

1. 표지

(뒷면) (옆면)

(앞면)

2. 제출문

제 출 문

국토교통과학기술진흥원장 귀하

‘지진 취약지역에 시설물 보호를 위한 변위제어 및 원형치유가 가능한 지진동 격리용 스마트 면진 시스템의 원천기술 개발에 관한 연구’ (연구개발 기간 : 2014.8.14 ~ 2016.8.26) 과제의 최종보고서 6부를 제출합니다.

2016. 11. 27.

주관연구기관명 : 인천대학교 산학협력단 (허 중 완) (인)

주관연구기관책임자: 허 중 완

국토교통부소관 연구개발사업 운영규정 제38조에 따라 최종보고서 열람에
동의합니다.

3. 보고서 요약서

보고서 요약서

과제 고유 번호	15CTAP-C07894 4-02	해당 단계 연구 기간	2015.8.27. ~2016.8.26	단계구분	2차년도 / 2차년도
연구사업명	중사업명				
	세부사업명	국토교통기술촉진연구사업			
연구과제명	대과제명	지진 취약지역에 시설물보호를 위한 변위제어 및 원형치유가 가능한 지진동 격리용 스마트 면진 시스템의 원천기술 개발			
	세부과제명				
연구책임자	허종완	해당단계 참여 연구원 수	총:11명 내부:11명	해당단계 연구개발비	정부:500,000천원 계:500,000천원
		총 연구기간 참여 연구원 수	총:11명 내부:11명	총 연구개발비	정부:500,000천원 계:500,000천원
연구기관명 및 소속 부서명	인천대학교 산학협력단			참여기업명	
국제공동연구	상대국명:(해당없음)			상대국 연구기관명:(해당없음)	
위탁연구	연구기관명:			연구책임자: 허종완	
- 지진 및 태풍과 같은 자연재해에 대하여 시설물 보호와 구조물에 발생하는 피해를 최소화하기 위한 첨단소재와 결합된 스마트한 면진 시스템을 새롭게 개발하고 관련 기술을 국내에 도입이 필요함 - 개발된 시스템을 현장에 적용하고 성능 향상의 효과를 입증하기 위하여 내진 성능이 우수하여 널리 사용 되고 있는 강재 콘크리트 합성 프레임 구조물의 기둥하부에 직접 설치가 가능한 새로운 설계 기술을 개발함 - 면진 받침의 국부적인 거동뿐만 아니라 설치된 구조물의 전체의 움직임을 수치 해석적으로 재현하기 위하여 고등적인 해석모델을 개발하고 실재 지진 데이터를 활용한 비선형 동적 해석을 실시한다. 해석의 결과로 얻어진 데이터를 바탕으로 확률과 통계를 기반으로 한 위험도 분석 및 지진 취약성 분석 등의 새로운 성능 평가 기술을 개발함 - 이를 통해 특허 및 신기술 신청을 통하여 중소기업으로의 기술이전 및 제품화를 달성함으로써 산업화 및 경제발전에 많은 파급효과가 있을 것으로 판단됨.				보고서 면수 32Page	

4. 국문 요약문

연구의 목적 및 내용	원형복원이 가능한 신소재를 활용하여 변위제어 장치를 개발하고 이를 새롭게 개발된 지진동 격리용 면진 받침에 통합적으로 설치하여 외부로부터 전달되는 응답에 능동적으로 대처 가능한 새로운 스마트 시스템의 기초·원천적인 핵심기술 개발				
연구개발성과	첨단소재 활용 지진동 격리용 스마트 면진 시스템 개발에 기초·원천 기술을 개발함 시스템의 원천기술 개발부터 현장적용 및 성능평가까지 전주기적인 연구를 수행함 재료 및 구조물의 거동을 수치해석적인 방법으로 정확하게 구현할 수 있는 고등 시뮬레이션 모델을 개발함				
연구개발성과의 활용계획 (기대효과)	관련 분야가 초기 연구 단계이므로 국제저명학술지에 독창적인 저널논문 발표 첨단소재 활용 스마트 면진 시스템 개발을 통한 유지 및 개보수 비용의 상당한 절감효과 내진성능이 우수한 콘크리트-강재 합성 복합 프레임 구조물에 능동제어 시스템을 설치하여 지진에 대한 손상으로부터 자동치유 능력을 확보 제안된 구조물이 지진에 대한 우수한 성능의 입증에 위한 거동적인 특수성을 고려한 새로운 평가기법 개발을 위하여 신뢰성을 바탕으로 구조물의 성능을 입증				
핵심어 (5개 이내)	원형치유	스마트시스템	진동제어	면진받침	해석모델

5. 영문 요약문

〈 SUMMARY 〉

Purpose & Contents	The purpose is to develop the core technology of the newly smart system that is possible to actively respond to the external response by installing the displacement control device using materials that can restore shape to the newly developed base isolation				
Results	Develop and utilize advanced materials, based on the core technology of smart base isolation system for isolated development Conducting a study from the development of proprietary technology and performance evaluation system applied to the field Develops high simulation model that can accurately implement the behavior of materials and structures with numerical methods				
Expected Contribution	Using high-tech materials in the construction sector and hybrid fusion research support Utilizing a reinforcing system for the active control of the performance and the displacement of the structure. Civil engineering and building structures that require the use of environmentally friendly and superior aesthetics Measuring the displacement according to the degree of risk of collapse and the structure & Utilizing seismic fragility analysis of structures based on the probability				
Keywords	Self Healing	Smart System	Vibration Control	Isolation Bearing	Analysis Model

(7쪽 중 제5쪽)

6. 영문 목차

7. 본문 목차

< 목 차 >

1. 연구개발과제의 개요	
제1절. 연구개발과제의 목적 및 필요성	1
제2절. 연구개발의 정의, 범위, 특징	4
제3절. 관련분야의 국내외 기술개발 현황	17
제4절. 연구개발결과가 관련분야에서 차지하는 위치	23
2. 국내외 기술 개발 현황	
제1절. 연구수행 전략 및 방법론	26
제2절. 연구수행과정 및 내용(이론적, 실험적)	30
제3절. 연구수행결과 및 결과의 검증 방법 등	35
3. 연구 수행 내용 및 성과	
제1절. 개별 연구성과설명	36
제2절. 핵심요소기술별 성과물	38
제3절. 주요 연구성과	49
제4절. 기술개발 성과의 국내외 시장전망	50
4. 목표 달성도 및 관련 분야 기여도	
5. 연구개발성과의 활용 계획	
제1절. 연구성과 향후 활용방안	54
제2절. 추가연구 필요성 등	55
제3절. 참고문헌	56
6. 연구 과정에서 수집한 해외 과학기술 정보	
7. 연구개발성과의 보안등급	
8. 국가과학기술종합정보시스템에 등록한 연구시설·장비 현황	
9. 연구개발과제 수행에 따른 연구실 등의 안전 조치 이행 실적	
10. 연구개발과제의 대표적 연구 실적	
11. 기타 사항	
12. 참고 문헌	

제1장. 연구개발과제의 개요

1. 연구개발 목적

“첨단 신소재인 초탄성 형상기억합금을 활용한 스마트 면진 시스템의 원천기술 개발 및 상세설계를 실시하고 현장적용에 대한 성능적 우수성을 검증을 위하여 고등적인 해석모델 개발 및 해석결과 평가·분석을 수행”



그림 1 최종 연구목적 및 단계별 연구목적

■ 그림 1과 같이 본 연구개발과제는 총 4단계의 단계로 진행되며 상기의 단계별 세부 연구 목적은 다음과 같다.

· 1차년도

- 지진 하중에 대하여 능동적으로 대처하고 충격흡수와 변위제어가 가능한 스마트한 면진 시스템을 개발하고 제품화와 특허 출원에 초석이 되는 상세적인 도면을 작성한다.
- 개발된 시스템의 역학적 개념 정립을 바탕으로 정밀한 유한요소 해석 모델을 개발하고 해석을 통하여 거동을 재현하고 설계변수에 따른 에너지 소산 능력과 복원성 등의 성능을 예측한다.

· 2차년도

- 스마트 면진 시스템의 현장 적용을 위하여 프레임 빌딩 구조물을 설계하고 비선형 동적해석을 실시하여 해석 결과로써 평가지표로 활용되는 최대 층간 처짐이나 잔류 처짐 등을 분석하여 시스템이 구조물 전체에 미치는 성능의 영향성을 분석한다.
- 해석 결과를 근거로 스마트 면진 시스템을 설치할 경우 구조물 전체에 미치는 영향과 성능 향상의 효과를 검증하도록 한다. 또한 지진에 대한 구조물의 손상 정도를 추가적인 방법으로 분석하여 평가한다.

