양구조엔지니어링	10-2008-0015699	E04B-001/98 E04H-009/02	복층 건물의 필로티 보강 구조체
(주)희상리인포스	10-2008-0037952	E04G-023/02 E04C-005/07	아라미드 스트립 부재를 이용한 철근콘크리트 구조물의 내진보강 시공방법
충남대학교산학협력단 (주)정우엔지니어링건 축사사무소	10-2008-0073429	E04H-009/02 E04B-001/98	건물의 내진성능 향상을 위한 기둥 형태의 댐퍼
주식회사 포스코 재단법인 포항산업과학연구원	10-2008-0105640	E04B-001/24 E04B-001/58 E04B-001/19 E04B-001/38	H형강 보와 각형 강관 기둥의 접합부 연결구조
한국전력공사 (주)파워엔텍	10-2009-0029920	H02B-001/54	높은 지진응답을 받는 계전기 판넬에 무정전 및 무이설 방식으로 설치되는 내진 보강구조
한국철도기술연구원 군산대학교산학협력단	10-2009-0038869	E04C-003/34 E04C-003/30 E04B-001/98 E04H-009/02	다각형 단면을 가진 기설기둥의 내진 보강장치, 내진 보강구조 및 내진 보강방법
한국철도기술연구원 군산대학교산학협력단	10-2009-0038873	E04C-003/34 E04B-001/98 E04H-009/02	원형 또는 타원형 단면을 가진 기설기둥의 내진 보강장치, 내진 보강구조 및 내진 보강방법
한국철도기술연구원 군산대학교산학협력단	10-2009-0038874	E04C-003/34 E04C-003/30	인터록 보강판을 이용한 기설기둥의 내진 보강장치, 내진 보강구조 및 내진 보강방법
주식회사 기주건설	10-2009-0105898	E04H-009/02 E04H-009/06 E04B-001/98	내진보강장치 및 이를 이용한 건축물 내진 보강공법
(주)비온디	10-2009-0130936	E04B-001/98 E04H-009/02 E04B-001/58	건축구조재의 보강 고정구 및 이를 활용한 내진 공법
(주)에이엠에스	10-2009-0133211	E04H-009/02	기존 건축물의 내진보강 구조물 및

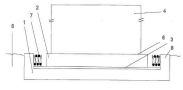
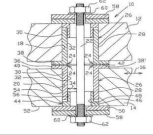
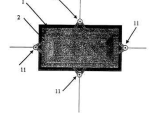
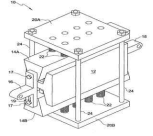
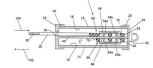
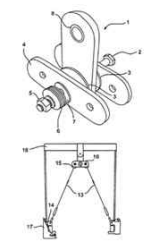
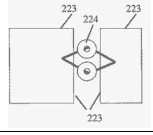
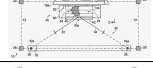
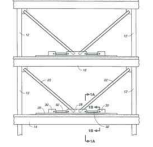
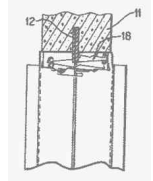
엔지니어링		E04H-009/06 E04B-001/98	방법
유문식 (주) 케이 이엔씨	10-2010-0007278	E04B-001/98 E04H-009/02	건물 벽체 설치용 내진보강 구조체
주식회사 지엔시에코 곽창원,박인준,이용교	10-2010-0019068	E04H-009/02 E04B-001/98 E04C-005/04	건축물의 내진보강장치
장민석,이기학,이성민	10-2010-0045579	E04H-009/02 E04B-001/98	철근콘크리트건축물의 내진 보강구조
유문식 (주)케이 이엔씨	10-2010-0052115	E04B-001/98 E04H-009/02	길이 가변이 가능한 내진보강 프레임
이정우	10-2010-0076735	E04B-002/56 E04B-001/98 E04H-009/02	조적조 칸막이 벽의 내진보강방법
동국대학교 산학협력단 류장수	10-2010-0080538	E04B-001/98 E04H-009/02 E04G-023/02	노후 철근콘크리트 보-기둥 구조물을 위하여 피씨부재를 활용한 리모델링 내진보강 접합구조 및 이를 이용한 건물 리모델링 시공 방법
오영근	10-2010-0103681	E04B-002/02 E04B-001/98 E04H-009/02	조적식 벽체용 내진 보강 구조물 및 이를 이용한 내진 보강 공법
강토아이디테크 (주)	10-2011-0035138	E04B-001/98 E04H-009/02	내진용 댐퍼 및 이를 이용한 내진 시스템
(주) 선구엔지니어링	20-2004-0014066	E04B-001/98	겹침식 스프링 구조를 이용한 내진 건설용 보강구
(주) 선구엔지니어링	20-2004-0014068	E04B-001/26	접이식 내진 건설용 보강구
김대식	20-2008-0007445	F16L-003/16 F16L-003/20	내진용 배관지지장치
김성구,유현남,김건아, 김수혁,김수연	30-2008-0036082		내진 및 방진용 배관 행거
주식회사 원준하이테크	30-2009-0050973		건축용 내진 보강재

- 다음의 표는 대표적인 댐퍼관련 특허로서 일본에서 출원된 특허가 두드러짐

표 2-20. 대표적인 진동제어장치

발명자	출원번호	IPC(Int.Cl.)	발명의 명칭	사진
TAKENAKA KOMUTEN CO LTD	0160922	F16F-015/04 E04H-009/02 F16F-015/023 F16F-009/04 F16F-009/32	Base isolation structure and building	
KANAZAWA SEISAKUSHO:KK	0154286	E04F-015/18	Base isolation device	
MANTANI ATSUYOSHI	0277273	F16F-015/04 E04H-009/02	Device for supporting seismic isolation ball	

SHIMIZU CORP	0222488	E04H-009/02 F16F-015/04 F16F-015/02	Seismic isolation system	
TOKAI EC KK	0221740	F16F-015/02 F16C-031/06	Seismic isolation and vibration control guide device, and seismic isolation and vibration control guide structure	
TAKENAKA KOMUTEN CO LTD	0160565	F16F-015/04 E01D-019/04 E01D-022/00 E04H-009/02 F16F-001/36	Fixing structure of seismic isolation device, and method for adjusting horizontal displacement difference of seismic isolation device	
IAU:KK; KITAMURA JIRO	0240045	F16F-015/04 E04H-009/02 E04B-001/36	Base isolation device, sliding bearing and base isolation structure	
TAKENAKA KOMUTEN CO LTD	0239404	E04H-009/02 E04B-001/36 F16F-015/02	Base isolation structure and structure	
TSUKIOKA ISAO	0228049	E04H-009/02 F16F-015/02	Structural body of base isolation structure	
Gil A. Moreno	0567548	E04H-009/02 E04B-001/98	Isolation bearing restraint devices	
Charles Edward Weber	0496809	E04H-009/02	Seismic isolation to protect buildings	
Zoltan Kemeny	0756295	E04B-001/98	Seismic isolation access floor assembly	
Robert G. Drysdale	0663143	E04H-009/02 E04B-001/98	Stable unbonded fiber-reinforced elastomeric seismic isolators for base isolation system	
Peter Heiland	0758413	F16F-009/00	Active vibration isolation system which is more effective against seismic vibration	
Oiles Corporation	0767685	F16F-015/04 E04H-009/02 F16F-001/40	Earthquake isolation device	
Fardad A. Hashemi	0548895	G03F-007/20 B12P-011/00 F16M-013/00	System for isolating an exposure apparatus	

Charles Edward Weber	0496809	E04H-009/02	Seismic Isolation to Protect Buildings	
Hilmy Said I.	11585063	E04H-009/02	Seismic energy damping apparatus	
Imad H Mualla	0476987	E04H-009/02 E04B-001/98	Frictional damper for damping movement of structures	
George C. Lee Zach Liang	10455857	F16C 41/00	Friction damper	
Lord Corporation	9737889	F16F 15/03	Magnetically actuated friction damper	
Mualla Imad H.	10048362	E04H 902	Device for damping movements of structural elements and a bracing system	
Mualla Imad H.	0505934	E04H-009/02	FRICTIONAL DAMPER FOR DAMPING MOVEMENT OF STRUCTURES	
Simmons, Robert J.	0156141	E0H-009/02	Frame damper bracing	
Haskell Gregg O.	0811387	E04H-009/02	Building damper apparatus	
McCabe Francis J.	0625796	F24F-013/10 F04G-021/02	Central flange mounted damper	

라. 국내외 시장분석 및 산업동향

(1) 국내 기술 및 산업 동향

○ 기후변화로 인한 피해사례 및 규모

- 우리나라에서는 매년 호우, 태풍, 대설 등 자연재난으로 인하여 많은 피해가 발생하고 있으며 연평균('02-'11) 인명피해는 68명, 재산피해는 1조 6,582억원에 달하며 최근 10년간 자연 재해로 인한 인명 및 재산피해액은 다음과 같음. (소방방재청 2012 재해연보)

표 2-21. 최근 10년간 자연재해로 인한 인명 및 재산피해액

년도	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011
이재민(명)	71,204	63,133	30,446	10,619	2,883	675	4,627	11,931	76,110	70,099
사망(명)	270	148	14	84	63	17	11	13	14	78
피해액 (억원)	건물	1,158	964	80	146	251	59	15	23	283
	선박	48	324	5	13	16	26	7	28	18
	농경지	4,369	1,169	206	280	1,411	110	76	90	154
	공공시설	49,209	30,986	5,168	4,459	16,929	1,561	2,442	2,077	6,871
	기타	6,369	10,640	6,845	5,599	823	762	440	1,790	618
	합계	61,153	44,082	12,304	10,498	19,430	2,518	2,988	4,268	7,942

- 이중 건물과 공공시설의 피해액은 전체피해액의 약 74%로 매년 1조3천억정도임.

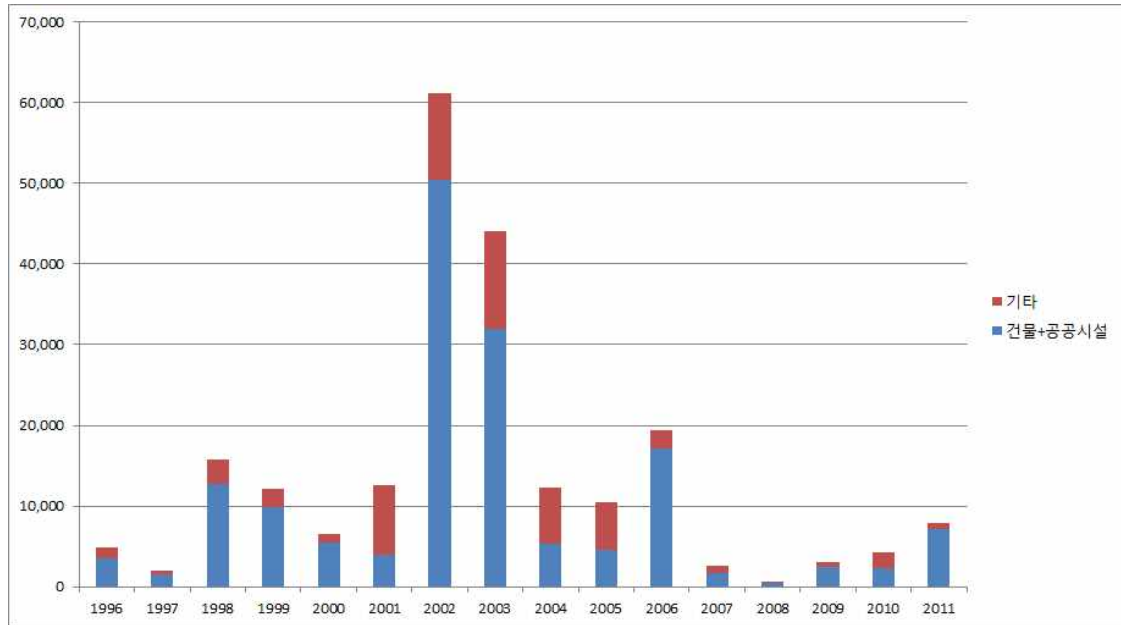


그림 2-16. 최근 10년간 자연재해로 인한 건물 및 공공시설 피해액

○ 구조보강대상 주요시설물

- 내진설계 대상 12만 3201곳의 공공기관을 비롯한 주요시설물 가운데 내진보강이 필요한 시설물은 63%인 7만 7296곳으로 내진 보강에 총 27조원이 소요될 것으로 예측됨.
- 지난 2010년 7월 국내 공공건축물의 내진보강사례 16건에 총 내진보강 공사비를 총 연면적으로 나눈 평균 내진보강 단가를 약 6만 1800원/m²으로 내진보강 필요 건물 개수에 적용하여 산출된 비용임. (소방방재청, 2010)

○ 주요 구조물 구조보강 예산

- 내진 보강이 필요한 공공건축물은 4만 3437곳으로 총 11조 1613억원, 학교시설 1만 5851곳에 7조 6129억원 소요비용 추정됨. (소방방재청, 2010)

리뷰 > 뉴스 > 정치 > 경기

국내 공공·주요시설물 내진 보강비 27조

12만3천여곳중 63% 달해... 도내 내진설계 건물 19% 불과

2011년 03월 18일 (금)

정희종 기자 jhj@kyeongin.com

[경인일보=경의총기자]일본발 대지진으로 국내 주요기반 시설물의 내진 보강 문제가 제기되는 가운데 국내 공공건축물 및 주요시설물의 내진 보강 추정비용이 27조원에 달할 것으로 전망됐다.

소방방재청이 한나라당 임동규(비례대표) 의원에게 제출한 '지진재해대책법상 주요시설물·건축물의 내진설계 현황'에 따르면 내진설계 대상 12만3천201곳의 공공기관 등을 비롯한 주요시설물 중 내진 보강이 필요한 시설물은 63%인 7만7천296곳으로, 소요예산은 26조8천억원에 달할 것으로 집계됐다.

이는 작년 7월 국내 공공건축물의 내진 보강사례 16건의 총 연면적에 현재 내진 보강 공사비를 나눈 것으로, 평균 내진 보강 단가는 ㎡당 약 6만1천800원이다.

이 중 84%의 내진 보강이 필요한 공공건축물 4만3천437곳은 총 11조1천613억원으로 가장 많은 예산이 소요될 것으로 집계됐고, 86%를 보강해야 하는 학교시설 1만5천851곳은 7조6천129억원이 소요될 것으로 추정됐다. 다음으로 향안시설 387곳에 4조675억원, 도로시설물 1만3천353곳에 2조4천616억원의 예산이 필요한 것으로 분석됐다.

한편 경기도의 경우 총 2만3천22개 시설물 가운데 내진 대상 8천698개 중 내진설계된 시설물은 1천728개(19.4%)에 불과한 것으로 집계됐다. 인천지역의 주요시설물도 마찬가지로 내진설계 대상 2천113개 중 내진설계된 곳은 17.8%인 377개에 그쳤다.

임 의원은 "주요시설물 31종 중 내진설계가 확보된 곳은 37%에 불과해 부처별 소관시설물 내진설계 단계 점검과 동시에 공공시설물 내진 보강 조기추진 및 대상확대 등 개선이 시급하다"고 지적했다.



그림 2-17. 건축물 내진보강 예상 비용 관련 기사

그림 2-18. 학교건물의 내진보강사업 사례

- 정부에서는 2011 ~ 2015년 계획기간 중 총 약 3조 251억원을 주요시설물 내진보강에 투자할 계획이며 부처별로는 국토부(5,812억원), 교과부(3,006억원), 지식경제부(870억원), 환경부(825억원), 농식품부(350억원), 보건복지부(122억원) 순이며, 시도별로는 경기(4,734억원), 서울(4,503억원), 부산(1,651억원), 대구(1,094억원), 인천(1,019억원) 순이고, 시설물별로는 건축물(1조 6,849억원)과 학교시설(3,006억원), 그리고 토목시설물(5,695억원) 순임. 2016년 이후에는 5년 단위로 4단계에 걸쳐 약 24조원을 투자할 계획임. (소방방재청, 2010)
- 교육과학기술부 추정 예산: 2009년 학교시설 내진보강 사업 기본계획을 마련함
- 지진발생 시 대규모 피해가능성이 있는 8,486동 중 우선 2014년까지 2,676억여 원을 투입하여 1,003동(557 학교) 시설의 내진보강 사업을 추진한 이후, 다수의 댐퍼 및 기존 구조보강 업체들이 내진보강 사업으로 그 영역을 확장하고 있음.
- 민간부분의 경우 리모델링 대상인 준공연도 20년 이상이 된 노후아파트 규모는 전국적으로 약 116만호 정도가 되며 리모델링 시장은 2000~2010년경에 비주택 부문을 중심으로 성장하기 시작하여 2010~2020년경에 공동주택부문 리모델링의 활성화에 힘입어 리모델링이 건설시장의 핵심부문이 되고, 2025년경에는 선진국 수준의 시장이 형성될 것으로 예상됨.
- 우리나라에서도 건축물의 지진안정성 제고 및 선진화를 위해 최근에 차세대 지진안전 장치(제진댐퍼)의 개발에 대한 수요가 급속히 증가되고 있으며, 특히 최근 공동주택 인방형 댐퍼, 학교건축물 내진보강사업을 중심으로 제진장치에 의한 내진보강이 다수 적용되고 있음 (2010년 학교내진보강사업 64건 중 49건 제진장치 적용. 2015년까지 6,275억 투입).

표 2-22. 국내 리모델링 시장의 단계별 시장규모 전망(리모델링협회, 2010)

구 분	2000~2010년	2010~2020년	2020년 이후
특 징	- 비주택부문 중심으로 성장 - 주택부문은 인테리어 개선 중심으로 활성화 - 저밀도 고급아파트를 중심으로 동 또는 단지 리모델링 출현	- 주택(특히 공동주택) 리모델링 활성화 - 주택부문이 전체 리모델링 시장 선도	- 서구국가와 같이 리모델링 시장이 전체 건설 시장에서 가장 중요하고 큰 비중 차지
시장규모	9조5천억원(2000년) → 19조원(2010년)	19조원(2010년) → 28조원(2020년)	31조원(2025년)
건설투자 중 비율	8~10%(2000년) → 15~20%(2010년)	15~20%(2010년) → 25~30%(2020년)	30% 이상(2025년)
중점부문	민간 오피스, 상가건물, 병원 등 특수 건물	아파트, 일반주택, 민간 및 공공 비주거 건물 등으로 다양해짐	

○ 비구조재분야

- 내진성능이 요구되는 비구조재 중 대표적인 건자재로 천장틀을 들 수 있음. 천장틀 시스템의 시장 규모는 건축물 허가 면적과 비례하며, 아파트와 같은 주거시설에서도 목재 천장틀 대신 강재 천장틀이 사용되는 추세임. 건축물 허가 면적을 기준으로 할 때, 천장틀 시스템의 시장 규모는 다음과 같이 추정됨.

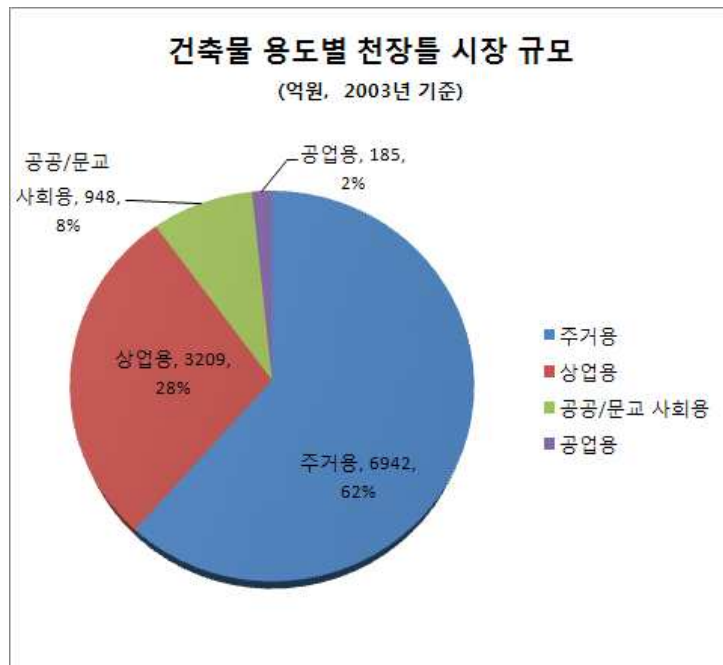


그림 2-19. 건축물 용도별 천장틀 시장 규모

○ 건축물 지진응답 저감이 가능한 지진안전 장치 및 시스템 관련

- 면진장치의 경우 그동안 중/약진 지역으로 인식되어 지진에 대한 대비가 미비한 우리나라에서 1990 년대에 도입한 비교적 새로운 형태의 구조시스템으로 적용사례가 제한적임.
- 제진시스템은 면진시스템과 거의 동시에 국내에 소개되어, 상용화를 위한 다양한 시도가 진행되고 있지만 적용사례는 매우 한정적임.

- 면진장치와 제진장치를 사용한 구조물에 대한 국내 설계기준이 전무한 상태로, 이 장치들을 이용한 진동제어시스템을 구조물에 적용하기에는 한계가 있음.
- 우리나라는 건축물의 지진에 대한 제어시스템이 1990년대에 도입되기 시작하여 2008년 중국 쓰촨 성 지진과 2011년 일본 동북부지역 대지진의 영향으로 제진장치에 대한 관심이 증가하고 있는 추세이나, 연구실적과 적용실적이 매우 부족하며 기술개발 현황 또한 도입단계임.

○ 건축물 구조성능 개선 실무적용을 위한 전산시스템 및 교육프로그램 관련

- 최근 공공발주의 경우 BIM 등 최신 정보기술이 건설 분야에 활용되고 있음. 공사물량 및 공기를 최소화할 수 있는 기술력 보유여부가 해외 Pre-con 서비스 시장 진출의 중요한 기술적 요소가 되고 있음. 2010년부터 진행되고 있는 국토부의 “BIM기반 RC구조와 강구조 표준상세 및 데이터베이스 구축”과제의 연구결과를 활용하여 구조보강에 적절한 BIM 활용방안 개발.
- 세계적 선도 엔지니어링 회사들의 경우 회사 내에서 독점적으로 사용하는 in-house 전산기술을 개발하여 기술차별화 및 브랜드 요소로 활용하며 전 세계시장을 장악하고 있음. 최근 구조 엔지니어링의 설계 품질과 생산성 향상을 위하여 파라메트릭 설계, 각종 soft computing 기법 도입의 진취적인 전산기술 개발 및 도입 필요.
- 정부의 꾸준한 건설기술 분야 연구개발 투자의 결과로 기존건축물 보강관련 엔지니어링 기술 중 일부는 선진국 추적기술의 수준에 도달하였음. 하지만 기존건축물 보강에 대한 국내 경험이 충분히 축적되어 있지 않기 때문에 일부 기술 분야에서는 아직 선진국 기술에 의존하고 있는 실정임. 독자적인 기술개발에 많은 시간과 노력이 요구되는 기술에 대해서는 해외 선진기술을 직접 도입함으로써 단기간 내에 세계적 수준을 확보할 수 있음.

(2) 국외 기술 및 산업 동향

○ 외국의 리모델링, 내진보강 관련 건설시장규모

- 주요 선진국의 리모델링 건설시장은 이미 전체 건설산업 투자액 중 상당부분을 점유하여, 매우 중요한 건설사업 영역으로 자리매김하고 있음.
- 일본은 90년대 거품경제가 붕괴되면서 건설투자액이 크게 감소하고 있고, 이러한 상황에서 시미즈, 하세코와 같은 대형건설업체가 리모델링 건설시장에 본격적으로 진출하면서 시장이 본격적으로 형성되기 시작함. 일본의 리모델링 건설시장은 90년대 중반부터 전체 건설시장의 25.2%를 점유하고 있고, 그중 주택 건설시장이 30.5%, 사무실, 상업시설, 공장 등과 같은 민간 비주택 건설시장에서는 45.1%를 차지하고 있으며, 리모델링 건설시장의 비중이 매년 2%이상 성장하여 향후 매우 주요한 사업영역이 될 것으로 예상됨.
- 미국과 캐나다는 1990년대에 리모델링 산업이 급격히 성장하였으며, 1998년에 이미 미국 국내 건축시장의 투자액 6천263억 달러에서 리모델링 건설사업의 투자액은 1천980억 달러로 건축시장의 31.7%를 차지하고 있음. 이는 에너지 고효율화 관련하여 미국 정부에서 「에너지보전과 생산에 관한 법률(Energy Conservation and Product)」, 「전국 에너지 보전정책에 관한 법률(National Energy Conservation Policy Act)」 등의 제정으로 기존 건축물에 대한 에너지 관련 리모델링 건설이 상당부분 진행되었기 때문임. 캐나다는 리모델링 건설사업의 투자액이 393억불로 전체 건축투자액 671억불의 58.6%를 점유하고 있어 리모델링 시장이 상당히 활성화 되어 있음. 미국과 캐나다의 리모델링 건설사업은 향후에도 지속적으로 그 점유비중이 증가할 것으로 전망됨.
- 유럽 15개국의 리모델링 시장 규모도 전체 건설시장에서 평균 35%에 이르고 있고, 이의 성장 요인과 특징은 1)이용자의 건축물에 대한 첨단화·편리화 등 질적 기준의 고도화 추구, 2)기 건설된 건축물이 리모델링 사이클로 진입, 3)리모델링 건설기술이 양질의 품질을 보장할 수 있어 단기간에 리모델링 공사 완료 가능, 4)재건축에 대한 규제가 미국이나 아시아보다 엄격, 5)기존 건축물의 복구 및 보존 공사 비중이 다른 국가들에 비해 높은 점임. 리모델링 건설시장은 경기 동향의 영향을 크게 받는 산업이며, 최근 유럽은 정치·경제적 움직임의 영향으로 과거에 비해 경제적 위기에 처해 있으므로 건설

산업에 대한 투자 및 소비도 신축보다는 경제성이 높은 리모델링 사업을 선호하고 있는 실정임. 또한 경제통합에 따라 국가 및 지역 간의 가계 및 기업의 이동성이 증가하여, 각국 정부는 주거부문에 대해 정책적으로 리모델링 사업을 활성화시켜 부분적인 경기활성화를 도모하고 있는 실정임.

- 국가별로 건설시장에서의 리모델링 건설시장이 차지하는 비중을 보면, 이탈리아 46%, 프랑스와 영국이 43%, 영국 43%를 점유하고 있으며, 덴마크, 스웨덴, 노르웨이가 39%를 점유하고 있음. 그러나 포르투갈의 경우 리모델링 건설시장의 비중이 5% 미만을 나타내고 있는데, 이는 자가 수선의 비중이 매우 높고, 지하경제의 영향으로 통계에 반영되지 않기 때문임. 유럽의 리모델링 건설산업은 건설 산업 내에서 고도 성장을 하는 신규 사업으로 각광을 받고 있으며 이는 향후, 우리나라를 포함한 아시아에도 큰 영향을 미칠 것으로 전망됨.
- 미국의 FEMA E-74에서는 기존 비구조재의 내진성능 향상을 위한 디테일이 상세히 규정되어 있음. FEMA E-74에 따르면, 비구조재 및 건축물의 점유물은 전체 건축관련 비용 중 약 80%이상을 차지함.

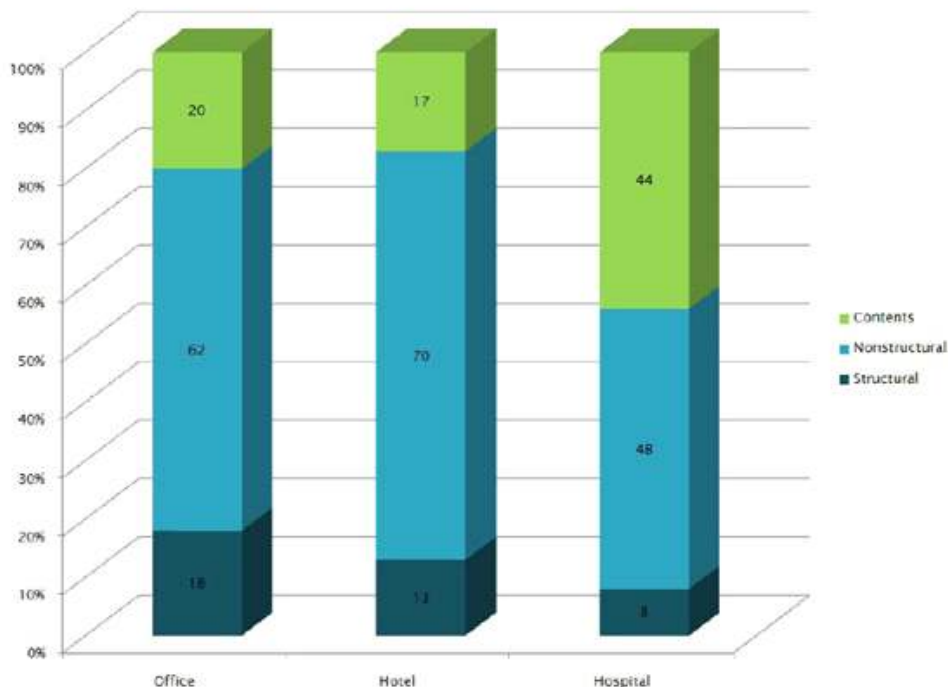


그림 2-20. 지진에 의한 구조재, 비구조재 및 장비의 피해 비용(FEMA E-74)

마. 종합결론

○ 1장과 2장의 국내현황 및 기술동향 분석에 의하면

- 기존 비내진 건물, 소규모 건축물은 구조설계 제외 대상인 구조안전의 사각지대로서 지진 및 폭우, 산사태, 태풍 등에 대해 무방비 상태로 자연 재해 발생 시 재산·인명피해가 심각함.
- 국내 전체 건축물 약 680만동 중 내진설계가 적용되지 않은 건물 664만동(97.7%) 중 내진설계 의무가 없는 건축물은 580만동(85.3%), 내진설계 의무가 있으나 내진 적용하지 않은 건축물은 84만동(12.4%)임.
- 선진국에서는 계획적인 보강이 필요한 공공건물(관공서, 병원, 학교 등)의 경우 재해 시 기능유지를 위해 구조안전 지침을 시행하고 있으나 국내의 경우는 이러한 시도가 산발적으로 이루어 통일성 및 실효성의 검증이 이루어지지 않고 있음.
- 최근 서울시의 내진보강계획(2040년까지 내진성능확보율 80% 달성목표), 교육과학부 및 교육청의 내진보강계획 등 최근 내진평가 및 내진보강에 대한 수요가 급증하고 있음.
- 국내의 경우 「지진재해 대책법」 제정(08'.3)을 통해 공공건물의 내진보강을 의무화하였으나 구체적

시행방안은 법제화되지 못해 기존 건축물도 신축 건물용인 설계기준을 원용하여 검토 또는 해외 자료·절차 사용하고 있음.

- 국내 소규모건축물은 구조설계의 대상이 아니며, 건축사에 의한 경험적 구조상세 적용 등의 단순한 방법에 의해 수행되도록 정책화되어 지진 및 기후변화 대비 재난/재해 등의 구조안전에 매우 취약.
- 소규모건축물 구조기준 부재하며 소규모건축물 구조안전에 대한 국가 관리체계 부재. 리모델링 등으로 인한 안전사고 사례가 증가하며, 폭우와 산사태 등 기후변화에 의한 소규모건축물의 피해는 증가 추세임. 소규모건축물의 지진 취약성이 특히 심각한 실정.
- 현재 소규모 건축물에 적용되고 있는 ‘구조 설계 기준 등에 관한 규칙’은 실증적인 근거를 바탕으로 작성된 것이 아님.
- 기존 건축물 구조성능 평가 및 개선 기술은 미국 대비 40% 수준, 기존 건축물 구조안전 확보 촉진 제도는 일본 대비 30% 수준임.
- 미국, 일본 등의 내진기술의 선진국 뿐 아니라 중국에서도 구조물의 성능보장 및 확인을 위해 성능기반 평가 및 설계법이 사용되고 있음.
- 선진국의 사례에서 보듯이 포화되고 있는 건설산업의 상황을 고려할 때 리모델링 및 기존 건축물의 재활용을 가능하게 하는 기존 건축물의 내진성능 평가, 보수 및 보강기술은 건설산업 전체의 패러다임 변화를 유도하고 국가경쟁력 상승을 주도할 중요한 기술임.

○ 국내외 시장동향, 기술개발수준, 인프라수준 등을 종합한 SWOT 분석은 다음과 같음.

지진 및 기후변화 대비 한국형 건축물 구조설계기술/기준 선진화			
	Opportunity • 동북아 지역에서는 대규모 지진 또는 판 내 비예측지진으로 인한 피해 급증 • 지구 온난화에 따른 국지적 폭우, 돌풍에 따른 경제적 인명 피해 급증 • 우리나라에서도 지진 및 기후변화에 대한 불안감이 커져 국가적으로 법적·제도적 노력이 확대될 예정		Threat • 현재 대형지진 발생 시 효과적인 대처가 어려움 • 대형지진 발생 시 큰 국가적 손실이 발생할 것으로 예측함
	Strength • 지진 및 이상기후에 대한 구조물의 구조성능 확인을 위한 선진국 수준의 실험 인프라가 구축 완료 • 내진공학에 관한 정보가 풍부함 • 국내 내진공학 전문가 Pool이 충분함 • 현재의 내진 또는 내진동 기준에 대한 문제점을 정확히 파악하고 있음		Weakness • 내진과 진동제어 관련 법적·제도적 장치 미흡 • 국내의 지진 정보가 부족함 • 기후변화 비예측하중에 대한 설계기준과 경험미 부족함 • 미국 및 일본을 제외한 중·약진지역에 대한 타 선진국의 내진 기준 정보가 부족함
SO 전략 <u>체계적 구조설계·평가·보수·보강시스템 구축</u> • 비예측 대형지진 대상 시스템 구축 • 이상기후 대상 시스템 구축 <u>연구방법 및 방향의 전환</u> • 분산형 연구에서 통합 및 융합연구로 • 연구자 주도형에서 수요자 주도형으로		ST 전략 • 국가 주요 기관에 대해서는 대형지진 및 기후변화에 따른 피해에 완벽한 대비가 필요 • 국내 전문위원을 활용하여 지진 및 기후변화 안전성 확보의 기준을 명확하게 제시	
WO 전략 <u>선진국과 연계 활동 방안 구축</u> <u>법적·제도적 지원 방안의 수립 필요</u> • 지진과 기후변화에 대비한 지원 • 국가적 차원에서의 법적·제도적 지원		WT 전략 <u>엔지니어링이 높아진 모델 기준 선정</u> • 유럽 기준 • 뉴질랜드 기준 <u>중·약진 지역의 내진 및 진동제어 기준 참고</u> • 호주 기준 참고 • 프랑스 기준 참고	

그림 2-21. 국내건축물의 지진 및 기후변화 대응에 대한 SWOT분석

○ 이상의 분석에서 볼 때 본 연구과제의 목표 및 진행방향은

- 홍수, 산사태, 강풍 등의 자연재해에 대한 구조안전기준의 정립, 대형지진에 대비한 현재 내진설계 기준의 개선, 기존 건축물의 내진성능평가 및 보강 기준의 제정, 소규모 건축물에 대하여 내진안전성

을 보장할 수 있는 구조기준의 제정 등 건축물의 구조안전성을 보장할 수 있는 구조기준을 마련하며, 이를 뒷받침하는 관련 법 및 제도의 정비, 소프트웨어적인 가이드라인, 시방서, 경제적인 보강공법과 인증방법 등 전반적인 지진 및 기후변화에 대비한 한국형 건축물의 방재계획을 마련할 필요가 있음.

- 비예측하중에 따른 복합재난에 대한 대처는 국토해양부, 소방방재청, 지방자치단체와의 협조를 통해 다양한 재해, 재난 자료 확보 및 대응체계 융합이 필요하며, 국토해양부의 주도하에 재편되어야 함. 이에 대한 로드맵과 법적 제도적 체계(안)에 대한 정책개발이 필요함.
- 지진 및 기후변화 건축물 설계관련 현행설계기준에 대한 분석결과, 산재되고 상호 상충되는 각종 설계 및 진단 기준을 통합하고 체계적인 설계 및 진단 기준의 정립과, 그의 감독 관할을 위한 제도적 시스템의 구축이 필요함.
- 성능기반 평가법 및 설계법은 구조물이 가지거나 완공 후 가지게 될 구조성능을 가장 정확하게 검증할 수 있는 방법으로 이의 도입은 세계적인 추세임.
- 연구성과를 체계적으로 정리하고 건축물 대표유형별 부재별 재료별 구조안전성을 평가할 수 있는 DB구축과 이를 담는 프레임워크구축이 요구됨. 성능기반 개념을 통해 구조안전성 평가 프레임워크가 구축되면 기존 연구성과 활용이 가능해지며 보완이 필요한 연구가 무엇인지 파악할 수 있으므로 향후 연구 성과의 안정적 축적과 개선이 가능.
- 우리나라에서만 사용되는 특유의 상세를 가진 구조요소의 경우 국외의 기존 연구자료만으로는 성능 DB 작성이 불가능하므로 체계적 검증 실험 등을 통해 안전성을 검증하고 취약성을 정밀 파악해야 함.
- 건축물의 재해 발생 시 용도 및 특성에 따른 맞춤형 보강 상세 및 설계방법의 개발이 필요함.
- 재해 발생 및 발생 후 기능수행을 위해 높은 수준의 보강기술이 요구되는 중요 국가기관이나 병원, 방송국 등에 대하여 진동제어장치를 사용한 효율적인 보강방법이 필수적임.
- 진동제어장치의 경우, 대부분 해외에서 수입하여 국내 적용되어 국내 건설 환경, 지진 및 기후환경을 적절히 반영하지 못하여 이에 대한 국가차원에서의 연구개발 필요. 또한 이미 개발되었거나, 향후 개발될 진동제어장치의 성능 평가 시 합리적이고 체계적인 절차의 부재로 장치의 신뢰성이 떨어지므로, 구조시스템과의 상관관계를 고려한 장치의 성능평가 기준 제정 등이 요구됨.
- 차세대 성능기반 내진설계 등 고도화된 평가 및 설계기술이 이미 개발되었거나 개발 중에 있으나 대부분 학술적인 측면에 치중되어 있음. 합리적인 성능기반 구조평가를 수행하기 위해서는 확률론적 방법이나 비선형구조해석 등 고도의 지식과 기술이 요구되어 현 시점에서의 실무 엔지니어들이 이를 실제 업무에 직접 활용하기에는 다소의 어려움이 존재함. 세계적 수준의 국내 정보기술을 구조실무 분야에 적극적으로 도입하여 고도화된 구조평가 및 보강기술을 전문 연구자가 아닌 일반 실무 엔지니어들도 용이하게 이용할 수 있도록 하는 실용화 기술 개발 필요.
- 민간 소규모 건축물의 경우 비용이 최소화되고 사용이 용이한 보강 설계법 및 상세를 제공하여 구조 성능 개선을 적극적으로 유도하여 인명 안전을 보장해야 할 필요가 있음.

○ 이상의 문제점 분석 및 개선 후 목표는 다음과 같이 설정할 수 있음.

