제 출 문

국토교통부장관 귀하

‘폭 1m 이상/고하중에 최적인 내부보강 조립식 합성메가기둥 구조시스템 개발’ (연구개발 기간 : 2016 .04 .27 ~ 2018 .02 .26) 과제의 최종보고서 10부를 제출합니다.

2018. 03. 23. (금)

주관연구기관명 :	㈜액트파트너	고 수 진	(인)
협동연구기관명 :	서울시립대학교 산학협력단	송 오 성	(인)
참여기관명 :	㈜엔아이스틸	배 종 민	(인)
위탁연구기관명 :	(재)한국건설생활환경시험연구원	김 경 식	(인)

주관연구기관책임자 :	염 경 수	소 장
협동연구기관책임자 :	최 성 모	교 수
참여기관책임자 :	권 순 명	상 무
위탁기관책임자 :	민 정 기	선임연구원

국토교통부소관 연구개발사업 운영규정 제38조에 따라 최종보고서 열람에 동의합니다.

보고서 요약서

과제 고유 번호	16TBIP-C111803-01	해당 단계 연구 기간	2016.04.28.-2018.02.26	단계구분	1/2

연구사업명	중사업명	국토교통기술 사업화 지원사업
	세부사업명	중소기업 보유기술 사업화 분야
연구과제명	대과제명	폭 1m 이상/고하중에 최적인 내부보강 조립식 합성메가기둥 구조시스템 개발
	세부과제명	합성메가기둥 구조시스템의 구조성능 평가와 설계법 제안
		합성메가기둥 구조시스템의 제작·생산기술 개발

연구책임자	염경수	해당단계 참여 연구원 수	총: 21 명 내부: 21 명 외부: 0 명	해당단계 연구개발비	정부:395,000천원 기업:291,334천원 정부 외: 천원 계:686,334천원
		총 연구기간 참여 연구원 수	총: 21 명 내부: 21 명 외부: 0 명	총 연구개발비	정부:832,00천원 기업:582,668천원 정부 외: 0 천원 계:1,414,668천원

연구기관명 및 소속 부서명	㈜액트파트너 신공법연구소 서울시립대학교 산학협력단	참여기업명 ㈜액트파트너, ㈜엔아이스틸
국제공동연구	상대국명:	상대국 연구기관명:
위탁연구	연구기관명: (재)한국건설생활환경시험연구원	연구책임자: 민정기 선임연구원

요약

1.내부보강 조립식 합성메가기둥의 형상 개발
 1) 합성메가기둥 형상 개발
  - 요구하중 1,000 MkN 이상의 고하중용 메가기둥의 필요성이 대두됨에 따라 폭 1m이상의 합성메가기둥 개발
  - 냉간 성형 강판 4개를 모서리에 배치하고, 그 사이에 후판을 끼워 대형각형강관을 구성 후 내부에 콘크리트를 채운 충전형 합성메가기둥 형상 개발
  - 현장 조건에 따라 후판의 두께와 폭을 조절함으로써 단면 크기 및 성능 설계 가능
2. 합성메가기둥의 구조성능 평가
 1) 시공단계에서의 안전성 평가
 2) 합성단계에서의 구조성능 평가
 3) 보-기둥 접합부의 내진성능 평가
 4) 합성메가기둥의 내화성능 평가
3. 합성메가기둥의 설계·제작·시공 지침서 개발
 1) 합성메가기둥의 구조설계프로그램 개발
 2) 합성메가기둥-보 접합부 설계지침서 개발
 3) 합성메가기둥의 내화설계지침서 개발
 4) 합성메가기둥의 제작절차서 개발
 5) 합성메가기둥의 시공절차서 개발

보고서 면수

〈 요약문 〉

연구의 목적 및 내용	○ 최종 목표 : 폭 1m/고하중에 최적인 내부보강 조립식 합성메가기둥 구조시스템 개발 ○ 세부 연구 목표 1. 단면형상 결정과 내부 바인딩프레임 구성 확정- 구조성능의 극대화와 제작성/시공성 감안 2. 해석적/실험적 구조성능검증- 구속효과와 변형성능 발현 3. 합성메가기둥 내력식과 설계절차서 작성- 현장적용을 설계법 제시와 인증 4. 해석적/실험적 내화성능검증- 無내화피복과 내화피복 절감방안 제시 5. 화재시 합성메가기둥 내화성능 확인절차 제시- 비재하실험을 통한 잔존강도 예측과 無내화피복, 내화피복절감 방안 제안 6. 합성메가기둥과 철골/합성 보의 접합부 개발과 성능검증 7. 합성메가기둥의 효율적인 생산체제와 제작공정 확보- 제작 Mock-up시행 8. 합성메가기둥의 현장 시공성 확보- 현장설치 Mock-up시행 9. 제작사(엔아이스틸) 제작성 제고- 샘플 제작과 현장 시범적용 10. 현장적용의 활성화와 제품품질확보를 위한 피드백 11. 현장적용의 확대와 사업활성화
연구개발성과	1.국내논문(3건) ① 내부 바인딩프레임으로 구성된 폭 1m 이상 합성메가기둥의 수압실험, 한국복합신소재구조학회 논문집, 2017 3월호 ② 폭 1m 이상 합성메가기둥 기둥-보 T형 스티프너 접합부 형상 개발 및 내력식 제안, 한국복합신소재구조학회 논문집, 2018 3월호 게재예정 ③ 화재에 노출된 내부보강 조립식 냉간성형 대형합성기둥의 잔존내력에 대한 수치해석 연구, 한국복합신소재구조학회 논문집, 2018 3월호 게재예정 2.국제학술발표(4건) ① Development of Advanced CFT column and Application of Building Construction, 11th PSSC, pp.1503-1509, 2016 ② A Study of Cross Section for Built-up Composite Mega Column with 1 Meter Width, 국제 한일-교류회, 2017 ③ Tensile Tests on the Column-to-Beam Connections of Composite Mega Columns with Internal Diaphragms, ISSS, 2017 ④ Composite Effect of Binding Frames Installed inside Composite Mega Column (More than 1m in Width), Eurosteel, 2017 3.국내학술발표(8건) ① 폭 1m이상 합성메가기둥에 적합한 내부보강 기둥-보 접합부 인장 내력 해석적 평가, 대한건축학회 추계학술발표대회 논문집, 제36권 제2호, pp.732-733 ② 폭 1m이상 대형인 내부보강 조립식 합성메가기둥의 보강단면구성 검토, 대한건축학회 추계학술발표대회 논문집, 제36권 제2호, pp.734-735 ③ 폭 1m이상을 가진 합성기둥의 내화성능에 대한 해석적 연구, 2016연도 한국화재소방학회 추계학술대회 논문집, pp.131-132 ④ 냉간성형 조립된 대형 합성기둥의 내화해석, 한국방재학회 학술발표대회논문집, Vol.2017, No.-[2017], pp. 1-1 ⑤ 폭 1m 이상 내부보강 조립식 합성메가기둥의 중심압축실험, 한국복합신소재구조학회 학술발표대회, pp. 66-68 ⑥ 내부 바인딩프레임 적용된 합성메가기둥의 편심압축실험, 한국복합신소재구조학회 학술발표대회, pp. 69-70 ⑦ 고온에 노출된 대형합성기둥의 잔존면적에 대한 수치해석연구, 한국복합신소재구조학회 학술발표대회, pp. 49-50 ⑧ 합성메가기둥 기둥-보 내다이아프램 접합부 구조성능에 관한 인장실험, 한국강구조학회 학술대회 발표집, pp. 27-28 4.특허 출원(2건) ① 10-2017-0008342 : 바인딩 프레임이 구성된 콘크리트 충전용 기둥 조립체의 제작방법 및 이에 의해 제작되는 기둥 조립체 ② 10-2017-0008343 : 제작 프레임 및 바인딩 프레임을 이용한 콘크리트 충전용 기둥 조립체의 제작방법 및 이에 의해 제작되는 기둥 조립체 5.인력양성(4인) ① 김교천(2016): 긴장력을 도입한 9m 장경간 데크바닥구조의 구조특성, 서울시립대학교 석사

	학위 ② 주정수(2017): 바인딩프레임 내부보강 합성메가기둥의 압축거동, 서울시립대학교 석사학위 ③ 강지수(2018): 바인딩프레임을 이용한 합성메가기둥용 내다이아프램 접합부의 구조거동, 서울시립대학교 석사학위 ④ 황슬기(2018): 무용접 조립형 경량형강으로 보강된 더블앵글가새의 구조성능, 서울시립대학교 석사학위 **6.시작품(7건)** ① 합성메가기둥의 수압실험체(6개) ② 합성메가기둥 중심압축실험체(6개) ③ 합성메가기둥 편심압축실험체(9개) ④ 보-기둥 접합부 단순인장 실험체(12개) ⑤ 판폭-두께비 평가실험체(9개) ⑥ 기둥-보 접합부 반복가력실험체(4개) ⑦ 내화성능 평가실험체(5개) **7.전시용 샘플(2건) : 합성메가기둥 전시용 형상모델(2개)** **8.제작·시공 지침서(2건): 합성메가기둥의 제작지침서(안), 시공지침서(안)**
연구개발성과의 활용계획 (기대효과)	○ 성과물의 활용방안 1. 연구성과를 토대로 설계반영 확대와 현장시공영역 확대 ① 합성메가기둥 구조시스템의 현장적용을 위한 설계지침 및 제작·시공 시방서를 제시하여 설계 및 감리 엔지니어링 실무종사자의 실 구조물에 적용이 가능한 가이드라인으로서 활용 가능 ② 연구결과를 토대로 합성메가기둥 구조시스템의 내화성능평가 기준 작성 ③ 건설실무자들에게 합성메가기둥 구조시스템의 구조성능과 내화성능에 대해 실증적인 검증 방안의 근거 제시 2. 중소기업 기술자문 및 기술 교육 ① 합성메가기둥 구조시스템의 기술에 대한 설계·제작·시공·감리 엔지니어링 회사를 대상으로 기술설명회 개최 ② 실증적 구조시스템의 반영을 위한 학계(대한건축학회 등)와의 기술자문 수행 3. 연구성과 홍보 ① 국내·외 학술대회 발표를 통한 연구성과의 지속적인 홍보활동 ② 합성메가기둥 구조시스템의 실험과 현장 적용성 검증을 통한 눈문개재 등을 통해 연구성과의 학술적 기술확산에 활용 ③ 국내·외 건축기술박람회 등에 참가하여 합성메가기둥 구조시스템의 기술 홍보활동 ④ 국내·외 지적재산권 등록 및 기술신뢰성 향상 등 기술 홍보를 통해 개발기술의 사업화 추진 ○ 기대효과 1. 과학기술적 측면 ① 시공성이 용이한 접합부의 안정적인 설계방법 개발 ② 제작용이, 공기단축으로 적용활용성 증대 ③ ACT-2 Column과 접합부의 정확한 해석으로 안전에 대한 신뢰성 향상 ④ 접합부 형태 개발 및 시공법 개발 ⑤ 부재의 특성에 맞는 합리적 내진 구조시스템의 개발 2. 사회·경제적 측면 ① 강재의 효율적인 이용으로 골조 공사비용 감소 ② 공기 단축으로 인한 공사 간접비용의 감소 ③ 해외건축사업 수주에 용이 ④ 콘크리트 사용의 감소로 건축 폐기물 감소 ⑤ 대형 물류산업 건물에 효율적 적용을 통해 수출 경쟁력 증대 3. 정책적 측면 ① 건설공법의 효율화는 국제적인 경쟁력확보가 가능할 것이며 해외공사 수주에 기여 ② 폐기물 처리 비용 및 탄소 배출권에 의한 비용 감소를 통해 환경비용부담 감소 ③ 신뢰성 있는 구조물 구축으로 지진 등 재해로부터 사회 자산 보호 및 국민의 안전 보장 기대

핵심어 (5개 이내)	합성메가기둥	내부 보강	콘크리트 충전형 합성기둥	용접조립	콘크리트 구속효과

〈 SUMMARY 〉

Purpose & Contents	○ Final objective : Development of Structural Systems for Built-up Composite Mega Column under High Axial Force with 1 Meter Width ○ Sub research objective 1. Determination of cross section shape and composition for inner binding frame - considerations of manufacturing ability and constructability 2. Verifications of analytical and experimental structural performance - confinement effects and deformation performance 3. Preparation of strength formula and design procedures for mega composite columns - Presentation and accreditation of design methods for site applications 4. Verifications of analytical and experimentally structural fire performance - non fire protection and reduction of fire protection 5. Preparation of validation procedure for structural fire performance of mega composite columns in fire - suggestions of strategies of non fire protection and reduction of fire protection reduction 6. Connection developments and performance evaluation between mega composite columns and steel/composite beams 7. Endurance of effective production systems and process for mega compostie columns 8. Endurance of off-site constructability for mega composite columns 9. Considerations of production ability of NI steel 10. Activation of off-site applications and feedback for ensuring production quality 11. Expansion of off-site applications and activation of projects
Results	1. Domestic paper (3) ① A Study on Hydrauli Test of Composite Mega Column with 1m Width Confined Inner Binding Frame, Journal of Korean Society for Advanced Composite Structures, March 2017 ② Proposal of Strength Formula and Type Development of Composite Mega Column to Beam Connections with T-shaped Stiffener, Journal of Korean Society for Advanced Composite Structures, March 2018 ③ Numerical Study of Residual Strength for Inner Reinforced Mega Composite Columns Exposed to Fire, Journal of Korean Society for Advanced Composite Structures, March 2018 2. International conference proceeding (4) ① Development of Advanced CFT column and Application of Building Construction, 11th PSSC, pp.1503-1509, 2016 ② A Study of Cross Section for Built-up Composite Mega Column with 1 Meter Width, International Korea-Japan Conference, 2017 ③ Tensile Tests on the Column-to-Beam Connections of Composite Mega Columns with Internal Diaphragms, ISSS, 2017 ④ Composite Effect of Binding Frames Installed inside Composite Mega Column (More than 1m in Width), Eurosteel, 2017 3. Domestic conference proceeding (8) ① A Study on the Tensile Strength of Built-up Column-Beam Connections for

Composite Mega Column with 1 Meter Width, 2016 AIK Fall Conference, Vol. 36, No, 2, pp.732-733

② A Study of Cross Section for Built-up Composite Mega Column with 1 Meter Width, 2016 AIK Fall Conference, Vol. 36, No. 2, pp.734-735

③ Numerical Investigation of Fire Resistance Performance on Composite Columns with 1m or Over, 2016 KIFSE Annual Fall Conference, pp.131-132

④ Fire Performance Analysis of Welded Built-up Square Mega Composite Columns, Korean Society of Hazard Mitigation Annual Conference, Vol. 2017, No. -[2017], pp. 1-1

⑤ Experimental Study on Improvement of Compression of Composite Mega Column Inner Reinforced with 1 Meter Width, Korean Society for Advanced Composite Structures Annual Conference, pp. 66-68

⑥ Experimental Study on the Eccentric Load of Composite Mega Column Inner Reinforced Binding Frame, Korean Society for Advanced Composite Structures Annual Conference, pp. 69-70

⑦ Numerical Study of Residual Areas for Mega Composite Columns Exposed to Elevated Temperatures, Korean Society for Advanced Composite Structures Annual Conference, pp. 49-50

⑧ A Simple Tension Experimental Study on Structural Performance of Composite Mega Column to Beam Connections with Internal Diaphragm, Korean Society of Steel Construction Annual Conference , pp. 27-28

4. Patent application (2)

① 10-2017-0008342 : Producing method of steel column assembly for filling concrete and steel column assembly

② 10-2017-0008343 : Producing method of steel column assembly for filling concrete and steel column assembly

5. Workforce development (4)

① Master thesis(2016), Structural Characteristic of 9.0m Deck Plate Slab applying Tendons, University of Seoul

② Master thesis(2017), Compressive Behavior for Built-up Composite Mega Column with Binding Frame, University of Seoul

③ Master thesis(2018), Structural Behavior of Internal Diaphragm Connections for Composite Mega Column Using Binding Frame, University of Seoul

④ Master thesis(2018), Structural Performance of Double Angle Brace Reinforced by Non-Welded/ Assembled Lightweight Steel Elements, University of Seoul

6. Trial products (3)

① Hydrulic Pressure Test Specimens of Composite mega columns (6)

② Central Compression Test Specimens of Composite mega columns (6)

③ Eccentrical Compression Test Specimens of Composite mega columns (9)

④ Beam to Column Connection Simple Tension Test Specimens (12)

⑤ Width to Thickness Ratio Evaluation Test Specimens (9)

⑥ Beam to Column Connection Cyclic Test Specimens (4)

⑦ Fire Resistance Performance Evaluation Test Specimens (5)

7. Sample for display (2) : Shape model for display of composite mega columns (2)

8. Guidelines for manufacturing & construction (2)

① Manufacturing guidelines of composite mega columns (draft)

② Construction guidelines

Expected Contribution	○ Application plans of outputs 1. Research outcome diffusion throughout national standards and specifications ① Preparation design guidelines and manufacturing and construction specifications ② Preparation of structural fire design procedures and evaluation criteria ③ Presentation of technical information such as structural performance of mega composite column systems and structural fire performance 2. Technical advice and education for small and medium industry ① Organization of special seminars for construction companies ② Performance of technical advice with various societies 3. Publicity of research performance ① Sustainable publicity throughout domestic and international conferences ② Report of papers with research outputs ③ Participation of domestic and international exhibitions ④ Preparation of patent application and registration ○ Expectancy effects 1. Science and technology aspects ① Developments of stable design methods for connection with ease constructability ② Easiness of manufacturing, increase of site application with construction duration reduction ③ Enhancement of reliable technologies throughout the verification of analytical and experimental performance for beam-mega composite column connections ④ Developments of connection shapes and consturction methods ⑤ Developments of reasonable earthquake resistant structural systems in accordance with the characteristics of members 2. Social·economic aspects ① Reduction of frame construction costs according to the effective use of steels ② Reduction of indirect construction costs according to construction duration reduction ③ Easiness of winning a contract for overseas construction projects ④ Reduction of construction waste according to the reduction of concrete use ⑤ Through the technology is effectively applied to the big logistics industry, it will increase export competitiveness 3. Political aspects ① Efficiency of construction methods and contribution of winning a contract for overseas construction projects ② Reduction of waste treatment costs ③ Social property protection from natural hazards such as earthquakes throughout construction of reliable structures

Keywords	Composite Mega Column	Inner Reinforced	Concrete Filled Steel Tube Column	Welled Built-up Type	Concrete Confinement Effective

〈 목 차 〉

1. 연구개발과제의 개요 ·····13

2. 국내외 기술 개발 현황 ·····17

3. 연구 수행 내용 및 성과 ·····23

4. 목표 달성도 및 관련 분야 기여도 ·····57

5. 연구개발성과의 활용 계획 ·····63

6. 연구 과정에서 수집한 해외 과학기술 정보 ·····67

7. 연구개발성과의 보안등급 ·····69

8. 국가과학기술종합정보시스템에 등록한 연구시설 · 장비 현황 ···71

9. 연구개발과제 수행에 따른 연구실 등의 안전 조치 이행 실적 ·73

10. 연구개발과제의 대표적 연구 실적 ·····77

11. 기타 사항 ·····79

12. 참고 문헌 ·····81

〈 **Contents** 〉

1. Outline of Research and Development Task ·····13

2. Domestic and Foreign Technology Development Status 17

3. Research Perform Contents and Result ·····23

4. Objective Achievement Level and Related field Contributions ·····57

5. Application Plan of Research and Development Result ··63

6. Foreign Science Technology Information Collected in Research Process ·····67

7. Security Level of Research and Development Result ···69

8. Research Facilities and Equipment Status Registered to National Science and Technology Information System ·····71

9. Implementation Result of Safety Measure, such as lab according to performance of Research and Development Task ·····73

10. Representative Research Result of Research and Development Task ·····77

11. Other details ·····79

12. References ·····81

제 1장 연구개발과제의 개요

1절 연구개발 목적

기존에 개발된 콘크리트 충전 각형강관 기둥(ACT Column)은 철근콘크리트 기둥, 철골기둥, 철골철근콘크리트 기둥 대비 동일단면에 대해 저항성능이 높아 단면효율이 높은 공법이다. 그러나 강재의 성형단계에서 공장제작의 한계로 인해 단면 크기가 제한되었다(최대 : 616㎜×616㎜). 또한 고하중용 대형단면의 경우, 시공단계에서 콘크리트 타설 시 구조안전성 및 시공안전성을 확보하기 위해 외부 강재의 변형을 제어할 수 있는 보강요소가 필요하다. 또한 최근 국내·외에서 지진의 발생 빈도가 증가하고 있으며, 이에 대해 요구되는 보-기둥 접합부의 접합성능을 확보하는 것은 매우 중요하다.

따라서 본 연구는 기존 ACT Column의 장점은 유지하며, 단면크기 제한을 극복하고, 구조·시공안전성 확보 및 제작성과 합성효과를 증진시키는 합성기둥의 개발이 필요하다.

2절 연구개발의 필요성

최근 도시의 사무실 및 상업용 건물은 한정된 부지의 효율적인 이용을 위하여 고층화 되고 있다. 건축물의 고층화는 구조계획 측면에서 공간의 효율성을 요구할 뿐 아니라 주요 구조부재로서 인성, 고강도의 부재를 요구하고 있다. 초고층 건축은 용도의 다양화, 복합화, 의장의 기대감으로부터 종래의 구조적 제약 조건을 극복하고 장스팬 구조 및 공간의 효과적 이용을 가능하게 하는 구조형식이 요구되고 있다. 따라서 기존 공법과 비교하여 구조안전성, 시공성, 경제성, 제작성과 합성효과를 증진시키는 합성기둥의 개발이 필요하다.

