보안 과제(  ), 일반 과제(○)  /  공개(○), 비공개(  )
국토교통기술사업화 최종보고서

| 발 간 등 록 번 호 |
| --- |
| 11-1613000-001374-01 |

R&D/
15TBIP-C076291-02

# 폭렬제어형 무용접 콘크리트 충전강관(CFT) 기둥의 실용화 설계·시공 기술 개발
# 최종보고서

2016. 9. 13.

주관연구기관 / (주)목양종합건축사무소
공동연구기관 / 한국건설기술연구원
공동연구기관 / 서울시립대학교
공동연구기관 / (주)광일CM종합건축사무소

국 토 교 통 부
국토교통과학기술진흥원

R&D/
15TBIP-C076291-02

Technology Business Innovation Program R&D Report

폭렬제어형 무용접 콘크리트 충전강관(CFT) 기둥의 실용화 설계·시공 기술 개발 최종보고서 2016

국토교통부 국토교통과학기술진흥원

# 제 출 문

국토교통부장관 귀하

폭렬제어형 무용접 콘크리트 충전강관(CFT)기둥의 실용화 설계·시공기술 개발 (연구개발 기간 : 2014. 06. ~ 2016. 06.) 과제의 최종보고서를 제출합니다.

2016. 09. 13

주관연구기관명 : (주)목양종합건축사사무소 (대표자) 김경옥 (인)

공동연구기관명 : 한국건설기술연구원 (대표자) 이태식 (인)

공동연구기관명 : 서울시립대학교 산학협력단 (대표자) 김인철 (인)

공동연구기관명 : (주)광일씨엠종합건축사사무소 (대표자) 조용일 (인)

주관연구기관책임자: 김형준
공동연구기관책임자: 김흥열
공동연구기관책임자: 김강수
공동연구기관책임자: 조준연

국토교통부소관 연구개발사업 운영규정 제38조에 따라 최종보고서 열람에 동의합니다.

# 보고서 요약서

<table>
<tr><td>과제 고유 번호</td><td>15TBIP-C076291<br>-02-000000</td><td>해당 단계<br>연구 기간</td><td colspan="2">2015.06.02. ~<br>2016.06.01</td><td>단계구분</td><td>2단계/ 2단계</td></tr>
<tr><td rowspan="2">연구사업명</td><td>중사업명</td><td colspan="5">국토교통기술사업화 지원사업</td></tr>
<tr><td>세부사업명</td><td colspan="5">공공기술 중소기업 이전 및 사업화</td></tr>
<tr><td>연구과제명</td><td>대과제명</td><td colspan="5">폭렬제어형 무용접 콘크리트 충전강관(CFT)기둥의 실용화 설계 · 시공기술 개발</td></tr>
<tr><td rowspan="2">연구책임자</td><td rowspan="2">김형준</td><td>해당단계<br>참여<br>연구원 수</td><td>총: 25명<br>내부: 13명<br>외부: 12명</td><td>해당단계<br>연구개발비</td><td colspan="2">정부: 315,000천원<br>기업: 210,000천원<br>정부 외: 0천원<br>계: 525,000천원</td></tr>
<tr><td>총 연구기간<br>참여<br>연구원 수</td><td>총: 29명<br>내부: 15명<br>외부: 14명</td><td>총 연구개발비</td><td colspan="2">정부: 630,000천원<br>기업: 420,000천원<br>정부 외: 0천원<br>계: 1,050,000천원</td></tr>
<tr><td>연구기관명 및<br>소속 부서명</td><td colspan="3">㈜목양종합건축사사무소<br>기술연구소</td><td colspan="3">참여기업명</td></tr>
<tr><td>국제공동연구</td><td colspan="3">상대국명: 해당사항 없음</td><td colspan="3">상대국 연구기관명: 해당사항 없음</td></tr>
<tr><td>위탁연구</td><td colspan="3">연구기관명: 준성특허법률사무소</td><td colspan="3">연구책임자: 이준성</td></tr>
<tr><td colspan="4">요약</td><td colspan="3">보고서 면수: 165</td></tr>
</table>


용접접합을 통하여 제작되는 기존 CFT기둥의 강관은 용접불량 및 화재 시 용접부의 급격한 강도 저하 등의 취약점으로 인하여 때문에 내화성능 확보가 어려움.

