

R&D / 2015-2017
R&D/ 15CTAP-C097355-01-000000

사회재난 대응 융복합 기술기반의 열감지기를 활용한 화재손상 건축물 복구 프로그램 개발 최종보고서

2017. 07 .03.

주관연구기관 / 서울시립대학교

국 토 교 통 부
국토교통과학기술진흥원

제 출 문

국토교통부장관 귀하

‘사회재난 대응 융복합 기술기반의 열감지기를 활용한 화재손상 건축물 복구 프로그램 개발’
(연구개발 기간 : 2015.06.18 ~ 2017.06.17) 과제의 최종보고서 5부를 제출합니다.

2017. 07. 03.

주관연구기관명 : 서울시립대학교 산학협력단 (대표자) 송 오 성 (인)



주관연구기관책임자 : 김 선 희

국토교통부소관 연구개발사업 운영규정 제38조에 따라 최종보고서 열람에
동의합니다.

3. 보고서 요약서

보고서 요약서

과제 고유 번호	15CTAP-C09735 5-01-000000	해당 단계 연구 기간	2015. 06. 18 - 2017. 06. 17 (24 개월)	단계구분	(3)/(3)
연구사업명	중사업명	국토교통기술촉진연구사업			
	세부사업명	-			
연구과제명	대과제명	사회재난 대응 융복합 기술기반의 열감지기를 활용한 화재손상 건축물 복구 프로그램 개발			
	세부과제명	-			
연구책임자	김선희	해당단계 참여 연구원 수	총: 3 명 내부: 3 명 외부: 명	해당단계 연구개발비	정부: 50,000천원 기업: 천원 정부 외: 천원 계: 50,000천원
		총 연구기간 참여 연구원 수	총: 8 명 내부: 8 명 외부: 명	총 연구개발비	정부: 50,000천원 기업: 천원 정부 외: 천원 계: 50,000천원
연구기관명 및 소속 부서명	서울시립대학교 건축공학과			참여기업명	
국제공동연구	상대국명:			상대국 연구기관명:	
위탁연구	연구기관명:			연구책임자:	
요약 : 지금까지 화재 후 손상 구조물의 점검을 오로지 주관적인 데이터(육안점검)에 의해 시공되어 왔으며, 그로인해 과도한 또는 열력한(사양적인) 시공방법에 의해 수행되어 왔다. 화재에 대한 2차, 3차 피해를 막기 위해서는 제대로 된 보건과 관리가 필요하다. 제안하고자 하는 융복합기술 기반의 열감지기는 건축물 내외부에 부착되어 있는 적외선, 열 감지기에 온도측정 센서와 호출 신호기를 응용 하여 화재 전/후에 발생될 문제를 개선하고자 한다. 화재 발생시 관리자, 주거자, 가까운 관할 소방청에 긴급수신이 1차적으로 다뤄지고, 2차적으로 화재 발생시간 동안 온도, 가스 배출량 등의 데이터를 기록하여, 추후 피해 입은 구조물의 손상도를 시뮬레이션 하여 효과적인 보건방안을 강구하고자 한다. 또한 유지관리 측면에서 융복합 기술 기반의 열감지기 데이터는 에너지 효율측면의 추가적인 자료가 누적되어 활용범위가 확대될 것으로 판단된다.				보고서 면수 : 55	

4. 국문 요약문

연구의 목적 및 내용	◎연구목표 <u>각종 재난·재해에서 발생하는 유효 데이터 수집을 통해 위험요소 방지 및 화재 손상 구조물의 복원/관리 프로그램 개발</u> 1) 무인카메라 기술 한계를 융·복합 센서(열 감지/기록 장치)로 확장한 Ubiquitous health care system 개발 2) 수집된 열 감지 데이터를 활용한 손상된 구조물의 복원 프로그램 개발 3) 손상 구조물 복원(시공)절차서(SOP) 및 유지관리 지침서 작성 ◎ 연구내용 1) 사회재난 사고 자료수집분석을 통한 특성파악, 열 감지/ 기록장치를 연계 활용 시나리오 작성 : 사회재난 사고 자료조사 및 분석을 통한 사고원인과 특성분석 : 국가방재 시스템구축을 위한 시스템 연계활용방안 연구 2) 열 감지/기록 시스템 고출력 상태확인 및 데이터 신뢰성 평가 : 융·복합 센서(지각) 기반의 열 감지/기록 시스템 활용 기술 : 시스템 고도화를 위한 테스트베드 구축 및 테스트 (신뢰성 평가) : 열 감지/기록 시스템을 활용한 화재 손상피해 복구 프로그램 개발 3) 화재 후 손상 구조물 복원 및 유지관리 매뉴얼 제공과 타 관제시스템 연계방안 도출 : 화재 후 손상 구조물의 피해도 등급설정 및 잔존강도 분석 : 열 감지/기록 시스템 운용 매뉴얼 작성				
연구개발성과	1) 열 감지/기록 시스템을 활용한 화재 손상피해 복구 프로그램 개발 2) 구조물의 피해도 등급설정 및 잔존강도 분석/확인 프로그램 제안 효과 :지각형 열감지 시스템개발은 기존 설치된 화재경보시스템과 무인카메라에 지각인식 센서를 추가함으로써 상당한 재난 재해를 미연에 방지하고, 발생된 재해를 체계적으로 복구하고 관리가 가능해 짐. 실내·외 온도 및 열전달 데이터를 통해 구조물의 에너지 열효율 집계가능, 재해 발생 빈도 및 손상규모 등급 예측.				
연구개발성과의 활용계획 (기대효과)	제안하고 있는 <u>화재손상 건축물 복구 프로그램</u>은 주택시설뿐 아니라, 사무실, 백화점, 대형마트에 설치 및 활용이 가능함. 또한 화재상태 외에 실온상태에서는 내·외 온도 및 열전달 데이터를 통해 <u>구조물의 에너지 열효율량을 구획별로 측정, 관리</u>할 수 있음. 수집된 빅 데이터는 지역별, 건물용도별 화재선상(확산)등의 확률과 통계 이론에 의해 내화성능 설계의 정량적인 검증자료(뒷받침)가 될 것으로 판단됨 · 경제성/안전성을 확보한 철골 구조물(주요기반시설) 설계가능 · 국내 실정에 적합한 철골구조물의 내화 설계방법 토대 마련 · 성능기초 내화설계 기술의 정립 · 내화의 안전성과 경제성을 확보한 설계기술 확보 · 내화기술 관련 요소 개발로 관련 요소기술의 선진화 추구				
핵심어 (5개 이내)	열 감지기	화재 시뮬레이션	손상등급	재난예방	회복력

5. 영문 요약문

< SUMMARY >

Purpose & Contents	◎ Propose ☞ <u>Development of fire repair program damaged building based on the Convergence technology using the thermal detector when misfortune disaster.</u> 1) Development of Ubiquitous health care system to overcome unmanned camera technical limitation 2) Development of fire repair program damaged building based on the collected heat sensing data. 3) Making up of guide line with restoration construction procedure and maintenance control document. ◎ Contents ① Create scenarios through social disaster, accident data collection and analysis(Linking heat sensing / recording device) : Accident cause analysis and characterization through social disaster, accident data research and analysis : System Integration Utilization Research for national intelligence system ② Performance–reliability evaluation and Data Status Check of heat sensing/record system : Application for Thermal sensitive property based on the Multiple convergence technology :Test–bad and sample test for system improvement (performance – reliability evaluation) : Development of fire repair program damaged building based on the Convergence technology using the thermal detector ③ The restoration of the structure after the fire damage and Introduction of Maintenance Manual for building : Evaluation of Residual Compressive Strength and Impact Rating Class after fire in building : Heat detection/recording system operating manual creation				
	Results				
Expected Contribution	☞ Development of fire repair program damaged building based on the Convergence technology using the thermal detector ☞ Proposal of program for residual compressive strength checking and set up the damage to the structure in fire [Effect] Perception type heat detection system developed can be prevented significant disasters. Also it is possible to systematically restore and manage the event of a disaster. Finally, the developed program can predict the number and frequency of injury scale disaster occurs.				
	: It suggested that the program can be applied to homes, offices, department stores and hypermarket. It is also possible to use at ambient temperature conditions. For example, it can be applied to calculate the heat and energy efficiency of the structure. The collected data can be divided into regions and building purpose. ◎ Steel structures ensuring the safety and Economy (major infrastructure) can be designed ◎ Steel structures suitable for the domestic situation of fire–resistance design methods laid the Foundation ◎ The establishment of performance based fire–resistant design technology ◎ Securing the safety and economy of design within the technology				
Keywords	Heat detector	Fire simulation	Damage grade	Prevention of disaster	Resilience

6. 영문 목차

< 목 차 >

Chapter 01. R&D project overview	9
Chapter 02. Technologies in Korea & overseas	16
Chapter 03. R&D process & results	22
Chapter 04. Evaluation & contribution of the project	33
Chapter 05. How to utilize the R&D results	36
Chapter 06. Overseas technologies collected during the R&D	38
Chapter 07. Security level of the R&D achievements	42
Chapter 08. R&D facilities & equipment registered in national science & technology information system	43
Chapter 09. Compliance with safety guidelines	44
Chapter 10. Major R&D achievements	48
Chapter 11. Notes	49
Chapter 12. References	50

7. 본문 목차

< 목 차 >

1. 연구개발과제의 개요	9
2. 국내외 기술 개발 현황	16
3. 연구 수행 내용 및 성과	22
4. 목표 달성도 및 관련 분야 기여도	33
5. 연구개발성과의 활용 계획	36
6. 연구 과정에서 수집한 해외 과학기술 정보	38
7. 연구개발성과의 보안등급	42
8. 국가과학기술종합정보시스템에 등록한 연구시설·장비 현황	43
9. 연구개발과제 수행에 따른 연구실 등의 안전 조치 이행 실적	44
10. 연구개발과제의 대표적 연구 실적	48
11. 기타 사항	49
12. 참고 문헌	50

8. 본문

제1장. 연구개발과제의 개요

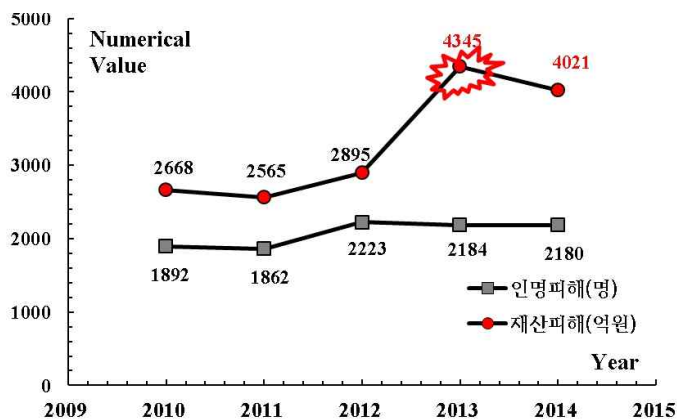
1. 연구개발 목적

- 천재지변으로 일어나는 자연재해보다 사회재난이 월등히 많아진 오늘날, 화재에 대한 취약점들이 언론을 통해 여러 번 공개되면서 불안감을 커졌지만 뚜렷한 안전대책은 마련되지 않는 현실에 마주하고 있다^[21]. 최근 5년간의 화재 발생현황을 국민 안전처에서 분석하여 발표한 결과, **화재 건수는 감소했지만, 화재로 인한 사망자가 10.9% 증가했고, 재산피해가 21.9% 크게 증가하였다.** 이와 같은 원인은 **대형화재 발생**이 증가하고 있다는 분석이다.

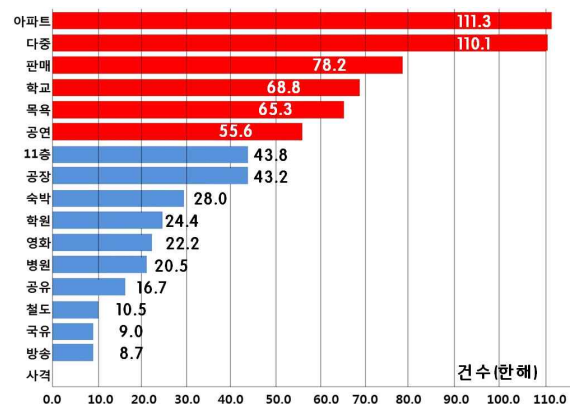
(사회재난별 발생건수 추이)

구분	2010년	2011년	2012년	3년 평균
도로교통	226,863	221,711	223,656	224,076
화재	41,863	43,875	43,249	42,995
수난	2,267	2,393	3,954	2,871
해양	1,627	1,750	1,632	1,669
추락	1,365	2,699	10,119	4,727
총 발생건수	280,607	286,851	303,707	290,388

- 한국화재보험협회의 2013년 **대형특수건축물**(33,612건에 한해) **화재발생 조사** 자료에 따르면 약 1,858건의 화재가 발생되어 312억원의 재산피해가 발생됐다. 조사된 내용 중 화재발생 빈도를 보면 **아파트가 가장 높고 재산피해 규모는 공장이 전체 83%(257.8억 원)으로 높게 조사 되었다.** 이렇듯 다양한 형태의 사회재난 사고가 발생하여 사망자가 증가하고 있으나 대책 미비로 막대한 사회적 손실비용이 발생하고 있는 실정이다.

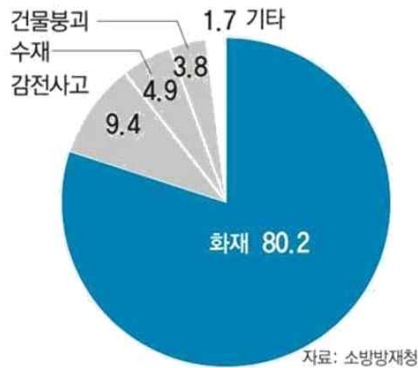


(화재발생으로 인한 인명 및 재산 피해)



(대형특수건축물 화재발생 건수)

가정에서 일어날 수 있는 재난 중 가장 우려되는 것은? (단위: %)



(가정 내 발생될 재난 설문결과)

- 2000년대 들어 국내 고층 아파트구조물의 화재 사건이 심심치 않게 발생되었다. 화재 원인은 주로 기기 결함 또는 누전 등으로 조사되었지만 이런 화재로 인해 발생하는 피해 수준은 막대하다. 또한 정전으로 사람들이 승강기에 갇히는 등 아파트화재는 피해속도와 손실은 물론 파급여파가 큰 주요 시설물에서는 더욱 더 화재에 대한 유지/관리 대책 마련이 명확해질 필요가 있다. 또한 다용도/대형 건축물의 화재발생 증가는 화재 후 복원 비용에 따른 국가적 손실이 증가하는 것과 같은 의미를 말한다^[22].

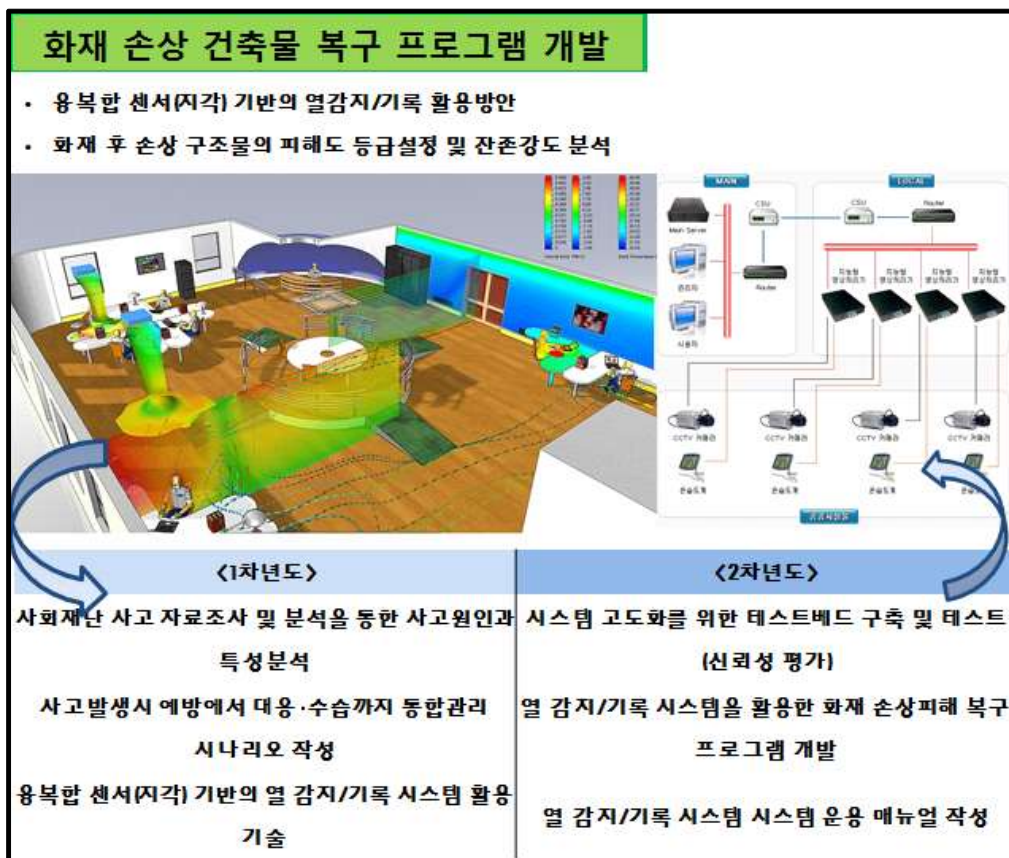
- 화재 시간이 길어지면 건축부재에 대한 화해를 전혀 입히지 않았다고 판단할 수는 없다. 고온의 영향으로 구조물의 잠재적 손상이 가해지므로 화재 후 거동과 손상범위에 대한 평가가 이뤄져야 한다. 즉, 화해를 입은 건축물에 있어서 보수·보강은 필수적이다. 하지만, 복구(보건) 및 관리를 어떻게 해야 효율적인지에 대한 근거자료(연구)와 판단기준(규준, 시방서 등)이 현재 국내에는 전무한 상태이다. 어떤 건축물이라도 화재 사고위험은 잠재되어 있으며, 이를 미연에 방지하는 것도 중요하지만 화재 이후 대처법과 손상된 보수·보강에 대한 문제는 또 다른 큰 사고를 막기 위해서라도 매우 중요한 문제들이다.