1. 구조적 측면

기존의 콘크리트 충전 각형강관(Concrete Filled Steel Tube, CFT)구조는 폐단면 부재로써 휨모멘트를 부담하는 강관이 외측에 있고, 축력을 부담하는 콘크리트가 내측에 있어 강관이 내부 콘크리트를 구속한다. 한편 콘크리트가 강관의 국부좌굴을 막아주는 효과에 의하여 강도와 에너지 흡수 능력이 다른 구조시스템에 비해 우수하다. 이러한 CFT 기둥의 구조적인 특성으로 인하여 고층건물뿐만 아니라 저층건물 및 대공간 구조에서도 사용빈도가 늘어나는 추세이다. 그러나 기존 CFT 기둥은 강관의 두께와 상관없이 4개의 판을 모서리면에서 용접하여 제작해야 하므로 특수장비가 필요하기 때문에 대량생산 시 제작성이 떨어지게 된다. 또한,

콘크리트와 강관이 이질재료로서, 소요강도에 도달하기 전에 부착면이 먼저 탈락하기 때문에 일체거동을 나타내기 힘들다.

2. 사회 · 경제적 측면

최근 들어 IT/물류 산업이 국가 경제에 미치는 영향이 증가하고 있는 시점에서, IT/물류 산업경쟁력을 확보하여 최적입지 선정/확보와 최적화건설을 통한 건설비용과 공기를 적절히 관리하여야 한다. IT/물류 산업용건물의 구조시스템은 강구조가 널리 사용되어 왔다. 최근에는 높은 층고를 요구하는 고하중용 대형기둥이 적용되는 경우에, 철골철근콘크리트와 프리캐스트 구조가 채택되어 적용되고 있으나, 고가의 공사비와 공사의 복잡함 등으로 새로운 공법의 등장을 기대하고 있는 실정이다.

3. 시공적 측면

국내에도 경기활성화와 고용창출 등의 목적으로 100층 이상 규모의 초고층건물이 등장하고 있다. 초고층건물의 구조시스템으로는 외곽 메가컬럼과 내부 코어, 그리고 이의 강체거동을 유발하도록 아웃리거 시스템의 적용이 증가하고 있다. 123층 규모의 롯데월드타워에도 8개의 메가컬럼과 RC코어월, 그리고 두 세트의 아웃리거와 벨트트러스가 적용되었다. 그러나 철근콘크리트로 건설되는 메가컬럼의 시공 중에 발생했던 콘크리트 균열문제, 철근 · 거푸집 설치와 스팬드럴 철골트러스의 연결 등의 난해함으로 상당한 공기가 지연된 상황을 겪은 바 있다.

3절 연구개발 범위

본 연구에서 개발한 합성메가기둥의 시공단계 · 사용단계의 구조성능을 검증 및 평가하고, 설계법을 검토하였고, 내화성능을 검증하였다. 그리고 기둥 내부의 접합상세에 따라 보-기둥 접합부의 접합성능을 검증하였다. 따라서 합성메가기둥의 개발 내용 및 범위를 크게 다섯 가지로 분류하였다. 또한 본 연구개발은 합성구조 중 합성기둥에 대한 것으로, 웹사이트와 국내 관련학회에 제출된 합성기둥과 보-기둥 접합부에 대한 연구자료를 수집하였다. 또한 현장 적용과 관련된 건설신기술, 기술기사와 기술보고서 등을 수집하였다.

- 논문 검색 : http://www.ndsl.kr, www.riss.kr 등
- 관력 학회 : 한국강구조학회, 대한건축학회, 한국공간구조학회, 구조물유지관리공학회, 한국건축시공학회, 한국지진공학회 등
- 기술보고서 : 국토교통부 건설신기술, Bi-Steel, POSCO, NI-STEEL 등

1. 합성메가기둥의 시공단계 안전성 평가

① 가상의 폭 1m이상의 대형합성기둥을 대상으로 축소모델의 안전성 평가
② 해석 및 실험 모델 : 500㎜×500㎜, 1,000㎜×1,000㎜
③ 실험 방법 : 수압실험, 중심압축실험, 편심압축실험

④ 변수 : 보강 유 · 무, 보강 간격(1.0D, 0.5D), 보강 단면적(1.0, 2.0)

2. 합성메가기둥의 사용단계 구조성능 평가

① 합성메가기둥의 판폭-두께비 산정 평가 : 판폭-두께비에 따른 편심압축실험 수행
② 중심압축실험 모델 : 500㎜×500㎜×800㎜
③ 편심압축실험 모델 : 500㎜×500㎜×1,750㎜
④ 실험 방법 : 중심압축실험, 편심압축실험($e = 0.25D$ or $0.5D$)
⑤ 변수 : 보강 유 · 무, 보강 간격(1.0D, 0.5D), 보강 단면적(1.0, 2.0)

3. 보-기둥 접합부의 구조성능 평가

① 단순인장실험 모델 : 기둥(500㎜×500㎜, 650㎜×650㎜, 800㎜×800㎜)
② 실험 방법 : 기둥에 부착된 보 플랜지의 단순인장가력
③ 변수 : 기둥 단면(500㎜×500㎜, 650㎜×650㎜, 800㎜×800㎜),
보 플랜지(150×14T(고하중), 150×10T(일반하중), 100×8T(저하중),
보강형상(T형 스티프너, 수평스티프너, 바인딩프레임),
합성여부(합성, 비합성), 파괴위치(플랜지 파괴, 보강재 파괴)

4. 합성메가기둥의 내화성능 평가

① 가상의 폭 1m이상의 대형합성기둥을 대상으로 해석 및 실험적 검증을 통해 적정 내화피복량 평가

② 합성메가기둥의 잔존강도에 따른 내화피복과 내화성능 관계 검토

5. 합성메가기둥 구조시스템의 설계 및 제작 매뉴얼 개발

① 제안 형상의 샘플 제작 수행

② Mock-up Test 수행 및 현장 시범적용

③ 사업화/상용화의 활성화를 위한 제품품질확보 방안 제시

제 2장 국내외 기술 개발 현황

1절 국내외 기술 및 산업 동향

최근까지 국내 물류산업용 건축물에 적용되는 구조시스템은 대부분이 PC부재를 활용한 PC 구조시스템을 적용하였다. PC구조시스템은 PC 기둥 상부에 하프PC보 접합 후 PC바닥판을 설치하고 현장타설 콘크리트 슬래브를 통해 결합한다. 이러한 PC구조시스템은 일련의 시공과정이 1개층 단위로 수행되어 시공기간이 장기화되는 실정이다. 또한 보-기둥 접합상세는 '강기둥-약보'의 설계개념을 가지고 있으며, PC보가 단절되어 있다. PC보는 양단 외부로 돌출된 90° 후크를 기둥내부에 정착시키는 접합상세를 보인다. 이를 통해 단절된 보의 연속성을 확보할 수 있고, 접합부에서의 시공이 간편하다. PC구조시스템의 시공상황을 그림 2.1.1에 나타내었다.

그림 2.1.1 PC구조시스템 시공상황

국외에서는 강진지역인 일본에서 35~43층 규모의 고층건물이 40여동 정도 건설되어 있으며, 현재 54층 규모의 PC 건물이 계획단계에 있다. 또한 중국의 경우도 대련시에서 43층 규모의 Xiwang 빌딩이 건설되어 있으며, 미국의 대표적인 강진지역인 샌프란시스코에도 39층의 PC건물이 건설되어 있다. 이와 같이 국외에서는 기존의 벽식 PC 구조에서 탈피하여 보와 기둥으로 구성되는 골조형식에 스플라이스 강접방식을 활용한 시스템의 개발과 성능향상을 통하여 더욱더 안정적이고 경제적인 구조공법으로 진화되어 왔다.

2절 시장동향 분석

국내 건축시장은 2014년 약 84 조원 규모로 추산되고 있으며, 2011년부터 시장규모가 상승하고 있어 2016년에는 약 90조에 이를 것으로 예상되고 있다. 이와 같이 증가하는 건축시장에서 초고층빌딩과 물류산업건축물을 중심으로 합성구조시스템이 차지하는 비중은 증가할 것으로 예상된다. 또한 합성구조시스템은 대부분 공장에서 제작된 부재를 현장에서 단순 조립을 통해 시공되므로, 하락세를 보이는 강재가격과 반대로 국내 노무비의 상승추세를 고려할 때, 합성구조시스템의 적용사례는 증가할 것이다. 이러한 증가추세를 보이는 건축시장에서 본 합성메가기둥을 활용한 합성구조시스템은 개선된 구조안전성 · 시공성 · 경제성을 장점으로, 시장성이 매우 높다.

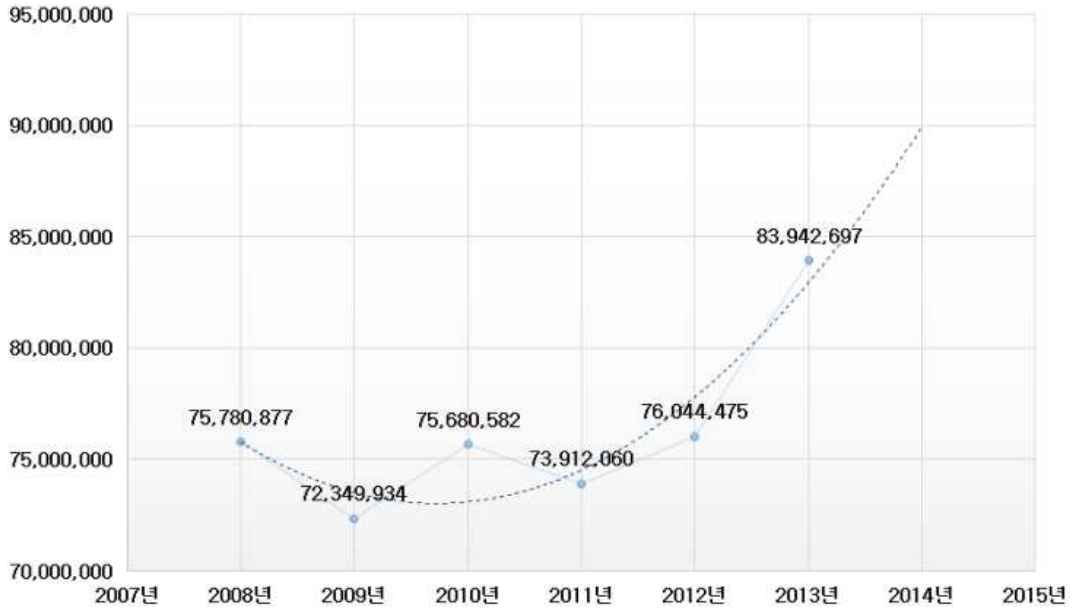


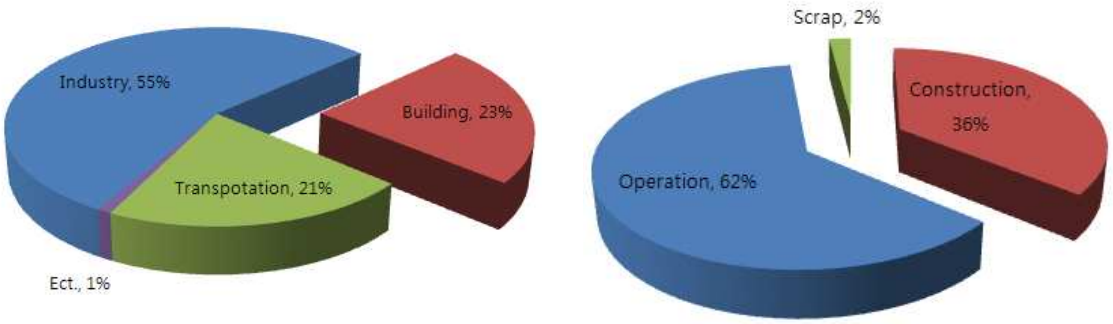
그림 2.2.1 국내 건축공사 비용(단위: 백만원)

3절 연구개발과제의 우수성

1. 환경적 측면

2008년까지 세계 9위였던 우리나라 이산화탄소 배출량이 2009년에는 한 단계 더 상승해 세계 8위를 기록한 것으로 조사됐다. 최근 미국 에너지 통계기관인 에너지정보청(EIA; Energy Information Agency)의 발표에 따르면, 2009년에 우리나라에서 배출된 이산화탄소량은 2008년에 비해 1.2% 늘어난 5억 2,813만 톤이었다. 이는 1990년에 비해 무려 118%가량 증가한 양이다. 이에 대해 우리나라는 국제사회로부터 탄소배출 저감 및 에너지 이용 효율화에 대한 지속적인 압박을 받고 있으며, 녹색성장을 위한 전방위적 전략을 수립하여 실행해 나가고 있는 상황이다. 국내 건설분야도 이러한 상황에 예외가 아니며, 친환경건설은 최근 건설산업에서 가장 중요한 이슈 중 하나이다. 국내 산업별로 에너지 소비현황을 보면 건물에서 발생되는 양이 23%에 육박하고 특히 건물의 전생애주기 내에서 건설단계가 36%를 차지하고 있다 .이 중 건설분야의 경우 시멘트와 철강의 생산 · 운반 · 시공을 위한 장비 및 인력의 이동 등에 전체 에너지의 42%가 소비되고 있다. 이는 시공단계에서 구조체에 대한 에너지절감 노력이 집중되어야 한다는 점을 보여주며, 합성메가기둥은 이러한 측면에서 유리한 구조체로 사용될 수 있다.

본 개발기술의 환경친화성을 평가하기 위하여 기존의 기둥과 합성메가기둥의 CO_2 배출량을 비교하였으며, 결과는 아래 표와 같다. 결과에 나타난 바와 같이 합성메가기둥은 현재 대부분의 건설공사에서 사용되는 철골철근콘크리트(SRC)기둥과 철근콘크리트(RC)기둥에 비해 CO_2 배출량이 더 적은 것으로 나타났다. 이는 합성메가기둥이 구조적, 경제적 장점을 바탕으로 이들을 대체하여 현장에 널리 보급될 경우, 기존보다 CO_2 배출량을 감소시킴으로써 건설분야에 직접적인 환경친화적 효과를 가져올 수 있다는 점을 시사한다. CO_2 배출 외에도 합성메가기둥은 거푸집을 사용하지 않는 공법으로 관련 폐기물을 발생시키지 않는다는 점에서 환경친화적 장점을 가지고 있다.



(a) 산업별 에너지소비 (b) 건물 생애주기 단계별 에너지 소비

그림 2.4.1 분야별 에너지 소비량

표 2.4.1 기존 기둥과 합성메가기둥의 CO_2 배출량 비교

기둥구분 (규격)	형상	자재	물량(A)	CO_2 배출계수(B)	CO_2배출량 (A×B) (kg-CO2)	RC기둥 대비
RC기둥 (950x950)		이형철근	1.6 tonf	0.3856	616.96	
		유로폼	4 EA	0.3954	1.58	
		콘크리트	7.22 ㎥	406.0871	2931.94	
		합계			3550.48	100%
SRC기둥 (750x750)		H형강	3.32 tonf	0.3856	1280.01	
		이형철근	0.6 tonf	0.3856	231.36	
		유로폼	4 EA	0.3954	1.58	
		콘크리트	4.5 ㎥	406.0871	1827.39	
		합계			3340.34	94.1%
합성메가기둥 (750x750)		강판	3.52 tonf	0.3954	1395	
		콘크리트	3.92 ㎥	406.0871	1591.86	
		합계			2986.86	84.1%

2. 기술적측면

강관 내부에 콘크리트를 충전하여 이질 된 건설재료가 하나의 구조체로서 작용한 콘크리트 충전강관 기둥은 90년대 후반부터 지속 적인 연구가 이어져 오고 있다. 근래에 들어서는 강재 가격의 상승과 고강도 콘크리트의 개발로 효율적으로 재료를 활용하고자 강재량을 절감하는 방법이 연구되고 소개되고 있다. 연구결과에 의하면 CFT기둥의 압축력 대부분을 콘크리트가 부담하도록 설계된 기둥에 얇은 두께의 강관을 이용하면 매우 경제적인 것으로 보고하였다. 또한, 이러한 연구결과를 바탕으로 KBC2009에서도 CFT기둥에 허용되는 보통 콘크리트의 강도를 21~70MPa(종래 21~55MPa)로 증가시키고, 폭두께비 제한도 $2.26\sqrt{E/F_y}$로 완화하여 고강도 콘크리트의 사용과 폭두께비가 큰 강관의 사용을 허용하였다.

그럼에도 각형CFT 기둥에 두께가 얇은 강판이 사용될 때 국부좌굴 발생이 우려되며, 일단 국부좌굴이 발생하면 강관은 콘크리트에 대한 구속효과를 발휘할 수 없게 되므로 단면의 효율성을 높이기 어렵다. 얇은 플레이트를 사용할 경우 강관자체 만으로 합성효과를 기대하기 어려우므로 콘크리트 충전 전에 내부에 스터드 볼트 또는 앵커볼트를 사용하여 합성효과를 유도

표 2.3.2 압축력을 받는 충전형 합성부재의 폭두께비 제한(KBC2016 표 0709.1.1)

구분	판폭두께비	λ_p 조밀/비조밀	λ_r 비조밀/세장	λ_{max} 최대허용
각형강관	b/t	$2.26\sqrt{\frac{E}{F_y}}$	$3.00\sqrt{\frac{E}{F_y}}$	$5.00\sqrt{\frac{E}{F_y}}$

하였다. 얇은 강관 내부에 스티프너를 설치함으로서 콘크리트 충전강관 기둥은 단면을 보다 효율적으로 사용할 수 있다. 기존 충전강관기둥과의 차별성에 있어서 다수의 단위부재를 조합하여 폐쇄형 단면형상을 구성하는 기본개념은 동일하나, 대형 각관으로서의 특성상 기둥재로서 기능하기 위하여 필수사항인 콘크리트의 타설하중을 지지하기 위하여 내부 Binding bar(Flat bar) 시스템의 구성은 기둥의 현장작업이 아닌 공장작업이 가능하다는 점으로 인해 시공성을 향상시키며 다양한 방식으로 합리적인 시스템을 적용할 수 있다는 점이 가장 큰 차이라고 볼 수 있다. 이러한 시스템은 기존의 CFT 구조에서는 적용된 바가 없는 새로운 시도이며, 또한 이렇게 적용된 내부 Flat bar는 경화 후에도 내력성능 향상에 기여할 수 있다는 점은 추가적인 연구개발 가치가 있는 특성이라고 할 수 있다. 본 개발기술은 기존의 충전강관 기둥의 한계를 극복하고 장점을 활용할 수 있는 신형상 대형 각형 합성기둥의 개발을 제안하게 되었으며, 이를 통하여 반도체 공장 등에서와 같이 높은 층고를 요하는 고하중이 작용하는 경우에 주로 적용하고 있는 SRC 기둥의 대안으로 적용하여 공사의 최대 난점인 거푸집 공사를 제거하고 더불어 경제성까지 확보하는 것이다.

3. 경제적 측면

가. 제작기간 단축

본 개발기술은 냉간성형된 강판을 공장에서 용접조립하여 대형각형강관을 구성하고, 현장에서 강관 내부에 콘크리트를 채움으로써 합성메가기둥을 완성한다. 따라서 그림 2.3.2와 같이 '원재료 → 성형 → 절단 → 용접 → 비파괴 검사 → 완성'의 단계로, 총 6단계의 작업과정을 거쳐 공장에서 제작된 대형각형강관은 현장으로 운반된다. 이러한 냉간 성형 제작과정의 장점은 복잡한 형상이라도 안정된 제품을 생산할 수 있으며, 정밀한 품질확보 및 균일한 제품으로 공장대량 생산이 가능하기 때문에 제작비가 저렴한 장점이 있다. 또한 4개의 강판을 모서리부에서 특수용접을 통해 강관을 구성하는 기존의 일반 CFT 공법과 비교하여 제작 기간이 약 50% 단축되기 때문에, 타 공법 대비 우수한 경쟁력을 확보하고 있다.

나. 공사비 절감

본 개발 기술은 타 공법 대비 원가 절감을 통해 경제성 증대가 가능하다. 개발기술의 원가 절감은 외부의 강관과 내부에 충전된 콘크리트의 상호 보완적 특성으로 인해 타 기둥 공법 대비 우수한 구조성능을 발휘하기 때문에다. 이를 통해 기둥 단면을 축소시킴으로써 강재량을 절감할 수 있다. 예를 들면, 그림 1.3.6(a)와 같이 H형강을 심재로 사용한 SRC 기둥의 단면은 1,100×1,100 이었으나, 개발기술을 적용하여 800×800 의 단면으로 단면적을 약 47% 감소하였다. 또한 이를 통해 기둥 공사비가 약 31%(20.9억) 절감(그림 1.3.6(b))하였으며, 그림 1.3.6(c)와 같이 SRC 기둥 대비 거푸집 설치 및 해체, 가설공정이 생략되어 공사기간이 단축되었다. 이러한 건축물 공사의 직접비 뿐만 아니라, 기둥 단면이 축소되면 가용면적이 증가하기 때문에 감소된 기둥 면적만큼 임대면적이 상승하여 건축물의 활용가치가 향상될 수 있다.