무용접 CFT기둥은 기존 CFT기둥의 단점을 보완하기 위하여 외부강관 제작 시 용접접합을 배제하고 슬롯을 활용한 접합방식을 고안하였으며 이에 대한 특허를 취득하였음.

다공형 외부강관 사용을 통하여 고온에 노출된 콘크리트의 높은 수증기압을 제어할 수 있기 때문에 콘크리트 재료에서 발생하는 폭렬현상을 방지할 수 있음.

이와 같이 무용접 CFT기둥은 기존 CFT기둥의 취약점을 보완함으로서 별도의 내화피복 없이 법정 요구내화성능 최고 수준인 3시간 이상의 내화성능을 확보할 수 있음.

기존 CFT기둥에서 사용하고 있는 내화피복 재료에서 발생할 수 있는 유해가스를 100 % 제어할 수 있는 친환경 공법임.

기존 공법대비 우수한 경제성 및 내화성능 확보 등의 공법의 특징을 통하여 개발 공법의 사업화를 효과적으로 추진할 수 있음.

# 요 약 문

| | |
|---|---|
| 연구의<br>목적 및 내용 | 본 연구에서는 세계 최초로 모든 건물에 적용할 수 있는 3시간 내화성능을 확보한 폭렬제어형 무용접 CFT기둥을 대상으로 의 설계 및 시공기술을 확보하고 제품화하여 실용화하고자 하였다. 따라서 효율적인 연구수행을 위해 각 연구연차별로 주관 및 공동연구기관에서의 연구수행에 대한 역할 분담을 통하여 연구를 진행하였다.<br>1차년도 : 1단계 연구로서, 무용접 CFT기둥의 상온 구조실험 및 해석을 통하여 경제성 및 구조성능을 갖는 최적단면을 도출하고, 실물 내화성능 실험을 통하여 2시간 내화성능을 확보한다. 또한 대상기술의 설계반영을 통하여 현장적용을 위한 문제점을 분석한다.<br>2 차년도 : 2단계 연구로서, 무용접 CFT기둥의 내화성능 실험을 통하여 법정 요구 내화성능 최고 수준인 3시간을 확보하고, 대상기술을 실제 시공현장에 적용함으로써 시공성 및 경제성을 확인한다. 또한 설계 및 시공 매뉴얼의 구축을 통해 사업화 기반을 마련한다.<br>단계별 연구를 통하여 무용접 CFT기둥의 상·고온 조건에서의 구조성능을 확보하고, 전문기관을 통한 개발공법의 경제성분석과 함께 기술실시계약 및 시장분석을 통하여 사업화 발판을 마련함으로서 **국내 건설시장의 활성화에 기여하고 경쟁력있는 선진 기술을 확보하고자 한다.** |
| 연구개발성과 | - **기술적 측면**: 단일 강관을 사용한 CFT기둥 공법 중에서 국내에서 유일하게 무피복 조건으로 내화성능 3시간을 만족하는 공법이며, 해외에서도 개발공법과 동일한 수준의 경제성 확보 및 무피복 조건에서 3시간 이상의 내화성능을 확보한 사례를 찾아볼 수 없다.<br>- **환경적 측면**: 기존 CFT기둥의 경우 요구 내화성능 확보(2시간 또는 3시간)를 위하여 추가적인 내화피복 공정을 실시하고 있다. 다만, 내화피복재료는 화재에 노출될 경우 유해가스(CO/CO2)를 배출하여 수많은 인명피해를 유발한다는 문제점이 있다. 무용접 CFT기둥의 경우 기존 CFT기둥과 달리 별도의 내화피복이 필요하지 않은 공법으로서 화재 시 발생되는 유해가스를 제어할 수 있다는 특징을 가지고 있다.<br>- **경제적 측면**: 무용접 CFT기둥은 자체성능만으로 내화성능 3시간을 만족할 수 있는 부재로서 기존 CFT기둥 공법에서 내화성능 확보를 위하여 필요한 내화피복 공정을 생략할 수 있다. 또한, 동일 내화성능을 갖는 기존 CFT기둥과 다르게 강재물량절감(이중강관 CFT기둥)등의 특징을 가지고 있어 공기단축 및 시공비용 절감의 효과를 가지고 있다. |
| 연구개발성과의<br>활용계획<br>(기대효과) | 본 연구를 통하여 개발된 무용접 CFT기둥의 경우 부재의 무피복 조건으로 법정 요구내화성능 3시간을 확보할 수 있는 부재로서, 기존 CFT기둥 공법에서 요구내화성능 확보를 위하여 실시되는 추가적인 내화피복 공정을 생략할 수 있어 공기단축 및 공사비 절감효과를 확보할 수 있다. 또한, 용접접합에 의한 용접결함 및 화재노출 시 부재의 취약부 발생을 최소화 하고 폭렬제어공법을 통한 내부응력 감소효과를 통하여 기존 CFT기둥 대비 작은 단면을 구현해 낼 수 있는 구조로써 추가적인 공사비 절감효과가 있다. 이와 같이 기존 CFT공법 대비 단순한 공정 및 최소단면 구현을 통해 CFT기둥 시장의 확대로 이어질 수 있으며, 세계 최초의 무용접 공법으로 CFT기둥의 해외시장개척이 가능할 것으로 기대된다. |