(화재 발생으로 인해 건축물의 손상)

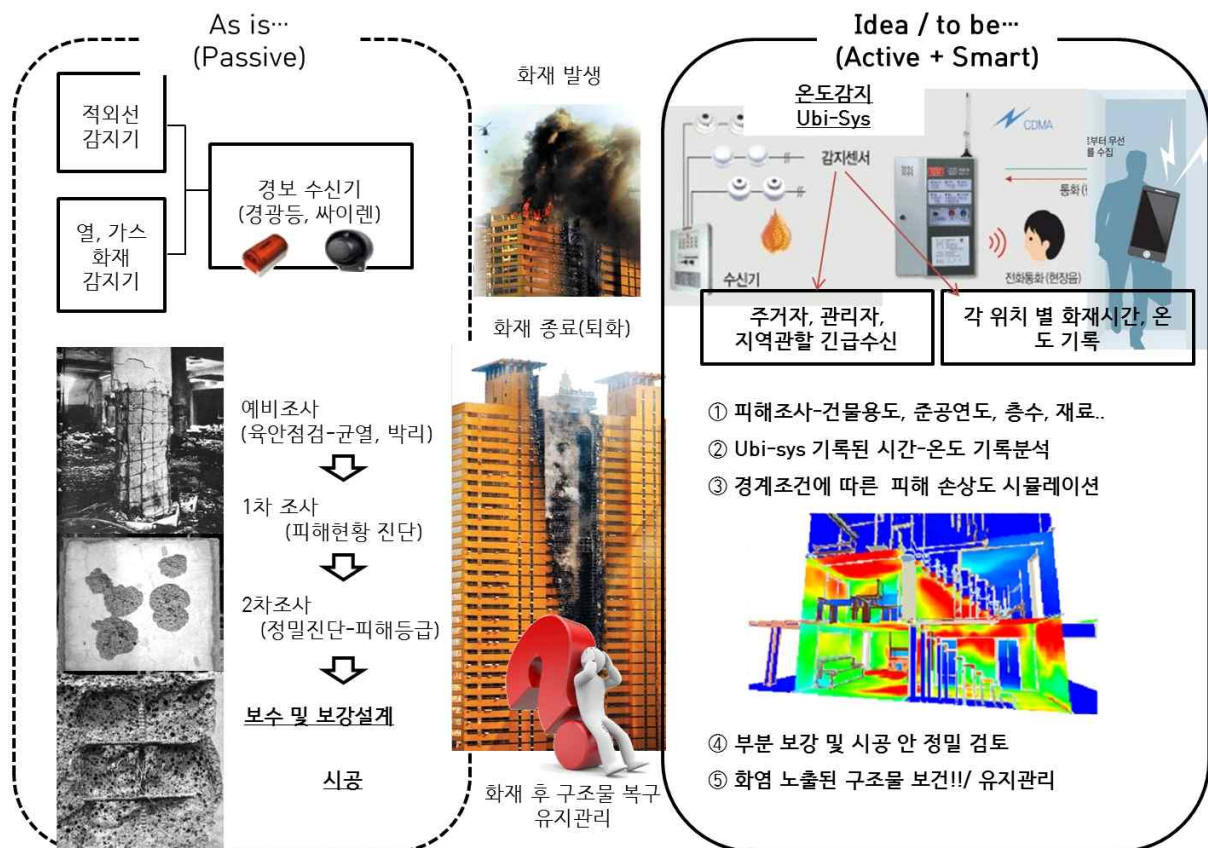
2. 연구개발의 필요성

- 화재에 의한 피해로 경제적 손실뿐만 아니라 인명피해가 급증하는 현 시점에 다양한 시각에서 그 원인을 분석하고 있다. 주요 원인으로는 대형화, 복합화된 건축물이 증가하면서 인구 집중되는 곳에 화재가 발생하는 경우 피해가 더 증폭된다는 점으로 분석됐다^[28,29,30,31]. 또한 화재 후 복원 비용에 따른 국가적 손실이 매해 갱신하고 있어 효과적인 방지법과 대책마련이 시급하다.
- 고온의 영향으로 구조물의 잠재적 손상이 가해지므로 화재 후 거동과 손상범위에 대한 평가가 이뤄져야 한다. 즉, 화해를 입은 건축물에 있어서 보수·보강은 필수적이다. 하지만, 복구(보건) 및 관리를 어떻게 해야 효율적인지에 대한 근거자료(연구)와 판단기준(규준, 시방서 등)이 현재 국내 전무한 상태임을 다시 한번 강조할 필요가 있다. 따라서 화재이후의 부재 보수 여부의 파악이 중요한 과제이고 보수 여부를 판단하는 기술을 구체화할 필요가 있다.



(화재손상 건축물 복구 프로그램 개발 연구체계도)

- 화재 후 손상된 구조물의 복구와 관리체계 기존 방법과 본 연구를 통해 개선하고자 하는 손상 구조물 시스템 개발 개념도를 아래와 같이 비교하고자 한다. 지금까지 화재 후 손상 구조물의 점검을 오로지 주관적인 데이터(육안점검)에 의해 시공되어 왔으며, 그로인해 과도한 또는 사양적인 시공방법에 의해 수행되어 왔다. 화재에 대한 2차, 3차 피해를 막기 위해서는 제대로 된 보건과 관리가 필요하다. 제안하고자 하는 융복합기술 기반의 열감지기는 건축물 내외부에 부착되어 있는 적외선, 열감지기에 온도측정 센서와 호출신호기를 융용하여 화재 전/후에 발생될 문제를 개선하고자 한다. 화재 발생시 관리자, 주거자, 가까운 관할 소방청에 긴급수신이 1차적으로 이뤄지고, 2차적으로 화재 발생시간 동안 온도, 가스배출량 등의 데이터를 기록하여, 추후 피해 입은 구조물의 손상도를 시뮬레이션 하여 효과적인 보건방안을 강구하고자 한다. 또한 유지관리 측면에서 융복합기술 기반의 열감지기 데이터는 에너지 효율측면의 추가적인 자료가 누적되어 활용범위가 확대될 것으로 판단됨.



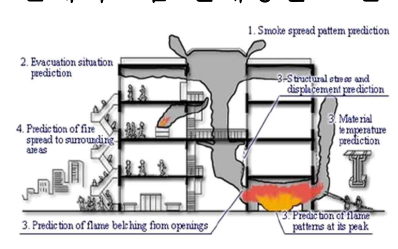
(화재손상 건축물 복구 프로그램 개발 기존연구와 차별성)

3. 연구개발 범위

1) 1차년도 연구개발 목표 및 내용

연구목표	주요연구내용
사회재난 사고 자료 수집분석을 통한 특성파악, 열 감지/기록장치 연계 활용 시나리오 작성 및 타 기술연계방안 검토 	• 관련기관에서 보유중인 사회재난사고 자료 수집 및 분석 • 기 구축된 방재시스템과의 연계활용 방안 검토 • 융복합 센서(지각) 기반의 열 감지/기록 시스템 활용 기술 • 시스템 고도화를 위한 테스트베드 구축 및 테스트 (신뢰성 평가) • 열 감지/기록 시스템을 활용한 화재 손상피해 복구 프로그램 개발 • 재난 유형별, 지역별 재난 발생 현황 분석에 따른 시범 적용지역 선정 및 시스템 구축

2) 2차년도 연구개발 목표 및 내용

연구목표	주요연구내용
화재 후 손상 구조물 복원 및 유지관리 매뉴얼 제공과 타 관제시스템 연계방안 도출  	• 화재 후 손상 구조물의 피해도 등급설정 및 잔존강도 분석 • 감지센서에 기록된 화재 선상 데이터를 통해 구조물의 피해도 구획 • 제안 시스템과 타 관제 시스템 연계방안 도출 • 실 화재 시뮬레이션 수행 → 수집된 데이터와 비교 분석 • 국가방재 시스템구축을 위한 시스템 연계활용 방안 연구 • 열 감지/기록 시스템을 활용한 순환사고 발생시 예방에서 대응·수습까지 통합 표준운용절차(SOP) 개발

3) 연구개발 범위 및 세부추진내용

① 1차년도 (2015.06.18.~2016.06.17.)

연구개발 범위	세부추진내용
■ 사회재난 사고 자료 수집분석을 통한 특성파악, 열 감지/ 기록장치 연계 활용 시나리오 작성	→ 1990년~현재 화재발생 원인별 조사 및 분석(분류) → 조사대상 중 열감지 시스템 여부분류 → 융복합 열감지기 장치 활용 전개도 작성 / 전문기관에 자문 요청(예비설계)
■ 융복합 센서(지각) 기반의 열 감지/기록 시스템 활용 기술대안 제시	→ 열감지 최적위치 파악(기존방법 대비 분석) → 온도기록 장치 설치 및 인식능력 자문요청
■ 사용진동에 의한 Sys. 상태, 온도 및 위험도 수준 지표화	→ 통합형 감지장치가 실 건축물에 설치됐을 때 경우 가상시나리오에 맞춰 예비 테스트 및 교정
■ Ubiquitous-Health Care 제어 및 수신장치 개발	→ 점검이 완료된 제품과 인식장치(경보, 영상화면)연결, 지속력 점검 → 전문기관 의뢰, 구조기술사협회에 안전성 결여 확인
■ 시스템 고도화를 위한 테스트베드 구축 및 테스트 (신뢰성 평가)	→ 실재 화재발생 시뮬레이션을 통해 감지장비의 활동성과 신뢰성을 평가 (화재가열곡선, 비표준화재가열곡선)^[1,2]
■ 열 감지/기록 시스템을 활용한 화재 손상 피해 복구 프로그램 개발	→ 기록장치에 의해 수집된 데이터를 근거로 하여 화염에 노출된 부재의 복구상태를 파악 → 보수/보강 잔여내력을 분석
■ 온도 기록장치 민감도, 신뢰성 확인	→ 감지 장치에 의해 기록된 온도와 실제 실험상태 발생된 온도 비교 → 시간-온도관계비교, 감지장치의 민감도 평가 (불일치의 경우 교정)
■ 합리적인 내화보건, 유지관리 예제집 제공	→ R&D단계에서 수행된 자료와 제품을 실제 활용이 가능한 샘플예제와 프로그램 사용자(설명서)를 작성/ 세미나개최를 통해 자료공유
■ 실 건축물 개발제품 적용 / 실시간 모니터링 후 분석	→ 실시간 생활 온도를 감지, 분석하여 생활 패턴과 건축물의 에너지를 분석 (타연계사업 연동 분석)

② 2차년도 (2016.06.18.~2017.06.17.)

연구개발 범위	세부추진내용
화재 후 손상 구조물의 피해도 등급설정	→ 1차년도 분석된 화재원인조사 분류에서 세분화된 건축물의 피해도 등급을 설정 (열변형 지표에 따른 일반, 보통, 심각수준 분류표 작성)
조사/분석된 건설재료(con'c, 강재) 회복력 열 변형 속도와 확대범위 분석	→ 온도에 따른 각 건설재료의 강도저감 계수 구축, 화재 이후 강도 회복력 및 상태 분석(분석된 데이터는 프로그램 알고리즘에 사용가능하도록 Table정리)
다가구 주택 해석모델 결정, 발생한 열화현상과 범위 분석	→ 실제 화재 발생된 구조물 중 화재손상범위가 심각한 주택모형을 설정, 시뮬레이션 모델완성
구조체의 사용성 분석 및 열화 전·후 내력평가 → 잔존강도 평가	→ 상온상태의 구조물 내력상태와 화염에 노출된 구조물의 내력, 거동상태를 비교분석/ 화재후 잠재된 내력(잔존강도)을 평가
전체 철골 구조물 손상 범위와 상태에 따른 보강/시공 관리 평가 (Feed Back)	→ 화재 시뮬레이션을 통해 측정된 데이터에서 부재별, 전체 골조별에 따른 열변형을 확인, 피해집중 위치 파악 후 시공법 제안
화재 후 손상 구조물 복원 및 유지관리 프로그램 개발	→ 각 위치별, 부재별에 따른 손상제거와 보강법을 제안/ 관리시스템 제안 (한 프로그램에서 복구와 유지관리 동시에 관리할수 있도록 표현)
열화 전후 조건에 따른 구조적 안전성과 사용성 분석	→ 상위 단계에서 분석된 자료를 통합적으로 평가(확인)가능하도록 상온시/ 화재시 비교데이터 구축
고온상태 시뮬레이션 통해 피해손상도 분석→ 지침 매뉴얼 제공	→ 사용자(관리자)가 직접 사용가능하도록 현장 매뉴얼 작성/학회연계된 세미나를 통해 작성지침서 제공(프로그램 포함)
유지관리 지침서, 매뉴얼 제공 및 실무 활용화 추진	→ 실무활용서 작성후 한국 구조기술사회 또는 학회에 제공/ 필요에 따라 자료배포 (학교 수업시청각자료 제공)

제2장. 국내외 기술 개발 현황

- 재난대응관련 연구는 크게 2가지로 분류됨: (1) Preparedness (P)(사전대응); (2) Response (R)(현장대응). 재난의 종류에 따른 분류에서는 Natural (자연재해), Man-made (테러 등의 위협) 에 대한 연구가 다수였다. 기여부문에서는 장비, 인력, 스케줄링의 의사결정을 위한 Model 개발이 주를 이뤘다. 그럼에도 국내의 경우, 연구결과가 논문으로 진행되지 않은 것인지 검색 망 내에 찾을 수 없었다.^[3~20]

(Literature Trend 분석)

구분	구분	논문 수 (107)	비율 (%)
재난대응 시점에 따른 분류	Mitigation (pre)	47	44.0
	Preparedness (pre,전)	22	21.1
	Response (during,중)	26	23.9
	Recovery (after,후)	12	11.0
구분	구분	논문 수	비율
재난의 종류에 따른 분류	Natural	30	28.4
	Man-made	35	33.1
	Humanitarian	1	0.9
	All disaster	41	37.6
구분	구분	논문 수	비율
연구의 기여부문에 따른 분류	Theory	28	26.6
	Model	62	57.8
	Application	17	15.6

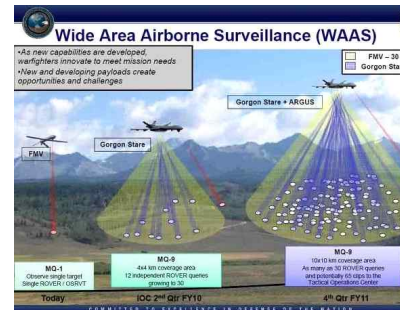
(사회재난 관리관련 단체 연구진행 현황)

구분	연구 내용
○○○○ 센타 (아시아권 16개국)	- 기후변화 및 기후변화 리스크 관리 / - 재난 리스크 평가 및 모니터링 - 응급상황 공공안전관리 (Public health in emergency) - Resilient Cities and Urban Risk Management - Safer Development Planning and Implementation
○○○○ 대학 (미국)	- 응급재난대응관리 교육 및 연습 방안 개발 - 재난상황 건강관리시스템관리 방안 개발 - 대규모 재난 대응 국제 협력방안 마련 - 해양재난 위험관리 (Risk Management)
○○○○ 대학 (미국)	- 재난상황 구호물품조달 방안 마련 - community responses to acute chemical hazards - 대규모 해체작업 및 긴급피난시설관리 - 지진관련 재난대응 의사결정시스템 개발
○○○○ 대학 (터키)	- Resource allocation을 위한 의사결정 Framework 개발 - Authority and communication을 위한 의사결정 Framework 개발 / Cost Effectiveness 측면 최적 Retrofit 방안 선정을 위한 Framework 개발

1) 감지 센서 관련 국내·외 수준 (Industrial Technology)^[23,24,25,26,27,28]

① 영상센서를 이용한 지능형 융·복합 시스템

- **통합관제센터** : 영상 분석 솔루션을 개발해 영상 분석 및 빅데이터 기반의 지능형 영상 관제 센터 구축 솔루션 활용
- 영상정보를 활용해 **범죄 징후를 조기에 포착**하고 선제적으로 조치할 수 있는 대응체계를 갖추고 있으며, 감시기기를 통한 다양한 정보수집 및 활용을 통해 대민 서비스를 향상시킬 수 있는 인프라 제공
- 지능형 영상관제 솔루션은 영상 데이터 분석을 기반으로 **교통, 산업, 재난 방재 및 방범** 등 다양한 분야에 활용
- 교차로나 횡단보도, 도로 및 교각 등에 설치된 카메라에 전송되는 영상을 지능형 영상분석 기술을 통하여 불법주정차 단속, 교통사고 대응 등에 활용
- 최근 산업 현장에서 발생하는 화학가스 누출이나 폭발사고 등의 산업재해 예방은 물론 첨단 제조공정의 모니터링에 활용
- 방범 분야는 방치된 사람이나 물품 감지, 미아 및 치매노인의 감지 등 매우 광범위한 공공 및 생활 안전 분야에 활용



(군사용 무인정찰기)



(범죄예방 음향탐지)



(이상행동-보안 센서)

② 지능형 영상 수위 감지 시스템

- 지능형 CCTV를 수위감지에 활용하여 강, 하천 등 수위를 실시간으로 분석하고 경보 단계를 구분하여 관리하는 시스템

③ 대교 투신자살 감시 시스템

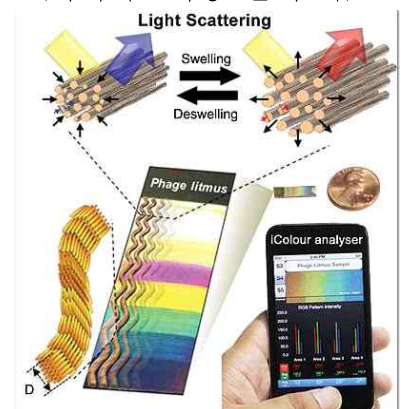
- 다리에서 발생하는 투신을 실시간 모니터링 하고 상황 발생시 경보체계를 가동해 구조대를 투입하며, 서울시 마포대교, 서강대교에 시범설치 운영

④ 유해화학물질 통합관리 시스템

- 산단 지리정보를 입체화 하고 유해화학물질 정보 등을 시스템화하여 실시간 기상정보 적용과 물질별 확산 시뮬레이션 분석기법을 도입
- 사업장이 취급하는 화학물질 정보 및 사업장별 맞춤 정보와 사고 대응을 위한 방재정보 등을 제공



(바이러스예방-열 감지)



(온도변화에 움직임 인식)

2) 화염에 손상된 구조재료 회복력 연구 (Natural Science)^[5,6,7,8,9,10,11]

① 콘크리트

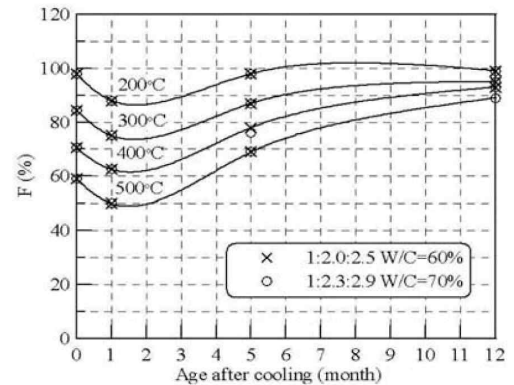
- 화재 온도가 높지 않은 경우에는 시간이 경과함에 따라 콘크리트의 강도는 회복되며, 500℃까지는 1년 이상이 경과되면 초기 강도의 90%까지 강도가 회복됨
- 압축강도의 잔존비율은 500℃에서 약 50%, 800℃에서 약 10% 정도가 되는 것이 일반적인 경향으로 보고됨
- 압축강도에 비해 인장강도는 공시체 내부의 잠재적인 결함에 민감하므로 가열에 의한 영향을 보다 쉽게 받게 된다. 일반적으로 가열온도가 250℃ 이상이 되면 인장강도가 급격히 감소하는 것으로 보고됨.

② 강재

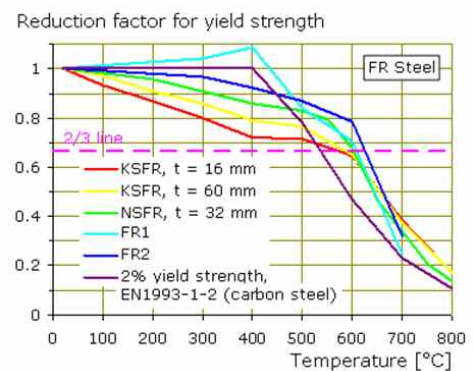
- 고온에 따른 강재의 변형을 살펴보면 약 130~200℃까지는 강재의 성질에 큰 변화가 일어나지 않지만 **약 200℃를 초과하면 강재의 거동은 비선형적인 특성을 나타냄**
- 강재 인장강도는 100~300℃ 사이에서 변형도 노화현상(strain aging)에 의해서 일시적으로 소폭 증가하는 특이한 현상을 보이나 그 이상의 온도에서는 강도가 감소하며 약 600℃ 정도에서 인장강도와 항복강도는 상온에서의 강도에 절반정도로 감소됨
- 일반적으로 약 720℃를 초과 할 경우 항복점이 불명확해지는 것으로 조사. 선행연구에 의하면 600℃ 이하의 고온에 노출됐을 경우 원래 강도로 회복되므로 재료상 커다란 문제가 없다고 평가됨 /강재의 재료강도에 관해 600℃가 재사용의 기준온도가 됨.