그림 2.3.2 제작기간 비교

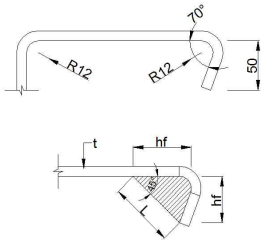
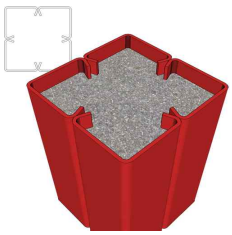
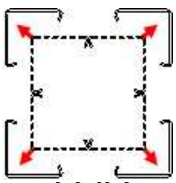
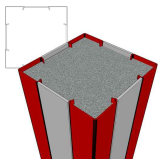
(a) 기둥 단면적 비교 (b) 공사비 비교 (c) 시공성 단순화

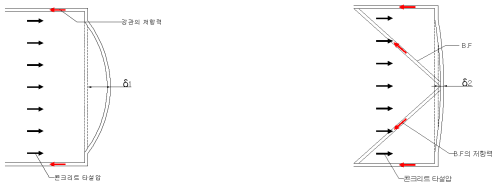
그림 2.3.3 철골 물량 및 공사비 비교

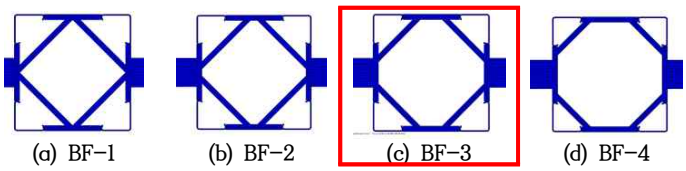
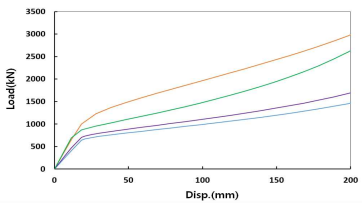
제 3장 연구 수행 내용 및 성과

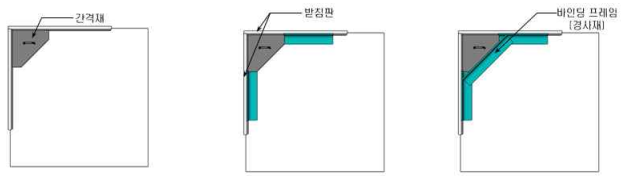
1절 연구 수행 내용

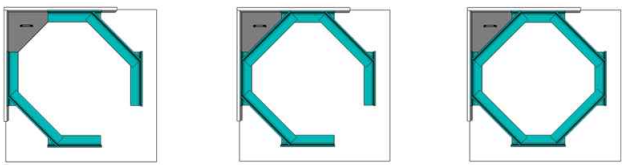
1. 합성메가기둥의 단면형상과 구성요소 결정

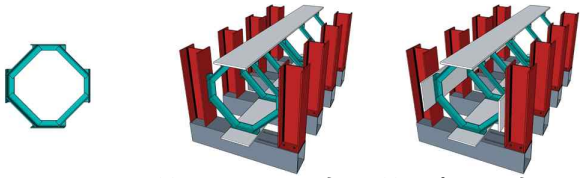
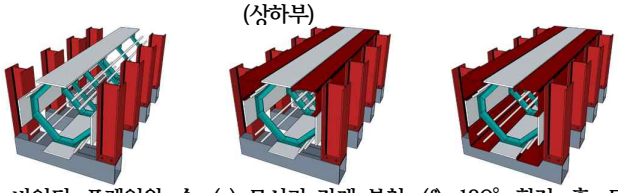
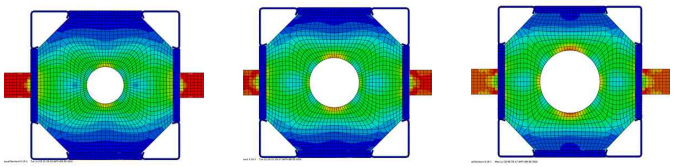
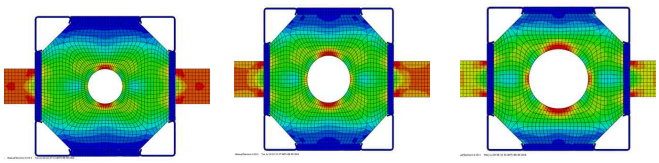
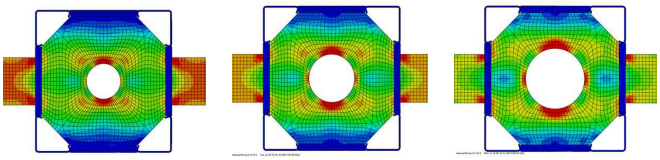
연구 목표	주요 연구 내용	연구 결과
• 기초문헌조사	• 특허동향 분석	• 합성기둥 : 12개 • 합성보 : 19개
	• 기존연구분석	• 강관 기둥의 구조(압축, 휨)성능 분석 • 콘크리트 충전 합성기둥의 형상에 따른 구조(압축, 휨)성능 분석 • 콘크리트 타설압에 의한 강관의 구조성능 분석
	• 국내외 설계기준 분석	• 미국 강구조기준 분석 : AISC 2011 • 국내 강구조기준 분석 : KSSC 2014, KBC 2016, 합성구조 설계매뉴얼, 강관구조편람
• 합성메가기둥 형상 제안	• 기둥단면 너비와 재하하중에 따른 모서리부와 변부의 조립요소 (Elements) 너비와 두께 결정	• 기존 ACT Column의 형상 – 내부 돌출부를 가지는 ㄱ자 앵글의 형태로 얇은 강판을 성형한 후, 리브가 맞닿는 위치에서 Flare 용접으로 조립 – 제작방법을 통해 제작이 용이하고, 용접에 의한 모서리 응력집중이나, 잔류응력의 영향을 감소 – 최대 단면크기 제한(618 × 618)  ㄱ자형 모서리 강재  ACT Column1 • 합성메가기둥 단면형상 제안 – 형상 : 모서리 강재 사이에 후판을 끼워 넣어 단면 확장 →최대 단면크기 제한의 극복 – 특징 : 후판의 두께와 폭길이를 조정하여 정방형 단면뿐만 아니라 장방형 단면의 설계가 가능 →다양한 현장 적용 가능, 강재보나 합성보가 직접 부착될 수 있어 접합상세가 단순화  단면 확장 강재 용접부  ACT Column2

<table>
<tr><th>연구 목표</th><th>주요 연구 내용</th><th>연구 결과</th></tr>
<tr>
<td></td>
<td>• 구속효과와 변형성능 극대화를 위한 Binding Frame 크기와 간격 제안</td>
<td>
• 콘크리트 타설압에 의한 강관의 구조안전성 검토
– 콘크리트 타설 시, 강관의 면외방향으로 압력이 작용하며, 이에 의해 강관은 면외변형 발생
– 강관의 내부에 대각으로 보강재를 부착하여 콘크리트 타설압에 대한 저항 메커니즘 검토
• 바인딩프레임
– 요구성능 : 콘크리트 타설시 측압에 의한 강관기둥의 면외변형에 대한 제어
– 형상 : 평판 위에 경사재로 사용되는 앵글을 용접하여 부착하고, 8각형의 형상을 구성


(a) 타설압에 의한 강관 변형 (b) 타설압에 대한 BF의 저항 메커니즘
• 유한요소해석 통한 최적 바인딩프레임 형상 도출
<table>
<tr><th>모델명</th><th>기둥 폭(㎜)</th><th>설치 위치(후판=TP)</th><th>실험체 길이(㎜)</th></tr>
<tr><td>BF-1</td><td>1,200</td><td>0.5TP</td><td>1,200</td></tr>
<tr><td>BF-2</td><td>1,200</td><td>0.375TP</td><td>1,200</td></tr>
<tr><td>BF-3</td><td>1,200</td><td>0.25TP</td><td>1,200</td></tr>
<tr><td>BF-4</td><td>1,200</td><td>0.125TP</td><td>1,200</td></tr>
</table>

(a) BF-1 (b) BF-2 (c) BF-3 (d) BF-4
– 콘크리트 측압과 보 플랜지의 단순 인장력에 저항하며, 후판의 외각으로 설치할수록 기둥의 내력증가
– BF-4가 구조성능은 우수하나, 제작성 고려하여 BF-3 선정


</td>
</tr>
<tr>
<td></td>
<td>• 제작 방법 정립</td>
<td>
• 바인딩프레임 제작


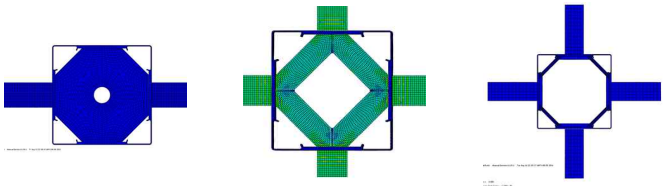
(a) 받침간격재 설치 (b) 수평재 거치 (c) 경사재 용접

(d) 두 부재 거치 (e) 경사재 용접 (f) 경사재 용접
</td>
</tr>
</table>

연구 목표	주요 연구 내용	연구 결과
		• 합성메가기둥 제작  (a) 바인딩프레임 제작 (b) 일정간격으로 후판에 바인딩 프레임 부착 (상하부) (c) 90° 회전 후 나머지 후판 부착  (d) 바인딩 프레임의 수직lag에 철근 부착 (e) 모서리 강재 부착 (가접) (f) 180° 회전 후 모서리 강재 부착 (가접) • 특허출원 : 2건 – 출원번호 : 10-2017-0008342 – 출원번호 : 10-2017-0008343
	• 내부다이아프램의 두께와 크기 결정	(1) 유한요소해석을 통한 내부다이아프램 하중전달 양상 분석 • 목적 : 내다이아프램의 하중전달 양상을 분석하여 최적의 형상 산출 • 변수 : 보 플랜지 너비, 중앙부 홀 크기) • 해석 결과 : 플랜지 외각부로 응력집중, 홀의 크기가 작을수록 응력전달 원활(두께 :10T, 중앙홀 : 300㎜ 선정) • 플랜지너비 : 200㎜  Hole 300 Hole 400 Hole 500 – 플랜지너비 : 300㎜  Hole 300 Hole 400 Hole 500 – 플랜지너비 : 400㎜  Hole 300 Hole 400 Hole 500 (2) 보-기둥 접합부의 내다이아프램 형상 • 목적 : 합성메가기둥의 모멘트 접합 시 내다이아프램의 하중전달성능 분석

연구 목표	주요 연구 내용	연구 결과

• 해석 일람표

번호	내다이아프램 형상	보강재 단면적 (㎟)	비고
1	무보강	–	보 플랜지 : 300x20㎜ 단면 : 1,200x1,200㎜ 강종 : SM490
2	수평스티프너	9427	
3	T형스티프너	5483	
4	바인딩프레임	546	
5	바인딩프레임	1055	

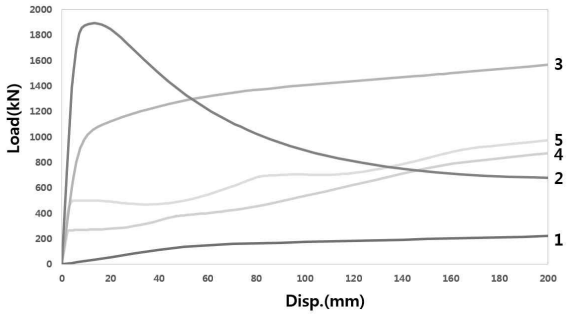


수평 스티프너　　T형 스티프너　　바인딩 프레임

• 해석결과

– 파괴모드 구분 – 수평스티프터 : 보플랜지 항복
–T형스티프너, 바인딩프레임 : 보강재 항복

– 작용하중에 따라 내다이아프램의 형상을 구분하여 적용 가능



보강재별 하중–변위 관계

2. 합성메가기둥의 구조성능 검증과 설계법 제안

연구 목표	주요 연구 내용	연구 결과
• 합성메가기둥 구조성능 검증	• 구속효과와 변형성능의 충분한 발현을 위한 이론적 연계성 분석	(1) 시공단계에서의 안전성 평가 • 콘크리트 타설 시 타설압력에 대한 구조기준 분석 ① 콘크리트 타설압 산정 $p = W \times H$ 여기서, p : 콘크리트의 타설압(kN/㎡) W : 굳지 않은 콘크리트의 단위 중량(kN/㎥) H : 콘크리트의 타설 높이(m) ② 콘크리트 타설 높이 검토 i) 강도에 대한 검토(각형강관인 경우) $h \le \frac{2F_y}{\gamma(B/t)^2} \times 10^4 \times \alpha(m) \quad h \le 60m$ 여기서, h : 최고 타설 높이(m) F_y : 강관의 항복강도(tf/㎠) $D/t, B/t$: 강관의 폭두께비 γ : 콘크리트 단위 용적 질량(tf/㎥) α : 실험 등을 통해 산정 (α= 1.0~0.8) ii) 변형에 대한 검토(각형단면에 대해서만 검토) – $B \le 600mm$인 경우 $h \le \frac{0.16E}{\gamma(B/t)^3} \times 10^4 \times \alpha(m)$, $h \le 60m$ – $B \ge 600mm$인 경우 $h \le \frac{9.6E}{\gamma(B/t)^3 B} \times 10^4 \times \alpha(m)$, $h \le 60m$ 여기서, E : 강관의 탄성계수(tf/㎠) B : 강관의 폭(㎜) t : 강관의 판두께(㎜) • 시공하중에 대한 강관기둥의 안전성 확보 – 시공단계에서는 강관기둥으로만 시공하중에 대해 저항 – 강관기둥 압축성능이 시공하중에 대해 충분한 압축성능 확보 – 강관기둥의 압축성능은 강재단면의 단면내력으로 산정 (2) 사용단계에서의 이론적 구조성능 평가 • KBC2016 기준 분석 ① 재료강도 제한 – 콘크리트의 설계기준압축강도는 21MPa이상이여야 하며, 70MPa를 초과할 수 없다. – 구조용 강재 및 철근의 설계기준항복강도는 650MPa를 초과할 수 없다. ② 충전형 합성기둥의 구조제한 – 강관의 단면적은 합성기둥 총 단면적의 1% 이상 – 충전형 합성부재는 판폭두께비 제한에 따라서 국부좌굴 효과를 고려하여 분류한다. ③ 판폭두께비 제한

연구 목표	주요 연구 내용	연구 결과

- KBC2016 : 판폭두께비가 조밀/비조밀/세장 단면으로 구분되며, 최대 허용제한 제시
- 압축력을 받는 충전형 합성부재 폭두께비 제한

구분	판폭두께비	λ_p 조밀/비조밀	λ_r 비조밀/세장	$\lambda_{\max}$ 최대허용
각형강관	b/t	$2.26\sqrt{\frac{E}{F_y}}$	$3.00\sqrt{\frac{E}{F_y}}$	$5.00\sqrt{\frac{E}{F_y}}$

- 휨을 받는 충전형 합성부재 폭두께비 제한

구분	판폭두께비	λ_p 조밀/비조밀	λ_r 비조밀/세장	$\lambda_{\max}$ 최대허용
각형강관 플랜지	b/t	$2.26\sqrt{\frac{E}{F_y}}$	$3.00\sqrt{\frac{E}{F_y}}$	$5.00\sqrt{\frac{E}{F_y}}$
각형강관 웨브	h/t	$3.00\sqrt{\frac{E}{F_y}}$	$5.70\sqrt{\frac{E}{F_y}}$	$5.70\sqrt{\frac{E}{F_y}}$

④ 압축강도

- 세장비를 고려한 압축강도

$\frac{P_{no}}{P_e} \le 2.25$ 인 경우, $P_n = P_{no}\left[0.658^{\left(\frac{P_{no}}{P_e}\right)}\right]$

$\frac{P_{no}}{P_e} > 2.25$ 인 경우, $P_n = 0.877P_e$

여기서, $P_e = \pi^2(EI_{eff})/(KL)^2$

$$EI_{eff} = E_sI_s + E_{sr}I_{sr} + C_3E_cI_c$$

$$C_3 = 0.6 + 2\left(\frac{A_s}{A_c + A_s}\right) \le 0.9$$

- 판폭두께비를 고려한 압축강도

i) 조밀단면

$$P_{no} = P_p$$

여기서, $P_p = F_yA_s + F_{yr}A_{sr} + C_2f_{ck}A_c$

C_2 : 사각형단면에서 0.85,

$D_c : D - 2t$ (t : 강관의 두께)

ii) 비조밀단면

$$P_{no} = P_p - \frac{P_p - P_y}{(\lambda_r - \lambda_p)^2}(\lambda - \lambda_p)^2$$

여기서, λ, λ_p와 λ_r은 판폭두께비 제한값

$$P_y = F_yA_s + 0.7f_{ck}\left(A_c + A_{sr}\frac{E_s}{E_c}\right)$$

iii) 세장단면

$$P_{no} = F_{cr}A_s + 0.7f_{ck}\left(A_c + A_{sr}\frac{E_s}{E_c}\right)$$

연구 목표	주요 연구 내용	연구 결과

여기서, 각형단면 : $F_{cr} = \dfrac{9E_s}{(b/t)^2}$

원형단면 : $F_{cr} = \dfrac{0.72F_y}{\left[(D/t)(F_y/E_s)\right]^{0.2}}$

• 단면구성과 상세 조정에 따른 해석적/실험적 구조내력 평가

(1) 콘크리트 타설압에 대한 안전성 평가

• 유한요소해석과 수압실험을 통해 콘크리트 타설압(0.23 MPa)과 변형량 제한값(3.0 ㎜)에 대한 합성메가기둥의 안전성 평가 수행

① 유한요소 해석

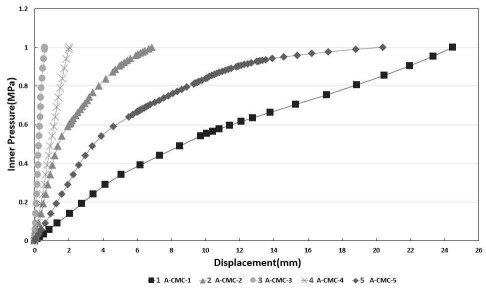
– 해석모델 일람

No.	실험체명	기둥 폭	바인딩프레임(앵글)	실험체 길이
1	A-CMC-1	500㎜	무보강	1,500㎜
2	A-CMC-2	500㎜	보강앵글 기본방향 (40×40×3)	1,500㎜
3	A-CMC-3	500㎜	보강간격 1/2배	1,500㎜
4	A-CMC-4	500㎜	기본방향 단면적 2배 (60×60×4)	1,500㎜
5	A-CMC-5	1,000㎜	보강앵글 기본방향 (60×60×4)	3,000㎜

– 항복압력 : 0.54 MPa(타설압 대비 2.3배)

– 변형량 : 0.23 MPa 시 1.0㎜ 이내

구분	초기강성 (MPa/㎜)	항복압력 (MPa)	비고
A-CMC-1	0.071	0.291	무보강
A-CMC-2	0.340	0.541	보강앵글 기본방향 (40×40×3)
A-CMC-3	1.984	0.841	보강간격 1/2배
A-CMC-4	0.524	0.841	기본방향 단면적 2배 (60×60×4)
A-CMC-5	0.146	0.491	보강앵글 기본방향 (60×60×4)



② 수압실험

– 실험체 일람

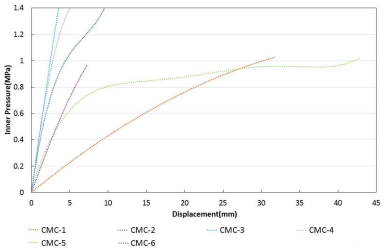
No.	실험체명	기둥 폭 (㎜)	바인딩프레임(앵글)	실험체 길이 (㎜)	기둥 이음	용접 개선
1	CMC-1	500	무보강	1,500	X	X
2	CMC-2	500	보강앵글 기본방향 (40×40×3)	1,500	X	X
3	CMC-3	500	보강간격 1/2배	1,500	X	X
4	CMC-4	500	기본방향 단면적 2배 (60×60×4)제작	1,500	X	X
5	CMC-5	1,000	보강앵글 기본방향 (60×60×4)제작	3,000	O	X
6	CMC-6	500	보강앵글 기본방향 (40×40×3)	1,500	X	O

연구 목표	주요 연구 내용	연구 결과

– 수압실험결과

폭 500 ㎜

폭 1,000 ㎜



수압-변위 관계

구분	CMC-1	CMC-2	CMC-3	CMC-4	CMC-5	CMC-6
초기강성 (MPa/㎜)	0.042	0.131	0.389	0.259	0.147	0.337
항복압력 (MPa)	0.854	1.017	1.410	0.85	0.598	0.693

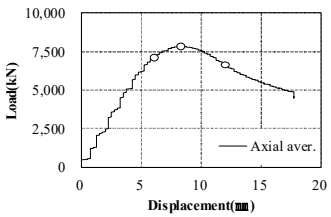
(2) 시공하중에 대한 강관의 압축성능 평가

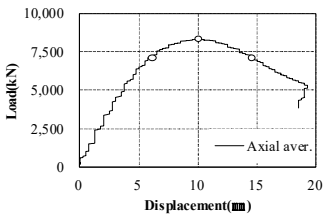
- 목적 : 콘크리트 충전되지 않은 합성메가기둥의 중심압축실험을 통해 구조성능 및 거동 바인딩프레임의 효과를 평가
- 실험계획
  - 변수 : 바인딩 프레임 보강유 · 무
  - 실험체 일람

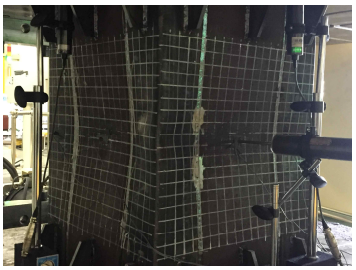
실험체명	기둥 폭 (㎜)	콘크리트 충전	보강여부	보강간격	보강 단면적
C-X-N	500	X	–	–	–
C-X-B	500	X	바인딩프레임	1.0D	25×25×6

– 보강효과로 약 17% 높은 강성, 약 13% 높은 압축강도를 발휘

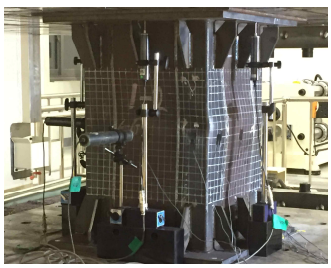
실험체명	K_i (kN/㎜)	P_y (kN)	P_{max} (kN)	$\frac{P_{max}}{P_y}$	δ_y (㎜)	δ_{Pmax} (㎜)	$\frac{\delta_{Pmax}}{\delta_y}$
C-X-N	1,254.6	7,200	7,841.2	1.09	6.1	8.25	1.35
C-X-B	1,473.7	7,200	8,289.7	1.15	6.2	10.0	1.61







C-X-N



C-X-B

연구 목표	주요 연구 내용	연구 결과

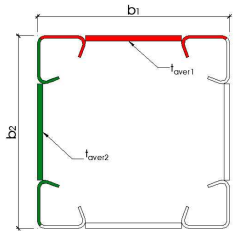
– 바인딩프레임 효과로 인해 강관의 판폭두께비가 비조밀단면 기준값(35.1)을 초과하는 세장판(51.2)임을 고려한 설계값을 상회하는 매우 높은 압축강도 발현

실험체명	$P_{\max}$(kN)	P_{theory}(kN)	$P_{\max}/P_{theory}$
C-X-N	7,841	7,257.5	1.01
C-X-B	8,289		1.14