표 2-23. 현재의 구조안전성관련 문제점의 현황 및 개선 후 목표성과

현 황	개선 방향 / 목표 성과
현재저 낮은 내진설계 적용비율 - 전체건축물 내진설계 비율 : 2.3% - 중요 공공건물 내진설계 비율 : 17%	내진설계 적용비율 제고 20년 후 민간건축물 내진비율 80% 20년 후 공공건축물 내진비율 100%
법제화된 기존건물 평가기준 부재 - 국내 기존 비내진 건축물의 안전기준 및 성능평가 기준 부재 - 신축건물 내진설계 기준 적용 - 노후 비내진 건축물 성능의 과대평가 - 시설안전공단 기존 건축물 내진성능 평가 요령(2011) - 강진지역(미/일) 해외기준 답습 - 국내 적합성 및 과다보강 문제 - 법적 구속력 부재 - 국내 건축물의 구조적 특성 - 해외 건축구조시스템과 상이 : 국내고유의 건축평면, 시공방식에 의한 구조시스템의 성능에 관한 실증자료가 절대 부족. - RC 구조 예: 단근배근 벽체, 띠철근 간격이 큰 기둥, 비보강 조적벽체, 조적채움벽, 필로티 등 - 강구조 예: 컬럼트리 형식 접합부, 보강플레이트가 없는 패널존 등	내진성능 평가기준 제정 - 적합한 평가방법 및 절차의 법제화 - 국내 기존 비내진 건축물에 대한 체계적인 데이터 베이스 구축을 통한 실증적인 성능평가 기준 마련 - 체계적인 안전진단 방법과 보수보강 기준을 제시하여 보다 경제적인 기존 건축물 구조안전성 확보 - 건축구조기준(KBC)에 부합하면서 동등한 법적 구속력을 갖는 기존건축물 내진성능 평가 및 보강 기준 제정 - 국내건축물의 특성과 용도를 고려한 기존 건축물 구조안전등급 판정기준 - 일반인용 구조안전점검 안내서 병행
구조보강 성능의 낮은 신뢰도 - 기존 건축물의 취약성을 경제적으로 신뢰성 있게 보강하는 기술/기준 필요 - 보강된 구조성능 수준이 불명확 - 각종 보강재 생산 또는 수입 업체의 충분히 검증되지 않은 사양 및 공법을 그대로 적용 - 건축물 안전진단기준과 보수보강기준이 상호 연계성이 없이 독자적으로 시행됨 - 경제성에 관한 객관적 비교평가 분석 부재 - 의료시설, 방송국 등 자연재해 시 기능 유지가 필수적인 국가주요건축물의 신뢰도 높은 내진성능수준 확보 필요	신축건물 수준의 보강성능 신뢰도 확보 - 기존 구조보강 기술의 표준상세 및 시방서 - 구조성능 평가 및 보강 테스트베드 - 재해 시 중요기능 공공건물의 맞춤형 구조보강 지침(병원, 방송국, 전화국, 학교, 소방서, 경찰서 등) - 민간건축물의 최소비용 보강지침 - 차세대 성능기반 내진평가 소프트웨어 - 진동제어장치 성능인증 기준 개발

제3장. 연구 수행 내용 및 성과

[1세부과제]

[1-1세부 고려대]

○ 1차년도

연구수행내용:

- 구조안전성 확보를 위한 내진성능 목표 및 설계하중 정의에 대한 개념정립
 - 국내외 내진성능목표 관련 연구 분석
 - 중진지역의 지진파 특성에 대한 해외 전문가(Prof. Fardis, Prof. Lam)의 자문 및 3회의 기술포럼을 개최하여, 전문가(학계, 산업계)들의 의견을 수렴함.
- 구조안전성 확보를 위한 정책·제도 개발에 대한 개념정립
 - 선진국 구조안전성 확보를 위한 Action Plan 및 관련 정책·제도 분석
 - 기존 건축물을 포함한 우리나라 구조안전성 확보를 위한 중·장기 Action Plan 초안 작성

성과:

[질적성과] 전문가 3인 이상 설문조사를 통한 연구 결과 보고서 평가 결과 5점 만점 3.5점 이상 달성

[양적성과] 보고서: 2건, 학술발표: 2건



○ 2차년도

연구수행내용:

- 중약진지역 특성에 맞는 건축물의 내진성능목표 및 설계하중 초안 제시
 - 세계지진기록에 근거한 우리나라의 지진하중 평가
 - 지진 위험도 수준에 따른 사회·경제적 피해 분석
 - 중약진지역의 성능기반 내진공학에 대한 국제 심포지엄 개최
- 구조안전성 확보 관련 정책·제도 초안 작성 및 구체화
 - 선진국 구조안전성 확보를 위한 Action Plan 및 관련 정책·제도 분석
 - 기존 건축물을 포함한 우리나라 구조안전성 확보를 위한 중·장기 Action Plan 초안 작성

성과:

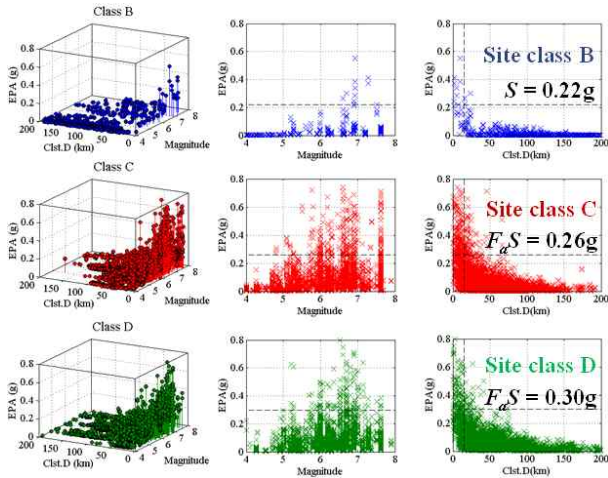
[질적성과] 전문가 3인 이상 설문조사를 통한 연구 결과 보고서 평가 결과 5점 만점 3.5점 이상 달성

[양적성과] 보고서: 1건, 학술발표: 7건

○ 3차년도

연구수행내용:

- 건축물의 내진성능목표 및 설계지진하중 정의 (안) 최종안 제시



<세계지진기록에 근거한 우리나라의 지진하중 평가>

– 내진성능수준 정의

– 성능 수준에 따른 설계 지진 정의

- 지진피해 경감을 위한 해외사례 분석 및 시사점 도출

– 지진피해 경감을 위한 해외사례 분석 및 시사점 도출
(미국, 터키, 일본, 중국, 뉴질랜드 사례분석)

<성능기반 내진공학에 대한 국제 심포지엄 개최>

성과:

[질적성과] 전문가 3인 이상 설문조사를 통한 연구 결과 보고서 평가 결과 5점 만점 3.5점 이상 달성

[양적성과] 저작: 2건, 국내논문 1건, 학술발표: 3건

최소요구사항				
내진성능수준	내진성능수준			
	기능수행	즉시복구	인명보호/붕괴방지	붕괴임박
100	내진 II 등급			
200	내진 I 등급	내진 II 등급		
500	내진 특 등급	내진 I 등급	내진 II 등급	
1000		내진 특 등급	내진 I 등급	내진 II 등급
2400			내진 특 등급	내진 I 등급
4800				내진 특 등급

내진 등급	현행 (연구당시 KBC 2009)	제안된 최소 기준*
기능 상실 시 사회·인보·경제적으로 상당한 피해를 초래할 수 있는 시설물, 국방, 재난 대응 시설물	RP 2,400년 지진의 2/3 수준 X 중요도계수 1.5 = 2,400년 재현주기	2,400년 (500년 재현주기에 대해 '기능수행' 수준 검토)
다른 등급에 속하지 않는 시설물	RP 2,400년 지진의 2/3 수준 X 중요도계수 1.2	1,000년 (500년 재현주기에 대해 '즉시복구' 수준 검토)
소규모 시설물 (붕괴로 인한 피해가 대형 인명피해를 유발할 가능성이 적은 시설물)	RP 2,400년 지진의 2/3 수준 X 중요도계수 1.0 = 1,000년 재현주기	500년

<성능수준에 따른 설계지진>



<일본의 대규모 지진방재/감재대책대강 분석>

○ 4차년도

연구수행내용:

- 한반도 지진 특성을 고려한 합성 지진파 제안

– 우리나라 발생가능지진에 의한 지반운동 예측하기 위해 추계론적 기법을 통하여 한반도 지진특성을 반영한 지진학 모델(seismological model based on stochastic methods)을 개발하고 이를 통해 강진동을 예측하고자 함.

- 지진피해경감을 위한 지침 개발 및 구조안전 보험요율 분석

– 3차년도에 분석한 미국, 터키, 뉴질랜드, 일본, 중국의 지진피해경감 정책 사례 분석을 바탕으로 지진피해경감 정책 가이드라인을 제시함.

– 국내외 지진 보험의 현황 분석과 중약진지역의 현 지진보험 제도 및 요율 비교 평가

성과:

[질적성과] 전문가 3인 이상 설문조사를 통한 연구 결과 보고서 평가 결과 5점 만점 3.5점 이상 달성

[양적성과] 보고서: 3건, 국내논문 1건, 학술발표: 1건



<합성 지진파 생성 과정>

구분	캘리포니아	일본	대만	뉴질랜드	노르웨이	스페인	우리나라
제도명	Earthquake Insurance (1996-)	지진보험 (1966-)	주택건물지진 보험시스템 (2002-)	EQ cover (EQC) (1993-)	자연재해보험 (1980-)	이상리스크 보험 (1954-)	홍수해보험 (지진도입: 2013-)
운영주체	보험회사 사업대행	보험회사 지진재보사 (CEA)	보험회사 재보험제공 (주택지진보험기금)	보험회사 판매대행 EQC, 정부	보험회사 판매대행 노르웨이 자연재해 풀	보험회사 판매대행 국영보험회사 (CCS)	보험회사 판매대행 국민안전처 (보험금지침)
강제성	임의가입	임의가입 (화재보험추가)	의무가입	의무가입 (자동차책)	의무가입	강제가입 (화재/상해/생명)	임의가입
보험목적물	주택, 가재	주택, 가재	주택	주택, 가재, 택지	건축물, 농림, 주택, 정원, 가구 등	주거/상업용 건물 및 등산, 상해, 유업손실	주택, 은실
보험가입 한도액 (담보)	건물: 보험가액 가재: 10만달러 임시비용: 15,000달러	건물 5000만엔 중산 1000만엔	150만 대만달러	주택 10만NZ\$ 가재 2만NZ\$ 택지 보험가액	한도없음	한도없음	정책보상 크기별 한도상위 한도상위 한도상위 한도상위
보험요율	지역별 차등 0.036-0.9%	지역별 차등 0.065-0.326%	지역 및 건물구조 별 차등	단일요율 0.15%	단일요율 0.007%	주택: 0.008% 사무실: 0.012%	단일요율 0.0036%
GDP 대비 보험료	0.00945%	0.0443%	-	-	-	-	0.00129%

<국내외 현 지진보험 제도 및 요율을 비교 평가>

○ 5차년도

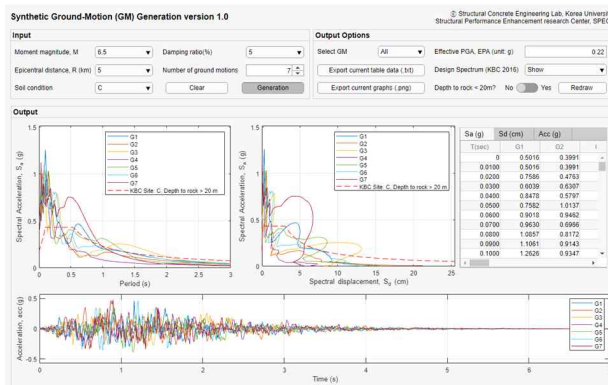
연구수행내용:

- 한반도 지진 특성을 고려한 합성 지진파 검증 및 예제 개발
 - 개발된 한반도 지진 특성을 고려한 합성 지진파의 자체 및 전문가 검증
 - 합성 지진파 생성 및 사용법 예제 개발
- 지진피해경감을 위한 지침 최종안 및 구조안전 보험요율 및 요율지도 최종안 제언
 - 기술자의 권한 및 책임과 관련된 가이드라인
 - 국내 지진보험 가이드라인 보완
 - 전문가 검토 및 수정 보완

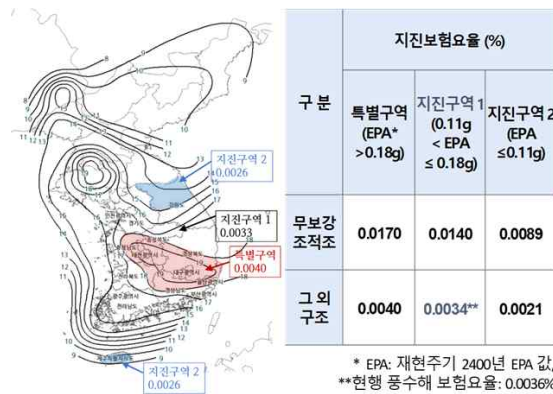
성과:

[질적성과] 전문가 3인 이상 설문조사를 통한 연구 결과 보고서 평가 결과 5점 만점 3.5점 이상 달성

[양적성과] 보고서: 3건, SCI(E)논문 2건(accept), 학술발표: 3건, 소프트웨어: 1건



<규모-거리에 따른 합성 지진파 생성의 예>



<구조안전 보험요율 및 요율지도 제언>

[1-2세부 세종대]

○ 1차년도

연구수행내용:

- 확률기반 내진성능 평가 지침 개발
 - 기존 내진성능 평가 개념을 문헌조사와 기존 연구의 분석을 통해 완료됨
 - 기준(code)에 제시되지 않은 새로운 구조시스템에 대한 내진성능을 평가해 볼 수 있는 방법론으로서 성능기반 내진설계(performance based seismic design)를 기본 개념으로 지진데이터와 구조물의 거동에 관한 다양한 실험 데이터를 이용함.
 - 또한 붕괴위험도에 대한 확률적 평가를 바탕으로 지진력저항시스템의 내진성능평가계수를 정량화하였음. 이를 이용해 2차원 비선형 해석모델에 대해 내진성능 평가를 수행하여 기존 및 제언

된 횡력저항구조시스템에 대해 확률적 위험도를 평가방법을 제시함.

- 이러한 접근방법은 새롭게 제안되는 구조시스템에 대해 기존의 성능평가계수를 적용할 수 있도록 합리적으로 성능기반 평가를 수행할 수 있다는 점에서 그 의의가 크다고 할 수 있음
- 위와 같은 내용을 포함하여 확률기반 내진성능 평가 지침 개발을 완료하여 출간함

- 성능평가 예제집 작성

- 지진력저항시스템의 내진성능계수 결정을 위한 방법론 제시
- 동일한 지진위험도 (약 2400년 재현주기의 지진강도)에 대하여 지진력저항시스템이 동일한 붕괴안전율을 확보하도록 내진성능계수를 결정
- 지진력저항시스템의 붕괴안전율은 확률론적 방법에 의하여 산정

성과:

[질적성과] 전문가 3인 이상 설문조사를 통한 연구 결과 보고서 평가 결과 5점 만점 3.5점 이상 달성

[양적성과] 보고서 1건, 논문 1건, 학술발표 2건

○ 2차년도

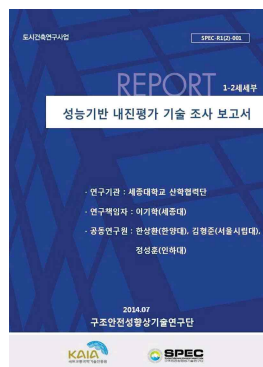
연구수행내용:

- 성능평가지침 및 해설서 개발
 - 중약진 지역특성에 대비한 건축물 성능평가지침 개발
 - 성능평가지침에 대한 기술적 배경을 담은 해설안 개발
- 성능기반설계 지침 개발
 - 고층 건축물에 대한 성능기반설계 지침 개발

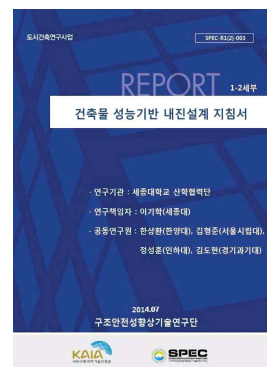
성과:

[질적성과] 전문가 3인 이상 설문조사를 통한 연구 결과 보고서 평가 결과 5점 만점 3.5점 이상 달성

[양적성과] 보고서: 3건, 국내논문: 1건, SCI(E)논문: 1건, 학술발표: 5건



<성능기반 내진평가 기술 조사 보고서>



<건축물 성능기반 내진평가 지침서>

○ 3차년도

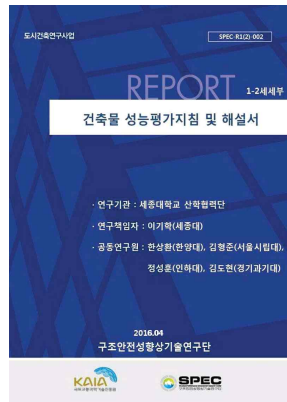
연구수행내용:

- 성능기반 내진설계 절차 개발
 - 비선형 시간이력해석에 따른 중약진지역 지진위험도별 지반운동의 선정법에 대한 연구
 - 비선형 해석에서의 중약진지역 모델링 특성(감쇠비, 전단벽 및 플랫플레이트 모델링)에 따른 지침 개발
 - 성능기반설계 적용에 따른 구조시스템에 대한 평가법 예제 개발 연구

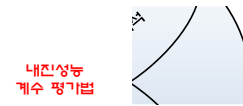
성과:

[질적성과] 전문가 3인 이상 설문조사를 통한 연구 결과 보고서 평가 결과 5점 만점 3.5점 이상 달성

[양적성과] 저작: 1건, 국내논문: 1건, 학술발표: 7건



<건축물 성능기반지침 및 해설서>



전문가 검토

<성능평가의 구성요소>

○ 4차년도

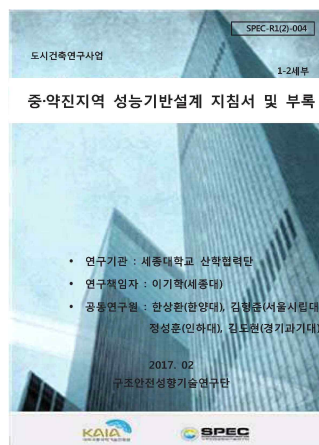
연구수행내용:

- 성능기반 내진설계 지침 개발 및 검증
 - 중약진지역 성능기반설계 지침서 및 부록 보완 및 검증
 - 성능기반 내진설계 모델 건물과 현행 내진설계에 따른 건물 성능 비교/평가

성과:

[질적성과] 전문가 3인 이상 설문조사를 통한 연구 결과 보고서 평가 결과 5점 만점 3.5점 이상 달성

[양적성과] 보고서: 1건, SCI(E)논문: 1건



<중약진지역 성능기반설계 지침서>

목차	페이지
1. 소 개	1
1.1 목적	1
1.2 적용 범위	1
1.3 용어	2
1.4 설계 기준	2
1.5 기타 사항	2
2. 설계 성능 목표	3
2.1 목표 성능 목표	3
2.2 성능 목표	3
3. 성능 목표의 목표	4
3.1 일반사항	4
3.2 설계 기준	4
3.3 설계 기준	4
3.4 설계 기준	4
3.5 설계 기준	4
3.6 설계 기준	4
3.7 기타 사항	4
3.8 적용범위	4
3.9 적용범위	4
3.10 적용범위	4
3.11 기타 사항	4
4. 중·약진지역	5
4.1 일반사항	5
4.2 일반사항	5
4.3 일반사항	5
4.4 일반사항	5
4.5 일반사항	5
4.6 일반사항	5
4.7 일반사항	5
4.8 일반사항	5
4.9 일반사항	5
4.10 일반사항	5
4.11 일반사항	5
4.12 일반사항	5
4.13 일반사항	5
4.14 일반사항	5
4.15 일반사항	5
4.16 일반사항	5
4.17 일반사항	5
4.18 일반사항	5
4.19 일반사항	5
4.20 일반사항	5
4.21 일반사항	5
4.22 일반사항	5
4.23 일반사항	5
4.24 일반사항	5
4.25 일반사항	5
4.26 일반사항	5
4.27 일반사항	5
4.28 일반사항	5
4.29 일반사항	5
4.30 일반사항	5
4.31 일반사항	5
4.32 일반사항	5
4.33 일반사항	5
4.34 일반사항	5
4.35 일반사항	5
4.36 일반사항	5
4.37 일반사항	5
4.38 일반사항	5
4.39 일반사항	5
4.40 일반사항	5
4.41 일반사항	5
4.42 일반사항	5
4.43 일반사항	5
4.44 일반사항	5
4.45 일반사항	5
4.46 일반사항	5
4.47 일반사항	5
4.48 일반사항	5
4.49 일반사항	5
4.50 일반사항	5
4.51 일반사항	5
4.52 일반사항	5
4.53 일반사항	5
4.54 일반사항	5
4.55 일반사항	5
4.56 일반사항	5
4.57 일반사항	5
4.58 일반사항	5
4.59 일반사항	5
4.60 일반사항	5
4.61 일반사항	5
4.62 일반사항	5
4.63 일반사항	5
4.64 일반사항	5
4.65 일반사항	5
4.66 일반사항	5
4.67 일반사항	5
4.68 일반사항	5
4.69 일반사항	5
4.70 일반사항	5
4.71 일반사항	5
4.72 일반사항	5
4.73 일반사항	5
4.74 일반사항	5
4.75 일반사항	5
4.76 일반사항	5
4.77 일반사항	5
4.78 일반사항	5
4.79 일반사항	5
4.80 일반사항	5
4.81 일반사항	5
4.82 일반사항	5
4.83 일반사항	5
4.84 일반사항	5
4.85 일반사항	5
4.86 일반사항	5
4.87 일반사항	5
4.88 일반사항	5
4.89 일반사항	5
4.90 일반사항	5
4.91 일반사항	5
4.92 일반사항	5
4.93 일반사항	5
4.94 일반사항	5
4.95 일반사항	5
4.96 일반사항	5
4.97 일반사항	5
4.98 일반사항	5
4.99 일반사항	5
4.100 일반사항	5

○ 5차년도

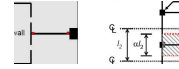
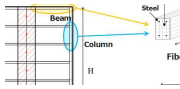
연구수행내용:

- 성능기반 내진설계 및 평가 통합지침 개발
 - 중약진지역 성능기반 내진설계 지침 및 평가 통합지침 검증
 - 성능기반 내진설계 모델 건물과 평가에 대한 건물의 성능 비교/평가 → 보고서 작성

성과:

[질적성과] 전문가 3인 이상 설문조사를 통한 연구 결과 보고서 평가 결과 5점 만점 3.5점 이상 달성

[양적성과] 저서: 1건, 학술발표: 1건



섬유-스프링 요소를 사용한 전단벽의 모델링

인방보의 비선형 모델링

등가 슬래브-보 개념도

슬래브-벽체 유효보폭

<중약진지역 성능기반설계지침 및 평가법 예제 개발>

[1-3세부 아주대]

○ 1차년도

연구수행내용:

- 이상기후에 의한 국내 공작물 피해 현황 실태 조사 및 공작물 구조안전 기준 (규칙안) 작성
 - 이상기후에 의한 국내 공작물 피해 현황 실태 조사
 - 유리보호용 지지장치 및 이를 구비하는 지지기구 개발(창호보호장치 개발)
 - 건축법 시행령 제118조제4항 제정
(공작물에 대한 구조 안전 확인의 내용 및 방법 등은 국토교통부령으로 정하여 구조안전 설계를 하도록 함)
 - 장식탑 등의 공작물 구조안전기준(규칙안)작성(축조허가/신고대상 구분 및 정기적인 아넷-점검 및 체크리스트 등 제공)

성과:

[질적성과] 전문가 3인 이상 설문조사를 통한 연구 결과 보고서 평가 결과 5점 만점 3.5점 이상 달성

[양적성과] 보고서: 1건, 특허 출원: 1건, 국내논문: 1건, 학술발표: 1건, 법제적 성과: 2건



<공작물 피해현황 실태 조사 보고서>

○ 2차년도

연구수행내용:

- 이상기후(강풍)에 의한 국내 공작물의 구조안전을 위한 제도 마련
 - 기후변화를 고려한 기존 KBC 하중 적합성 평가 보고서
 - 공작물 구조안전 점검 가이드(안)
 - 창호보호장치 시제품 제작 및 구조성능 평가
 - 건축법 시행규칙 제41조의1항 제2호, 제3호 제정
(본 연구에서 제안한 ‘공작물 구조안전 점검표’ 및 ‘공작물의 유지·관리 점검표’에 따른 공작물 안전성을 확보할 수 있게 됨)

성과:

[질적성과] 전문가 3인 이상 설문조사를 통한 연구 결과 보고서 평가 결과 5점 만점 3.5점 이상 달성

[양적성과] 보고서: 1건, 매뉴얼: 1건, 학술발표: 2건, 법제적 성과: 2건

[별지 제89호의2서식]

공작물의 구조 안전 점검표

항 목	내 용	확 인
1) 일반사항	공작물의 종류: 공작물의 구조: 공작물의 높이: ()m, 길이()m	
2. 건축법 제48조에 해당여부 (높이 13m 이상인 경우 해당)		
1) 구조계산 및 구조 안전확인서 제출 여부	건축법 제48조에 따라 공작물의 구조안전성을 위하여 적절하게 구조계산을 실시하고, 건축물의 구조기준 등에 관한 규칙 제68조의 구조안전 및 내진설계 확인서를 제출하였는지?	적합(), 부적합()
3. 공작물의 전반적인 구조 안전 확인		
1) 적합한 자재의 사용 여부	구조도와 동일한 구조부재 및 앵커볼트 등을 사용하였는지?	적합(), 부적합()
2) 공작물 흔들림	앵커볼트 및 지지부의 흔들림을 포함해 공작물 전체의 흔들림이 없이 견고하게 고정되었는지?	적합(), 부적합()
3) 취원시설을 주위 설치 여부	주위에 취원시설물 등이 없는 인접에 적합한 위치인지? (전선 등 전기시설, 가스시설, 통신망 등)	적합(), 부적합()
4) 공작물 기울어짐	공작물의 기울어짐이 1/1600 이하이거나 육안으로 기울어짐이 인지되지 않는지?	적합(), 부적합()
5) 안전점검 용이성	정기적인 공작물의 안전점검이 가능하도록 장치가 용이하고 점검구 등을 확보하였는지?	적합(), 부적합()
4. 지지구조물 확인		
1) 지지구조물의 배수 용이성	공작물의 지지구조물에 물이 고이지 않도록 배수처리가 용이하게 시공되었는지?	적합(), 부적합()
2) 지지구조물의 상태 평가	콘크리트 등 지지구조물이 균열이 없고, 공작물을 안정적으로 지지하고 있는가?	적합(), 부적합()
3) 앵커볼트 설치상태	앵커볼트의 개수와 크기 등이 구조도에 표시된 것과 동일하게 시공되었는지?	적합(), 부적합()
5. 공작물의 주요 구조부재 확인		
1) 부식방지처리	부식이 발생하는 재료인 경우 아연도금 등의 도료 또는 방청 도장이 적절하게 처리되었는지?	적합(), 부적합()
2) 볼트장합부 확인 (현장시 확인)	구조부재간 볼트장합부가 구조대로 시공되었는지?	적합(), 부적합()
3) 용접장합부 확인 (현장시 확인)	구조부재간 용접장합부가 구조대로 시공되었는지?	적합(), 부적합()
4) 판재 및 미닫재 확인	구조부재에 접합된 판재 및 미닫재가 견고하게 고정되었는지?	적합(), 부적합()
건축법 시행규칙 제41조의2제2호에 따라 공작물 구조안전 점검표를 제출합니다.		
년 월 일		
점검자 소속: (서명 또는 인)	건축주: (서명 또는 인)	

<공작물 구조 안전 점검표>

공작물의 유지·관리 점검표

구 분	현 상	항목점수	점수
일반사항	공작물 점검을 위해 확인이 불가능하다. (점검이 불가능하거나 관 부재로 둘러싸여 있다)	3점	
	최근 10년간 안전점검을 받지 않았다.	2점	
	높이가 13m 이상이다.	2점	
바닥 및 지지부	관 균열(균열폭이 2밀리미터 내외)이 있다.	2점	
	콘크리트(시멘트)가 떨어져 나갔다.	2점	
	앵커볼트가 흔들리거나 빠진다	3점	
부재간 결합 부위	공작물 바닥에 배수처리가 되어있지 않아 물이 고인다.	1점	
	특이사항:	-	
	볼트(나사)가 느슨하거나 빠졌다.	개당 1점	
선 부재	볼트(나사) 연결부에 부식이 발생하여 페인트가 떨어져 정도	1점	
	녹이 슬었다.	1점	
	용접부에 균열이 발생했거나 탈락되었다.	1점	
판 부재 (존재하는 경우만 해당)	특이사항:	-	
	페인트가 떨어져 정도	1점	
	판 부재에 변형이 발생했다.	개당 1점	
합 계	합 계	-	

「건축법」 제83조제2항 및 같은 법 시행규칙 제41조제3항에 따라 공작물의 유지·관리점검표를 제출합니다.

년 월 일

소유자·관리자

특별자치시장·특별자치도지사 또는 시장·군수·구청장 귀하

※ 비고

- 합계점수 9점 이하: 비교적 안전하나 지속적 관리가 필요함
- 합계점수 10~15점: 주의 필요
- 합계점수 20점 이상: 불안전함이 있어 위험함
- 합계점수 20점 이상인 경우 중립구조안전단을 찾고 즉시 보수 또는 철거 필요

<공작물의 유지·관리 점검표>

○ 3차년도

연구수행내용:

- 기후변화 대응 공작물 및 비구조재의 안전 확보를 위한 매뉴얼 개발
 - 공작물 지침서 보완 및 저작물 등록
 - 아파트 발코니창 피해저감을 위한 창호보호장치 활용방안 개발 및 저작물 등록
 - 국내 실정에 맞는 비구조재 설계·시공가이드 개발 및 저작물 등록
 - 내진성능을 향상시킨 액세스플로어 신형상 개발

성과:

[질적성과] 전문가 3인 이상 설문조사를 통한 연구 결과 보고서 평가 결과 5점 만점 3.5점 이상 달성

[양적성과] 저작: 3건, 특허 출원: 2건, SCI(E)논문: 1건, 학술발표: 1건, 성과홍보: 1건



<공작물, 아파트창호, 비구조재 가이드 저작물>



<공작물 관련 연구 홍보 영상>

○ 4차년도

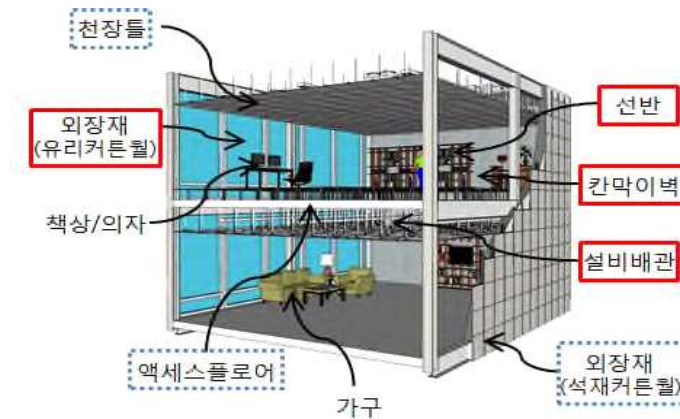
연구수행내용:

- 지진안전을 위한 설비배관, 칸막이벽, 선반 등 비구조재 요소에 대한 설계·시공가이드 작성
 - 3차년도 연구성과물인 비구조재 지진안전을 위한 설계·시공가이드 I 에 이어 비구조재 지진안전을 위한 설계·시공가이드 II 개발(ISBN : 978-89-5899-059-8 93530)
 - 국내 지진피해 사례 조사 (2016.9.12 경주지진 중심)
 - 국내외 비구조재 기준 조사 및 분석
 - 기존 건물에서 시공되거나 사용하고 있는 비구조재의 평가를 위한 체크리스트 개발
 - 설비배관, 칸막이벽, 선반, 유리커튼월 에 대한 피해사례 및 지진피해 저감방안 개발

성과:

[질적성과] 전문가 3인 이상 설문조사를 통한 연구 결과 보고서 평가 결과 5점 만점 3.5점 이상 달성

[양적성과] 저작: 1건, 국내논문: 1건, 학술발표: 2건

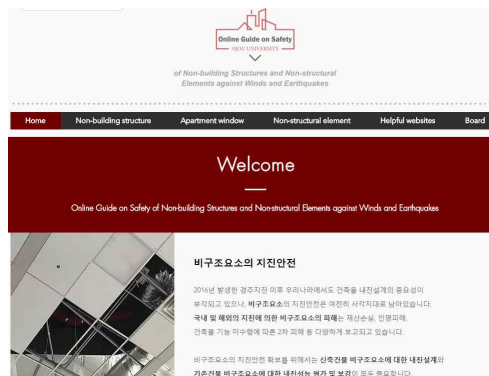


<3차년도 및 4차년도에 다룬 비구조요소>

○ 5차년도

연구수행내용:

- 온라인을 통한 비구조재 및 공작물 안전확보 시스템 구축
 - 온라인을 통한 비구조재 및 공작물 안전확보 시스템 구축 및 기 개발 가이드 배포
 - 전문가 및 실무자의 Feedback을 통한 보완



<공작물 및 비구조재의 온라인 가이드>

성과:

[질적성과] 전문가 3인 이상 설문조사를 통한 연구 결과 보고서 평가 결과 5점 만점 3.5점 이상 달성

[양적성과] 보고서: 1건 (4월 예정)

[1-4세부 서울시립대]

○ 2차년도

연구수행내용:

- 구조안전성 확보 관련 내진설계기준 및 지침 개발을 위한 Action Plan 초안 작성 및 구체화
 - 구조안전성 확보를 위한 6가지 요구 Product와 현행 내진설계기준 발전모델을 기반으로 Action Plan 초안의 주요 Task 3가지를 설정함.
 - Action Plan 초안의 주요 Task에 관하여 경력 15년 이상의 전문가(산업계:10명, 학계:10명, 연구기관:2명)을 대상으로 설문조사를 실시하여, Action Plan 초안을 작성함.

성과:

[질적성과] 전문가 3인 이상 설문조사를 통한 연구 결과 보고서 평가 결과 5점 만점 3.5점 이상 달성

[양적성과] 보고서: 1건, 국내논문: 1건, 학술발표: 6건



<구조안전성 확보를 위한 Action Plan>

○ 3차년도

연구수행내용:

- 기존건축물 내진보강 및 지진보험 관련 정책·제도 실행을 위한 Action Plan(안) 수립
 - 현행 내진보강 관련 정책·제도와 선진국(미국, 일본)의 사례를 조사하여 공공건축물 내진을 향상 방안 및 세금감면을 통한 내진보강 계획 수립
 - 내진등급제 개선, 지진보험 개선 및 캣본드 도입 등을 위한 시행계획 수립

성과:

[질적성과] 전문가 3인 이상 설문조사를 통한 연구 결과 보고서 평가 결과 5점 만점 3.5점 이상 달성

[양적성과] 저작: 1건, 국내논문: 3건, SCI(E)논문: 1건

항 목	년 도											비 고
	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026		
공공건축물 내진율 향상 방안	평균 1.4%/year 내진율 향상 45% 달성 평균 2.0%/year 내진율 향상 55% 달성											국가주도 강제적 내진보강 실시 (내진보강 기본계획)
세금감면을 통한 내진보강 계획	제도 수립 및 보완			시행 적용 및 개선				단계별 제도 추진				자발적 구조물 안전성 확보 유도
내진등급제	제도 수립 및 보완			시행 적용 및 개선							시행	내진등급체계 정립 및 민간지원 정책·제도 적용
풍수해보험	지진보험 특약 포함 개선안 도입			보험 요율 개발		재산정		시행 적용			시행	
정량적 지진피해 추정	사전조사 및 방범론 개발				Database 구축		방범/적용		추정 프로그램 개발, 검토		반영/적용	자발적 구조물 안전성 확보 유도
CAT BOND	규제제약 및 타당성 조사					규제완화 방안 개발			시행 적용		시행	

<기존건축물 구조안전성 확보 관련 정책·제도 실행을 위한 Action Plan(안)>

[2세부과제]

[2-1세부 서울대]

○ 1차년도

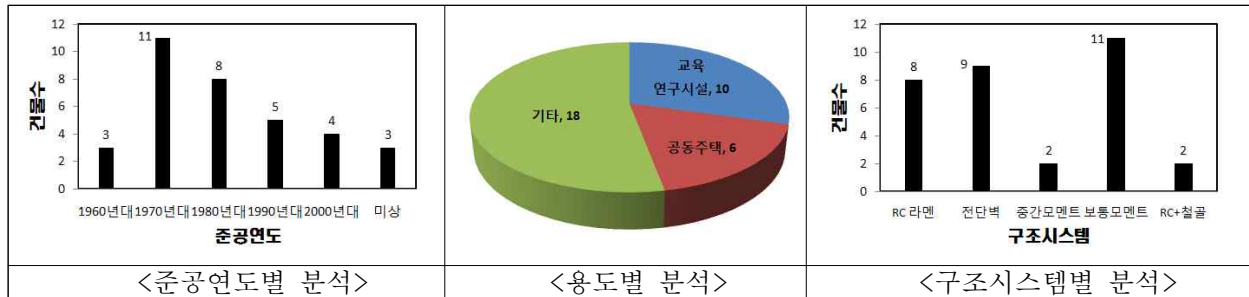
연구수행내용:

- 기존 건축물 내진보강 및 내진평가 사례 조사
 - 내진 보강 건축물의 연도별/용도별/구조시스템별 통계 분석
 - 보강 전후 재료 강도 조사
 - 부재별(기둥/벽/보 등) 내진 보강 상세 조사

성과:

[질적성과] 사례 조사를 통한 국내 내진보강 현황 파악 / 연구방향 설정

[양적성과] 보고서 1건



○ 2차년도

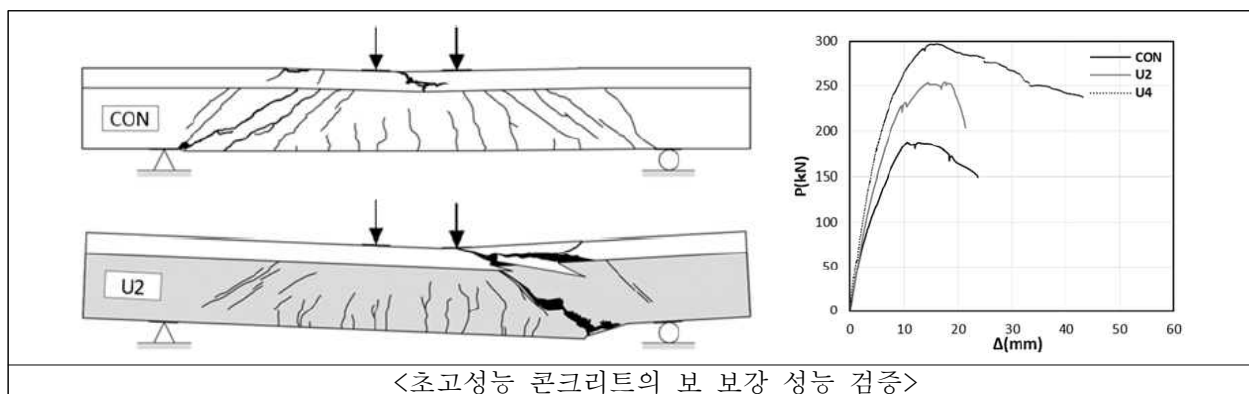
연구수행내용:

- 신재료를 이용한 건물 보강 기법 개발
 - 초고성능 콘크리트(UHPC)를 활용한 보 보강 기술 개발
 - 구조 실험을 통한 보강 기법의 성능 검증
 - 기존 보강법(FRP섬유 보강)과의 성능 비교성

성과:

[질적성과] UHPC의 보 보강 성능 검증 () 증가

[양적성과] 실험 보고서 1건



○ 3차년도

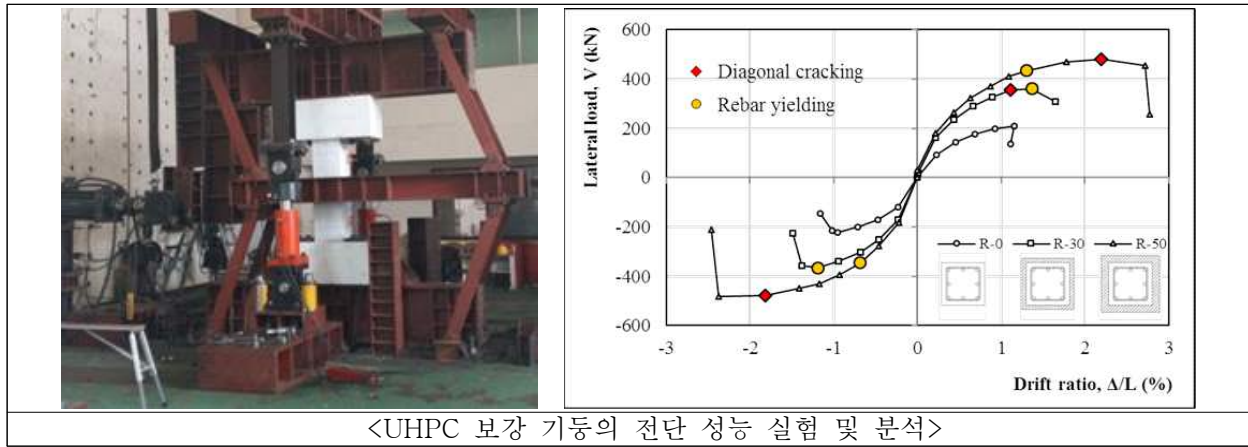
연구수행내용:

- 초고성능 콘크리트(UHPC)를 이용한 건물 보강 기법 개발
 - UHPC를 활용한 RC기둥의 전단 보강 기술 개발
 - 구조 실험을 통한 보강 기법의 성능 검증

성과:

[질적성과] UHPC의 기둥 보강 성능 (전단강도 200~250% 증가) 확인

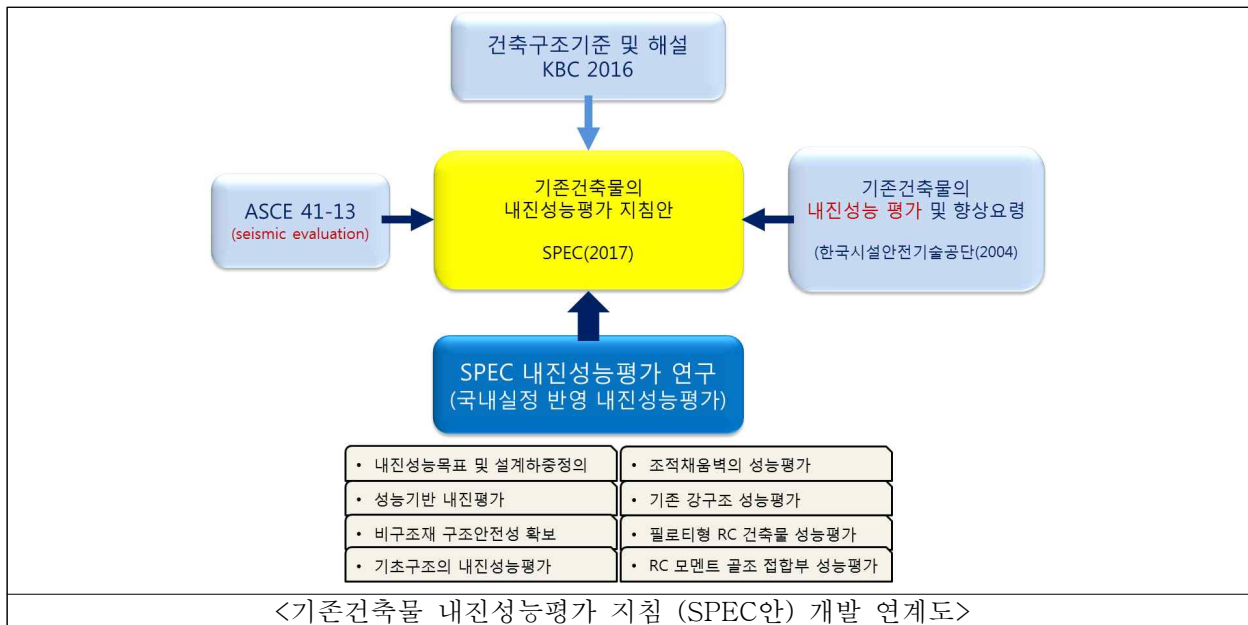
[양적성과] 실험 보고서 1건, 학술발표 3건, 인력양성 2건



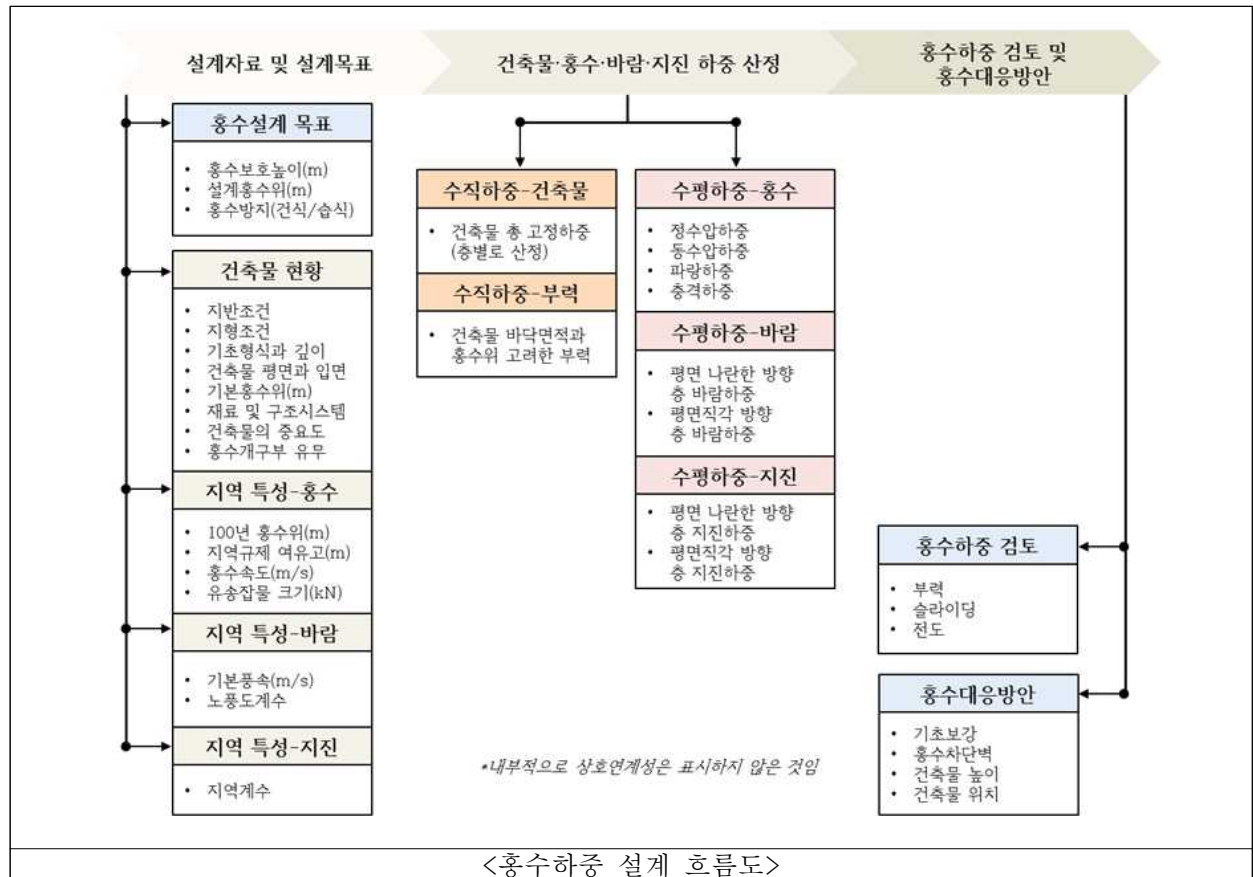
○ 4차년도

연구수행내용:

- 기존 국내 건축물 내진성능평가 및 보강지침 작성
 - 국내외 내진성능평가 기준 및 연구결과를 바탕으로 내진성능평가 지침 개발
 - 1~3차년도 연구결과를 반영한 보강지침안 작성
 - 내진평가지침안의 공청회 및 법제화 추진



- 홍수 재해 대비 건축물 구조설계 흐름도 개발
 - 홍수 하중 관련 국외 기준 조사
 - 홍수 하중 관련 KBC2016 기준 보완 사항 제시



- 기존 국내 건축물 내진성능평가 및 보강지침 작성
 - Textile reinforced UHPC를 활용한 RC기둥 보강 기법 개발
 - 구조 실험을 통한 보강 기법의 성능 검증

성과:

[질적성과] 기존 건축물 내진성능 향상지침 개발

홍수하중 대비 설계 흐름도 제안

Textile Reinforced UHPC를 이용한 기둥 보강법 개발

[양적성과] 국내논문 1건, 보고서 4건, 학술발표 3건, 인력양성 1건

○ 5차년도

연구수행내용:

- 기존 국내 건축물 내진성능평가 및 보강지침 작성
 - 국내외 내진성능평가 기준 및 연구결과를 바탕으로 내진성능평가 지침 개발
 - 1~3차년도 연구결과를 반영한 보강지침안 작성
 - 내진평가지침안의 공청회 및 법제화 추진

기존건축물 내진성능평가지침 (공청회) 2017.10 구조안전성향상기술연구단 SPEC	기존건축물 내진성능향상지침(안) 지침서작성위원회 2017. 12. 22 SPEC
< 기존건축물 내진성능평가 및 향상 지침 >	

성과:

[질적성과] 기존건축물 내진성능평가 및 향상 지침 개발 및 실용화 추진

[양적성과] 국내논문 1건, 보고서 4건, 학술발표 3건, 인력양성 1건

[2-1세부 두산건설]

○ 1차년도

연구수행내용:

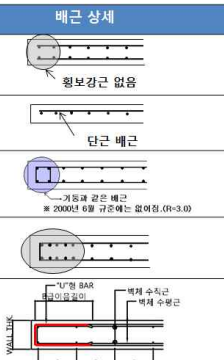
- 국내 비내진 기존 RC 벽식구조의 실태조사
 - 기존 RC벽식 건축물의 내진/비내진 상세 조사
 - 비내진 RC벽식구조의 내진성능평가

성과:

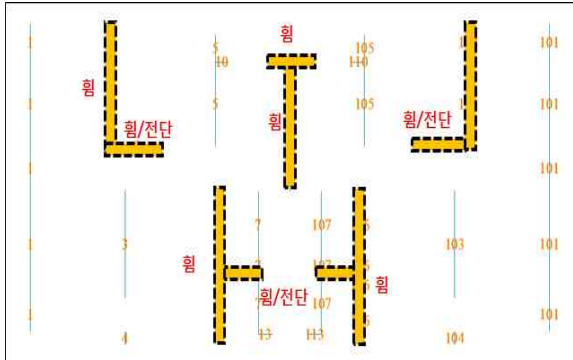
[질적성과] 국내 RC벽식구조의 비내진 상세 DB화

[양적성과] 연구보고서 1건

년도	특징	배근 상세
1980년대	원보강근 미사용	원보강근 없음
	단배근/복배근 혼용	단배근
1995년 ~2000년	단부 띠기둥식 배근 (1995년 R=3.5인 내진설계 벽체)	가동과 같은 배근 ※ 2000년 6월 기준에는 없었음 (R=3.0)
	면내 휨에 대한 단부집중 배근	
1990년 중반 이후	U자형 원보강근 일반상세 적용	U자형 원보강 벽체 주철근 벽체 수평근



<국내 비내진 RC벽식구조 상세>



<비내진 RC벽식구조의 내진성능평가>

○ 2차년도

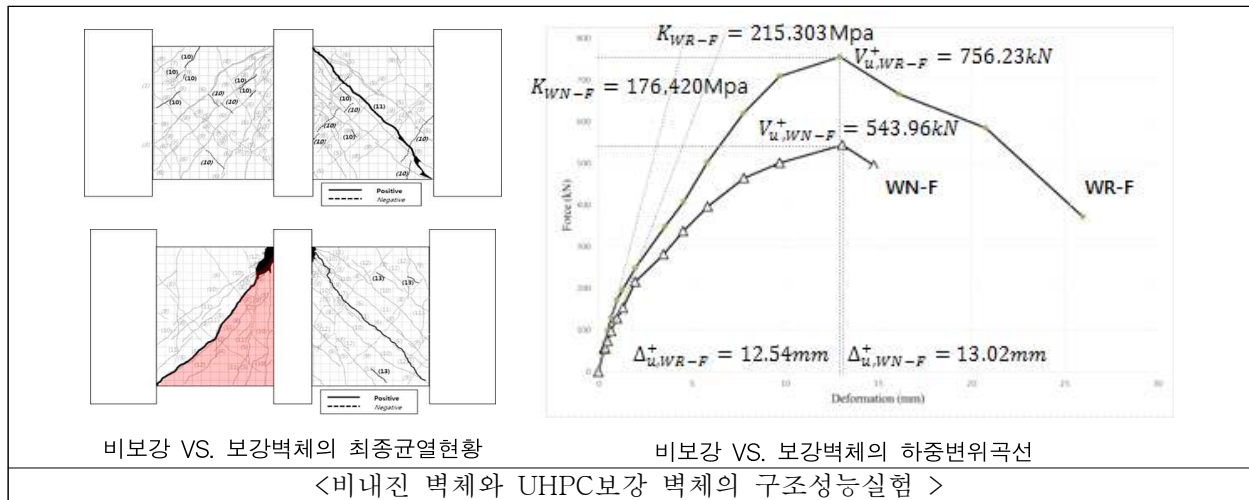
연구수행내용:

- 기존 비내진 상세를 갖는 RC벽식구조의 구조성능평가
 - 비내진 RC벽체와 보강된 RC벽체의 구조성능평가
 - 보강된 RC벽체의 성능평가모델 개발

성과:

[질적성과] UHPC보강벽체는 초기강성 25%, 강도 40% 향상

[양적성과] 연구보고서 2건, 국내학술발표 2건, 국제학술발표 1건



○ 3차년도

연구수행내용:

- 비내진 상세를 갖는 RC벽체의 표준상세개발
 - 표준보강상세로 보강된 RC벽체의 구조성능평가
 - 기존 보강기법의 보강성능 및 비용분석

성과:

[질적성과] 표준보강상세 적용 시 휨내력 30% 향상

[양적성과] 연구보고서 2건, 국내 학술발표 1건, 국내게재논문 1건

구분	보강상세	설계(안)	보강성능	가격 (원)	가격/성능	비고
단면중타보강	2-D22 3-D22	중타 두께 : 80mm 외부근 3-D22 스타립 2-D10@150	OMn=369kN.m OVn=200kN (외부 스타립이 좌함)	2,861,250	2.28	IS 15988 : 2013 (천 스펀 보강)
	3-D22 3-D22	중타 두께 : 80mm 외부근 3-D22 스타립 2-D10@250	OMn=369kN.m OVn=251kN (외부 스타립이 좌함)	3,402,000	2.71	IS 15988 : 2013 (천 스펀 보강)
강판보강		보강 두께 : 3mm, 전단·2면·3mm 고정용 : M12 set anchor @400	OMn=222.4kN.m OVn=274kN	920,400	2.45	철판폭/두께비 : 40이상, 12mm 이하 보강내력 30% 이하
FRP 보강		NR73 웹2장, 전단1장	OMn=200kN.m OVn=227kN	358,800	1.47	보강내력 30% 이하
		5K-N200 웹2장, 전단1장	OMn=208kN.m OVn=205.9kN	292,500	1.0	
		5K-A280 웹2장, 전단1장	OMn=228kN.m OVn=256kN	448,500	1.09	
신재료보강		5K-AP0514 웹1장 (200mm) 5K-N200 전단1장	OMn=225.8kN.m OVn=254kN	538,200	1.35	UHPC 가격 : 150만/㎥
		중타 두께 : 20mm (K-UHPC)	OMn=219.6kN.m OVn=279.7kN	2,399,250	6.63	
		중타 두께 : 40mm (K-UHPC)	OMn=281.5kN.m OVn=409kN	2,577,750	3.93	

<표준보강상세 및 구조보강기법의 경제성 비교>

○ 4차년도

연구수행내용:

- 보강 테스트베드 적용
 - RC벽체의 구조보강 현장적용
 - 경제성 및 시공성 평가

성과:

[질적성과] 표준보강상세를 적용한 현장적용 분석결과 경제성 50% 향상, 공사기간 30% 절감

[양적성과] 연구보고서 1건, 현장적용 1건



○ 5차년도

연구수행내용:

- 보강 테스트베드 적용
 - RC벽체의 구조보강 현장적용
 - UHPC 측압 및 거푸집 설계방법 개발

성과:

[질적성과] UHPC 거푸집 및 거푸집지지대 설계법 개발을 통한 타설 시 안전성 확보

[양적성과] 연구보고서 1건, 현장적용 1건

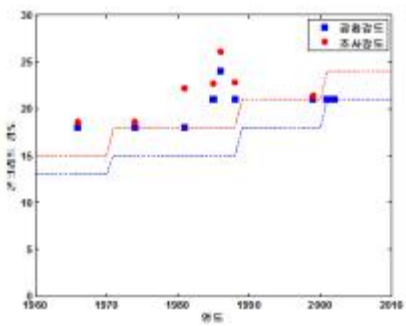
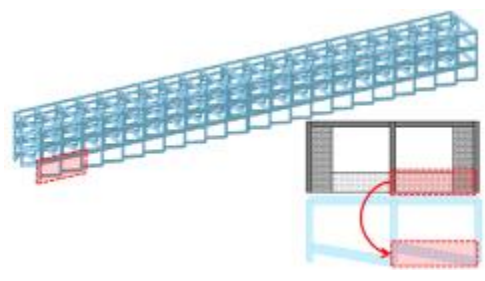


[2-3세부 한양대]

○ 1차년도

연구수행내용:

- 조적채움벽 골조 현황조사 및 내진성능평가
 - 조적채움벽이 사용된 건물의 안전진단보고서 및 내진보강설계도서 조사 (총 28동)
 - 연도별 콘크리트강도 및 보강공법
 - 실건물에서 채취한 조적채움벽의 재료강도 조사
 - 문헌조사를 통한 채움벽의 유효전단강도 조사
 - 현행 시설안전공단의 평가요령에 의한 표준건물의 내진성능 평가

	
<콘크리트강도 조사>	<표준건물의 내진성능평가>

- RC조 기존건축물 성능평가기준 초안작성
 - 각종 내진성능평가 기준 비교 조사 : 시설안전공단평가요령, ASCE 41, EC8-3
 - 층간변위각에 기초한 성능수준 기준 제안
 - 국내 평가규정(시설안전공단평가요령)의 보완

	목 차 <table border="0"> <tr> <td>1장 서론</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>2장 국내외 평가지침의 분석</td> <td>6</td> </tr> <tr> <td> 2.1 개요</td> <td>6</td> </tr> <tr> <td> 2.2 목표성능수준</td> <td>14</td> </tr> <tr> <td> 2.3 재료강도의 평가</td> <td>21</td> </tr> <tr> <td> 2.4 해석법</td> <td>22</td> </tr> <tr> <td>3장 RC조 평가지침 제안사항</td> <td>23</td> </tr> <tr> <td> 3.1 성능수준 평가기준</td> <td>23</td> </tr> <tr> <td> 3.2 구조성형을 통한 보강성 평가에 대한 적용조건 설정</td> <td>36</td> </tr> <tr> <td> 3.3 콘크리트의 강성분할</td> <td>40</td> </tr> <tr> <td> 3.4 RC조 거동유역의 판단에 대한 보강성 평가</td> <td>41</td> </tr> <tr> <td> 3.5 보강성 동적평가</td> <td>48</td> </tr> <tr> <td>4장 결론</td> <td>53</td> </tr> </table>	1장 서론	1	2장 국내외 평가지침의 분석	6	2.1 개요	6	2.2 목표성능수준	14	2.3 재료강도의 평가	21	2.4 해석법	22	3장 RC조 평가지침 제안사항	23	3.1 성능수준 평가기준	23	3.2 구조성형을 통한 보강성 평가에 대한 적용조건 설정	36	3.3 콘크리트의 강성분할	40	3.4 RC조 거동유역의 판단에 대한 보강성 평가	41	3.5 보강성 동적평가	48	4장 결론	53
1장 서론	1																										
2장 국내외 평가지침의 분석	6																										
2.1 개요	6																										
2.2 목표성능수준	14																										
2.3 재료강도의 평가	21																										
2.4 해석법	22																										
3장 RC조 평가지침 제안사항	23																										
3.1 성능수준 평가기준	23																										
3.2 구조성형을 통한 보강성 평가에 대한 적용조건 설정	36																										
3.3 콘크리트의 강성분할	40																										
3.4 RC조 거동유역의 판단에 대한 보강성 평가	41																										
3.5 보강성 동적평가	48																										
4장 결론	53																										
<보고서 표지>	<목차>																										

성과:

[질적성과] 조적채움벽 성능평가의 정확성 80%

[양적성과] 보고서 2건, 국내 학술발표 4건, 국내(비SCI)논문 3건, SCI논문 1건

○ 2차년도

연구수행내용:

- 조적채움벽의 성능평가지침
 - 조적조 재료시험, 조적채움벽 골조 실험 수행
 - 실험결과 분석(공극의 영향, 골조와 채움벽의 강도비, 날개벽의 기여도)

성과:

[질적성과] 조적채움벽 성능평가의 정확성 80%

[양적성과] 보고서 1건, 특허출원 2건, 현장적용 1건, 국내(비SCI)논문 1건



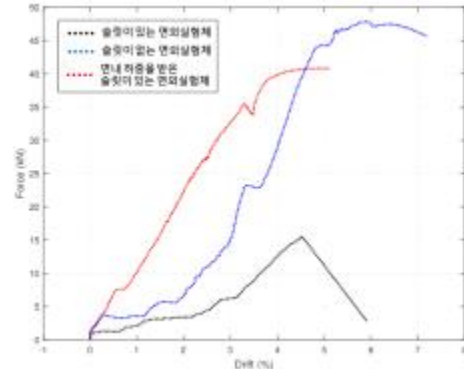
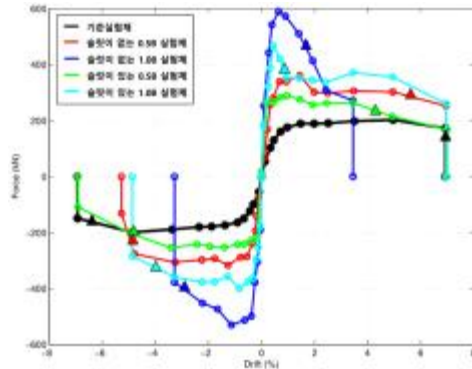
실제 건물에서 관찰된 보와 채움벽 사이 공극



1.0B 공극이 없는 실험체의 파괴



면외 실험체의 채움벽 면외 탈락



<조적채움벽골조 실험>

○ 3차년도

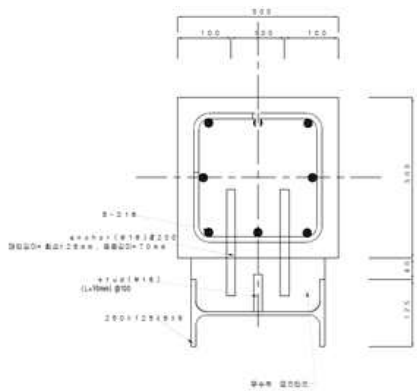
연구수행내용:

- 조적채움벽골조 성능보강지침
 - 조적채움벽골조의 구조보강 방법 조사
 - 조적채움벽골조의 경제적이고 효율적인 구조보강지침 개발

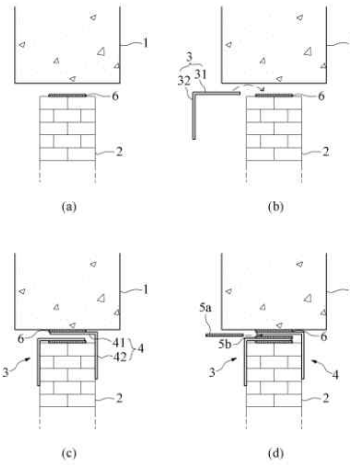
성과:

[질적성과] 조적채움벽골조 보강성능 (강도증가 150%, 변형능력 유지), 구조보강지침 적용성 90%

[양적성과] 보고서 1건, 국내 학술발표 4건, 국내게재논문 2건, 특허출원 1건



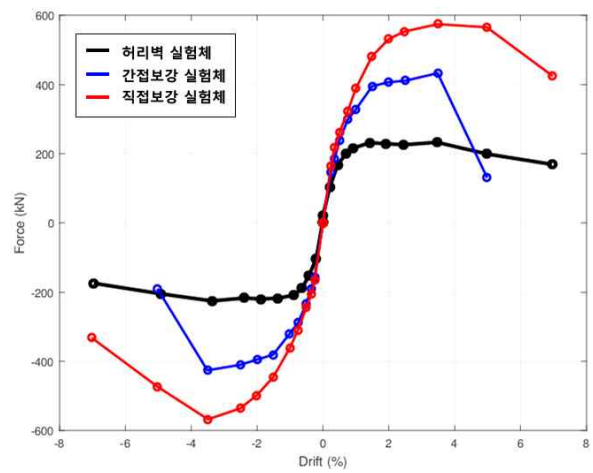
철골 프레임 간접접합 보강 상세



앵글부재를 이용한 공극 보강



직접접합 실험체 형상



실험체별 하중-변위각 이력곡선

<조적채움벽골조 보강지침>

[2-4세부 송실대]

○ 1차년도

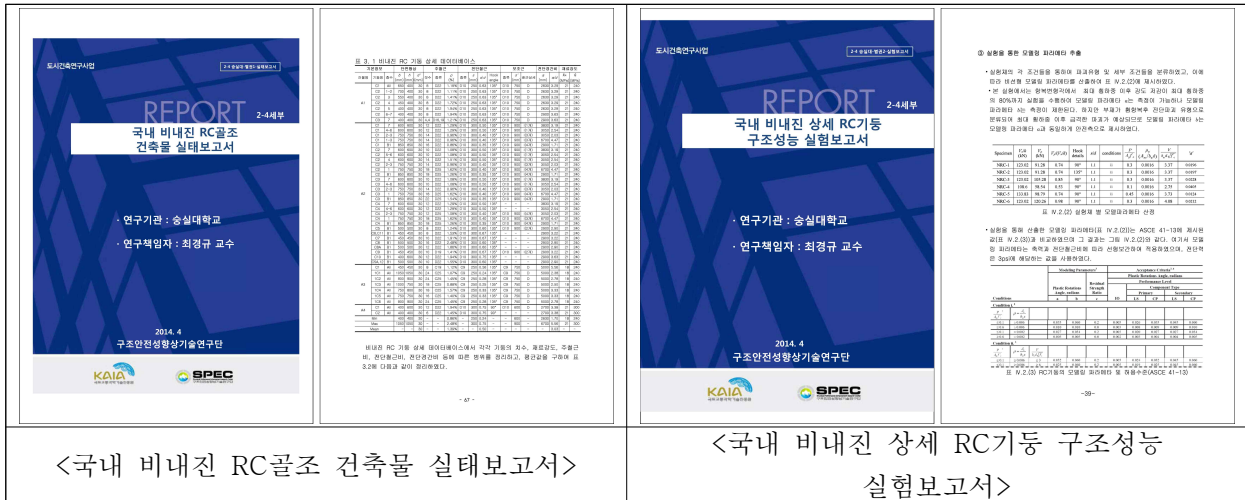
연구수행내용:

- 내진설계기준이 미적용된 기존 RC골조 건축물 현황 조사 및 구조성능 실험
 - 내진설계 미적용 RC건축물 현황조사 및 통계분석
 - 기존 비내진 상세 RC기둥 비선형 성능 실험 및 비선형 구조해석 수행

성과:

[질적성과] 건물 표본 수량 50동 도면 입수 및 상세 분석, 구조성능 평가 및 실증

[양적성과] 논문 2건, 보고서 2건, 학술발표 1건



○ 2차년도

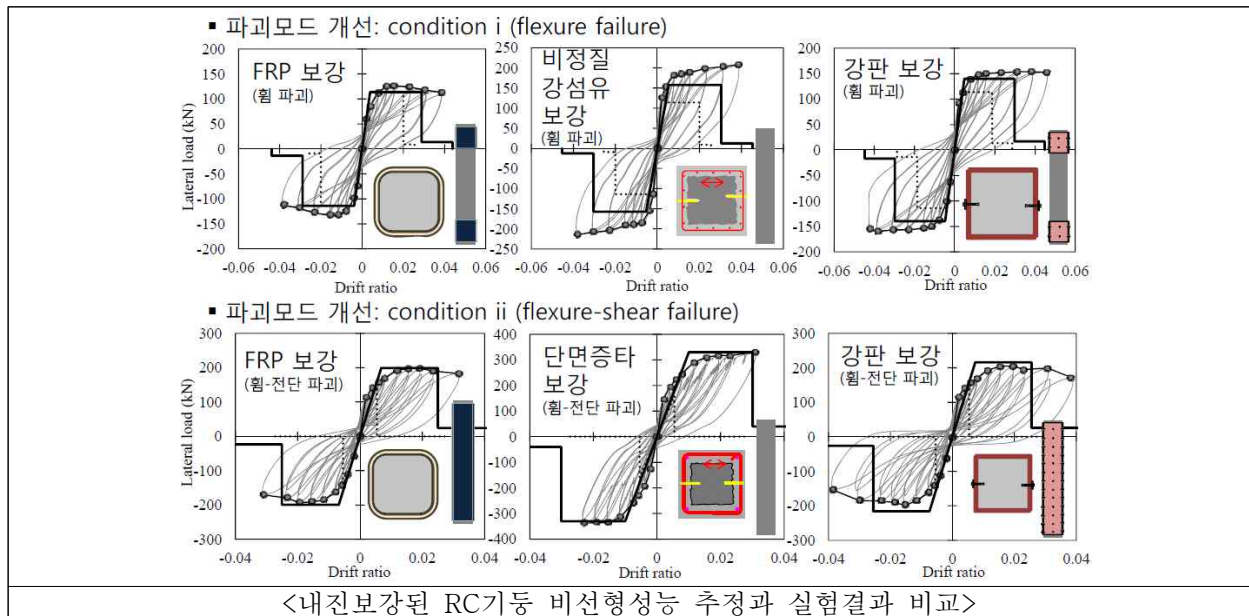
연구수행내용:

- 비내진 상세 및 표준보강 RC골조 부재 구조성능 실험
 - 표준 보강된 RC골조 기둥에 대한 비선형 성능실험 및 비선형 구조해석
 - 기존 비내진 상세 RC골조 기둥에 대한 비선형 성능실험 및 비선형 구조해석

성과:

[질적성과] 구조성능 평가 및 실증, 표준보강상세 적용에 따른 RC골조 비선형 성능 150% 향상, 내진보강 후 비선형성능 추정방법 제안

[양적성과] 논문 2건, 보고서 3건, 학술발표 4건



○ 3차년도

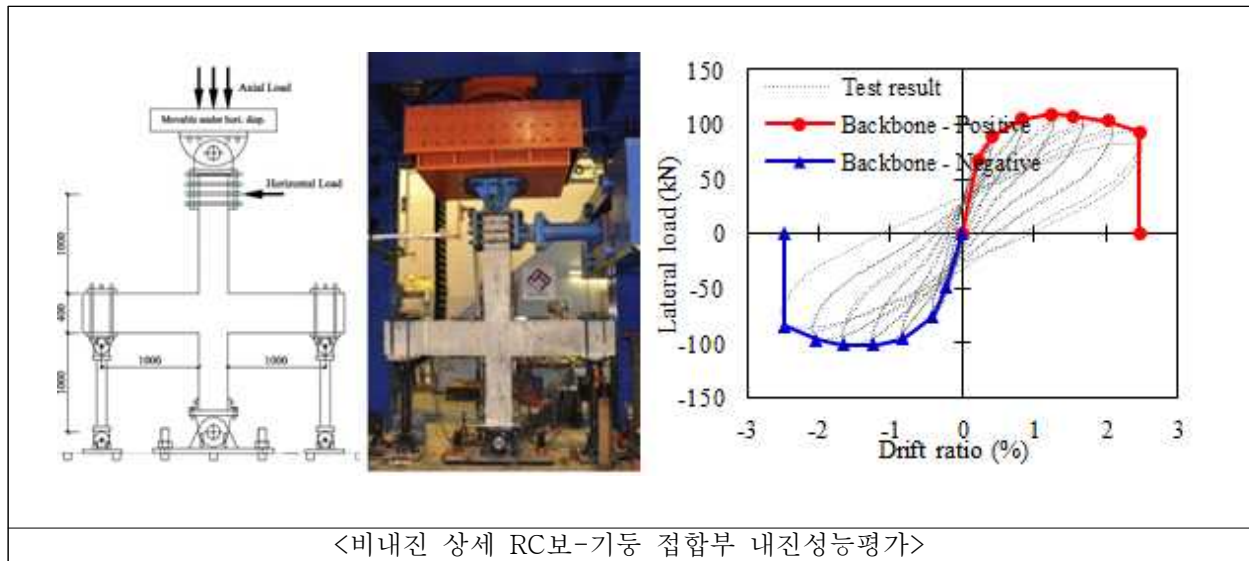
연구수행내용:

- 비내진 상세 및 표준보강 RC골조 부재 구조성능 실험
 - 기존 비내진 상세 및 표준 보강된 RC골조 보-기둥 접합부에 대한 비선형 성능실험 및 비선형 구조해석
 - RC 골조 표준보강상세(안) 개발

성과:

[질적성과] 구조성능 평가 및 실증, 표준보강상세 개발 및 성능보강 기준안 작성

[양적성과] 논문 1건, 보고서 4건, 학술발표 5건, 성과홍보 1건, 기술기고 1건, 특허출원 2건



[2-5세부 인천대]

○ 1차년도

연구수행내용:

- 콘크리트용 앵커의 내진설계 현황조사
- 균열콘크리트 설치 앵커 성능실험
- 현행 기준 설계강도와 비교 및 현행 기준 설계강도에서의 앵커 변위 검토
- 필로티형 건물 구조시스템, 재료강도, 배근상세 특성 조사
- 시설안전공단 내진성능평가 요령에 의거한 필로티형 건물 내진성능 예비평가 수행

성과:

[질적성과]

콘크리트앵커 내진설계 지침: 일방향 가력실험 앵커의 유형- 3종, 앵커강도의 신뢰도- 90%이상
필로티형 철근콘크리트 건축물 성능평가 및 보강 지침:

현황조사 건물 수량- 10동, 내진성능 예비평가 건물 수량- 4동

[양적성과] 연구보고서 2건, 국내게재논문 1건, 국내학술발표 1건

<균열콘크리트 앵커 인장성능실험>	<다가구 건물 3차원 구조해석 모델 및 성능수준 미달 부재>
---	--

○ 2차년도

연구수행내용:

- 콘크리트용 앵커의 인장-전단 동시 작용 성능 실험
- 앵커가 설치되는 영역의 콘크리트 부재 조건 영향 실험
- 비내진 필로티형 건물의 하부구조 성능 실험
- 비내진 필로티형 건물의 성능평가 모델 개발 및 성능평가 지침 제시
- 다세대 주택 비선형 구조해석 및 성능평가

성과:

[질적성과]

콘크리트 앵커 내진설계 지침: 반복 가력실험 앵커의 유형- 3종

콘크리트 시험체 균열 증감폭- 0.5mm, 앵커 강도의 신뢰도- 90%이상

필로티형 철근콘크리트 건축물 성능평가 및 보강 지침: 부재 성능평가모델의 오차- 10%이하
구조시스템 성능평가 오차- 10%이하

[양적성과]

연구보고서 2건, 국내게재논문 2건, 국외게재논문 1건, 특허 출원 1건, 국내학술발표 3건

	
<45° 인장-전단 동시 가력 실험>	<필로티형 철근콘크리트 건축물 하부구조 성능실험>

○ 3차년도

연구수행내용:

- 설계지침 검증을 위한 앵커접합부 성능실험
- 앵커 전단성능강화 공법의 접합부 적용 실험
- 내진보강용 후설치 앵커의 설계지침 개발
- 필로티형 건물 기존 보강기법 적용 성능 및 비용 분석
- 기존 보강기법대비 경제적이고 시공 용이한 필로티형 철근콘크리트 건물 내진보강상세 개발
- 필로티형 건물 보강상세 축소모형 성능실험 및 특허출원

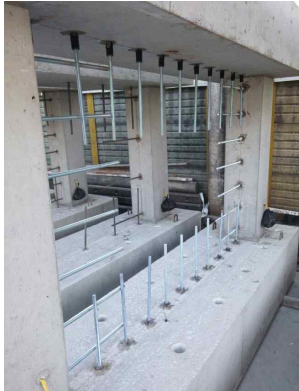
성과:

[질적성과]

콘크리트 앵커 내진설계 지침: 앵커 접합부 강도의 신뢰도 - 90%

필로티형 철근콘크리트 건축물 성능평가 및 보강 지침: 표준보강상세의 성능오차 - 10%이하
재건축 대비 보강비용 비율 - 20%이하

[양적성과] 연구보고서 2건, 국내게재논문 2건, 특허출원 2건, 국내 학술발표 1건

		
<철근콘크리트 채움벽 보강 실험>	<채움벽 앵커 설치 모습>	<앵커 전단성능 향상공법 시제품>

[2-2세부 서울대-강구조]

○ 1차년도

연구수행내용:

- 기존 비내진 강/합성구조 현황 및 보강기술 조사
 - 기존 비내진 강/합성구조 현황조사 분석
 - 국내외 강/합성구조 내진성능평가 및 보강절차 분석
 - 기존 강재이용 보강기술/관련기술 조사

성과:

[질적성과] 취약 건축물 피해사례조사 및 기존 강재 이용 구조물 성능평가 신뢰도 80%

[양적성과] 연구보고서 2건, 학술발표 2건

건물명칭	A 빌딩	B 빌딩	C 빌딩	D 빌딩
구조형식	철골조 철골철근콘크리트구조(SRC구조)	철골철근콘크리트구조 철골조 철근콘크리트조	철골조 철골철근콘크리트구조(SRC구조)	철골조 철골철근콘크리트구조 철근콘크리트구조
보	합성보시스템	TSC 보 / STEEL 보	TSC 보 / STEEL 보	TSC 보 / STEEL 보
기둥	SRC기둥	PSRC 기둥 / STEEL 기둥	PSRC 기둥 / STEEL 기둥	철근콘크리트 기둥 / 철골철근콘크리트 기둥
슬래브	데크슬래브		철근일체형 데크슬래브 철근콘크리트 슬래브	데크슬래브 철근콘크리트 슬래브
횡력저항시스템	건물골조 시스템 (철근콘크리트 보통전단벽)	합성 중간모멘트골조 (모멘트-저항골조 시스템)		건물골조 시스템 (철근콘크리트 보통전단벽)
기초형식	지내력기초	파일기초	파일기초	지내력기초
적용기준	건축구조설계기준 (KBC2009)	건축구조설계기준 (KBC2009)	건축구조설계기준 (KBC2009)	건축구조설계기준 (KBC2009)

<강/합성구조 건축물 데이터베이스 일례>

○ 2차년도

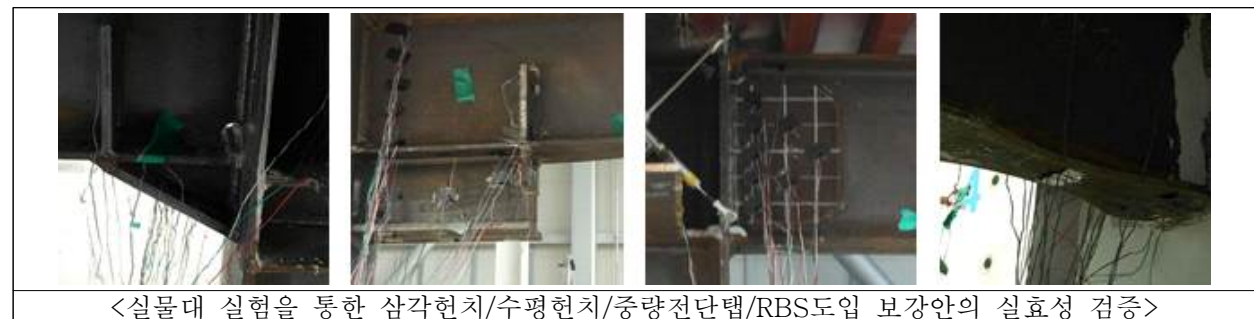
연구수행내용:

- 강/합성구조 건축물 구조보강기술 개발
 - 강/합성구조 건축물 구조성능평가 및 구조보강기술 개발
 - 기존 강구조 구조요소의 지진 및 이상기후 대비를 위한 성능평가모델 개발
 - 강재이용 기존 건축물 지진 및 이상기후 대비 경제적 보강기술 개발

성과:

[질적성과] 보강을 통해 순철골조대비 50%수준의 소성변형능력을 순철골조수준으로 향상

[양적성과] 논문 1건, 학술발표 1건



<실험대 실험을 통한 삼각현치/수평현치/중량전단탭/RBS도입 보강안의 실효성 검증>

○ 3차년도

연구수행내용:

- 기존 강/합성구조 건축물의 구조보강지침 개발
 - 기존 강/합성 건축물의 구조보강지침(안) 개발

- 지진 및 이상기후 대비 강재이용 보강설계지침서 개발

성과:

[질적성과] 기존 강구조 내진보강 지침(안)의 신뢰도 및 적용성 80% 이상 확보

[양적성과] 지침 1건, 논문 2건



○ 4차년도

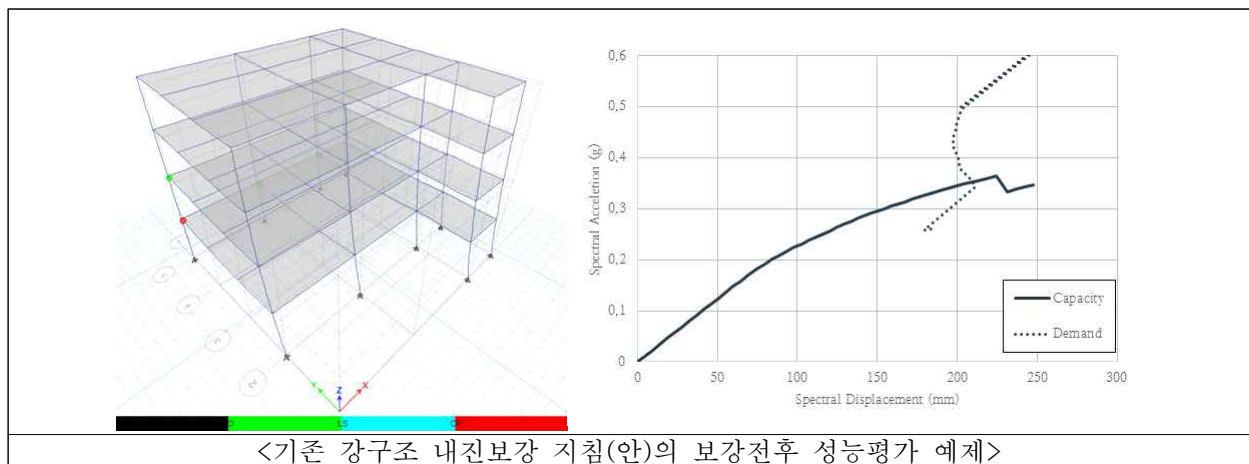
연구수행내용:

- 강/합성구조 보강지침(안) 예제작성 및 기존 학교건축물 내진보강 가이드라인 개발
 - 합성슬래브 존재에 따른 비대칭 이력거동특성을 반영할 수 있는 접합부 이력모델 개발
 - 보강전후 성능평가를 위해 필요한 성능수준 및 소성한지모델 수립
 - 프로토타입 건물을 대상으로 보강전후 내진성능평가절차 및 관련예제 수록
 - 강도/강성증대에 기반한 가새보강과 내부철골조보강 설계법 및 보강공법 정리

성과:

[질적성과] 예제 추가를 통한 기존 강구조 내진보강 지침(안) 신뢰도 제고 및 기존 학교건축물 내진보강지침 개발

[양적성과] 지침 1건, 논문 1건, 학술발표 1건



○ 5차년도

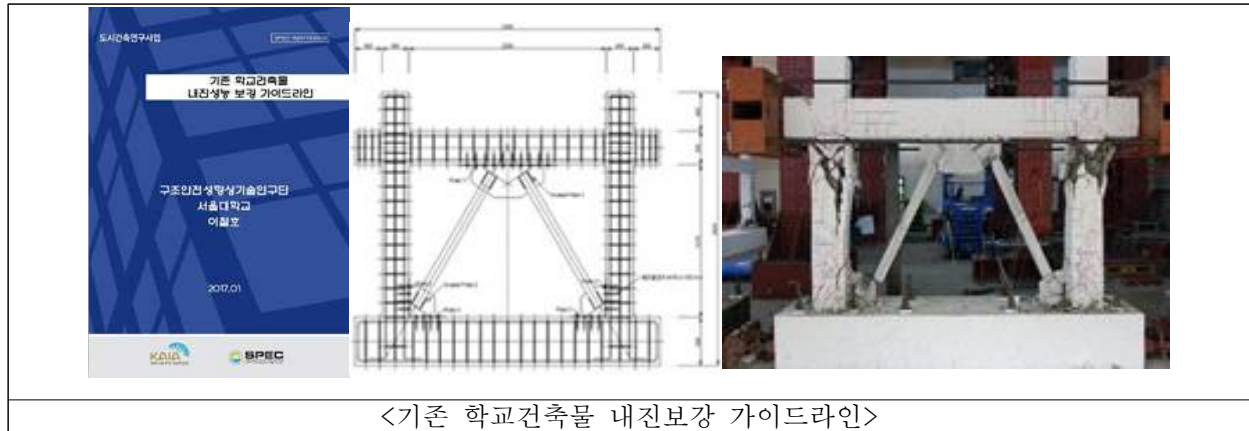
연구수행내용:

- 기존 강구조 보강지침과 학교건축물 내진성능 보강 가이드라인 완성도 제고 및 현장적용
 - 「기존 강구조 보강지침(안)」과 「기존 학교건축물 내진성능 보강 가이드라인」의 실용성, 현장적용성 및 경제성 등을 다각적으로 검토
 - 전문가 간 교차검증을 통해 작성된 설계법 및 보강전후 예제의 적정성 및 신뢰성 제고

성과:

[질적성과] 전문가 간 교차검증을 통해 작성된 지침안 신뢰도 및 적용성 제고

[양적성과] 논문 1건, 현장적용 1건



[2-6세부 단국대]

○ 1차년도

연구수행내용:

- 기존 강구조 건물의 구조요소 성능 분석
 - 비내진설계 강/합성구조 건물축의 구조실태 및 성능자료 조사
 - 비내진설계 강/합성구조 건축물의 취약요소 분석 및 파악
 - 구조성능평가를 위한 프로토타입 선정

성과:

[질적성과] 구조요소 성능분석 신뢰도 80% 확보

[양적성과] 연구보고서 2건, 기술강습회 기술강좌 1건, 국내학술발표 1건

[2-7] 『내진성능 및 이상기후취약 프로토타입 선정』 ▪ 연구기관 : 단국대학교 ▪ 연구책임자 : 이경구 - 1 -	[2-7] 『비내진설계 강구조 구조실태 자료조사 및 구조성능 분석 보고서』 ▪ 연구기관 : 단국대학교 ▪ 연구책임자 : 이경구 - 1 -
<내진성능 및 이상기후취약 프로토타입 선정 보고서>	<비내진설계 강합성구조 실태, 성능 조사 및 취약요소 분석 보고서>

○ 2차년도

연구수행내용:

- 기존 강구조 성능평가모델 분석
 - 보강부재 및 보강상세를 포함한 기존 강구조 건축물 내진성능평가절차 연구
 - 이상기후대비 취약 강구조, 강재 비구조재/공작물의 성능평가방안 연구

성과:

[질적성과] 기존 강구조 성능평가 모델 기술력 90% 확보

[양적성과] 국내게재논문 1건, S/W 2건, 국내학술발표 1건

제 C-2015-011947 호 프 로 그 램 등 록 증 1. 프로그램의 제호 용접비보강플랜지접합부 좌굴 후 응답 예측 프로그램 (명칭) 2. 저작자 성명 단국대학교 산학협력단 (법인명) 경기도 용인시 수지구 죽전로 3. 생성일 274371-0009403 (법인등록번호) 4. 창작연월일 2015년05월04일 5. 공표연월일 2015년05월04일 6. 등록사항 저작자 : 단국대학교 산학협력단, 장작 : 2015.05.04, 공표 : 2015.05.04 7. 등록연월일 2015년05월14일 「저작권법」 제53조에 따라 위와 같이 등록되었음을 증명합니다. 2015년 05월 15일 한 국 저 작 권 위 원 회 <용접비보강플랜지접합부 좌굴 후 응답예측 프로그램>	제 C-2015-011157 호 프 로 그 램 등 록 증 1. 프로그램의 제호 철골용접모멘트접합부 소성인지 자동화 프로그램 (명칭) 2. 저작자 성명 단국대학교 산학협력단 (법인명) 경기도 용인시 수지구 죽전로 3. 생성일 274371-0009403 (법인등록번호) 4. 창작연월일 2015년04월27일 5. 공표연월일 2015년04월27일 6. 등록사항 저작자 : 단국대학교 산학협력단, 장작 : 2015.04.27, 공표 : 2015.04.27 7. 등록연월일 2015년05월11일 「저작권법」 제53조에 따라 위와 같이 등록되었음을 증명합니다. 2015년 05월 12일 한 국 저 작 권 위 원 회 <철골용접모멘트접합부 소성인지 자동화 프로그램>
---	--

○ 3차년도

연구수행내용:

- 기존 강구조 건축물 구조성능평가 지침개발
 - 시설안전공단의 기존 시설물(건축물) 내진성능평가 요령 분석 및 비교
 - 국내 강재의 재료특성과 국내 강구조 표준접합상세를 반영한 지침서를 개발
 - 프로토타입의 내진성능평가 및 보강후 평가 예제집을 작성

성과:

[질적성과] 기존 강구조 구조성능평가 기술력 90% 이상 확보

[양적성과] 국내게재논문 2건, 국제학술발표 1건, 지침서 1건, 예제집 1건

도시건축연구사업 SPEC-R2(7)-3-001 REPORT 2-7 세부 기존 강구조 건축물 구조성능평가 지침서 · 연구기관 : 단국대학교 · 연구책임자 : 이 경 구 2016. 05 구조안전성향상기술연구단   <기존 강구조 건축물 구조성능평가 지침서>	도시건축연구사업 SPEC-R2(7)-3-002 REPORT 2-7 세부 기존 강구조 건축물 구조성능평가 예제집 · 연구기관 : 단국대학교 · 연구책임자 : 이 경 구 2016. 05 구조안전성향상기술연구단   <기존 강구조 건축물 구조성능평가 예제집>
---	--

[2-7세부 충남대]

○ 1차년도

연구수행내용:

- 기존 지진 및 이상기후 강재 보강 실태조사 및 기존 강재보강 기술 성능평가
 - 기존 취약 건축물 지진 및 이상기후 피해사례 조사
 - 기존 강재 이용 보강기술 및 관련 기준 조사
 - 기존 강재보강 기술자료 조사

성과:

[질적성과] 취약 건축물 피해사례조사 및 기존 강재 이용 구조물 성능평가 신뢰도 80%

[양적성과] 연구보고서 1건, 국내학술발표 2건, 인력양성 1건

[세부-세세부] 『기존 지진 및 이상기후 대비 강구조 구조실태 조사 및 구조성능평가 보고서』 · 연구기관 : 충남대학교 · 연구책임자 : 이 강 민	목 차 I. 서론 II. 기존 지진 및 이상기후 강재보강 실태조사 1. 지진 및 이상기후에 대비한 시설기준 사례조사 2. 강재 활용 및 내진보강 사례조사 3. 기존 강재 이용 건축물에 대한 DB 구축 4. 소결 III. 기존 강재 이용 건축물 내진성능평가 1. 해당기관 외 약측 방향 보-기둥 접합 문헌조사 2. 해당기관 내 약측 방향 보-기둥 접합 DB 구축 3. 기존 강구조 구조물 내진성능평가 4. 소결 IV. 결론 V. 참고문헌
---	--

<강재보강 구조실태 조사 및 성능평가 보고서>

○ 2차년도

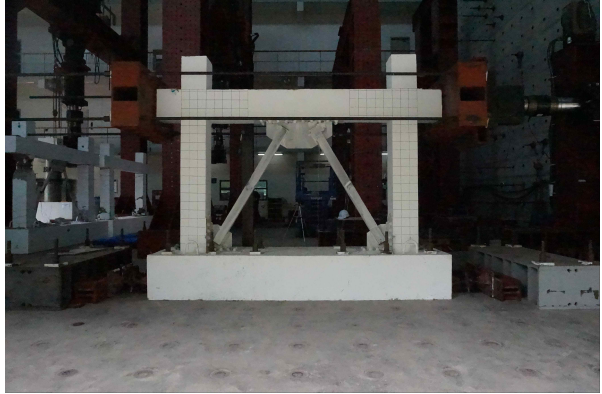
연구수행내용:

- 지진 및 이상기후 대비 강재를 이용한 경제적 보강기술 개발 및 성능평가
 - 기존 강재이용 보강기술 별 시공성 및 경제성을 분석을 통한 연성확보 방안 검토
 - 단순화를 통한 시공성 및 경제성 확보한 보강기술 적용 실물대 실험
 - 개발된 보강기술 실물대 실험을 통한 보강성능 검증 및 안전성 검증

성과:

[질적성과] 강재이용 보강기술개발 현수준 50%, 연구후 70%

[양적성과] 특허출원 1건, 국내학술발표 6건, 국제학술발표 2건

 <약축방향 컬럼-트리 형식 접합부 내진성능평가>	 <기존구조물 강재이용 보강 내진성능평가>
--	--

○ 3차년도

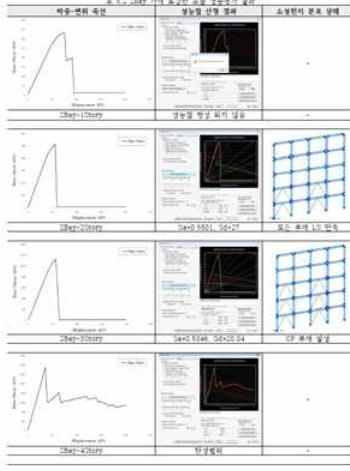
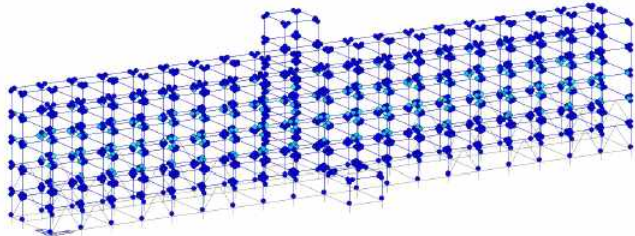
연구수행내용:

- 보강기술 수준 업그레이드 및 성능평가, 지진 및 이상기후 대비 강재이용 보강설계 지침서 개발
 - 실물대 실험결과를 통한 제안 기술의 문제점 분석 및 합리적 최적안 도출
 - 최적안 적용 보강기술 실물대 실험을 통한 성능평가 및 시공성, 경제성 분석
 - 지진 및 이상기후 대비 강재이용 보강설계 지침서 및 예제를 통한 검증

성과:

[질적성과] 기존 건축물에 적용 가능한 강재이용 보강기술 개발 및 성능평가에 의해 내진성능 향상

[양적성과] 국내게재논문 1건, 국제게재논문 1건, 국내외학술발표 10건

	 그림 5.6 예제 학교건축물 보강 후 X방향 성능점에서의 소성힌지 상태 <기존 학교건축물 내진성능 보강기술 개발>
---	--

[2-8세부 창민우구조컨선탄트]

○ 1차년도

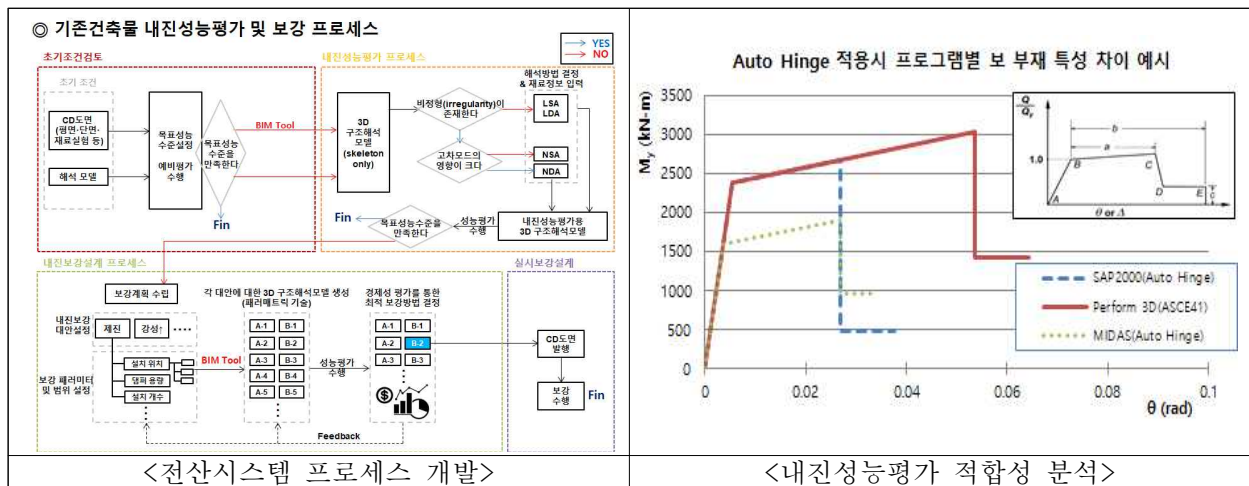
연구수행내용:

- 기존건축물 전산시스템 프로세스 개발
 - 내진프로세스 절차 정리(ASCE41) 및 내진성능평가 전산시스템 프로세스 구축
 - 해석 프로그램 별 내진성능평가 적합성 분석
- 구조요소 성능 라이브러리 원형 구축
 - 전산시스템 연계 구조요소성능 라이브러리 원형 제시

성과:

[질적성과] 기존대비 투입비용 50% 절감

[양적성과] S/W 개발 2건, 학술발표 2건, 현장적용 2건, 특허출원 1건,
해외전문가초청세미나 1건, 산업지원성과 4건



○ 2차년도

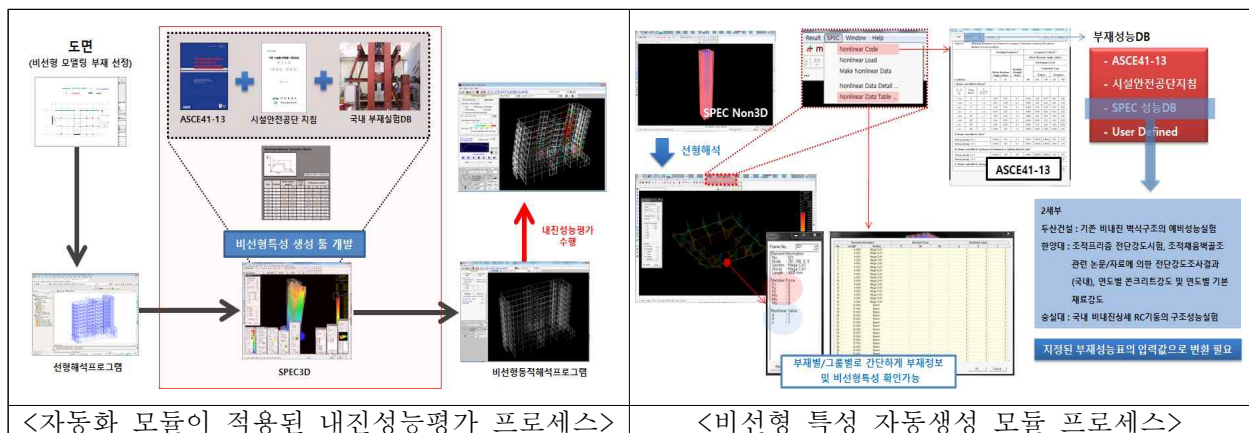
연구수행내용:

- 구조성능평가 자동화 모듈 개발
 - 자동화 모듈 적용 내진성능평가 프로세스 구현
 - 비선형 특성 자동생성 모듈 개발

성과:

[질적성과] 기존 투입비용 대비 50% 절감

[양적성과] 논문 1건, S/W 등록 3건, 현장적용 2건 특허등록 1건, 학술발표 9건 MOU체결 2건



○ 3차년도

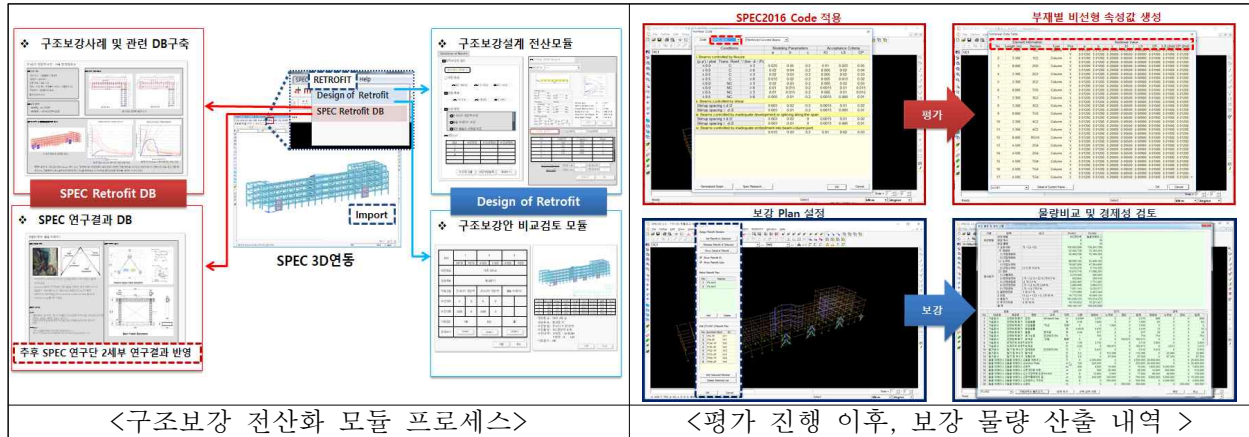
연구수행내용:

- 구조보강설계 자동화 모듈 개발
 - 구조보강 전산모듈 개발
 - 전산기반 구조보강 경제성 평가기술 개발 및 구현

성과:

[질적성과] 기존 투입비용 대비 50% 절감

[양적성과] S/W 등록 1건, 현장적용 2건, 학술발표 2건, 보고서 1건



○ 4차년도

연구수행내용:

- 신규개발 기술 전산 융복합
 - 타 세부 신규개발기술 전산시스템 반영 및 활용유도
 - 실무활용 전산환경 구축
- 전산시스템 매뉴얼 개발
 - 엔지니어 대상의 전산시스템 매뉴얼 작성

성과:

[질적성과] 신뢰도 20% 제고

[양적성과] S/W 등록 2건, 현장적용 2건, 논문 4건, 저작 1건, 특허출원 1건



○ 5차년도

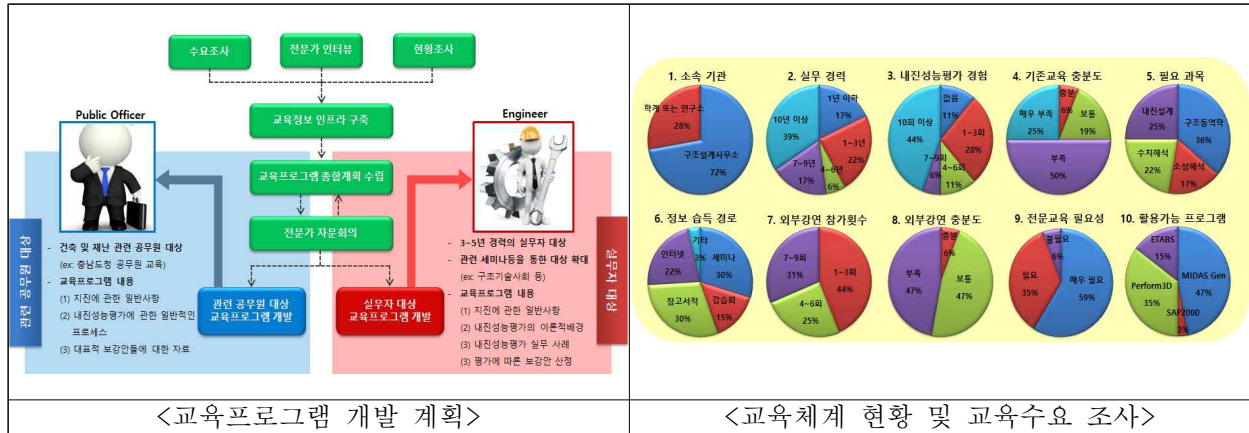
연구수행내용:

- 실무자 및 공무원 대상 교육프로그램 개발
 - 기존 건축물 구조성능 개선관련 교육체계 현황 및 교육수요 조사
 - 구조성능 평가/개선 기술 및 관련 교육프로그램 개발

성과:

[질적성과] 만족도 80% 이상

[양적성과] 특허등록 1건, S/W 등록 1건, 논문 1건, 전자적용 1건, 저작 2건



[2-9세부 성공관대]

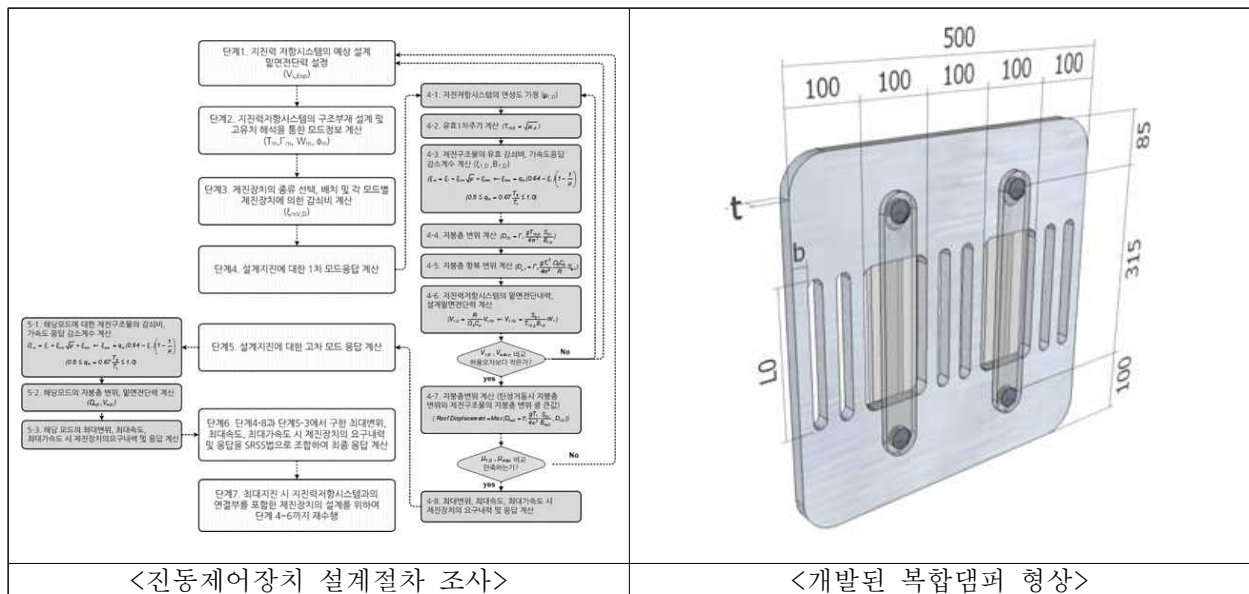
○ 1차년도

연구수행내용:

- 감쇠장치를 이용한 내진보강설계절차 현황조사
- 기존 아파트 내진보강 설계 예제 수행
- 복합감쇠장치 형상개발

성과:

[양적성과] 특허출원 1건



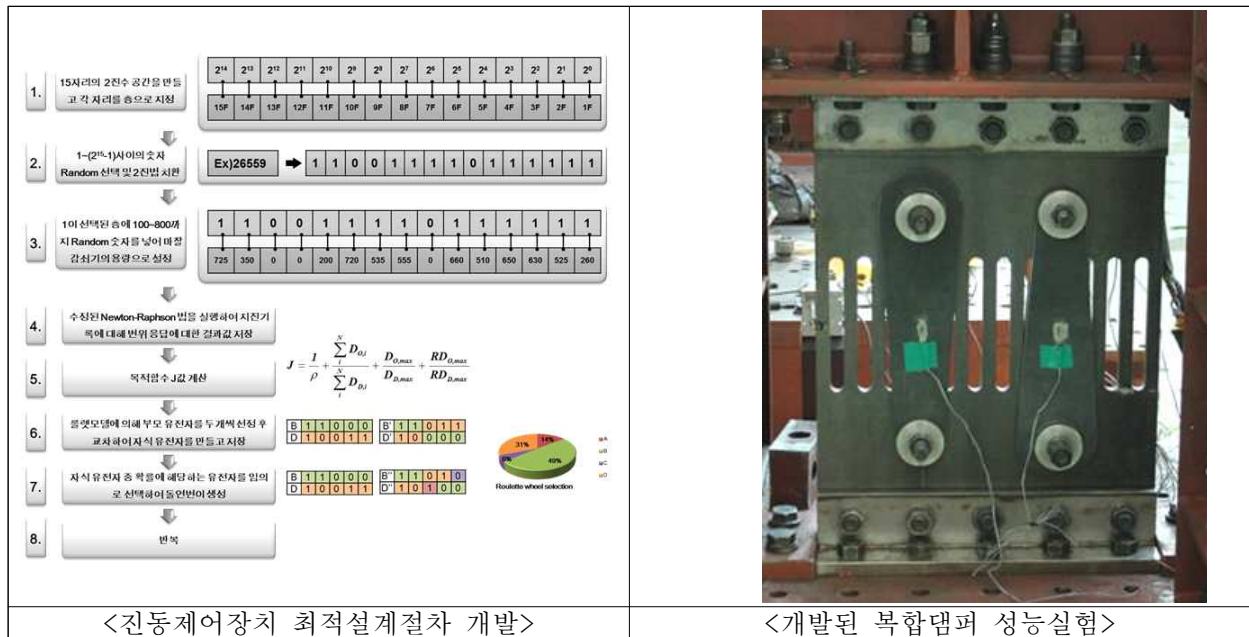
○ 2차년도

연구수행내용:

- 유전자 알고리즘에 의한 댐퍼의 수직 분배기법 개발
- 예제해석을 통한 타당성 검증
- 개발된 복합댐퍼의 성능실험

성과:

[양적성과] 특허출원 1건, 논문게재 1건



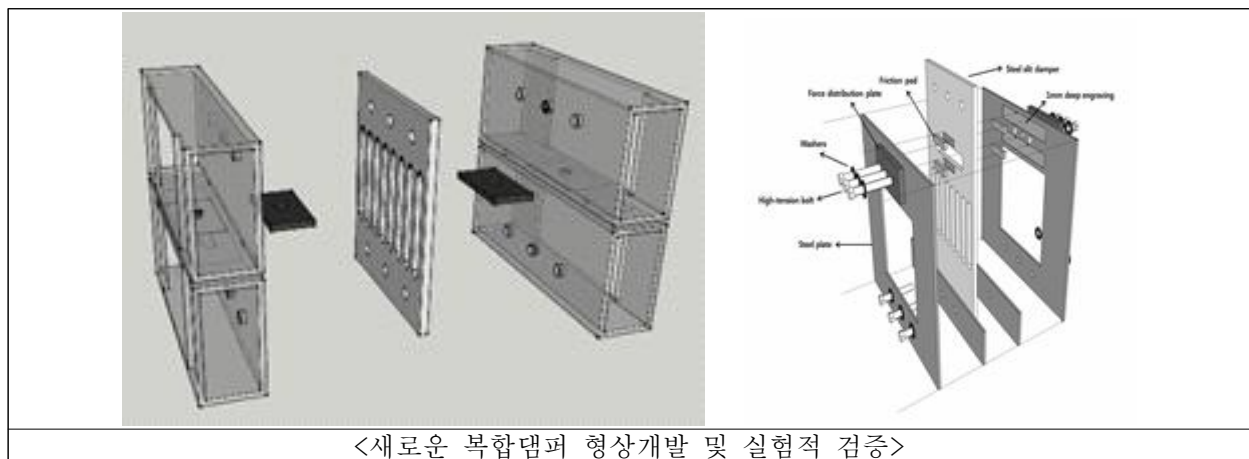
○ 3차년도

연구수행내용:

- 진동제어 장치 최적 설치위치 선정기법 개발
- 새로운 복합댐퍼 형상개발 및 실험적 검증

성과:

[양적성과] 특허출원 1건, 특허등록 2건, 논문게재 5건



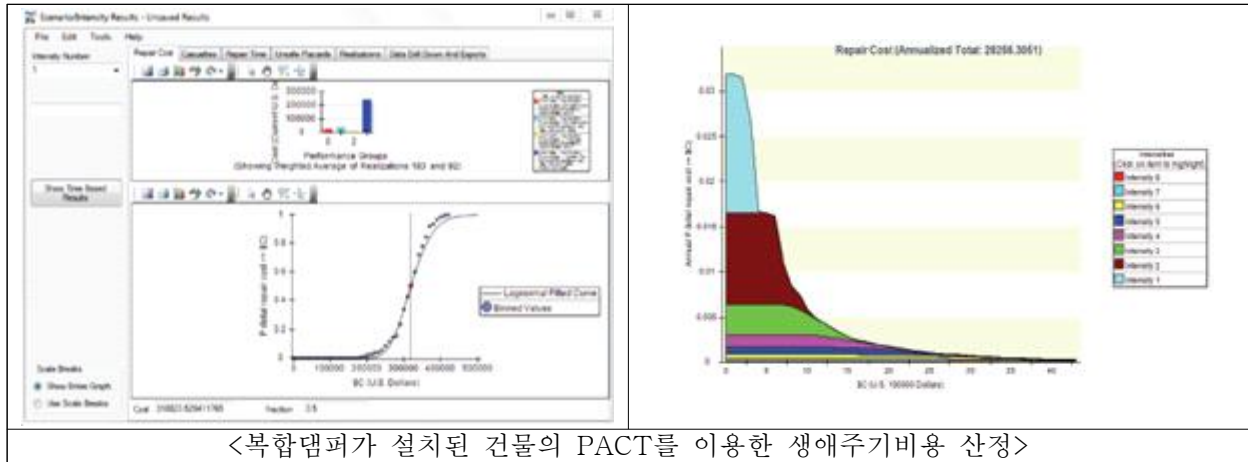
○ 4차년도

연구수행내용:

- 복합댐퍼 각 요소의 최적 강도비 산정
- 복합댐퍼의 생애주기비용을 고려한 경제성 평가
- 개발된 댐퍼의 현장 적용

성과:

[양적성과] 특허등록 1건, 논문게재 5건



[2-10세부 부산대]

○ 1차년도

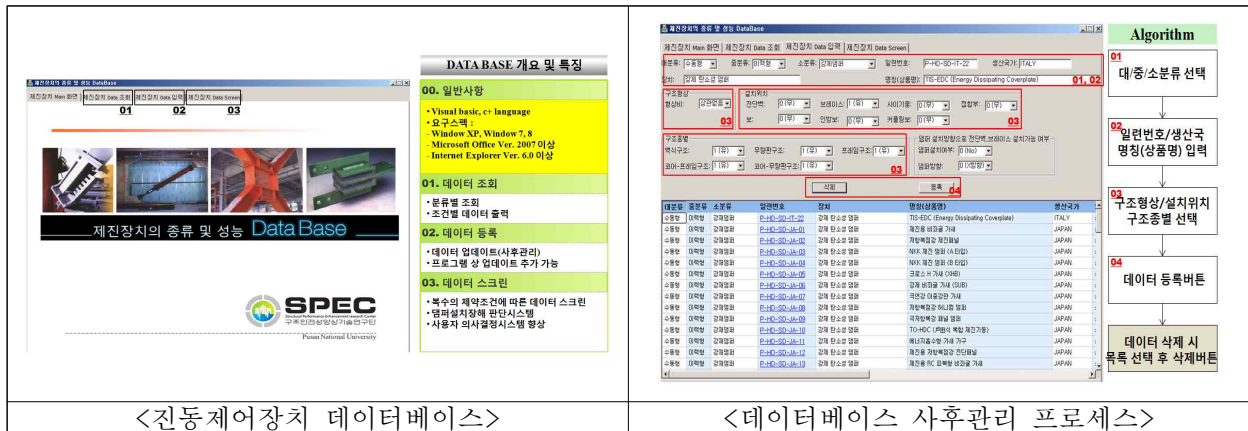
연구수행내용:

- 기존공공건축물 현황조사 및 진동제어장치 형상개발
 - 기존공공건축물 내진보강 현황조사
 - 기존 진동제어장치 현황분석 및 Database Programming
 - 진동제어장치 신형상개발

성과:

[질적성과] 진동제어장치 DB 개발에 따른 에너지소산시스템 내진성능 70% 향상

[양적성과] 연구보고서 1건, 국내 학술발표 4건, S/W개발 1건



○ 2차년도

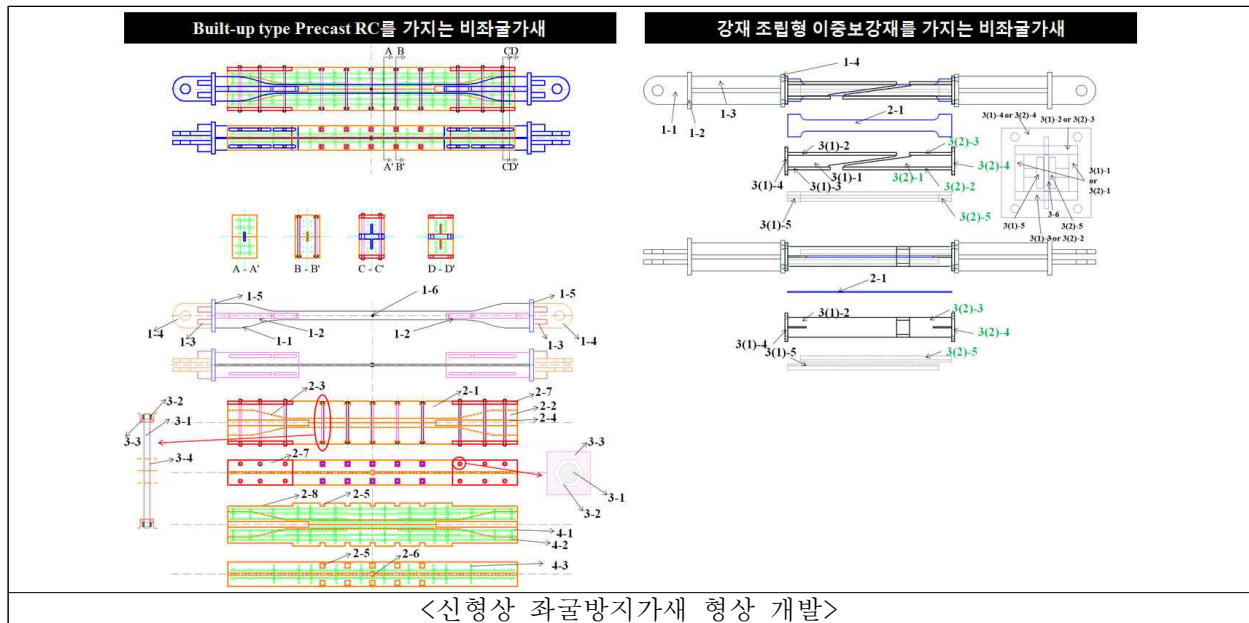
연구수행내용:

- 기존공공건축물 내진성능평가 및 진동제어장치 성능평가
 - 기존공공건축물 내진성능평가 실험 및 해석 연구
 - 진동제어장치의 요소실험 통한 구조성능평가 및 검증
 - 진동제어장치의 최적 형상 제고

성과:

[질적성과] 진동제어장치 신형상 개발 및 실험적 검증에 따른 내진안전성 70% 향상

[양적성과] 연구보고서 1건, 국내 학술발표 7건, 국제 학술발표 1건



○ 3차년도

연구수행내용:

- 진동제어 내진보강 설계프로세스 개발
 - 진동제어 내진보강 설계기법 제안
 - 설계상세 개발 및 응답해석을 통한 설계절차의 적합성 검증

성과:

- [질적성과] 제진보강 설계프로세스 개발,
 실설계 검증에 따른 내진안전성 및 설계적용성 70% 향상
 [양적성과] 연구보고서 2건, 국내 학술발표 4건, 국내 게재논문 2건, 특허출원 2건

1. 총 칙

1.1 일반사항

1.1.1 목적

이 내진보강설계지침(이하 '이 지침')은 건축구조설계기준(KBC)에 따른 기존 건축물 및 공작물의 안전성, 사용성 및 내구성을 확보하기 위하여 제진장치를 이용한 내진보강설계의 기술적 사항을 기술함을 목적으로 한다.

1.1.2 적용범위

(1) 이 지침은 지진력을 대상으로 한 건축물의 거동에 관하여 에너지의 방출방향을 이용한 설계법(이하, 에너지방출법)에 의해 따라 내진건축물의 보강설계에 적용한다.

(2) 이 지침은 설계적용 검토단계에서 에너지방출법을 이용한 예비설계 및 시간이력해석법에 의한 지진시의 안전성을 검증하는 제진장치설계의 설계에 적용한다.

(3) 이 지침은 탄소강 강재이력설비를 제진장치로 사용하는 경우에 한하여 적용한다.

(4) 이 지침은 제진장치를 사용하여 보강되는 건축물을 대상으로 한다.

(5) 건축대상 부지는 모든 지반을 대상으로 한다.

해설

(1) 이 지침은 제진장치를 설계자를 위한 설계의 기본개념을 제시한 것으로, 구조설계자의 자유로운 설계행동의 폭을 넓히기 위하여 제시한 것이다. 또한 여기에 제시하지 않은 사항에 대해서는 건축구조설계기준(KBC) 및 각종 구조설계기준 등에 따르는 것으로 한다.

(2) 지금까지의 내진설계법은 지진을 힘의 크기로 표현한 운동방정식에 기초한 동가정적 해석을 적용하고 있으며, 건축물의 변형능력을 고려하기 위하여 반동수정계수 값을 적용하고 있다. 한편, 제진구조의 성능은 제진장치의 성능에 따라 좌우된다고 할 수 있다. 제진장치의 성능은 내력 이외에도 소성변형능력, 감쇠능력 등에 따라 결정된다. 그러나 현재의 내진설계법에서는 동일한 구조시스템에 대해서는 강입부 형식 등에 따라 차이가 있음에도 불구하고 동일한 반동수정계수를 적용하고 있다. 반면 제진구조에서는 동일한 구조시스템 내에서도 제진장치의 배치형식 및 계수 등에 따라 그 성능은 크게 달라진다. 따라서 동일한 구조시스템에 대해 동일한 반동수정계수 값을 사용하고 있는 현재의 내진설계법으로는 제진구조의 성능을 명확히 규명하기에는 한계가 있다. 따라서 이 지침에서는 제진장치의 성능 및 배치형식 등에 따른 제진구조의 성능변화 등을 명확히 규명하고, 힘의 방출방향을 운동방정식을 기반으로 하여 변형에 따른 에너지 소산효과를 함께 고려할 수 있는 에너지의 방출방향을 이용한 설계법을 제시한다.