| 핵심어<br>(5개 이내) | 콘크리트<br>충전강관 기둥 | 폭렬 | 슬롯 | 내화성능 | 무용접 |
|---|---|---|---|---|---|

# SUMMARY


| | |
|---|---|
| Purpose & Contents | In this research, the spalling-controlled and non-welded CFT column having 3-hour fire resistance performance has been developed, and its design and manufacturing method also established so that its practical application can be feasible. For an efficient team work between PI and co-institutions, they clearly assigned the work scope for each institution but also collaborated when necessary. The research purpose and works for each research year was as follows:<br>1st year : The optimal cross-section, considering economic and structural aspects, was decided through non-welded CFT column test and structural analysis under the ambient temperature. Then, the full-scale fire tests were conducted to obtain 2-hour fire resistance performance. Also, the prototype products were fabricated to examine their limits and make improvement.<br>2nd year : The non-welded CFT column tests at elevated temperatures were conducted to obtain 3-hour fire resistance performance, which is the maximum performance level in current national codes. Then, The non-welded CFT column was applied to a building structure so that its constructability and economic efficiency could be double checked. In addition, the design and construction manual was prepared to make its application easy.<br>Through the well-established step by step research process, the structural performance of non-welded CFT columns under ambient and elevated temperatures was verified, and economic and market analysis were also performed so that the advanced technology developed in this study can contribute to activate national construction market. |
| Results | Technical viewpoint: Among the CFT technologies utilizing single steel tubes, the non-welded CFT column is the only technology that meets 3-hour fire resistance performance without fire resisting cover materials.<br>Environmental viewpoint: Current CFT columns need additional fire resisting cover materials to satisfy the required fire resistance (2H or 3H). The fire resisting cover materials, however, emits noxious gas($CO/CO_2$) when exposed to fire, which causes a large number of casualties. The non-welded CFT column, however, does not need any fire resisting cover material, and thus no noxious gas are generated under fire.<br>Economical viewpoint: The non-welded CFT column does not need any additional fire resisting cover because 3-hour fire resistance performance was obtained without it, resulting in saving the cost and interest, reducing the construction period, etc. |
| Expected Contribution | Non-welding CFT column developed in this study is the material that meets a 3-hour fire resistance requirement without covering and thus additional fire resistive covering process to satisfy the requirements for CFT column is not necessary, which reduces the time an cost. Besides, it minimizes the defect that might be caused by welding process and vulnerability to the fire as well as realizes the smaller section comparing to existing CFT column through reduction of internal stress by spalling control which results in additional cost reduction. Thus, simplified process and minimized section comparing to existing CFT method are expected to make commitment to expanding CFT market worldwide thanks to non-welding technology developed for the first time ever. |



| Keywords | Concrete filled steel tube | Non-fire proof | Non-welding | Fire resistance | Column |
|---|---|---|---|---|---|