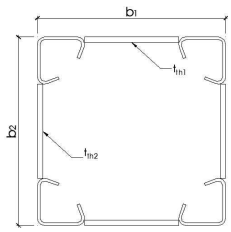
(3) 합성단계의 구조성능 평가

① 판폭-두께비 평가

- 판폭-두께비에 따른 압축강도식 각각 적용(KBC2016)
- 두께가 상이한 모서리강재와 후판의 조합단면이므로, 판폭-두께비 산정평가 필요
- 방법 1 : 평균두께 사용
- 방법 2 : 후판두께 사용



Average thickness



Thick plate' s thickness

– 실험체 일람(편심압축실험)

NO.	Specimens	Cross section of steel				Filled	Eccentric	Distance of B.F	Steel grade
		$t_{a.g}$ (mm)	t_{th} (mm)	t_{aver} (mm)	b/t				
1	ACT-C-F-E0.25D-1.5D	7	14	10.5	조밀 47.62	F	0.25D	1.5D	SM490
2	ACT-C-F-E0.25D-1.0D							1.0D	
3	ACT-C-F-E0.5D-1.5D						0.5D	1.5D	
5	ACT-C-NF-E0.25D-1.5D					NF	0.25D	1.5D	
6	CFT-C-F-E0.25D-X	–	–	10.5		F	0.25D	–	
7	ACT-NC-F-E0.25D-1.5D	5	10	8	비조밀 66.67	F	0.25D	1.5D	SS400
9	CFT-NC-F-E0.25D-X			8		F	0.25D	–	
10	ACT-S-F-E0.25D-1.5D	3.2	7	5.0	세장 98.04	F	0.25D	1.5D	
12	CFT-S-F-E0.25D-X			5.0		F	0.25D	–	

– 실험 결과

NO.	Specimens	K_i (kN/mm)	$P_{\max}$ (kN)	$\delta_{\max}$ (mm)
1	ACT-C-F-E0.25D-1.5D	1,745.43	8,995.3	10.02
2	ACT-C-F-E0.25D-1.0D	1,790.55	9,386.1	12.53
3	ACT-C-F-E0.5D-1.5D	893.34	6,316.2	14.83
4	ACT-C-NF-E0.25D-1.5D	1,547.30	5,562.3	5.67
5	CFT-C-F-E0.25D-X	1,786.72	6,500.5	6.83
6	ACT-NC-F-E0.25D-1.5D	1,216.66	5,727.5	10.07
7	CFT-NC-F-E0.25D-X	1,504.54	4,350.3	7.62
8	ACT-S-F-E0.25D-1.5D	995.25	4,532.2	9.57
9	CFT-S-F-E0.25D-X	848.88	3,778.9	9.13

– ACTⅡ 기둥 조밀·비조밀단면 실험체는 최대하중 발현 이후 내력저하 구간에서 압축부 강판에 변형 발생

연구 목표	주요 연구 내용	연구 결과

- CFT 기둥 조밀·비조밀·세장단면 실험체는 모두 최대 하중에 도달하기 전에 압축측 상부에서 면외방향으로 변형 발생

(a) ACT-C-F-E0.25D-1.5D

(b) ACT-C-F-E0.25D-1.0D

(c) ACT-C-F-E0.5D-1.5D

(d)ACT-C-NF-E0.25D-1.5D

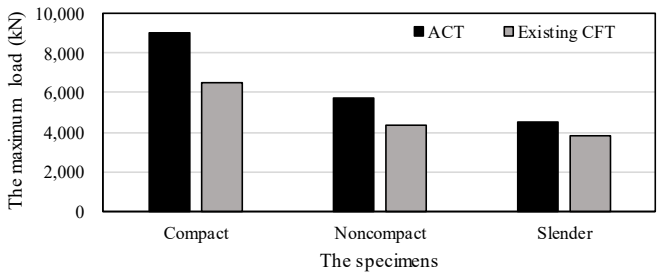
(e) CFT-C-F-E0.25D-X

(f)ACT-NC-F-E0.25D-1.5D

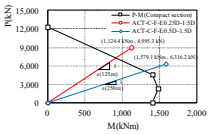
(g) CFT-NC-F-E0.25D-X

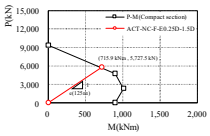
(h) ACT-S-F-E0.25D-1.5D

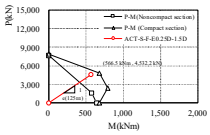
(i) CFT-S-F-E0.25D-X



- 평균두께를 사용한 판폭-두께비 규정에 의한 성능을 모두 월등히 상회하였음.
- 중앙부 후판의 두께를 사용한 판폭-두께비에 의한 구분에 대해서도 충분히 압축성능 만족하였음.
- 후판폭이 기둥폭의 50% 이상인 경우로 설계범위 제한


The compact section


The noncompact section


The slenderness section

연구 목표	주요 연구 내용	연구 결과

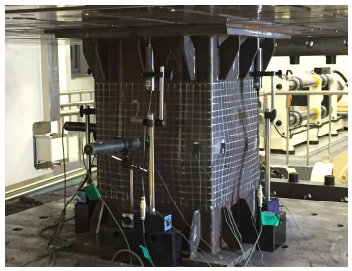
② 중심압축실험

- 변수 : 바인딩프레임의 보강 유무, 보강 간격, 보강단면적
- 실험체 일람

Specimens	기둥 폭 (㎜)	콘크리트 (24MPa)	보강여부	보강간격	보강 단면적
C-F-N	500	O	-	-	-
C-F-B	500	O	B.F	1.0D	1.0(264㎟)
C-F-B-2A	500	O	B.F	1.0D	2.0(528㎟)
C-F-B-0.5S	500	O	B.F	0.5D	1.0(264㎟)

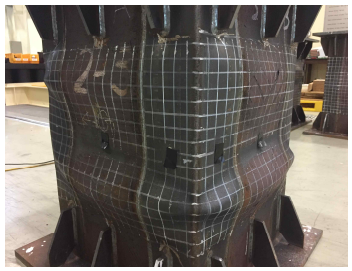
- 바인딩프레임 보강효과로 압축강도 12% 이상 증가 및 단면내력 대비 110% 압축성능 발휘
  → 콘크리트 구속효과 증진
- 바인딩프레임의 구속효과로 인한 내력 증대와 국내외 설계식 만족하여 적용 가능성 확보
- 바인딩프레임은 단면 크기보다 배치간격을 좁게 하여 강판의 좌굴길이를 줄이는 것이 더 효과적임.

Specimens	K_i (kN/㎜)	P_y (kN)	P_{max} (kN)	The ratio for C-F-N		
				K_i	P_y	P_{max}
C-F-N	2,233	12,300	13,957	-	-	-
C-F-B	2,496	13,100	15,603	1.12	1.07	1.12
C-F-B-2A	2,572	14,150	16,072	1.15	1.15	1.15
C-F-B-0.5S	2,430	14,150	16,418	1.09	1.15	1.18



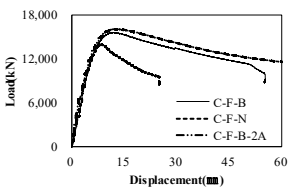
(a) C-F-N

(b) C-F-B

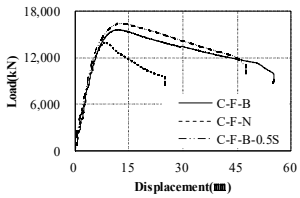


(c) C-F-B-2A

(d) C-F-B-0.5S



바인딩프레임의 크기



바인딩프레임의 간격

연구 목표	주요 연구 내용	연구 결과

③ 편심압축 실험

- 변수 : 편심하중, 보강 간격, 보강단면적
- 실험체 일람

실험체	기둥 폭 (㎜)	콘크리트 (24MPa)	보강 여부	보강 간격	보강 단면적 (㎟)	편심비
E0.25-N	500	O	-	-	-	0.25D
E0.5-N			-	-	-	0.5D
E0.25-B			B.F	1.0D	1.0(264)	0.25D
E0.5-B			B.F	1.0D	1.0(264)	0.5D
E0.25-B-2A			B.F	1.0D	2.0(528)	0.25D
E0.5-B-2A			B.F	1.0D	2.0(528)	0.5D
E0.25-B-0.5S			B.F	0.5D	1.0(264)	0.25D
E0.5-B-0.5S			B.F	0.5D	1.0(264)	0.5D

Specimens	K_i (kN/㎜)	P_{max} (kN)	The ratio for E0.25-N or E0.5-N	
			K_i	P_{max}
E0.25-N	2,959.9	8,346.8	1.0	1.0
E0.25-B	2,893.8	8,507.7	1.0	1.02
E0.25-B-2A	3,076.4	8,675.4	1.04	1.04
E0.25-B-0.5S	3,332.2	9,196.9	1.13	1.10
E0.5-N	1,091.5	5,435.9	1.0	1.0
E0.5-B	1,065.5	5,689.9	1.0	1.05
E0.5-B-2A	1,336.3	5,933.4	1.22	1.09
E0.5-B-0.5S	1,062.9	6,122.0	1.0	1.13

(a) E0.25-N

(b) E0.5-N

(c) E0.25-B

(d) E0.5-B

(e) E0.25-B-2A

(f) E0.5-B-2A

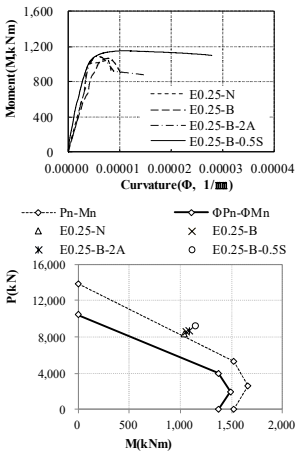
(g) E0.25-B-0.5S

(h) E0.5-B-0.5S

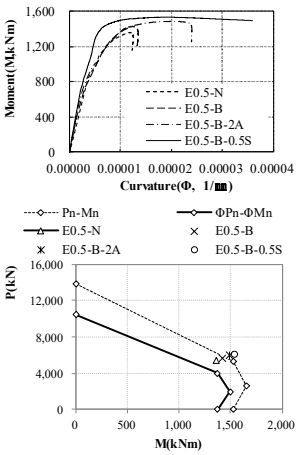
<table>
<tr><th>연구 목표</th><th>주요 연구 내용</th><th>연구 결과</th></tr>
<tr><td></td><td></td><td>

– 보강효과 : 강성 및 최대강도 향상
– 바인딩프레임은 단면 크기보다 배치간격을 좁게 하여 강판의 좌굴길이를 줄이는 것이 더 효과적임.
– 보강프레임이 강관의 면외변형을 억제하여 내부 콘크리트의 구속효과 증진
→ P-M상관관계 만족

<table>
<tr><th rowspan="2">Specimens</th><th rowspan="2">EI (Nmm²)</th><th rowspan="2">M_{max} (kNm)</th><th colspan="2">The ratio for E0.25-N or E0.5-N</th></tr>
<tr><th>EI</th><th>M_{max}</th></tr>
<tr><td>E0.25-N</td><td>2.08E+14</td><td>1,043.4</td><td>1</td><td>1</td></tr>
<tr><td>E0.25-B</td><td>1.97E+14</td><td>1,063.5</td><td>0.95</td><td>1.02</td></tr>
<tr><td>E0.25-B-2A</td><td>2.79E+14</td><td>1,084.4</td><td>1.34</td><td>1.04</td></tr>
<tr><td>E0.25-B-0.5S</td><td>2.76E+14</td><td>1,149.6</td><td>1.33</td><td>1.10</td></tr>
<tr><td>E0.5-N</td><td>2.30E+14</td><td>1,359.0</td><td>1</td><td>1</td></tr>
<tr><td>E0.5-B</td><td>2.30E+14</td><td>1,422.5</td><td>1.00</td><td>1.05</td></tr>
<tr><td>E0.5-B-2A</td><td>2.58E+14</td><td>1,483.3</td><td>1.12</td><td>1.09</td></tr>
<tr><td>E0.5-B-0.5S</td><td>2.64E+14</td><td>1,530.5</td><td>1.14</td><td>1.13</td></tr>
</table>



E0.25 series

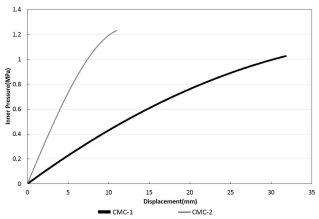


E0.5 series

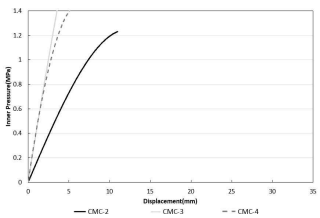
</td></tr>
<tr><td>• 합성메가기둥의 설계법 제안</td><td>• 연구결과 분석을 통한 최적의 구성요소 확정</td><td>

(1) 콘크리트 타설압에 대한 바인딩프레임 보강
• 바인딩프레임의 간격과 단면적에 대한 성능비교
– 바인딩프레임에 의해 타설압에 대한 저항성능 향상
– 보강간격을 좁게 하는 것이 초기강성과 항복강도가 높음

<table>
<tr><th>구분</th><th>CMC-2</th><th>CMC-3</th><th>CMC-4</th></tr>
<tr><td>초기강성 (MPa/㎜)</td><td>0.131</td><td>0.389</td><td>0.259</td></tr>
<tr><td>항복압력(MPa)</td><td>1.017</td><td>1.410</td><td>0.85</td></tr>
</table>



바인딩프레임 유 · 무



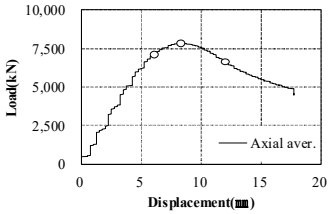
바인딩프레임 간격 · 단면적

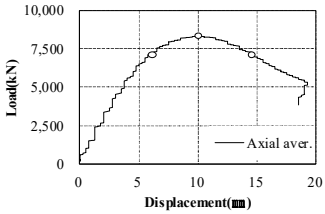
(2) 시공하중에 대한 강관기둥의 저항성능
• 보강효과로 축강성 및 압축강도 10% 이상 향상
• 세장단면으로 분류된 강관기둥의 압축강도 대비 115% 성능 발현

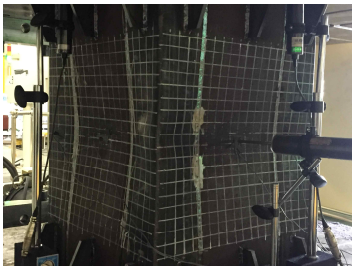
</td></tr>
</table>

연구 목표	주요 연구 내용	연구 결과

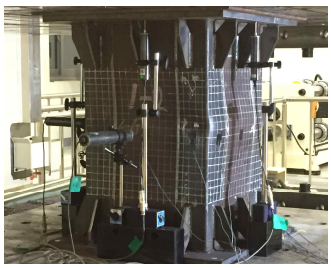
실험체명	K_i (kN/㎜)	P_y (kN)	P_{max} (kN)	$\frac{P_{max}}{P_y}$
C-X-N	1,254.6	7,200	7,841.2	1.09
C-X-B	1,473.7	7,200	8,289.7	1.15







C-X-N

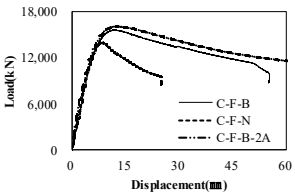


C-X-B

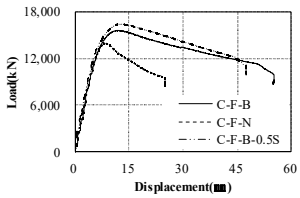
(3) 중심압축실험에 의한 최적 바인딩프레임 형상 선정

- 바인딩프레임은 단면 크기보다 배치간격을 좁게 하여 강판의 좌굴길이를 줄이는 것이 더 효과적임.

Specimens	K_i (kN/㎜)	P_y (kN)	P_{max} (kN)	The ratio for C-F-B		
				K_i	P_y	P_{max}
C-F-B	2,233	12,300	13,957	-	-	-
C-F-B-2A	2,496	13,100	15,603	1.03	1.08	1.03
C-F-B-0.5S	2,572	14,150	16,072	0.97	1.08	1.05



바인딩프레임의 크기비교

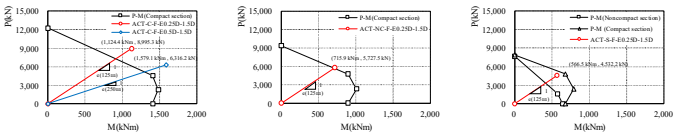
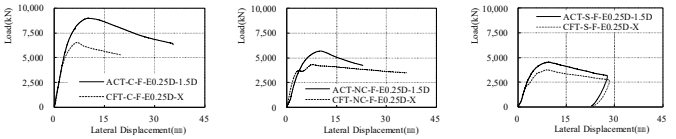
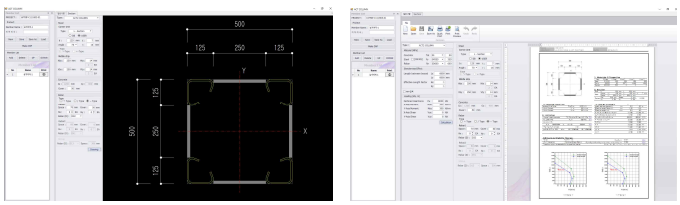
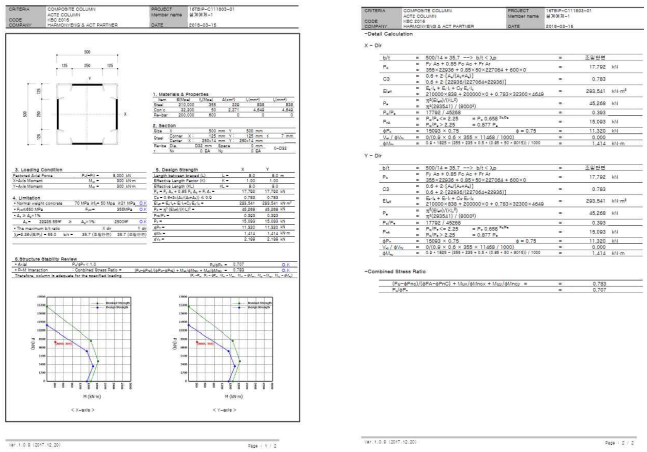


바인딩프레임의 간격비교

(4) 편심압축실험에 의한 최적 바인딩프레임 형상 선정

- 보강프레임이 강관의 면외변형을 억제하여 내부 콘크리트의 구속효과 증진
- 바인딩프레임은 단면 크기보다 배치간격을 좁게 하여 강판의 좌굴길이를 줄이는 것이 더 효과적임

Specimens	EI (N㎟)	M_{max} (kNm)	The ratio for E0.25-B or E0.5-B	
			EI	M_{max}
E0.25-B	2,893.8	8,507.7	1.0	1.0
E0.25-B-2A	3,076.4	8,675.4	1.06	1.02
E0.25-B-0.5S	3,332.2	9,196.9	1.15	1.08
E0.5-B	1,065.5	5,689.9	1.0	1.0
E0.5-B-2A	1,336.3	5,933.4	1.25	1.04
E0.5-B-0.5S	1,062.9	6,122.0	1.00	1.08

연구 목표	주요 연구 내용	연구 결과
	• 합성메가기둥의 구조내력식 제안과 설계법 제시	(1) 합성메가기둥의 판폭-두께비 산정방법 • 평균두께에 의해 비조밀단면·세장단면으로 계획한 실험체가 조밀단면·비조밀단면에 의한 압축성능 만족함. • 중앙부 후판의 두께를 사용한 판폭-두께비에 의한 구분에 대해서도 충분히 압축성능 만족하였음. • 후판폭이 기둥폭의 50% 이상인 경우에 대해 후판의 두께로 판폭-두께비 산정 가능함.  The compact section　The noncompact section　The slenderness section (2) 시공단계시 강관의 압축강도 설계 • 바인딩프레임 효과로 인해 강관의 판폭두께비에 따른 설계값을 충분히 만족함. 실험체명 / P_{max}(kN) / P_{theory}(kN) / P_{max}/P_{theory} C-X-N / 7,841 / 7,257.5 / 1.01 C-X-B / 8,289 / 1.14 (3) 합성메가기둥과 일반 CFT기둥과의 성능비교 • 평균두께를 사용한 판폭-두께비 규정에 의해 합성메가기둥과 일반 CFT기둥과의 압축성능 비교  The compact section　The noncompact section　The slenderness section (3) 합성메가기둥의 설계프로그램 개발 • 설계실무자가 사용이 용이한 GUI 구조설계프로그램 개발  합성메가기둥 단면설계 input  합성메가기둥 단면설계 구조계산서

3. 합성메가기둥의 내화성능 확보와 무내화피복 구현

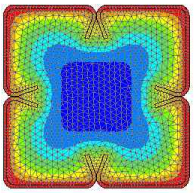
연구 목표	주요 연구 내용	연구 결과
• 합성메가기둥 내화성능 검증	• 합성메가기둥의 크기별 화재후 잔존내력의 해석적 분석	

(1) 고온재료 특성

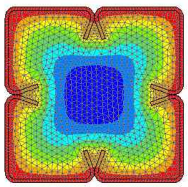
계수와 상수 값	강재	콘크리트
복사 계수 (W/m^2K)	25	10
열 방사율	0.7	0.8
밀도 (kg/m^3)	7840	2400
포아송 비	0.3	0.18
스테판-볼츠만 복사 상수(W/m^2K^4)	2.67×10-8	2.67×10^{-8}