(3) 제진구조에 사용되는 제진장치는 매우 다양한 형식을 가지고 있으며 진동제어방식에 따라 탄소강이력형 열매, 감쇠형 열매, 부가물결계 등으로 크게 분류할 수 있다. 그러나

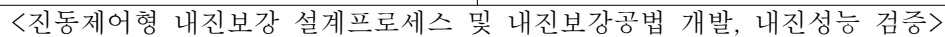
<진동제어형 내진보강 설계매뉴얼(안) 개발>

○ 4차년도

연구수행내용:

- 진동제어 내진보강기법 개발 및 내진성능평가
 - 제안형 에너지소산장치를 이용한 내진보강기법 개발
 - 내진보강기법 및 제안형 설계절차를 적용한 내진성능평가
 - 설계예제 작성 및 내진보강설계절차의 지침화

[양적성과] 연구보고서 2건, 국내학술발표 9건, 국내게재논문 1건



[양적성과] 연구보고서 1건, 국내학술발표 11건, 국제학술발표 3건, SCI논문 1건, 특허등록 2건

<진동제어형 내진보강 설계/설계검토/시공 매뉴얼 개발>

[3-1세부 이화여자대학교]

○ 1차년도

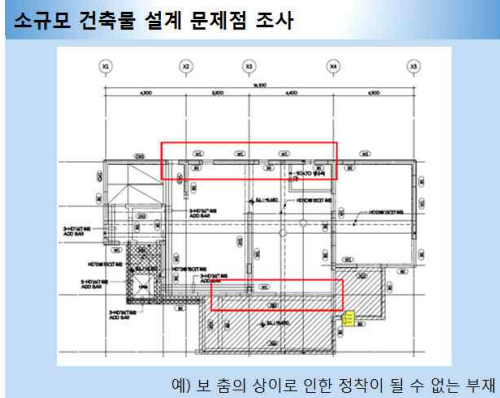
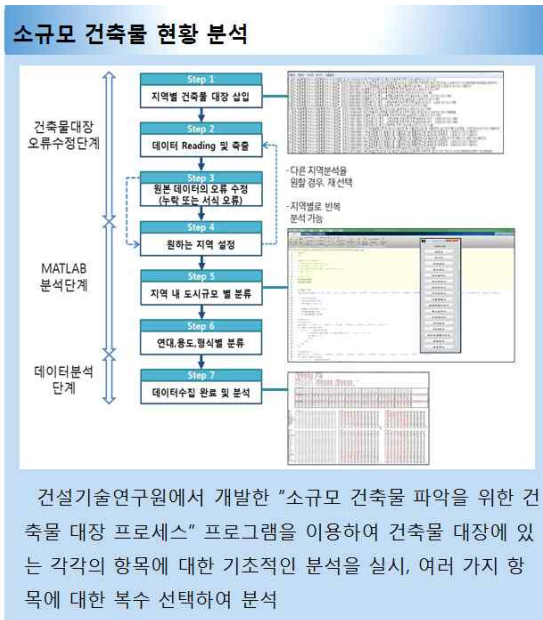
연구수행내용 :

- 소규모 건축물 현황보고서 수집 및 소규모 건축물 사양중심기준 목차 작성
 - 소규모건축물 현황 및 문제점 조사/분석 (설계, 시공, 구조 현황 육안 및 도면 조사)
 - 국외 소규모건축물의 설계기준, 설계테이블, 상세 분석/활용가능성 검토
 - 소규모건축물 설계/시공 특수성을 바탕으로 기존 소규모 기준 문제점 분석

성과 :

[질적성과] 설계도서 144건 수집, 소국내 소규모건축물의 설계, 구조, 시공 현황과 구조안전성 측면의 문제점을 조사/분석,, 소규모건축물 사양중심기준 초안의 기준적합성 검증

[양적성과] 보고서 4건,기타 1건



국외 소규모 건축물 설계 기준 활용성 검토

IRC (International Residential Code)

지상 3층 이하의 주택이며, 단독 또는 2세대 신축 주택
기존의 3세대 이상의 다세대 주택 규제
→ 단독주택일지라도 지상 3층을 초과할 경우 IRC 적용



NCC (National Code of Construction)

연면적 600m2 이하이어야 하며 3층 이하인 건축물
용도별 세부적으로 구분



BCA (Building Code of Australia)

class 1: 단독주택, 연면적이 300m2 이하인 게스트하우스
및 기숙사 등
class 10: 비주거용 건축물 또는 구조물



BS 8103 (British Standard)

지상 3층 이하의 주택
주택 이외에 바닥 면적이 36m2 이하이면서 단층인
건축물



○ 2차년도

연구수행내용 :

- 사양(규정)중심 구조기준 개발, 소규모건축물 설계사양(규정) 및 요구성능 분석 및 사양(규정) 설계기준 초안 및 구조안전백서 개발
 - 소규모건축물 설계사양 및 요구 구조성능 분석, 국내 소규모건축물에 특화된 사양(규정)중심 설계기준 초안 개발
 - 소규모건축물 구조안전 백서 작성

성과 :

[질적성과] 국내 소규모건축물의 설계, 구조, 시공 현황과 구조안전성 측면의 문제점을 조사/분석하여 소규모건축물 설계기준 개발을 위한 기초자료를 마련하였으며, 국외 소규모 건축물의 설계 기준 및 상세 분석/활용가능성 검토하여 소규모 구조안전백서 작성

[양적성과] 보고서 2건, 학술발표 2건



소규모 철근콘크리트 건물 설계 도서에 나타난 대표적 구조적 문제점

분석 사항	건수	비율 (%)
1. 지내력 미표기	25	34.2
2. 구조일반사항 누락	25	34.2
3. 대근(띠철근)과 보조띠(형방할 띠철근)의 문제점	19	26.0
4. 단면도 및 구조평면도와 부재리스트상의 크기 상이	18	24.7
5. 동결심도 미확보	15	20.5
6. 보 기둥 인장 철근 정착길이 미확보	14	19.2
7. 계단 배근 표기 오류	13	17.8
8. 콘크리트 강도, 철근 강도 표기가 누락	13	17.8
9. 전이보 누락 및 구조안전성 미확보의 문제점	12	16.4

소규모 강구조 건물 설계 도서에 나타난 대표적 구조적 문제점

분석 사항	건수	비율 (%)
1. 도면누락(임면도제외)	41	63.1
2. 철골부재에 대한 집합부 상세누락	38	58.5
3. 부재에 대한 재료강도 표기 누락	32	49.2
4. 앵커볼트 및 주각부의 문제점	29	44.6
5. 원격지지시스템 및 마감재용부재누락	27	41.5
6. 기타 부재의 상세 누락	22	33.8
7. 골조임면도누락	17	26.2
8. 샷기둥에 구조계획의 문제	16	24.6
9. 지붕 트러스 형태 및 단면 누락	15	23.1

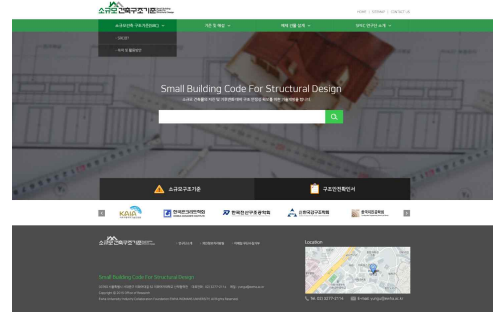
- 소규모 건축 구조 기준 제정
- 소규모 건축 구조 기준 예제집 초안 작성
- 소규모건축 구조기준 홈페이지 구축

성과 :

[질적성과] 소규모 건축물 구조설계기준 제정, 소규모 건축 구조 기준에 관한 해설 제작, 조기준, 표준상세, 설계테이블, 설계예제 등을 웹기반으로 제공가능한 홈페이지 제작

[양적성과] 보고서 1건, 해설 5건, 학술발표 1건, 기준제정 1건, SW 1건

소규모건축물 사양중심설계 웹서비스



○ 5차년도

연구수행내용 :

- 소규모건축물 홈페이지 수정 및 보완
 - 소규모 건축 구조 기준 예제집 수정 및 보완
 - 소규모건축 구조기준 홈페이지 구축

성과 :

[질적성과] 소규모 건축구조기준 예제집 수정 및 보완, 홈페이지 수정 및 보완

[양적성과] 보고서 1건, 학술발표 1건

[3-2세부 서울대학교]

○ 1차년도

연구수행내용 :

- 콘크리트조 소규모 건축물의 기존상세 분석
 - 기존 상세의 구조성능 및 구조상세 연구
 - 기존 상세 분석을 통한 소규모 콘크리트조 대안상세 제시
 - 예비평가 및 평가기법 확인을 위한 파일럿 테스트

성과 :

[질적성과] 기존에 사용되는 상세 분석 및 시공성 향상을 위한 대안상세 제시

[양적성과] 연구보고서 2건, 학술발표 2건

소규모 건축물 구조
현황 및 상세 분석
& 대안상세 제시

기존 및 대안상세
적용 소규모 건축물의
구조성능 실험 평가

시공성과 경제성을
고려한 콘크리트
표준 구조상세 제안

콘크리트 표준상세
설계 예제 개발

테스트베드
현장적용

소규모 건축물의 구조상세 조사

- 소규모 구조 지침/KCI 2012/ACI 318...
- 보, 기둥 벽체 등 구조 부재 검토
- 철근 상세 및 철근 정착과 이음

대안상세 제시

- 약기둥-강보 설계 개념을 바탕
- 기둥과 접합부 상세 제시
- 현행 상세 및 대안상세 비교

파일럿 테스트

- 예비평가와 평가기법 확인
- 대안상세의 검증을 위한 예비 실험
- 실험방법의 검증

<소규모 건축물 실제 현장 상세>

<현행 기준 및 소규모 건축 현장상세 분석>

○ 2차년도

연구수행내용 :

- 콘크리트조 소규모 건축물의 구조성능 실험평가 및 지진하중과 구조성능 재평가
 - 소규모 건축물에 적용 가능한 비내진 상세가 사용된 기둥 및 접합부 부재 실험 수행
 - 기둥 띠철근 상세, 기둥 주근 이음상세, 접합부 보강상세
 - 구조해석 프로그램을 통해 소규모 건축물에 대한 지진하중 재평가

성과 :

[질적성과] 구조성능 평가를 통해 기존 비내진 상세의 위험성 분석

[양적성과] 연구보고서 4건, 국내논문 1건, 학술발표 2건

소규모 건축물 구조
현황 및 상세 분석
& 대안상세 제시

기준 및 대안상세
적용 소규모 건축물의
구조성능 실험 평가

시공성과 경제성을
고려한 콘크리트
표준 구조상세 제안

콘크리트 표준상세
설계 예제 개발

테스트베드
현장적용

1. 소규모 건축물은 **약기동 강보** 거동
→ **기동, 외부접합부** 취약
<소규모 건축물>

2. 기준 허용하지 않는 띠철근 상세 사용
→ 건축사들의 **경험적 상세**가 사용

3. 공간활용 용이한 **벽기동** 사용
→ 벽기동 관련 규정 없음

외부접합부

이음
상세

기동

4. 기초와 기둥사이 **주근 이음**길이
→ 과도한 겹침이음 길이 필요

<소규모 지침>
-D19이하: $58.5d_b$
-D22이하: $65d_b$

이음
길이 예) D25 철근의 경우,
1,625mm 이음길이 필요

5. **접합부** 전단 무보강 (시공 어려움)
→ 접합부 취약 (특히, 외부 접합부)

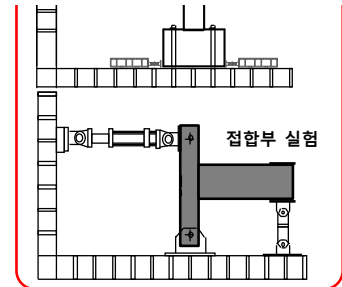
<접합부 무보강>

효율적인 접합부 전단보강 방법?

U-bar

기동/접합부 부재 실험

일반기동
벽기동 실험



○ 4차년도

연구수행내용 :

- 콘크리트조 소규모 건축물을 위한 표준구조상세 적용성 검증 및 설계 예제 개발
 - 구조형식 별 표준화된 콘크리트 구조상세의 적용성 (시공성) 검토
 - 구조상세 개선 및 추가 성능 검증 실험 수행
 - 표준화된 콘크리트 구조상세 설계 예제 개발

성과 :

[질적성과] 기둥 및 접합부의 표준 구조상세 제안 및 소규모 건축물의 설계 예제집 개발

[양적성과] 연구보고서 2건, 국내논문 1건, 학술발표 1건

소규모 건축물 구조
현황 및 상세 분석
& 대안상세 제시

기둥 및 대안상세
적용 소규모 건축물의
구조성능 실험 평가

시공성과 경제성을
고려한 콘크리트
표준 구조상세 제안

콘크리트 표준상세
설계 예제 개발

테스트베드
현장적용

1. 표준 구조 상세 제안

Bottom offset
bar splice

Top offset
bar splice

Splice without
offset bend

<기둥 띠철근 상세>

<기둥 주근 이음 상세>

<조인트 보강상세>

2. 설계 예제 개발

<형구속 골조>

<비형구속 골조>

<벽식 구조>

<구조실험 결과를 바탕으로 표준구조상세 제안 및 설계 예제 개발>

○ 5차년도

연구수행내용 :

- 콘크리트조 소규모 건축물을 위한 표준구조상세 및 테스트베드 적용
 - 콘크리트조 소규모 건축물을 위한 표준구조상세 소규모 기준 반영
 - 대안철근 상세의 테스트베드 현장적용을 통한 시공성 평가

성과 :

[질적성과] 표준구조상세 소규모 기준 반영 및 테스트베드 현장적용을 통한 시공성 검증

[양적성과] 연구보고서 1건, SCI논문 2건, 학술발표 1건, 특허 1건

양주 옥정 현장 (근린생활 시설)

V-tie

<테스트베드 현장 적용>

[3-3세부 건설기술연구원]

○ 1차년도

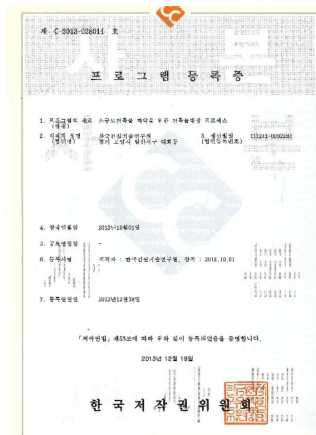
연구수행내용 :

- 전국단위 소규모건축물 DB화
 - 세움터의 건축물대장에 등록되어 있는 건축물 분류체계로부터 건축물 용도/구조형식/규모로 전국단위의 건축물 DB 구축
- 전국단위 소규모건축물 통계분석
 - 전국단위로 구축된 건축물 대장 DB를 바탕으로 하여, 지역/용도/규모/구조형식별 소규모건축물 분포도를 통계분석할 수 있는 Software를 개발/등록
- 기존 소규모 조적조/경량철골조 건축물 구조상세 분석
 - 소규모 건축물 현황분석 DB를 통해 기존 소규모 조적조/철골조 대표건축물을 선정하고, 구조도면 및 현장조사를 통하여 기존 구조상세의 문제점 분석 및 구조상세 대안을 검토

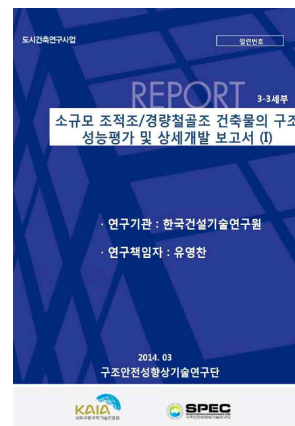
성과 :

[질적성과] 전국 소규모 건축물 통계분석, 기존 소규모 조적조/경량철골조 건축물의 구조상세 및 안전성 검토 100% 달성

[양적성과] 연구보고서 1건, 국내학술발표 3건, S/W등록 1건



<SW등록; 소규모건축물 파악을 위한 건축물대상 프로세스>



<소규모 조적조/경량철골조 건축물의 구조성능평가 및 상세개발 보고서(I)>

목 차	
제1장 서 론	1
1. 연구배경 및 필요성	1
2. 연구내용	2
3. 연구내용	3
4. 연구방법	4
제2장 국내 외 현황 조사	7
1. 국내 현황	7
1.1. 연구대상	7
1.1.1. 연구대상	7
1.1.2. 연구대상	7
1.1.3. 연구대상	7
1.1.4. 연구대상	7
1.1.5. 연구대상	7
1.1.6. 연구대상	7
1.1.7. 연구대상	7
1.1.8. 연구대상	7
1.1.9. 연구대상	7
1.1.10. 연구대상	7
1.2. 연구대상	7
1.2.1. 연구대상	7
1.2.2. 연구대상	7
1.2.3. 연구대상	7
1.2.4. 연구대상	7
1.2.5. 연구대상	7
1.2.6. 연구대상	7
1.2.7. 연구대상	7
1.2.8. 연구대상	7
1.2.9. 연구대상	7
1.2.10. 연구대상	7
1.3. 연구대상	7
1.3.1. 연구대상	7
1.3.2. 연구대상	7
1.3.3. 연구대상	7
1.3.4. 연구대상	7
1.3.5. 연구대상	7
1.3.6. 연구대상	7
1.3.7. 연구대상	7
1.3.8. 연구대상	7
1.3.9. 연구대상	7
1.3.10. 연구대상	7
1.4. 연구대상	7
1.4.1. 연구대상	7
1.4.2. 연구대상	7
1.4.3. 연구대상	7
1.4.4. 연구대상	7
1.4.5. 연구대상	7
1.4.6. 연구대상	7
1.4.7. 연구대상	7
1.4.8. 연구대상	7
1.4.9. 연구대상	7
1.4.10. 연구대상	7
1.5. 연구대상	7
1.5.1. 연구대상	7
1.5.2. 연구대상	7
1.5.3. 연구대상	7
1.5.4. 연구대상	7
1.5.5. 연구대상	7
1.5.6. 연구대상	7
1.5.7. 연구대상	7
1.5.8. 연구대상	7
1.5.9. 연구대상	7
1.5.10. 연구대상	7
1.6. 연구대상	7
1.6.1. 연구대상	7
1.6.2. 연구대상	7
1.6.3. 연구대상	7
1.6.4. 연구대상	7
1.6.5. 연구대상	7
1.6.6. 연구대상	7
1.6.7. 연구대상	7
1.6.8. 연구대상	7
1.6.9. 연구대상	7
1.6.10. 연구대상	7
1.7. 연구대상	7
1.7.1. 연구대상	7
1.7.2. 연구대상	7
1.7.3. 연구대상	7
1.7.4. 연구대상	7
1.7.5. 연구대상	7
1.7.6. 연구대상	7
1.7.7. 연구대상	7
1.7.8. 연구대상	7
1.7.9. 연구대상	7
1.7.10. 연구대상	7
1.8. 연구대상	7
1.8.1. 연구대상	7
1.8.2. 연구대상	7
1.8.3. 연구대상	7
1.8.4. 연구대상	7
1.8.5. 연구대상	7
1.8.6. 연구대상	7
1.8.7. 연구대상	7
1.8.8. 연구대상	7
1.8.9. 연구대상	7
1.8.10. 연구대상	7
1.9. 연구대상	7
1.9.1. 연구대상	7
1.9.2. 연구대상	7
1.9.3. 연구대상	7
1.9.4. 연구대상	7
1.9.5. 연구대상	7
1.9.6. 연구대상	7
1.9.7. 연구대상	7
1.9.8. 연구대상	7
1.9.9. 연구대상	7
1.9.10. 연구대상	7
1.10. 연구대상	7
1.10.1. 연구대상	7
1.10.2. 연구대상	7
1.10.3. 연구대상	7
1.10.4. 연구대상	7
1.10.5. 연구대상	7
1.10.6. 연구대상	7
1.10.7. 연구대상	7
1.10.8. 연구대상	7
1.10.9. 연구대상	7
1.10.10. 연구대상	7

○ 2차년도

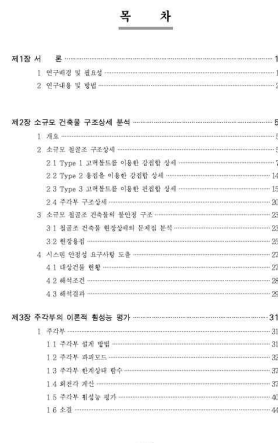
연구수행내용 :

- 기존 소규모 조적조/경량철골조 건축물 구조상세 분석
 - 세움터의 건축물대장에 등록되어 있는 건축물 분류체계로부터 대표건축물의 도면을 취득하여 구조부재 및 접합상세의 현황 및 문제점 분석
- 해석을 통한 소규모 구조시스템의 구조안정성 검증
 - 철골조의 주각부 및 보-기둥 접합부의 휨강성비에 따른 시스템 안정성을 이론적으로 검토하여 주각부 및 보-기둥 접합부의 개선 접합상세를 제안
- 기존 소규모 조적조/경량철골조 구조상세의 최소안전성 및 횡저항능력 실험평가
 - 기존 결함상세가 적용된 소규모 건축물의 최소성능 및 내진성능 실험을 통하여 결함상세의 구조역학적 문제점을 파악

성과 :

[질적성과] 기존소규모 조적조/경량철골조 건축물의 구조상세 취약점 및 수평/수직하중 저항능력분석

[양적성과] 연구보고서 1건, 국내학술발표 2건

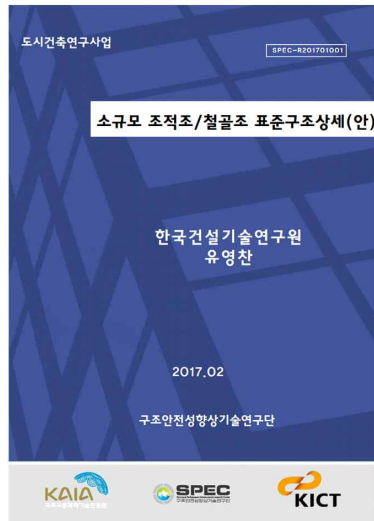


- 소규모 철골조 주각부와 보-기둥 약축 접합부에 안전성과 시공성을 고려하여 도출한 대안(표준)상세를 제안하고 이를 「소규모 구조기준-철골조」 해설편에 반영
- 최소 시공성 확보 및 최소 안전성 확보를 전제한 조적조 표준상세 제안
 - 소규모 조적조 대안(표준)상세를 제안하고 제안된 대안(표준)상세에 대한 실규모 실험체를 제작하여 시공 프로세스별 시공방법 구체화 및 이를 「소규모 구조기준-조적조」 해설편에 반영.

성과 :

[질적성과] 소규모 조적조/경량철골조 표준구조상세 제안 및 검증 (안전성/경제성/시공성 확보)

[양적성과] 논문 4건, 연구보고서 1건, 국내학술발표 3건



목 차

1. 서 론	1
1.1 연구배경 및 필요성	1
1.2 연구내용	4
2. 소규모 건축물 구조기준	5
2.1 개요	5
2.2 소규모 건축물 적용조건	5
2.3 소규모 철골조 구조기준	5
2.3.1 보	5
2.3.2 기둥	5
2.3.3 연립	6
2.3.4 연립대차	9
2.3.5 기둥	9
2.3.6 약축	10
3. 연립 소규모 건축물 연립보가 결구	11
3.1 소규모 연립보 결구조건과 결구	11
3.2 소규모 조적조 연립보가 결구	11
4. 소규모 철골조 약축방향 주각부 구조상세 설계	12
4.1 시공	12
4.2 연립 철골조 노출형 주각부 설계기준	12
4.3 약축방향 주각부 설계기준	14
4.3.1 약축 방향	14
4.3.2 약축 방향 및 약축방향	14
4.3.3 약축방향	17
4.4 약축방향	17
4.4.1 약축방향	17
4.4.2 약축방향-중간방향	19
4.4.3 약축방향	20
4.5 약축방향	21
4.6 결구	22
5. 소규모 철골조 약축방향 주각부 구조상세 설계	24
5.1 시공	24

<소규모 조적조/철골조 표준구조상세(안)>

○ 5차년도

연구수행내용 :

- Tie-column과 tie-beam이 적용된 국내 소규모 조적조 벽체 상세 개발 및 구조성능 실험 평가
 - 제안된 대안상세(Tie-column/tie-beam 보강)를 적용하여 경계보강벽체와 비보강 벽체에 대한 시공성 실험과 내진성능 실험을 통해 구조안전성 실험평가
- 소규모 조적조 건축물 구조안전성 확보를 위한 제도개선 방안
 - 소규모 건축물 구조안전성 확보를 위한 감리제도/사용승인 등 개정(안) 제출(예정)

성과 :

[질적성과] 소규모 조적조 상세 개발 및 구조성능 실험, 소규모 건축물 감리/사용허가 제도 개선

[양적성과] 연구보고서 1건, 정책제안 1건, 특허 1건, 논문 4건

보강조적벽체의 구조성능평가 실험

2018. 2



<보강조적조 구조성능 실험평가>

<SCI급 논문 게재>

제4장. 목표 달성도 및 관련 분야 기여도

1. 목표 달성도

구분	핵심 성과물 (level 1)		단위 성과물 (level 2)	성과목표				해당 기관	예산 (백만 원)	실적목표 및 달성도 달성(계획)	
				집적목표 (측정 방법)	목표치	달성치 (%)	검증방법				
1 세 부	1	건축물 구조안전성 확보를 위한 내진성능목표 개선 및 KBC 설계지진하중 정의	1-1	국내외 내진성능목표 관련 연구 분석 보고서	전문가 만족 도 (전문가3인 이상설문조사 실시)	5점 만점 3.5점 이상	4.9점 (100%)	전문가 설문 분석 보고서	고려대	78.1	보고서:1건(1건) 학술대회:2건(0건)
			1-2	우리나라 내진성능목표설정 및 설계하중 제안 보고서	전문가 만족 도 (전문가3인 이상설문조사 실시)	5점 만점 3.5점 이상	4.2점 (100%)	전문가 설문 분석 보고서	고려대	161.7	보고서:1건(1건) 국내논문:0건(2건) 학술발표:7건(0건)
			1-3	내진성능목표 및 설계하중 정의 최종안 보고서	전문가 만족 도 (전문가3인 이상설문조사 실시)	5점 만점 3.5점 이상	4.4점 (100%)	전문가 설문 분석 보고서	고려대	40	보고서:0건(1건) 저작:1건(0건) 국내논문:1건(2건) 학술발표:3건(1건)
			1-4	한반도 지진 특성을 고려한 합성 지진파 제안 보고서	전문가 만족 도 (전문가3인 이상설문조사 실시)	5점 만점 3.5점 이상	4.22점 (100%)	전문가 설문 분석 보고서	고려대	60	보고서:1건(1건) 국내논문:1건(1건) 학술발표:1건(1건)
			1-5	한반도 지진 특성을 고려한 합성 지진파 검증 및 예제안 제시	전문가 만족 도 (전문가3인 이상설문조사 실시)	5점 만점 3.5점 이상	3.97점 (100%)	전문가 설문 분석 보고서	고려대	30	보고서:1건(1건) SCI(E)논문:2건(1건) 학술발표:3건(0건) 소프트웨어:1건
	2	건축물 구조안전성 확보를 위한 중·장기 Action Plan 구축 및 정책·제도 개발	2-1	선진국 구조안전성 확보를 위한 Action Plan 및 관련 정책·제도 분석 보고서	전문가 만족 도 (전문가3인 이상설문조사 실시)	5점 만점 3.5점 이상	4.95점 (100%)	전문가 설문 분석 보고서	고려대	68	보고서:1건(1건)
			2-2	구조안전성 확보를 위한 중·장기 Action Plan (안)	전문가 만족 도 (전문가3인 이상설문조사 실시)	5점 만점 3.5점 이상	4.95점 (100%)	전문가 설문 분석 보고서	고려대	10.1	
			2-3	구조안전성 확보를 위한 정책·제도 보고서	전문가 만족 도 (전문가3인 이상설문조사 실시)	5점 만점 3.5점 이상	4.53점 (100%)	전문가 설문 분석 보고서	고려대	32	보고서:0건(1건) 저작:1건(0건)
			2-4	지진피해경감을 위한 지침 개발	전문가 만족 도 (전문가3인 이상설문조사 실시)	5점 만점 3.5점 이상	4.79점 (100%)	전문가 설문 분석 보고서	고려대	20	보고서:1건(1건)
			2-5	국내외 구조안전 보합요율 및 요율지도 방안 분석 보고서	전문가 만족 도 (전문가3인 이상설문조사 실시)	5점 만점 3.5점 이상	4.63점 (100%)	전문가 설문 분석 보고서	고려대	7.9	보고서:1건(1건)
			2-6	구조안전성 확보를 위한 정책·제도 보완 보고서	전문가 만족 도 (전문가3인 이상설문조사 실시)	5점 만점 3.5점 이상	4.67점 (100%)	전문가 설문 분석 보고서	고려대	15	보고서:1건(1건)
			2-7	지진 보합요율 및 요율지도 (최종안)	전문가 만족 도 (전문가3인 이상설문조사 실시)	5점 만점 3.5점 이상	4.5점 (100%)	전문가 설문 분석 보고서	고려대	5	보고서:1건(1건)
	3	확률기반 성능 평가 지침을 이용한 현행 기준 개선(안)	3-1	성능기반 내진평가 기술 조사 보고서	전문가 만족 도 (전문가3인 이상설문조사 실시)	5점 만점 3.5점 이상	4.78점 (100%)	전문가 설문 분석 보고서	세종대	93.7	보고서:1건(0건) 국내논문:1건(1건) 학술발표:2건(0건)
			3-2	건축물 성능기반 내진설계 지침서 작성(안)	전문가 만족 도 (전문가3인 이상설문조사 실시)	5점 만점 3.5점 이상	4.28점 (100%)	전문가 설문 분석 보고서	세종대	63.5	보고서:1건(0건) 국내논문:1건(3건) SCI(E)논문:1건(0건) 학술발표:5건(3건)
			3-3	건축물 성능평가지침 및 해설서	전문가 만족 도 (전문가3인 이상설문조사 실시)	5점 만점 3.5점 이상	4.17점 (100%)	전문가 설문 분석 보고서	세종대	63.5	보고서:2건(2건)
	4	성능기반 건축물 내진설계/평가 통합지침 개발	4-1	성능기반설계에 대한 비선형해석 모델링 지침서 및 평가법 예제	전문가 만족 도 (전문가3인 이상설문조사 실시)	5점 만점 3.5점 이상	4.53점 (100%)	전문가 설문 분석 보고서	세종대	56	보고서:0건(1건) 저서:1건(0건) 국내논문:1건(1건) 학술발표: 7건(1건) 현장지원용: 2건(0건)
			4-2	성능기반 평가 및 설계 예제 개발 및 검증	전문가 만족 도 (전문가3인 이상설문조사 실시)	5점 만점 3.5점 이상	4.58점 (100%)	전문가 설문 분석 보고서	세종대	42.8	보고서:1건(1건) SCI(E)논문:1건(0건)
			4-3	성능기반 내진설계 및 평가 통합지침 개발	전문가 만족 도 (전문가3인 이상설문조사 실시)	5점 만점 3.5점 이상	4.62점 (100%)	전문가 설문 분석 보고서	세종대	30	보고서:0건(1건) 저서:1건(0건)
	5	이상기후에 대비한 건축물 및 공작물	5-1	이상기후에 의한 국내 건축물 및	전문가 만족 도	5점 만점 3.5점	4.04점 (100%)	전문가 설문 분석 보고서	아주대	62.5	보고서:1건(0건) 특허출원:1건(1건)

6	안전 확보를 위한 안전점검기준 등 종합대응 시스템 구축		공작물 피해현황 보고서	(전문가3인 이참설문조사 실시)	이상						국내논문:1건(1건) 학술대회:1건(0건) 법제적성과:2건(0건)
		5-2	기후변화를 고려한 기존 KBC 하중 적합성 평가 보고서	전문가1인 참도 (전문가3인 이참설문조사 실시)	5점 만점 3.5점 이상	4.45점 (100%)	전문가 설문 보고서	아주대	84.7	보고서:1건 (0건) 매뉴얼:1건 (0건) 국내논문:0건 (1건) 학술대회:2건 (0건) 특허출원:0건 (1건) 법제적성과:2건 (0건)	
		5-3	비구조재에 대한 지진안전 제도 분석 보고서	전문가1인 참도 (전문가3인 이참설문조사 실시)	5점 만점 3.5점 이상	4.08점 (100%)	전문가 설문 보고서	아주대	60	특허출원:2건(1건) 저작:3건(0건) 국내논문:0건(1건) SCI(E)논문:1건(0건) 학술발표:1건(1건) 성과홍보:1건(0건) 보고서:0건(1건)	
		5-4	지진대비 비구조재 종합 안전 점검 가이드 (설비배관, 컨크리트, 신반 등 비구조재 요소 추가)	전문가1인 참도 (전문가3인 이참설문조사 실시)	5점 만점 3.5점 이상	3.89점 (100%)	전문가 설문 보고서	아주대	40	저작:1건(0건) 학술발표:2건(1건) 국내논문:1건(0건) 보고서:0건(1건)	
		5-5	온라인을 통한 비구조재 및 공작물 안전점검 시스템 구축	전문가1인 참도 (전문가3인 이참설문조사 실시)	5점 만점 3.5점 이상	4.32점 (100%)	전문가 설문 보고서	아주대	20	보고서:1건(1건)	
	신축 및 기존건축물의 내진설계기준·지침 개발 및 구조안전성 확보 관련 정책·제도 실행을 위한 Action Plan 구축	6-1	신축 및 기존 건축물의 내진설계기준 및 지침 개발을 위한 Action Plan 초안 보고서	전문가1인 참도 (전문가3인 이참설문조사 실시)	5점 만점 3.5점 이상	4.5점 (100%)	전문가 설문 보고서	서울 시립대	50	보고서:1건(1건) 논문:1건(1건) 학술발표:6건(0건)	
		6-2	구조 안전성 확보 관련 정책·제도 실행을 위한 Action Plan (안) 보고서	전문가1인 참도 (전문가3인 이참설문조사 실시)	5점 만점 3.5점 이상	4.7점 (100%)	전문가 설문 보고서	서울 시립대	22	보고서:0건(1건) 저작:1건(0건) 논문:3건(1건) SCI논문:1건(0건)	
	2 세 부	기존건축물 현황조 사 기반 기존 재료 강도 및 부재상세 기준	7-1	국내 기존건축물 현황조사 보고서	표본 수량	300동	11	조사 보고서	서울대	123	▪ 목표 : -논문 1건 -보고서 1건 ▪ 달성 : -보고서 1건
				충실도	90%	100					
			7-2	기존건축물 기준 개정안 및 부재상 세 신규 기준안	적용성	90%	0	AHP			
적합성				90%	0						
건축물 유형별 맞춤 형 구조보강 지침서		8-1	기존건축물 내진성 능 평가 지침서	적합성 적용성	100%	80	공청회 평가	서울대	69	▪ 목표 : -논문 1건 -보고서 1건 ▪ 달성 : -논문 1건 -보고서 2건 -국제학술발표 1건	
		8-1	기존건축물 내진성 능 평가 지침서	적합성 적용성	100%	100	공청회 평가	서울대	150	▪ 목표 : -기준제안 2건 -보고서 1건 ▪ 달성 : -기준제안 2건 -보고서 5건 -학술발표 2건	
		8-2	기존 건물 보강 예 제 및 사례집	적합성 적용성	100%	100	보고서	서울대	49		
기존건축물 구조성 능평가 및 보강 테 스트베드		9-1	기존 공공건축물 구조성능평가 및 보강 테스트베드	성능향상	95%	100	보고서제출여부 및 연구내용 검증	두산 건설	56	▪ 목표 : -현장적용 1건 ▪ 달성(100%초과) : -보고서 1건 -현장적용 1건	
				비용절감	70%						
				공기단축	70%						
		9-2	기존 민간건축물 구조성능평가 및 보강 테스트베드	성능향상	95%	100	보고서제출여부 및 연구내용 검증	두산 건설	39	▪ 목표 : -현장적용 1건 ▪ 달성(100%초과) : -보고서 1건 -현장적용 1건	
				비용절감	70%						
				공기단축	70%						
비내진 구조보강 기 술 개발		10-1	신재료를 활용한 기존건축물 RC보 강기법 개발	강도증가	80%	100	구조 실험 보고서	서울대	276	▪ 목표 : -보고서 1건 ▪ 달성 : -보고서 1건	
				적합성	80%	100					
				적용성	90%	100					
		10-2	비내진 RC 기동 보강기법 개발	강도 증가	80%	100	구조 실험 보고서	서울대	109	▪ 목표 : -보고서 1건 -논문 1건 ▪ 달성 : -보고서 1건 -국내학술발표 2건 -국제학술발표 1건 -기술기고 2건	
				신재료 융합	-	100					
	연성 증가			70%	100	구조 실험 보고서	서울대	109	▪ 목표 : -보고서 1건 -논문 1건 ▪ 달성 : -보고서 2건 -국내학술발표 2건		

11	벽식구조 건축물 구조성능평가 및 보강상세 개발	11-1	비내진 RC벽식구조 실태보고서	자료분석 충실도	90%	100	보고서제출여부 및 연구내용 검증	두산건설	70	- 목표 : -보고서 1건 - 달성(100%초과) : -보고서 1건
		11-2	비내진 RC벽식구조 성능평가 지침	연성/강도증가	80%	100	보고서제출여부 및 연구내용 검증	두산건설	187	- 목표 : -국내논문 1건 - 달성(100%초과) : -보고서 2건 -국내논문 1건(제출) -국제학술발표 1건 -국내학술발표 2건
				모델적합성	80%					
				적용성	90%					
		11-3	비내진 RC벽식구조 표준보강상세 및 기존 보강기법의 보강성능 및 비교분석	휨강도 증가	30%	100	보고서제출여부 및 연구내용 검증	두산건설	180	- 목표 : -보고서 2건 - 달성(100%초과) : -보고서 2건 -기타 2건 -국내게제논문 1건 -국내학술발표 1건
12	조적채움벽골조 성능평가 및 보강지침	12-1	RC조 기존건축물 성능평가지침 초안	신뢰도	80%	100	보고서	한양대	38	- 목표 : 보고서 : 1건 - 달성(100%초과) : 보고서 : 1건 - 학술발표(국내) : 2건 - 국내(비SCI)논문 : 2건
		12-2	조적채움벽 골조 현황조사 보고서	자료분석의 충실도	90%	100	보고서	한양대	60	- 목표 : 보고서 : 1건 - 달성(100%초과) : 보고서 : 1건 - 학술발표(국내) : 2건 - 국내(비SCI)논문 : 1건 - SCI논문 : 1건
		12-3	성능평가모델	성능평가 정확성	80%	100	모델비교	한양대	225	- 목표 : 특허출원 : 1건 - 국내(비SCI)논문 : 1건 - 달성(100%초과) : 특허출원 : 2건 - 국내(비SCI)논문 : 1건
		12-4	성능평가지침서	적용성	90%	100	지침서	한양대	130	- 목표 : 보고서 : 1건 - 현장적용 : 1건 - 국내(비SCI)논문 : 1건 - 달성(100%초과) : 지침제안 : 1건 - 현장적용 : 1건 - 국내(비SCI)논문 : 1건
		12-5	조적채움벽 골조 보강상세 개발	강도 증가	150%	100%	보고서	한양대	103	- 목표 : 국내(비SCI)논문 : 2건 - 달성(100%초과) : 국내(비SCI)논문 : 2건 - 학술발표(국내) : 3건
				변형능력	유지					
		12-6	조적채움벽 골조의 구조보강지침 개발	적용성	적용성 90%	100%	보고서	한양대	49	- 목표 : 보고서 : 1건 - 특허출원 : 1건 - 달성(100%초과) : 보고서 : 1건 - 학술발표(국내) : 1건 - 특허출원 : 1건
13	RC골조 부재별 표준보강상세 및 성능보강기준	13-1	내진설계기준이 미적용된 기존 RC골조 건축물 실태 보고서	건물 부재 표본 수량	50건	100	보고서	송실대	59	- 목표 : -보고서 1건 -논문 1건 - 달성(100%)
		13-2	내진설계기준이 미적용된 기존 RC부재 구조성능 실험 보고서	보고서	1건	100	실험계획 및 결과의 적절성	송실대	58	- 목표 : -보고서 1건 -논문 1건 -학술발표 1건 - 달성(100%)
	RC골조 부재별 표준보강상세 및 성능보강기준	13-2	국내 비내진 상세 RC 부재 구조성능 실험보고서	구조 성능	-	100	실험결과보고서 (실험계획 및 결과의 적절성)	송실대	161	- 목표 : -논문 1건 - 달성(100%초과) : -논문 1건 -보고서 2건 -학술발표 2건
		13-3	표준보강상세 RC골조 구조성능 실험보고서	구조 성능	150% 향상	100	실험결과보고서 (실험계획 및 결과의 적절성)	송실대	185	- 목표 : -논문 1건 - 달성(100%초과) : -논문 1건 -보고서 1건 -학술발표 2건
	RC골조 부재별 표준보강상세 및 성능보강기준	13-3	내진설계기준 미적용 상세 및 표준상세로 보강된 RC보	실험 보고서	2건	100	내용의 타당성	송실대	42	- 목표 : -논문 1건 - 달성(100%초과) :

					예제 수록						-학술회의 1건
		16-5	기존 강구조 내진 보강 지침(안)	신뢰도 적용성	단계별 보강 절차 수립; 보강안 예제 수록	신뢰도 80% 적용성 80%	100%	AHP	서울대		▪ 목표 : -논문 1건 ▪ 달성(100%초과) : -논문 1건 -현장적용 1건
17	기존 강구조 구조성능평가 및 지침 개발	17-1	구조요소 성능분석	신뢰도	실험결과	신뢰도 80%	100%	보고서제출여부 및 연구내용 검증	단국대		▪ 목표 : -보고서 2건 ▪ 달성(100%초과) : -보고서 2건 -학술발표 1건
		17-2	성능평가모델	기술력향상	평가 적용	기술력 90%	80%	보고서제출여부 및 연구내용 검증	단국대		▪ 목표 : -논문 2건 -S/W 등록 2건 - 학술발표 1건 ▪ 달성 : -논문 1건 -S/W등록 2건 -학술발표 1건
		17-3	기존 강구조 건축물 구조성능평가 지침 개발	기술력향상	평가 적용 예제	기술력 90% 이상	120%	예제집	단국대		▪ 목표 : -논문 1건 -지침 1건 -예제집 1건 -특허출원 1건 ▪ 달성 : -논문 2건 -지침 1건 -예제집 1건 -학술발표 1건
18	지진 및 이상기후 대비 강재이용 보강 설계 지침서	18-1	구조성능분석	신뢰도	실험결과	신뢰도 80%	100%	보고서제출여부 및 연구내용 검증	충남대		▪ 목표 : -보고서 1건 ▪ 달성(100%초과) : -보고서 1건 -학술발표 2건 -인력양성 1건
		18-2	강재이용 보강기술 개발	보강 기술 수준	실물 실험	현수준 50%→70%	100%	보고서제출여부 및 연구내용 검증	충남대		▪ 목표 : -특허출원 1건 -논문 1건 -보고서 1건 -학술회의 1건 ▪ 달성 : -특허출원 1건 -논문 1건 -학술회의 8건
		18-3	강재이용 건축물 보강설계지침 개발	적용성	AHP	적용성 90%	100%	지침서	충남대		▪ 목표 : -논문 2건 -학술회의 1건 ▪ 달성 : -논문 2건 -학술발표 10건 -인력양성 1건
19	기존건축물 구조평가/보강 전산시스템	19-1	기존건축물 전산시스템 프로세스 및 원형	투입 비용	인력 투입 시간	기존대비 50% 절감	100%	보고서	창민우	199	▪ 목표 : - S/W 1건 - 현장적용 1건 ▪ 달성 : - S/W 2건 - 학술발표 2건 - 특허출원 1건 - 현장적용 2건
		19-2	IT기반 구조성능평가 프로세스 및 자동화 모듈	투입 비용	인력 투입 시간	기존대비 50% 절감	100%	보고서	창민우	450	▪ 목표 : - 논문 1건 - S/W 1건 - 현장적용 1건 ▪ 달성 : - 논문 1건 - 학술발표 9건 - S/W 1건 - 현장적용 2건
		19-3	전산기반 구조보강 프로세스 및 자동화 모듈	투입 비용	인력 투입 시간	기존대비 50% 절감	100%	보고서	창민우	209	▪ 목표 : - 논문 1건 - S/W 1건 - 현장적용 1건 ▪ 달성 : - S/W 3건 - 현장적용 2건

			19-4	실무적용을 위한 전산 활용 환경	신뢰 도	기존 대비 비교	신뢰도 20% 제고	100%	시연	창민우	155	보고서 1건 ▪ 목표 : 특허출원 1건 논문 1건 S/W 1건 현장적용 1건 저작 1건 ▪ 달성 : 특허출원 1건 논문 4건 S/W 2건 젯가 1건
	20	기존건축물 구조성능개선 교육프로그램	20-1	기존건축물 구조성능개선 교육프로그램	만족 도	설문 조사	만족도 80%	100%	보고서	창민우	106	▪ 목표 : 특허등록 1건 논문 1건 S/W 1건 현장적용 1건 저작 2건 ▪ 달성 : 특허등록 1건 논문 1건 S/W 1건 현장적용 1건 저작 2건
	21	주거/상업시설의 내 진보강을 위한 진동 제어장치 개발	21-1	주거/상업시설 진 동제어장치 형상/ 용량 분석	해석 의 정밀 도			95 W%	구조해석	성균관 대	68	▪ 목표 : 논문 1건 ▪ 달성 : 특허등록 1건 논문 4건 특허 1건
			중소형 진동제어장 치 성능평가	실험 의 정밀 도		기준만족		실험	성균관 대	130		
21-2			내진보강을 위한 복합 감쇠장치 개 발	성능 향상	실험 검증	에너지소산 성능향상30%	30%	논문게재	성균관 대		▪ 목표 : -특허 3건 -SCI논문 10건 ▪ 달성 : -특허등록 3건 -SCI논문 12건	
	22	공공/학교시설의 진 동제어형 내진보강 기법 개발보고서	22-1	진동제어장치 현황 조사보고서	성능 향상	보고 서 내용	성능향상70%	100%	보고서제출여부 및 연구내용 검증	부산대	130.7	▪ 목표 : -보고서 1건 ▪ 달성(100%초과) : -보고서 1건 -국내학술발표 4건 -S/W등록 1건
22-2			진동제어장치 형상 개발 및 성능평가 보고서	성능 향상	보고 서 내용	성능향상70%	100%	보고서제출여부 및 연구내용 검증	부산대	287.4	▪ 목표 : -보고서 1건 -특허출원 1건 -국내게재논문 1건 ▪ 달성(100%초과) : -보고서 1건 -국내학술발표 7건 -국제학술발표 1건	
22-3			진동제어형 내진보 강설계기법 개발보 고서	설계 절차 의 정밀 도/실 설계 적용 성향 상	보고 서 내용	적용성향상70 %, 설계일반화80 %	100%	보고서제출여부 및 연구내용 검증	부산대	115.0	▪ 목표 : -보고서 1건 -SCI논문 1건 ▪ 달성(100%초과) : -보고서 2건 -특허출원 2건 -국내학술발표 4건 -국내게재논문 2건	
22-4			진동제어형 내진보 강기법 및 성능평 가보고서	내진 안전 성 및 경제 성 향상	보고 서 내용	내진안전성향 상70%, 경제성향상10 %	100%	보고서제출여부 및 연구내용 검증	부산대	104.4	▪ 목표 : -보고서 1건 -특허출원 1건 -국내게재논문 1건 ▪ 달성(100%초과) : -보고서 2건 -국내학술발표 9건 -국내게재논문 1건	
	24	진동제어형 내진보 강 설계매뉴얼, 설 계검토매뉴얼, 시공 매뉴얼	24-1	진동제어형 내진보 강설계/설계검토/ 시공매뉴얼	실설 계 적용 성향 상	보고 서 내용	적용성향상70 %	100%	보고서제출여부 및 연구내용 검증	부산대	72	▪ 목표 : -보고서 1건 -SCI논문 1건 -국내게재논문 2건 ▪ 달성(100%초과) : -보고서 1건 -특허등록 2건 -국내학술발표 11건 -국제학술발표 3건 -SCI논문 1건
3 세 부	25	소규모건축물 현황보고서 및 구조안전백서	25-1	소규모건축물 현황보고서 (건축사회 위탁)	①	조사 타당 성	200건 이상	80%	보고서	이화 여대	55.371	연구보고서 2건 (0건) 기타 0건 (2건)