# CONTENTS

**Chapter 1. Research and Development Project Overview ····· 1**

Section 1. Purpose of Research and Development ····· 1

Section 2. Need for Research and Development ····· 6

Section 3. Scope of Research and Development ····· 10

**Chapter 2. Domestic and Overseas Technology Development Status ····· 11**

Section 1. Domestic and Overseas Technology Development Status ····· 11

**Chapter 3. Implementation and Results of research and Development ····· 41**

Section 1. Results of Research and Development ····· 41

Section 2. Evaluation of load-capacity and fire resistance for Non-welded CFT column ····· 44

Section 3. Review for economical efficiency and field applicability ····· 81

Section 4. Execution of certification for fire resistance ····· 100

Section 5. Execution of Green Technology certification and New Technology certification ···· 102

Section 6. The results of research for business model development of technology ····· 113

Section 7. Technical Licensing agreement ····· 125

**Chapter 4. Achievement of Research Objectives and Contribution of Related Areas · 126**

Section 1. Achievement of Research Objectives ····· 126

Section 2. Contribution of Related Areas ····· 132

**Chapter 5. Future Plans of Research and Development Result ····· 134**

**Chapter 6. International Scientific and Technical Information Collected in the Research Process ····· 142**

Section 1. Related Technologies Level and Status ····· 142

Section 2. Related Patent Status ····· 148

**Chapter 7. Research and Development Results of Security Rating ····· 155**

**Chapter 8. Research Facilities and Equipment Status Registered in National Science**

Technology Information System ····· 156

Chapter 9. Safeguards Carried out of Laboratory According to the Research Procedure · 157