(2) 기존 합성기둥 내화실험의 해석 모델 비교

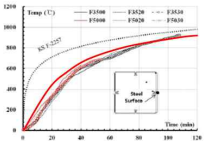
• 온도 측정 결과 2시간 후에 유사한 온도 분포 확인



1시간



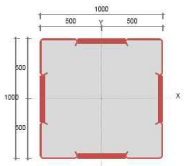
2시간



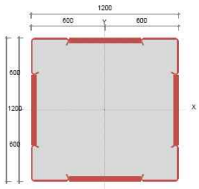
시간-온도 그래프

(3) 합성메가기둥의 내화해석 수행

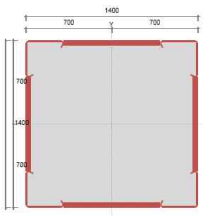
• 해석모델



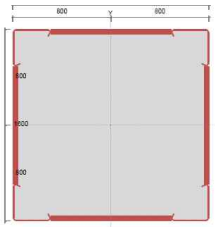
(1) 1,000㎜



(2) 1,200㎜

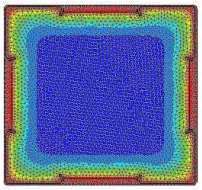


(3) 1,400㎜

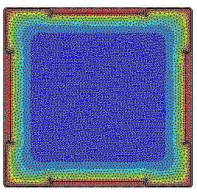


(4) 1,600㎜

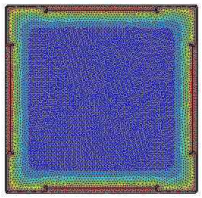
• 3시간 이후 합성메가기둥의 온도분포 확인



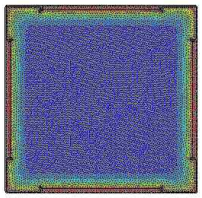
(1) 1000㎜



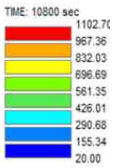
(2) 1200㎜

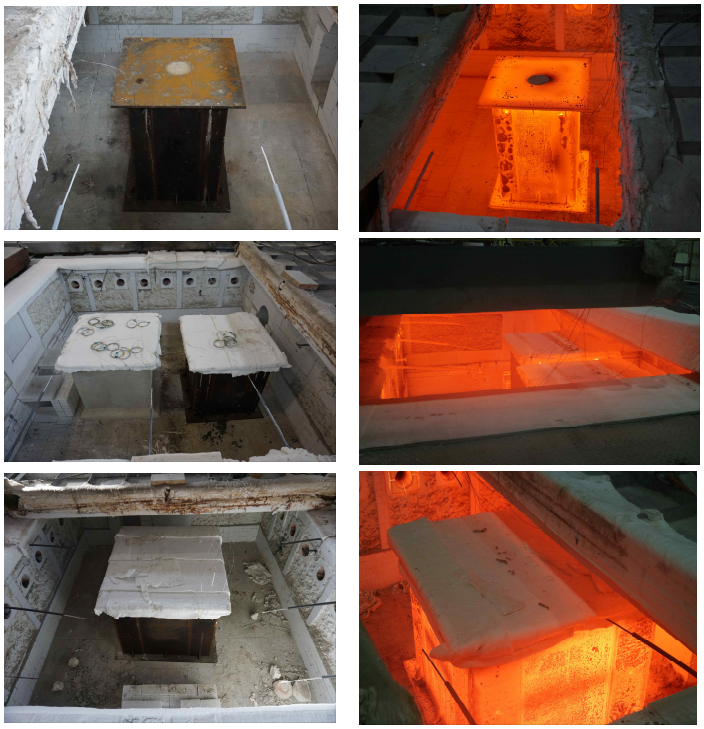
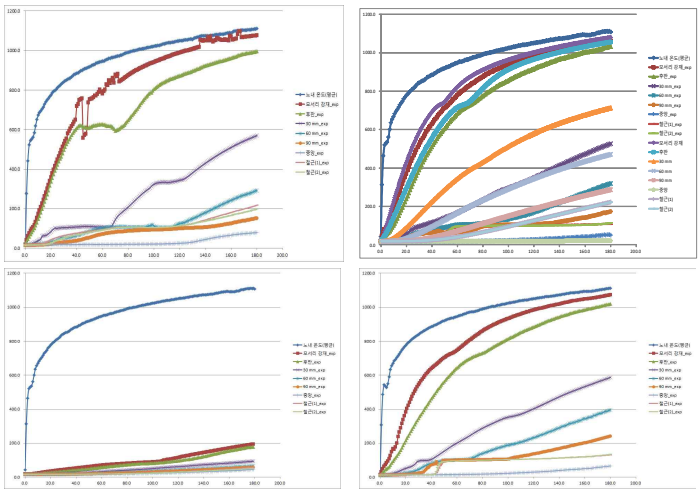


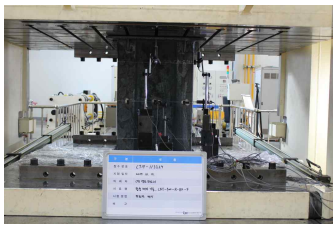
(3) 1400㎜



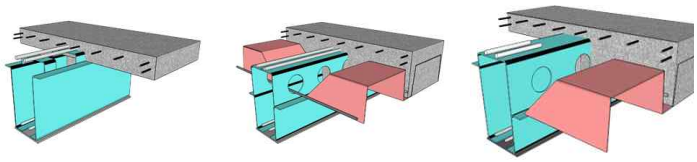
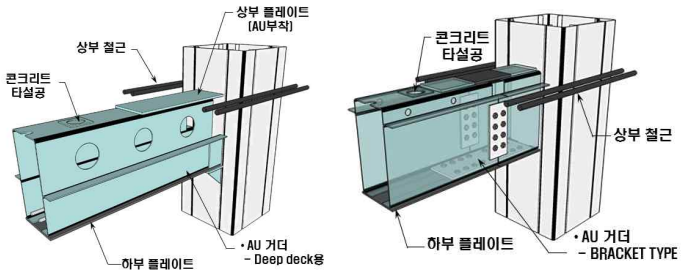
(4) 1600㎜



연구 목표	주요 연구 내용	연구 결과
	• 내화성능실험과 분석을 통한 내화피복 최소화	• 3시간 내화성능실험 수행 – 3시간 화재노출 표준화재곡선 적용  • 온도분포 분석 – 내화 무피복 시, 60㎜ 깊이 이하의 콘크리트 온도는 300~400℃ 미만에 분포. – 내화피복 시, 200℃ 미만의 온도 상승 나타남. 
	• 비재하가열실험과 해석적분석을 통한 무내화피복 가능성 구현	• 잔존내력 평가실험 수행

연구 목표	주요 연구 내용	연구 결과
		
• 합성메가기둥의 내화설계 절차 수립	• 현장적용을 위한 내화성능 확보 규모도출을 위한 절차 수립	• 내화성능 평가식 도출 ① 열경계 조건 $(W/m^2) = \alpha(\theta_g - \theta_s) + \phi\epsilon_r[(\theta_g + 273)^4 - (\theta_s + 273)^4]$ ② 소성내력 $N_{f,pl,Rd} = \sum_j \frac{A_{a,\theta} f_{a,\max,\theta}}{\gamma_{M,fi,a}} + \sum_k \frac{A_{s,\theta} f_{s,\max,\theta}}{\gamma_{M,fi,s}} + \sum_m \frac{A_{c,\theta} f_{c,\theta}}{\gamma_{M,fi,c}}$ ③ 유효휨강성 $(EI)_{fi,eff} = \sum_j \phi_{a,\theta} E_{a,\theta} I_{a,\theta} + \sum_k \phi_{s,\theta} E_{s,\theta} I_{s,\theta} + \sum_m \phi_{c,\phi} E_{cm,\theta} I_{c,\theta}$

4. 합성메가기둥 구조시스템 완성을 위한 기둥-보 접합부 성능검증

<table>
<tr><th>연구 목표</th><th>주요 연구 내용</th><th>연구 결과</th></tr>
<tr>
<td>• 기둥-보 접합부 성능 검증</td>
<td>• 합성메가기둥과의 조합에 최적인 보(Girder) 도출과 접합형식 확정</td>
<td>(1) 적정 합성보 분석
• AU합성보 : 폐단면의 내부에 콘크리트를 채움으로써, 단면성능이 우수하고, 층고절감이 가능함.
- 폐단면 강재보 : 강재보의 단면성능 증대로 시공하중에 대해 구조안전성 향상
- 충전 합성 : 합성단면 항복 후 완만한 내력증가(연성거동)
- 성형강판 조립 : 단면효율이 향상, 필요시 고강종 적용 가능
 
Truss deck용 Deep deck용 복합용(비대칭)
(2) 보-기둥 접합부 형식
• 합성메가기둥은 변부에 두꺼운 강판을 부착하여 합성보와의 접합부에 직접 접합한 모멘트 접합상세 적용
• 기둥 내부에 내다이아프램이 요구되며, 콘크리트 충전성을 고려한 바인딩 프레임 적용성 검토
 

D/D용 AU합성보의 모멘트 접합 T/D용 AU합성보의 모멘트 접합</td>
</tr>
<tr>
<td></td>
<td>• 기둥-보 접합부의 형식별 실험적/해석적 성능검증</td>
<td>(1) 기둥-보 접합부 단순인장실험
• 목적 : 기둥-보 접합부의 내다이아프램 유형에 따른 하중 전달메커니즘 검토
• 변수 : 내다이아프램 형상(T형, 수평, 바인딩프레임), 보의 규격(적용하중)
• 실험체 일람
<table>
<tr><th>실험체명</th><th>기둥단면(㎜)</th><th>보 플랜지(㎜)</th><th>내다이아프램 유형</th><th>충전</th></tr>
<tr><td>NF-500T3-HL</td><td>500×500</td><td>150×14</td><td>T형 스티프너</td><td>X</td></tr>
<tr><td>F-500T3-HL</td><td>500×500</td><td>150×14</td><td>T형 스티프너</td><td>X</td></tr>
<tr><td>F-500N-NL</td><td>500×500</td><td>150×10</td><td>Binding Frame</td><td>X</td></tr>
<tr><td>NF-500T2-NL</td><td>500×500</td><td>150×10</td><td>수평 스티프너</td><td>O</td></tr>
<tr><td>F-500P-NL</td><td>500×500</td><td>150×10</td><td>T형 스티프너</td><td>O</td></tr>
<tr><td>F-500T2-NL</td><td>500×500</td><td>150×10</td><td>T형 스티프너</td><td>O</td></tr>
<tr><td>F-500T1-NL</td><td>500×500</td><td>150×10</td><td>무보강</td><td>O</td></tr>
<tr><td>NF-500B2-LL</td><td>500×500</td><td>100×8</td><td>T형 스티프너</td><td>O</td></tr>
<tr><td>F-500B2-LL</td><td>500×500</td><td>100×8</td><td>T형 스티프너</td><td>O</td></tr>
<tr><td>F-500B1-LL</td><td>500×500</td><td>100×8</td><td>T형 스티프너</td><td>O</td></tr>
<tr><td>F-650T3-HL</td><td>650×650</td><td>150×14</td><td>Binding Frame</td><td>O</td></tr>
<tr><td>F-800T3-HL</td><td>800×800</td><td>150×14</td><td>Binding Frame</td><td>O</td></tr>
</table>
</td>
</tr>
</table>

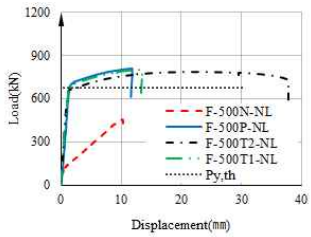
연구 목표	주요 연구 내용	연구 결과

• 결과 : 콘크리트에 매립된 바인딩프레임과 콘크리트 앵커력의 합력으로 거동

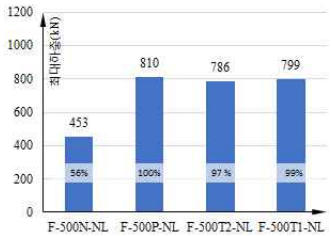
→ 보플랜지 파괴모드 유도 가능

→ 기둥의 크기와 관계없이 동일하중, 동일 보강재에 대해 유사 성능 발휘

실험체명	인장하중(kN)			
	항복하중 ($P_{y,t}$)	최대하중 ($P_{\max,t}$)	설계하중 ($P_{y,th}$)	$P_{y,t}/P_{y,th}$
NF-500T3-HL	451	514	769	0.62
F-500T3-HL	760	952	769	0.99
F-500N-NL	121	453	675	0.16
NF-500T2-NL	412	480	675	0.30
F-500P-NL	707	810	675	1.02
F-500T2-NL	667	786	675	0.99
F-500T1-NL	701	799	675	1.03
NF-500B2-LL	174	220	386	0.45
F-500B2-LL	377	510	386	0.99
F-500B1-LL	383	474	386	1.00
F-650T3-HL	771	1029	769	1.01
F-800T3-HL	771	1069	769	1.01



수평스티프터와 T형스티프너 비교



최대하중 비교

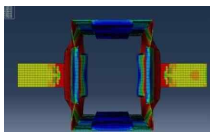
(2) 기둥-보 접합부 해석적 성능평가

• 해석모델 : T형 스티프너의 형상에 따른 접합부 성능.

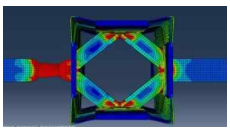
• 결과 : T형 스티프너에 의한 보플랜지 하중전달메커니즘 양상 검증.

Specimen	Parameter	
	Reinforcement	Section Size (㎜)
4-1	X	-
4-2	O	157.06×110×55×55
4-3	O	135.84×110×55×55

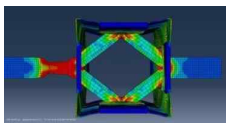
Specimen	T-shaped Stiffener (kN)	Beam Flange (kN)	Maximum Load (kN)
4-1	-	-	3992.9
4-2	3856.92	5240.0kN	5240.0
4-3	3487.96	5250.1kN	5250.1



4-1

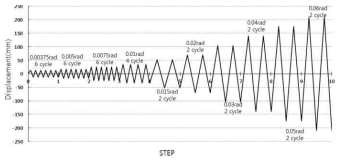


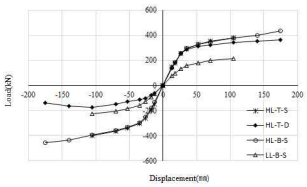
4-2

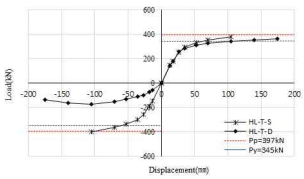


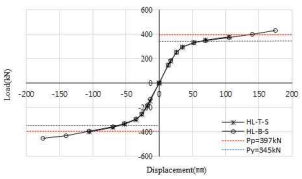
4-3

<table>
<tr><th>연구 목표</th><th>주요 연구 내용</th><th>연구 결과</th></tr>
<tr>
<td></td>
<td></td>
<td>
(3) 기둥-보 접합부 반복가력실험
• 목적 : 기둥-보 접합부의 실대형 실험체를 대상으로 내다이아프램 유형에 따른 접합부성능 검토
• 변수 : 내다이아프램 형상(T형, 바인딩프레임, 상하동형, 상하이형), 보의 규격(적용하중)
• 파괴모드 : 보 플랜지 파괴(안정적인 이력거동 발휘)
<table>
<tr><th>실험체명</th><th>기둥단면크기</th><th>철골 보</th><th>내다이아프램(설치형태)</th></tr>
<tr><td>HL-T-S</td><td>500×500</td><td>H-612×202×13×23</td><td>T형 스티프너(상 · 하동형)</td></tr>
<tr><td>HL-T-D</td><td>500×500</td><td>H-612×202×13×23</td><td>T형 스티프너(상 · 하이형)</td></tr>
<tr><td>HL-B-S</td><td>500×500</td><td>H-612×202×13×23</td><td>바인딩프레임(상 · 하동형)</td></tr>
<tr><td>LL-B-S</td><td>500×500</td><td>H-496×199×9×14</td><td>바인딩프레임(상 · 하동형)</td></tr>
</table>

실험체 세팅 전경


Cyclic Loading Program
<table>
<tr><th colspan="2">실험체명</th><th>초기강성(kN/㎜)</th><th>항복변위(㎜)</th><th>항복하중(kN)</th><th>최대하중(kN)</th></tr>
<tr><td rowspan="2">HL-T-S</td><td>정(+)</td><td>11.4</td><td>22</td><td>250</td><td>400</td></tr>
<tr><td>부(-)</td><td>11.5</td><td>21</td><td>240</td><td>378</td></tr>
<tr><td rowspan="2">HL-T-D</td><td>정(+)</td><td>4.6</td><td>20</td><td>92</td><td>171</td></tr>
<tr><td>부(-)</td><td>10.6</td><td>26</td><td>260</td><td>364</td></tr>
<tr><td rowspan="2">HL-B-S</td><td>정(+)</td><td>10.0</td><td>26</td><td>270</td><td>455</td></tr>
<tr><td>부(-)</td><td>11.1</td><td>21</td><td>245</td><td>434</td></tr>
<tr><td rowspan="2">LL-B-S</td><td>정(+)</td><td>5.3</td><td>25</td><td>143</td><td>225</td></tr>
<tr><td>부(-)</td><td>5.9</td><td>26</td><td>140</td><td>215</td></tr>
</table>


각 실험체 단조화곡선
</td>
</tr>
<tr>
<td>• 기둥-보 접합부의 설계식 제안</td>
<td>• 기둥-보 접합부의 형식별 설계식 제안</td>
<td>
(1) 기둥-보 접합부 형식별 성능비교
• 상하동형 : 정 · 부모멘트역에서 우수한 접합부성능 발휘
• 상하이형 : 부모멘트역에서 우수한 접합부성능 발휘
정모멘트역에서 M_p대비 40%의 강도발휘
(2) 내다이아프램 형상별 성능비교
• 초기강성 : T형스티프너와 바인딩프레임 유사함.
• 최대하중 : 바인딩프레임이 10% 크게 나타남.


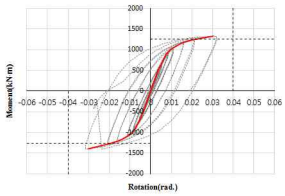
상하동형 vs. 상하이형


T형스티프터 vs. 바인딩프레임
</td>
</tr>
</table>

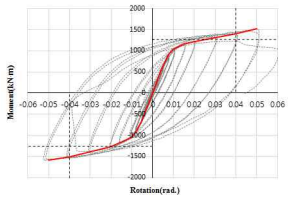
연구 목표	주요 연구 내용	연구 결과

(3) 접합부 회전성능 평가

- 합성중간모멘트골조의 요구성능(0.03rad.$-0.8M_p$) 만족



T형스티프터(상하동형)



바인딩프레임(상하동형)

(4) 다이아프램 설계

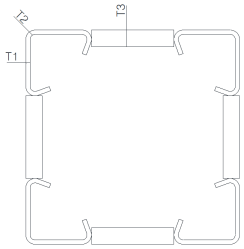
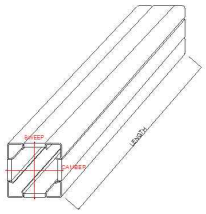
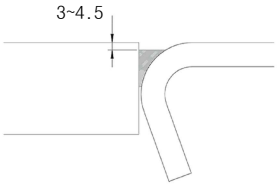
- 합성메가기둥 접합부의 내력은 T형 스티프너의 항복내력과 콘크리트 Cone failure 내력에 의해 결정
- $P_s = b_s \times t_{sh} \times f_{ys} \times 2 \times \cos\theta$
- $P_c = P_{c1} + P_{c2}$
- $P_{c1} = 2 \times [((\sqrt{2}\, b_s + b_a) \times b_t) + (\sqrt{2}\, b_s \times (\frac{b_c}{2} - t_{sv} - b_a - b_t))] \times \nu_c$
- $P_{c2} = 2 \times (h_c + h_s - 2t_{sh}) \times (\frac{b_c}{2} - t_{sv}) \times f_t$

Specimen	기둥단면 (㎜)	보 플랜지(㎜)	T형스티프너(㎜)
5-1	500×500	150X14	106.07X28X14X14
5-2		150X10	106.065X20X10X10
5-3		150X10	80X20X10X10
5-4	650×650	150X14	106.07X28X14X14
5-5	800×800	150X14	

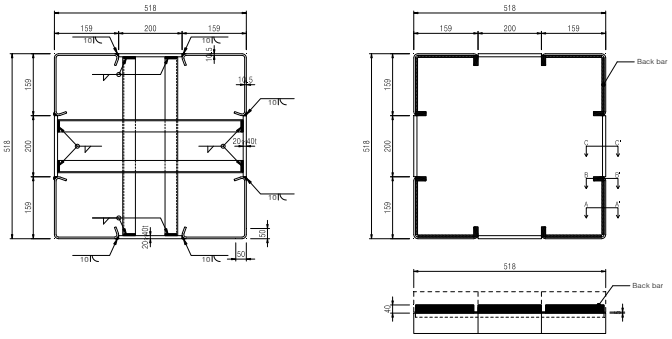
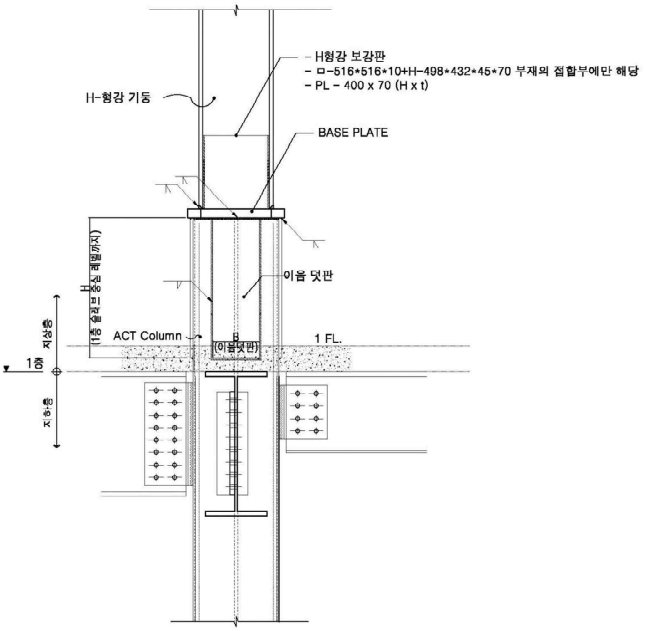
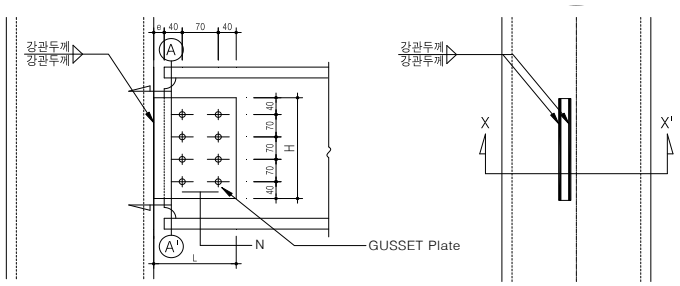
Specimen	P_y(kN)	$P_{\max}$(kN)	P_{theory}(kN)	P_y/P_{theory}
5-1	760	952	769	0.99
5-2	667	786	675	0.97
5-3	701	799	675	1.03
5-4	771	1029	769	1.01
5-5	771	1069	769	1.01