		25-2	소규모건축물 구조안전백서	①	case study 분석 건수	15건	100%	보고서	이화 여대	93.791	국내논문 0건 (1건) 연구보고서 1건(0건) 학술발표 2건 (0건) 기타 0건(1건)
				②	설계 사양 도출 건수	5건	100%	보고서	이화 여대		
26	소규모 건축물 사양중심 구조설계기준 및 해설 (안)	26-1	소규모건축물 사양중심기준 초안	①	기준 적합 성	-	100%	전문가 검증	이화 여대	177.41 2	연구보고서 3건 (0건) 기타 1건 (0건)
		26-2	소규모 건축물 부재제시형 구조설계기준 및 해설 (안)	①	기준 적합 성/활 용성	-	100%	기준(안)	이화 여대	183.06 2	기준안 1건(1건) 기준제정 1건(0건) 연구보고서 1건 (0건) 기준 및 해설 5건(0건) 국내 논문 1건 (1건) 기고 3건 (0건) 학술발표 4건 (0건)
27	소규모건축물 사양설계기준 및 상세 보급을 위한 홈페이지	27-1	사양중심 설계예제집/매뉴 얼	①	설계 예제 수	6개	150%	보고서	이화 여대	110.74 1	연구보고서 1건 (2건) 학술발표 2건 (0건) 기타 0건 (1건)
		27-2	홈페이지 구축	①	컨텐 츠 우수 성	-	100%	제작	이화 여대	140.12 1	SW 1건 (1건)
				②	사용 편리 성	-	100%	사용자 검증			
28	콘크리트조 소규모 건축물 구조성능 분석 실험평가 보고서	28-1	기존 상세 분석	①	Pilot 실험	1건	1건	보고서	서울대	95	연구보고서 2건 (2건) 학술발표 2건 (1건)
				②	기존 상세 분석	1건	1건	보고서			
		28-2	기존/대안상세 구조실험	①	기존 상세 실험 검증	3건	3건	보고서	서울대	385.5	연구보고서 4건 (2건) 국내논문 1건 (1건) 학술발표 2건 (1건)
				②	지진 하중 재정 의	1건	1건	보고서			
				③	대안 상세 실험 검증	2건	2건	보고서			
29	콘크리트조 소규모 건축물을 위한 표준구조상세(안) 및 테스트베드 적용 보고서	29-1	표준 구조상세	①	표준 상세 개수	6건	6건	보고서	서울대	33	연구보고서 2건 (1건) 국내논문 1건 (1건) 기술기고 1건 (0)
				②	테스 트베 드 적용 을 위한 표준 상세 적용 성 검토	1건	1건	보고서	서울대	74	연구보고서 1건 (1건) 국내논문 1건 (1건) 학술발표 1건 (1건)
		29-2	설계예제 개발	①	예제 집 작성	3건	3건	보고서	서울대	20	연구보고서 1건 (1건)

		29-3	테스트베드 적용	①	테스트베드	1건	1건	보고서	서울대	59	연구보고서 1건 (1건) SCI 논문 2건 (1건) 학술발표 1건 (1건) 특허 1건 (0건)
30	전국단위 소규모 건축물 DB 및 통계분석 보고서	30-1	전국단위 소규모 건축물 DB화	①	S/W 등록	1건	1건	S/W 등록	한국건설기술연구원	35.3	국내논문 0건 (1건) SW 1건 (1건) 연구보고서 1건 (1건) 학술발표 3건 (0건)
			전국단위 소규모 건축물 분포도 조사	②	전국단위 소규모 건축물 통계 분석	1건	1건	보고서 및 학술발표		29.8	
31	소규모 조적조/경량철골조 건축물의 사양구조설계를 위한 표준구조상세(안)	31-1	기존/대안 상세 구조실험	①	기존 상세 분석	1건	1건	전문가검토		60	국내논문 0건 (1건) 연구보고서 1건 (1건) 학술발표 4건 (0건)
				②	기존/대안 상세 실험 검증	1건	1건	보고서 및 학술발표	한국건설기술연구원	317.5	
		31-2	표준상세 구조실험	①	표준 상세 실험 검증	1건	1건	1건	한국건설기술연구원	50.0	국내논문 0건 (2건) 특허 : 0건 (1건) 학술발표 2건 (0건)
				②	대안 상세 실험 검증	1건	1건	1건	한국건설기술연구원	45.7	
				③	표준 상세 실험 검증	1건	1건	보고서, 예제집	한국건설기술연구원	50.0	국내논문 2건 (0건) 국외논문 2건 (0건) 연구보고서 1건 (1건) 예제집 0건 (1건) 학술발표 1건 (0건)
				④	표준 상세 실험 검증	1건	1건	보고서		5	
32	소규모 건축물 구조안전성 확보를 위한 제도 개선 방안	32-1	소규모 건축물 구조안전성 확보 감리/사용허가제도 개정	①	소규모 건축물 감리/사용허가제도 개선	1건		정책제안	한국건설기술연구원		국내논문 2건 (1건) SCI급논문 2건 (0건) 연구보고서 1건 (1건) 정책제도 : 1건 (1건) 특허 1건 (1건)

2. 관련 분야 기여도

[1세부]

- **핵심연구성과 (1)** “건축물 구조안전성 확보를 위한 내진성능목표 개선 및 KBC 설계지진하중 정의”를 통해 “국가 내진성능의 목표 및 시설물별 허용피해의 목표 설정”에 상응하는 “건축물 내진성능 목표” 및 내진 성능 수준 및 건축물의 중요도에 따라 최소 수준의 설계 지진을 제안함. 이 결과는 안전행정부(구 국민안전처)의 내진 설계기준 공통적용사항에 반영됨. 본 연구 이전에는 건축물의 설계 지진 하중 및 성능 목표가 토목 구조물의 설계 지진 하중 및 성능 목표와 달랐으며, 각 분야의 전문가들의 의견이 좁혀지지 않아 공통 기준을 도출하기 어려웠으나, 본 연구에서 실시한 다수의 정책 및 기술 포럼 등을 통해 전문가의 의견을 수렴할 수 있었음.
- **핵심연구성과 (1)**에서는 한반도 지진학적 특성을 반영한 합성 지진파를 개발하였으며, “한반도 지진 특성을 고려한 합성 지진파 생성 프로그램(SPEC GMG)”으로 배포함. 기존의 합성지진파 개발 프로그램은 미동부지역의 지진학적 특성을 이용하였거나, 매우 제한된 개수의 기록 지진파를 이용하여 개발되었음. 이를 보완하기 위하여 2016년 경주지진, 2017년 포항지진 등 한반도 기록 지진파뿐만 아니라, 이를 바탕으로 한반도 지진학적 모델을 이용한 수천 개의 발생 가능한 합성 지진파를 이용하여, 신뢰할 수 있는 지반운동예측식을 개발하였음. 이 예측식으로 개발된 프로그램인 SPEC

GMG는 지진 시나리오(규모, 거리, 지반조건)등을 입력하면, 랜덤한 합성 지진파를 출력할 수 있으며 현 설계 지진 스펙트럼과도 비교할 수 있음. 또한 이 프로그램은 GUI 기반 프로그램으로서 실무 엔지니어가 성능기반내진설계/평가 시 쉽게 사용할 수 있음.

- **핵심연구성과 (2)** “건축물 구조안전성 확보를 위한 정책·제도 개발”을 위해 전문가 의견을 수렴할 수 있는 다수의 정책 및 기술 포럼, 국내 심포지엄, 국제 심포지엄, 공청회 등을 개최하였으며, 이로 인해 현 지진 관련 정책/제도의 문제점을 공감하고 개선방안(가이드라인)을 제안할 수 있었음. 지진피해경감을 위한 정책/제도 가이드라인과 지진보험 가이드라인은 추후 국토부 및 안전행정부 소관 정책/제도(내진 설계/평가 관련 정책 및 풍수해 보험) 수립에 기여할 것으로 판단됨.
- **핵심연구성과 (3)** “확률기반 성능 평가 지침을 이용한 현행 기준 개선(안)”을 위해 전문가 의견을 수렴할 수 있는 다수의 정책 및 기술 포럼, 지진공학회 성능기반설계 공동위원회 동계세미나 (포항지진과 성능 기반설계 개선방향)(2018.1) 등을 개최하였으며, 이로 인해 현 지진 관련 정책/제도에서 성능기반설계 지침에 대한 명확한 성능목표와 이에 따른 모델링과 지반운동 선정에 대한 가이드라인을 실무 구조엔지니어에게 제시할 수 있었음.
- **핵심연구성과 (4)** “성능기반 건축물 내진설계/평가 통합지침 개발”을 위해 전문가 의견을 수렴할 수 있는 다수의 정책 및 기술 포럼, 지진공학회 성능기반설계 공동위원회 동계세미나 (포항지진과 성능 기반설계 개선방향)(2018.1) 등을 개최하였음. 이러한 포럼, 세미나 등을 통해 건축물에 대해 사양설계뿐만 아니라 건축주가 보다 업그레이드된 성능을 요구할 때 반영할 수 있도록 통합지침을 기반으로 명확한 내진성능 목표를 확률적으로 달성할 수 있는 정량적인 신뢰도를 제공할 수 있고 이를 통해 보다 명확한 구조물의 안전과 경제성을 확보할 수 있음.
- **핵심연구성과 (5)**에서 제시한 건축법 시행령 제 118조제4항 등을 통하여 2년마다 구조안전 점검 실시를 하는 법령을 제정함과 동시에 ‘공작물 구조안전 점검표’ 및 ‘공작물의 유지·관리 점검표’를 통하여 공작물의 구조안전성을 확보하였다고 판단됨. (기존의 공작물은 신고/미신고 대상으로 분류되었으며, 허가대상은 없음) 또한 이를 가이드로 제작하여 각 지자체의 관계공무원의 의사결정과 액션플랜의 설정, 철탑 형식의 공작물에 대한 태풍 및 강풍에 의한 재해경감 대응방안 수립에 많은 도움을 줄 것으로 판단됨.
- **핵심연구성과 (5)**의 ‘비구조재 가이드’ 및 ‘온라인 가이드’를 통해 비구조재 내진설계의 중요성을 재인식하는데 기여하기를 기대함. 비구조재의 내진보강 및 내진설계는 구조재에 비해 범위가 넓고 거동 또한 복잡하므로, 내진보강 솔루션을 개발하는데 어려움이 있었으며, 그동안 내진설계 관련 연구나 지침서 등이 대부분 구조재를 대상으로 하였음. 이번 KBC 개정안 등 비구조재에 대한 내진설계/보강이 중요하다는 인식이 확산되었다고 판단, 제도개선 및 정책반영이 이루어지고 있는 단계라고 판단됨.
- **핵심연구성과 (6)**의 내진보강 관련 정책·제도에 관한 Action Plan(안)은 기존 정책·제도에서 미비한 한계점에 대한 개선방향을 제시하였다는 측면에서 관련 부서에서 활용도가 높으며, 지진위험 관리를 위해 추가적인 정책·제도 개발에도 참고가 될 수 있음. 또한 이 연구 내용은 2016년 국민안전처 2단계 “내진보강 기본계획”에 반영되었음.

[2세부]

- **핵심연구성과(8)**의 국내 기존건축물 내진평가 및 향상 지침은 현행 시설안전공단의 기존 건축물 내진평가요령을 국내 실정과 연구결과를 반영하여 개선한 것으로 국내 기존 건축물의 내진 안전성 증가에 기여할 것으로 판단됨.
출판된 기존건축물 내진성능평가지침의 부록 내용의 현장적용 후 보완 및 개선예정 (예:미준수 시 조치사항에 대한 가이드 필요, 지진운동세기 표 재 표시 등)
- **핵심연구성과(9, 11)**는 비내진 RC벽체의 내진성능검증 및 표준보강상세 및 현장적용에 따른 내진 안전성 20%, 경제성 50%, 시공성 30% 향상에 기여함.
- 내진보강공법에 적합한 내진보강설계/공사절차의 제시는 지진재해대책법에 따른 국토부 소관 시설물의 종합적 내진보강대책에 기여할 것으로 판단됨
- **핵심연구성과(13)**에서 도출된 연구내용은 연구단의 ‘내진성능평가지침’, ‘내진성능향상지침’ 중 철

근콘크리트구조(4장), 비구조요소(8장) 작성에 기여함.

○ 핵심연구성과(13)는 비내진 상세 및 표준상세 보강 RC골조 부재의 구조성능평가 실험으로서, 기초 연구 원천자료로서 기여함.

○ 핵심연구성과(13)의 보강 후 비선형 성능평가법은 내진보강 후 강도뿐만 아니라 변형능력을 예측하는 기술로서, 실무활용도 제고에 기여할 것으로 판단됨.

○ 핵심연구성과(14)의 연구내용에서 콘크리트용 앵커는 대다수의 콘크리트 건물 내진보강 공법에서 보강재를 부착하기 위해 이용되므로 본 연구에서 제안된 콘크리트용 앵커 내진설계 지침은 연구단의 “기존건축물 내진성능평가지침” 및 “기존건축물 내진성능향상지침”에 반영되어 국내 대다수 내진보강 프로젝트에 적용됨으로써 경제적이고 신뢰도 높은 내진성능 확보가 가능할 것으로 판단됨.

○ 핵심연구성과(15)의 필로티형 건물 하부구조 성능실험을 통해 제안된 벽체성능평가 모델은 필로티형 건물 이외에도 철근콘크리트 전단벽이 설치된 모든 건축물에 폭넓게 적용 가능하여 관련 건축물의 내진성능평가 정확도 향상에 기여할 것으로 판단됨.

○ 핵심연구성과(15)에 따라 경제적 RC 채움벽 보강상세에 대한 비용절감을 통해 지진에 취약한 대표적 민간 주거건축 형태인 필로티형 다세대/다가구 건축물의 내진보강 활성화에 기여하여 민간 취약 건물 재난 안전성을 향상시킬 것으로 예상됨.

○ 핵심연구성과(19)에서 비선형해석 프로그램 적용의 전처리 과정으로 개발된 전산시스템 및 알고리즘을 기반으로 총 8건의 S/W 저작권 등록과 9건의 현장적용 실적을 수행함. 또한 진행된 현장적용 및 연구내용을 바탕으로 9건의 논문 실적을 달성함.

○ 핵심연구성과(19)는 비선형해석을 이용하여 내진성능평가를 진행하기 위한 전처리 작업으로 적용 결과, 인력투입시간 50% 감소 효과를 보임.

○ 핵심연구성과(20)에서 개발된 기존시설물의 내진성능평가/보강에 대한 교육을 통해 민간업체의 전문화 및 용역수행의 정밀도, 정확도 향상, 관련 공무원의 기존시설물의 구조평가/보강에 대한 이해도 향상으로 원활한 커뮤니케이션에 기여할 것으로 예상됨

○ 핵심연구성과(21)에서 도출된 연구내용은 내진보강 전문업체에 기술이전되어 국내 학교 및 관공서의 내진보강에 기여함.

○ 본 연구를 통하여 개발된 최적 설계 및 생애주기산정 기법은 국내 내진보강 설계기법 정립에 기여함.

○ 핵심연구성과(22, 24)에서 도출된 연구내용은 연구단의 ‘내진성능향상지침’ 중 에너지소산시스템(9장) 설계요구조항의 작성에 기여함.

○ 핵심연구성과(22, 24)는 진동제어형 내진보강설계를 지침화한 것으로, 실설계 적용성 70% 향상 및 성과 적용에 따른 내진안전성 70%, 경제성 10% 향상에 기여함.

○ 핵심연구성과(22, 24)는 향후 실무자의 현장적용 및 실설계에 의한 검증 후 진동제어형 내진보강 설계, 설계검토, 시공지침 개발에 대한 핵심 근거자료에 기여 및 실무활용도 제고에 충실히 기여할 것으로 판단됨.

○ 내진보강공법에 적합한 내진보강설계/공사절차의 제시는 지진재해대책법에 따른 국토부 소관 시설물의 종합적 내진보강대책에 기여할 것으로 판단됨.

○ 연구총람의 색인 작업 후 웹사이트를 통해 연구실적 홍보 및 공개, 1-5차년도 연구결과 데이터 베이스 활용 확대.

[3-1세부 이화여자대학교]

○ 핵심연구성과(25)에서 도출된 연구내용은 국내 실정에 맞는 소규모 건축 구조 기준을 작성할 수 있도록 현황 파악이 가능하였으며, 국내외 기준을 비교 분석하여 기준의 방향성을 제시하는데 기여 하였음.

○ 핵심연구성과(27)는 소규모건축구조기준이 사용자에게 보다 쉽게 제공될 수 있도록 홈페이지를 제작하여 활용성을 더욱 높이는데 기여하였음.

○ 일반목구조 및 전통 목구조의 내진설계 및 내진성능평가 관련 연구 확대 및 후속연구 필요성.

[3-2세부 서울대학교]

○ 핵심연구성과(28)는 안전 사각지대에 있는 콘크리트조 소규모 건축물의 구조안전성과 내진성능 확보를 위해 소규모 건축물에 특화된 대안철근 상세를 개발하고, 대안철근 상세의 내진성능을 실험적으로 검증하였음. 연구결과를 바탕으로, 2017년에 새롭게 개정된 『소규모 건축구조기준』에 콘크리트조 건축물의 대안철근 상세안을 추가하였고, 다수의 연구보고서/기술기고/국내외 논문 작성 및 국내외 학술발표를 통해 연구성과를 공유하였고, 우수한 연구성과를 달성하였음.

○ 핵심연구성과(29)에서는 설계사양에 따른 구조요소별 표준화된 구조 상세 제시하였고, 대안상세 적용을 위한 설계 예제 개발 및 테스트베드 적용을 통해 개발된 대안상세의 시공성과 현장 적용성을 검증하였음.

[3-3세부 건설기술연구원]

○ 핵심연구성과(30,31)에서 도출된 연구내용은 기존 소규모 조적조/철골조 건축물의 내진성능 확인/검증을 통해 소규모 철골조에 적용가능한 주각부 및 보/기둥 접합부의 구조제원, 접합제원 상세 마련과 소규모 조적조에 적용가능한 대안상세(Tie-beam/tie-column)를 소규모건축구조기준/해설(강구조 KDS 41 90 31, 조적식구조 KDS 41 90 34)반영에 기여함.

○ 핵심연구성과(32)는 소규모건축구조기준을 적용한 건축물의 특별상세의 적합여부 확인과 이를 확인하는 절차를 개정하여 소규모 건축물 구조안전성 확보를 위한 감리제도/사용승인 등 개정(안) 반영에 기여함.

제5장. 연구개발성과의 활용계획

[1세부]

- **핵심연구성과(1)**에서 제안한 한반도 재해 위험도를 반영한 합리적인 내진성능목표 및 설계하중 개발을 통해, 현행 사양중심의 기준을 보완하고, 과다설계를 막을 수 있을 것으로 기대함. 또한 건축물에 대해 요구되는 내진성능 목표를 명확히 확보하여 안전성, 경제성을 확보할 수 있음.
- **핵심연구성과(1)**인 한반도 지진학 특성을 반영한 합성 지진파를 건축물의 내진성능설계 및 평가에 강진 기록 지진파를 대신하여 사용할 경우, 과다 설계를 막을 수 있을 것으로 판단됨. 또한 개발된 “한반도 지진 특성을 고려한 합성 지진파 생성 프로그램(SPEC GMG)”은 지진 시나리오(규모, 거리, 지반조건)에 따른 지진파를 쉽게 출력할 수 있으며, 실무에서 사용 가능함. 지반운동모델(GMM) 및 지반운동에측식(GMPE)의 도출 과정을 SCI(E)급 논문과 본 연구 보고서를 통해 공개하였으며, 타 연구자들도 한반도 지진학적 모델을 수정 및 보완할 수 있도록 함.
- **핵심연구성과(2)**의 지진피해경감을 위한 정책/제도 가이드라인(지진피해 경감 가이드라인, 민간 내진보강 촉진 정책, 기술자의 역할 및 책임 가이드라인, 동료 평가 제도, 긴급 위험도 평가 제도)은 추후 국토부 및 안전행정부 소관 정책/제도(내진 설계/평가 관련 정책 및 풍수해 보험)수립에 기여할 것으로 판단됨. 정책적인 측면은 요구되지만 실행되기 어렵기 때문에, 기초자료 제공을 목표로 해외 사례를 통한 지진피해저감 정책 가이드라인을 제시하였음. 추후 정책 방향에 도움이 될 것으로 기대함. 2016 경주지진/2017 포항지진 이후 지진보험의 필요성이 높아지고 있으나, 현 우리나라에는 지진에 특화된 정책성 보험 및 제도가 존재하지 않음. 현재 지진보험관련 사례조사는 강진지역인 미국 캘리포니아와 일본의 보험제도에 치중 되어 있으나, 본 연구에서는 중약진지역의 현 지진보험 제도 및 효율과 우리나라의 현 풍수해 보험과 비교/분석함. 이는 추후 보험 정책에 도움을 줄 것으로 기대함.
- **핵심연구성과(3)**은 한국형 성능목표를 설정하여 중약진지역에 위치한 국내 여건에 맞는 내진성능목표를 설정하며, 성능기반 내진설계 및 평가 통합지침을 개발하여 실무에 활용될 수 있음.
- **핵심연구성과(4)**의 “통합 내진설계·평가지침” 등 최종성과물의 보급·확산을 위한 구체적 계획 제시-실무 관련 전문가 자문을 통한 지침서 검증, 실무 엔지니어 및 학계 연구자를 초청한 기술세미나 실시, 관련 자문 의견 청취, 세종대학교 지진공학회 성능기반설계 공동위원회 동계세미나 (포항지진과 성능기반설계 개선방향)



- **핵심연구성과(5)**의 연구 성과물로 제시된 ‘강풍 대비 공작물 구조안전 점검 가이드’, ‘강풍에 대비한 아파트 발코니창 안전가이드’, ‘비구조재 지진안전을 위한 설계·시공 가이드 I, II’를 온라인가이드로 제작함 (<http://nspecguide.com>). 이를 통하여 태풍 및 강풍에 대한 공작물의 인명, 재산피해 감소효과, 비구조재의 지진안전 의식 향상 등에 기여할 수 있고, 공작물 관련 건축구조설계사 및 사용자, 지자체 공무원 및 연구자 등 다방면으로 활용 가능할 것으로 판단됨. 또한 온라인 가이드는 연구종료 이후에도 지속적인 콘텐츠를 업데이트하여 공작물과 비구조재에 대한 안전 가이드를 제공할 예정임.
- 1-2세부 이기학 교수는 2016 건축구조기준(KBC)에서 지진 하중편 집필위원과 개정위원회 총괄간사로 활동하였으며 1세부 **핵심연구성과 (1)~(6)**을 바탕으로 발전된 연구와 지식을 통해 내진설계기준이 개정될 수 있도록 역할을 함. 또한 현재 차기 건축구조기준 개정안에 대해서 신설되는 15장 내진설계 장의 집필위원으로 활동하고 있음.
- 연구 종료 이후, SPEC 연구단 위원회(내진설계기준작성위원회, 이상기후대응설계지침위원회)를 통해 본 연구 결과가 건축법 (KBC 포함) 및 지진화산재해대책법 등에 반영될 수 있도록 활동할 예정임. 또한 기술적 성과물은 추후 SCI(E)급 논문 및 학술발표를 통해 지속적으로 발표할 예정임.

[2세부]

- 핵심연구성과(8)는 국내 기존 건축물의 내진성능이 미흡한 경우 내진성능향상 설계 및 시공을 위해 필요한 정보를 제공하며, 지진재해저감을 위한 제도적인 정비와 함께 우리나라 건축물의 안전성 확보를 위해 실용적으로 적용되면서 지속적인 개선을 통해 우리나라 내진 안전성 향상에 기여할 것으로 판단됨.
- 핵심연구성과(10)에서 개발한 초공성능콘크리트를 활용한 비내진 RC구조 보강법은 요구 보강 성능이 큰 경우나 기존 구조의 손상이 심한 경우 등 기존 보강법 적용이 어려운 경우에 활용될 수 있는 보강방법으로 실무에 활용될 것으로 기대됨.
- 국내 RC벽식구조의 내진안전성 및 시공성이 향상된 내진보강공법 개발을 통하여 구조전문가를 포함한 관련 업체 실무자들이 적극적으로 활용할 것으로 예상됨.
- 핵심연구성과(13)는 향후 내진성능평가기준 및 내진보강기준 개발에 대한 핵심 근거자료로 활용될 것이며, 실무활용도 제고가 가능할 것으로 판단됨.
- 핵심연구성과(13)의 보강 후 비선형 성능평가법은 내진보강 후 강도뿐만 아니라 변형능력을 예측하는 기술로서, 실무활용도 제고에 기여할 것으로 판단됨.
- 핵심연구성과(14)의 콘크리트 앵커 내진설계 지침 개발을 통해 후설치 앵커가 포함되는 구조재 및 비구조재의 내진보강 접합부 안전도 확보가 용이함. 연구단의 “기존건축물 내진성능평가지침” 및 “기존건축물 내진성능향상지침”에 반영되어 출판될 예정임.
- 핵심연구성과(15)는 필로티형 건물 하부구조 성능실험을 통해 제안된 벽체 모델은 연구단의 “기존 건축물 내진성능평가지침”에 반영하여 내진성능평가 및 보강 실무에 활용하도록 함.
- 다세대 주택에 많이 쓰이는 필로티형 건물의 콘크리트 채움벽 보강상세 구조성능실험 결과는 필로티 형태의 취약한 민간 및 공공 건축물 내진보강에 활용함.
- 향후 지속적 업데이트를 통해 국내에서 사용되는 강구조재료, 상세 등의 특성을 반영할 수 있도록 하여, 합리적인 보강전후 건축물의 내진성능평가 및 보강기술 정립
- 강/합성건축물 성능평가 및 보강기술 지침 마련을 통한 제도적 시스템 구축개발에 활용
- 비선형 해석을 이용한 기존건축물의 내진성능평가/보강 진행 시, 검증된 비선형 해석 프로그램으로의 변환에서 개발된 전산시스템을 적용함으로써 투입시간 감소와 정확도 향상의 효과를 기대함
- 실무자 및 관련 공무원 교육프로그램 개발에 따라 내진성능평가/보강에 있어 실무자의 전문성 증대, 관련 공무원의 성능기반 내진성능평가/보강의 전반적 파악을 통해 실무자들과의 원활한 커뮤니케이션을 기대함
- 국내 공공건축물 구조형식에 적합하며 내진안전성 및 시공성이 향상된 진동제어형 내진보강공법 및 설계절차상 편리성이 향상된 진동제어형 내진보강설계프로세스 개발을 통하여 구조전문가를 포함한 관련 업체 실무자들이 적극적으로 활용할 것으로 예상됨.
- 핵심연구성과(22, 24)에서 도출된 연구내용은 연구단의 ‘내진성능향상지침’ 중 에너지소산시스템(9장) 설계요구조항의 작성에 기여함.

-
- 핵심연구성과(22, 24)는 진동제어형 내진보강설계를 지침화한 것으로, 실설계 적용성 70% 향상 및 성과 적용에 따른 내진안전성 70%, 경제성 10% 향상에 기여함.
 - 핵심연구성과(22, 24)는 향후 실무자의 현장적용 및 실설계에 의한 검증 후 진동제어형 내진보강 설계, 설계검토, 시공지침 개발에 대한 핵심 근거자료에 기여 및 실무활용도 제고에 충실히 기여할 것으로 판단됨.
 - 내진보강공법에 적합한 내진보강설계/공사절차의 제시는 지진재해대책법에 따른 국토부 소관 시설물의 종합적 내진보강대책에 기여할 것으로 판단됨.
 - 테스트 베드 및 시공에 대한 사후관리를 위한 연구과제: 보수 보강 품질관리 연구, 보강 성능확인을 위한 현장 관리 및 검증 연구

[3-1세부 이화여자대학교]

- 핵심연구성과(26)은 비구조전문가가 수행하고 있는 국내 소규모 건축물 설계/시공 관행을 고려하여, 복잡한 계산 없이 구조안전성을 확보할 수 있도록 설계사양 별 구조 상세를 직접 제시하는 구조설계기준의 활용
- 외국과 상이한 국내 소규모건축물의 평면, 입면 등 구조특성과 설계/시공 현황을 반영할 수 있는 특화된 구조기준이기에 국내 사용자의 활용가능성 높음
- 건축법의 사각에 놓인 소규모 건축물의 구조안전성을 확보함으로써, 최소의 비용으로 자연재해에 대한 인명/재산 피해 절감 및 국가 안전망 구축
- 소규모건축물 건축행위 관행을 고려하여 비구조전문가를 대상으로 한 설계테이블 및 상세 표준화를 통한 활용성 증대
- 핵심연구성과(27)은 웹기반으로 소규모건축 구조 기준의 접근성을 매우 용이하게 하여 사용자게 편리하게 사용할 수 있음

[3-2세부 서울대학교]

- 새롭게 개발되는 소규모 구조기준에 콘크리트조 건축물의 표준 구조상세 반영
 - 구조 성능평가 결과를 바탕으로 시공성이 고려된 대안철근 상세 반영
 - KBC 기준보다 기둥 주근 이음길이 20% 감소, 오프셋이 없는 주근 이음상세 허용
 - 외부 접합부 U-bar 전단철근 보강으로 시공성 향상
 - 내부 접합부 보강량 최소화로 경제성 향상
 - 보 전단철근량 기존 내진성세의 50% 수준으로 감소
- 콘크리트조 소규모 건축물을 위한 설계 예제 개발
 - 소규모 구조 기준의 사용성을 높이기 위해 콘크리트조 소규모 건축물의 설계 예제 개발
 - 다양한 구조 형식에 대한 설계 예제 개발
 - 구조 비전문가인 건축사들도 쉽게 따라 할 수 있도록 소규모 기준 내용과 철근 배근 상세 등 자세히 기술

[3-3세부 건설기술연구원]

- 서민형 소규모 건축물에 대한 현황 DB구축으로 인한 향후 정책적 조사/연구와 설계사무소에서 기

초 자료로서 유용하게 활용될 수 있으며 기존 소규모 건축물의 구조 안전성 분석을 통해 보수/보강 계획 수립에 활용가능

- 핵심성과 (31, 32)는 향후 실무자들로 하여금 사양중심의 소규모 조적조/강구조 건축물 구조기준 (안)을 체계적으로 사용할 수 있도록 하고, 기존 소규모 건축물의 내진성능평가 및 보강을 통해 구조안전성 확보 가능
-

제6장. 연구 과정에서 수집한 해외 과학기술 정보

[1세부]

- 우리나라 내진성능목표설정 및 설계하중
 - 규모 4~8, 진앙거리 0~200km의 10,000여개의 지진파 수집 및 분석
 - 미국 FEMA, ASCE 기준, Eurocode 8, 일본건축구조설계기준, 호주/뉴질랜드 (AS/NZ) 내진설계기준 등을 포함한 기준 및 지침 분석
 - 해외 서적 34권
- 한반도 지진 특성을 고려한 합성 지진파 개발
 - 해외 중약진지역의 11개 지진, 1977개 지진파 수집 및 분석
 - GMM, GMPE 관련 SCI(E) 논문 175편
 - 해외 서적 8권
- 지진피해경감을 위한 정책/제도 가이드라인과 지진보험 가이드라인
 - 미국, 일본, 뉴질랜드, 터키, 중국의 정책/제도 분석
- 우리나라 및 해외의 풍하중
 - 미국 ASCE 기준, Eurocode 및 호주, 뉴질랜드 풍하중 기준, KBC기준
- 비구조재에 대한 우리나라 및 해외의 기준
 - 미국 ASCE 기준, FEMA 보고서 및 기타 비구조재 관련 보고서, KBC기준

[2세부]

[2-1세부 두산건설]

- RC벽체의 해석모델 및 구조성능실험 논문
 - SCI논문 10편
 - 국외보고서 2편
- UHPC를 적용한 구조보강공법 및 보강후 성능검증
 - SCI논문 6편
 - 국외보고서 2편

[2-4세부 숭실대학교]

- 내진상세 미적용 RC골조 부재의 구조성능 검증 사례
 - 국외논문 16편
 - 해외서적 8편
 - RC모멘트골조 부재의 내진보강 설계기준 및 보강공법
 - 국외논문 22편
 - 해외서적 9편
 - RC모멘트골조 부재의 구조성능 실험검증
 - 국외논문 27편
-

-
- 해외서적 10편
 - 액세스플로어 내진성능평가 및 관련 지침
 - 국외논문 3편
 - 국외보고서 1편
 - 해외서적 5편
 - 내진성능평가 및 성능향상 관련 설계기준 및 지침
 - 국외논문 1편
 - 국외 구조기준 및 성능평가지침 12편

[2-5세부 인천대학교]

- 콘크리트용 앵커 내진성능 시험방법
- ACI 355.2, ACI 355.4, ETAG 001

[강구조]

- 강/합성구조 구조성능 취약요소 분석
- SCI논문 10편 이상
- 국내외보고서 10편 이상
- 해외서적 10권 이상
- 국내외학술발표자료 10편 이상

- ISF 보강후 해석 기법
- SCI논문 5편
- 해외서적 4권
- 국외보고서 3편
- 국외학술발표자료 10편

- 기존 강구조 건축물 내진성능평가 지침
- 미국(ASCE41-06, ASCE41-13 & FEMA356) 및 유럽 (Eurocode 3) 기준 포함 10개 이상

[2-8세부 창민우구조컨선탄트]

- 현재 연구결과로 ATC-58을 실무적으로 구현하기 위한 전산도구인 PACT가 개발되어 그 원형이 ATC 홈페이지를 통해 전세계적으로 배포되고 있음.
- PEER센터에서 개발한 지진해석 플랫폼인 OpennSEES가 학술적 연구에 널리 활용되고 있음.

[2-10세부 부산대학교]

- 좌굴방지가새 요소단위 구조성능 검증 및 현장적용 실설계 사례
 - SCI논문 64편
 - 국외보고서 12편
 - 해외특허 157편
 - 해외서적 23편
 - 에너지소산장치를 적용한 내진성능향상 공법 및 보강후 성능검증
 - SCI논문 46편
 - 국외보고서 5편
 - 해외서적 14편
 - 에너지기반 내진설계 정식화
 - SCI논문 5편
 - 해외서적 3편
-

-
- 에너지기반 내진설계절차를 이용한 제진구조물의 설계자료
 - SCI논문 7편
 - 에너지소산장치를 이용한 내진성능향상 설계에 관한 기준, 지침
 - 미국 및 일본 기준 포함 10개 이상

[3-1세부 이화여자대학교]

- 소규모건축물 현황보고서 및 구조안전백서
 - 해외 관련 논문 5건
 - 소규모 건축물 설계도서 144건
- 소규모 건축물 사양중심 구조설계기준 및 해설 (안)
 - 해외 소규모 건축 기준 5건
 - 해외 관련 서적 5건

[3-2세부 서울대학교]

- 일반 콘크리트조 건축물에 관한 내진성능 평가 자료
 - 현행 해외 내진설계기준 15편
 - 해외 SCI급 논문 120편
 - 해외 연구단 보고서 15편
 - 해외 서적 7편

[3-3세부 건설기술연구원]

- 소규모 철골조 건축구조설계 및 구조보강 관련 기준, 지침
 - SCI논문 13편
 - 국외보고서 32편
 - 국내논문 11편
 - 국내보고서 5편
 - 국내기준 10편
 - 해외서적 2편
 - 국내서적 1편
 - 소규모 조적조 건축구조설계 및 구조보강 관련 기준, 지침
 - SCI논문 8편
 - 국외논문 12편
 - 국내논문 30편
 - 국외보고서 16편
 - 국외기준 6편
 - 해외특허 1편
 - 국내특허 7편
 - 해외서적 2편
 - 국내기준 4편
-

제7장. 연구개발성과의 보안등급

[1세부]

○ 보안등급: 일반

본 연구의 최종 성과물은 공공성이 크기 때문에, 일반 등급으로 분류하고자 함.

○

[2세부]

두산건설

- 보안등급 : 일반

- 최종성과물의 주요내용은 구조물 내진안전성 향상에 관계된 가이드라인으로서 공공성이 크고, 성과물의 실수요자들에게 현장검증을 통해 그 내용을 사전에 검토 받을 필요가 매우 큰 바, 일반등급으로 분류하고자 함.

송실대학교

- 보안등급 : 일반

- 최종성과물의 주요내용은 구조물의 내진성능 평가 및 향상에 관계된 지침 개정안으로서 공공의 성격이 강함. 또한 실수요자(주로 구조설계 기술자)들의 실무적용 이전에 사전 검증 및 검토 필요성 매우 높음으로 일반등급으로 분류하고자 함.

인천대학교

- 보안등급 : 일반

- 공공적 성격이 큰 기술이므로 보안등급은 일반등급으로 분류함.

단국대학교

- 보안등급 : 일반

- 최종성과물의 주요내용은 구조물 내진안전성 향상에 관계된 지침서와 예제집으로서 공공성이 크고, 성과물의 실수요자들에게 현장검증을 통해 그 내용을 사전에 검토 받을 필요가 매우 큰 바, 일반등급으로 분류하고자 함

부산대학교

- 보안등급 : 일반

- 최종성과물의 주요내용은 구조물 내진안전성 향상에 관계된 가이드라인으로서 공공성이 크고, 성과물의 실수요자들에게 현장검증을 통해 그 내용을 사전에 검토 받을 필요가 매우 큰 바, 일반등급으로 분류하고자 함.

[3세부]

- 보안등급 : 일반

- 최종성과물의 주요내용은 구조물 내진안전성 향상에 관계된 가이드라인으로서 공공성이 크고, 성과물의 실수요자들에게 현장검증을 통해 그 내용을 사전에 검토 받을 필요가 매우 큰 바, 일반등급으로 분류하고자 함.

제8장. 국가과학기술종합정보시스템에 등록된 연구시설·장비 현황

구입 기관	연구시설/ 연구장비명	규격 (모델명)	수량	구입 연월일	구입 가격 (천원)	구입처 (전화번호)	비고 (설치 장소)	NTIS장비 등록 번호
-	-	-	-	-	-	-	-	-

제9장. 연구개발과제 수행에 따른 연구실 등의 안전 조치 이행 실적

[1-1세부 고려대학교]

○ 기술적 위험 요소 분석

1. 연구실의 실험장비 및 설비의 노후화로 사고발생의 위험이 있으며, 정리정돈 불량 및 불필요한 기자재 비치로 인해 사고 시 대피로 확보가 미흡함.
2. 안전교육 미 이수 및 매일안전점검을 실시하지 않고 실험 시 개인보호구 미착용 등 연구활동종사자 스스로 안전의식이 부족함.

○ 안전 관리 대책

1. 사업기간 : 2017.3.1. ~ 2018.2.28.

2. 안전관리 계획

가. 연구활동종사자 상해보험 가입

- 1) 목표 : 연구활동종사자가 연구활동 중 발생한 사고로 인한 상해·사망 등 신체상의 손해를 보상하기 위함.
- 2) 가입대상 : 연구활동종사자(학부생, 대학원생, 연구(보조)원)
- 3) 가입기간 : 2016.9.1.~2017.9.1.
- 4) 보상범위 : 사망 및 후유장해 시 : 1억원, 부상 시 : 1천만원

나. 연구활동종사자 교육·훈련 실시

- 1) 목표 : 안전관리에 관한 정보제공을 통해 연구실에서 발생할 수 있는 사고를 예방하며, 학기별 정기 안전교육을 실시하여 연구활동종사자의 안전의식을 향상시키기 위함.

2) 내용

- (가) 연구실 법정 안전교육 실시
- (나) 연구실안전관리담당자 간담회 실시
- (다) 교내 안전관련 동영상 제작
- (라) 연구실 사고 대응훈련 실시
- (마) 안전보건 포스터 제작
- (바) 안전관련 홍보자료 제작

다. 연구활동종사자 건강검진 실시

- 1) 목표 : 인체에 유해한 물질을 취급하는 연구활동종사자에 대해 정기적인 건강검진을 실시하여 위험요인을 조기발견하고 치료 및 관리하기 위함.
- 2) 검진대상 : 상시 연구활동종사자 중 유해물질을 취급하는 자
- 3) 검진시기
 - 일반검진 : 년 1회 실시
 - 특수검진 : 산업안전보건법 시행규칙 별표 12의3에 의거, 특수건강진단의 시기 및 주기에 따라 실시(년 1회 실시)

라. 연구실의 안전을 유지관리하기 위한 설비의 설치·유지 및 보수

- 1) 목표 : 연구실의 유지·보수 공사를 통해 안전사고를 예방하고 쾌적한 연구환경을 조성하기 위함.
- 2) 내용
 - (가) 가스누출 경보장치 설치
 - (나) 연구실 흡후드 풍속개선
 - (다) 인화성물질 캐비닛 배기장치 설치
 - (라) 제세동기 및 투척용 소화기 설치
 - (마) 세안기 및 비상샤워기 설치
 - (바) 연구실 폐액용기 제작 및 보급
 - (사) 지정폐기물 처리 및 실험폐수 관련 유지·보수
 - (아) 연구실 화재예방을 위한 소방시설 유지·보수

마. 연구활동종사자 보호장비 구입

- 1) 목표 : 특정한 위험물질로부터 연구활동종사자를 보호할 수 있도록 개인보호구를 지급함.

- 2) 지급대상 : 상시 연구활동종사자(법정 안전교육 이수자만 지급함)
 3) 지급품목 : 개인보호구키트(보안경, 보안면, 방진/방독마스크 등), 구급함 등

바. 안전점검 및 정밀안전진단(작업환경측정) 실시

- 1) 목표 : 연구활동종사자가 안전한 환경에서 실험할 수 있도록 정기적인 점검을 통해 안전사고를 예방하기 위함.