2. 연구개발의 필요성

(1) 건설 산업 발전에 따른 새로운 개념의 기술 개발 필요성 확산

- 사회, 문화 및 경제 전반에 걸쳐 급속한 발전은 건설 산업에서 건물, 교량, 도로 등 사회기반시설에 대한 수요가 대형화, 기능화, 고도화 및 특수화 되며 다양하고 복잡하게 발전되고 있다.
- 국가 경제발전의 근간이 되는 국토의 효율적인 활용과 인프라 시설의 구축은 건설 산업의 주요 임무 중의 하나이며, 최근 삶의 질 향상과 경제적이고 지속가능한 개발과 같은 새로운 국가 사적인 요구가 제시되고 있다.
- 건설 분야의 요구에 부합하는 건설 기술력의 합리화 및 최적화를 위한 효율적인 기초·원천 기술 개발 연구와 확립은 필수적인 충족조건이다.

- 최근 기술 선진국에서는 구조물의 안전성, 사용성 및 경제성 등의 다양한 요구를 만족시키기 위하여 건설 신소재의 기술 개발 및 활용에 대한 연구의 필요성이 증가하고 있다. 콘크리트와 강재 같은 대표적인 건설재료의 개발과 발전은 일정 수준 달성되었고 다양성 측면에서 한계를 보이고 있으며 사회·구조적 요구에 부합하기 위하여 새로운 개념의 건설재료 도입이 필요하다.
- 신소재 기술 개발과 활용에 대한 연구는 건설 산업의 변화에 따른 새로운 패러다임 속에서 국내 건설기술의 한계를 극복하고 국제 경쟁력의 확보와 선진화를 위하여 적극적으로 추진되어야 할 고부가가치 기술이다.



그림 2 건설 산업의 다양한 수요에 따른 기술 개발 필요성

(2) 자연재해에 대한 위험성 증대 및 대책 확립 필요

- 전 세계적으로 지진은 평균 1638회(1978~2011년) 발생하고 있으며 인명·재산 피해는 기하학적인 수준에 다다르고 있다.
- 최근 2008년 중국 쓰촨성 대지진(사망 7만여명, 재산피해 160조원), 2010년 아이티 대지진(사망 22만여명, 13억 재산피해 15조원), 2011년 동일본 대지진(사망 2만여명, 재산피해 240조원), 2015년 네팔 대지진(사망 9천여명, 4조원) 등과 같은 대지진이 주변국을 포함하여 다수 발생되었다.
- 일본의 경우 고베 대지진을 교훈 삼아 “건축물의 내진 개수 촉진에 관한 법률”을 제정하고 3차례 개정을 거쳐 내진대책을 확보하여 국가 차원의 지진 피해 방지에 대한 노력을 기울임으로써 고베 대지진과 지진 범위와 진동이 유사한 구마모토 지진으로 부터 피해를 700분의 1인 수준으로 방지하였다.



(a) 쓰촨성 대지진

(b) 동일본 대지진

(c) 네팔 대지진

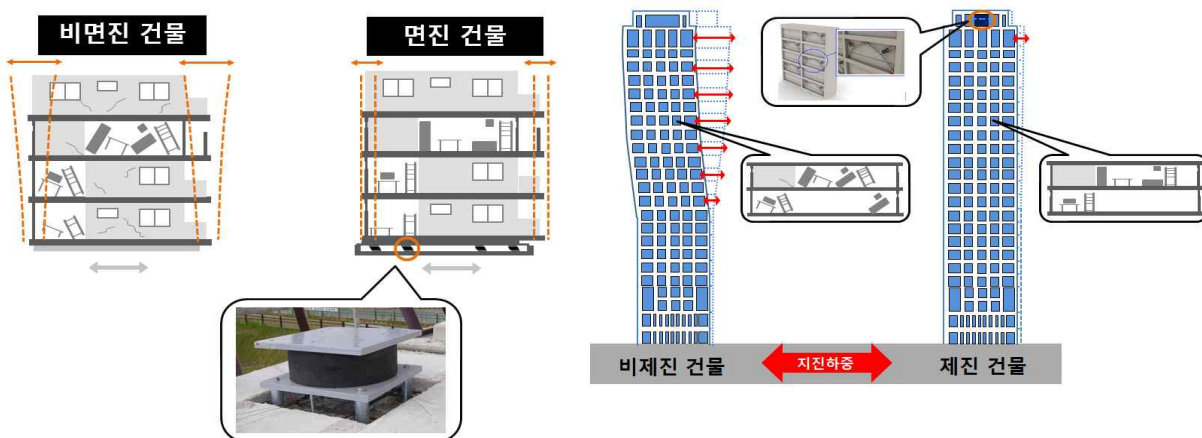
그림 3 지진 피해 사례



- 국내의 경우 지진이 매년 평균 47회(1999~2014) 발생하여 최근 급격하게 증가하고 있으며, 진도 5.0 이상의 지진도 4~5년 주기로 발생하고 있어 우리나라도 더 이상 지진으로부터 안전하지 못한 현실이다.
- 최근 일본 규슈 구마모토 현에서 발생한 진도 7.0의 강진으로 부산, 울산 등에서 진동이 감지된 가운데 동일한 지각판에 위치한 우리나라에서도 큰 규모의 지진발생 가능성이 제기되었다.
- 자연재해로부터 “안전한 국가”라는 인식과 더불어 “방재기술”에 대한 관심이 급증하는 추세이나 다른 산업분야의 기술수준과 비교할 때 상당히 미흡하고 방재를 위한 공법과 기술이 주로 자연재해가 발생한 후에 단발적인 보수·보강 수준에 머물러 구조물과 각종 시설물은 지진재해에 대하여 더욱 취약한 상황이다(허종완외 1인 2011).
- 재해·재난으로 인한 구조물 붕괴와 2차 피해로 발생하는 인적·물적인 피해를 예방하기 위해 국가적인 차원에서의 국가사회기반 시설에 대한 안전성 강화가 요구되고 있는 실정이다.

(3) 지진재해에 대한 피해 저감의 필요성

- 최근 지진이 자주 발생하는 미국과 일본 등에서는 지진재해 후에 구조물의 붕괴방지, 사용성 확보 및 보수비용 절감을 위하여 지진으로 인해 발생하는 구조물의 변형을 감소시키는 진동 및 변위제어 시스템에 대한 연구가 증가되고 있다. 최근 지진재해 피해 저감의 필요성이 대두되어 기존의 내진 설계 만으로는 구조물 전체의 진동과 변위를 효율적으로 제어하고 감소하는데 한계가 있다.
- 그림 5(a)와 같이 지진력에 의해 구조물의 수평방향으로 발생하는 변위를 제어할 수 있는 면진장치(면진받침)를 추가적으로 설치하여 구조물에 대해 지진동과 같은 방향으로 움직임을 허용하고 유연하게 대응하면서 구조물 본래의 고유주기와 (Fundamental Time Period) 감쇠성능을 (Damping Capacity) 변화시켜 지진 가속도에 의해 발생하는 전단력이 구조물로 직접 전달되는 양을 최소화 하여 건물의 안정성을 높게 유지하여 주는 방법이 있다.
- 또한 그림 3(b)와 같이 구조물로 전달되는 지진력에 의한 변위를 요소시스템으로 분산시켜 상쇄하여 간단한 보수만으로 구조물을 재사용할 수 있게 하는 제진시스템을 설치하여 내진성능향상 및 구조물의 사용성 확보를 이룰 수 있는 지진피해저감 기술의 개발 및 연구가 더욱 필요할 것이다 (이동근 등, 2006).