Chapter 10. Main Results of Research and Development ····· 158

Chapter 11. Others ····· 161

Chapter 12. References ····· 164

# 목 차


**제1장 연구개발과제의 개요 ····· 1**

제1절 연구개발 목적 ····· 1

제2절 연구개발의 필요성 ····· 6

제3절 연구개발 범위 ····· 10

**제2장 국내외 기술 개발 현황 ····· 11**

제1절 관련분야의 국내·외 기술동향 ····· 11

**제3장 연구 수행 내용 및 성과 ····· 41**

제1절 연구개발 성과 ····· 41

제2절 무용접 CFT 기둥의 구조 및 내화성능 평가 ····· 44

제3절 현장적용성 및 경제성 검토 ····· 81

제4절 내화구조인정 추진 ····· 100

제5절 녹색기술인증 및 건설신기술 추진 ····· 102

제6절 기술 상용화를 위한 연구개발 성과 ····· 113

제7절 기술실시계약 ····· 125

**제4장 목표 달성도 및 관련 분야 기여도 ····· 126**

제1절 연구목표 달성도 ····· 126

제2절 관련분야 기여도 ····· 132

**제5장 연구개발성과의 활용 계획 ····· 134**

**제6장 연구 과정에서 수집한 해외 과학기술 정보 ····· 142**

제1절 관련기술 수준 및 동향 ····· 142

제2절 관련 특허 현황 ····· 148

**제7장 연구개발성과의 보안등급 ····· 155**

**제8장 국가과학기술종합정보시스템에 등록한 연구시설·장비 현황 ····· 156**

제9장 연구개발과제 수행에 따른 연구실 등의 안전 조치 이행 실적 ····· 157

제10장 연구개발과제의 대표적 연구 실적 ····· 158

제11장 기타 사항 ····· 161

제12장 참고문헌 ····· 164

# 제1장 연구개발과제 개요

## 제1절 연구개발 목적

### 1. 연구개발 개요

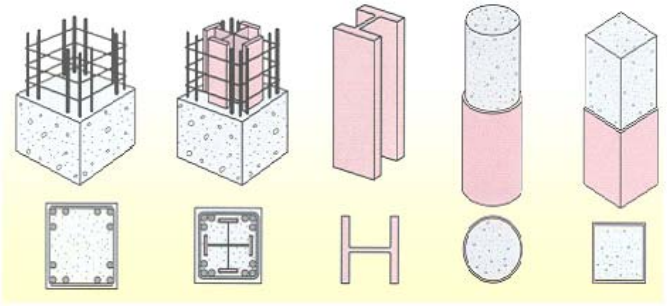
가. 연구개발 기술 정의

1) 콘크리트 충전강관(CFT, Concrete Filled Tube) 개요

○ 콘크리트 충전강관(CFT, Concrete Filled Tube)구조는 폐 단면 부재로써 휨모멘트를 부담하는 강관이 외측에 있고, 축력을 부담하는 콘크리트가 내측에 있어 강관이 내부 콘크리트를 구속하는 한편 콘크리트가 강관의 국부좌굴을 막아주는 효과로 인하여 강도와 에너지 흡수 능력이 다른 구조시스템에 비하여 우수하다.

○ 또한 강관이 거푸집 역할을 하며 종래의 시공방법을 거의 변경할 필요가 없다는 점 등 시공상 유리한 부재다. CFT구조의 우수한 구조적 특성 및 시공성에 의해 고층건물뿐만 아니라 저층건물 및 대공간 구조에서도 사용빈도가 늘어나는 추세이다.

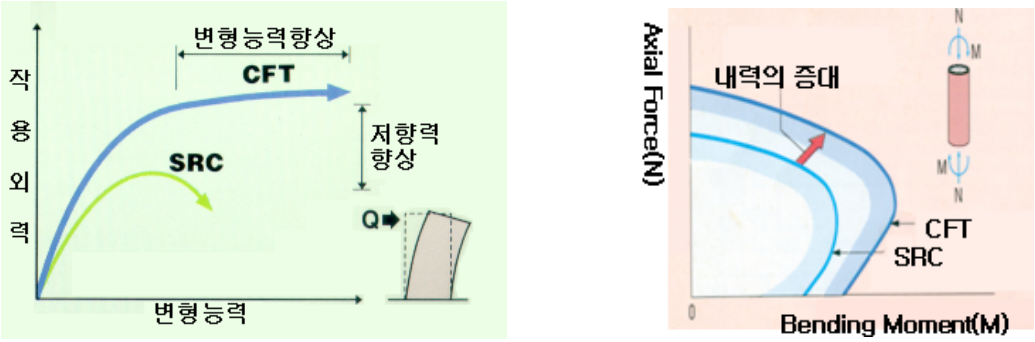
○ 이와 같이 CFT구조는 강관과 콘크리트의 장점을 극대화시킨 합성구조로 두 소재의 합성효과에 의한 강성, 내력, 변형, 내화, 시공성 등의 여러 측면에서 우수한 특성(그림 1.1, 1.2)을 발휘하며 경제성이 우수하고 범용성도 높기 때문에, 건축물의 용도 및 규모와 무관하게 적용할 수 있으며 기둥단면의 최소화, 장스팬 등이 가능한 구조 부재이다.



| | RC 조 | SRC 조 | S 조 | CFT 조 |
|---|---|---|---|---|
| 공간 자유도 | □ | ○ | ● | ● |
| 내진·내풍시 | ● | ● | □ | ○ |
| 내화성 | ● | ● | □ | ○ |
| 고층건물 적용성 | □ | ○ | ● | ● |
| 시공성 | ○ | □ | ● | ● |