2) 정밀안전진단 실시

(가) 점검대상 : 연구실 약 630개소

(나) 점검항목 : 8개분야(일반·기계·전기·화공·소방·가스·위생·생물안전)

3) 작업환경측정(노출도평가) 실시

(가) 측정대상 : 연구실 중 고위험 연구실 약 10개소 선정하여 측정

3. 인력 전문성 제고

가. 연구실(법정교육) : 연구실안전환경관리자 교육

(채용 시 6개월 이내 신규교육, 신규교육 후 2년마다 보수교육)

나. 환경(법정교육) : 환경보건협회 전문수질관리자 교육(1회/3년)

4. 점검사항

구분	점검 분야	중점 점검 사항	비고
일상점검	○ 매일 실험 전 안전점검	○ 연구개발활동에 사용되는 기계·기구·전기·약품·병원체 등 보관상태 ○ 보호장비 관리상태	매일
정기점검 (정밀안전진단)	○ 일반·기계·전기·화공·소방·가스·위생·생물안전	○ 유해위험기계기구, 전기기구 관리상태 ○ 유해위험물질 관리 상태 ○ 화재, 고압가스 사용 및 관리 상태 ○ 보건, 위생분야 관리 상태 ○ 기타 관련사항	연 1회
특별점검	○ 합동점검 ○ 사고 대응 훈련	○ 안전, 생물, 전기, 설비 등 관리상태 ○ 연구실 사고 대응 훈련 실시	수시

5. 관련 수칙

수칙명	주요내용	비고
○ 연구실 안전관리 수칙	○ 연구실에서 이루어지는 실험은 연구실책임자의 입회하에 실시하여야 하며, 연구실책임자는 연구활동종사자에게 실험과 관련된 정보를 제공하고 안전교육을 실시한다. ○ 연구활동종사자는 실험 전 안전수칙을 충분히 숙지하여야 하며, 적절한 보호 장비를 착용하고 실험에 임한다. ○ 연구실에서는 금연, 취식금지, 정리정돈을 유지한다. ○ 실험과 무관한 물품의 반입을 하지 않도록 한다. ○ 가연물질은 진행 중인 실험에 필요한 최소량만을 보관한다. ○ 지정된 장소에서만 실험을 수행하며 실험 종료 후와 퇴실 시에는 반드시 얼굴과 손 등을 씻도록 한다. ○ 연구실 퇴실 시 연구실의 이상유무를 주의깊게 확인한다.(전기기구의 전원차단, 인화성물질 격리, 정리정돈, 잠금장치 등) ○ 연구실에서는 난방용 전열기구 및 가스기구(실험용 가스기구 제외)등의 사용을 금한다. ○ 연구실 출입문에는 비상연락망과 연구책임자, 출입가능 연구원 등의 기록을 반드시 표시한다.	

[1-2세부 세종대학교]

○ 연구실 안전조치 이행계획

1. 각 참여기관에서는 자체적으로 연구실 안전환경 관리자를 지정하여 운영하며, 기관의 안전점검 규정을 보유하고 있는 기관은 자체규정을 우선 준용하고 그 외의 참여기관은 아래의 규정을 준수함
2. 본 과제에서 각 참여기관의 안전환경 관리자는 분기1 회씩 연구실 안전점검을 실시

○ 연구실 안전 점검 체계 및 실시

1. 연구활동 종사자 및 연구실 안전사고예방을 위하여 교육훈련, 안전진단 및 후속개선 등의 일련의 안전조치 활동을 다음과 같이 이행
 - 1) 실험실 안전 점검
연간 1회 이상 의무적으로 반드시 실시
 - 2) 참여연구원의 교육훈련
매년 1회 이상 실험 실습실 안전교육 실시
 - 3) 실험실 안전점검 계획수립
실험 특성에 따라 유형별로 분류하여 일상점검, 정기점검, 특별안전점검, 정밀안전진단을 실시
 - 4) 실험실 환경개선사업 실시
실험실 안전사고 예방과 실험종사자 보호를 위해 안전장비 확충, 시설 및 설비, 노후 기자재 교체 등 실험실 환경 개선 유도

○ 비상사태

1. 안전점검 교육에 불참하는 연구원은 향후 연구 참여에 불이익을 가함으로 안전의식의 고취와 이에 대한 중요성을 인식하도록 함
 - (1) 비상사태 조직
 - 조직과 연락망을 편성해 관리
 - 비상연락망은 연구지원팀에 작성하여 관련 장소에 비치
 - 비상연락망은 사내, 사외를 포함하여 작성
 - (2) 비상사태 파악
파악된 비상사태는 발생빈도, 발생가능성, 피해 정도를 감안하여 비상사태 계획서를 수립
 - (3) 비상사태 교육 및 훈련
비상사태에 대해서 사전에 예방을 위해 주기적으로 비상사태 관련 교육을 실시
 - (4) 비상사태 종류
화재, 사고정전, Water Damages, 응급구호, 보건위생 등

[1-3세부 아주대학교]

○ 안전관리 대책 (연구활동 종사자의 책무)

1. 실험실 안전교육의 이수
2. 실험실 안전수칙, 비상시 행동요령 및 안전관리지침 준수
3. 안전사고의 우려가 있을 경우 즉시 보고 및 조치 강구
4. 사고나 상해 발생 시 즉시 보고
5. 「산업안전보건법 시행령」 제29조에 따른 유해물질 및 같은 법 시행규칙 별표 12의2에 따른 유해인자를 취급하는 연구활동 종사자의 경우 다음 각 목에 따른 일반건강검진과 특수건강검진 실시
 - 가. 일반건강검진 : 문진과 진찰, 혈압·혈액 및 요(尿) 검사, 신장·체중·시력 및 청력 측정, 흉부방사선 촬영
 - 나. 특수건강검진 : 「산업안전보건법 시행규칙」 별표 12의3 특수건강검진단의 시기 및 주기에 따라

같은 법 시행규칙 별표 13의 제1차 검사항목을 포함하여 실시

[2-1세부 서울대학교]

- 기술적 위험요소 분석
 - 안전 사고 위험이 있는 구조실험시 안전모 및 안전화 착용 준수하였음
- 안전관리대책
 - 모든 연구실 인원이 안전관리 교육을 이수하였음
 - 구조실험 수행시 검증된 외부 실험 용역을 통해 안전하게 실험을 수행하였음
 - 연구실에 안전화/안전모/보안경 등 안전장비를 인원에게 맞게 비치하였음.

[2-1세부 두산건설]

- 기술적 위험요소 분석
 - 해당사항 없음
- 안전관리대책
 - 안전관리규정의 작성 및 준수
 - 구조실험 수행시 안전화, 안전모 등 안전장비 반드시 착용하였음
 - 연구활동종사자 안전교육/훈련 시행(정기교육 : 6시간/반기, 변경교육 : 2시간/회)
 - 연구실 안전관련 예산 확보 (2016년 예산 28,822,000원)

[2-4세부 숭실대학교]

- 기술적 위험요소 분석
 - 연구 수행에 있어 비내진 상세 및 표준상세 보강 RC골조 부재의 구조성능평가를 위한 실험이 있음
 - 실험체 제작은 외부 실험체 제작 업체를 통해 수행하였음
 - 학교 내 구조 실험실에서 학내 안전조치규정에 따라 실험을 수행하였음
- 안전관리대책
 - 외부 업체에서 작업 수행 시 해당 업체의 안전 지침 준수하였음
 - 구조실험 수행시 안전화, 안전모 등 안전장비 반드시 착용하였음
 - 학교 내 실험실 사용 시 안전지침 준수 및 실험장비 매뉴얼 숙지하였음
 - 신입생 및 재학생은 교내 안전관리 교육 이수하였음

[2-5세부 인천대학교]

- 안전관리
 - 학교 내 안전정보시스템의 연구실 및 실험실 안전교육을 수행하였음.
 - 실험실 안전수칙을 준수하여 실험을 수행하였음.
 - 외부 기관에서 실험 시 해당 기관의 안전교육을 이수함.

[2-6,7세부 단국대학교, 충남대학교]

- 기술적 위험요소 분석
 - 연구 수행에 있어 내진성능평가를 위한 실험이 있음
 - 실험체 제작 및 실험체 셋팅은 외부 실험체 제작 업체를 통해 수행하였음
 - 학교 내 구조 실험실에서 학내 안전조치규정에 따라 실험을 수행하였음
- 안전관리대책
 - 구조실험 수행시 안전화, 안전모 등 안전장비 반드시 착용하였음
 - 학교 내 실험실 사용시 안전지침 준수 및 실험장비 매뉴얼 숙지하였음
 - 신입생 및 재학생은 교내 안전관리 교육 이수하였음

[2-10세부 부산대학교]

- 기술적 위험요소 분석
 - 연구 수행에 있어 좌굴방지가새의 구조성능평가를 위한 실험이 있음
-

- 실험체 제작 및 실험체 셋팅은 외부 실험체 제작 업체를 통해 수행하였음
- 학교 내 구조 실험실에서 학내 안전조치규정에 따라 실험을 수행하였음
- 안전관리대책
- 외부 업체에서 작업 수행시 해당 업체의 안전 지침 준수하였음
- 구조실험 수행시 안전화, 안전모 등 안전장비 반드시 착용하였음
- 학교 내 실험실 사용시 안전지침 준수 및 실험장비 매뉴얼 숙지하였음
- 신입생 및 재학생은 교내 안전관리 교육 이수하였음

제10장. 연구개발과제의 대표적 연구 실적

번호	구분 (논문/특허/ 기타)	논문명/특허명/기 타	소속 기관명	역할	논문 게재지/ 특허 등록 국가	영향력 지수	논문 게재일 /특허 등록일	사사 여부 (단독 사사 또는 중복 사사)	특기 사항 (SCI 여부/인용 횟수 등)
1	논문	세계지진기록에 근거한 우리나라의 지진하중 평가	고려대	1세부	한국지진공 학회논문집/ 대한민국	-	2015.09	단독사사	비SCI
2	논문	우리나라 건축물 설계 스펙트럼에 상응하는 지진규모와 진앙거리의 추정	고려대	1세부	한국지진공 학회논문집/ 대한민국	-	2017.01	단독사사	비SCI
3	논문	Ground-motion prediction equation for South Korea based on recent earthquake records	고려대	1세부	Earthquake s and structures/ 대한민국	0.970	2018.04(accept)	단독사사	SCI(E)
4	논문	Performance Based Earthquake Engineering in a Lower-Seismicity Region: South Korea	고려대	1세부	Earthquake s and structures/ 대한민국	0.970	2018.04(accept)	중복사사	SCI(E)
5	논문	접합부 회전성능에 따른 중간 철골 모멘트 골조의 내진 성능 평가	세종대	1세부	한국지진공 학회논문집/ 대한민국	-	2014.01	중복사사	비SCI
6	논문	가력하중을 통한 CST30 제진댐퍼시스템의 구조성능 평가	세종대	1세부	한국공간구 조학회지/대 한민국	-	2014.06	중복사사	비SCI
7	논문	Experimental and analytical assessment of SRF and aramid composites in retrofitting RC columns	세종대	1세부	Earthquake s and structures/ 대한민국	0.789	2014.07	중복사사	SCI(E)
8	논문	Investigation on properties of geopolymer mortar using preheated materials and thermogenetic admixtures	세종대	1세부	영국	3.169	2017.02	단독사사	SCI
9	논문	고장력 철근이 적용된 철근콘크리트 보-기둥 접합부 파괴모드에 대한 실험적 연구	세종대	1세부	대한민국	-	2016.06	단독사사	비SCI
10	논문	강막작용을 가정한 전통	아주대	1세부	대한건축학 회논문집/대	-	2014-06	중복사사	비SCI

		목조건축물 현장계측방법의 유효성 검증			한민국				
11	논문	강풍대비 아파트 발코니창 안전확보를 위한 창호보호장치 효과 분석	아주대	1세부	대한건축학 회	-	2016.12	단독사사	비SCI
12	논문	Seismic evaluation of asymmetric wall systems using a modified three-dimension al capacity spectrum method	아주대	1세부	Journal of Vibroengine ering/리투 아니아	0.398	2015.12	단독사사	SCI(E)
13	논문	위험도기반 최대예상지진에 근거한 국내 내진설계 지도	서울 시립대	1세부	한국지진공 학회논문집/ 대한민국	-	2015.05	단독사사	비SCI
14	논문	불균형력에 따른 철골보통중심가새 골조의 붕괴모드	서울 시립대	1세부	한국전산구 조공학회논 문집/대한민 국	-	2015.06	단독사사	비SCI
15	논문	철골모멘트 골조의 붕괴성능에 영향을 미치는 불확실성 분석	서울 시립대	1세부	한국전산구 조공학회논 문집/대한민 국	-	2015.08	단독사사	비SCI
16	논문	국내 지진기록의 통계적 분석에 기반한 스펙트럴 가속도 응답	서울 시립대	1세부	한국지진공 학회논문집/ 대한민국	-	2016.01	단독사사	비SCI
17	논문	Influential properties of hysteretic energy dissipating devices on collapse capacities of frames	서울 시립대	1세부	Journal of Constructio nal Steel Research/ 네덜란드	2.028	2016.08	단독사사	SCI
18	특허	유리 보호용 지지장치 및 이를 구비하는 지지기구	아주대	1세부	대한민국	-	2014.03.13	단독사사	출원번호 (10-2014-00 29910)
19	특허	액세스 플로어 장치	아주대	1세부	대한민국	-	2016.05.19	단독사사	출원번호 (10-2016-00 61691)
20	특허	액세스 플로어 장치	아주대 송실대 서울대	1세부	대한민국	-	2016.05.31	단독사사	출원번호 (10-2016-00 67794)
21	법제적 성과	건축법 시행령 제118조 개정 (옹벽 등의 공작물에의 준용)	아주대	1세부	대한민국 국토교통부	-	2014.03.24	단독사사	-
22	법제적 성과	공작물 구조안전 점검표(안)	아주대	1세부	대한민국 국토교통부	-	2014.04.29	단독사사	-
23	법제적 성과	건축법 시행규칙 제41조의 제2호 제정	아주대	1세부	대한민국 국토교통부	-	2014.11.28	단독사사	-
24	법제적	건축법 시행규칙	아주대	1세부	대한민국	-	2014.11.28	단독사사	-

	성과	제41조의 제3호 제정			국토교통부				
25	S/W	한반도 지진 특성을 고려한 합성 지진파 생성 프로그램 (SPEC GMG)	고려대	1세부	대한민국	-	2018.04	단독사사	등록번호 (C-2018-009 662)
26	기타 (저작)	우리나라 건축물에 대한 내진성능목표	고려대	1세부	대한민국	-	2016.06	단독사사	ISBN 979-11-9524 39-8-3
27	기타 (저작)	건축물의 지진피해 경감을 위한 해외 정책 사례	고려대	1세부	대한민국	-	2016.06	단독사사	ISBN 979-11-9524 39-7-6
28	기타 (저작)	중약진지역 성능기반설계 지침서	세종대	1세부	대한민국	-	2016.06	단독사사	ISBN 979-11-9519 50-3-9
29	기타 (저작)	중약진지역 성능기반설계 지침서 및 부록 - 개정본	세종대	1세부	대한민국	-	2018.01	단독사사	ISBN 979-11-9519 50-9-1
30	기타 (저작)	강풍 대비 공작물 구조안전 점검 가이드	아주대	1세부	대한민국	-	2016.05	단독사사	ISBN 978-89-5899 -048-2 93540
31	기타 (저작)	비구조재 지진안전을 위한 설계·시공 가이드 I	아주대	1세부	대한민국	-	2016.05	단독사사	ISBN 978-89-5899 -050-5 93540
32	기타 (저작)	강풍에 대비한 아파트 발코니창 안전 가이드	아주대	1세부	대한민국	-	2016.05	단독사사	ISBN 978-89-5899 -049-9 93540
33	기타 (저작)	비구조재 지진안전을 위한 설계·시공 가이드 II	아주대	1세부	대한민국	-	2017.02	단독사사	ISBN 978-89-5899 -059-8 93530
34	기타 (저작)	기존건축물 구조안전성 확보 관련 정책·제도 실행을 위한 Action Plan(안)	서울 시립대	1세부	대한민국	-	2016.04	단독사사	ISBN 979-11-9573 64-1-6
35	기준지 침	기준건축물 내진성능평가지침	서울대	2세부	-	-	-	-	-
36	기준지 침	기준건축물 내진성능향상지침	서울대	2세부	-	-	-	-	-
37	국내게 재논문	우리나라 병원건축물의 내진성능향상을 위한 기초연구	서울대	2세부	한국지진공 학회	-	2016.12	단독 사사	비SCI
38	국제학 술발표	Strengthening T-shaped RC beams with UHPC	서울대	2세부	Hipermat20 16	-	2016.03	-	-
39	국제학 술발표	Parametric Simulation of Multi-level Rigid Blocks under Horizontal Excitation	서울대	2세부	-	-	-	-	-
40	국내게 재논문	단부 종타 보강된 RC 전단벽체의 전단강도	두산건 설	2세부	대한민국	0.35	2015.10	단독 사사	비SCI
41	국제학 술발표	Evaluation of Shear Retrofitting Effect for End Jacketed RC Squat Wall	두산건 설	2세부	ACF	-	2014.9.21	단독 사사	비SCI

		Depending on the Arrangement of Dowel Bars							
42	현장적용	UHPC를 이용한 RC벽체의 구조보강	두산건설	2세부	대한민국	-	2016.11.20	-	-
43	현장적용	UHPC를 이용한 RC벽체의 구조보강	두산건설	2세부	대한민국	-	2017.12.17	-	-
44	특허	조적채움벽 면외 전도 방지 장치	한양대	2세부	대한민국	-	2015.06.24	-	10-2015-0089942
45	특허	앵글부재를 이용한 마찰형 조적채움벽 면외 전도 방지 장치	한양대	2세부	대한민국	-	2015.06.24	-	10-2015-0089954
46	특허	긴장재를 이용한 조적채움벽 면외 전도방지 시스템	한양대	2세부	대한민국	-	2015.09.02	-	10-2015-0124021
47	SCI논문	Detection of Earthquake-Induced Damage in a Framed Structure Using a Finite Element Model Updating Procedure	한양대	2세부	이집트	-	2014.01	단독	SCI
48	국내게재논문	FEMA P695를 이용한 국내 저층 철골 중간모멘트골조의 반응수정계수 제안	한양대	2세부	대한민국	-	2014.01	단독	비SCI
49	국내게재논문	등가 기동 모델을 이용한 철근콘크리트 전단벽-골조 구조물의 Pushover 해석	한양대	2세부	대한민국	-	2014.01	단독	비SCI
50	국내게재논문	조적채움벽 골조의 내진성능평가를 위한 등가 스트럿 모델의 비교연구	한양대	2세부	대한민국	-	2014.03	단독	비SCI
51	국내게재논문	저층 조적채움벽 철근콘크리트 골조의 내진보강 전후 동특성 변화	한양대	2세부	대한민국	-	2015.06	단독	비SCI
52	국내게재논문	조적채움벽의 전단강도에 따른 채움벽골조의 내진성능	한양대	2세부	대한민국	-	2015.07	단독	비SCI
53	국내게재논문	채움벽 두께에 따른 철근콘크리트 조적채움벽 골조의 면내하중에 대한 유한요소해석	한양대	2세부	대한민국	-	2016.02	단독	비SCI
54	특허출원	철근콘크리트 외부 보-기둥 접합부 강판 이용 내진 보강 구조	송실대	2세부	대한민국	-	2016.07.22	단독 사사	출원번호 (10-2016-0093606)

55	특허출원	현치를 이용한 철근콘크리트 보-기둥 내진 보강 접합부	송실대	2세부	대한민국	-	2016.07.22	단독 사사	출원번호 (10-2016-00 93613)
56	논문	Maximum Shear Strength of Slender RC Beams with Rectangular Cross Sections	송실대	2세부	Journal of Structural Engineering	1.102	2015.07	단독 사사	SCI
57	논문	Nonlinear model simulating load-deformatio n relationship of flat plate structures	송실대	2세부	ENGINEERING STRUCTUR ES	1.504	2014.12	단독 사사	SCI
58	논문	비내진 철근상세를 갖는 철근콘크리트기둥 의 내진성능에 대한 실험적 연구	송실대	2세부	대한건축학 회	-	2016.01	단독 사사	비SCI
59	국내게 재 논문	외부 부착형 납고 무감쇠기의 제진 성능	인천대	2세부	대한건축학 회	-	2013.12	단독 사사	비SCI
60	국내게 재 논문	내진보강용 후설 치 앵커의 전단성 능에 관한 실험적 연구	인천대	2세부	대한건축학 회	-	2014.09	단독 사사	비SCI
61	국내게 재 논문	내진보강용 후설 치 앵커의 인장성 능에 관한 실험적 연구	인천대	2세부	대한건축학 회	-	2015.03	단독 사사	비SCI
62	국내게 재 논문	가력각도에 의해 하중조합이 변화 하는 후설치 앵커 의 단조하중 실험	인천대	2세부	대한건축학 회	-	2016.01	단독 사사	비SCI
63	국내게 재 논문	결함 상세를 포함 하는 철근콘크리 트 전단벽의 수치 모델에 관한 실험 적 평가	인천대	2세부	한국지진공 학회	-	2013.02	단독 사사	비SCI
64	국외게 재 논문	Seismic fragility of lightly reinforced concrete frames with masonry infills	인천대	2세부	Earthquake Engineerin g& Structural Dynamics	2.127	2015.01.29	단독 사사	SCI
65	특허출원	전단성능보강형후 설치콘크리트앵커 (출원)	인천대	2세부	대한민국		2015.05.08	-	-
66	특허출원	장부철근을 이용 한 접합부 보강공 법 및 보강구조물	인천대	2세부	대한민국		2016.05.17	-	-
67	특허출원	채움벽 구조물 및 채움벽 구조물 보 강공법	인천대	2세부	대한민국		2016.05.18	-	-
68	국외학 술 발표	Seismic Hazard Level for The Retrofit of Existing Buildings	인천대	2세부	SEEBUS20 15		2015.09.18	단독 사사	비SCI
69	SCI논문	Seismic retrofit	서울대	2세부	Constructi	1.702	2017.12	중복 사사	SCI

		of welded steel moment connections with highly composite slabs			onal Steel Research				
70	SCI논문	Investigation of composite slab effect on seismic performance of steel moment connections	서울대	2세부	Constructi onal Steel Research	1.702	2016.02	단독 사사	SCI
71	S/W	철골용접모멘트접합부 소성힌지 자동화 프로그램	단국대	2세부	대한민국	-	2015.05.11.	-	등록번호 (C-2015-011157)
72	S/W	용접비보강플랜지 접합부 좌굴 후 응답 예측 프로그램	단국대	2세부	대한민국	-	2015.05.14.	-	등록번호 (C-2015-011947)
73	S/W	구조요소기반 검색프로그램	창민우	2세부	대한민국	-	2013.12.24	-	등록번호 (C-2013-028535)
74	S/W	구조성능 및 탄소배출량 산정 라이브러리	창민우	2세부	대한민국	-	2014.01.08	-	등록번호 (C-2014-000558)
75	S/W	모델링정보를 이용한 3차원 구조물의 비선형 특성 자동생성 알고리즘	창민우	2세부	대한민국	-	2015.04.17	-	등록번호 (C-2015-009100)
76	S/W	3차원 구조물의 비선형 특성 시각화 알고리즘	창민우	2세부	대한민국	-	2015.04.17	-	등록번호 (C-2015-009101)
77	S/W	수직부재 단면해석 및 비선형속성 정의 프로그램	창민우	2세부	대한민국	-	2015.04.17	-	등록번호 (C-2015-009099)
78	S/W	3차원 구조물의 보강물량 시각화 프로그램	창민우	2세부	대한민국	-	2016.10.05	-	등록번호 (C-2016-023584)
79	S/W	단면해석을 기반으로 한 지진력 저항 수평부재 비선형속성 정의 프로그램	창민우	2세부	대한민국	-	2016.12.15	-	등록번호 (C-2016-032620)
80	S/W	철근콘크리트 기존건축물의 내진성능 1단계 상세평가(m-fact or Method) 프로그램	창민우	2세부	대한민국	-	2017.06.16	-	등록번호 (C-2017-013875)
81	특허출원	단부압괴 지연 전단벽	창민우	2세부	대한민국	-	2017.01.04	-	출원번호 (10-2017-0001398)
82	특허등록	다이아그리드를 이용한 내진보강구조	창민우	2세부	대한민국	-	2014.12.26	-	등록번호 (10-1478654-0000)
83	특허등록	강재 메쉬 전단벽	창민우	2세부	대한민국	-	2018.04.20	-	등록번호 (10-1852541-0000)
84	현장적	서울신서초등학교	창민우	2세부	대한민국	-	2013.11.27	-	내진성능평가

	용	교사동 내진성능평가 라멘구조							기술 적용
85	현장적 용	목업설계 703동 내진성능평가	창민우	2세부	대한민국	-	2013.10.17	-	내진성능평가 기술 적용
86	현장적 용	구 북부지원 내진성능평가	창민우	2세부	대한민국	-	2015.02.06	-	내진성능평가 기술 적용
87	현장적 용	두류 도서관 내진성능평가	창민우	2세부	대한민국	-	2015.03.23	-	내진성능평가 기술 적용
88	현장적 용	(주)광희패션몰 내진성능평가	창민우	2세부	대한민국	-	2015.06.08	-	내진성능평가 기술 적용
89	현장적 용	대진초등학교 내진성능평가	창민우	2세부	대한민국	-	2015.09.14	-	내진성능평가 기술 적용
90	현장적 용	동서식품 창원공장 내진성능평가	창민우	2세부	대한민국	-	2016.12.20	-	내진성능평가 기술 적용
91	현장적 용	LG전자 창원2공장 내진성능평가	창민우	2세부	대한민국	-	2017.01.10	-	내진성능평가 기술 적용
92	현장적 용	한국교원대학교 부설고등학교 내진성능평가	창민우	2세부	대한민국	-	2017.06.07	-	내진성능평가 기술 적용
93	국내게 재논문	철근콘크리트 부재의 손상량 평가 모델에 관한 연구	창민우	2세부	한국지진공 학회	-	2015.03	단독 사사	비SCI
94	국내게 재논문	국내 소규모 건축물의 단주효과에 대한 내진성능검토	창민우	2세부	한국지진공 학회	-	2016.12	단독 사사	비SCI
95	국내게 재논문	2016년 9월 12일 M5.8 경주지진의 데미지 포텐셜 분석 및 내진공학 측면의 시사점	창민우	2세부	한국지진공 학회	-	2016.12	단독 사사	비SCI
96	국내게 재논문	기존건축물 내진성능평가를 위한 전산시스템 모듈 개발	창민우	2세부	한국지진공 학회	-	2016.07	단독 사사	비SCI
97	국내게 재논문	엔지니어기반 전산시스템을 적용한 철근콘크리트 기존건축물의 내진성능평가	창민우	2세부	한국지진공 학회	-	2017.03	단독 사사	비SCI
98	국내게 재논문	세장한 가새가 사용된 철골모멘트골조 공장시설물의 내진성능평가	창민우	2세부	한국지진공 학회	-	2018.01	단독 사사	비SCI
99	특허등 록	건축구조용 하이브리드 댐퍼	성균관 대	2세부	대한민국		20151008	단독 사사	등록번호 (10-1560975)
100	특허등 록	건축구조물 내진보강을 위한 지진감쇠댐퍼장치	성균관 대	2세부	대한민국		20151206	단독 사사	등록번호 (10-1568185)
101	특허등 록	구조물의 복합 감쇠장치	성균관 대	2세부	대한민국	-	20161021	단독 사사	등록번호 (10-1670177)
102	SCI논문	Design of MR dampers to prevent progressive	성균관 대	2세부	Structural Engineerin g and Mechanics		2014	단독 사사	SCI

		collapses of moment frames							
103	SCI논문	Seismic performance of pile-founded fixed jacket platforms with chevron braces	성균관대	2세부	Structure and Infrastructure Engineering		2015	단독 사사	SCI
104	SCI논문	Seismic performance evaluation of moment frames with slit-friction hybrid dampers	성균관대	2세부	Earthquakes and Structures		2015	단독 사사	SCI
105	SCI논문	Monotonic Loading Tests of RC Beam-Column Subassembly Strengthened to Prevent Progressive Collapse	성균관대	2세부	International Journal of Concrete Structures and Materials		2015	단독 사사	SCI
106	SCI논문	Seismic retrofit schemes for staggered truss structures	성균관대	2세부	Engineering Structures		2015	단독 사사	SCI
107	SCI논문	Seismic retrofit of asymmetric structures using steel plate slit dampers	성균관대	2세부	Journal of Constructional Steel Research		2016	단독 사사	SCI
108	SCI논문	Seismic retrofit of special truss moment frames using viscous dampers	성균관대	2세부	Journal of Constructional Steel Research	-	2016	단독 사사	SCI
109	SCI논문	Seismic Behavior Factors of RC Staggered Wall Buildings	성균관대	2세부	International Journal of Concrete Structures and Materials	-	2016	단독 사사	SCI
110	SCI논문	Seismic retrofit of structures using steel honeycomb dampers	성균관대	2세부	International Journal of Steel Structures	-	2017	단독 사사	SCI
111	SCI논문	Seismic loss assessment of a structure retrofitted with slit-friction hybrid dampers	성균관대	2세부	Engineering Structures	-	2017	단독 사사	SCI
112	S/W	진동제어장치 데이터베이스	부산대	2세부	대한민국	-	2014.2.20	-	등록번호 (C-2014-004102)
113	특허출원	강제조립형 이중보강재를 구비한 비좌굴가새	부산대	2세부	대한민국	-	2015.7.30	-	출원번호 (10-2015-0108092)
114	특허출원	조립형 프리캐스트 콘크리트	부산대	2세부	대한민국	-	2015.7.30	-	출원번호 (10-2015-0108098)

		보강재를 구비한 비좌굴가새							
115	특허 등 록	강재조립형 이중보강재를 구비한 비좌굴가새	부산대	2세부	대한민국	-	2017.4.27	-	등록번호 (10-1733091)
116	특허 등 록	조립형 프리캐스트 콘크리트 보강재를 구비한 비좌굴가새	부산대	2세부	대한민국	-	2017.5.17	-	등록번호 (10-1739081)
117	SCI논문	A proposal for a seismic design process for a passive control structural system based on the energy equilibrium equation	부산대	2세부	International Journal of Steel Structures	0.609	2017.12	단독 사사	SCI
118	국내게 재논문	강재조립형 이중보강재를 가지는 비좌굴가새의 이력특성	부산대	2세부	대한민국	0.35	2016.1	단독 사사	비SCI
119	국내게 재논문	조립형 프리캐스트 콘크리트 보강재를 가지는 비좌굴가새의 이력특성	부산대	2세부	한국구조물 진단유지관 리공학회	0.36	2016.1	단독 사사	비SCI
120	국내게 재논문	손상제어 구조를 위한 보 단부 설치형 댐퍼의 내력 및 강성 평가	부산대	2세부	대한건축학 회	0.35	2017.2	단독 사사	비SCI
121	국제 학 술발표	Seismic performance evaluation of vibration control seismic reinforcement system	부산대	2세부	스페인	-	2014.7.16	단독 사사	비SCI
122	국제 학 술발표	Performance of steel frame with a new design philosophy of hysteretic damper device under earthquake excitation	부산대	2세부	대한민국	-	2017.4.26	단독 사사	비SCI
123	국제 학 술발표	Proposal for optimum yield shear force coefficient of hysteretic dampers in coupled shear wall buildings	부산대	2세부	대한민국	-	2017.11.2	단독 사사	비SCI
124	국제 학	Stability	부산대	2세부	대한민국	-	2017.11.2	단독 사사	비SCI

	술발표	evaluation of acceleration response spectrum and energy response spectrum for MDOF system							
125	기고	소규모 건축물의 현황 및 구조기준 제정 방향	이화여대	3세부	대한민국	-	2015년 11월	-	-
126	기고	소규모 건축물의 구조안전 현황과 해결 방향	이화여대	3세부	대한민국	-	2015년 11 월	-	-
127	기고	우리는 안전한 건물에서 살고 있는가?	이화여대	3세부	대한민국	-	2016년 1월	-	-
128	S/W	소규모 건축물 기준 홈페이지 (www.sb-code.com)	이화여대	3세부	대한민국	-	2017년 1월	-	-
129	기준제정	소규모 건축물 부재제시형 구조 설계 기준(안)	이화여대	3세부	대한민국	-	-	-	-
130	기준제정	KDS 41 09 05 소규모 건축 구조 일반해설	이화여대	3세부	대한민국	-	-	-	-
131	기준제정	KDS 41 09 20 소규모 건축 구조 기초 및 지하구조 해설	이화여대	3세부	대한민국	-	-	-	-
132	기준제정	KDS 41 09 30 소규모 건축 구조 콘크리트구조 해설	이화여대	3세부	대한민국	-	-	-	-
133	기준제정	KDS 41 09 31 소규모 건축 구조 강구조 해설	이화여대	3세부	대한민국	-	-	-	-
134	기준제정	KDS 41 09 34 소규모 건축 구조 조적조 해설	이화여대	3세부	대한민국	-	-	-	-
135	국내논문	낮은 압축력을 받는 철근콘크리트 기둥의 내진성능에 대한 띠철근 상세의 영향	서울대	3세부	대한민국	-	2015년 7월	단독 사사	비SCI
136	국내논문	소규모 철근콘크리트 건축물을 위한 비선형해석 프로그램 비교 II	서울대	3세부	대한민국	-	2015년 9월	단독 사사	비SCI
137	국내논문	소규모 철근콘크리트 건축물을 위한 비선형해석 프로그램 비교 II	서울대	3세부	대한민국	-	2015년 9월	단독 사사	비SCI
138	국내논문	소성힌지 구간에서 겹침이음된 RC 기둥의 내진성능	서울대	3세부	대한민국	-	2015년 12월	단독 사사	비SCI
139	국내논문	소규모 건축물을	서울대	3세부	대한민국	-	2016년 3월	단독 사사	비SCI

	문	위한 과소보강된 콘크리트 보-기둥 접합부의 내진성능							
140	국내논문	RC기둥의 내진성능에 미치는 겹침 이음상세의 영향	서울대	3세부	대한민국	-	2016년 11월	단독 사사	비SCI
141	국외논문	Shear Strength of Concrete Composite Beams with Shear Reinforcements	서울대	3세부	미국	-	2017년 7월	단독 사사	SCI급
142	국외논문	Seismic Performance of Reinforced Concrete Columns with Lap Splices in Plastic Hinge Region	서울대	3세부	미국	-	2018년 1월	중복 사사	SCI급
143	국외논문	Analytical Modeling for Reinforced Concrete Columns with Relaxed Section details	서울대	3세부	대한민국	-	2017년 9월	단독 사사	비SCI
144	기술기고	규모 콘크리트 건축물의 기둥 및 접합부를 위한 구조상세 기술	서울대	3세부	대한민국	-	2015년	-	-
145	특허	건축용 철근콘크리트 기둥 보강철근	서울대	3세부	대한민국		2018년		
146	SCI논문	Cyclic loading tests on exposed column-base plate weak-axis connections of small-size steel structures	한국건설기술연구원	3세부	영국	2.2	2017년	단독 사사	SCI
147	SCI논문	Exposed column-base plate strong-axis connections for small-size steel construction	한국건설기술연구원	3세부	네덜란드	2.0	2017년	단독 사사	SCIE
148	국내게재논문	소규모 철골조 노출형 주각부의 반복가력 실험	한국건설기술연구원	3세부	대한민국	0.36	2017년	단독 사사	비SCI
149	국내게재논문	노출형 철골기둥-베이스 플레이트 접합부의 내력평가를 위한 수치적 연구.	한국건설기술연구원	3세부	대한민국	0.35	2016년	단독 사사	비SCI
150	국내게재논문	L형 갈고리 앵커볼트를	한국건설기술	3세부	대한민국	0.35	2017년	단독 사사	비SCI

		사용한 약축방향 노출형 주각부의 내진성능 평가	연구원						
151	국내계 재 논문	소규모 철골조 보-기둥 약축 모멘트 접합부의 내진성능	한국건 설기술 연구원	3세부	대한민국	0.35	2017년	단독 사사	비SCI
152	SW	소규모 건축물 파악을 위한 건축물대장 프로세스	한국건 설기술 연구원	3세부	대한민국	-	2013년		

제11장. 기타 사항

없음.

제12장. 참고 문헌

[1세부]

1. 한국원자력안전기술원 (2001) 국내 지진의 강지진동 특성 분석, Report No. KINS/HR-422
1. 조남대, 박창업 (2003) 한반도 남동부에서 부지효과를 고려한 스펙트럼 감쇠상수 κ 추정 및 강지진동의 추계학적 모사, 한국지진공학회, 7(6) 59-70
2. 연관희, 서정희 (2007) 추계학적 지진동모델에 기반한 2D Q 토모그래피 수치모델 역산, 한국지구물리·물리탐사학회, 10(3) 191-202
3. 하성진, 지현우, 한상환 (2017) 점지진원 모델을 이용한 경주 지진으로 인한 지반운동 생성, 지진공학회, 20(7) 537-543
4. Atkinson, G. M., and Boore, D. M. (2007). Boore-Atkinson NGA ground motion relations for the geometric mean horizontal component of peak and spectral ground motion parameters. Pacific Earthquake Engineering Research Center.
5. Campbell, K. W., and Bozorgnia, Y. (2007). Campbell-Bozorgnia NGA ground motion relations for the geometric mean horizontal component of peak and spectral ground motion parameters. Pacific Earthquake Engineering Research Center.
6. Campbell, K. W., and Bozorgnia, Y. (2013). NGA-West2 Campbell-Bozorgnia ground motion model for the horizontal components of PGA, PGV, and 5%-damped elastic pseudo-acceleration response spectra for periods ranging from 0.01 to 10 sec. Pacific Earthquake Engineering Research Center.
7. Emolo A, Sharma N, Festa G, Zollo A, Convertito V, Park JH, Chi HC and Lim IS Ground motion prediction equations for South Korea peninsula, 2015, Bulletin of the Seismological Society of America, 105(5) 2625-2640
8. Goulet, C. A., Bozorgnia, Y., and Abrahamson, N. A. (2015). Introduction in NGA-East: Median ground-motion models for the central and eastern North America region. PEER Report, 4, 1-9.
9. Goulet, C., Bozorgnia, Y., Kuehn, N., Al Atik, L., Youngs, R. R., Graves, R. W., and Atkinson, G. M. (2017). NGA-East ground-motion models for the US Geological Survey National Seismic Hazard Maps. Report No. 2017/03.
10. Idriss, I. M. (2013). NGA-West2 model for estimating average horizontal values of pseudo-absolute spectral accelerations generated by crustal earthquakes. Pacific Earthquake Engineering Research Center.
11. Ham, H., Yun, W., Choi, S., Lee, S., & Kim, H. (2015). Assessment of Extreme Wind Risk for Window Systems in Apartment Buildings Based on Probabilistic Model, *Journal of Computational Structural Engineering Institute of Korea*, Vol.28 No.6
12. Yun, W., Ham, H., Kim, H., & Lee, S. (2014). Evaluation of Wind Fragility for Balcony Window Systems, *Conference of the wind Engineering Institute of Korea*, pp.197-202

-
13. Jo, K., Hong, S., & Kim, W. (2006). Evaluation of Wind Resistance of High-rise Apartment Building Balcony Windows under Strong Wind Action, *Conference of the wind Engineering Institute of Korea*, pp.62-69
14. Ataei, H., & Anderson, J. (2013). Effect of Window Sizes and Glazing Panel Aspect Ratios

[RC벽식구조 성능]

- [1] Vladimir C., & Kurt H. G. (1972). Inelastic Analysis of Reinforced Concrete Panels : Experimental Verification and Application. IABSE publications, 32, 25-37.
- [2] ACI 318 Committee, Building Code Requirements for Structural Concrete (ACI 318-11) and Commentary, Farmington Hills.
- [3] FEMA 306. (1998). Evaluation of Earthquake Damaged Concrete and Masonry Wall Buildings, Washington, D.C.
- [4] Hwang, S., Fang, W., Lee, H., & Yu, H. (2001). Analytical Model for Predicting Shear Strength of Squat Walls. *Journal of Structural Engineering*, 127(1), 43-50.
- [5] Jennewein, M. & Schafer, K. (1992). Standardisierte Nachweise von häufigen D-Bereichen. DAfStb. Heft No. 430, Beuth-Verlag, Berlin.
- [6] Lang K. (2002). Seismic vulnerability of existing buildings. 273. vdf Hochschulverlag AG
- [7] Maidiawati, Y.Sanada, D.Konishi, & Jafril T. (2011). Seismic Performance of Nonstructural Brick Walls Used in Indonesian R/C Buildings. *Journal of Asian Architecture and Building Engineering*, 10(1), 203-210.
- [8] Maidiawati, Thandar Oo, & Y.Sanada, (2012). A simple approach for determining contact length between frame and infill of brick masonry infilled R/C frames. *Proceedings of 15WCEE, Lisbon,Portuga*
- [9] Hwang, S., & Lee, H., (2000). Analytical Model for Predicting Shear Strengths of Interior Reinforced Concrete Beam-Column Joints for Seismic Resistance. *ACI Structural Journal*, 97(1), 35-44.
- [10] Hwang, S., Fang, W., Lee, H., & Yu, H. (2001). Analytical Model for Predicting Shear Strength of Squat Walls. *Journal of Structural Engineering*, 127(1), 43-50
- [11] Patricia, J. G., & B.S.C.E, The effect of openings on the cyclic behavior of reinforced concrete infilled shear walls. Master thesis, The university of Texas at Austin.