(a) 면진받침의 면진작용

(b) 제진시스템의 제진작용

그림 5 면진받침과 제진시스템의 피해 저감 효과

3. 연구개발 범위

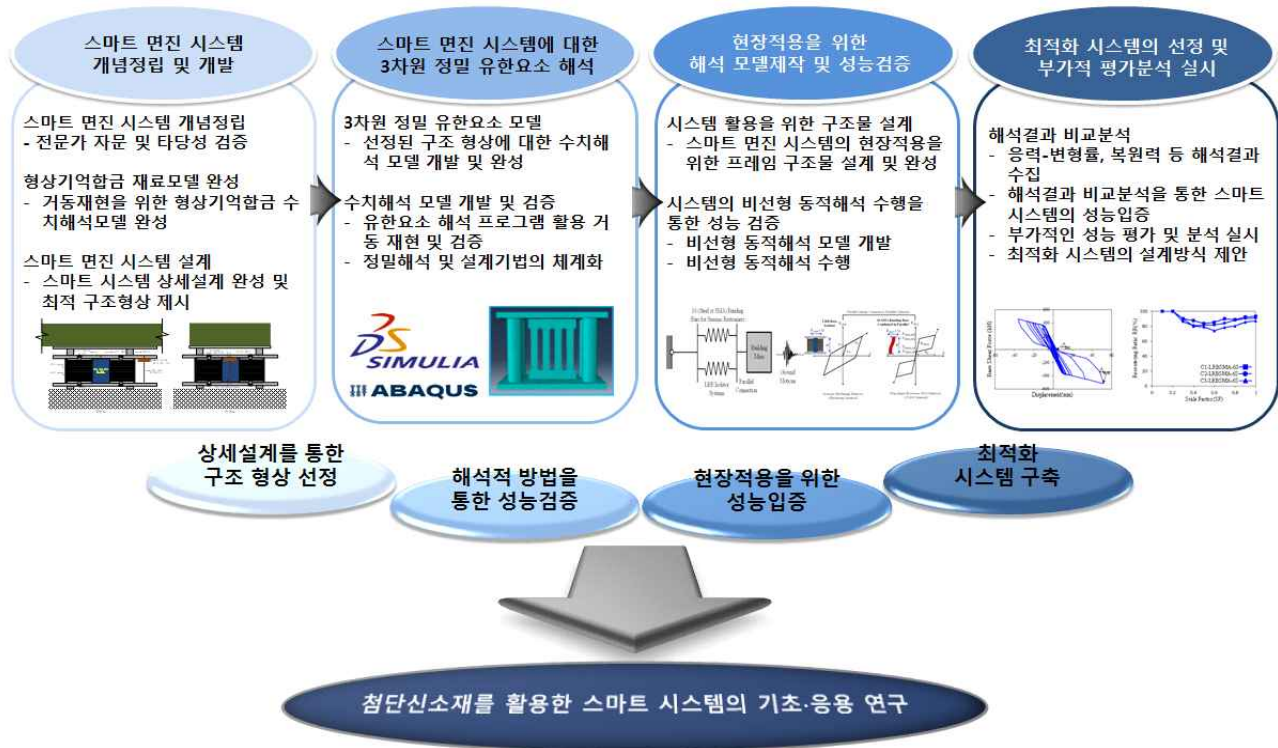


그림 6 연구개발의 범위

본 연구에서는 첨단 신소재(형상기억합금)를 활용한 변위제어 및 원형치유가 가능한 지진동 격리용 스마트 면진 시스템의 원천기술 개발을 위하여 스마트 면진 시스템의 개념정립과 상세설계를 완성하여 구조형상의 유효성을 검증하고 유한요소해석을 통하여 해석적인 방법으로 시스템의 성능을 검증하며 현장적용을 위하여 스마트 면진 시스템이 설치된 대상 구조물에 대한 비선형 동적해석을 수행하여 성능이 입증된 최적화 시스템의 설계방식을 제안한다.

■ 초탄성 형상기억합금의 거동특성 분석과 유저코드 완성을 완성한다.

- 초 · 탄성 형상기억합금의 거동 특성에 대한 이론적 연구를 수행하고 알고리즘을 완성한다.
- 반복하중을 받는 초 · 탄성 형상기억합금의 수치해석적인 거동 재현을 위하여 재료의 Stiffness 모델을 개발한다.

■ 스마트 면진 시스템 개발 및 상세설계를 완성한다.

- 스마트 면진 시스템의 원리 및 개념을 완성한다.
- 초 · 탄성 형상기억합금을 활용한 스마트 면진 시스템을 개발한다.
 - 면진 받침 내 발생하는 변위를 감소시키고 복원력 증진을 위한 니티놀 형상기억합금 부재를 개발한다.
- 시스템을 구성하는 요소 부품에 대한 성능분석 및 개념설계를 실시한다.
- 스마트 면진 시스템의 상세설계를 완성한다.

■ 스마트 면진 시스템 유한요소 해석 모델개발 및 수행을 실시한다.

- 실험 결과에 보정된 정밀한 3차원 유한요소 해석모델을 개발한다.
- 스마트 면진 시스템의 형식과 파라미터에 따른 유한요소 해석모델 완성 및 해석을 실시한다.
- 해석결과 분석 및 제안된 시스템의 성능을 검증한다.

- 구조물 설계 및 거동에측을 위한 수채해석 모델 개발과 비선형 동적해석을 수행한다.
 - 제안된 면진 시스템 장치의 현장적용을 위한 빌딩 구조물 설계를 수행한다.
 - 면진 시스템이 장착된 구조물의 거동에측을 위한 수치해석 모델을 개발한다.
 - 콘크리트-강재 합성 복합 모멘트 프레임 구조물에 적용한다(댐퍼 시스템으로써 형상기억합금이 장착된 반·강접 접합부 및 좌굴방지 가새의 연결부 등).
 - 비선형 정적 Pushover 해석을 통한 변위기반의 성능설계 실시 및 구조물의 안전성을 입증한다.
 - 복합프레임 구조물의 비선형 동적 해석을 실시한다.
 - 댐퍼 시스템의 유무에 따른 성능검증을 위해 내진설계가 적용이 되지 않는 복합 모멘트 프레임 구조물에 대한 비교모델 제작 및 동적해석을 실시한다
(모델 당 기존에 발생된 80개의 SAC 지진 데이터 사용).

- 해석결과 비교·분석, 추가적인 성능평가 실시 및 최적의 설계 방식을 제안한다.
 - 시간 변위이력, 부재에 작용하는 하중 및 응력 등 비선형 동적 해석결과를 수집한다.
 - 면진 장치의 설치 유무에 따른 해석결과 비교 및 성능분석을 수행한다.
 - 층간 잔류 변형 측정을 통한 복원력 산정, 각 부재의 순차적인 소성흔지 발생 점검, 최대 층간변위 점검 및 거동에 대한 연성도 측정
 - 해석 결과를 근거로 한 확률적인 통계분석과 스마트 면진 시스템 설치 유무에 따른 구조물의 붕괴 위험도 및 지진취약도 분석 등 부가적인 성능평가를 수행한다.
 - 다양한 해석적 방법으로 성능의 입증을 통하여 최적의 설계 방식을 제안한다.

제2장. 국내외 기술 개발 현황

■ 국외 기술개발 현황

전 세계적으로 지진재해에 의한 피해와 안전에 대한 관심의 급증으로 여러 분야에서 방재기술에 대한 연구가 활발히 이루어지고 있다. 특히, 본 연구개발과 관련하여 핵심기술인 초·탄성 형상기억합금이 개발되면서 첨단 소재를 활용한 스마트 구조물의 다양한 연구가 (미)조지아 공대를 중심으로 학·연에서 활발하게 이루어지고 있다.