③ 재료간의 부착력

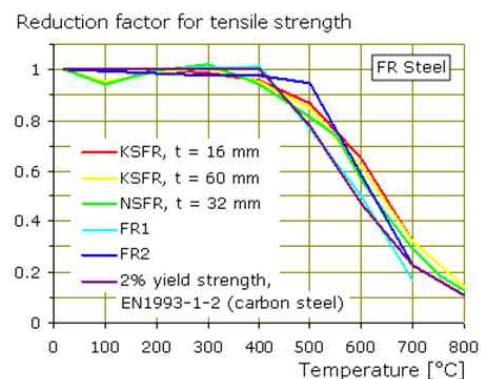
- 온도 상승에 따라 강재는 점차적으로 부착력을 상실한다. 주된 이유는 콘크리트의 균열과 주변 콘크리트 강도 감소 때문이다. 일반적으로 600℃ 이상에서는 부착력이 거의 상실된다고 보고.



(콘크리트 : 화재 후 강도회복력)



(강재 화재 후 항복강도)



(강재 화재 후 인장강도)

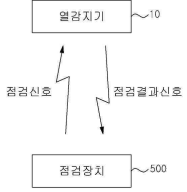
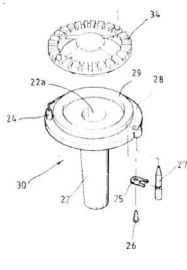
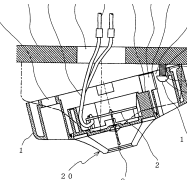
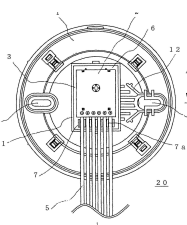


(철골 접합부의 열 변형)

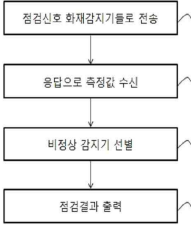
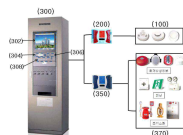
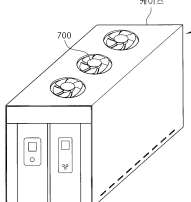
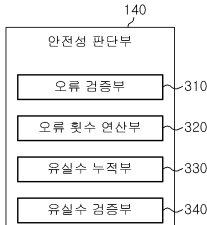
3) 국내 관련 기술 특허 동향

국내에서 연구된 대표적인 ‘열감지 시스템’과 ‘화재손상 복구기술’에 대해 아래 표와 같이 정리하였다. 화염(온도)과 가스(기체)감지를 동시에 감지하는 기술 그리고 알람정보 수신 시스템이 개별(관리자, 사용자)로 재해발생정보를 전달받을 수 있다. 하지만, 감지된 데이터를 화재 손상된 건축물 복구자료로 사용되는 기술은 검색되지 않았다. 현재 국내 기술에 센서기록장치를 추가하여 합리적인 복원기술의 자료로 사용될 경우 명확한 판단근거 자료로 사용이 가능할 것으로 판단된다.

(국내 관련기술현황-1)

No.	지식재산권 정보		형 태	기술 요약
1	열감지기 원격 점검 시스템 및 그를 위한 장치			열감지기 원격 점검 시스템은 온도에 따라 저항값이 변화되는 서미스터(thermistor)를 이용하여 흐르는 전류의 값에 따라 화재신호를 생성하는 열감지기 및 열감지기가 강제로 전류의 값을 높여 화재신호를 생성하도록 네트워크를 통해 열감지기로 점검신호를 송신하고, 열감지기로부터 점검신호에 따른 화재신호가 수신되는지 여부에 의해 열감지기의 고장유무를 판단하는 수신기를 포함한다.
	등록	10-1357869		
2	열감지기의 설치장치			열감지기의 설치장치에 관한 것으로서, 가스기기 즉, 가스오븐렌지나 가스렌지 등의 버너부에 설치된 열감지기를 유동되게 설치함으로써, 가스기기의 설치 후에 풍향의 영향을 받지 않도록 하여 열감지기가 불꽃감지를 원활하게 할 수 있는 열감지기의 설치장치에 관한 것이다.
	출원	실0127115		
3	영상 전송장치가 내장된 화재감지기			화재감지기의 단점인 오작동 발생 문제를 보완하기 위해서, 화재감지기에 영상을 전송할 수 있는 초소형 디지털 이미지 센서(DIGITAL IMAGE SENSOR)를 내장시켰다. 화재감지기가 열, 연기, 및 불꽃 등에 의해서 화재 발생을 감지하면, 함께 내장된 이미지 센서에 입사되는 화재 발생 현장의 영상을 화재 발생 신호와 함께 외부로 전송할 수 있도록 고안하였다.
	출원	10-2007-0127282		
4	화재 감지기			방수형의 화재 감지기에 있어서, 회로기판 수납부에 봉지재를 충전할 때에 회로기판에 접속한 리드선이 회로기판 수납부의 둘레벽에 접촉하지 않아 충전불량이 발생하지 않는 화재 감지기를 제공한다.
	출원	10-2008-0022042		

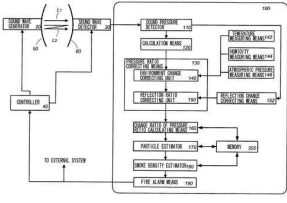
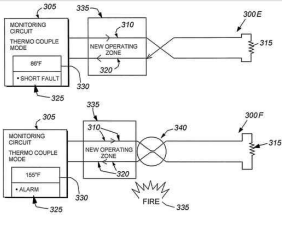
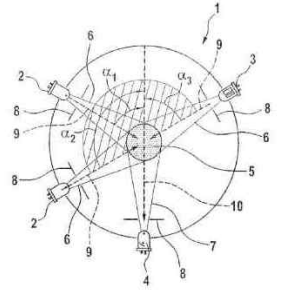
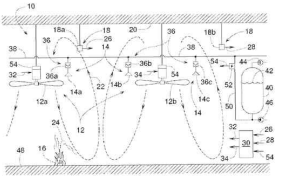
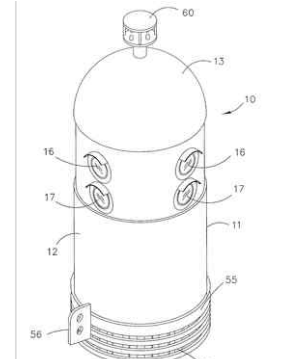
(국내 관련기술현황-2)

No.	지식재산권 정보		형 태	기술 요약
5	화재감지기 원격 점검 시스템 및 그를 위한 화재수신기			화재감지기 원격 점검 시스템 및 그를 위한 화재수신기가 개시된다. 본 발명의 일측면에 따른 화재감지기 원격점검 시스템은, 연기 또는 열을 측정하는 화재감지기들; 및 화재감지기들로 점검신호를 전송하고, 점검신호에 따른 응답으로 수신된 측정값을 기반으로 비정상 감지기를 선별하고, 비정상 감지기들에 대한 정보를 출력하는 화재수신기를 포함한다. 본 발명에 따르면, 화재감지기가 제대로 작동하는지를 원격에서 점검할 수 있다.
	등록	10-1412624		
6	화재시험 및 복구기능을 구비한 입력중계기			수신기로부터의 화재시험 및 복구신호를 감지기에 전달하여 상기 감지기를 작동 및 작동 해제시킬 수 있도록 하는 화재시험 및 복구기능을 구비한 입력중계기에 관한 것으로, 상기 수신기로부터 화재시험 및 복구신호를 수신하여 전달한다. 화재시험 및 복구부, 화재 감지신호 수신부 및 이상신호 전송부의 기능을 제어하는 중앙처리부를 포함하여, 화재에 대한 시스템의 동작을 상시적으로 점검할 수 있을 뿐만 아니라 감지기를 화재나 화재시험 이전 의 상태로 복구시킬 수 있다.
	출원	10-2013-0049143		
7	화재수신반의 화재신호 휴대폰 통보기			다수의 화재감지기가 연결된 화재수신반과 신호입력부 및 전원부를 통하여 연결되고, 상기 화재수신반과 연결되어 제어부의 제어명령에 따라 상기 화재수신반을 원상태로 복구하는 신호를 보내는 리셋부가 구비되며, 다수의 관리자 휴대폰 전화번호가 입력된 저장부가 구비되고, 상기 화재수신반이 작동되면 상기 저장부의 관리자들에게 순차적으로 전화를 걸어 상기 리셋부로 복구명령을 내리도록 송수신기를 갖는 특징이 있다.
	등록	20-0447203		
8	화재 모니터링 시스템			화재감지기의 화재발생신호 및 작동상태신호를 수신하는 경우 신호를 발생시켜 전송하는 화재신호 발생장치와, 상기 화재신호 발생장치로부터 발생신호를 정보통신망을 통해 전송한 후, 명령신호를 출력수단을 통해 출력하는 화재신호 중계장치 및 관리장치를 포함한다.
	등록	20-0414008		
9	센서를 통한 재해감지 및 복구 기능을 가진 수배전반 시스템 및 건물 통합제어 시스템			일일시에에 따른 센서를 통한 재해감지 및 복구기능을 가진 수배전반 시스템은 수배전반 내부의 온도를 감지하는 화재감지센서, 컨트롤러와 연결되어 재해감지시 컨트롤러로부터 문자송신신호를 입력받아 수용가의 감독자 단말에 재해발생문자정보를 전송하는 송신모듈 및 컨트롤러와 연결되어 재해감지시 컨트롤러로부터 재해발생신호를 입력받아 수배전반의 상태정보 저장을 개시하는 메모리를 포함한다.
	등록	10-1376774		
10	건물 상태를 원격으로 모니터링하기 위한 장치 및 방법			건물의 상태를 측정하는 복수의 센서로부터 상기 건물의 상태 데이터를 입력 받는 수신부, 상기 상태 데이터의 비정상성을 판단하기 위한 기준을 저장하는 기준 데이터베이스, 상기 상태 데이터 중 비정상 범위에 있다고 판단되는 비정상 정보를 추출하는 안전성 판단부 및 상기 비정상 정보를 저장하는 비정상 데이터베이스를 포함한다.
	출원	10-2015-0010847		

4) 국외 관련 기술 특허 동향

국외에서 연구된 대표적인 열/가스 감지 시스템을 아래 표와 같이 정리하였다. 국내와 다르게 감지 작동방법에 따른 특허기술이 많이 소개되었다. 또한 감지 장치와 화재진압 장치를 연계한 기술이 매우 유용할 것으로 보인다. 하지만 국내와 마찬가지로 감지기에 의해 측정된 데이터를 건물 복원에 사용되는 기술은 확인되지 않고 있다.

(관련기술현황)

No.	지식재산권 정보		형 태	기술 요약
1	Fire alarm system			초음파의 사용으로 화재의 유/무 또는 열 존재를 확인하는 화재정보 시스템 일종이다. 연기 밀도 추정기는 표준 압력 비율에 의해 변화 비율을 계산하고, 변화 비율과 연기 밀도 사이의 관계식에 기초하여 변화 비율로부터의 연기 밀도를 결정하고, 연기 밀도가 한계를 초과할 때 화재의 유/무를 알아내는 장비이다.
	등록	08519854 (2010)		
2	Digital linear heat detector with thermocouple heat confirmation			Digital linear heat detector는 제 1 도전체와 제2 도전체로 연속 구성되어 비전도성 열 민감한 열가소성 물질의 층이 연락을 취하도록 하고 있다. 또한 저항을 관찰하기 위해 모니터링 회로를 포함한다. 모니터링 회로는 온도를 확인하고 설정 온도 에 의해 경보조건 타임을 확인할 수 있다.
	출원	08096708 (2012)		
3	Scattered Radiation Fire Detector and Method for the Automatic Detection of a Fire Situation			본 발명은 화재상황을 결정할 수 있는 공기 파장과 부피 감지기가 포함되어 있다. 산란방사 센서의 방사원은 화재 탐지기에 센서로 추가되었다.
	출원	20130135607 (2013)		
4	Fire safety systems for buildings with overhead fans			화재 안전성 시스템은 화재를 감지하고, 정확하게 그것의 위치를 확인하고, 효율적으로 화재를 집압하기 위해 구성된 팬의 일종이다. 화재 안전성이 필요한 대공간, 공장, 체육학교와 같은 큰 빌딩을 위해 구성되었다. 본 발명은 큰 개방형 공간의 빌딩에서 스프링클러 역할까지 겸할 수 있다.
	등록	07658232 (2010)		
5	Fire detection			열 저항성 장비는 단위 주위에 360° 도회전이 가능하다. 외부가 셸로 구성되어 공간확보 가능하다. 적외선 초전형 센서와 적외선 열전대 센서에 광학적으로 구성되어 있다. 셸 내부에는 매연 검출기, 단위센서, 컴퓨터와 무선 송신기를 지지한 최소한 하나의 프린터 배선 기관을 포함하고 있다. 셸에 장착된 온도 센서는 연결된 통풍구를 통해 배선 기관에 전력을 공급을 하고 충전이 지원된다.
	등록	08907799 (2014)		

1. 1차년도 연구수행 내용 및 성과

○ 열 감지/기록 시스템을 활용한 화재 손상피해 복구 프로그램 개발

(1) 서론

최근 건축물의 화재는 다용도 및 다중이용 시설물(특수건축물)에 의한 피해가 빈번하게 발생되어 경제적 손실뿐만 아니라 인명피해까지 속출하고 있다. 건축물 용도에 따라 다양한 마감재료를 사용하면서, 가연물질이 증가하고 있으며, 그에 따라 화재 시간이 증가된다. 즉 고온에 장시간 노출된 건축부재는 화재에 의한 손상범위가 클 수밖에 없고 명확한 손상지표를 파악해야만 경우에 따라 보수·보강을 할 수 있다. 건축물의 화재예방 만큼이나 화재 이후의 보수/보강 파악은 중요한 과제이고, 합리적인 기술을 구체화할 필요가 있다. 그럼에도 화재 후 손상된 구조물의 평가방법, 손상지표에 따른 보수보강 시공 지침은 어디에도 찾아볼 수가 없었다. 본 연구에서는 화재 발생 시 합성기둥에 대한 내부 온도 분포를 평가 하고, 온도변화에 따른 충전콘크리트와 강관재의 내력 저하 정도를 파악하여 기둥의 잔존강도를 평가하고자 한다. 최종적으로는 화재 손상피해 복구 프로그램 개발에 자료로 사용되기 위함이다. 합성기둥 중 CFT(Concrete Filled steel tube)기둥은 강관 내부에 콘크리트가 채워져 있어 하중에 대한 저항력이 상당히 증가하게 된다. 따라서 고축력 장스팬을 요구하는 특수건축물 기둥부재로 많이 사용되고 있다. 그에 따라 국내외로 다양한 실험 및 해석적 연구를 통하여 일반 철골기둥에 비해 우수한 내화 성능이 검증 되었다. 하지만 우수한 내화성능을 지닌 CFT기둥도 화재가 발생하게 되면 고온의 영향으로 기둥의 잠재적 손상이 가해지므로 화재 후 거동과 손상범위에 대한 평가가 이뤄져야 한다.

(2) 화재 후 콘크리트와 강재의 기계적 특성

일본콘크리트 공학협회(2002)에서는 아래 표 1과 같이 대표적인 구조재료(콘크리트, 강재)의 사용한계 온도를 제시하였다.

표 1. 표준 사용한계온도

재 료	콘크리트	강재
사용한계온도(℃)	250~380	250~350

① 콘크리트

콘크리트는 대표적인 내화재료로 알려져 있지만, 수화반응에 의하여 시멘트, 골재 등이 경화된 재료의 특성 때문에 온도가 상승하면 결합 조직이 이완되거나 특성을 상실하기 때문에 콘크리트 자체의 성질을 잃어버린다. 또한 콘크리트 온도 증가에 따라 콘크리트의 물성과 함께 색상이 변하게 된다. 300~600℃에서는 핑크색, 600~950℃에서는 회백색, 그 이상에서는 담황색으로 변하기 때문에 콘크리트 자체의 색상만으로 수열 온도를 예측할 수 있다. 콘크리트의 온도가 400℃가 되면 시멘트 페이스트에 미세한 균열이 발생하고, 600℃가 되면 시멘트 페이스트와 골재 사이의 경계면에서 균열이 발생한 온도가 증가하여 800℃가 되면, 콘크리트에는 심각한 균열이 발생하게 된다.

콘크리트의 강도는 1시간 노출 기준으로 400℃ 이상이 되면 급격하게 감소되며, 800℃ 이상이 되면 대부분의 강도를 잃어버린다. 화재 온도가 높지 않은 경우에는 시간이 경과함에 따라 콘크리트의 강도는 회복되며, 500℃까지는 1년 이상이 경과되면 초기 강도의 90%까지 강도가 회복된다. 또한 보통강도에 비해 고강도 콘크리트에서 고온 하 압축강도의 저하가 큰 것으로 보고되고 있다. 결과적으로 저하된 콘크리트 압축강도는 화재 후 어느 정도의 기간이 경과되면 그림 1과 같이 압축강도가 자연 회복될 수 있으며, 수열 온도가 500℃ 이내이면 어느 정도로 재사용이 가능한 상태로 회복되는 것으로 평가되었다.

일반적으로 콘크리트 인장강도에 대해서는 구조설계에 있어 주요 고려대상에 포함되지 않고 있다. 하지만, 고온에 노출됐을 경우 열 응력이 집중됨에 따라 인장강도는 매우 주요 영향 대상이 될 수 있다. 조사된 자료에 따르면, 압축강도에 비해 인장강도는 공시체 내부의 잠재적인 결함에 민감하므로 가열에 의한 영향을 보다 쉽게 받게 된다. 일반적으로 가열온도가 250℃ 이상이 되면 인장강도가 급격히 감소하는 것으로 보고되고 있다.