●: 매우우수 ○: 우수 □: 보통

[그림 1.1] CFT구조의 우수성

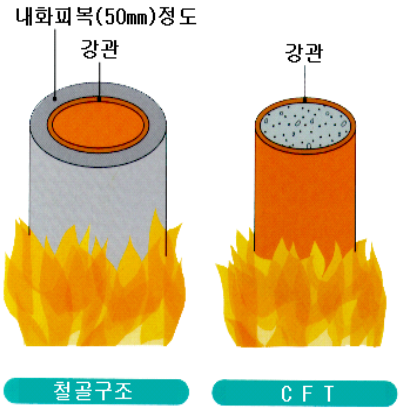



[그림 1.2] CFT구조의 구조성능

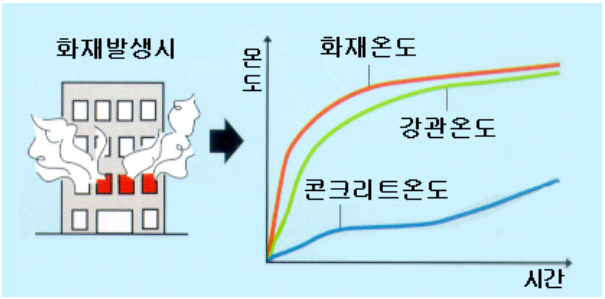
○ 이러한 CFT구조의 또 다른 주요 장점은 강관 내에 채워진 콘크리트의 축열 효과로 인하여 기둥자체만으로 일정한 내화성능을 갖고 있다는 것(그림 1.3, 1.4)이며 이는 1970년대부터 진행되어 온 CFT기둥의 내화성능에 대한 실험 및 해석적 연구들에 의해 평가되어져 왔다.

○ CFT구조가 국내외로 널리 보급되어 온 주요 이유 중의 하나가 바로 우수한 내화성능에 있으며, 화재 시 CFT구조는 열용량이 높은 충전 콘크리트가 축력을 유지하기 때문에 장시간 화재에 견딜 수 있다. 따라서 일정한 조건을 만족시키면 내화피복이 없는 구조도 가능하며, 내화부재로서의 CFT구조의 특징은 주택이나 사무소 등의 일반적인 공간에 발생하는 화재(약 1,000℃)에도 내화피복 없는 구조로 가능하다.

○ 해외사례에서는 내화피복이 없는 CFT구조는 강재의 화재 시 허용온도, 재하시의 문제점 등으로 인하여 종래의 철골조나 RC조와 다르기 때문에 내화부재로서 인정되지 않다가 건축물별로 CFT구조의 실제의 내화성능과 그것을 사용하는 방법을 고려하여 내화부재로서 현재 널리 사용되고 있다. 이러한 내화성능을 확보한 CFT구조가 내화부재로서 사용될 수 있었던 중요한 계기는 건축물의 방화구획 등의 내화상의 가열조건, 화재 시 온도 및 부재온도 설정, 부재의 온도 해석을 통한 내력 예측 등의 성능적 내화설계를 통하여 사용이 가능하게 되었다.




[그림 1.3] CFT 내화특성




[그림 1.4] 화재에 의한 온도변화

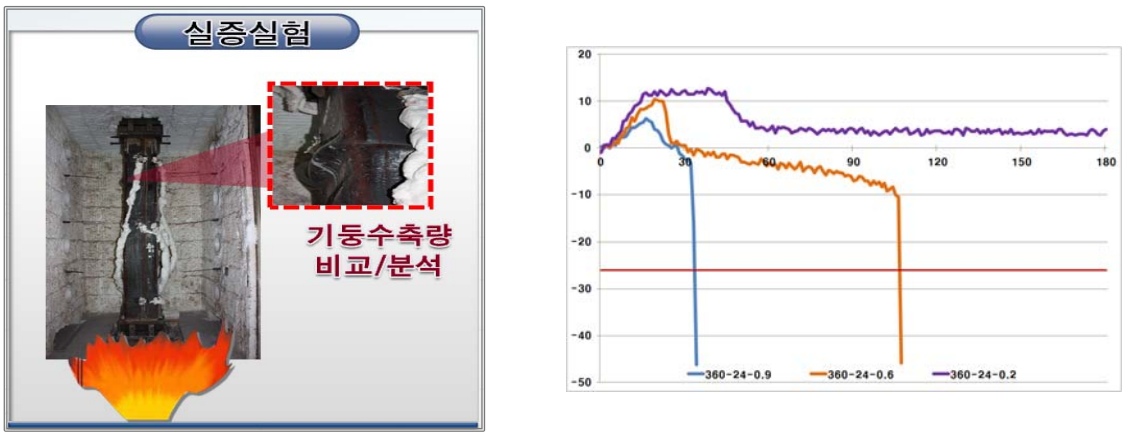
2) 연구개발 기술 개요

가) 다공형 CFT강판을 활용한 내화성능확보 공법

○ CFT 구조에 다공형 구멍형상이 적용된 외부강관의 형태를 통해 화재 시 발생하는 콘크리트 내부의 수증기 압력의 제거가 가능한 구조형상

① 문제점

○ 기존 CFT구조는 외벽이 폐쇄형으로 되어 있기 때문에 화재 시 얇은 강판으로 대부분의 열이 콘크리트 내부로 전달되고, 이로 인해 콘크리트 내부의 수분에 의한 수증기 압력이 급격하게 증가하게 되어 구조체의 변형을 유발하게 된다.