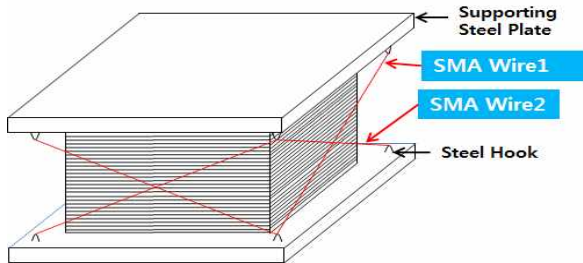


그림 7 형상기억합금을 활용한 면진받침

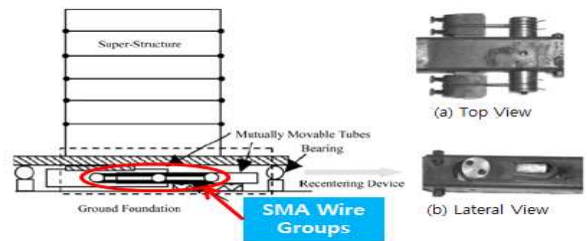


그림 8 형상기억합금을 활용한 개장 장치

★ Superelastic SMA(Shape Memory alloy) : 초탄성 형상기억합금

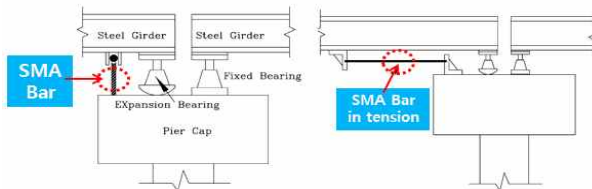


그림 9 형상기억합금 교량의 개장 장치

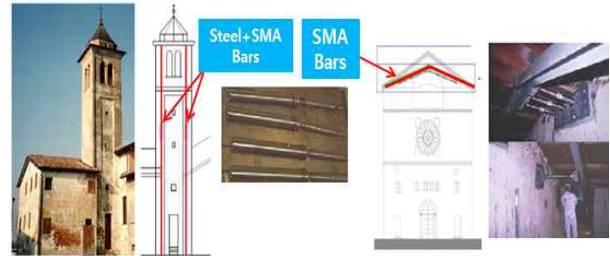


그림 10 형상기억합금을 활용한 내진 개장

- 초기단계의 연구가 주로 형상기억합금의 우수한 에너지 소산과 충격 감쇠 능력을 활용한 면진받침 및 지진격리장치 등의 수동제어 시스템 개발에 초점을 맞추어 진행되었다.
 - 횡방향 변위제어를 위하여 형상기억합금 와이어를 설치한 면진받침에 대하여 해석적 성능검증이 수행되었다
 - 실규모의 형상기억합금 와이어 그룹이 장착된 지진격리장치를 제작하고 구조물 하부에 장착을 한 다음 비선형 동적해석을 실시한 후 시스템에 의한 복원효과를 검증한 연구가 수행됨
 - 교량에 관련한 지진에 대한 개장효과를 발현하고자 거더와 교각 사이의 베어링에 형상기억합금 강봉을 교량에 연속적으로 설치하고 수치해석 방법을 통하여 거동을 예측하는 연구 등이 수행됨
 - 건축물의 기둥부분에서 강재와 초·탄성 형상기억합금 케이블을 혼합·제작하여 사용되었다
- 현재 관련 연구가 실험실 단계에서 계속 수행중이지만 2-3년 내에 현장에 본격적으로 활용 되리라 전망된다.
- 국외 면진시장의 경우 세계적으로는 지진에 대해 상당량의 안전성을 요구하는 원전과 플랜트 시설물과 같은 주요 시설에 면진 기술이 채택되어 활용되고 있으며, 미국, 일본, 이태리, 프랑스를 포함한 EU 국가들에서 면진 시스템은 다양한 기술로 개발되고 실용화 되고 있는 추세이다.
 - 일본은 1995년 고베 대지진 이후 보급되어 건물에 5,000건 이상 적용되었다. 건물의 개조 공사에 사용되는 면진 시장 규모가 4,000억 엔(한화 약 6조원) 이상의 시장이 형성되었다 (일본 야노경제연구소 보도자료).
 - 미국은 1985년 면진 시스템이 최초로 건축물에 적용된 이후 LA등 서부 강진지역에 공공기관, 병원 및 역사적 건축물 등 약 300여 건이 적용되었으며, 면진 시스템의 도입에 따라 교량 및 건축 구조물 등의 설계 규정도 제정되었다.

■ 국내 기술개발 현황

- 지진재해에 대해 안전하다는 인식 때문에 내진관련 연구에 대한 R&D 투자가 미미한 실정이다.
 - 연구책임자가 수행한 선행연구와 같이 형상기억합금을 활용한 스마트 제진시스템의 해석적 연구를 제외하면 첨단 소재를 활용한 스마트 제어 시스템에 대한 연구는 거의 전무한 실정임.
 - 국내의 열악한 상황을 인식하고 현실적 문제점들을 보완하기 위하여 본 연구를 통하여 첨단소재 활용으로 능동제어가 가능한 스마트 시스템을 개발하고 연구자가 해외로부터 전수받은 선진기술을 국내에 도입을 하고자 함.
 - 면진 장치를 만드는 국내 기업들은 상당 수준의 기술력을 보유하고 일본과 같은 선진국에서 면진 기술에 대한 인증을 확보한 상태이고, 국내 건설시장에 스마트 면진 시스템 기술이 본격 도입되면, 폭발적인 성장과 부가가치 창출이 기대된다.
- 현재 관련 내진 분야에 대한 시장은 계속 확대가 예상되며, 2020년 이후 국내 내진장치 시장의 최대 성숙기가 예상된다
(※기존의 면진 시스템 기술은 현재 국내에서는 성장기 단계에 있으며 신소재와 결합된 스마트 면진 시스템은 현재 도입기 단계에 있음).

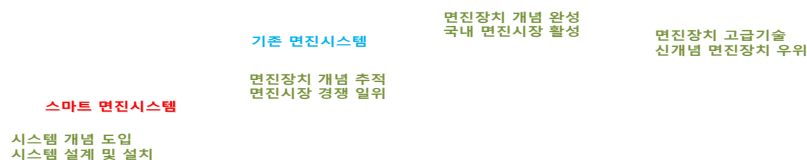


그림 11 국내 면진 시스템 기술의 기술성숙도

- 국내 면진시장의 경우 대한건설협회 조사에 의하면 연평균 5% 성장이 되어왔으며, 이후에도 고성장이 이루어질 것으로 예상된다. 지진빈도의 증가와 수요의 증가에 따른 면진제품에 대한 신규시장에 예상되며, 지진 발생 빈도의 꾸준한 증가로 인하여 미국, 일본 등 선진국을 중심으로 지진 피해를 최소화하여 구조물을 안전하게 유지시키는 기술의 연구와 개발이 진행되고 있다.
 - 국내 면진 시장 규모는 (주)유니슨과 (주)동일DRB와 같은 중소기업을 중심으로 2011년 약 400억원에서 2015년에는 연간 약 800억 원의 시장 규모를 형성할 것으로 예상된다
(문영호 2012, 손석호외 2인 2012 참고).
 - 우리나라 대표 면진 구조물 중 하나인 광안대교의 경우 시공 단계에서 지진피해를 고려해 면진 교량으로 설계가 변경되었고 서울 당산철교는 1996년 재시공 과정에서 면진 장치를 일부 장착하였으며, 건축물의 경우 국내최초로 대규모 면진 설비를 적용한 LG CNS 부산데이터센터는 리히터 규모 8.0의 지진에도 안전한 설계를 적용하였다. 인천 국제공항 관제탑, 양양 국제공항 관제탑과 부산 해운대 센텀 시티 등에도 면진 기술이 채택되었다. 국내 도로교 설계 기준에는 2005년에 면진 기준이 채택·추가되었으나 건축 분야에서는 반영되고 있지 않은 실정이다.

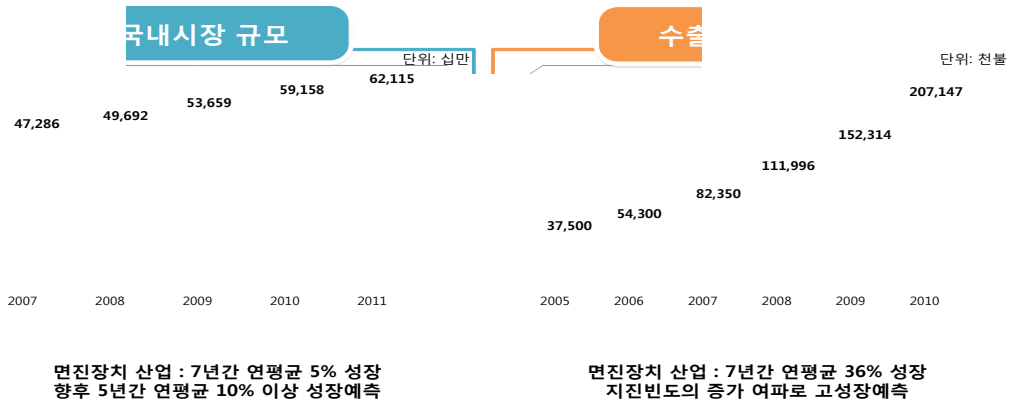


그림 12 내진장치시장 현황(대한건설협회, 2010)

■ 국내 · 외 관련 기술동향

면진 기술에 관련하여 1980년 이후 미국, 유럽, 일본, 국내에 등록 및 공개된 특허는 총 7,136건임. 그 중 면진 기술에 형상기억합금 소재 기술을 결합시킨 “스마트 면진 기술” 관련된 특허는 총 42건으로 조사되었다. 형상기억합금 기반의 기술현황은 분야별로 자동차, 의학 등의 기계분야에 대다수의 특허가 분포 되어 제외시켰으며, 스마트 면진 기술 관련 특허 출원 및 등록은 1990년대는 저조하였으나, 2005년 이후 성장세를 보였다. 면진 또는 진동제어 관련 연구 인프라는 일본, 미국 등과 비교하여 부족한 수준이며, 2000년대 이후에 발행된 “면진·제진 시스템”에 관한 논문 3,000건을 대상으로 조사한 결과 논문발행건수 중 “스마트 면진 기술”에 관한 논문은 125건으로 약 4%의 점유율을 갖고 있는 것으로 나타났다.