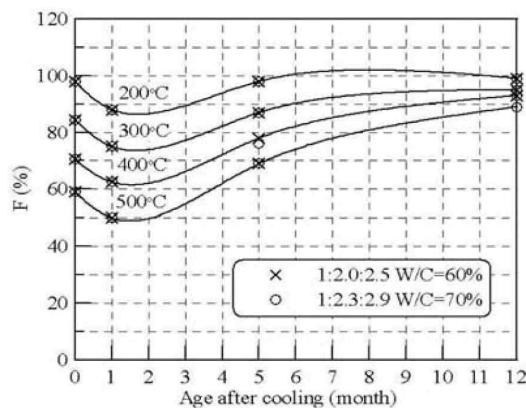
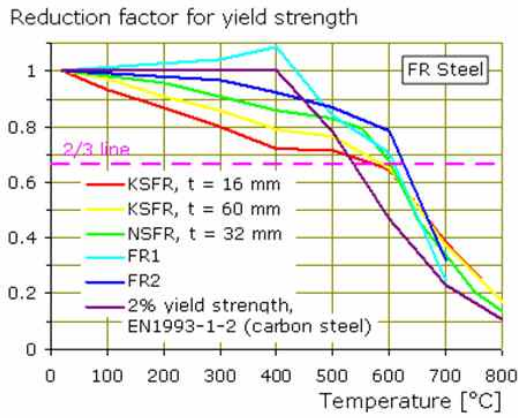


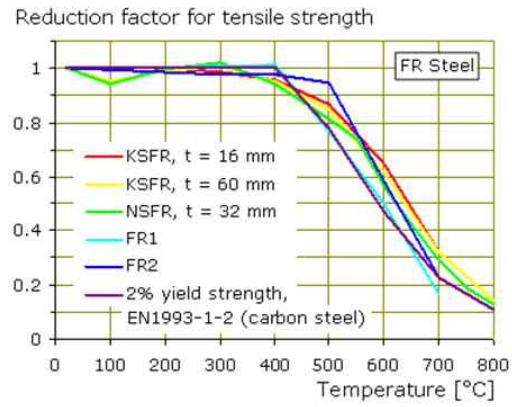
그림 1. 가열된 콘크리트 압축강도 회복비율

② 강재

강재의 재료성능 변화는 강종에 따라 차이가 있겠지만, 일반적으로 약 720℃를 초과할 경우 항복점이 불명확해지는 것으로 조사됐다. 선행연구에 의하면 600℃이하의 고온에 노출됐을 경우 원래 강도로 회복되므로 재료상 커다란 문제가 없다고 평가되었다. 즉 강재의 재료강도에 관해 600℃가 재사용의 기준온도가 되고 있다. 강재는 고온에 노출된 뒤 냉각된 후에는 어느 정도 강도를 회복한다. 그러나 매우 높은 온도(600℃ 이상)를 받은 강재는 용융되거나 분해될 수 있다. 강재의 열팽창은 온도와 변형율의 선형 또는 2차 선형 관계식으로 표현된다. 그리고 온도 상승에 따라 강재는 점차적으로 부착력을 상실한다. 주된 이유는 콘크리트의 균열과 주변 콘크리트 강도 감소 때문이다. 일반적으로 600℃ 이상에서는 부착력이 거의 상실된다고 보고되었다. (ITA,2004). FR강(Fire Resistance steel)을 사용하는 내화설계는 각 건물의 내화성능을 해석적으로 평가하는 방법으로서 화재형태, 철골온도 그리고 구조변형의 예측해석 등을 통하여 구조부재의 내화재료를 결정하므로 합리적이고 경제적인 내화설계가 가능하다. FR강의 제조는 일반강의 성분에 합금성분인 Mo, Nb, B 등의 첨가 및 C, Mn 양을 감소하여 결정입도 조정과 소입성 향상 등의 조직제어를 통하여 고온내력을 향상하며 상온내력의 최대증가와 용접성을 개선하도록 제조된다. 이러한 FR강의 특징은 고온에 우수하여 그림 2와 같이 약 30%이상 고온에 저항하는 것으로 나타났다. 실험 보고서에 의하면 약 600℃까지 상온 내력의 2/3정도 보증된다고 조사되었다.



(a) 항복강도



(b) 인장강도

그림 2 FR(Fire resistance) 강도의 화재 후 항복강도와 인장강도

(3) 합성기둥의 잔존강도 평가

구조물 결함에 따른 보수·보강은 공법의 적용성, 구조적 안전성, 경제성 등을 검토하여 보수·보강재료와 공법의 종류를 결정해야 하는데, 이때 중요한 것은 구조물의 결함발생 원인에 대한 정확한 분석이며, 이를 통해 적절한 공법을 선정할 수 있고, 또한 적절한 보수·보강 재료를 선택할 수 있다. 보수를 위해서는 상태평가 결과 등을, 또 보강을 위해서는 안전성 평가 결과 등을 정밀검토 후 보수·보강의 필요성, 방법 및 그 수준을 선택된다. 이때 부재의 잠재된 내력을 평가하기 위해 잔존강도 비가 평가지표라 할 수 있다. 일반적으로 CFT기둥에 대한 잔존 강도비(Residual Strength Index, 이하 RSI)는 손상 전 내력을 화재 후 내력으로 나눈 비율로 평가 하고 있다.

국내외 선행연구를 분석해 보면 연구는 시도되었지만 사용이 힘든 몇 가지 원인을 찾을 수 있다. 첫 번째로 합성기둥의 잔존강도 예측식을 제안한 연구가 있지만 사용범위가 매우 협소하여 실질적인 비교/적용이 어렵다. 둘째로 축소형 모델(실험체)에 의한 결과이므로 실대 구조물로 평가하기에는 과대평가될 우려가 있다. 셋째로 상온부재와 화재에 노출된 부재는 동일한 재료여건과 경계조건(집합, 구속)을 갖추었을 때 내력을 비교하는 것이 가장 합리적인 화재 후 잔존강도평가라 판단된다. 하지만 마지막 항에 대한 사항은 실험장비 제약뿐 아니라 동등조건을 구현하는 것은 해석외에 비현실적이다. 요약하면, 다양한 변수로 실험적 근거가 뒷받침 되고 있지만, 실제 구조물 조건과는 거리가 있기 때문에 연구결과만으로 보수/보강 여부를 판단하기에는 무리가 있다. 즉, 잔존강도에 대한 평가를 보다 다양한 시각에서 고찰될 필요가 있다.

① 국내 연구동향

CFT기둥이 화재 손상된 후 잔존강도를 평가하는 연구로 김규용(2009)에 의해 비재하 가열실험을 통한 무내화 피복 CFT기둥의 잔존내력 예측 연구가 수행하였다. 예측방법은 단면 내 온도분포를 활용하여 고온노출에 따른 저감된 재료강도를 대입하여 전체 단면강도를 예측하고 있다. 콘크리트의 경우 경계계수(Boundary Coefficient)를 도입하여 분석되었으며 평가대상의 콘크리트 압축강도는 40,60,80MPa 3가지 경우이다. 한편 최성모(2011)연구자는 CFT기둥의 단면 형태를 변수로 하여 잔존강도에 대한 연구를 수행 하였다. 가열 후 내력 저감비 및 변수에 따른 단면 온도와 거동을 분석하고 각국 현행 기준식비 비교 평가 하였다. CFT기둥의 보강 방법에 따른 하중-변위 관계를 그림 3에 손상 전과 후 상태를 중첩하여 표현하였다.

화재 이후 CFT기둥의 거동(검은 선)은 최대내력 구간이 뚜렷하지 않는 것이 특징이라 할 수 있다. 또한 최대내력 이후 내력저감이 매우 완만하게 지속되는 점을 알 수 있다. 화재 손상 전과 후의 잔존강도 비를 비교한 결과, 철근 보강된 경우 0.59, 이중 각형 강관 CFT기둥의 경우 0.58, 이중 원형 CFT기둥은 0.72로 가장 높게 평가되었다. 이에 대한 원인은 열응력 방향이 분산되면서 강재 화해에 의한 강도 손실이 작은 것으로 분석하고 있다.

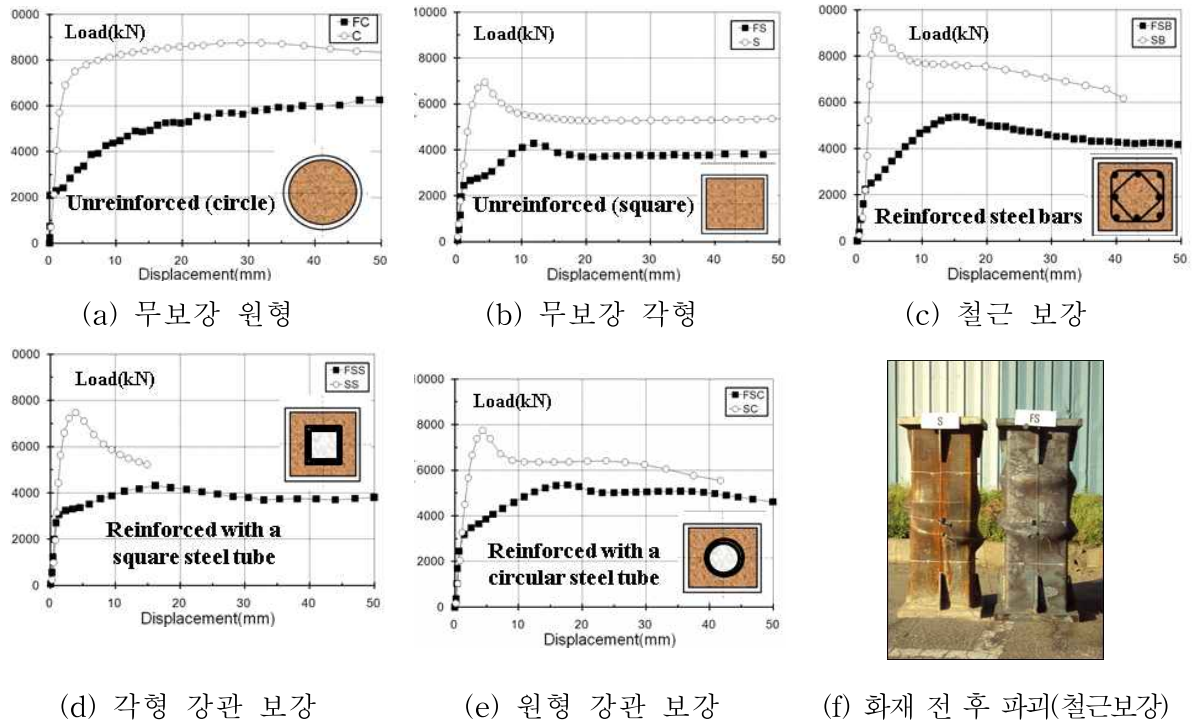


그림 3. 화재 손상 전후 CFT기둥의 하중-변위 관계

② 국외 연구동향

화재손상 이후의 CFT기둥의 압축 및 휨 거동에 대한 연구는 Lin Hai Han(2003)에 의해 소개되고 있다. 비재하 가열 상태로 3시간동안 고온에 노출된 CFT기둥의 RSI는 원형의 경우 0.66, 각형의 경우 0.75로 평가 되었다. 앞서 국내 연구 결과보다 보수적으로 평가 되었는데 이러한 원인으로는 그림 4와 같이 평가 대상의 실험체는 축소 제작되어 과대평가된 결과로 판단된다. 그밖에 CFT기둥의 잔존강도 예측 연구로 Xin Yu(2009)가 조사되었다. 보강 여부에 따른 CFT기둥의 잔존내력을 실험으로 분석하고 있다. 그림 5와 같이 각각의 잔존강도 비는 평균 약 0.6수준 인 것으로 평가 되었다.

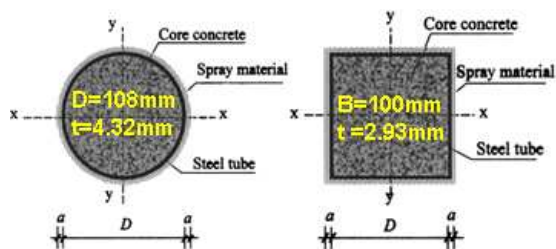


그림 4 잔존강도 평가 대상

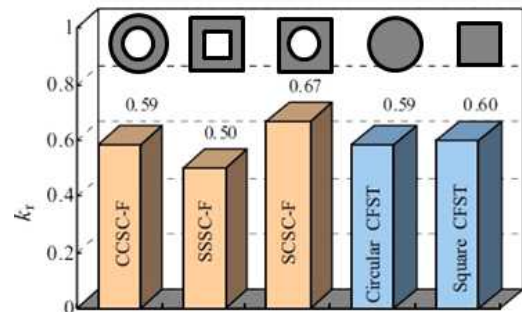


그림 5 보강여부에 따른 CFT기둥의 잔존강도 비

(4) 유한요소 해석을 통한 잔존강도 평가

① 개요

선행 연구를 통해 대표적인 두가지 형상(원형, 각형)을 갖는 CFT기둥의 잠재된 내화 성능을 비교할 수 있다. 하지만 정량적인 분석을 위해서는 내력에 영향을 미치는 보강비, 형상비, 세장비, 그리고 각 재료 강도에 따른 화재 거동편차 그리고 내화성능 분석이 뒷받침 되어야 한다. 따라서 해석적 모델을 완성하여 CFT기둥의 잔존강도를 예측하는 초기 연구로 해석수행 방법을 그림6,7과 같이 설정하였다. 해석프로그램은 범용유한요소해석 ABAQUS ver6.10을 사용하였다. 화재 후 내력을 평가하는 하기 위한 해석절차는 크게 3단계로 구분된다. 첫 번째로 열전달해석을 수행 한 후에 좌굴해석을 실시한다. 마지막으로 앞서 수행된 단면 온도분포와 좌굴해석 데이터를 링크하여 단순 재하 해석을 수행하게 된다.

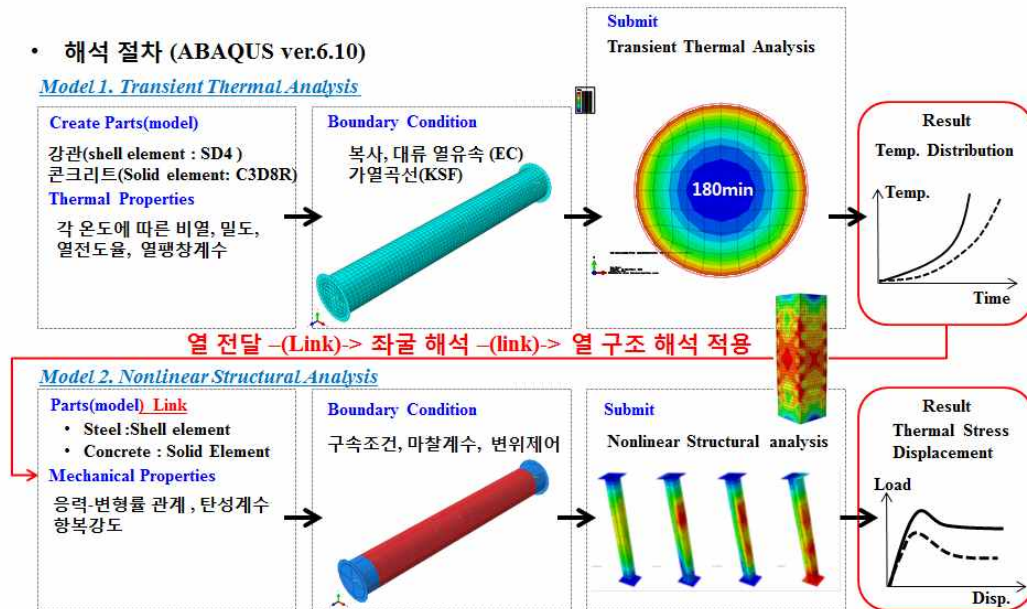


그림 6. 유한요소해석을 통한 합성기둥의 잔존강도평가 프로세스

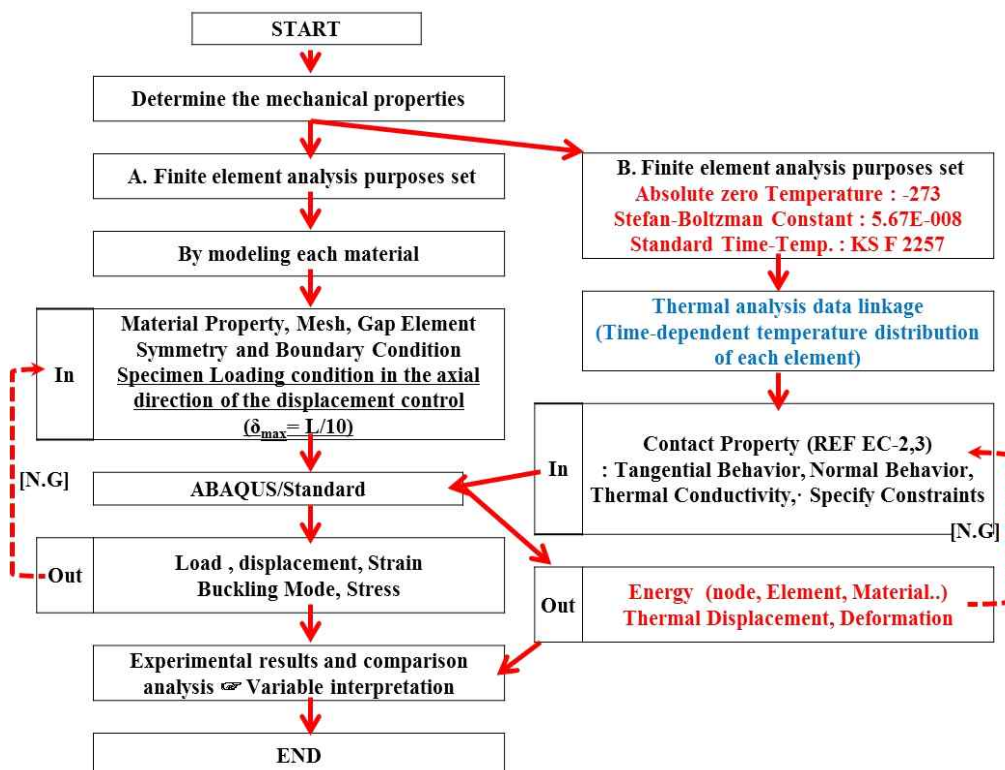


그림 7. FEM해석 절차

② 선행연구 실험결과와 비교 분석

유한요소해석 프로그램인 ABAQUS 6.10을 사용하여 CFT기둥의 해석모델을 완성하고 선행 연구된 실험결과와 비교하여 해석모델의 신뢰성을 검증하고자 한다. 실험체(SN, FSN, CN, FCN)에 대하여 FEM 결과를 표 2에 정리하며, 각 하중-변위관계를 중첩하여 그림 8에 표현하였다. 해석에 의해 도출된 결과를 실험과 비교하면 강성, 내력 보다 실험 결과가 상위한 결과를 나타냈다. 강성은 대체로 유사한 경향을 나타내고 있는 반면 최대 내력의 경우 균일하지 않은 결과가 나타났다.

표 2. 해석과 실험결과 비교

실험체명/ 해석모델명	초기강성 (kN/mm)			최대내력 (kN)		
	실험	해석	실험/해석	실험	해석	실험/해석
SN / ASN	2780	2300	1.21	8,759	6984	1.25
CN / ACN	3861	3341	1.16	6,954	7595	0.91
FSN / AFSN	2854	2273	1.26	7,048	3598	1.95
FCN/AFCN	2574	2020	1.26	4,284	3854	1.11

정상 온도 상태의 결과보다, 고온상태(F)의 결과에서 차이를 갖는 원인 중 하나는 해석상 하중-변위관계를 보면 최대내력 이후 내력이 저감되면서 변위가 발생하는 반면에 선행된 실험 결과에서는 뚜렷한 항복점과 최대 내력점이 발생되지 않는 차이를 갖고 있다.