5. 합성메가기둥의 생산/제작 시스템 확보 방안 마련

<table>
<tr><th>연구 목표</th><th>주요 연구 내용</th><th>연구 결과</th></tr>
<tr><td rowspan="3">• 합성메가기둥의 제작성 향상방안 도출</td><td>• 모서리부의 냉간성형의 가공성 점검과 제작성 제고</td><td>• 냉간성형 전용설비(FORMING) 또는 절곡(BANDING)을 통한 모서리재를 제작하므로 제작성능 확인 및 생산능력 확보

전용설비(FORMING)</td></tr>
<tr><td>• 변부 스트립플레이트와 모서리부의 구성품의 조립가공성 타진</td><td>• 개선 용접 vs. 비개선용접 성능비교
– 모두 타설압에 대한 안전성 확보 가능
– 개선 시, 타설압에 대한 초기강성 상대적 우수
– 비개선 시, 타설압에 대한 항복강도 상대적 우수
→ 다양한 변수를 대상으로 추가적인 성능비교 필요함.</td></tr>
<tr><td>• 완성체 기둥의 제작에 직전성과 칫수의 정밀도 점검</td><td>• 제품 검사는 전체 물량의 10%를 기준으로 실시하며, 상기 조건 외 제작품은 폐기 후 다시 제작
<table>
<tr><td rowspan="5">  </td><td rowspan="2">두께</td><td>T1/T2</td><td>±0.5mm</td></tr>
<tr><td>T2</td><td>T1의10%이내</td></tr>
<tr><td>높이</td><td colspan="2">±4</td></tr>
<tr><td>폭</td><td colspan="2">±4</td></tr>
<tr><td>길이</td><td colspan="2">±4</td></tr>
<tr><td rowspan="4">  </td><td>8Piece 길이편차</td><td colspan="2">T1 이내</td></tr>
<tr><td>휨</td><td colspan="2">길이의ℓ /1000</td></tr>
<tr><td>뒤틀림</td><td colspan="2">강관폭의9/1000 이하
또는 8㎜이하</td></tr>
<tr><td>상/하 굴곡</td><td colspan="2">폭의3/100 이하
또는 6mm이하</td></tr>
<tr><td></td><td>좌/우 굴곡</td><td colspan="2">폭의3/100 이하
또는 6mm이하</td></tr>
</table></td></tr>
<tr><td>• 합성메가기둥의 제작시방서 개발</td><td>• 기둥과 골조의 제작 시방서 작성</td><td>• 용접 : 공장용접(FCAW-G)은 플럭스 코어드 아크용접(Flux Cored Arc Welding_Gas shield)으로 한다.
• 합성메가기둥 강관 용접부(모서리강재와 후판 용접부)
 

• 합성메가기둥 이음
– 두 개의 ACT COLUMN은 거의 밀착 시키도록 한다.
– 덧판 용접 시 모살사이즈는 얇은 쪽의 판두께 이하로 한다.
– 덧판 용접 시 강관의 플레어 용접부로 인해 그림과 같이 불연속구간이 생기는데 그 공간으로 물이나 다른 이물질들이 강관내부로 들어올 수 있으므로 용접 시 밀실하게 채울</td></tr>
</table>

연구 목표	주요 연구 내용	연구 결과
		수 있도록 해야 한다.  • 합성메가기둥-H기둥 이음  • 합성메가기둥-H 보 전단접합부 - T형 거셋 플레이트의 모살사이즈는 얇은 쪽의 판두께 이하로 한다. - Beam-Girder와 기둥간의 접합은 볼트 또는 용접을 이용한다. 

6. 합성메가기둥의 설치/시공성 확보

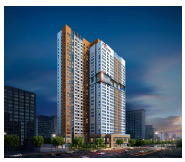
<table>
<tr><th>연구 목표</th><th>주요 연구 내용</th><th>연구 결과</th></tr>
<tr>
<td>• 합성메각기둥의 시공시방서 개발</td>
<td>• 기둥의 시공성 확인을 위한 시공 Mock-up 실시</td>
<td>• 합성메가기둥의 현장 적용 실적 달성

해운대 동원 비스타
<table>
<tr><td>대지위치</td><td>부산광역시 해운대구 우동 142-4외 4필지</td></tr>
<tr><td>대지면적</td><td>99,797.00㎡</td></tr>
<tr><td>건축규모</td><td>지하 6층 / 지상 45층</td></tr>
<tr><td>연면적</td><td>99,796.9813㎡</td></tr>
<tr><td>용도</td><td>공동주택(아파트), 업무시설(오피스텔)</td></tr>
<tr><td>구조</td><td>철근콘크리트구조</td></tr>
</table>

엠큐로지스틱스
<table>
<tr><td>대지위치</td><td>용인시 처인구 백암면 백봉리 617-1외 14필지</td></tr>
<tr><td>대지면적</td><td>40,037㎡</td></tr>
<tr><td>건축규모</td><td>지하 2층 / 지상 4층</td></tr>
<tr><td>연면적</td><td>61,117.77㎡</td></tr>
<tr><td>용도</td><td>창고시설(일반창고, 사무실)</td></tr>
<tr><td>구조</td><td>철근콘트리트구조, PC, PEB구조</td></tr>
</table>

CJ 대치동889
<table>
<tr><td>대지위치</td><td>서울특별시 강남구 대치동 889-41,45번지</td></tr>
<tr><td>대지면적</td><td>1,855.50㎡</td></tr>
<tr><td>건축규모</td><td>지하 6층 / 지상 20층</td></tr>
<tr><td>연면적</td><td>23,239.04㎡</td></tr>
<tr><td>용도</td><td>업무시설, 근링생활시설</td></tr>
<tr><td>구조</td><td>철근철골콘크리트구조, 철근콘트리트구조</td></tr>
</table>

SK 광교 5-1BL
<table>
<tr><td>대지위치</td><td>경기도 수원시 광교지구 업무 5-1BL</td></tr>
<tr><td>대지면적</td><td>11,440.10㎡</td></tr>
<tr><td>건축규모</td><td>지하 5층 / 지상 41층</td></tr>
<tr><td>연면적</td><td>104,116.4774㎡</td></tr>
<tr><td>용도</td><td>업무시설, 오피스텔, 근린생활시설</td></tr>
<tr><td>구조</td><td>철근철골콘크리트구조, 철근콘트리트구조</td></tr>
</table>

부평오피스텔
<table>
<tr><td>대지위치</td><td>인천광역시 부평구 부평동</td></tr>
<tr><td>대지면적</td><td>3,614.32㎡</td></tr>
<tr><td>건축규모</td><td>지하 6층 / 지상 33층</td></tr>
<tr><td>연면적</td><td>54,941.68㎡</td></tr>
<tr><td>용도</td><td>오피스텔, 판매시설</td></tr>
<tr><td>구조</td><td>철근콘트리트구조</td></tr>
</table>
</td>
</tr>
<tr>
<td></td>
<td>• 기둥-보 설치/시공 매뉴얼 작성</td>
<td>• 국내외 선행 합성구조 시공 특기시방서 분석
• 합성구조 관련 국내 기존 표준시방서 조사
- 국토해양부(2009) 콘크리트 표준시방서
• 국토교통부 건축공사 표준시방서(안) 개발
- “합성메가기둥” 건축공사 표준시방서(안) 개발
• 국내외 합성구조 시공 특기시방서 구성 비교
- 시공편의성과 오류를 방지하기 위해 시공순서별로 내용 구성
- 시공절차별로 선행 시공 특기시방서 내용 벤치마킹 및 개선
• 합성메가기둥 구조시스템 시공 시방서(안) 개발</td>
</tr>
</table>

2절 연구 수행 성과

1. 최종 성과 점검 기준표

구분	핵심성과		단위성과		최종 성과점검기준						해당 기관	양적 성과목표
						질적 성과지표	목표치	측정 방법	검증 방법	가중치		
총괄	A	구조성능 확보	A-1	기둥 구조성능 확보	①	기둥 내부요소 영향평가	내력비	실험결과	실험 보고서	2	㈜액트파트너 서울시립대학교 ㈜엔아이스틸	실험결과 보고서 : 4 건 논문 : 1 건
					②	기둥 구조성능 확보	내력비	실험결과	실험 보고서	1		
			A-2	접합부 내진성능 확보	①	보 -기둥 접합부 연성 확보	연성비	실험결과	실험 보고서	2		
					②	내진성능확보	기존대비 층간변위비	실험결과	실험 보고서	2		
					③	게재논문 건수	1	건수	논문	0.5		
			A-3	실험체 제작 및 실험	①	기둥 및 접합부 제작	2	건수	실험 보고서	2		실험체 제작도서 : 1 건
	B	구조해석 및 내화성능 검증	B-1	내화성능 검증	①	내화성능 해석검증	1	건수	해석 보고서	1	㈜액트파트너 서울시립대학교 ㈜엔아이스틸 한국건설생활환경시험연구원	특허 출원 : 2 건 논문 : 2 건 공인 구조성능 인증 : 1 건 해석결과 보고서 : 1 건 내화성능 시험성적서: 1 건 내화 실험결과 보고서 : 1 건
					②	내화성능 실험검증	1	건수	시험 성적서	1		
			B-2	구조성능 인증	①	구조성능 확보정도	1	KOLAS 구조성능인증	증서	1		
			B-3	특허출원 및 등록 건수	①	특허출원 및 등록 건수	2	건수	출원 · 등록증	1		
			B-4	학술지 게재 논문 건수	①	게재논문 건수	2	건수	논문	0.5		
			B-5	실험체 제작 및 실험	①	내화실험체 제작	1	건수	실험 보고서	1		
	C	시공성 및 현장 적용성 검증	C-1	Sample 시공 적용	①	적용횟수	2	건수	설계 도서	2	㈜액트파트너	설계도서 : 2 건
			C-2	설계식 제안	①	기둥 및 접합부 설계식	2	건수	증서	2	㈜액트파트너 서울시립대학교	설계 지침서 : 2 건
			C-3	시공절차서 작성 및 신기술 신청	①	절차서 및 신청서 작성	2	건수	절차서	0.5	㈜액트파트너 한국건설생활환경시험연구원	절차서 : 1 건 신기술 신청서 : 1 건
			C-4	실무용 내화 설계식 제안	①	실무용 내화 설계식 제안	1	건수	설계 지침서	0.5		설계지침서 : 1 건
계										20		특허 출원 : 2 건 논문 : 3 건 공인 구조성능 인증 : 1 건 해석결과 보고서 : 1 건 실험결과 보고서 : 5 건 설계도서 : 2 건 설계 지침서 : 3 건 절차서 : 1 건 실험체 제작도서 : 1건 신기술 신청서: 1 건 내화성능 시험성적서 : 1 건

2. 최종 연구성과 및 적용 실적

성과지표	목표	실적	달성율
국내 학술지	3	3	100%
국내 학술기사	-	1	추가 달성
국내 학술대회	-	8	추가 달성
국외 학술대회	-	4	추가 달성
수상	-	1	추가 달성
특허 출원	2	2	100%
구조설계프로그램	-	1	추가 달성
설계지침, 시방서 제안	3	3	100%
실험체 제작도서	1	7	700%
해석결과보고서	1	2	200%
실험결과보고서	5	8	160%
공인 구조성능 인증서	2	6	300%
설계도서	2	3	150%
절차서	1	2	200%
신기술 신청서	1	1	100%

3. 국내 학술지

게재 연도	논문제목	저자			학술지명	국내외 구분	등재지 구분
		주저자	교신 저자	공동 저자			
2017	내부 바인딩프레임으로 구성된 폭 1m 이상 합성메가기둥의 수압실험	강지수	최성모	주정수 외 3인	복합신소재 구조학회	국내	KCI
2018	폭 1m 이상 합성메가기둥 기둥-보 T형 스티프너 접합부 형상 개발 및 내력식 제안	이재현	최성모	염경수 외 2인	복합신소재 구조학회	국내	KCI
2018	화재에 노출된 내부보강 조립식 냉간성형 대형합성기둥의 잔존내력에 대한 연구	민정기	최성모	염경수	복합신소재 구조학회	국내	KCI

4. 국내 학술기사

게재 연도	학술기사명	저자	학술지명	국내외 구분	등재지 구분
2016	내부 보강형 조립식 냉간성형 대형합성기둥	민정기, 염경수, 최성모	한국강구조 학회	국내	KCI

5. 학술대회 성과

발표 연도	발표명	저자	학술대회명	국내외 구분
2016	폭 1m 이상 대형인 내부보강 조립식 합성메가기둥의 보강단면구성 검토	강지수 외 4인	대한건축학회 (부산 벡스코)	국내
2016	내부보강 조립형 합성메가기둥-보 접합부의 인장 내력 해석적 평가	주정수 외 4인	대한건축학회 (부산 벡스코)	국내
2016	폭 1m 이상을 가진 합성기둥의 내화성능에 대한 해석적 연구	민정기 외 2인	화재소방학회 (대전대학교)	국내
2016	Development of advanced CFT column and application of building construction	염경수 외 3인	PSSC (중국 상해)	국외
2017	냉간 성형 조립된 대형 합성기둥의 내화해석	민정기 외 2인	한국방재학회 (건국대학교)	국내
2017	폭 1m 이상 내부보강 조립식 합성메가기둥의 중심압축실험	강지수 외 5인	복합신소재구조학회 (제주도)	국내
2017	내부 바인딩프레임 적용된 합성메가기둥의 편심압축실험	강지수 외 4인	복합신소재구조학회 (제주도)	국내
2017	고온에 노출된 대형합성기둥의 잔존면적에 대한 수치해석 연구	민정기 외 2인	복합신소재구조학회 (제주도)	국내
2017	합성메가기둥 기둥-보 내다이아프램 접합부 구조성능에 관한 인장실험	강지수 외 5인	강구조학회 (경주 현대호텔)	국내
2017	A Study of Cross Section for Built-up Composite Mega Column with 1 Meter Width	강지수	국제 한-일 교류회 (요코하마국립대)	국외
2017	Composite Effect of Binding Frames Installed inside Composite Mega Column (More than 1m in Width)	강지수 외 5인	Eurosteel (덴마크 코펜하겐)	국외
2017	Tensile Tests on the Column-to-Beam Connections of Composite Mega Columns with Internal Diaphragms	강지수 외 3인	ISSS (제주도)	국외

□ : 우수학술발표상 수상

6. 특허 성과

구분	출원 연도	특허명	출원인	출원국	출원 / 등록번호
출원	2017	바인딩 프레임이 구성된 콘크리트 충전용 기둥 조립체의 제작방법 및 이에 의해 제작되는 기둥 조립체	(주)액트파트너	한국	10-2017-0008342
		제작 프레임 및 바인딩 프레임을 이용한 콘크리트 충전용 기둥 조립체의 제작방법 및 이에 의해 제작되는 기둥 조립체	(주)액트파트너	한국	10-2017-0008343

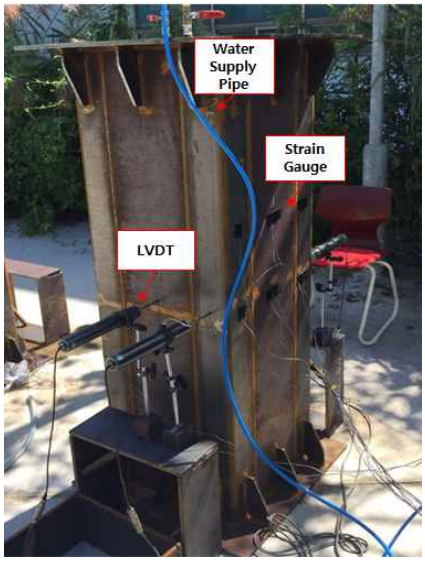
7. 구조설계프로그램

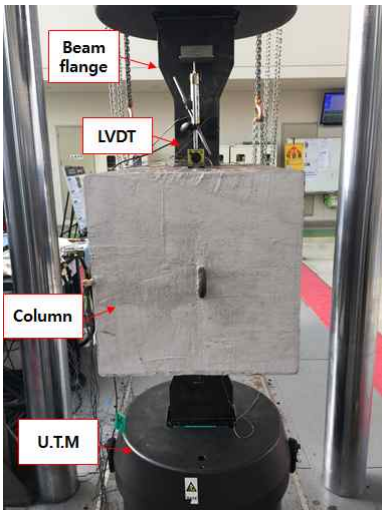
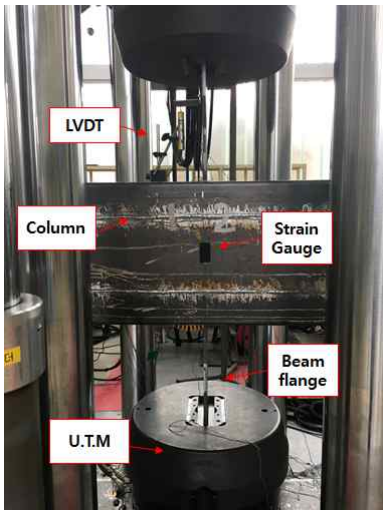
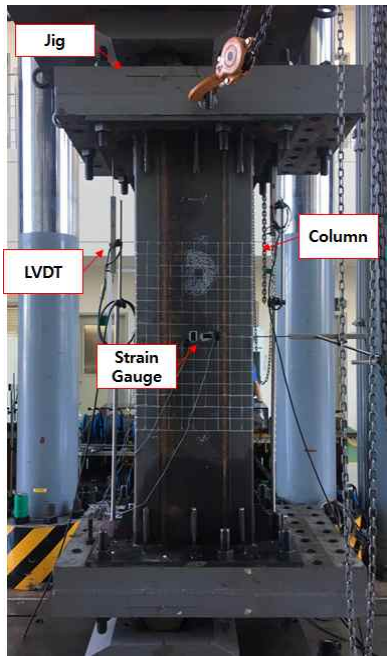
요소기술	프로그램명	개발일	등록번호
합성메가기둥	합성메가기둥 설계프로그램	2017.12.29	ACT-2017-12-01

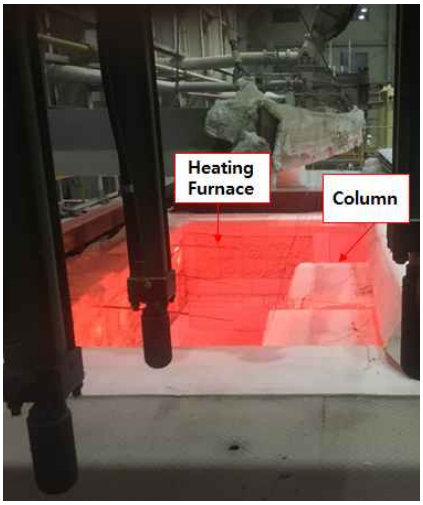
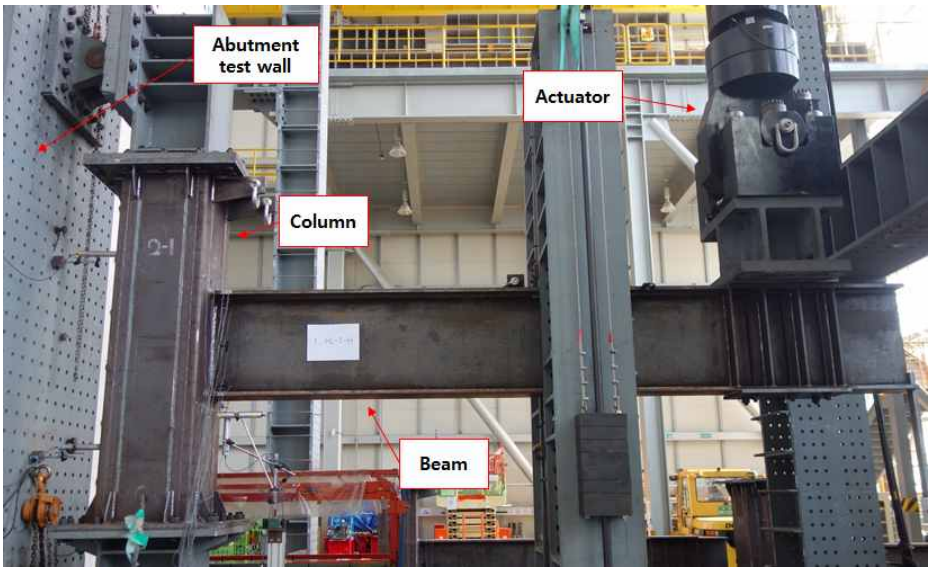
8. 설계지침, 시방서 제안

요소기술	지침서명	비고
합성메가기둥 구조시스템 설계법 제안	합성메가기둥 구조설계지침서	
합성메가기둥 구조시스템 설계법 제안	합성메가기둥-보 접합부 설계지침서	
합성메가기둥 내화성능평가	합성메가기둥 내화설계지침서	