표 1 국외 관련 기술 특허

등록번호	특허제목	권리권자	특허일	대표도면
US 8250818	Self-centering energy dissipative brace apparatus with tensioning elements	Tremblay Robert Christopoulos Constantin	2012	
US 8053068	Shape memory alloy composite material shock and vibration isolator devices	Jerome P. Fanucci, Pavel Bystricky	2008	
EP 2450506	System including a shape-memory alloy device	Donatello Cardone	2011	
US 8136309	Energy dissipation damper system in structure subject to dynamic loading	Ahmad RAHIMIAN	2009	
US 8250818	Self-centering energy dissipative brace apparatus with tensioning elements	Robert Tremblay, Constantin Christopoulos	2005	
US 6989197	Polymer composite structure reinforced with shape memory alloy and method of manufacturing same	Terry L. Schneider	2002	
US 6701680	Low cost, light weight, energy-absorbing earthquake brace	Jerome P. Fanucci, James J. Gorman	2003	

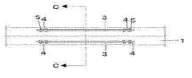
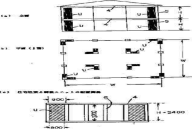
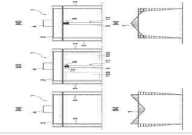
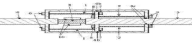
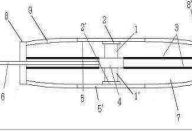
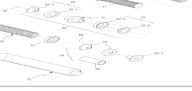
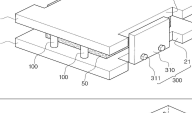
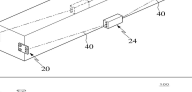
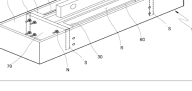
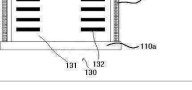
JP 17077542	BRACE STRUCTURE USING SHAPE MEMORY ALLOY	NIPPON STEEL CORP	2005	
JP 12083048	VIBRATION CONTROL UNIT, DAMPER FOR RESIDENCE AND DEVICE FOR DETACHED STEEL-CONSTRUCTION RESIDENCE	BUILDING RESEARCH INST MINISTRY OF CONSTRUCTION DAIDO STEEL CO LTD	2000	
JP 18098718	BUILDING REINFORCING STRUCTURE AND REINFORCING METHOD USING SHAPE MEMORY ALLOY	NIPPON STEEL CORP	2006	
JP 23062337	HYSTERESIS DAMPER	NAGOYA INSTITUTE OF TECHNOLOGY	2011	

표 2 국내 관련 기술 특허

등록번호	특허제목	권리권자	특허일	대표도면
100859353 0000	형상기억합금 마찰댐퍼	양경택, 안숙희	2008	
100810518 0000	초탄성 형상기억합금을 이용한 댐퍼	인하대학교 산학협력단 조종두, 마홍위	2008	
100950861 0000	형상기억합금을 이용한 교량받침	재단법인 서울대학교산학협력 재단 조재열, 오주	2010	
100944004 0000	형상기억합금을 이용한 프리스트레스를 도입한 구조물 및 그 시공방법	연세대학교 산학협력단 임윤목, 신승교	2010	
101389994 0000	에너지 소산형 마찰 댐퍼	인천대학교 산학협력단 허종완 , 김재완	2014	
102014005 1080	에너지 소산형 가새댐퍼	인천대학교 산학협력단 허종완 , 김영찬	2014	
102014005 1081	자동복원형 수동댐퍼	인천대학교 산학협력단 허종완 , 김영찬	2014	
100731210 0000	형상기억합금을 이용한 교량용 먼진교좌장치	안숙희	2007	

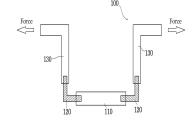
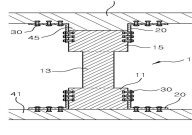
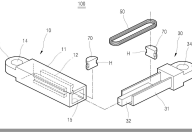
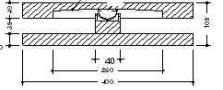
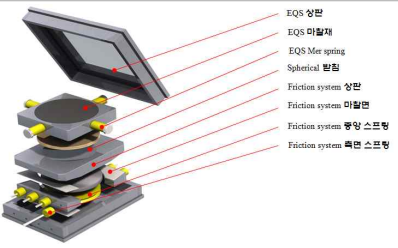
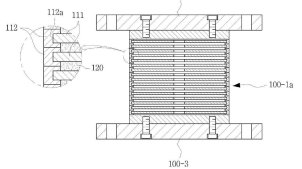
100923072 0000	강재와 형상기억합금으로 구성된 댐퍼	주식회사 삼립엔지니어링 남태현, 최은수	2009	
101070043 0000	건물의 내진성능 향상을 위한 기둥 형태의 댐퍼	충남대학교산학협력 단 (주)정우엔지니어링 건축사사무소 윤현도, 오영택	2011	
101368653 0000	자동복원형 마찰 댐퍼	인천대학교 산학협력단 허종완 , 장희명	2014	

표 3 국내 · 외 실제 관련 기술 현황

기술명/기관명	기술내용		
3차원 면진시스템 (한국전력공사 전력연구원)	- 원진 주제어실의 층 면진시스템 적용 - 주제어실 실내의 액세스 플로어 및 제어 캐비닛 등 설비기기용에 적용되는 3차원 면진장치 - 미진동 제어 등에 대한 방진효율은 우수하고 경량구조물에 적용이 가능하나, 적용사례 없고, 연구개발과정에서 적용성 검토한 단계임.	  FPS  에어스프링 댐퍼	
에스코 알티에스 시스템 (에스코알티에스)	- EQS 수평변위제어 + Friction system의 연직 방향 변위 제어 - 주제어실 등의 설비기기용에 적용하기 위해 개발한 3차원 면진장치이지만 연구개발과정에 있음.	 EQS 상판 EQS 마찰재 EQS Mes spring Spherical 환형 Friction system 상판 Friction system 마찰면 Friction system 동향 스프링 Friction system 축면 스프링	
구조방진장치 (유니슨 이테크)	- 수직면진부와 수평방진부에 의한 구조방진장치로 방진부 고무의 물성변화로 방진성능 제어 가능 - 현재 적용사례 없고, 아이디어 단계임.	 ■ : 수직 면진(방진)부 □ : 수평 면진부	
정보통신설비적용 진동저감장치 (에코닝 외)	- LM가이드에 의한 슬라이딩 베어링과 복원용 인장스프링에 의한 정보통신기기용 면진테이블 - 건축물의 정보통신기기에 적용사례 있음.		
적층식 피복스페이서를 구비한 면진장치 (에코닝 외)	- 적층식 고무계 면진장치의 제조성능을 안정적으로 유지하기 위한 제조방법 - 현재 적용사례는 없으며 아이디어 단계임.		

3차원면진장치 (시미즈건설)	- 원전시설의 기초에 Air Compartment를 이용한 수직방향 면진시스템 - 별도의 공기실 및 댐퍼 등 추가비용이 크게 증가, 기기에 적용이 어려움. - 고속증식로(FBR) 연구개발과정에서 개발된 아이디어임.	
3차원면진장치 (Kawasaki Heavy Industries, LTD.)	- 원전시설의 하부에 Metal bellow를 적용한 3차원 면진장치 계획 - 원전설비에 대한 면진시스템이나 고가로 현실적으로 적용이 어려움 - 고속증식로(FBR) 연구개발과정에서 개발된 아이디어임.	
면진반침장치 (시미즈건설)	- 곡선레일 타입 및 코일용수철 타입 5 tonf의 경량물까지 적재가능 100mm 미만의 아주 얇은 판으로 기존의 전시케이스에 사용가능 - 전용의 이동장치를 이용하므로 이동이 용이	
면진반침장치 (다이세이건설)	- 볼받침형 면진전시케이스 경량물 적용가능 - 깨지기 쉽고 전도하기 쉬운 전시품을 대상으로 한 약지진 감지형 면진전시케이스 - 불형태의 Isolator와 점성댐퍼에 의해 대지진으로부터 작은 지진까지 폭넓게 대응하여 지진을 효과적으로 저감	