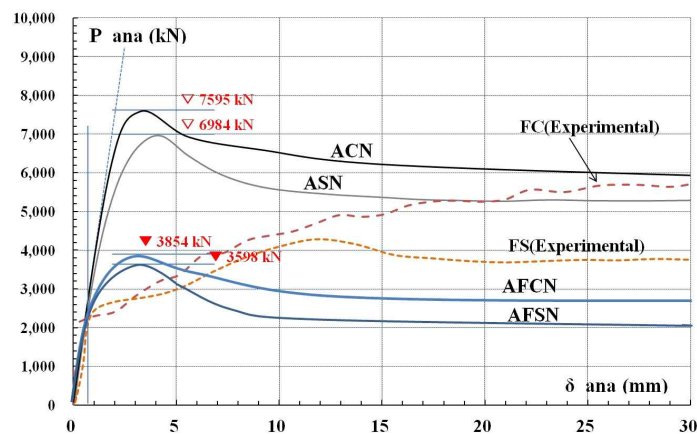


그림 8. 하중-변위관계 (FEM 결과)

③ 단면 형상에 따른 잔존강도

CFT기둥의 단면변화에 따른 잔존강도 저감율을 그림 9와 같이 나타냈다. 단면 내에 철근 또는 강관이 보강될 경우 약 20% 향상된 잠재내력이 보유하는 것으로 평가되고 있다. 이러한 원인은 콘크리트 내에 매입되어있는 강재, 철근의 경우 열에 의한 손상이 최소화됨에 따라 상온상의 재료강도를 그대로 반영된 결과로 보인다. 한편 형상에 따라서는 원형보다는 각형인 경우 손상범위가 크게 나타나지는데 이는 열확산은 방사형태로 분포되지만 각모서리 부위에서 열 분포에 집중됨에 보다 저감되어 나타난 것으로 판단된다.

합성기둥의 잔존강도 평가는 화재가 발생하여 생기는 잠재적인 손상을 파악하기 위한 척도로서 충분한 데이터가 누적될 필요하다. 뿐만 아니라 화재 발생 후 기둥에 손상된 내력 보강방법에 대해서도 판단 기준이 구축되어야 한다. 즉, 화재에 의한 구조물의 손상 특성은 구조물의 안정성 파악에서 중요한 요소이다. 따라서 화재에 대한 연구에서 화재에 의한 구조물 재료의 손상특성을 파악하는 것은 기초적으로 수행해야 하는 연구내용이라 할 수 있다. 화재 후 강재와 콘크리트의 회복력에 대한 연구는 상당히 많은 연구자에

의해 조사/평가되어오고 있지만, 이를 감안하여 내화설계가 이뤄지지 않고 있다는 점은 상당히 아쉽게 느껴졌다. 또한 화재 후 보수/보강에 대한 시공기술은 꾸준히 개발되고 있지만 현장 적용에 있어서는 잔존강도에 대한 판단없이 일괄적인 공사가 이뤄지고 있어 내화성능 관련한 현 수준은 아직까지도 국소적이라 판단된다. 따라서 좀 더 발전된 합성 구조물의 내화성능 및 보수보강을 위해서는 다양한 시각에서의 연구가 지속적으로 구축되어야 함을 다시 한 번 되새기게 된다.

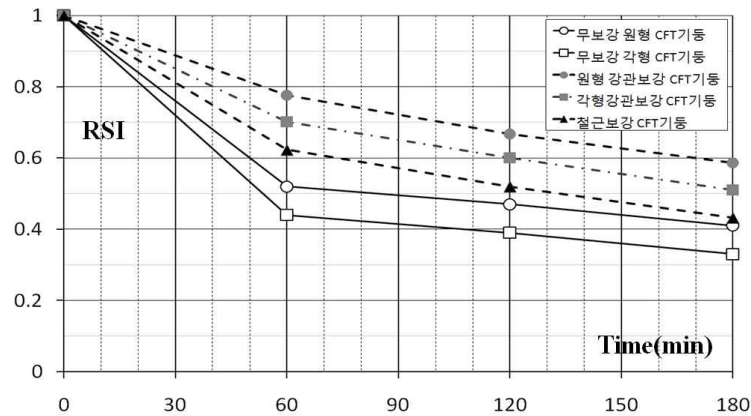


그림 9. 단면형상에 따른 잔존강도 비

(5) 손상피해 복구 프로그램 개발

국내의 경우 내화설계의 법 체계나 기준 또는 설계도서가 전무하므로 현재까지 제시되고 있는 국외(미국, 유럽, 일본) 설계방법을 참고하여 큰 알고리즘을 형성하였다. 국외기준 분석사례에서 유럽건의 내화설계가 가장 합리적인 결과를 보인다는 연구결과를 근거로 하여 해석대상과 방법을 정리하였다. 내화설계는 크게 3가지로 구분되는데 1) 콘크리트 구조물, 2) 강구조 구조물 3) 합성구조물 안에서 선택해야 한다. 결정된 구조물은 다시 부재별로 선택되고 온도분포 또는 잔존내력을 확인 수 있다. 표 3에서는 프로그램에서 채택한 모델방법과 툴(Tool)에 대해 정리하였다.

표 3. 프로그램에서 수용하고 있는 내화설계 해석방법

1) 콘크리트 구조물 설계		
온도해석 모델	구조해석 모델	해석 방법
공칭(표준) 화재 곡선	단일 부재	• 철근 콘크리트 기둥 • (비재하와 재하) 벽 • (단순지지와 연속지지) 철근 및 프리스트레스트 보 • (솔리드와 리브로 된) 슬래브
표준곡선에 기초한 계산 (등가 시간)	부분 구조물	단순 계산 모델 : • 500℃ 등온법 • 구역법
구획 특성에 기초한 단순 계산 (파라메트릭 접근법)	전체 구조물	고급 계산 모델 (비선형유한요소)

표 3. 프로그램에서 수용하고 있는 내화설계 해석방법 (이어서)

2) 강구조물의 설계	
부재해석 : 부재는 독립적/ 간접 화재하중은 고려되지 않음	☒ 인장재 : 비균일 온도분포를 받는 구조물의 잔존내력
부분구조물의 해석 : 부분구조물 내에서 간접 화재 하중은 고려되지만 구조물의 다른 부분과 시간 의존적인 상호작용은 없음	☒ 압축재 : 강 기둥의 한계온도 계산 ☒ 휨재 : 경계조건에 따른 화재시 소성 휨모멘트 법
전체구조해석 : 전체구조물의 해석 / 간접 화재 하중은 구조물을 통해 고려됨	☒ 기둥 단면크기와 화재지속시간에 따른 화재노출 범위 (Zone method)
3) 합성구조물 설계	
간략계산법 : 표준화재노출에 대해서만 유효 표준화재와 파라메트릭 화재 / 피복되거나 피복되지 않은 강재에 대한 온도 분포 계산	☒ 합성기둥의 화재지속 시간에 잔존내력 ☒ 매입형 기둥의 유효 휨 강성도 확인

내화성능 평가 프로그램은 별도의 해독 또는 설치장치 필요 없이 누구나 어느곳에서나 계산 그리고 검토 가능하다. 즉 화재에 대한 재난 상황을 미연에 방지하고 철저한 설계가 가능하며, 네트워크를 활용하여 상황 인식, 정보 제공, 대응까지 확대 가능하다. 사회재난 예방 및 대응 시스템을 비롯하여 실생활에 가까운 스마트 폰으로 시스템을 검토, 제어하는 것이 가까운 미래에 가능한 영역으로 판단된다.

2. 2차년도 연구수행 내용 및 성과

○ 화재 후 손상 구조물 복원 및 유지관리 매뉴얼 제공과 타 관제시스템 연계방안 도출

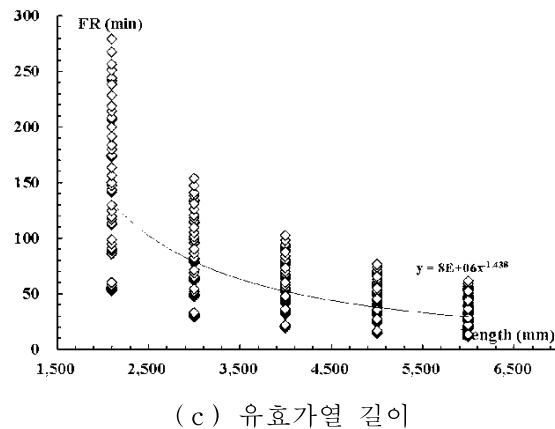
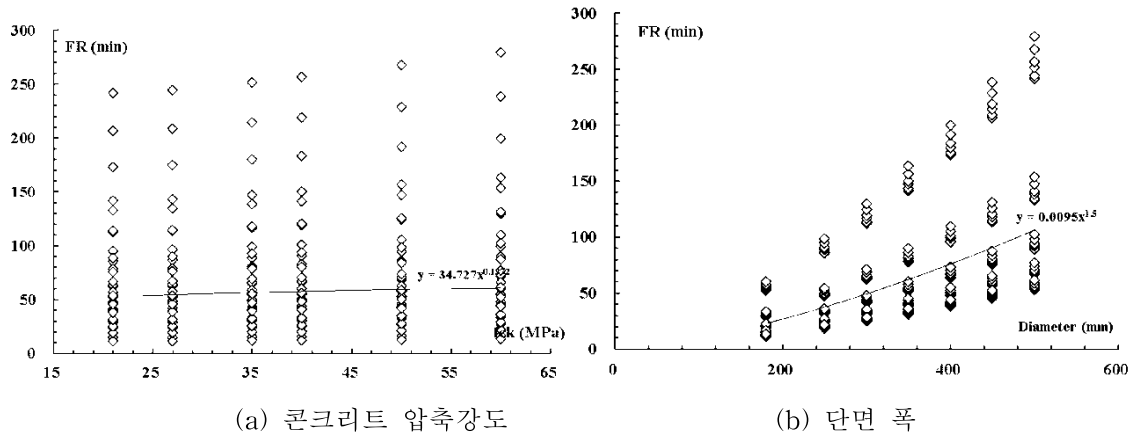
(1) 내화성능 설계식(안) 및 개념

내화성능 예측식은 강재의 영향을 무시하고 콘크리트의 내력만을 변수로 하고 나머지 영향인자는 계수로 적용하여 내화성능을 예측하고 있다. 단면크기(B or D)· 유효좌굴길이(KL)· 내부 콘크리트 보강방안의 효과를 직접적인 변수로 적용하여 내화성능을 예측하고 있다. 아래 대표적인 합성기둥의 내화성능 설계 방정식에는 골재타입에 따른 상수(f), 콘크리트 압축강도(fck), 유효좌굴길이(KL), 단면크기(B or D) 그리고 작용하중(N)으로 구성되어 있다. 이때, 골재 타입의 상수는 Siliceous인 경우 0.06, Carbonate골재의 경우 0.07이 적용된다. 그 외 변수에 한해 내화성능 설계식과의 관계성을 파악하고자 아래 표1과 같이 비교대상 총 210개를 설정하였다.

$$R = f_{ck} \frac{(f_{ck} + 20)}{(KL - 1000)} D^2 \frac{D}{N} \quad (1)$$

<내화성능 관계 비교대상>

f_{ck} (MPa)	D (mm)	L (mm)	N (kN)
21, 27, 35 40, 50, 60	180, 250, 300 350, 400, 450 500	2100, 3000 4000, 5000 6000	$D^2 \times f_{ck}$



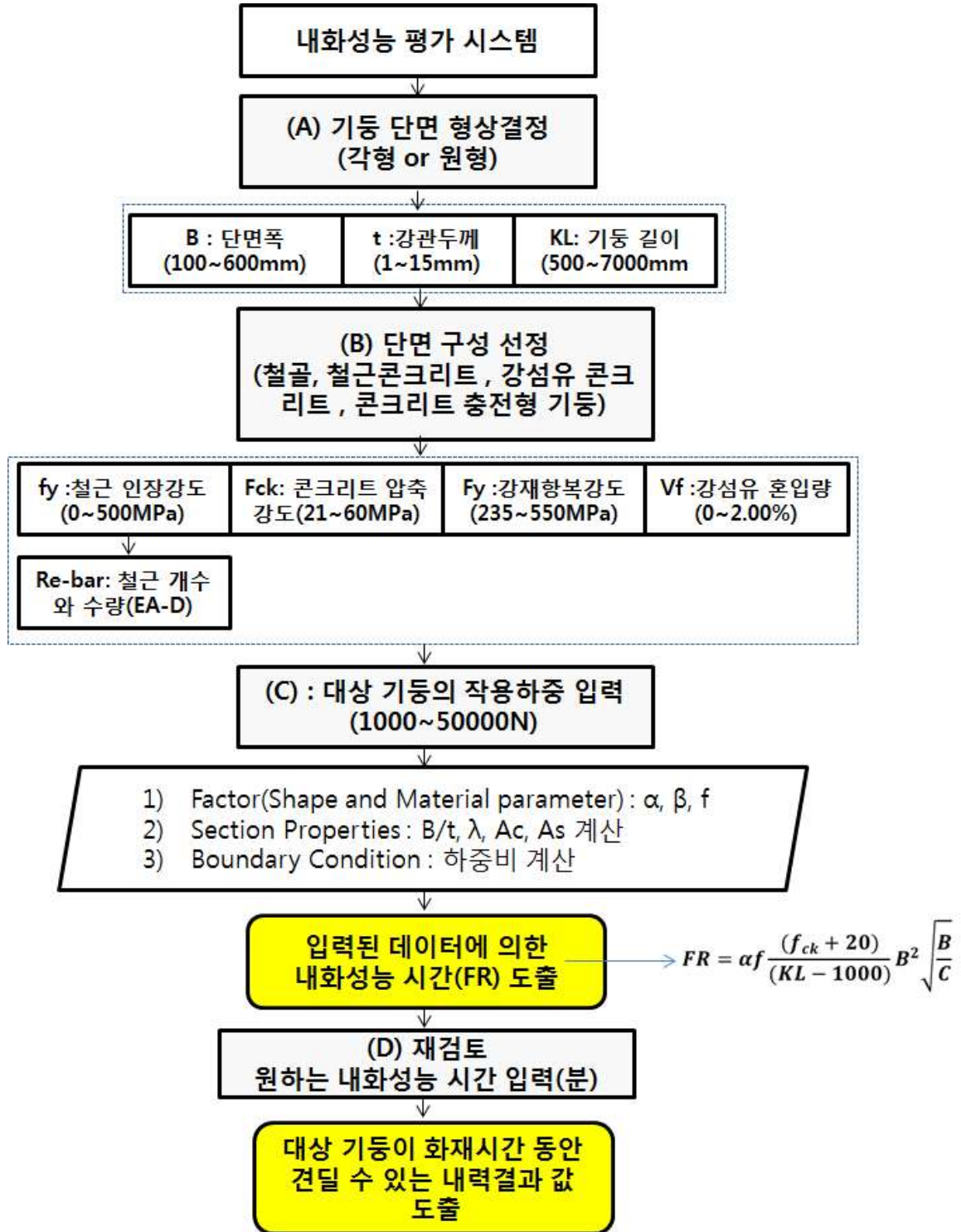
<내화성능과 각 요소별 비교>

내화성능과 각 함수에 따른 관계를 보면 내화성능은 단면 크기와 비례적 관계에 있으며 유효 가열길이는 반비례 관계에 있다. 하지만 부재 길이가 4m 전후로 양상이 달라지는데, 4m 이하일 경우 단면 폭 증가에 내화성능 향상 범위가 증대되는 반면, 부재 길이가 4m 이상의 경우 단면 폭 증가에 상관없이 내화성능이 저하되는 것을 알 수 있다. 한편, 콘크리트 강도는 내화성능은 뚜렷한 관계에 있지 않는 것으로 평가되었다. 이러한 근거를 통해 내화성능은 유효 가열길이 > 단면 폭 > 콘크리트 강도 순으로 영향을 받는다고 정리할 수 있다.

강섬유 콘크리트 합성기둥의 경우 콘크리트 압축강도에 확대계수를 적용하기 보다 화재 시 작용되는 축 하중(N)에 저감계수를 적용하고자 한다. 하중 저감계수(Load reduction factor)는 강섬유 혼입 여부에 따라 상이하며, 현재 제시하는 설계식에 강섬유 혼입을 적용범위는 0~2.00%까지 이다. 안전율을 고려하여 하중 저감계수를 제안하여 최

종적으로 강섬유가 혼입된 합성기둥의 내화성능 설계식은 식(2)와 같이 정의 할 수 있다.

$$R_{min}) = f \frac{(f_k + 20)}{(KL - 1000)} D^2 \frac{D(1 + 0.35 V_f - 0.1 V_f^2)}{N} \quad (2)$$



<해석 프로그램 프로세스>

#01 Profile

Shape:

B(mm):

t(mm):

KL(mm):

#02 Material

Concrete Type:

fck(MPa):

fy(MPa):

Re-bar: EA-D

Vf(%):

Fy(MPa):

#03 Applied Load

C(N):

Notation

B : Outside diameter of square and Circular HSS(mm)

t : Thickness of steel tube(mm)

KL : Column effective length(mm)

fck : 28 day concrete compressive strength(MPa)

fy : tensile strength of reinforced bar(MPa)
(ex : 4 EA - 25)

Vf : Mixing ratio of steel fiber (%)

Fy : Tensile strength of steel tube(MPa)

C : Column compressive force due to unfactored dead load and live load(N)

Reference

- 1) American Institute of steel construction, (2003) Steel Design Guide, " Fire Resistance of Structural Steel framing, No.19
- 2) V.K.R.Kodur, T.T.Lie(1996b), Fire Resistance of circular steel columns filled with fiber reinforced concrete, Journal of Structural Engineering, Vol122 pp776~782

Ver 1.10 by S.H, Kim

<초기화면>

#01 Profile

Shape:

B(mm):

t(mm):

KL(mm):

#02 Material

Concrete Type:

fck(MPa):

fy(MPa):

Re-bar: EA-D

Vf(%):

Fy(MPa):

#03 Applied Load

C(N):

#01 Design Condition

1) Factor(Shape and Material parameter)

α : 1.010

β : 0.950

f : 0.075

2) Section Properties

B/t : 100

λ : 6

A_c : 192,442 mm²

A_s : 3,907 mm²

3) Condition

Load ratio(Cr/C) : 1.10

here, Cr is Compressive load of only

Concrete core(include reinforced bar, steel fiber)

#02 Fire Resistance

AISC

$$FR = \alpha f \frac{(f_{ck} + 20)}{(KL - 1000)} B^2 \sqrt{\frac{B}{C}}$$

150 min

#03 Review

Please enter a Fire resistance time, you want

FR(min):

Please ensure the Applied Load are changed.