[조적 채움벽골조 구조 성능]

- [1] Crisafulli, Francisco Javier. Seismic behaviour of reinforced concrete structures with masonry infills. Doctor of Philosophy. University of Canterbury. 1997.
- [2] Dawe JL, Seah CK. Analysis of concrete masonry infilled steel frames subjected to in-plane loads. *Proceedings, 5th Canadian Masonry Symposium*. 1989.
- [3] ASCE/SEI Seismic Rehabilitation Standards Committee. Seismic Rehabilitation of Existing Buildings (ASCE/SEI 41-06). American Society of Civil Engineers, Reston, VA. 2007.
- [4] Masonry Society (US). Masonry Designers' Guide: Based on Building Code Requirements for Masonry Structures (ACI 530-99. Masonry Society, 2001.
- [5] Bertoldi SH, Decanini LD, Gavarini C. Telai tamponati soggetti ad azioni sismiche, un modello semplificato: confronto sperimentale e numerico. *Attidel 6 Convegno Nazionale ANIDIS*, vol. 2, Perugia, 13-15 Ottobre [in Italian]. 1993:815-24.
- [6] Sanada,Y., and D.Konishi. "Effects of Nonstructural Brick Infills on an Indonesian Earthquake - Damaged Building." *Procedia Engineering*, 2011, 14:2077-2085.
- [7] Dolšek, Matjaž, Peter Fajfar. Mathematical modelling of an infilled RC frame structure based on the results of pseudo-dynamic tests. *Earthquake engineering & structural dynamics* 31.6: 1215-1230. 2002.
- [8] Priestley MJN, Paulay T. Seismic design of reinforced concrete and masonry buildings. Wiley, United States. 2007.
- [9] EL-DAKHAKHNI, Wael W.; ELGAALY, Mohamed; HAMID, Ahmad A. Three-strut model for concrete masonry-infilled steel frames. *Journal of Structural Engineering*, 2003, 129.2: 177-185.
- [10] Manos,G.C., V.J.Soulis, and J.Thauampteh. "The behavior of masonry assemblages and masonry-infilled R/C frames subjected to combined vertical and cyclic horizontal seismic-type loading. *Advances in Engineering Software*, 2012, 45.1:213-231.

[RC골조 부재별 성능보강]

- [1] Pampanin, S., Calvin, G. M., & Moratti, M. (2002). Seismic behaviour of R.C. beam-column joints designed for gravity loads. 12th European Conference on Earthquake Engineering. London, England.

-
- [2] Pantelides, C. P., Clyde, C., & Reaveley, L. D. (2002). Performance-based evaluation of reinforced concrete building exterior joints for seismic excitation. *Earthquake Spectra*, 18(3), 449–480.
- [3] Shibata Masataka et al., Behavior in Shear Failure of RC Columns with 40cm Square Section Using High-Strength Shear Reinforcement(Part I), 日本建築学会大会学術講演梗概集, 10月, 1989, pp. 693–694.
- [4] K.J. Elwood and J.P. Moehle, Drift capacity of RC Columns with Light Transverse Reinforcement, *Earthquake Spectra*, Vol. 21, No. 1, 2005, pp.71–89.
- [5] Sezen, H. and Moehle, J.P., Seismic Tests of Concrete Columns with Light Transverse Reinforcement, *ACI Structural Journal*, American Concrete Institute, V. 103, No. 6, 2006, pp. 842–849.
- [6] Brena, S. F., & McGuirk, G. N. (2013). Advances on the behavior characterization of FRP-anchored carbon fiberreinforced polymer (CFRP) sheets used to strengthen concrete frames. *International Journal of Concrete Structures and Materials*, 7(1), 3–16.
- [7] Del Vecchio, C., Di Ludovico, M., Prota, A., & Manfredi, G. (2016). Modelling beam-column joints and FRP strengthening in the seismic performance assessment of RC existing frames. *Composites Structures*, 142, 107–116.
- [8] El-Amoury, T., & Ghobarah, A. (2002). Seismic rehabilitation of beam-column joint using GFRP sheets. *Engineering Structures*, 24, 1397–1407.
- [9] Genesio, G. (2012). Seismic assessment of RC exterior beam-column joint and retrofit with haunches using post-installed anchors. PhD Dissertation, Institut für Werkstoffe im Bauwesen der Universität Stuttgart, Germany.
- [10] Grelle, S. V., & Sneed, L. H. (2013). Review of anchorage systems for externally bonded FRP laminates. *International Journal of Concrete Structures and Materials*, 7(1), 17–33.
- [11] Aboutaha RS, Jirsa JO. Steel jackets for seismic strengthening of concrete columns. In: 11th World Conference on Earthquake Engineering, Paper No. 518. Acapulco, Mexico; June, 1996.
- [12] Belal MF, Mohamed HM, Morad SA. Behavior of reinforced concrete columns strengthened by steel jacket. *HBRC J* 2015;11(2):201–12.
- [13] Ozcan O, Binici B, Ozcebe G. Seismic strengthening of rectangular reinforced concrete columns using fiber reinforced polymers. *Eng Struct* 2010;32 (4):964–73.
- [14] Rousakis TC, Tourtouras IS. RC columns of square section – passive and active confinement with composite ropes. *Compos B Eng* 2014;58:573–81.
- [15] Cho C–G, Kim Y–Y, Feo L, Hui D. Cyclic responses of reinforced concrete composites columns strengthened in the plastic hinge region by HPFRC mortar. *Compos Struct* 2012;94:2246–53.
- [16] W.I. Liao, J.F. Chai, “Shake Table Test and Numerical Simulation on Seismic Responses of Raised Floor”, The 14th World Conference on Earthquake Engineering, Oct. 2008
- [17] M. Mehrain, Michael Clayton, James Stuart, “Seismic Testing and Design of Raised Computer Floors”, Proceedings of Ninth World Conference on Earthquake Engineering, Aug. 1988
- [18] G Mosqueda et al. “Experimental Evaluation of Nonstructural Components under Full-scale Floor Motions, 4th International Conference on Earthquake Engineering, Taipei, Taiwan, Oct. 2006
- [19] Priestley, M. J. N. (1997). Displacement-based seismic assessment of reinforced concrete buildings. *Journal of Earthquake Engineering*, 1(1), 157–192.
- [20] Earthquake Risk to Nonstructural Components & System, Michael J. Griffin et al, CCS Group, 2008
- [21] Pantelides, C. P., Hansen, J., Nadeau, J., & Reaveley, L. D. (2008). Assessment of RC building exterior joints with substandard details. PEER Report No. 2002/18, Pacific Earthquake Engineering Research Centre, College of Engineering, University of California, Berkeley.
- [22] Structural performance database, PEER Center. <<http://www.ce.washington.edu/~peera1/>>.
- [23] Kokusho S. Report by building research institute. Tsukuba (Japan): Building Research Institute; 1964.
- [24] Kokusho S, Fukuhara M. Report by Kokusho lab. Tokyo Industrial University; 1965.
- [25] FEMA–547, Techniques for the Seismic Rehabilitation of Existing Buildings, National Earthquake Hazards Reduction Program, 2006
- [26] Eurocode 8: Design of structures for earthquake resistance, 2009
- [27] ACI 374–1R–13, Guide for Testing Reinforced Concrete Structural Elements under Slowly Applied Simulated Seismic Load, ACI Committee 374, American Concrete Institute, 2013
- [28] Fib Bulletin 24, Seismic Assessment and Retrofit of RC Buildings, 2003
- [29] Moehle, J. P., and Mahin, S. A., "Observations on the Behavior of Reinforced Concrete Buildings during Earthquakes" *Earthquake-Resistant Concrete Structures-Inelastic Response and Design*, SP-127, S. K. Ghosh, ed., American Concrete Institute, Farmington Hills, Mich., 1991, pp. 67–89.
- [30] Elwood KJ, Eberhard MO. Effective stiffness of reinforced concrete columns. *PEER Research Digest*; 2006.
- [31] ACI Committee 374, Acceptance Criteria for Moment Frames Based on Structural Testing and Commentary, ACI 374.1–05, American Concrete Institute, 2005, pp. 1–9.
- [32] ASTM C 1609/1609M–12. Standard test method for flexural performance of fiber-reinforced concrete
-

-
- (using beam with third-point loading). Annual Book of ASTM Standards, ASTM Committee, C09.42; 2012.
- [33] CISCA, Recommended Test Procedures for Access Floors, Ceilings & Interior Systems Construction Association, 2006
- [34] ASCE/SEI 7-10, Minimum Design Loads for Building and Other Structures, ASCE, 2010
- [35] ASCE 41-06, Seismic Rehabilitation of Existing Buildings, American Society of Civil Engineering, 2006
- [36] ASCE/SEI 41-13, Seismic rehabilitation standards committee. Seismic Rehabilitation of Existing Buildings, ASCE, 2013
- [37] NRBS™ Requirement : Physical Protection (GR-63-CORE), Telcordia, 2006
- [38] FEMA E-74, Reducing the Risks of Nonstructural Earthquake Damage -A Practical Guide, NEHRP, 2011
- [39] ACI 318-14. Building code requirements for structure concrete (ACI 318-14). American Concrete Institute, Farmington Hills, Michigan, UAS; 2014.
- [40] ACI 440.2R-02 Guide for the Design and Construction of Externally Bonded FRP Systems for Strengthening Concrete Structures, American Concrete Institute, 2002

[콘크리트 앵커 및 필로티형 RC 구조 성능]

- [1] 국토해양부 (2012). "콘크리트구조기준," 한국콘크리트학회.
- [2] 한국건축구조기술사회 (2010). "철근콘크리트 배근상세," 한국건축구조기술사회.
- [3] 한국콘크리트학회 (2010). "콘크리트용 앵커 설계법 및 예제집," 한국콘크리트학회.
- [4] 일본건축종합시험소 구조부, "철근콘크리트 증설벽 내진보강설계·시공지침"
- [5] ACI Committee 318 (2011). "Building code requirements for structural (ACI 318M-11) and commentary," American Concrete Institute, Farmington Hills, Mi.
- [6] ACI Committee 355 (2011). "Qualification of post-installed adhesive anchors in concrete (ACI 355.4M-11) and commentary," American Concrete Institute, Farmington Hills, Mi.
- [7] ACI Committee 355 (2011). "Evaluating the performance of post-installed mechanical anchors in concrete (ACI 355.2-00)," American Concrete Institute, Farmington Hills, Mi.
- [8] AISC (2001). "Manual of steel construction," American Institute of Steel Construction.
- [9] A. Ghobarah, T.S. Aziz (2004). "Seismic qualification of expansion anchors to Canadian nuclear standards," Nuclear Engineering and Design, 228(1-3):377-392.
- [10] Akanshu Sharma, P.N. Dubey, G.R. Reddy, K.K. Vaze, C. Mahrenholtz, R. Eligehausen, C.C. Gupta, J.K. Chakravarty, S.K. Mishra, S. Guha, R.L. Suthar, T.V.S. Murthy and K. Srinivas (2011). "Experiments on reinforced concrete structures: Sub-Assemblages and components for seismic safety: Post installed anchors," Barc Newsletter: Research Article, 319: 16-22.
- [11] Derrick A. Watkins, Tara C. Hutchinson, Matthew S. Hoehler (2012). "Cyclic crack and inertial loading system for investigating anchor seismic behavior," ACI Structural Journal, 109(4): 457-466.
- [12] ETAG 001 (2012). "Guideline for european technical approval of metal anchors for use in concrete, Annex A: Details of tests," European Organisation for Technical Approvals, Brussels.
- [13] ETAG 001 (2012). "Guideline for european technical approval of metal anchors for use in concrete, Annex E: Assessment of metal anchors under Seismic action," European Organisation for Technical Approvals, Brussels.
- [14] ETAG 001 (2012). "Guideline for european technical approval of metal anchors for use in concrete, part 1-6," European Organisation for Technical Approvals, Brussels.
- [15] G. Genesio, R. Eligehausen, S. Pampanin (2011). "Application of post-installed anchors for seismic retrofit of RC beam-column joints: Design Method," Proceedings of the Ninth Pacific Conference on Earthquake Engineering, 196.
- [16] George Solomos, Mario Berra (2006). "Testing of anchorages in concrete under dynamic tensile loading," Materials and Structures, 39: 695-706.
- [17] Hakki Muratli, Richard E. Klingner, Herman L. Graves III (2004). "Breakout capacity of anchors in concrete - Part 2: Shear," ACI Structural Journal, 101(6): 821-829.
- [18] Jerome F. Hajjar (2002). "Composite steel and concrete structural systems for seismic engineering," Journal of Constructional Steel Research, 58(5-8): 703-723.
- [19] Julio Jimenez-Pacheco, Michael E. Kreger (1993, 2). "Behavior of steel-to-concrete connections for use in repair and rehabilitation of reinforced concrete structures," Phil M. Ferguson Structural Engineering Laboratory.
- [20] M. Rodriguez, D. Lotze, J.H. Gross, Y-G Zhang, R.E. Klingner, H.L. Graves III (2001). "Dynamic behavior of tensile anchors to concrete," ACI Structural Journal, 98(4): 511-524.
- [21] M.R. Maheri, A. Hadjipour (2003). "Experimental investigation and design of steel brace connection to RC frame," Engineering Structures, 25(13): 1707-1714.
- [22] Mansour Shirvani, Richard E. Klingner, Herman L. Graves III (2004). "Breakout capacity of anchors in concrete - Part 1: Tension," ACI Structural Journal, 101(6): 812-820.

- [23] Matthew S. Hoehler, Philipp Mahrenholtz, Rolf Eligehausen (2011). "Behavior of anchors in concrete at seismic-relevant loading rates", ACI Structural Journal, 108(2): 238-247.
- [24] Matthew S. Hoehler, Rolf Eligehausen (2008). "Behavior and testing of anchors in simulated seismic cracks," ACI Structural Journal, 105(3): 348-357.
- [25] Milton Rodriguez, Yong-gang Zhang, Dieter Lotez, Herman L. Graves III, Richard E. Klingner (1997). "Dynamic behaviour of anchors in cracked and uncracked concrete: a progress report," Nuclear Engineering and Design, 168(1-3): 23-34.
- [26] Nam-Ho Lee, Kwang-Ryeon Park, Yong-Pyo Suh (2011). "Shear behavior of headed anchors with large diameters and deep embedments in concrete," Nuclear Engineering and Design, 241(3): 608-616.
- [27] Ozlem Caliskan, Salih Yilmaz, Hasan Kaplan, Nevzat Kirac (2013). "Shear Strength of epoxy anchors embedded into low strength concrete," Construction and Building Materials, 38: 723-730.
- [28] Philipp Mahrenholtz (2012). "Experimental performance and recommendations for qualification of post-installed anchors for seismic applications," Inst. fur Werkstoffe im Bauwesen.
- [29] R.E. Klingner, "Reinforcing details for anchor bolts subjected to reversed cyclic shear," National Information Centre of Earthquake Engineering, vol 6.
- [30] Salih Yilmaz, Muhammet Ali Ozen, Yavuz Yardim (2013). "Tensile behavior of post-installed chemical anchors embedded to low strength concrete," Construction and Building Materials, 47: 861-866.
- [31] Sang-Yun Kim, Chul-Soo Yu, Yonung-Soo Yoon (2004). "Sleeve-type expansion anchor behavior in cracked and uncracked concrete," Nuclear Engineering and Design, 228(1-3): 273-281.
- [32] Stefano Pampanin (2006). "Controversial aspects in seismic assessment and retrofit of structures in modern times: Understanding and implementing lessons from ancient heritage," Bulletin of the New Zealand Society for Earthquake Engineering, 39(2): 120-133.
- [33] Thierry Guillet (2011). "Behavior of metal anchors under combined tension and shear cycling loads," ACI Structural Journal, 108(3): 315-323.

[강/합성구조 성능평가 및 보강]

- [1] 이철호, 김성용 (2017). 바닥슬래브를 고려한 용접철골모멘트접합부의 내진보강, 한국강구조학회논문집, 한국강구조학회, 29/1, pp. 25-36.
- [2] S.Y. Kim, C.H. Lee (2017). Seismic retrofit of welded steel moment connections with highly composite floor slabs, J. Constr. Steel Res., ELSEVIER, 139, pp.62-68.
- J.L. Gross, M. Engelhardt, C.M. Uang, K. Kasai, N.R. Iwankiw (2003). Modification of Existing Welded Steel Moment Frame Connections for Seismic Resistance (Vol. 12), AISC, Chicago, Illinois.
- [3] C.H. Lee, C.M. Uang (2001). Analytical Modeling and Seismic Design of Steel Moment Connections with Welded Straight Haunch, J. Struct. Eng., ASCE, 127 pp.1028-1035.
- [4] C.H. Lee, J.H. Jung, M.H. Oh, E.S. Koo (2003). Cyclic seismic testing of steel moment connections reinforced with welded straight haunch, Eng. Struct., ELSEVIER, 25 pp.1743-1753.
- [5] American Society of Civil Engineers (ASCE) (2014) Seismic Evaluation and Retrofit of Existing Buildings, ASCE/SEI 41-13, ASCE, Reston, Virginia.
- [6] Architectural Institute of Korea (AIK) (2009), Korean Building Code and Commentary 2009, AIK.
- [7] Federal Emergency Management Agency (2000) Recommended seismic design criteria for new steel moment-frame buildings, FEMA 350, SAC Joint Venture.
- [8] Korean Society of Steel Construction (KSSC) (2011) Design of Steel Structures, KSSC.
- Korean Society of Steel Construction (2012) Guidelines of Standard Connection Details in Steel Structures, KSSC.
- [9] AISC (2010) Specification for Structural Steel Buildings.
- [10] LS-DYNA (2009) LS-DYNA Keyword User's Manual, version 971, Livermore Software Technology Corporation, Livermore, CA.
- [11] Korean Society of Steel Construction (2014) Report for Design Guide of HSA800 Hollow Section Connection, December.
- [12] Eurocode 3 EN 1993-1-8(2005) Design of steel structures - Part 1-8: Design of Joints.
- AIK. Korea building code and commentary - structural, Architectural Institute of Korea. c2009.
- [13] ISO14346 (2013) Static design procedure for welded hollow section joints - Recommendations.
- [14] Hwang HJ, Eom TS, Park HG, Lee CN, Kim HS. Compression Test for Prefabricated Composite Columns Using High-Strength Steel Angles. Journal of Korean Society of Steel Construction. KSSC. 2012 August;24(4):361-369.

[건축물 구조평가/보강 전산시스템]

- [1] Han D, Kim P, The Influence of Hoop Bar on the Compressive Strength of Short Steel Reinforced Concrete Columns, J. of the arch, Inst. of Korea, 1992;1(12):335-338
- [2] Kim K, et al, Evaluation of R.C Short Columns Strength by Concrete Compressive Strength and

-
- Transverse Reinforcement Ratio, Conference presentation in Arch, Inst, of Korea, c1999
- [3] KISTEC. Seismic Performance Evaluation Method for Existing Buildings. Korea Infrastructure Safety & Technology Corporation. c2013.
- [4] KEDI. Guideline for Seismic Performance Evaluation & Seismic Retrofit of School Facilities. Korea Educational Development Institute. c2011
- [5] ASCE/SEI 41-13. Seismic Rehabilitation of Existing Buildings. American Society of Civil Engineers. c2014
- [6] AIK. Korean Building Code. KBC2009. Architectural Institute of Korea. Seoul. Korea. c2009.
- [7] ASCE. Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures. ASCE/SEI 7-10. c2010
- [8] NEHRP Recommended Provisions for New Buildings and Other Structures: Training and Instructional Materials FEMA 451B. c2007
- [9] PEER/ATC72-1. "Modeling and Acceptance Criteria for Seismic Design and Analysis of Tall Buildings." Applied Technology Council. c2010
- [10] FEMA440. Improvement of Nonlinear Static Seismic Analysis Procedures. Washington. D.C.: Federal Emergency Management Agency: c2005

[내진보강 진동제어장치]

- [1] Xia C, Hanson RD. Influence of ADAS element parameters on building seismic response. J Struct Eng ASCE 1992;118(7):1903-18
- [2] Park J, Lee J, Kim J. Cyclic test of buckling restrained braces composed of square steel rods and steel tube. Steel Compos Struct 2012;13:423-36.
- [3] Choi H, Kim J. Energy-based seismic design of buckling-restrained braced frames using hysteretic energy spectrum Eng Struct 2006; 28(2): 304-311.
- [4] Lee M, Lee J, Kim J. Seismic Retrofit of Structures Using Steel Honeycomb Dampers, International Journal of Steel Structures 2017; 17(1): 215-229
- [5] Kim Y, Ahn T, Kim H, Jang D. Development of New Steel Damper for Seismic Retrofit of Existing Structures, 15th World Congress of Earthquake Engineering, Lisboa, Portugal, 2012

[진동제어형 내진보강기법 개발]

- [1] Ahn, T. S. & Kim. H. J. (2008). Efficient seismic retrofit of existing structures. Journal of Architectural Institute of Korea, 52(10), 62-69.
- [2] Akbas, B., Shen, J., & Hao, H. (2001). Energy approach in performance-based seismic design of steel moment resisting frames for basic safety objective. The structural design of tall buildings, 10(3), 193-217.
- [3] Benavent-Climent, A. (2011). An energy-based method for seismic retrofit of existing frames using hysteretic dampers. Soil Dynamics and Earthquake Engineering, 31(10), 1385-1396.
- [4] Benavent-Climent, A., López-Almansa, F., & Bravo-González, D. A. (2010). Design energy input spectra for moderate-to-high seismicity regions based on Colombian earthquakes. Soil Dynamics and Earthquake Engineering, 30(11), 1129-1148.
- [5] Benavent-Climent, A., Pujades, L. G., & López-Almansa, F. (2002). Design energy input spectra for moderate-seismicity regions. Earthquake engineering & structural dynamics, 31(5), 1151-1172.
- [6] Benavent-Climent, A., & Zahran, R. (2010). An energy-based procedure for the assessment of seismic capacity of existing frames: Application to RC wide beam systems in Spain. Soil dynamics and earthquake engineering, 30(5), 354-367.
- [7] Black, C. J., Makris, N., & Aiken, I. D. (2004). Component testing, seismic evaluation and characterization of buckling-restrained braces. Journal of Structural Engineering, 130(6), 880-894.
- [8] Brown, P., Aiken, I. D., & Jafarzadeh, F. J. (2001). Seismic retrofit of the Wallace F. Bennett Federal Building. Modern Steel Construction, 41(8), 29-39.
- [9] Chou, C. C., & Uang, C. M. (2003). A procedure for evaluating seismic energy demand of framed structures. Earthquake Engineering & Structural Dynamics, 32(2), 229-244.
- [10] Cruz A, M. F., & López, O. A. (2000). Plastic energy dissipated during an earthquake as a function of structural properties and ground motion characteristics. Engineering structures, 22(7), 784-792.
- [11] Decanini, L. D., & Mollaioli, F. (2001). An energy-based methodology for the assessment of seismic demand. Soil Dynamics and Earthquake Engineering, 21(2), 113-137.
- [12] Estes, K. R., & Anderson, J. C. (2004, August). Earthquake resistant design using hysteretic energy demands for low rise buildings. In Proceeding of the 13th world conference on earthquake engineering.
- [13] Fajfar, P., & Vidic, T. (1994). Consistent inelastic design spectra: hysteretic and input energy. Earthquake Engineering & Structural Dynamics, 23(5), 523-537.
- [14] Fajfar, P., Vidic, T., & Fischinger, M. (1989). Seismic demand in medium-and long-period structures.

Earthquake Engineering & Structural Dynamics, 18(8), 1133–1144.

- [15] Habibi, A., Chan, R. W., & Albermani, F. (2013). Energy-based design method for seismic retrofitting with passive energy dissipation systems. *Engineering Structures*, 46, 77–86.
- [16] Housner, G. W. (1956). Limit design of structures to resist earthquakes. In *Proceedings of the First World Conference on Earthquake Engineering*, 5, 1–13.
- [17] Leelataviwat, S., Goel, S. C., & Stojadinović, B. (2002). Energy-based seismic design of structures using yield mechanism and target drift. *Journal of Structural Engineering*, 128(8), 1046–1054.
- [18] Moon, T. S., Oh, S. H., & Lee, S. W. (2000). The proposal of energy equivalent velocity spectra for energy input by earthquakes. *Journal of Architectural Institute of Korea*, 16(4), 3–9.
- [19] Oh, S. H. (2014). The proposal of design spectrum for performance-based design and vibration control structural system. *Journal of Architectural Institute of Korea*, 30(12), 3–11.
- [20] Oh, S. H., & Jeon, J. S. (2014). A study on optimum distribution of story shear force coefficient for seismic design of multi-story structure. *International Journal of High-Rise Building*, 2, 121–145.
- [21] Oh, S. H., & Ryu, H. S. (2007). The proposal of energy equivalent velocity spectra for energy input by earthquake. In *Proceedings of Korean Society of Steel Construction*, 184–187.
- [22] Shin, S. H., & Oh, S. H. (2016). Correlation analysis of Gyeongju earthquake waveform and structural damage scale. *Journal of Architectural Institute of Korea*, 32(12), 33–44.
- [23] Shin, S. H., & Oh, S. H. (2016). Evaluation of stability for energy spectrum according to characteristic values of MDOF system. In *Proceedings of Architectural Institute of Korea*, 36(1), 289–290.
- [24] Shin, S. H., & Oh, S. H. (2016). Hysteresis characteristics of buckling restrained brace with precast RC restraining elements. *Journal of the Korea Institute for Structural Maintenance and Inspection*, 20(1), 72–84.
- [25] Shin, S. H., & Oh, S. H. (2016). Hysteresis characteristics of buckling restrained brace with steel double-restraining elements of built-up type. *Journal of Architectural Institute of Korea*, 32(1), 23–34.
- [26] Tsai, K. C., Hwang, Y. C., Weng, C. S., Shirai, T., & Nakamura, H. (2002, December). Experimental tests of large scale buckling restrained braces and frames. In *Proceedings, Passive Control Symposium*.
- [27] Tsai, K. C., Loh, C. H., Hwang, Y. C., & Weng, C. S. (2003, January). Seismic retrofit of building structures with dampers in Taiwan. In *Symposium of Seismic Retrofit of Buildings and Bridges with Base Isolation and Dampers*.
- [28] Tsai, K. C., & Lai, J. W. (2002). A study of buckling restrained seismic braced frame. *Structural Engineering*, 17(2), 3–32.
- [29] Wada, A. (2006, October). Next step is to select good structures by people. In *4th International Conference on Earthquake Engineering*.
- [30] Watanabe, A., Hitomi, Y., Saeki, E., Wada, A., & Fujimoto, M. (1988, August). Properties of brace encased in buckling-restraining concrete and steel tube. In *Proceedings of the Ninth World Conference on Earthquake Engineering* (Vol. 4, pp. 719–724).
- [31] Zahrah, T. F., & Hall, W. J. (1984). Earthquake energy absorption in SDOF structures. *Journal of structural Engineering*, 110(8), 1757–1772.
- [32] ASCE/SEI. (2010). *Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures*. ASCE 7–10. Reston, VA: ASCE.
- [33] ASCE/SEI. (2013). *Seismic Evaluation and Retrofit of Existing Buildings*. ASCE 41–13. Reston, VA: ASCE.
- [34] Akiyama, H. (1985). *Earthquake-Resistant Limit-State Design for Buildings*. Univ of Tokyo Pr.
- [35] Black, C., Aiken, I. D., & Makris, N. (2002). Component testing, stability analysis, and characterization of buckling-restrained unbonded braces (TM). *Pacific Earthquake Engineering Research Center*.
- [36] FEMA. 1998. *Handbook for the Seismic Evaluation of Buildings: A Prestandard*. FEMA 310. Washington, DC: FEMA.
- [37] KISTEC/MOLIT. 2011. *Seismic Evaluation and Retrofit of Existing Buildings*. Republic of Korea.
- [38] NEMA. 2012. *Guideline for Seismic Evaluation of Existing Buildings*. Republic of Korea.
- [39] SEAOC Vision 2000 Committee (1995). *Performance-Based Seismic Engineering*. Report prepared by Structural Engineers Association of California, Sacramento, California.
- [40] Uang, C. M., & Bertero, V. V. (1988). *Use of energy as a design criterion in earthquake-resistant design* (Vol. 88, No. 18). Berkeley, USA: Earthquake Engineering Research Center, University of California.

[3세부]

[1] 소방방재청(2011) 기존 저층건축물 내진성능 확보기술 개발, 소방방재청.

National Emergency Management (2011) *Development of Technologies for Improvement of Seismic Performance on the Existing Low-Rise Buildings*, NEMA (in Korean).

-
- [2] 한국건축구조기술사회(2012) 소규모건축물 구조지침 및 해설, 기문당.
The Korean Structural Engineers Association (2012) Structural Design Criteria and Commentary for One and Two Story Small Buildings, Kimoondang (in Korean).
- [3] AISC (2003) Column Base Plates, American Institute of Steel Construction.
- [4] AISC (2005) Steel Construction Manual, American Institute of Steel Construction.
- [5] AISC (2006) Base Plate and Anchor Rod Design, American Institute of Steel Construction.
- [6] ANSI/AISC 341-10 (2010) Seismic Provisions for Structural Steel Buildings, American Institute of Steel Construction.
- [7] 대한건축학회(2009) 건축구조설계기준 및 해설(KBC 2009), 기문당.
AIK (2009) Korean Building Code and Commentary, AIK (in Korean).
- [8] Di Sarno, L., Pecce, M.R., and Fabbrocino, G. (2007) Inelastic Response of Composite Steel and Concrete Base Column Connections, Journal of Constructional Steel Research 63, pp.819-832.
- [9] Drake, R.M. and Elkin, S.J. (1999) Beam-Column Base Plate Design - LRFD Method, Engineering Journal, First Quarter, pp.29-38.(Engineering Journal-American institute of steel construction 이면 SCI임)
- [10] Fisher, J.M. and Kloiber, L.A. (2006) Design Guide 1: Base Plate and Anchor Rod Design, 2nd Edition, American Institute of Steel Construction, pp.13-31.
- [11] Fisher, J.M. and West, M.A., (1997) Design Guide 10: Erection Bracing of Low-rise Structural Steel Building, American Institute of Steel Construction, pp.11-18.
- [12] Hon, K.K. and Mechers, R.E. (1988) Experimental Behaviour of Steel Column Bases, Journal of Constructional Steel Research 9, pp.35-50.
- [13] Kanvinde, A.M., Grilli, D.A., and Zareian, F. (2012) Rotational Stiffness of Exposed Column Base Connections: Experiments and Analytical Models, Journal of Structural Engineering, ASCE, Vol.138, No.5, pp.549-560.
- [14] Melchers, R.E. (1992) Column-Base Response Under Applied Moment, Journal of Constructional Steel Research 23, pp.127-143.
- [15] Thambiratnam, D.P. and Paramasivam, P. (1986) Base Plates Under Axial Loads and Moments, Journal of Structural Engineering, ASCE, Vol.112, No.5, pp.1166-1181
- [16] 이승재, 송현석(2008) 편심 축하중을 받는 강구조 주강부의 거동에 관한 연구, 국강구조학회논문집, 한국강구조학회, 제20권, 제2호, pp.323-332.
- Lee, S.J. and Song, H.S. (2008) A Study on the Structural Behavior of Eccentrically Loaded Steel Column Base Plates, Journal of Korean Society of Steel Construction, Vol.20, No.2, pp.323-332 (in Korean).
- [17] ACI 318-14 (2015) Building Code Requirements for Structural Concrete and Commentary, American Concrete Institute.
- [18] 한국콘크리트학회(2012) 콘크리트구조기준 해설, 기문당.
KCI (2012) Design Code for Concrete Structures, Kimoondang (in Korean).
- [19] KS B 0801 (2007) 금속 재료 인장 시험편, 한국공업규격.
KS B 0801 (2007) The Pieces for Tension Test for Metallic Materials, Korean Standard Association (in Korean).
- [20] KS B 0802 (2003) 금속 재료 인장 시험 방법, 한국표준협회.
KS B 0802 (2003) Method of Tensile Test for Metallic Materials, Korean Standard Association (in Korean).
- [21] NZS 3404: Part 1: 2009 (2009) Steel Structures Standard, Part 1: Materials, Fabrication, and Construction, Standards New Zealand.
- [22] ACI T1.1-01 (2001) Acceptance Criteria for Moment Frames Based on Structural Testing, American Concrete Institute.
- [23] AISC (2005), Steel Construction Manual, Volume II, American Institute of Steel Construction.
- [24] Gomez, I., Deierlein, G. G., and Kanvinde, A. M. (2010), Exposed Column Base Connections Subjected to Axial Compression and Flexure, Final report presented to the American Institute of Steel Construction, AISC Report, 3.1-3.54; B.1.
- [25] Korean Society of Steel Construction (2014), Korean Steel Structure Design Code and Commentary: Load and Resistance Factored Design, Korean Society of Steel Construction (in Korean).
- [26] Lee, G. H., You, Y. C., Choi, K. S., Koo, H. J., and Yoo, M. N. (2016), The Numerical Study on Capacity Evaluation of Exposed Steel Column-Base Plate Connection, Journal of the Korea Institute for Structural Maintenance and Inspection, 20(5), 26-34 (in Korean).
- [27] Lim, W. Y., Kang, T. H. -K., and Hong, S. G. (2016), Cyclic Lateral Testing of Precast Concrete T-Walls in Fast Low-Rise Construction, ACI Structural Journal, 113(1), 179-189.
- [28] Melchers, R. E. (1992), Column-Base Response Under Applied Moment, Journal of Constructional Steel Research, 23, 127-143.
- [29] National Emergency Management (2011), Development of Technologies for Improvement of Seismic Performance on the Existing Low-Rise Buildings, NEMA.
- [30] NZS 3404: Part 1: 2009 (2009), Steel Structures Standard, Part 1 : Materials, Fabrication, and
-

Construction, Standards New Zealand.

- [31]Thambiratnam, D. P., and Paramasivam, P. (1986), Base Plates Under Axial Loads and Moments, Journal of Structural Engineering, ASCE, 112(5), 1166–1181.
- [32] The Korean Structural Engineers Association (2012), Structural Design Criteria and Commentary for One and Two Story Small Buildings, Kimoondang (in Korean).
- [33] 한국건축구조기술사회, 대한건축학회 (2010) 소규모 건축물 내진설계 개선방안 연구, 국토해양부. The Korean Structural Engineers Association, Architectural Institute of Korea (2010) Improvement of Seismic Design for Small-Size Buildings, Ministry of Land, Infrastructure and Transport (in Korean).
- [34] 이강민, 정희택, 윤석용, 이은모, 오경환(2008) 브라켓 및 WUF-B 형식 철골모멘트골조 약축접합부 내진성능평가, 한국강구조학회논문집, 한국강구조학회, 제20권, 제4호, pp.483–491.
- Lee, K.M., Jeong, H.T., Yoon, S.R., Lee, E.M., and Oh, K.H. (2008) Cyclic Testing of Bracket and WUF-B Type Weak-Axis Steel Moment Connections, Journal of Korea Society of Steel Construction, KSSC, Vol.20, No.4, pp.483–491 (in Korean).
- [35] Rentschler, G.P., Driscoll, G.C., and Chen, W. F. (1980) Tests of Beam-to-Column Web Moment Connections, Journal of the Structural Division, ASCE, Vol.106, No.5, pp.1005–1022.
- [36] Janss, J., Jaspart, J.P., and Maquoi, R. (1987) Strength and Behavior of In-Plane Weak Axis Joints and of Three-Dimensional Joints, Proc. of State-of-the-Art Workshop on Connections and the Behaviour, Strength and Design of Steel Structures, Cachan, pp.60–68.
- [37] Gilton, C.S. and Uang, C.M. (2002) Cyclic Response and Design Recommendations of Weak-Axis Reduced Beam Section Moment Connections, Journal of Structural Engineering, ASCE, Vol.128, No.4, pp.452–463.
- [38] Koetaka, Y., Chusilp, P., and Zhang, Z. (2005) Mechanical Property of Beam-to-Column Moment Connection with Hysteretic Dampers for Column Weak Axis, Engineering Structures, Elsevier, Vol.27, No.1, pp.109–117.(Engineering Journal-American institute of steel construction 이면 SCI임)
- [39] Harada, Y., Ebato, K., and Morita, K. (2007) Structural Performance of Web Plate of H-section Member-to-Split-Tee Tensile Connection with High-Strength Bolts, Journal of Structural and Construction Engineering, ASCE, No.614, pp.123–130.
- [40] Kim, S.D., Kim, S.S., and Ju, Y.K. (2008) Strength Evaluation of Beam-Column Connection in the Weak Axis of H-shaped Column, Engineering Structures, Elsevier, Vol.30 No.6, pp.1699–1710.
- [41] 심현주, 조한술, 김대희, 김상섭(2013) 실물크기의 H형강 기둥-보 신형상 약축접합부에 대한 구조성능평가, 한국강구조 학회논문집, 한국강구조학회, 제25권, 제3호, pp.233–242.
- Shim, H.J., Cho, H.S., Kim, D.H., and Kim, S.S. (2013) Performance Evaluation of Full-Scale H-Shape Beam-to-Column New-Shape Weak Axis Connection, Journal of Korean Society of Steel Construction, KSSC, Vol.25, No.3, pp.233–242 (in Korean).
- [42] 김상섭, 이도형, 함정태, 김규석(2004) H형강 기둥의 약축에 대한 기둥-보 접합상세 개발 및 내력평가, 한국강구조학회논문집, 한국강구조학회, 제16권, 제1호, pp.169–180.
- Kim, S.S., Lee, D.H., Ham, J.T., and Kim, G.S. (2004) Development and Strength Evaluation of Beam-to-Column Connection Details in Weak Axis of H-shape Column, Journal of Korea Society of Steel Construction, KSSC, Vol.16, No.1, pp.169–180 (in Korean).
- [43] 김상섭, 부윤섭(2011) 초간편 H형강 기둥-보 약축접합부의 구조성능 및 CO2 저감량 평가, 한국강구조학회 논문집, 한국강구조학회, 제23권, 제5호, pp.615–627.
- Kim, S.S. and Boo, Y.S. (2011) Structural Performance and CO2 Reduction Evaluation of the Ultra simple Wide-shaped section Beam-to-Column Weak Axis Connection, Journal of Korea Society of Steel Construction, KSSC, Vol.23, No.5, pp.615–627 (in Korean).
- [44] 이철호, 정종현, 김성용(2015) RBS 약축 용접모멘트의 내진성능 평가, 한국강구조학회 논문집, 한국강구조학회, 제 27권, 제6호, pp.513–523.
- Lee, C.H., Jung, J.H., and Kim, S.Y. (2015) Cyclic Seismic Performance of RBS Weak-Axis Welded Moment Connections, Journal of Korea Society of Steel Construction, KSSC, Vol.27, No.6, pp.513–523.
- [45] 김철구, 엄태성, 박홍근, 김태완(2015) 소성힌지 구간에서 겹침이음된 RC기둥의 내진성능, 대한건축학회 논문집(구조계), 제31권, 제12호, pp.23–33.
- Kim, C.G., Eom, T.S., Park, H.G., and Kim, T.W. (2015) Seismic Performance of RC Columns with Lap Splice at Plastic Region, Journal of Architectural Institute of Korea (Structure & Construction), Vol.31, No.12, pp.23–33 (in Korean).
- [46] 김철구, 엄태성, 박홍근, 김태완(2016) 소규모 건축물을 위한 과소보강된 콘크리트 보-기둥 접합부의 내진성능, 대한 건축학회 논문집(구조계), 제32권, 제3호, pp.19–30.
- Kim, C.G., Eom, T.S., Park, H.G., and Kim, T.W. (2016) Seismic Performance of Lightly Reinforced Concrete Beam-Column Connections for Low-Rise Buildings, Journal of Architectural Institute of Korea (Structure & Construction), Vol.32, No.3, pp.19–30 (in Korean).
- [47] 강구조의 설계(2011), 한국강구조학회, 구미서관.
- Design of Steel Structures(2011), Korea Society of Steel Construction, goomiseokuan (in Korean).
-

-
- [for Metallic Materials, Korean Standard Association (in Korean).
- [48] ANSI/AISC 360–10(2010b), Specification for Structural Steel Buildings, AISC.
- [49] EN 1993–1–8(2005), Eurocode 3: Design of Steel Structures – Part 1–8: Design of Joints, European Committee for Standardization.
- [50] ASTM A615 / A615M–16 (2016). Standard Specification for Deformed and Plain Carbon–Steel Bars for Concrete Reinforcement, ASTM International, West Conshohocken, PA, www.astm.org.
- [51] ASTM E8 / E8M–16a (2016). Standard Test Methods for Tension Testing of Metallic Materials, ASTM International, West Conshohocken, PA, www.astm.org
- [52] ACI Committee 318. (2014). Building Code Requirements for Structural Concrete (ACI 318–14) and Commentary, American Concrete Institute. Farmington Hills, MI.
- [53] Jirsa, J. O. (1991). "Design of Beam–Column Joints for Seismic Resistance." Special Publication of ACI Journal, 123, 1–518.
- [54] KBC2016. (2016). Korean Building Code and Commentary, Architectural Institute of Korea, Kimoondang.
- [55] Melek, M., and Wallace, J. W. (2004). "Cyclic Behavior of Columns with Short Lap Splices." ACI Structural Journal, 101(6), 802–811.
- [56] Park, R. (1997). "A Static Force–based Procedure for the Seismic Assessment of Existing Reinforced Concrete Moment Resisting Frames." Bulletin of the New Zealand National Society for Earthquake Engineering, 30(3), 213–226.
- [57] Paulay, T. (1982). "Lapped Splices in Earthquake–resisting Columns." ACI Journal Proceedings, 79(6), 458–469.
- [58] Sezen, H. (2002). "Seismic Behavior and Modeling of Reinforced Concrete Building Columns." Ph.D. dissertation, Univ. of California, Berkeley, CA.
- [59] Sezen, H., and Moehle, J. P. (2004). "Shear Strength Model for Lightly Reinforced Concrete Columns." Journal of Structural Engineering, 130(11), 1692–1703.
- [60] Hwang, S. J., Lee, H. J., Liao, T. F., Wang, K. C., and Tsai, H. H. (2005). Role of hoops on shear strength of reinforced concrete beam–column joints. ACI Structural Journal, 102(3), 445–453.
-

주 의

1. 이 최종보고서는 국토교통부에서 시행한 도시건축연구사업의 연구보고서입니다.
2. 이 최종보고서 내용을 발표하는 때에는 반드시 국토교통부에서 시행한 사업의 연구개발성과임을 밝혀야 합니다.
3. 국가과학기술 기밀 유지에 필요한 내용은 대외적으로 발표 또는 공개하여서는 안 됩니다.