제3장. 연구 수행 내용 및 성과

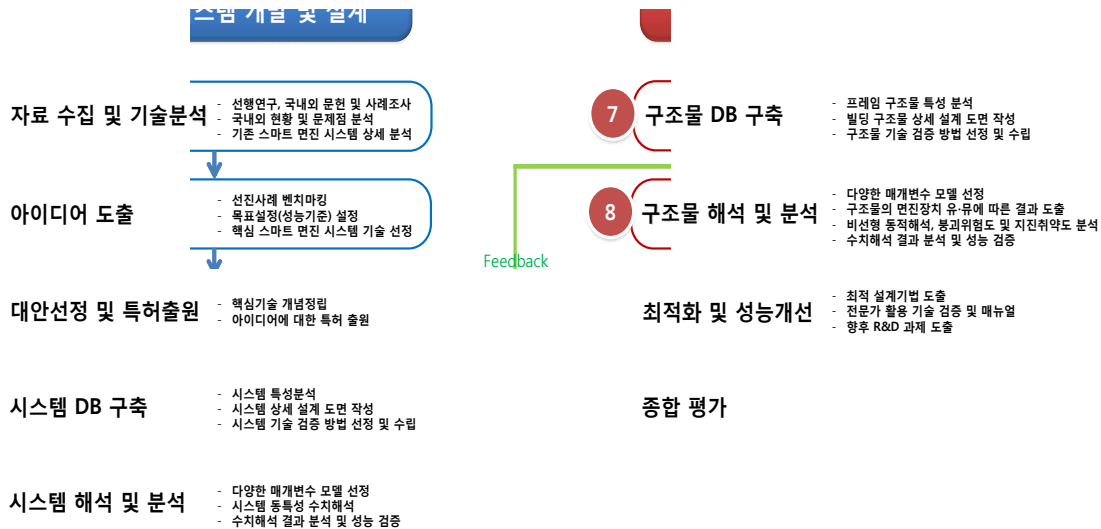


그림 13 연구개발 전략 및 방법론

- 국내·외 건설산업 내진분야의 동향을 파악하여 외부 충격으로부터 능동적 진동제어가 가능한 시스템을 구조물에 구축하여 지진하중에 의하여 발생하는 건물의 피해를 최소화하는 방안을 제시하고자 한다.
 - 국내에서는 지진 재해에 대한 안전 불감증과 먼진과 제진 시스템에 대한 법 제도적인 근거가 마련되지 않아 건설 분야에서 차지하는 시장성이 상대적으로 열악하고 제품화 및 연구개발이 주로 중소기업을 중심으로 이루어지고 있는 상황이다.
 - 최근 국내에서의 지진의 연간 발생 빈도는 꾸준히 증가하고 있으며 5.0 이상의 강진도 수도권 인근에서도 발생하고 있다. 먼진과 제진 시스템 장치의 설치 유무에 따라서 지진 하중에 대한 구조물과 구조물 내부의 각종 시설물에서 발생하는 손상과 파괴의 정도에 상당한 차이를 만들어 낸다.
 - 먼진과 제진 장치의 설치비용은 총 건설비에서 매우 적은 비중을 차지하지만 지진 재해에 대한 시설물 보호와 피해 저감의 효과는 매우 탁월하다.
- 다양한 산업분야의 융·복합 추세에 맞추어 본 연구에서도 첨단 스마트(초탄성 형상기억합금)소재를 건설 분야의 요소 구조물에 활용하는데 큰 의의를 지니고 있다.
 - 일반적으로 니켈-티타늄 (Nickel-Titanium) 합금인 니티놀(Nitinol)이 가장 널리 사용되고 있고 현재의 기술력은 상온에서 소성변형 후 하중제거 시 원형으로 복원 가능하다.
 - 초·탄성적 거동을 구현할 수 있는 형태가 제작 가능하고 철강재(Steel)와 비교하여 가격 차이가 많이 줄어든 추세이다. 예전에는 형상기억합금을 주로 의료, 항공, 전자 등의 분야에 제한적으로 사용 되었지만 단가가 많이 낮아지면서 토목/건축 분야에서도 일부 활용되기 시작하였다.
 - 국제적인 추세를 반영하여 재료실험을 통한 성능을 검증하고 국내 건설 R&D분야에 신소재를 활용한 융·복합적인 연구를 도입하고자 한다.
 - 국내외 건설시장 이슈 중 하나인 첨단 스마트 소재와 건설기술의 융·복합적 사업으로 새로운 트렌드를 제시함으로써 최근 활성화가 필요한 건설기술사업에 활력을 불어 넣을 것으로 판단된다.
- 본 연구개발사업을 통해 첨단 신소재를 활용한 스마트 시스템 장치의 기본 원리와 개념을 정립한 후 개념설계와 상세설계를 완성하고자 한다.
 - 시스템 장치의 거동 예측과 기본적인 성능을 검증하고자 해석 모델을 개발하고 그 결과를 토대로 지진 하중에 대하여 구조물 내에 스마트 먼진 장치의 설치 유무에 따른 손상의 정도를 평가하는 방법을 개발하고자 한다.
 - 새로운 시스템의 개념을 정립하고 핵심적인 설계와 해석기술 개발에 초점을 두어 기초·원천적인 단계에서 연구를 수행하고자 한다.

- 본 연구개발사업을 통해 첨단 신소재를 활용한 스마트 시스템 장치의 기본 원리와 개념을 정립한 후 개념설계와 상세설계를 완성하고자 한다.
- 시스템 장치의 거동 예측과 기본적인 성능을 검증하고자 해석 모델을 개발하고 그 결과를 토대로 지진 하중에 대하여 구조물 내에 스마트 면진 장치의 설치 유무에 따른 손상의 정도를 평가하는 방법을 개발하고자 한다.
- 새로운 시스템의 개념을 정립하고 핵심적인 설계와 해석기술 개발에 초점을 두어 기초·원천적인 단계에서 연구를 수행하고자 한다.

제4장. 목표 달성도 및 관련 분야 기여도

1. 목표 달성도

핵심성과 1: 시스템 개발 및 설계

구분	내용설명	
정의	열처리에 의해 초탄성 거동을 가진 형상기억합금 제어봉을 설치한 면진 시스템 장치의 개발과 구체화를 위한 상세 설계도면의 완성한다.	
목적	지진 하중에 대하여 능동적으로 대처하고 충격흡수와 변위제어가 가능한 스마트한 면진 시스템의 개발하고 제품화와 특허 출원에 초석이 되는 상세적인 도면을 작성한다.	
성능목표	형상기억합금을 활용한 면진 시스템 개발은 현재 도입기 수준에 있으나 본 연구 과제를 통하여 개념정립 및 시스템 설계의 완성을 위하여 기초·원천적인 기술 개발을 성능 목표로 삼는다.	
성과달성 책임자	인천대학교 도시환경공학부 허종완 (연구 책임자)	
소요기간	'14.07 ~ '14.12 (6개월, 1년차)	
성과달성 확인방법	시스템에 대한 역학적 거동의 개념정립 및 구체적인 상세 설계도면 완성	
성과달성에 따른 정량적 성과	특허 출원/등록	국내 특허 2건 출원*
	논문	

핵심성과 2: 정밀 해석모델 개발

구분	내용설명	
정의	정밀한 유한요소 해석모델을 개발하고 해석을 통하여 개발된 시스템의 거동을 재현한다.	
목적	개발된 시스템의 역학적 개념 정립을 바탕으로 정밀한 유한요소 해석 모델을 개발하고 해석을 통하여 거동을 재현하고 설계변수에 따른 에너지 소산 능력과 복원성 등의 성능을 예측한다.	
성능목표	시스템의 정확한 거동 재현을 위한 정밀한 유한요소 해석모델의 개발은 현재 개념정립을 위한 기초수준 단계에 있으나 본 연구 과제를 통하여 해석모델 개발 완성과 정확한 거동 예측 및 성능 평가가 이루어지도록 한다.	
성과달성 책임자	인천대학교 도시환경공학부 허종완 (연구 책임자)	
소요기간	'15.01 ~ '15.06 (6개월, 1년차)	
성과달성 확인방법	유한요소 해석모델의 개발 및 유사 실험 결과를 해석 모델에 보정함으로써 정확성을 검증함	
성과달성에 따른 정량적 성과	특허 출원/등록	
	논문	국내 등재지 2편 투고*

핵심성과 3: 현장적용 및 성능검증

구분	내용설명	
정의	개발된 시스템을 장착한 프레임 빌딩 구조물을 설계하고 해석을 실시하여 결과 분석을 통한 성능분석을 실시한다.	
목적	스마트 시스템의 현장 적용을 위하여 프레임 빌딩 구조물을 설계하고 비선형 동적해석을 실시하여 해석 결과로써 평가지표로 활용되는 최대 층간 처짐이나 잔류 처짐 등을 분석하여 시스템이 구조물 전체에 미치는 성능의 영향성을 분석한다.	
성능목표	스마트 시스템을 결합한 빌딩 구조물의 설계 및 해석모델의 개발은 국내에서의 최초의 시도이며 도입기의 단계에 있다. 본 연구 과제를 통하여 이러한 모험적 시도를 성공적으로 완수하며 현장적용을 위한 구조물 내에서 시스템 장착 및 설계의 완성한다. 아울러 본 시스템의 성능의 우수성을 정확하게 입증하여 본 연구에서 개발된 시스템의 제품화 및 실용화의 기틀을 마련한다.	
성과달성 책임자	인천대학교 도시환경공학부 허종완 (연구 책임자)	
소요기간	'15.07 ~ '15.12 (6개월, 2년차)	
성과달성 확인방법	스마트 시스템을 장착한 빌딩 프레임 구조물의 설계도면 완성 및 파라미터 분석을 통한 해석모델의 정확성 입증	
성과달성에 따른 정량적 성과	특허 출원	
	논문	국내 등재지 1편 투고* SCI급 1편 투고*

핵심성과 4: 평가방법 개발

구분	내용설명	
정의	비선형 동적 해석 결과를 바탕으로 성능 검증 및 지진에 대한 구조물의 손상 정도를 측정하는 평가 방법을 새롭게 개발한다.	
목적	해석 결과를 근거로 스마트 시스템을 설치할 경우 구조물 전체에 미치는 영향과 성능 향상의 효과를 검증하도록 한다. 또한 지진에 대한 구조물의 손상 정도를 확률·통계적인 기법을 기반으로 평가 지표의 개발, 위험성 및 지진 취약도를 분석하여 평가하도록 한다. 또한 기존에 주로 사용되었던 표준정규분포 대신에 데이터의 분포를 정확하게 나타내는 확률분포 함수를 사용하여 평가의 정확성을 높이도록 한다.	
성능목표	지진에 대한 손상 정도를 나타내는 평가 방법에 대한 연구는 여러 과학자들에 의해 시도되었으나 본 연구에서는 해석 결과가 나타내는 정확한 확률 분포표를 사용하고 위험성 평가 및 취약성 분석을 시행하여 정확성 및 신뢰성은 높이고자 한다. 본 연구에서는 기존의 지진 성능 평가 방법을 개선하고 높은 정확성과 신뢰성을 보장하는 방법을 개발하고자 한다.	
성과달성 책임자	인천대학교 도시환경공학부 허종완 (연구 책임자)	
소요기간	'16.01 ~ '16.06 (6개월, 2년차)	
성과달성 확인방법	기존의 평가 방법과 본 연구에서 제안된 평가 방법의 비교 평가 및 전문가 자문	
성과달성에 따른 정량적 성과	특허 출원/등록	
	논문	SCI급 2편 투고*