9. 실험체 제작도서

연도	사진		내용
2016			수압 실험
2016			중심 압축 실험

연도	사진		내용
2016			편심 압축 실험
2016			기둥-보 접합부 인장 실험
2017			판폭-두께비 평가실험

연도	사진		내용
2017			내화 실험
2017	 		가둥-보 접합부 반복 가력 실험

10. 해석 및 실험결과보고서

구분	연도	보고서명	비고	참고
1차년도	2016	콘크리트 타설압에 대한 안전성 평가	해석	별권. "해석 및 실험보고서" 2장 2절
		콘크리트 타설압에 대한 안전성 평가	실험	별권. "해석 및 실험보고서" 2장 2절
		시공하중에 대한 강관의 압축성능 평가	실험	별권. "해석 및 실험보고서" 2장 2절
		합성메가기둥 중심압축성능 평가	실험	별권. "해석 및 실험보고서" 2장 3절
		합성메가기둥 편심압축성능 평가	실험	별권. "해석 및 실험보고서" 2장 3절
		보-기둥 접합부 단순인장성능 평가	실험	별권. "해석 및 실험보고서" 2장 4절
2차년도	2017	합성메가기둥의 판폭-두께비 산정방법 평가	실험	별권. "해석 및 실험보고서" 2장 3절
		보-기둥 접합부 내진성능 평가	실험	별권. "해석 및 실험보고서" 2장 4절
		합성메가기둥의 내화해석	해석	별권. "해석 및 실험보고서" 2장 5절
		합성메가기둥의 내화성능 평가	실험	별권. "해석 및 실험보고서" 2장 5절

11. 공인 구조성능 인증서

구분	프로그램명	실험기간	실험장소	내용
실험진행 확인서	ACT Ⅱ 기둥 편심압축성능 평가	2017.09.18. ~ 2017.09.26.	포스코 R&D센터	합성메가기둥의 편심압축성능평가
실험진행 확인서	기둥-보 접합부의 반복가력 구조성능 실험	2017.10.30. ~ 2017.11.10..	포스코 R&D센터	기둥-보 접합부 내진성능평가
시험성적서	철골 콘크리트 합성기둥의 내화실험	2017.10.11.	한국건설생활환경 시험연구원	비재하 180분 가열
시험성적서	철골 철근 콘크리트 합성기둥의 내화실험	2017.10.18..	한국건설생활환경 시험연구원	비재하 180분 가열
시험성적서	철골 철근 콘크리트 합성기둥의 내화실험	2017.10.30.	한국건설생활환경 시험연구원	비재하 180분 가열
시험성적서	합성메가기둥 가열후 잔존강도 평가	2017.10.19. ~ 2017.11.03.	한국건설생활환경 시험연구원	합성메가기둥의 화재후 중심압축성능평가

12. 설계도서

요소기술	현장명	건축규모	계약일	매출액(원)
내부보강 조립식 합성메가기둥	화성 동탄 물류창고 A블럭	지하 2층 / 지상 4층	2017.10	61,000,000
	양지 물류창고	지하 2층 / 지상 10층	2017.07	75,000,000
	롯데타운 동탄 C11BL	-	2017.12	35,000,000

13. 절차서

요소기술	절차서명	비고
합성메가기둥 제작 · 생산기술 개발	합성메가기둥 제작절차서	별권. "해석 및 실험보고서" 2장 6절
합성메가기둥 제작 · 생산기술 개발	합성메가기둥 시공절차서	

14. 신기술 신청서

요소기술	신청서명	비고
내부보강 조립식 합성메가기둥 구조시스템 개발	성형 모서리강재와 후판을 조립한 콘크리트 충전형 합성메가기둥 공법	별권. "신기술 신청서"

제 4장 목표 달성도 및 관련 분야 기여도

1절 목표 달성도

1. 폭 1m 이상/고하중에 최적인 내부보강 조립식 합성메가기둥 구조시스템 개발

<table>
<tr><th>목 표</th><th>달성도</th><th>내 용</th></tr>
<tr><td>기초
문헌자료
조사</td><td>100</td><td>• 특허동향 분석
- 합성기둥 : 12개, 합성보 : 19개
• 기존연구분석
- 강관 기둥의 구조(압축, 휨)성능 분석
- 콘크리트 충전 합성기둥의 형상에 따른 구조(압축, 휨)성능 분석
- 콘크리트 타설압에 의한 강관의 구조성능 분석
• 국내외 설계기준 분석
- 미국 강구조기준 분석 : AISC 2011
- 국내 강구조기준 분석 : KSSC 2014, KBC 2016, 합성구조 설계매뉴얼, 강관구조편람</td></tr>
<tr><td rowspan="3">합성메가기둥의 형상개발</td><td rowspan="3">100</td><td>• 합성메가기둥 개발 목표 및 방향 수립
<table><tr><td>개발
목표</td><td>• 기존 메가기둥 대비 물량 절감 및 단면 축소 가능
• 제작이 용이하고, 용접에 의한 모서리 응력집중이나, 잔류응력의 영향을 감소
• 소요하중에 따라 단면크기 및 형상 제한 없이 단면 설계 가능</td></tr><tr><td>개발
방향</td><td>• 콘크리트 충전형 합성메가기둥 공법 적용
• 강관 제작 시, 모서리 용접 대신 단면 중앙부(변부)에서 용접 조립
• 모서리강재와 중앙부(변부) 요소로 구성하여 단면 크기 및 형상 제약 탈출</td></tr></table></td></tr>
<tr><td>• 합성메가기둥 형상 제안(특허출원, 2건)
- 바인딩 프레임이 구성된 콘크리트 충전용 기둥 조립체의 제작방법 및 이에 의해 제작되는 기둥 조립체(출원번호 : 10-2017-0008342)
- 제작 프레임 및 바인딩 프레임을 이용한 콘크리트 충전용 기둥 조립체의 제작방법 및 이에 의해 제작되는 기둥 조립체(출원번호 : 10-2017-0008343)
• 합성메가기둥의 국내외 홍보성과(4건)
- 국제 학술발표 (1건) : 2016 PSSC(The 11th Pacific Structural Steel Conference)
- 국내 기술박람회 (2건) : 2016 도시건축산업페어
2016 한국건축구조기술사회 창립 40주년 기념 행사
2017 세계지반공학대회</td></tr>
</table>

2. 합성메가기둥 구조시스템의 구조성능 평가와 설계법 제안

목 표	달성도	내 용
합성메가기둥의 해석적 · 실험적 구조성능 평가	100	• 합성메가기둥 구조성능 검증 (7건) – 콘크리트 타설압에 대한 안전성 평가 실험 – 조립식 강관의 판폭-두께비 평가 실험 – 중심압축성능 평가 실험 – 편심압축성능 평가 실험 – 기둥-보 접합부의 단순인장성능 평가 실험 – 실대형 기둥-보 접합부의 내진성능 평가 실험 • 국내 학술지 제출 (2건) – 주정수 외 5인 (2017) 내부 바인딩프레임으로 구성된 폭 1m 이상 합성메가기둥의 수압실험, 한국복합신소재구조학회 – 이재현 외 4인 (2018) 폭 1m 이상 합성메가기둥 기둥-보 T형 스티프너 접합부 형상 개발 및 내력식 제안, 한국복합신소재구조학회 • 국내 · 외 학술발표 (6건) – 주정수 외 4인 (2016) 내부보강 조립형 합성메가기둥-보 접합부의 인장 내력 해석적 평가, 대한건축학회 – 강지수 외 5인 (2017) 폭 1m 이상 내부보강 조립식 합성메가기둥의 중심압축실험, 한국복합신소재구조학회 – 강지수 외 4인 (2017) 내부 바인딩프레임 적용된 합성메가기둥의 편심압축실험, 한국복합신소재구조학회 – 강지수(2017) A Study of Cross Section for Built-up Composite Mega Column with 1 Meter Width, 국제 한-일 교류회 – 강지수 외 5인 (2017) Composite Effect of Binding Frames Installed inside Composite Mega Column (More than 1m in Width), Eurosteel – 강지수 외 3인 (2017) Tensile Tests on the Column-to-Beam Connections of Composite Mega Columns with Internal Diaphragms, ISSS
합성메가기둥의 설계법 제안	100	• 국내외 기준 조사 및 기존 기술 조사 – 합성구조 및 메가기둥 관련 국내외 기준을 조사하여, 구조설계 시 검토사항 및 구조제한사항 분석함. – 국내외 특허 및 건설신기술 등을 조사하여, 본 기술의 보완사항이나 특기사항을 분석함. • 합성메가기둥 구조설계지침 작성 – 강판의 판폭-두께비, 세장비 등 설계시 필요한 구조제한사항 제시 – 압축/휨 거동, 국부적인 파괴 거동을 고려한 설계강도 검토 • 합성메가기둥 구조설계프로그램 개발 – 설계자가 사용이 용이한 GUI 구조설계프로그램 개발
기둥-보 접합부 설계법 제안	100	• 국내외 기준 조사 및 기존 기술 조사 – 합성구조 및 메가기둥 관련 국내외 접합부 및 합성접합부 기준을 조사하여, 구조설계 시 검토사항 및 구조제한사항을 규정함. – 국내외 접합부 및 합성접합부의 특허 및 건설신기술 등을 조사하여, 본 기술의 보완사항이나 특기사항을 분석함. • 기둥-보 접합부 구조설계지침 작성 – 접합재, 피접합재 및 연결재의 구성 및 구조제한사항 제시 – 인장 및 전단 파괴, 연결재의 미끄럼파괴 거동을 고려한 설계강도 검토 • 기둥-보 접합부 구조설계프로그램 개발 – 설계자가 사용이 용이한 GUI 구조설계프로그램 개발

3. 합성메가기둥 구조시스템의 제작 · 생산기술 개발

목 표	달성도	내 용
합성메가기둥 제작매뉴얼 개발	100	• 시작품 제작 시 제작 노하우 및 개선방향 검토 – 모서리강재와 후판의 용접성 분석 : 홈용접, 개선홈용접 비교 • 합성메가기둥 제작 시방서 작성 – 판재 절단 및 홀가공시 공정의 정밀도 요함 – 모서리강재 성형시 판재의 내측치수를 사용하여 연신에 의한 R값을 고려 – 판재 용접시 변형을 방지하기 위해 충분한 시간과 용접순서 고려 – 부재의 운반과 콘크리트 타설시 측압을 고려하여 바인딩프레임 설치 – 콘크리트의 면하는 부분은 방청페인트칠 제외 – 건축공사 표준시방서에 따른 용접부 검사의 기준 – 출하 및 야적시 주의사항
기둥-보 접합부 시제품 제작 및 제작 매뉴얼 개발	100	• 접합부 형상개발에 따른 시작품 제작 • 시작품 제작 시 제작 노하우 및 개선방향 검토 – 내다이아프램 및 바인딩프레임 내부 설치 순서 및 용접성 분석 • 국내 · 외 동종기술 제작 시방서 비교분석 – ㈜세진에스엠, 'ECO-GIDER' – 한국건설기술연구원, 'TU 합성보' – ㈜액트파트너, 'AU 합성보' • 기둥-보 접합부 제작 시방서 작성
합성메가기둥 시공매뉴얼 개발	100	• 국내외 선행 합성구조 시공 특기시방서 분석 • 합성구조 관련 국내 기존 표준시방서 조사 – 국토해양부(2009) 콘크리트 표준시방서 • 국토교통부 건축공사 표준시방서(안) 개발 – "합성메가기둥" 건축공사 표준시방서(안) 개발 • 국내외 합성구조 시공 특기시방서 구성 비교 – 시공편의성과 오류를 방지하기 위해 시공순서별로 내용 구성 – 시공절차별로 선행 시공 특기시방서 내용 벤치마킹 및 개선 • 합성메가기둥 구조시스템 시공 특기시방서(안) 개발

4. 합성메가기둥 구조시스템의 내화성능 평가와 설계법 제안

목 표	달성도	내 용
합성메가기둥 내화성능 검증	100	• 합성메가기둥 실험적 내화성능 검증 (2건) – 3시간 내화성능실험 – 잔존내력 평가실험 • 합성메가기둥의 해석적 내화성능 평가(1건) – 3시간 이후 합성메가기둥의 온도분포 확인 • 국내 학술지 제출 (1건) – 민정기 외 2인 (2018) 화재에 노출된 내부보강 조립식 냉간성형 대형합성기둥의 잔존내력에 대한 수치해석 연구, 한국복합신소재구조학회 • 국내 학술발표 (2건) – 민정기 외 2인 (2016) 폭 1m 이상을 가진 합성기둥의 내화성능에 대한 해석적 연구, 화재소방학회 – 민정기 외 2인 (2017) 냉간 성형 조립된 대형 합성기둥의 내화해석, 한국방재학회
합성메가기둥의 내화설계절차 수립	100	• 국내외 설계기준 분석 • 고온재료 특성 분석 • 파라메트릭 화재 곡선을 적용한 성능기반 내화설계 시, 내화피복재 5㎜(당초 25㎜)의 두께만으로 60분의 내화성능 확보 가능 • 내화성능설계 지침서 개발

2절 관련 분야 기여도

1. 기술적 기여도

기존의 철근콘크리트기둥 및 PC기둥을 대체할 수 있는 새로운 신기술 및 신공법을 확보할 수 있으며 이를 통해 합성구조기술의 선진화로 인한 세계건설시장의 경쟁력 제고 그리고 국가 R&D로서 공공기관에서 연구를 수행함으로서 연구 성과의 민간전파가 용이하고, 공공정책인 국가 기준에 반영하여 현장적용 활성화를 유도할 수 있다.

① 시공성이 용이한 접합부의 안정적인 설계방법 개발
② 제작용이, 공기단축으로 적용활용성 증대
③ ACTⅡ Column과 접합부의 정확한 해석으로 안전에 대한 신뢰성 향상
④ 접합부 형태 개발 및 시공법 개발
⑤ 부재의 특성에 맞는 합리적 내진 구조시스템의 개발

2. 사회 · 경제적 기여도

환경적 측면, 기술적 측면 및 경제적 측면에서 유리한 내부보강 조립식 합성메가기둥 구조시스템은 개발과정에서 신뢰성 있는 성능검증(구조성능평가, 내화성능평가, 내진성능평가)을 수반하고 있으므로 구조물의 사회적 안전성 확보에 기여할 수 있다. 또한 내화성능 및 내진성능과 관련한 체계적인 가이드라인을 제시함으로써 건설실무자가 보다 체계적으로 용이하게 SPC복합화 구조를 선택 및 활용할 수 있다.

① 강재의 효율적인 이용으로 골조 공사비용 감소
② 공기 단축으로 인한 공사 간접비용의 감소
③ 해외건축사업 수주에 용이
④ 콘크리트 사용의 감소로 건축 폐기물 감소
⑤ 대형 물류산업 건물에 효율적 적용을 통해 수출 경쟁력 증대

3. 정책적 측면

① 건설공법의 효율화는 국제적인 경쟁력확보가 가능할 것이며 해외공사 수주에 기여
② 폐기물 처리 비용 및 탄소 배출권에 의한 비용 감소를 통해 환경비용부담 감소
③ 신뢰성 있는 구조물 구축으로 지진 등 재해로부터 사회 자산 보호 및 국민의 안전 보장 기대

제 5장 연구개발성과의 활용계획

1절 국가기준 및 시방서 반영을 통한 연구성과 확산

① 합성메가기둥 구조시스템 현장적용을 위한 설계지침 및 시방서를 제시하여 설계 및 감리 엔지니어링 실무종사자의 실 구조물에 적용이 가능한 가이드라인으로서 활용 가능

② 연구결과를 토대로 합성메가기둥 구조시스템의 내화 및 내진성능평가 기준 작성

③ 민간 건설실무자들에게 합성메가기둥 구조시스템의 내화 및 내진성능에 대한 보다 실증적인 검증방안의 법적 근거 제시

2절 중소기업 기술자문 및 기술교육

① 합성메가기둥 구조시스템의 기술에 대한 설계 · 감리 엔지니어링 회사를 대상으로 기술공청회 개최

② 실증적 구조시스템의 반영을 위한 학계(대한건축학회 · 한국강구조학회 · 한국콘크리트학회), 한국건축구조기술사회와의 기술자문 수행

③ 설계 · 감리 엔지니어링 중소기업에 기술교육 실시

3절 연구성과 홍보

① 국내 학술대회 발표를 통한 연구성과의 지속적인 홍보 활동

i) 2016 PSSC(The 11th Pacific Structural Steel Conference) 참가

- 일시 : 2016. 10. 29(토) ~ 10. 31(월)
- 장소 : 중국 상해
- 내용 : 「Development of Advanced CFT column and Application of Building Construction」 발표

그림 5.1 PSSC 2016 합성메가기둥' 개발기술 홍보

ii) 2016년 대한건축학회 추계학술대회 참가

- 일시 : 2016. 10. 04(화) ~ 10. 06(목)
- 장소 : 부산 벡스코(부산광역시 해운대구 소재)
- 내용 : 「폭 1m이상 합성메가기둥에 적합한 내부보강 기둥-보 접합부 인장 내력 해석적 평가」 발표
- 내용 : 「폭 1m이상 대형인 내부보강 조립식 합성메가기둥의 보강단면구성 검토」 발표

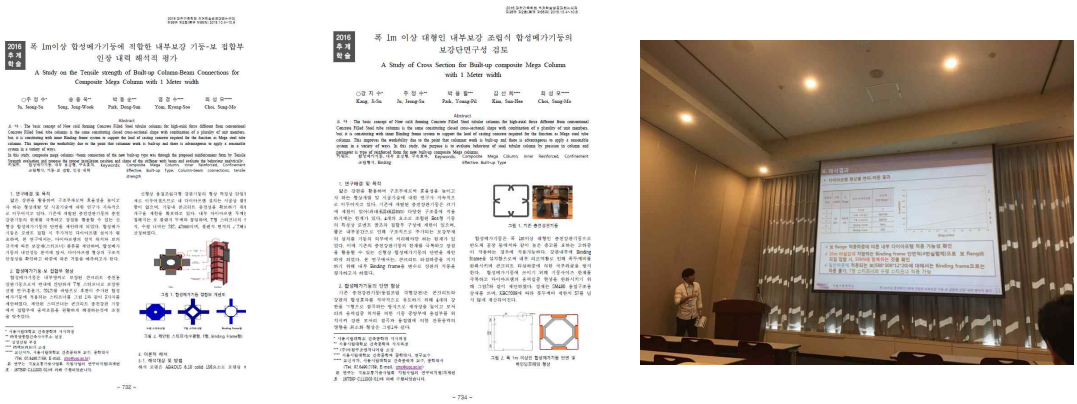


그림 5.2 2016 대한건축학회 추계학술발표대회 '합성메가기둥' 개발기술 홍보

iii) 2016년 한국화재소방학회 추계학술대회 참가

- 일시 : 2016. 11. 17(목) ~ 11. 18(금)
- 장소 : 대전대학교
- 내용 : 「폭 1m 이상을 가진 합성기둥에 대한 해석적 연구」 발표

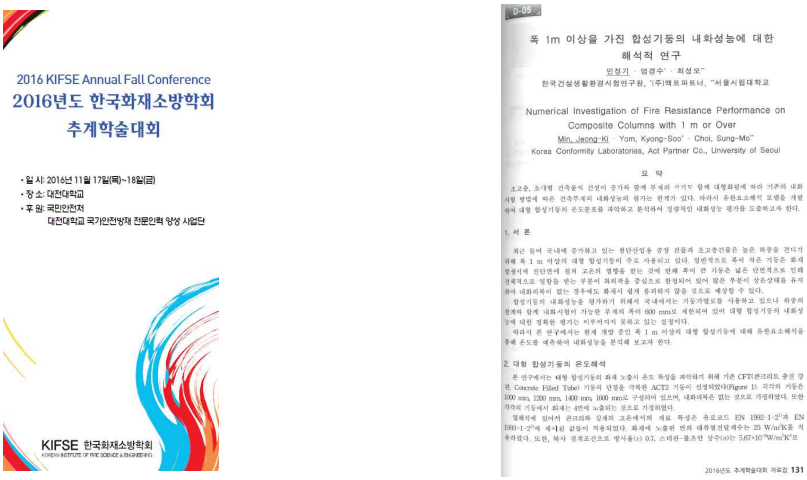


그림 5.3 2016 한국화재소방학회 추계학술발표대회 ‘합성메가기둥’의 내화성능 홍보

② 합성메가기둥 구조시스템의 실험과 현장 적용성 검증을 바탕으로 논문개재 등을 통해 연구성과의 학술적 기술 확산에 활용

i) 2016 도시건축산업페어 참가

- 일시 : 2016. 10. 04(화) ~ 10. 06(목)
- 장소 : 부산 벡스코(부산광역시 해운대구 소재)
- 내용 : 내부에 바인딩프레임을 결합한 폭 1m 이상의 합성메가기둥의 기술 홍보

그림 5.4 2016 도시건축산업페어에 참가하여 ‘합성메가기둥’ 개발기술 홍보

ii) 한국건축구조기술사회 창립 40주년 기념 행사 참가

- 일시 : 2016. 12. 19(월)
- 장소 : 한국과학기술회관(KOFST) 신관 B1 대회의실
- 내용 : ACT Ⅱ(내부보강형 ACT Column의 설계 및 공법)

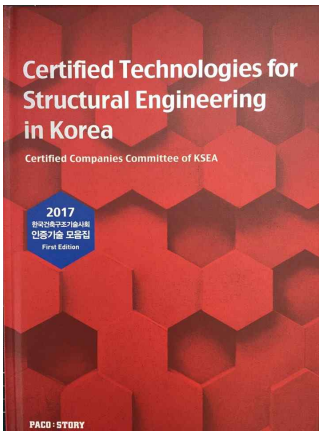


그림 5.5 한국건축구조기술사회 창립 40주년 기념 'ACT Ⅱ' 기술 홍보

③ 합성메가기둥 구조시스템의 건설 신기술 지정과 실증 사업을 통해 신뢰성 증대와 보편화된 구조시스템으로 정착

④ 추가 연구를 수행하여 합성메가기둥 구조시스템의 다양한 접합 상세 개발과 성능검증을 통한 고층 건축물로의 적용 확대

iii) 2017 국토교통기술대전 참가

- 일시 : 2017. 05. 24(수) ~ 05. 26(금)
- 장소 : 일산 킨텍스
- 내용 : 내부에 바인딩프레임을 결합한 폭 1m 이상의 합성메가기둥의 기술 홍보

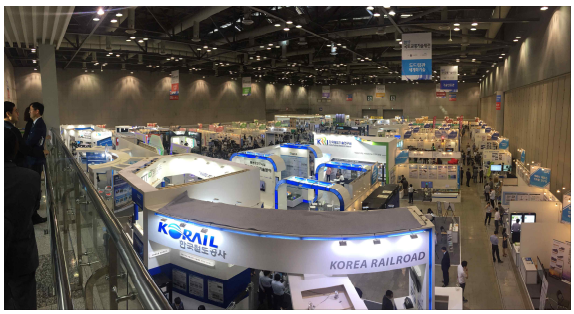


그림 5.6 2017 국토교통기술대전 '합성메가기둥' 기술 홍보

제 6장 연구 과정에서 수집한 해외 과학기술 정보

합성기둥의 사용은 1898년 피츠버그 어느 한 건물에 내화성능을 향상시키고자 강재에 콘크리트로 피복한 것이 최초적용이다. 콘크리트 충전강관 기둥의 개발은 1901년 Swell에 의하여 강관 내부 부식방지 목적으로 콘크리트를 사용한 것에서 시작되었다. 이어 1906년대에 들어서서 본격적으로 시작이 되었으며 1990년대를 지나 혁신적인 해결책으로 매우 얇은 강관의 사용이었다.(Narayanna 1088, Ge and Usami 1992). 이를 통해 경제적인 콘크리트 충전강관 기둥의 시공이 가능해졌지만, 강관의 얇아진 두께는 강재 단면의 국부안전성과 콘크리트의 압축강도 성능에 영향을 미친다. 1990년대 초부터 강관 내·외부에 스티프너로 보강된 CFT 기둥에 대한 연구가 시작되었다.