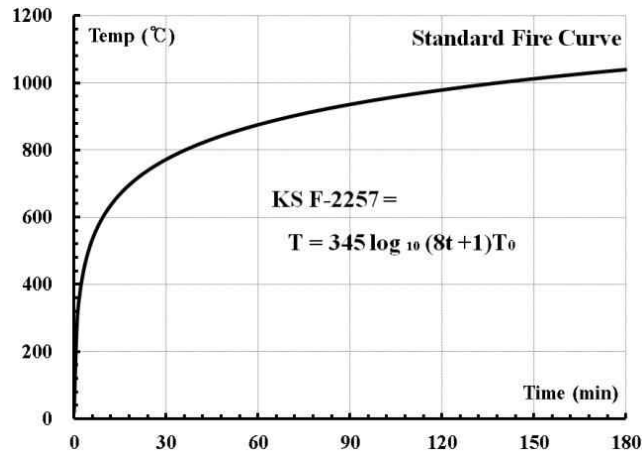
C(N)

α : 2.802

<임의로 계산 후 결과 창>

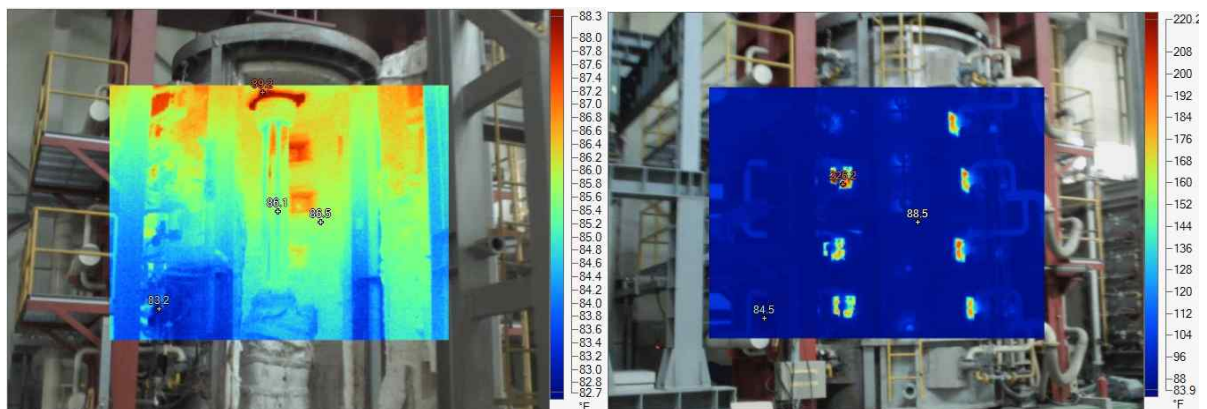
(2) 적외선 열화상 카메라를 통한 한계온도 고찰

내화피복(도료) 여부에 따른 기둥 재하가열실험을 수행하였고, 실험 수행시간 동안 적외선 열화상 카메라(FLK -TI-400)를 통해 주변 온도를 관찰해 보았다. 가열로의 온도는 표준가열 곡선(KS F 2257)에 의해 진행되었다. 일반적으로 초기온도(T_0)는 20℃이며 가열 10분이 지났을 때 678℃에 도달하고, 2시간이 지난 시점에는 약 1050℃가 된다.



(표준가열곡선 KS F 2257)

실험시작 전 상온상태 온도를 보면 평균 86°F(30℃)로 나타났으며, 가열로와 실험체가 만나는 상부측(가압판)에 열이 집중되어 나타난 것으로 확인되었다. 실제로 실험은 초기 온도(20℃)보다는 높은 상태에서 진행되었다. 실험 시작 10분 뒤 가열로 외부를 촬영해 봤을 때 내부 확인용 창에서 약 220~230°F(120~130℃)온도가 측정되었다. 실험종료시점(120분)의 가열로 온도는 약 1000℃에 다다른다. 따라서 실험 종료 후 바로 개폐하는 것은 실험체와 장비모두 안전에 문제가 생길 수 있으므로 실험 종료 후 약 10-20분 뒤 실험체 표면 온도를 측정할 수 있었다.



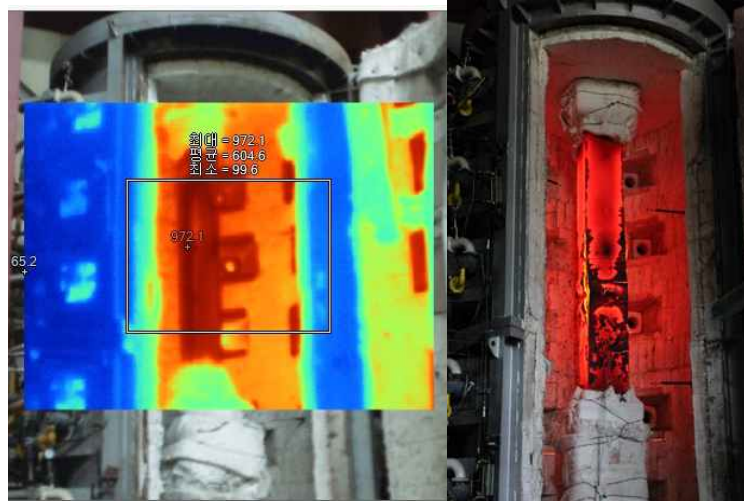
(a) Room temperature

(b) heating furnace

(Comparison of ambient Temp.)

실험체 표면 온도는 약 972°F(530℃)로 측정되었으며, 가장 열이 높게 측정된 부위는 실험체 중앙부로 표기되었지만 실제 실험체 표면 온도차는 거의 없었다. 즉 실험체는 4

면에서 골고루 화염에 노출된 것으로 보인다. 피복 여부에 따른 실험 종료 후 표면 상태를 비교하여 나타냈다. 피복된 실험체 표면온도는 약 530℃로 측정되었다. 한편, 무피복 실험체의 경우 약 50분에서 변형량 초과로 실험이 종료되었고 가열로 온도는 약 950℃이다. 측정된 표면 온도는 약 900℃로 강재의 표면이 화염에 그대로 노출된 것을 알 수 있었다. 즉 내화피복재 역할은 부재가 고온에 노출되지 않도록 열을 차단하는 것으로 그 정도가 무피복 실험체 대비 약 50%이상으로 평가된다.



(재하가열 실험종료 후 강관표면 온도측정)

(3) 고온에 노출된 강관표면 온도에 의한 기둥 잔존내력계산

기둥 온도가 설계 계산의 출발점이다. 설계 기둥 온도에서 줄어든 기둥 강도를 계산하여 화재 시에 기둥에 적용되는 하중과 비교한다. 잔존강도가 화재 시에 적용된 기둥 하중을 초과하면 기둥이 안전하다고 간주한다. EN 1993-1-2의 설계 방법은 상온온도에서 강 기둥에 대한 EN 1993-1-1의 방법과 비슷하다. 기둥 유효 길이의 차이 외에 다른 차이점들은 기둥의 전체 좌굴 곡선과 국부적인 좌굴에 대한 기둥 단면 분류와 관련이 있다. 국부적인 좌굴에 대한 기둥 단면 분류의 경우에는 $\phi = 0.85 \sqrt{235/f}$ 에 대한 줄어든 값을 사용하여 화재 설계에 대하여 수행해야 한다. 계수 0.85는 $\sqrt{k_{E,\theta}/k_{y,\theta}}$ 에 대한 대략적인 값이다. 여기에서 $k_{E,\theta}$ 와 $k_{y,\theta}$ 는 온도 θ 에서의 강철의 탄성 계수와 유효 항복 강도에 대한 감소 계수이다.

입력 매개변수

기둥형상 크기: 305 x 305 x 118UC
 높이: 기둥이 양쪽 끝 4.2 m
 강재 등급: S275

적용된 압축 하중

영구 하중: 1000 kN
 적재 하중: 1200 kN

◎ 계산 절차

1 단계: 화재 한계 상태에 대한 기둥 좌굴내력비

화재 한계에서의 기둥 유효 길이는 $L_{e,fi} = 0.5 \times 4.2 = 2.1$ m이며, 오일러 좌굴하중은 다음과 같다.

$$P_{cr} = \frac{\pi^2 EI}{L_{e,fi}^2} = \frac{\pi^2 \times 205 \times 90590}{2.1^2} / 1000 = 41562 \text{ kN}$$

상온에서 기둥의 소성 내력은 다음과 같다.

$$N_e = f_y A = 0.275 \times 15000 = 4125 \text{ kN}$$

상온에서 기둥의 좌굴내력비는 다음과 같다.

$$\lambda = \frac{N_u}{N_{cr}} = 0.315$$

화재 설계에 대한 대략적인 기둥 좌굴내력비는 다음과 같다.

$$\lambda_\theta = 1.2 \times \bar{\lambda} = 0.378$$

2 단계: 기둥 한계 온도

적재 하중에 대하여 부분적인 안전 계수가 0.5라고 가정하면, 화재 한계 상태에서 기둥에 적용되는 하중은 $1000 + 1200 \times 0.5 = 1600$ kN이다.

$$\chi_{fi} = \frac{1}{\varphi_\theta + \sqrt{\varphi_\theta^2 - \bar{\lambda}_\theta^2}} \quad \text{with } \varphi_\theta = \frac{1}{2} [1 + \alpha \bar{\lambda}_\theta + \bar{\lambda}_\theta^2] \text{ and } \alpha = 0.65 \sqrt{235/f_y} \quad (3)$$

방정식 (3)에서 $\alpha = 0.601$, $\phi = 0.685$, $\chi_{fi} = 0.796$ 이다. 화재에서 강재에 대한 부분적인 안전 계수가 1.0이라고 가정하면 방정식 (4)는 다음과 같다.

$$N_{b,fi,t,Rd} = \chi_{fi} A k_{y,\theta} f_y / \gamma_{M,fi} \quad (4)$$

$$k_{y,\theta} = N_{b,fi,t,Rd} / (\chi_{fi} A f_y / \gamma_{M,fi}) = 1600 / (0.796 \times 4125 / 1.0) = 0.487$$

강도 저감계수가 0.487 이므로 이를 반영한 기둥의 한계온도는 595℃이다. 온도에서 강재의 탄성 계수에 대한 감소 계수는 0.3245이고 방정식 8.4의 우측 두 번째 항의 값은 1.225가 된다. 방정식 (3)에 따르면 화재 시에 기둥의 좌굴내력비는 0.386이다. 이 좌굴내력비는 0.378로 가정한 값과 다르기 때문에 반복이 필요하다. 다음 반복에서 수정된 기둥 한계 온도는 594℃가 되고, 이 값은 이전의 값과 충분히 가깝기 때문에 최종 기둥 한계 온도로 간주할 수 있다.

이렇듯 여러번의 반복과정을 통해 기둥의 한계온도를 추정할 수 있지만 본 연구에서는 열화상 카메라를 통해 실제 기둥의 표면온도를 측정했으므로 비교적 정확한 실수치를 얻을 수 있게 된다.

제4장. 목표 달성도 및 관련 분야 기여도

1. 목표 달성도

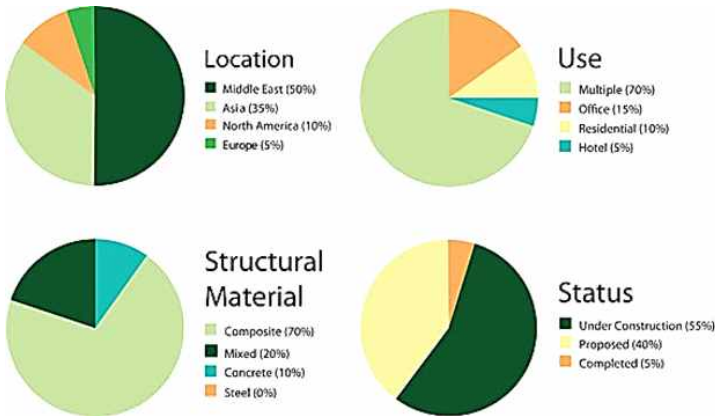
◎ 1차년도

세부 연구 목표 (연구계획서의 목표)	비중 (%)	달성도 (%)	자체평가
사회재난 사고 자료 수집분석을 통한 특성파악, 열 감지 / 기록장치 연계 활용 시나리오 작성	25	100	⇒ 1990년~현재 / 한국화재보험협회, 통계청 공개된 자료를 조사(특수건물에서 한하여 약 33612건) 화재발생빈도, 피해액, 화재발생 원인분류 ⇒ 융복합 열감지기 장치 활용 전개도 작성/ 전문기관에 자문 요청(예비설계)
융복합 센서(지각) 기반의 열 감지/기록 시스템 활용 기술대안 제시	25	100	⇒ 열감지 최적위치 파악(기존방법 대비 분석) / 2000년대 이후 관련 국책 과제 보고서 14건 분석 ⇒ 온도기록 장치 설치 및 인식능력 자문요청 / 방재시험연구원(여주소재) 1회 방문하여 인증시험 절차와 현재 법 기준 체제에 대해 설명을 듣는 시간을 갖음
열 감지/기록 시스템을 활용한 화재 손상피해 복구 프로그램 개발	25	100	⇒ 화염에 노출된 부재의 복구상태를 파악 / 선행연구(2012년~2016년)된 잔존강도 평가 실험과 해석데이터(기둥부재에 한해 총 22건 DB구축) 주요구조변수별 자료분석 → 해석모델 프로그램 설계 → 신뢰성검증 → 다양한 경계조건의 데이터 입력 → 프로그램 완성
합리적인 내화보건, 유지관리 예제집 제공	25	100	⇒ 프로그램 사용서(설명서)를 작성/ 세미나개최를 통해 자료공유 ⇒ R&D단계에서 수행된 자료와 제품을 실제 활용이 가능한 샘플 예제작성
합계	100점		

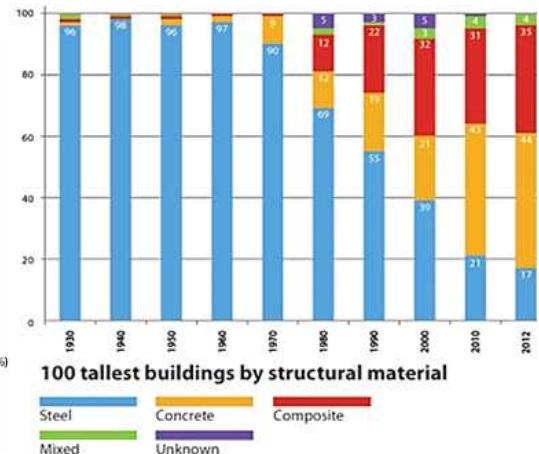
세부 연구 목표 (연구계획서의 목표)	비중 (%)	달성도 (%)	자체평가
조사/분석된 건설재료(con'c, 강재) 회복력 열 변형 속도와 확대범위 분석	30	100	⇒ 1차년도 분석된 화재원인조사 분류에서 세분화된 건축물의 피해도 등급을 설정 (열변형 지표에 따른 일반, 보통, 심각 수준 분류표 작성) ⇒ 온도에 따른 각 건설재료의 강도저감 계수 구축, 화재 이후 강도 회복력 및 상태 분석(분석된 데이터는 프로그램 알고리즘에 사용가능하도록 Table정리)
구조체의 사용성 분석 및 열화 전·후 내력평가 → 잔존 강도 평가	20	100	⇒ 실제 화재 발생된 구조물 중 화재손상범위가 심각한 주택모형을 설정, 시뮬레이션 모델완성 ⇒ 상온상태의 구조물 내력상태와 화염에 노출된 구조물의 내력, 거동상태를 비교분석/ 화재후 잠재된 내력(잔존강도)을 평가
화재 후 손상 구조물 복원 및 유지관리 프로그램 개발	30	100	⇒ 각 위치별, 부재별에 따른 손상제거와 보강법을 제안/ 관리시스템 제안 (한 프로그램에서 복구와 유지관리 동시에 관리할 수 있도록 표현) ⇒ 상위 단계에서 분석된 자료를 통합적으로 평가(확인)가능하도록 상온 시/ 화재 시 비교 데이터 구축
- 고온상태 시뮬레이션 통해 피해손상도 분석→ 지침 매뉴얼 제공 - 유지관리 지침서, 매뉴얼 제공 및 실무 활용화 추진	20	100	⇒ 실무활용서 작성 후 한국 구조기술사회 또는 학회에 제공/ 필요에 따라 자료배포 (학교 수업시청각자료 제공) ⇒ 사용자(관리자)가 직접 사용가능하도록 현장 매뉴얼 작성/학회 연계된 세미나를 통해 작성지침서 제공(프로그램 포함)
합계	100점		

2. 관련 분야 기여도

○ 건설재료는 다양한 구조물의 형태, 성능을 만족시키기 위해 합성(Composite)재료가 개발되고, 활용범위가 확대되고 있다. 대표적인 건설재료는 강재와 콘크리트를 들 수 있다. 세계초고층건축도시연합(Council Tall Buildings and Urban Habitat, CTBUH)조사에 의하면, 90년대 후반부터 오늘날까지 건설재료 중 콘크리트 적용이 증가추세를 보이며, 콘크리트를 포함한 합성재료 사용추세는 전체 70% 이상 차지하는 것으로 조사되었다. 원인은 복합적인 상호작용에 일어난 결과이겠지만, 대표적 원인 몇 가지(① 고강도 콘크리트 개발, ② 강재가격 상승, ③신섬유재료(Fiber) 개발) 예측할 수 있다.

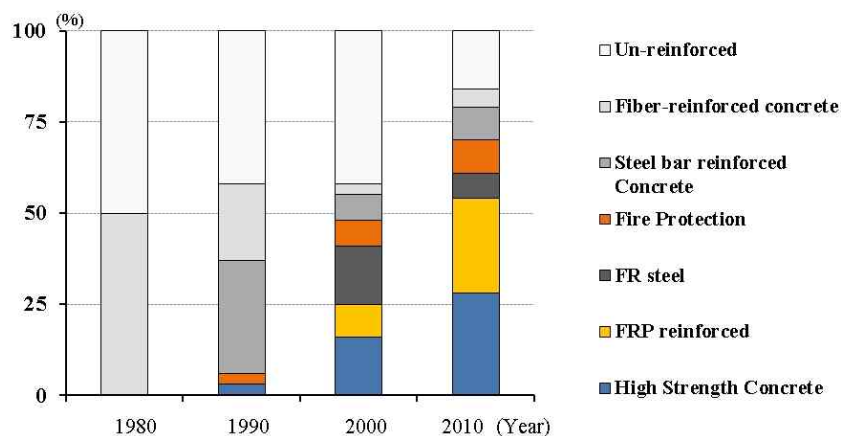


(초대형 구조물의 현황, 2013)



(건설재료 사용추세, 2014)

- 건축물 규모가 커지면서 복합적인 응력분포가 구조물에 걸쳐 작용된다. 즉, 다축방향의 응력이 발생되면서, 적절한 보강조치가 필요하다. 합성구조의 내화성능의 연구는 유럽에서 1970년대 전반부터 1980년대 걸쳐서 합성구조 연구의 일환으로 시작되었으며, 일본에서는 1977년에 최초의 합성 구조에 대한 가열시험 및 온도해석이 실시되었다. 이후 지금까지 합성기둥의 화재성능에 대한 연구는 유럽(뉴질랜드, 필란드), 아시아(중국, 일본)건의 많은 연구진 등에 의해 수행되었으며 이들의 연구는 대부분 합성기둥의 내화성능을 평가하는데 그 목적이 있었다. 이후, 이러한 합성기둥의 내화성능 평가뿐만 아니라 합성기둥의 내화성능을 향상시키기 위한 연구가 캐나다 연구자(1997, 1999)에 의해 수행되었는데, 그의 연구는 합성기둥의 내부 콘크리트에 철근을 삽입함으로써 내화성능을 향상시킬 수 있음을 제안하였다. 또한 근래들어 중국 연구자는 콘크리트의 잔존강도에 초점을 맞추어 신 재료를 사용한 합성기둥의 평가가 수행되어 왔으며, 콘크리트 자체의 강도, 인성을 높이는 방안은 합성기둥의 경우 내화성능이 상당히 향상되는 효과가 있었다.

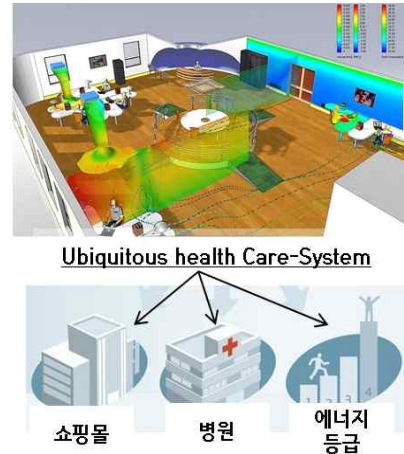


(내화관련 합성기둥 해외논문 추세(재하상태))

1) 연구결과의 활용방안

○ 응용성, 실용화 가능성

제안하고 있는 화재손상 건축물 복구 프로그램은 주택시설뿐 아니라, 사무실, 백화점, 대형마트 그리고 병원에 설치 및 활용이 가능하다. 또한 화재상태 외에 실온상태에서는 내·외 온도 및 열전달 데이터를 통해 구조물의 에너지 열효율량을 구획별로 측정, 관리할 수 있다. 수집된 빅 데이터는 지역별, 건물용도별 화재선상(확산)등의 확률과 통계 이론에 의해 내화성능 설계의 정량적인 검증자료(뒷받침)가 될 것으로 판단된다. 구체적으로 건축물의 내부마감재, 외장재 그리고 건물의 평면에 따른 내화성 분석 및 검토가 추가적으로 연구되어야 한다.