2. 관련 분야 기여도

1. 첨단소재 활용 스마트 시스템 개발

초·탄성 형상기억합금을 지진동 격리용 면진 장치에 코어 형태로 설치하여 구조물에서 발생하는 변위를 제어하고 복원력을 통하여 잔류변형을 줄여주는 장치로 활용한다. 지진 및 강풍과 같은 외력으로 발생하는 잔류변형을 제거하고 자동복원 함으로써 유지 및 개보수 비용의 상당한 절감효과를 누릴수 있으며, 소성변형이 심한 구조물 일부분에 원형으로 복원되는 초·탄성 형상기억 합금을 설치한다. 첨단소재인 형상기억 합금의 가공성이 우수하므로 다양한 형태의 모델로 제작 활용이 가능하며, 접합부의 연결 구속재, 교량의 변위제어 장치, 기둥 기초부의 고정앵커 장치 및 기타 변위제어 및 복원 장치에도 널리 활용 될 것으로 예상된다. 비선형 거동에도 불구하고 잔류 변형이 제거되는 깃발모양의 이력거동을 보이므로 기존의 일반 가새구조물과 비교하여 우수한 에너지 소산효과를 발휘한다.

2. 지진 피해 저감을 위한 최적화된 구조물 개발

기존에 사용된 철골 혹은 콘크리트 구조물 대신 내진성능이 우수한 콘크리트-강재 합성 복합 모멘트 프레임 구조물을 이용하고, 내진성능이 우수한 콘크리트-강재 합성 복합 프레임 구조물에서 본 연구에 제안된 능동제어 시스템을 설치하여 지진에 대한 손상으로부터 자동치유 능력을 확보한다.

3. 유저코드와 연계한 프로그램을 활용한 고등해석용 수치해석 모델 개발

온도에 의존하여 상변위에 따라서 거동하는 형상기억합금의 초탄성적인 거동 재현이 가능한 유저코드 사용과 정밀한 유한요소 해석모델의 개발하고, 지진동 격리용 면진 장치 및 충격흡수용 댐퍼 등 구조물내 거동이 특수한 부분에 역학적 모델을 사용하여 비선형 거동부분까지 정확하게 재현한다. 본 연구에서는 댐퍼 시스템을 프레임 구조물에 설치하고 메인 부재인 경우에는 빔 요소를 사용하여 모델링하여 프레임 전체의 거동을 예측하는 유한요소 해석 모델을 개발하고자 한다. 콘크리트-강재 합성 구조물에 비선형 동적 해석이 가능한 수치해석 모델의 개발을 위해 기존에 복합구조물 동적 해석을 위한 수치해석 모델은 탄성적인 재료 물성치를 적용하였으나 본 연구에서는 항복이후에 영역을 포함하는 비선형적인 재료 특성까지 고려하였다.

4. 내진성능 검증을 위한 새로운 평가기법 개발

구조물이 지진에 대한 우수한 성능의 입증을 위한 거동적인 특수성을 고려한 새로운 평가기법 개발을 위하여 신뢰성을 바탕으로 구조물의 성능을 입증하고자 통계·확률적인 기법을 도입하였으며, 스마트 시스템 장치의 설치 유무에 따라 각각 다른 해석 모델을 제작하고 다양한 강도의 지진 데이터를 사용하여 붕괴위험도 및 지진 취약도를 조사하고자 한다. 확률적인 평가의 정확성을 높이하고자 취약성 분석시 기존에 일괄적으로 사용하였던 표준정규분포 대신에 해석으로 얻어진 결과 데이터와 가장 유사한 확률 분포도를 적용한다.

본 연구의 기술적, 사회적 (산업·경제), 학문적, 교육적 측면에서의 성과는 다음과 같다.

주요 연구성과	성과내용
기술적 측면	• 사회기반 시설물의 피해 저감 기술개발 • 지속가능한 건설방재 기술의 개발 • 첨단 소재를 건설 분야에 접목하여 기술의 융·복합화 달성 • 지진에 대한 비선형적인 거동 예측을 위한 시뮬레이션 개발 • 선진국 대비 기술수준이 상대적으로 낙후된 스마트 시스템에 대한 국내기술력 향상
산업·경제적 측면	• 국가의 주요 시설물을 자연재해로부터 보호하고 구조물 붕괴로 발생되는 생명·재산의 피해를 최소화하는데 기여 • 국내 개발 초기 단계인 능동제어 스마트 구조물의 현장 적용 가능성 여부를 판단하는 시도적인 연구를 수행 • 첨단 신소재인 형상기억합금의 제작 및 보급에 기여 • 지진에 대한 구조물에 피해를 최소화 하고 원형복원을 위한 개보수 비용을 상당수 절감 • 구조물을 유지 및 관리하는 데 소요되는 비용을 절감하고 재생에 들어가는 건자재 소비를 절감하여 탄소 발생 저감 및 녹색화에 기여 • 내진관련 구조물에 보수·보강 등의 방재산업에 주로 종사하는 중소기업으로의 기술 이전 및 신제품 아이디어 제공 • 제안된 시스템의 특허 등록 및 신기술 신청이 가능
연구적 측면	• 첨단소재 활용 지진동 격리용 스마트 시스템 개발에 기초·원천 기술 개발 • 시스템의 원천기술 개발부터 현장적용 및 성능평가까지 전주기적인 연구 수행 • 재료 및 구조물의 거동을 수치해석적인 방법으로 정확하게 구현할 수 있는 고등 시뮬레이션 모델 개발 • 관련 분야가 초기 연구 단계이므로 국제저명학술지에 독창적인 저널논문 발표
교육적 측면	• 시스템 개발 및 구조물 설계에 대한 개념 정립에 이바지 • 본 연구가 포함하는 이론, 설계, 해석, 성능평가 등 다양한 분야에 석박사급 연구원을 참여시켜 연구 역량 강화에 이바지 • 석박사급 대학원생이 본 연구에 참여함으로써 구조물 설계 및 해석 분야에 교육적 효과 기대

제5장. 연구개발성과의 활용계획

최종성과물	활용방안
첨단 스마트 소재의 활용 (초탄성 형상기억합금)	• 형상기억합금 소재의 국내 산업분야에 활용 • 첨단 소재 제작 기술의 민간기업 이전 • 건설 분야에 첨단 소재를 활용한 융·복합 연구 지원 • 구조물에 충격감쇠 및 에너지소산을 위한 수동제어 시스템 활용 • 지진에 대한 피해 저감을 위한 면진 및 제진 장치에 활용 • 구조물의 성능 향상 및 변위를 능동 제어하는 보강 시스템에 활용
손상치유 및 자동복원이 가능한 스마트 시스템 개발	• 상당량의 소성 변형을 허용해야 하는 인장 볼트 및 봉 구속재에 초·탄성 • 형상기억 합금을 이용한 스마트 접합 시스템 • 비선형 거동에도 불구하고 지진 후 잔류변형이 자동 치유되고 깃발 모양의 이력 거동으로 인한 적절한 에너지 소산 능력을 지닌 셀프센터링 댐퍼 및 가새 시스템 • 교량에 교축방향으로 발생하는 변위를 억제하는 시스템 • 사장교 및 현수교의 케이블에 발생하는 변위를 제어하고 자동복원 하는 보강 와이어 구조물 • 횡하중으로 발생하는 모멘트에 의해 극한 변위가 발생하기 쉬운 기둥과 기초부를 연결하는 앵커 볼트 시스템에 활용
스마트 시스템의 활용을 위한 고성능 강재 합성 콘크리트 구조물 설계	• 우수한 내진 성능이 요구되는 구조물 • 경량이면서도 고강도를 요구하는 초고층 빌딩에 주요 부재 • 내화적인 성질을 요구하는 시설물에 주요 부재 • 친환경적이고 우수한 미관을 요구하는 토목·건축 구조물에 활용
고등적인 수치해석 모델의 개발	• 첨단 소재의 특수한 거동을 수치해석 방식으로 재현 가능한 알고리즘에 활용 • 합성 단면에 재료적 비선형 거동의 구현을 요구하는 정밀한 동적 해석에 활용 • 충격흡수용 댐퍼 시스템과 같이 역학적 메커니즘이 복잡한 부위에 수치해석을 통한 정확한 거동 재현
구조물의 손상평가 및 성능 평가	• 구조물의 변위 정도에 따른 붕괴위험도 산정 및 확률을 기반한 구조물의 지진 취약도 분석에 활용 • 복원력, 극한강성, 연성도, 에너지 소산 정도를 포함한 성능기반 설계지침에 활용 • 구조물 손상 거동 예측 및 주요 부위에 보강 필요성 확인