Ge and Usami(1992)는 그림 6.4(a)와 같은 기둥형상으로 압축재하 실험을 통한 내부 스티프너의 축강성과 내력증가를 확인하였다. 또한 Huang 등(1998)은 그림 6.4(b)와 같이 내부 구속력을 증가시키고자 각형 강관 네 모서리에 타이 바(Tie bar)를 설치하여 일반 각형 CFT 기둥과 축 내력과 거동을 비교하였다. 강관은 타이 바에 의해 콘크리트와의 효과적인 구속효과를 발휘하며 판폭두께비가 큰 각형 CFT기둥에 효율적인 내력과 연성발휘가 가능하다고 평가하고 있다.

Zhong 등(2005)는 그림 6.4(c)와 같이 강관 내부에 스티프너를 설치한 Stub CFT 기둥 실험체는 길이방향의 스티프너가 강관의 국부좌굴 방지와 콘크리트 코어에 대한 횡구속효과를 증대시키며 내·외부에 설치된 스티프너가 동일한 성능을 발휘하는 것으로 확인하였다.

Mursi and Uy(2003) 강관 내외부에 설치된 스티프너에 대한 실험결과를 이론식과 비교하였다. 각형 CFT 기둥의 국부좌굴내력은 기둥을 구성하는 플레이트의 세장비와 구속효과에 영향을 받으며 스티프너 보강이 단면의 효율을 증대시키는 것으로 평가하였다.

Ellobody(2007)는 그림 6.4(c)와 같은 내부 스티프너가 설치된 각형CFT 장주기둥의 유한요소해석을 수행하여 내부 스티프너가 CFT 기둥의 강도와 연성을 향상시키는 것을 확인하였다. 해석에 포함된 판폭두께비 변수는 60～160까지이며, 콘크리트 압축강도는 20～100MPa까지 범위를 두었다.

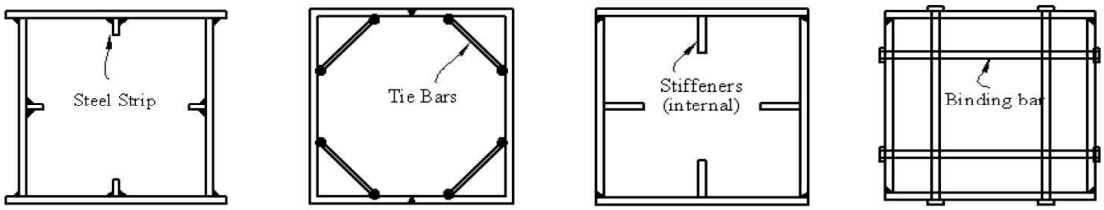
특히, Cai and He(2006)은 그림 6.4(d)와 같이 강관 내 Binding Bar(바인딩 바)를 교차하여 결속력을 높인 형상을 제안하였으며, 실험을 통해 바인딩 바의 간격과 직경이 CFT 기둥의 극한강도와 소성변형에 영향을 주는 것을 확인하였다. 일반 각형 CFT과 비교한 결과 강도 증가는 1.2~1.4배의 효과가 나타나는 것으로 확인되었고 최대내력이후 완만하게 내력이 유지되는 우수한 연성적 거동 확인을 실험적으로 고찰하였다.

Wright(1995)는 얇은 강관을 사용하는 콘크리트 충전강관 기둥의 판폭두께비의 제한치를 제안하였다. 현재까지도 많은 나라에서 얇은 강관을 이용한 콘크리트 충전강관 기둥에 대한

연구를 수행해 오고 있다.

국내의 콘크리트 충전강관에 대한 연구는 1980년대 중반 김동규(1986)에서 최성모(1995), 유영찬(1997), 최영환(2005)등 콘크리트충전 각형 강관기둥의 구조거동을 평가하기 위한 연구들이 진행되었다.

본 연구와 직접적인 선행연구로 용접조립 각형CFT 기둥 및 접합부의 거동(2008)의 연구에서는 큰 좌굴내력을 발휘하도록 하는 용접조립 각형강관을 개발하였으며, 6.0 ~ 10.5 ㎜의 두께를 갖는 얇은 강판을 이용하는 용접조립 각형강관은 기존 설계식에 비해 완화된 판폭두께비를 만족시키는 것을 확인하였다. 단면형상에 따라 필요 용접 목두께를 제안하였고 용접조립 각형강관은 기둥 폭의 중앙에 길이방향으로 설치된 리브가 판폭두께비를 줄여주는 역할을 하는 것으로 확인되었으며, 이로 인해 강관의 전단면이 유효단면이 되므로 동일 폭의 일반강관 기둥에 비해 단면효율이 36 ~ 38 % 높은 것으로 확인되었다.



(a) Ge and Usami (1992) (b) Huang et al. (2002) (c) Zhong Tao et al. (2005) (d) Jian Cai et al. (2006)

그림 6.1 Reinforced CFT cross section

제 7장 연구개발성과의 보안등급

• 일반

(보안등급 분류 기준에 의거하여 보안과제 및 기타과제로 지정되지 아니한 일반과제이다.)

제 8장 국가과학기술종합정보시스템에 등록한 연구시설 · 장비 현황

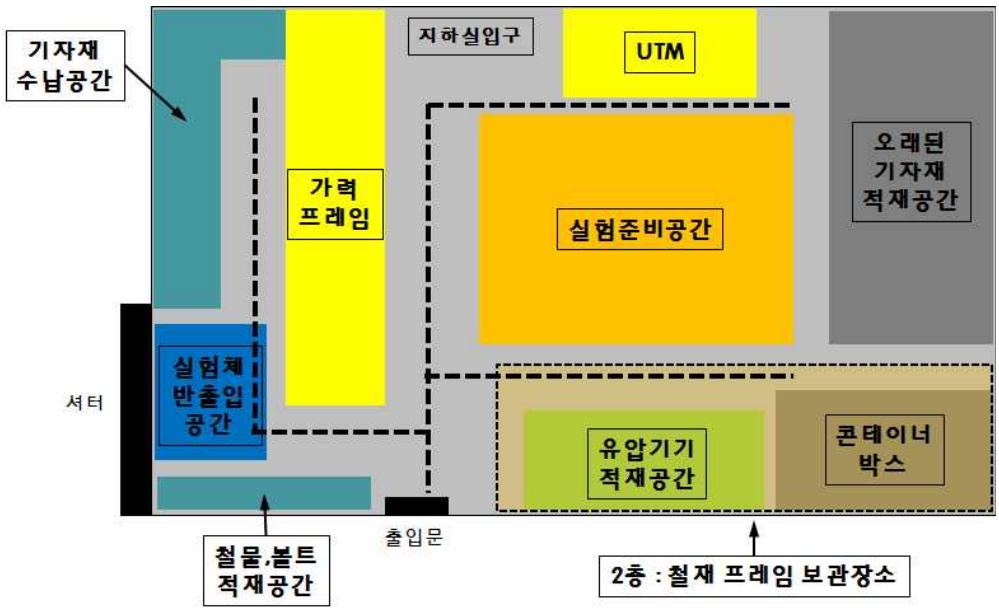
• 해당사항 없음

제 9장 연구개발과제 수행에 따른 연구실 등의 안전 조치 이행 실적

1절 연구실 안전 점검 체계 및 실시

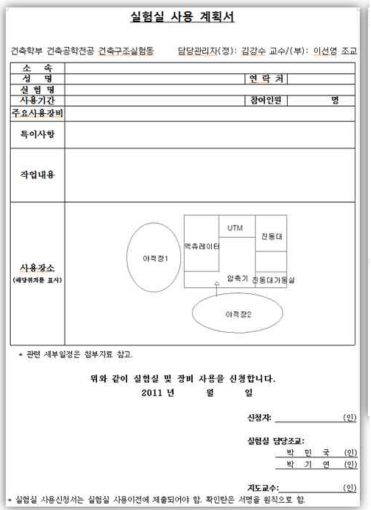
1. 실험실 안전 점검 체계

- 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.



2. 실험실 정밀안전진단 실시

- 연구실의 안전점검 및 정밀안전진단은 시설물 안전점검 및 정밀안전진단 지침에 근거하여 마련된 연구실 자체 지침에 따른다.
- 안전점검으로 정기점검은 6개월에 1회 실시하는 것으로 하며, 정밀점검은 1년에 1회 실시하는 것으로 한다.
- 안전점검 및 정밀안전진단의 실시자는 주관연구 책임자 또는 박사과정 연구원으로 하되, 지침을 반드시 숙지하도록 한다.


실험실 사용 계획서

건축학부 건축공학전공 건축구조실험동 담당관리자(정): 김강수 교수/(부): 이선영 조교

소 속			
성 명		연 락 처	
실 험 명			
사용기간		참여인원	명
주요사용장비			
특이사항			
작업내용			
사용장소			

※ 관련 세부일정은 첨부자료 참고.

위와 같이 실험실 및 장비 사용을 신청합니다.

2011 년 월 일

신청자: (인)

실험실 담당조교: 박 민 국 (인) 박 기 연 (인)

지도교수: (인)

※ 실험실 사용신청서는 실험실 사용이전에 제출되어야 함. 확인란은 서명을 원칙으로 함.

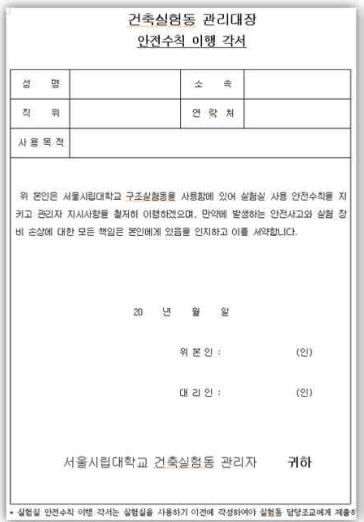
[첨부자료]

1. 세부일정

일자(요일)							
내용							
일자(요일)							
내용							
일자(요일)							
내용							
일자(요일)							
내용							

2. 실험 항목 및 사용 기자재

No.	사용기자재	관련 실험 항목	비고
1			
2			
3			
4			
5			
6			
7			
8			
9			
10			


건축실험동 관리대장

안전수칙 이행 각서

성 명		소 속	
직 위		연 락 처	
사 용 목 적			

위 본인은 서울시립대학교 구조실험동을 사용함에 있어 실험실 사용 안전수칙을 지키고 관리자 지시사항을 철저히 이행하겠으며, 만약에 발생하는 안전사고와 실험 장비 손상에 대한 모든 책임은 본인에게 있음을 인지하고 이를 서약합니다.

20 년 월 일

위 본 인 : (인)

대 리 인 : (인)

서울시립대학교 건축실험동 관리자 귀하

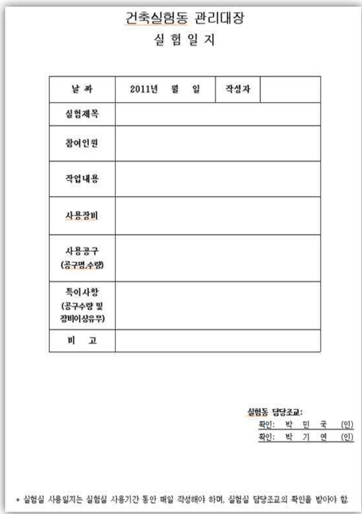
실험기자재 출입대장

건축학부 건축공학전공 건축구조실험동 담당관리자(정): 김강수 교수/(부): 이선영 조교

실험동담당조교: 박민국 , 박기연

날짜	사용 품목	담당교수	대여자(서명요)	출납일자(시간)	반납일자(시간)	연락처	반납확인

※ 실험기자재 출입대장은 실험동 외부에서 사용할 모든 실험기기에 대하여 작성하여 서명해야 함. 사용완료 후에는 반드시 실험동 조교에게 수량 및 상태 점검을 받고 반납확인 서명을 받아야 함.


건축실험동 관리대장

실 험 일 지

날 짜	2011년 월 일	작성자	
실험제목			
참여인원			
작업내용			
사용장비			
사용공구(공구명,수량)			
특이사항(공구수량 및 장비이상유무)			
비 고			

실험동 담당조교: 확인: 박 민 국 (인) 확인: 박 기 연 (인)

※ 실험실 사용일지는 실험실 사용기간 동안 매일 작성해야 하며, 실험실 담당조교의 확인을 받아야 함.

실험실 사용 상세내용

1. 사용자 및 사용기간

소 속			
성 명		연 락 처	
실 험 명			
총사용기간	년 월 일 ~ 년 월 일 (총 일간)	사용료	원

2. 세부일정

일자(요일)							
내용							
일자(요일)							
내용							
일자(요일)							
내용							
일자(요일)							
내용							

3. 사용 기자재

No.	사용기자재	관련 실험 항목	비고
1			
2			
3			
4			
5			
6			
7			
8			
9			
10			

실험실 담당조교: 박 민 국 (인) 박 기 연 (인)

2절 교육 훈련

- 참여연구원의 교육훈련은 산업안전 보건교육규정에 의거하여 실시하는 것을 원칙으로 한다.
- 교육은 1년에 1회 현장교육을 실시하며 교육을 실시하는 자는 안전보건공단의 교육과정을 이수한자로서 주관연구 책임자 또는 박사과정 연구원에 한한다.
- 모든 참여 연구원은 1년에 1회 건강검진을 실시하며, 실험을 진행하는 자 및 참여하는 자는 교내에서 지원하는 상해보험에 가입한다.

3절 보험 가입 현황

1. 보험계약 일반

- 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 종사자인경우에는 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

2. 보험(공제 제안 내용)

• 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 활동목적상 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 상해가 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 상해로 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.

제 10장 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	내부 바인딩프레임으로 구성된 폭 lm 이상 합성메가기둥의 수압실험	서울시립대학교 산학협력단	협동연구기관	복합신소재구조학회	0.3	2017.03.31	단독 사사	KCI
2	논문	폭 lm 이상 합성메가기둥 기둥-보 T형 스티프너 접합부 형상 개발 및 내력식 제안	서울시립대학교 산학협력단	협동연구기관	복합신소재구조학회	0.3	2018.03.31	단독 사사	KCI 게재 예정
3	논문	화재에 노출된 내부보강 조립식 냉간성형 대형합성기둥의 잔존내력에 대한 연구	한국건설생활환경시험연구원	위탁연구기관	복합신소재구조학회	0.3	2018.03.31	단독 사사	KCI 게재 예정
4	특허 출원	바인딩프레임이 구성된 콘크리트 충전용 기둥 조립체의 제작방법 및 이에 의해 제작되는 기둥 조립체	(주)액트파트너	주관연구기관	한국	-	2017.01.17	단독 사사	10-2017-0008342
5	특허 출원	제작 프레임 및 바인딩프레임을 이용한 콘크리트 충전용 기둥 조립체의 제작방법 및 이에 의해 제작되는 기둥 조립체	(주)액트파트너	주관연구기관	한국	-	2017.01.17.	단독 사사	10-2017-008343

제 11장 기타 사항

• 해당사항 없음

제 12장 참고 문헌

1) 건축구조기준 (2016), 국토교통부

2) KBC 합성구조 설계매뉴얼 (2016), 한국강구조학회

3) Fukumoto, T., Morita, K. (2005), Elastoplastic Behavior of Panel Zone in Steel Beam-to-Concrete Filled Steel Tube Column Moment Connections, Jounal of Structural Engineering, Vol. 131, No. 12, pp.1841-1853.

4) Jian Cai, Zhen-Qiang He (2006), Axial Load Behavior of Square CFT Stub Column with Binding Bars, Journal of Constructional Steel Research, Vol. 62, No. 5, pp.472-483.

5) 오헌근, 김선희, 최영환, 최성모 (2012), 2-Seam 냉간성형 각형 CFT 기둥-보 내다이아프램 접합부의 구조성능에 관한 연구, 한국복합신소재구조학회 논문집, Vol. 3, No. 4, pp. 27-37.

6) 이철호, 강기용, 김성용, 구철회 (2013), 각형 콘크리트충전 강관기둥 부재의 구조설계기준 비교연구, Journal of Korean Society of Steel Construction, Vol. 25, No. 4, pp. 389-398.

7) 한택희, 원덕희, 이규세, 강영종 (2009), 구속 효과를 고려한 원형 CFT 기둥의 비선형 해석, 한국방재학회 논문집, Vol. 9, No. 6, pp. 1-9.

8) 한홍수, 최병정, 한권규 (2011), 폭두께비에 따른 강판콘크리트구조의 압축거동, 한국강구조학회 논문집, Vol. 23, No. 2, pp. 229-236.

9) 김영주, 강창훈, 신경재, 오영석, 문태섭 (2001), T-스티프너 보강 CFT 기둥 - H형강보 실대형 접합부의 거동, 한국강구조학회 논문집, Vol. 13, No. 6, pp. 715-723.

10) 임종진, 김동관, 이상현, 이창남, 엄태성 (2016), 복합모멘트접합을 갖는 콘크리트 충전 보-기둥 합성접합부의 반복하중 실험, Journal of Korean Society of Steel Construction, Vol. 28, No. 5, pp. 345-354.

11) 송종욱, 박영욱, 김진호, 최성모 (2004), 합성 반강접 CFT기둥-보 접합부 (PRCCs)의 구조성능에 관한 실험적 연구, 대한건축학회 학술발표논문집, Vol. 24, No. 2, pp. 27-30.

12) 윤여상 (2004), 복합십자형으로 보강한 콘크리트 충전 각형기둥-보 접합부의 내진성능에 관한 실험적 연구, 서울시립대학교 대학원 석사학위논문.

13) 최성모, 박수희, 박영욱, 김진호 (2005), CFT 각형 기둥-보 합성 반강접 접합부의 단

조가력 실험, 한국강구조학회 논문집, Vol. 17, No. 3, pp.325-335.

14) 최성모, 박수희, 박영욱, 김진호 (2005), CFT 각형 기둥-보 합성 반강접 접합부의 이력거동, 대한건축학회 논문집, Vol. 21, No. 6, pp.25-32.

15) 김요숙, 김도범, 김선희, 염경수, 최성모 (2011), ACT II 기둥 합성반강접 골조의 탄소성해석에 관한 연구, 대한건축학회 학술발표대회 논문집, Vol. 31, No. 2, pp.197-198.

16) 김선희, 염경수, 최성모 (2011), 용접조립 CFT기둥-보 합성반강접합부의 이력 거동에 관한 실험연구, 대한건축학회 학술발표대회 논문집, Vol. 31, No. 1, pp.31-32.

17) 김선희, 방중석, 박영욱, 최성모 (2012), 합성반강접 CFT기둥-보 접합부 구조의 경제성 평가, 한국강구조학회 논문집, Vol. 24, No. 1, pp.109-117.

18) 이성주, 김우주 (2014), 상,하부 ㄱ형강 반강접 CFT 기둥-보 접합부의 단조 및 이력거동, 한국강구조학회 논문집, Vol. 26, No. 3, pp.191-204.

19) 박영욱 (2010), 각형 CFT 기둥과 보의 합성반강접 구조설계 적용 연구, 서울시립대학교 대학원 공학박사학위논문

20) 이성희 (2008), 용접조립 각형 CFT 기둥 및 접합부의 거동, 서울시립대학교대학원 공학박사학위논문

21) 박제한 (2007), 용접조립 각형 CFT 기둥-보 외다이아프램 접합부의 구조특성에 관한 연구, 서울시립대학교 대학원 석사학위논문

22) 이자영 (2014), ES 합성기둥의 압축성능 및 거동에 관한 실험적 연구, 고려대 학교 대학교 공학석사학위논문

23) 서민경 (2011), 각형강관과 프리캐스트판으로 구성된 합성기둥의 설계방법에 관한 연구, 계명대학교 대학원 공학석사학위논문

24) 조남규 (2011), 내부 브레이스 보강 yLRC 합성기둥의 압축강도 및 거동에 관한 실험연구, 고려대학교 대학원 공학석사학위논문

25) 김지훈 (2014), 철골철근 콘크리트 합성기둥-보 접합부 거동 및 내력산정에 관한 실험 및 해석적 연구, 경희대학교 대학원 공학석사학위논문

26) 정희택, 오경환, 김성호, 이강민, 임재형, 문정호 (2006), 반복하중을 받는 SRC기둥-RC보 강축접합부의 구조성능 평가, 대한건축학회 학술발표대회논문집, Vol 2, No. 1, pp.373-378.

27) 문정호, 이강민, 임재형, 오경환, 김성호 (2007), SRC기둥-RC보 강축 접합부 상세의 구조성능 평가, Vol. 19, No. 4, pp.401-409.

28) 유재용 (2008), 물류창고 시공의 경제성 비교 분석 및 시공 문제점 개선방안 : SS, PEB, PC구조에 대한 경제성 요인을 중심으로, 중앙대학교 건설대학원 공학석사 학위논문