○ 과학기술적 활용가치와 기대효과

국외 기술과 데이터에 의존하던 내화분야의 학문을 보다 국내실정에 맞는 재료와 내화체계를 고려한 연구가 이어진다면 내화성능 설계기술의 선진화에 한발 다가서는 자원이 될 것으로 판단된다. 국내의 경우, 내화분야에 있어서만큼은 상당히 오랜 기간 동안 보수적으로 접근하고 있으며, 매년 내화성능 설계에 대한 명쾌한 방안은 제시되지 못하고 있다. 이러한 원인은 기초적인 데이터(규준, 시방서)자체에 국외에 의존하고 있는 결과를 내포하고 있다. 또한 보다 **국내 현실성에 맞는 접근이 순차적으로 필요하다.** 본 지원과제의 완성을 높이면서 구축된 데이터 공유는 물론 **앞선 연구자와 협의에 의해 보다 창의적이고 실용적인 결과물을 제공**하고자 한다.

본 연구분야	응용 연구 분야			
스마트 열감지기 개발 및 구조물 복원/회복력 분석	융복합 열감지기 시스템개발	내화 성능설계 유도	화재 시뮬레이션 소프트웨어 개발	공학기술 인력배출
기존 시공법 문제점을 구조 엔지니어 측면에서 적극적인 차별화를 갖춘 통합 솔루션 제안	경제적, 시공적 경제적인 설계가능 /기초 설계부터 유지관리 측면을 고려한 연계성 제안	구조실무 전문가 적극 활용 (설계사, 시공사, 유지보수 업체...)	정기적인 세미나 개최 실행가능성 점검	내화-구조디자인 가이드북 및 예제집 작성

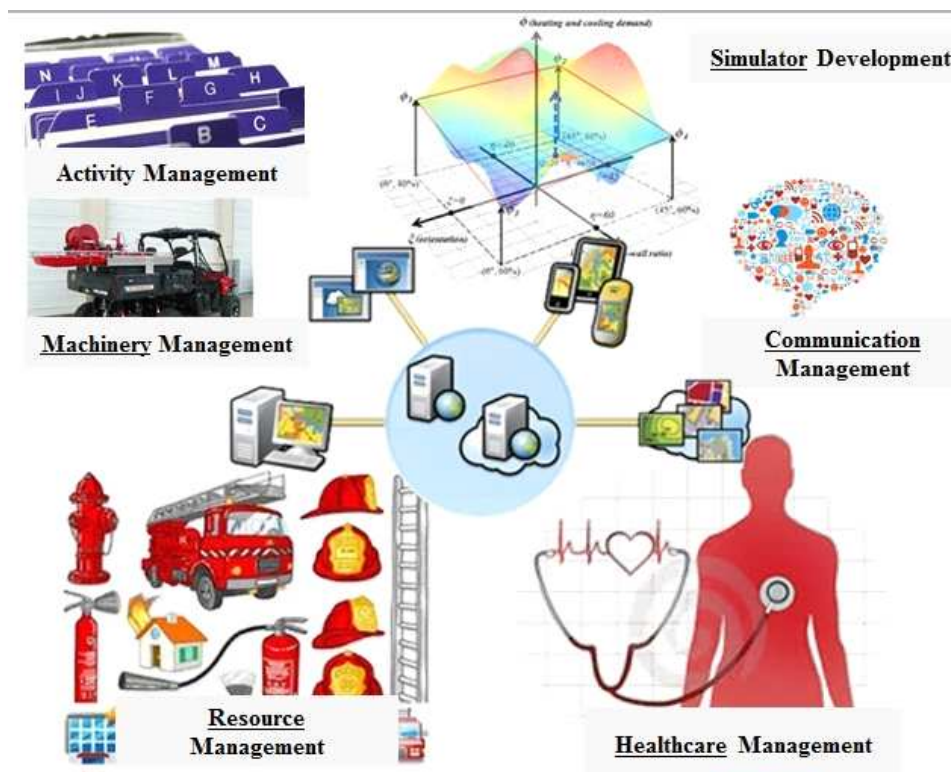
2) 타 연계사업 계획

- 영상 및 센서를 융합하는 기술은 언제, 어디서나 발생할 수 있는 재난 상황을 네트워크를 활용하여 사고 감지, 상황 인식, 정보 제공, 대응까지 가능하게 한다. 사회재난 예방 및 대응 시스템을 비롯하여 실생활에 가까운 스마트폰으로 시스템을 제어하는 것이 가까운 미래에 가능한 영역으로 판단된다.



(실시간 데이터기록 및 관제센터 보고 가능)

- 수집된 데이터에 의한 화재 후 건축물의 정량적 피해도 분석, 화재 시뮬레이션 기법을 통해 효과적인 복구 시스템 프로그램 구축으로 경제적 손실을 저감하는데 큰 기여될 것으로 분석된다.
- 재난, 재해 현장 상황을 본부 및 관련기관이 실시간으로 상황 파악 및 대응을 위한 방안으로 지향성 스피커, 영상 및 물리센서 융복합 기술을 활용하여 사회재난 사고 예방 및 감소를 위한 시스템으로 확대 가능하다.



(타 연계 사업 가능성-제안과제 확장성)

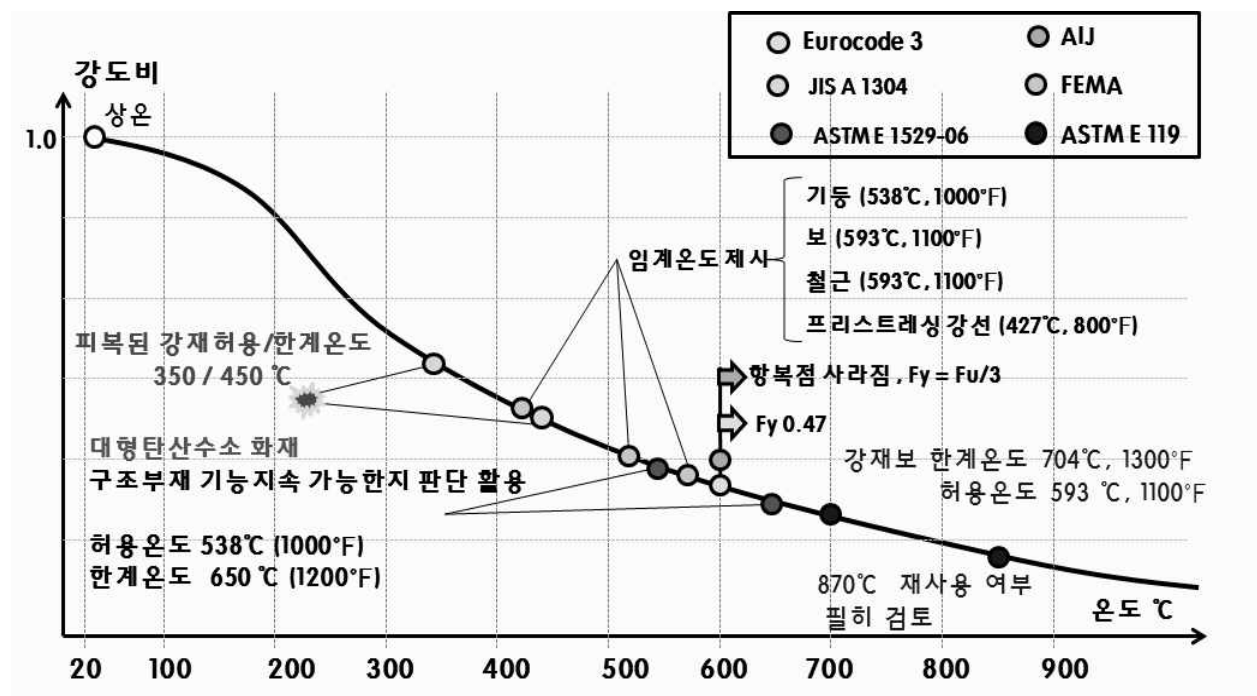
제6장. 연구 과정에서 수집한 해외 과학기술 정보

1) 강재의 한계 및 허용온도

◎ 국내외의 강재에 대한 한계 및 허용온도에 대한 선행연구를 요약해 보면, 강재가 갖는 허용내력은 온도 상승에 따라 반비례 관계에 있으며 고온 시 크리프는 550~600℃ 사이에서 구조물의 변형을 초래하는 거동을 보였다. 또한 강재의 탄성계수의 경우 600℃에서 상온대비 60~65% 수준을 보이고, 600℃이상에서는 탄성계수가 급격하게 떨어지는 현상을 나타냈다. 결과적으로 강재가 갖는 구조적 안전성 판단기준은 평균온도 550~600℃ 수준에서 확보된다.

◎ 선행연구를 근거로 각 국가별 또는 협회에서는 화재 시 강재가 갖는 허용 온도를 설정하여 내화성능 평가에 활용기준으로 삼고 있다. 즉, 실험체의 한계상태는 강재표면 온도에 의해 결정된다. 국내의 경우 한계온도(649℃)와 평균온도(538℃)에 의해 내화성능이 결정된다. 이외에 보다 구체적으로 부재 또는 실험 경계조건(재하, 비재하, 표준가열곡선)에 따른 온도 규정사항이 제시되고 있다.

◎FEMA에서는 각 부재에 따른 임계온도를 제시하고 있는데 기둥은 538℃(1000°F), 보와 철근은 593℃(1100°F), 그리고 프리스트레싱 강선은 427℃(800°F)이다. 그밖에 ASTM-E 119에서는 재하상태에서 강재보의 최대 한계온도는 704℃(1300°F)이고 허용온도는 593℃(1100°F)로 규정되어 있다. 그리고 870℃ 상태로 직접적인 노출된 강재의 경우 재사용 여부를 필히 검토할 것은 권장하고 있다. 일본 건축마감학회에서는 비재하 가열 실험을 기준으로 피복된 부재 강재의 한계온도(450℃)와 허용온도(350℃)를 별도로 규정하고 있다. 위의 내용을 그림 7에 정리하였으며, 전반적으로 강재의 허용 및 한계시점의 온도는 500~600℃내에 존재하는 것을 알 수 있다.

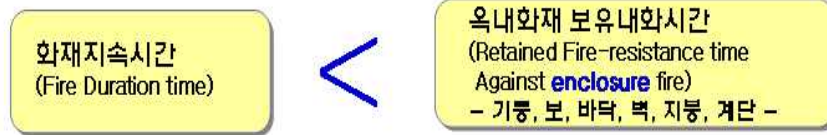


< 부재별, 경계조건에 따른 강재 한계 및 허용온도 >

2) 일본 내화성능 설계법

① 기본개념

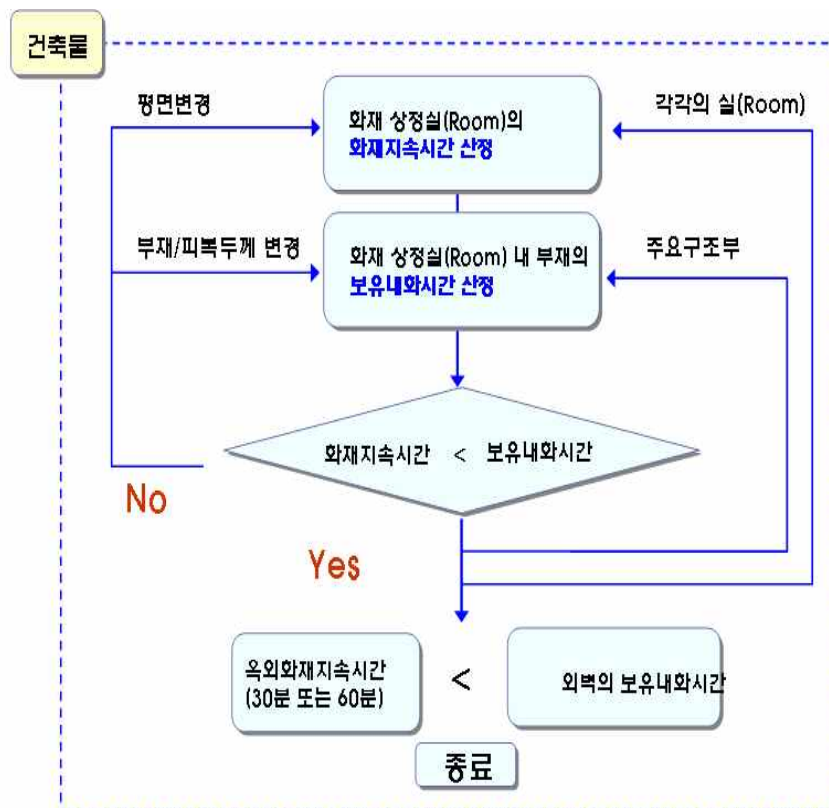
• 옥내화재



• 옥외화재



② 내화설계 Process



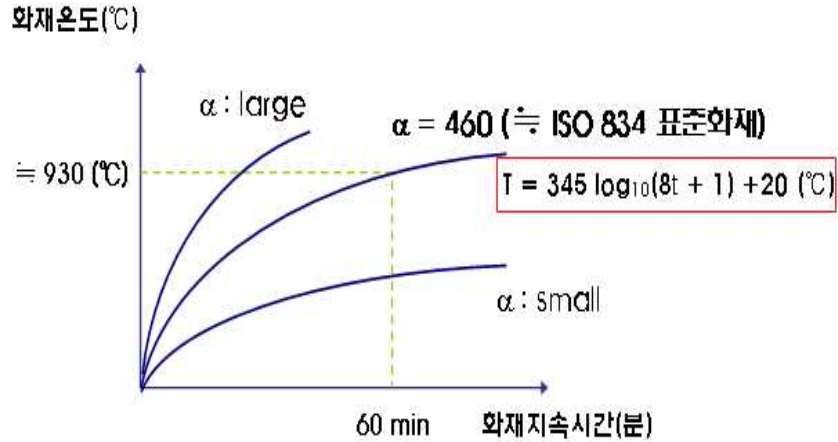
③ 화재지속시간의 산출방법

검정단위인 실(Room)은 내화에 효과적인 벽, 바닥, 천정 등으로 구획된 공간으로 건물의 모든 실(Room)들이 명확히 규정되어야 하고, Vertical shaft (ELEV shaft, stair case, PS, etc.)는 수직방향으로 긴 실(room)로 고려된다. 또한, 실의 종류, 면적, 내부 마감재 및 개구부 등의 자료들을 기준으로 산출된다.

a. 화재온도 및 지속시간

화재온도(℃)는 아래와 같은 식으로 산정하고, $T = \alpha \cdot t_f^{1/6} + 20$ 여기서, α [℃/min^{1/6}]는

화재온도의 시간적 추이를 나타낸 그래프에서 나타난 바와 같이 화재온도상승계수로 ISO834 규정의 표준가열온도곡선의 값을 사용한다.



< 화재온도의 시간적 추이 >

실내 특정장소에서 강재 또는 목재에 대한 국부적인 강한 연소의 영향을 고려하기 위해서는 화재가 20분간 지속되어 3MW 도달하는 것으로 상정한 부재근방화재온도상승계수 ()가 사용되고, 높이에 따라 다음과 같이 주어진다.

$$T = \alpha_i \cdot 20^{1/6} + 20$$

$$\alpha_i = \begin{cases} 500 & [z \leq 2] \\ 500 - 100(z - 2) & [2 < z \leq 7] \\ 0 & [7 < z] \end{cases}$$

(z = 화재면으로부터 부재의 높이)

화재지속시간은 아래와 같은 식으로 산정하고,

$$t_f(\text{min}) = \frac{r}{60 \cdot q_b} \quad (60 : \text{min단위 환산})$$

Q_r :실(Room) 내부 가열물의 총 발열량 (MJ)

q_b :실(Room) 내부 가열물의 발열속도 (MW)

총 발열량은 아래와 같은 실의 용도, 내장재 및 벽의 종류와 개구부 등에 의해 산정되고, 이 값들은 고정하중 및 적재하중과 같이 표로서 제시되어 진다.

$$Q_r(\text{발열량}) = Q_1(\text{수내가열량}) + Q_2(\text{고정가열량}) + Q_3(\text{투입열량})$$

$Q_1(\text{수내가열량})$:실 용도별

$Q_2(\text{고정가열량})$:내장용 건축재료의 종류별

$Q_3(\text{투입열량})$:벽 및 개구부 등의 영향

b. 보유내화시간 산출방법

각종 구조재료 및 부재별로 보유내화시간의 산정방법이 주어져 있고, 예로서 철골기둥의 보유내화시간의 산정방법은 다음의 4가지 요인을 고려하여 산정한다.

① 강재의 온도상승에 의한 접선탄성계수의 저하와 그에 의해 발생하는 좌굴

- ② 국부좌굴의 발생에 따른 축방향 내력의 저하
- ③ 인접 구조부재의 열팽창에 따른 과도한 부재각 변화와 그로인한 축방향 내력의 저하
- ④ 접합부 등 취약부의 파단 (상한치를 550℃로 일률적으로 적용)

각각에 요인에 의해 산정된 상한온도 중 최소값이 한계

부재온도가 되고, 그 온도에 도달하는 시간이 보유내화 시간이 된다.

이와 같이 산정한 화재지속시간과 보유내화시간을 앞의 기본개념과 전체흐름도에 나타낸 것과 같이 비교·판단하고, 부재와 평면을 변경하면서 실내부의 주요구조부재와 각각의 실 단위로 설계를 진행하게 된다.

④ 일본의 내화설계 현황

내화설계법은 Route A/B/C로 존재하고, Route A는 가장 널리 사용되는 사양설계법으로 일반적인 건물에서 건축사에 의해 설계가 이루어진다. 반면 Route B/C는 성능설계법으로 고도한 평가에 의한 능설계법인 Route C가 상대적으로 많이 사용되고, 규모가 크고 비용검토가 필요한 건물 등에 구조기술자가 참여하여 진행하게 된다.

내화성능설계의 수행은 내화전문 기관에 의뢰하여 내화전문가 및 구조기술자가 참여하여 진행하고, 전문기관의 수는 상대적으로 적고 소규모로 알려져 있다. 주 대상 구조물은 철골 구조물로 전시설, 홀 및 철골구조의 노출이 건축적으로 필요한 구조물 등에서 이루어지고, 주로 천정 및 벽체의 마감여부에 따라 적용여부가 결정된다.

설계기간은 약3~4개월이 소요되어 비용절감과 함께 공기에 대한 고려가 함께 필요하다. 또한, 실 및 건물의 용도가 변경될 경우 기존 내화성능설계가 부적합하게 되므로 용도변경이 없는 곳이나 변경시 대처가 가능한 부분에 적용하는 것이 필요하다.

제7장. 연구개발성과의 보안등급

⇒ 본 과제는 보안등급이 일반으로 되어있습니다.