제6장. 연구 과정에서 수집한 해외 과학기술 정보

해당사항 없음

제7장. 연구개발성과의 보안등급

일반

제8장. 국가과학기술종합정보시스템에 등록한 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

■ 실험실 안전 점검 체계

구분	세부내용
일일안전점검	● 점검횟수 : 매일 1회 ● 점검내용 : 시약 및 실험폐기물 관리상태 및 정리정돈 상태 등 ● 점검대상 : 이공분야 전체 실험실습실 ● 점 검 자 : 연구활동종사자 및 연구실 책임자 / 주관 : 연구실 책임자
정기점검	● 점검기간 : 연 1회 이상 ● 점검대상 : A,B,C형 실험실 ● 점검내용 : 시약보관 상태, 가스용기 관리상태, 보호구 착용 및 관리 상태 외 ● 점 검 자 : 정기점검 기관 및 연구실 안전환경관리자 / 주관 : 시설관리팀
정밀안전진단	● 점검기간 : 2년 1회 ● 점검대상 : A, B, C형 실험실 중 정기점검 결과에 따른 정밀한 진단이 필요한 실험실 ● 점검내용 : 가스누출여부, 전기과부하, 접지상태 점검, 화학약품 반응위험도 점검 등 ● 점 검 자 : 정밀안전진단 전문가 위탁 / 주관 : 시설관리팀
안전순찰	● 점검기간 : 2년 1회 ● 점검대상 : 송도, 제물포 이공분야 실험, 실습실 ● 점검내용 : 연구실 관리 상태 및 일일점검일지 작성 여부 확인을 통한 관리. 감독강화 ● 점 검 자 : 연구실안전환경관리자(시설관리팀)

※ C형 실험실 유형 관리

※ 연구실험실 유형분류

- A형 : 미생물 및 동물, 방사성동위원소, 위험성이 높은 실험실
- B형 : 가스 및 화학약품 (염색 폐수포함) 취급 실험실
- C형 : 기계, 전기 설비 등의 실험실
- D형 : 실험, 실습을 수행하지 않는 설계, 컴퓨터관련 등의 실험실

■ 실험실 정밀안전진단 실시

- 대상 : 연구개발활동에 유해화학물질 관리법 제2조 7호에 따른 유해화학물질을 취급하는 연구실, 산업안전보건법 제39조에 따른 유해인자를 취급하는 연구실, 과학기술 부령이 정하는 독성가스를 취급하는 연구실
- 실시 : 2년마다 1회 실시하여 교과부에 보고

■ 교육훈련

- 개요 : 「연구실 안전 환경 조성에 관한 법률」에 의거하여 연구실안전교육을 통하여 연구 활동 종사자의 안전의식을 높이고, 실험실내 위험인지능력을 강화함으로써 안전 사고 및 화재로부터 안전한 연구실 환경을 구축하고자 함.
- 교육대상 : 교수, 대학원생, 실험조교, 전문직원, 소속연구원, 실험참여 학부생 및 업체직원 등
- 단계별 교육 이수과정 : 1단계 : 공통이수과목(연구실 안전 일반, 전기, 소방설비 사용요령)
2단계 : 선택과목(화학, 기계, 생물, 소방안전 분야)
- 교육방법 : 온라인교육 : 년 2회 상·하반기 온라인 안전교육 시행

제10장. 연구개발과제의 대표적 연구 실적

번호	구분 (논문/ 특허/ 기타)	논문명/특허명/ 기타	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	Structural Performance Assessment Based on Statistical and Wavelet Analysis of Acceleration Measurements of a Building during an Earthquake	인천 대학교	주저자	Shock and Vibration		2015.10.21	단독	SCIE
2	논문	Pilot Study for Investigating the Cyclic Behavior of Slit Damper Systems with Recentering Shape Memory Alloy (SMA) Bending Bars Used for Seismic Restrainers	인천 대학교	교신	Mdpi		2015.7.30	단독	SCIE
3	논문	Bridge Performance Assessment Based on an Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System with Wavelet Filter for the GPS Measurements	인천 대학교	교신	Mdpi		2015.10.13	단독	SCIE
4	논문	초탄성 니티놀 형상기억합금의 준정적 거동에 대한 수치 해석적 재현	인천 대학교	주저 자	Journal of Korean Society of Steel Constructi on		2015.12	단독	국내 공인학술지
5	논문	The SWG Component Technology Classification Scheme Research through the Technology Trend Analysis	인천 대학교	주저 자	Journal of Water Resour		2015.11.2	단독	국내 공인학술지
6	논문	자동복원 및 보강 시스템과 결합된 면진 받침의 지진 거동과 평가	인천 대학교	주저 자	Journal of Korean Society of Civil Engineers		2015.10	단독	국내 공인학술지
7	특허	원형 복원형 에너지 소산 댐퍼	인천 대학교	출원 자	대한민국		2015.1.12	단독	
8	특허	원형복원형 전단패널	인천 대학교	출원 자	대한민국		2015.1.12	단독	

제11장. 기타 사항

해당사항 없음

제12장. 참고 문헌

1. 허종완, 이상현 (2011), 우리나라 주요 자연재난 대응 동향, 과학기술 및 연구개발사업 동향브리프, 2011-12월호, 한국과학기술기획평가원 (KISTEP)
 2. 문영호 (2012), 스마트 면진 기술, KISTI MARKET REPORT, Vol.2, Issue 12
 3. 손석호, 한종민, 임현 (2012), 2012년 KISTEP 선정 10대 미래 유망기술, ISSUE PAPER 2012-02, 한국과학기술기획평가원 (KISTEP)
 4. 시설물 안전관리에 관한 특별법 개정안 (국토교통부, 2014)
 5. Auricchio, F. and Sacco, E. (1997). "A one-dimensional model for superelastic shape-memory alloys with different properties between martensite and austenite." *International Journal of Non-Linear Mechanics*, 32(6), pp. 1101-1114.
 6. DesRoches, R., McCormick, J., and Delemont, M. (2004). "Cyclic properties of superelastic shape memory alloy wires and bars". *ASCE*, 130(1), pp.38-46.
 7. Hu, J. W. (2008). "Seismic performance evaluations and analyses for composite moment frames with smart SMA PR-CFT connections." Ph.D. Dissertation. Atlanta (GA): Georgia Institute of Technology.
 8. Hu, J. W. (2013). "Design and strength evaluation of critical gusset plate in the steel bridge using new LRFD methods and advanced FE analyses." *ISIJ Int.*, 53(8), in-press.
 9. Hu, J. W. (2014). "Seismic analysis and evaluation of several recentering braced frame structures." *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part C: Journal of Mechanical Engineering Science*, 228(5), pp.781-798.
 10. Hu, J. W. (2015). "Response of Seismically Isolated Steel Frame Buildings with Sustainable Lead-Rubber Bearing (LRB) Isolator Devices Subjected to Near-Fault (NF) Ground Motions." *Sustainability*. Vol. 7, pp.111-137. doi:10.3390/su7010111.
 11. Hu, J. W. and Leon, R. T. (2011). "Analyses and evaluations for composite-moment frames with SMA PR-CFT connections." *Nonlin. Dyna.*, 65(4): doi: 10.1007/s11071-010-9903-3.
 12. Hu, J. W., Choi, E., and Leon, R. T. (2011). "Design, analysis, and application of innovative composite PR connections between steel beams and CFT columns." *Smart Mater. Struct.*, 20(2), Doi: 10.1088/0964-1726/20/2/025019.
 13. Jangid, R. S. (2007). "Optimum lead-rubber isolation bearings for near-fault motions." *Eng. Struct.*, Vol. 29, pp. 2503-2513.
 14. Mazza, F. and Vulcano, A. (2009). "Nonlinear response of RC framed buildings with isolation and supplemental damping at the base subjected to near-fault earthquakes." *Journal Earthq. Eng.*, Vol. 13, pp. 690-715.
 15. Mazza, F., Vulcano, A. and Mazza, F. (2012). "Nonlinear dynamic response of RC buildings with different base isolation systems subjected to horizontal and vertical components of near-fault ground motions." *Open Constr. Build. Technol. Journal*, Vol. 6, pp. 373-383.
 16. Providakis, C. P. (2008). "Effect of LRB isolators and supplemental viscous dampers on seismic isolated buildings under near-fault excitations." *Eng. Struct.*, Vol. 30, pp. 1187-1198.
 17. Song, G., Ma, N., and Li, H. (2006). "Applications of shape memory alloys in civil structures." *Eng. Struct.*, 28(9), pp.1266-1274.
-

9. 뒷면지

주 의

1. 이 최종보고서는 국토교통부에서 시행한 국토교통기술촉진연구사업의 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.