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
서울 시립 대학 교	고성능 열화상 카메라 Ti-400	277(높이) x 122(길이) x 164(폭)/ (Ti-400)	1	2016년 04월 07일	10,189	FLUKE (주)태솔 031) 713 - 5988 (담당: 허동철 과장)	서울시립대 제1공학관 3층 306호	45121522 ~~-2200634~~

◎ 장비 물품사진

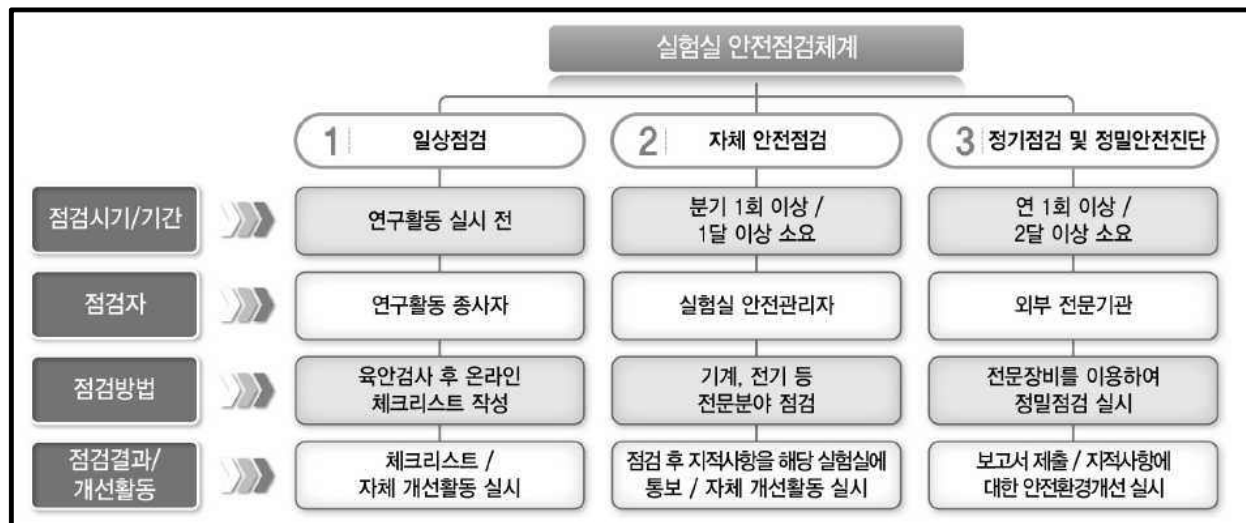


제9장. 연구개발과제 수행에 따른 연구실 등의 안전 조치 이행 실적

가. 연구실 안전조치 이행계획

○. 연구실 안전 점검 체계 및 실시

1) 실험실 안전 점검 체계



○ 실험실 안전점검

1) 실험실 일상 점검

- 연구활동 시작 전 각 실험실 책임자가 육안으로 장비 및 시설을 매일 점검.

2) 실험실 정기 점검

- 내용 : 과학기술분야 실험실의 일반안전, 산업위생, 전기안전, 소방안전, 화공안전, 가스안전, 기계안전, 생물안전 등의 전문분야 점검
- 실시 : 매월 각 실험실을 주기적으로 점검

3) 실험실 정밀안전진단

- 대상 : 연구 개발 활동에 유해화학물질 관리법 제2조 7호에 따른 유해화학 물질을 취급하는 연구실, 산업안전보건법 제39조에 따른 유해인자를취급하는 연구실, 과학기술부령이 정하는 독성가스를 취급하는 연구실.

※ 관리위험등급의 지정

- A 등급 : 가연성가스, 인화성 시약, 유해화학물질, 다량의 폐액배출, 독극물, 생물 및 동물, 방사성 동위원소
- B 등급 : 일반시약, 소규모 인화성 시약, 불연성가스, 소량의 폐수발생실험실
- C 등급 : 이화학실험을 수행하지 않는 전기, 설계, 컴퓨터 관련 실험실

○ 교육 훈련

☞ 온라인 안전교육 콘텐츠 총30개 구성(화공안전, 가스안전, 폐기물 등)

- 개설기간 : '16.04.17. ~ '17.12.31.
- 이수인원 : 총 531명 (학부생 : 234명, 대학원생 : 297명)

☞ 연구활동종사자 집합교육 실시 (내용 : 우리대학의 안전관리 규정 등)

- 교육일시 : '16.9.24. (2017년도 하반기 교육일정 미정)

☞ 연구실 지게차 법정교육 실시

- 지게차 무면허자가 운전하여 사고 발생할 수 있는 불안전한 상태 개선
- 교육일시 : '16.4.16.(2017년도 교육일정 미정)

○. 건강 검진

☞ 검진개요

- 검진인원 : 유해물질 취급 연구종사자 194명 중 158명 완료(검진율81%)
- 1차 검진 : '16.10.8.(출장검진 : 21세기관 국제회의장)
- 2차 검진(질환 의심자) : '16.10.27 ~ 29 (경희의료원 개별방문 검진)

○ 보험 가입 현황

- 보험(공제)적용 : 휴무·공휴일 관계없이 적용
- 가입대상 : 서울시립대학교가 인정하는 서울시립대학교 연구활동종사자
- 가입인원 : 5700여명 (대학 4000명, 대학원 1700명)
- 보험(공제)종류 : 「연구실 안전환경 조성에 관한 법률」에 따라 연구실에서 발생한 사고로 인한 부상·질병·신체장해·사망 등 생명 및 신체상의 손해를 보상하는 내용이 포함된 보험(공제)
- 보험(공제)적용
 - : 연구활동종사자 전공 및 신분에 따라 보험(공제)료 차등 적용
 - : 계약 당시 내역에 없는 연구활동종사자라도 사고 당시 서울시립대학교 연구활동 종사자인 경우에는 보험(공제)적용(신고지체, 누락 등)
 - : 연구개발과정과 교과과정에서 직접 필요한 시험, 실험, 측정, 분석 등 이와 유사한 활동 중의 손해
 - : 연구실험용 기계, 기구, 장치, 실험재료의 구입, 설치 및 건설 폐기 등 이와 유사한 활동 중의 손해
 - : 상해에는 유독가스 또는 유독물질을 우연하게도 일시에 흡입, 흡수 또는 섭취 하였을 때에 생긴 중독증상을 포함
 - : 타 대학·연구기관·산업체등에서 상기 활동 중 발생 한 손해

<보험 가입 현황>

구분	학부생	대학원생	합계 (명)
'16.7.31~'17.7.31.	4000	1700	5700

• 보장내역 및 한도

구분	지급사유	보장 한도
사망	사망 및 치료 중 사망	1억원
후유장해	교육과학기술부 장관이 최근 고시한 「연구실사고에 대한 보상기준」 지급	1억원
부상	교육과학기술부 장관이 최근 고시한 「연구실사고에 대한 보상기준」 지급	1천만원

• 보장내역별 제안내용

- 타 제도에 의한 보상과 관계없이 중복 보상
- 실제 발생한 의료비 보상
- 국민건강보험에서 본인부담금 및 모든 비급여 보상

• 지급제한(면책사항)

- 계약자나 피보험(공제)자의 고의. 다만 계약자가 피보험(공제)자의 교육·연구 활동목적 상 의도적인 활동으로 발생하는 손해는 보상
 - 피보험(공제)자의 자해, 자살, 자살미수, 형법상의 범죄행위 또는 폭력행위(다만, 형법상 정당방위, 긴급피난 및 정당행위로 인정되는 경우에는 보상)
 - 피보험(공제)자의 질병. 다만 보장하는 손해가 원인이 되어 질병에 걸렸을 경우에는 보상
 - 피보험(공제)자의 임신, 출산(제왕절개 포함), 유산 또는 외과적 수술, 그 밖의 의료처치. 그러나 보험사(공제회)가 부담하는 손해로 인한 경우에는 보상
- 기타 사항은 「연구실 안전 환경 조성에 관한 법률」 및 표준 보험(공제)약관에 따른다.
- 위 사항에 명시되지 않은 사항은 학교 의견에 따르며, 계약내용에 대하여는 쌍방 간 협의를 통해 변경할 수 있다.

○ 추가 이행 계획

- 연구실 안전환경 개선 추진

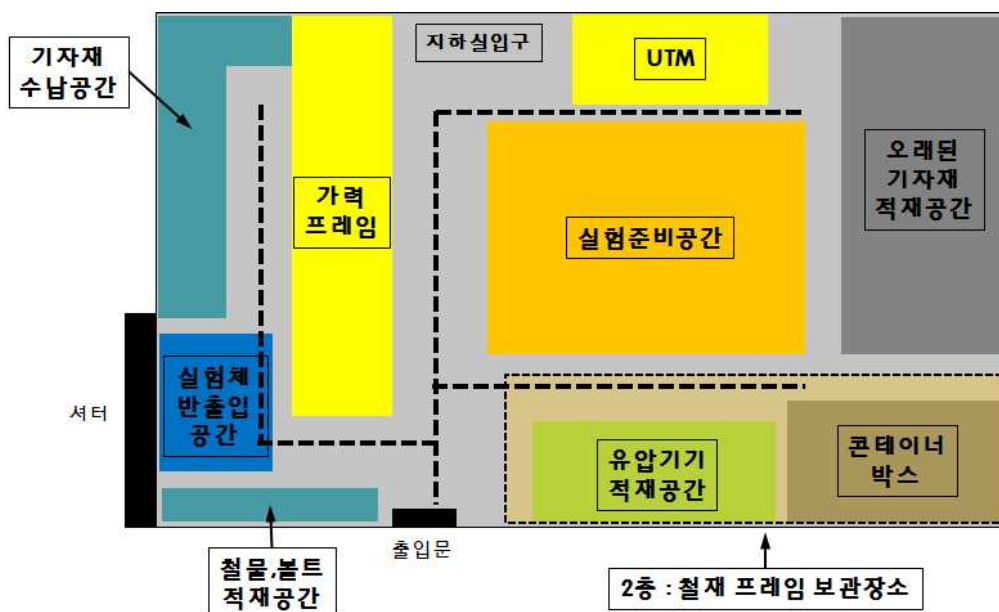
☞ '16년 소요예산(안)

<단위: 천원>

구분	'16년 예산(안)	산출내역	비고
연구실 안전 환경 개선사업	150,000	· 시약캐비닛 및 후드 등 구매지원 · 가연성 및 독성가스 사용 실험실 개선 · 폐기물 안전용품 등 구매지원 · 인화성액체 안전용기 등 구매지원 · 위험물질 누출대응 kit 구매지원	산학협력단 회계 안전관리비 50,000천원 포함

○ 서울시립대학교 건축 구조 실험동

- 실험이 수행되는 실험동은 아래 그림과 같이 안전구획에 따라 관리한다.
- 실험동 사용 시 사용계획을 수립하고 실험동 사용 안전사항 및 수칙을 숙지하며, 정해진 관리 및 출입 대장을 작성한다.



(공간 및 안전구획도)

나. 유전자변형생물체(LMO) 연구시설 및 수입 신고 현황(해당 시 작성)
 : 해당사항 없음

시설 번호	제LML〇〇 - 〇〇호	안전 관리 등급	〇등급
수입 신고(최근 1년간)		제LMI〇〇-〇〇	

제10장. 연구개발과제의 대표적 연구 실적

번호	구분 (논문/ 특허/ 기타)	논문명/특허명/ 기타	소속 기관명	역할	논문 게재지/ 특허 등록 국가	영향 력 지수	논문 게재일 /특허 등록일	사사 여부 (단독 사사 또는 중복 사사)	특기 사항 (SCI 여부/인용 횟수 등)
1	특허	콘크리트 충전형 기둥의 내화성능 평가방법	서울시 립대	발명 자	KR	-	2017년 06월07일	단독	-
2	논문	강섬유 콘크리트 혼입율에 따른 내부앵커형 콘크리트 충전기둥 내화성능에 관한 해석적 연구	서울시 립대	1저자	한국복합 신소재공학회	-	2016년도 2월호	단독	-
3	논문	재하 및 비재하 가열 실험을 통한 피복된 합성기둥의 내화성능 평가	서울시 립대	1저자	대한건축학회	-	2017년 3월호	중복	-
4	논문	내화도료 두께에 따른 허용 및 한계온도 고찰	서울시 립대	1저자	한국강구조학 회	-	2017년 6월호	단독	-
5	기타 (s/w 저작권)	표준가열곡선에 노출된 기둥단면의 온도분포예측	서울시 립대	발명 자	KR	-	2017년 2월 1일	단독	-

제11장. 기타 사항

◎ 사업화 전망

화재손상 건축물의 복원 프로그램이 사업화되어 다양한 적용 대상(건물용도, 중요도, 등..)에 활용되기 위해서는 아래 도식화된 그림과 같이 첫 번째로 통합형 열감지 시스템 도입의 시장분석이 이뤄져야 한다. 실 건축물에 활용되고 사용자가 편리해야 하므로 사용자 참여를 통한 시스템 평가(실용성)를 수행하여 다양한 경우의 조건을 검증될 절차가 필요하다. 최종적으로 상용화 전략은 연구 과제종료 후 약 3~4년 후 시범서비스, 설명회를 통해 사업화를 추진할 수 있다고 보인다. 모든 건축물의 안전에 대한 상태확인과 수명에 대한 문제는 늘 관심을 갖고 주기적, 정기적인 점검이 필요한 사항으로 보다 합리적이고 효과적인 유지관리 사업제품은 점진적으로 현장적용을 확대할 수 있는 부분이라고 할 수 있다.



(화재손상 건축물의 복원 프로그램 사업화 전망)

-
- [1] AISC, 2011, Steel Construction Manual, Chicago, USA
 - [2] AISC, Fire resistance of Structural Steel Framing, Steel Design Guide 19.
 - [3] Han, L.H. (2001) Fire performance of concrete filled steel tubular beam-columns, Journal of Constructional Steel Research 57, pp.695-709. ISO. (1975) Fire resistance test-elements of building construction, ISO 834, Geneva.
 - [4] International Organization for Standardization(ISO)(1975, 1992, 1993, 1999), ISO 834: Fire-Resistance Test-Elements of Building Construction, Switzerland.
 - [5] Kodur, V.K.R., and Lie, T.T. (1996) Fire resistance of circular steel columns filled with fiber-reinforced concrete, Journal of Structural Engineering, ASCE, pp.776-782.
 - [6] Korean Agency for Technology and Standards(1999, 2005), KS F 2257-1: Methods of Fire Resistance Test for Elements Building Construction- General Requirements, Korea.
 - [7] K.S. Chung, S.M. Choi, D.K. Kim(2000), Suggestion of an Estimation Formula on the Maximum Capacity for CFST Columns under Fire and Axial Load, Architectural Institute of Korea, 2000. 6., pp.33-40.
 - [8] L.H. Han, X.L. Zhao, Y.F. Yang, and J.B. Feng, (2003), Experimental Study and Calculation of Fire Resistance of Concrete-Filled Hollow Steel Columns, J. Struct. Eng., 129(3), pp.346~356.
 - [9] L.H. Han, Y.F. Yang, Lei Xu, (2003), An experimental study and calculation on the fire resistance of concrete-filled SHS and RHS columns, J. Constr. Steel Research 59, pp.427-452.
 - [10] Liang Q.Q., Uy B., and Liew, R. (2006), "Nonlinear analysis of concrete-filled thin-walled steel box columns with local buckling effects". Journal of construction steel research, 62, 581-591
 - [11] Liang Q.Q., Uy B. (2000). "Theoretical study on the post-local buckling of steel plates in concrete-filled box columns". Computers and Structures, 75(5), 479-490.
 - [12] Lie, T.T., Irwin, R.J. (1995) Fire resistance of rectangular steel columns filled with bar-reinforced concrete, Journal of Structural Engineering, ASCE, pp.797-805.
 - [13] Lin-Hai Han, Xiao-Ling Zhao, M.ASCE, You-Fu Yang and Jiu-Bin Feng. (2003) Experimental Study and Calculation of Fire Resistance of Concrete-Filled Hollow Steel Columns, Journal of Structural Engineering, pp. 346-355.
 - [14] Lin-Hai Han, You-Fu Yang and Lei Xu. (2003) An Eexperimental Study and Ccalculation on the Fire Resistance of Concrete-Filled SHS and RHS Columns, Journal of Constructional Steel Research 59, pp. 427-452.
 - [15] Mursi M. and Uy B. (2003). "Strength of concrete filled steel box columns incorporating interaction buckling". 129(5), 626-639
 - [16] Purkiss JA. (1996) Fire safety engineering, designing of structures, Oxford ; Butterworth-Heinenmann.
 - [17] Uy B. (2000), Strength of concrete-filled steel box columns incorporating local buckling. Journal of Structural Engineering, 126(3), 341-52.
-

- [18] V.K.R. Kodur, (1998), Design Equations for Evaluating Fire Resistance of SFRC-filled HSS columns, J. Struct. Eng., 35(3), pp.81~93.
- [19] V.K.R. Kodur, (1999), Performance-based Fire Resistance Design of Concrete-filled HSS Columns, Journal of Constructional Steel Research 51, pp.21-36
- [20] V.K.R. Kodur, D.H. Mackinnon, (2000), Design of concrete-filled hollow structural steel columns for fire endurance, Eng. J. 37(1), pp.13-24.
- [21] 권영진, 이재영(2008). “초고층 건축물의 화재 및 피난안전”, 충남방재정보연구소
- [22] 소방시설공사업법 시행규칙(2013), 소방방재청
- [23] 박동하(2010). “A Study on the Automatic Fire Detector Spacing Calculation for Performance based Design” 서울시립대 재난과학과 박사학위 논문
- [24] 박희원(2013). “연기 및 열 감지기의 장치특성에 관한 실험 및 수치적 연구” 대전대학교 석사학위 논문
- [25] 신경임(2013). “초고층 건축물 화재시 인명피해 최소화 방안에 관한 연구”, 연세대학교 석사학위 논문
- [26] 심우철 (2015). “가연물의 종류에 따른 화재감지기의 반응특성” 충북대학교 안전공학과 공학석사학위논문
- [27] 이근배, 최장길(2010) “초고층 공공건축물 내진설계 성능강화 방안”, 서울특별시
- [28] 이정용(2013). “초고층 건축물 효율적인 화재진압에 관한 연구”, 경기대학교 석사학위논문
- [28] 자동화재 탐지설비의 화재안전기준(NFSC 203) 소방방재청 고시 제 2012-91호
- [29] 정광량(2007). “911 WTC 붕괴 이후의 초고층건물 구조설계동향” 대한건축학회
- [30] 초고층 및 지하연계 복합건축물 재난관리에 관한 특별법(2013), 소방방재청
- [31] 최만철, 김병석(2011). “초고층 건축물 소방안전관리의 기본방향에 관한 연구”, 대한안전경영과학회지
- [32] 최한태(1997). “초고층 빌딩 건축에 있어 전기설비 시설의 핵심적 유의사항에 관한 조사 연구”, 고려대학교 석사학위논문
- [33] 한보성(2009). “초고층 건물의 구조시스템 및 구조사례”, 대우엔지니어링 기술보고서
- [34] 황은경, 윤호주 (2012). “국내 초고층 건축물 피난관련 기준 비교분석 연구”, 한국방재학회
- [35] 황현수, 윤명오, 박재성(2004). “ 초고층 빌딩의 최적 방재설계 방안”, 대한설비공학회

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.

15CTAP
-C09735
5-01
-000000

사회재난 대응공학기술기반의 열람지기를 활용한 화재손상억제물류구 프로그램개발 최종보고서

2017

국토교통과학기술진흥원

국 토 교 통 부

ISBN 979-11-957364-6-1 93540