[그림 1.5] 축력비 변화에 따른 변형특성 비교(24MPa, 360단면)

② 해결방안

○ 콘크리트 외부에 다공형 관통부를 설치하여, 콘크리트 내부의 수증기압을 효적으로 제거함으로써 CFT기둥의 내화성능을 확보할 수 있다. 또한 화재 시 발생하는 CFT외부강관의 급격한 국부좌굴을 다공형 관통부에의 응력분산으로 변형을 서서히 유도할 수 있는 기술적 장점이 있다.

나) 콘크리트의 매립된 절곡부의 슬롯형태로 고정

○ 본 대상기술과 유사한 형태의 특허는 다음과 같이 2가지가 있다.

① 절곡성형 철판을 이용한 조립식 폐쇄형 철골부재 및 이의 설치구조[10-0684931]

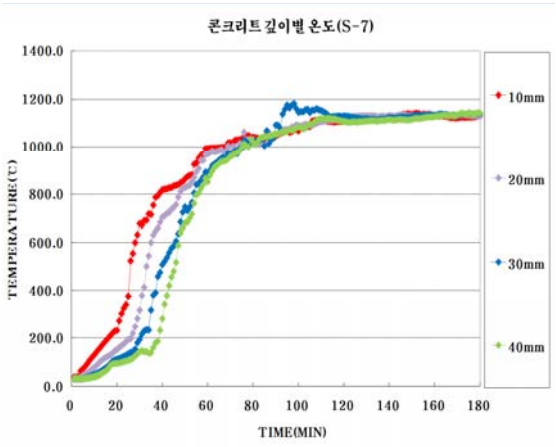
㉠ 문제점

- L형 단위부재 4개를 연결하여 용접하는 구조이지만 화재 시 용접부위가 가장 취약한 부분으로 용접재의 녹음 현상으로 인해 용접부위에서의 파단으로 인해 강관의 터짐현상이 발생할 수 있다.
- 또한 CFT강관 내부에 고강도 콘크리트가 타설될 경우, 고강도 콘크리트의 경우 폭렬

이 유발되는 문제점이 있기 때문에 다수의 용접부위가 노출되는 강관의 경우 화재 시 취약한 문제가 있다.




[그림 1.6] 콘크리트 내부 수증기에 의한 폭렬현황




[그림 1.7] 콘크리트 깊이별 온도변화

② 리브강관을 사용한 중공 CFT 제작공법[10-2010-0035787]

㉠ 문제점

- 강관자체만을 결합시키는 방안으로, 그 결속력이 약하고 콘크리트 내부에의 결합 깊이가 적음으로써 본 대상 기술의 청구항과 차이가 있다.
- 또한 C형강만으로 구속하는 것은, 화재 시 외부강관에의 콘크리트 내부압력의 집중으로 인해 CFT강관의 터짐현상을 유발할 수 있다.

㉡ 해결방안

- CFT 외부강관을 기존의 일체형 강판으로 제작하고, 접합부위를 콘크리트 내부에 T형 형상으로 굴곡하여 인입시키고, 일체화를 위한 ㄷ형 슬롯을 슬라이딩 형태로 삽입하여 고정시킴으로써 용접시공을 대체할 수 있다.

㉢ 기술적 효과

- 콘크리트 내부의 T형 형상의 절곡 부로 제작함으로써 콘크리트와 강관의 합성효과를 증대 시킬 수 있으며, 이러한 합성효과를 통해 상대적으로 내화성능이 높은 콘크리트를 통해 화재 시 외부에 노출되는 강관의 내력저하 문제를 해결할 수 있다.

## 2. 연구개발 목적

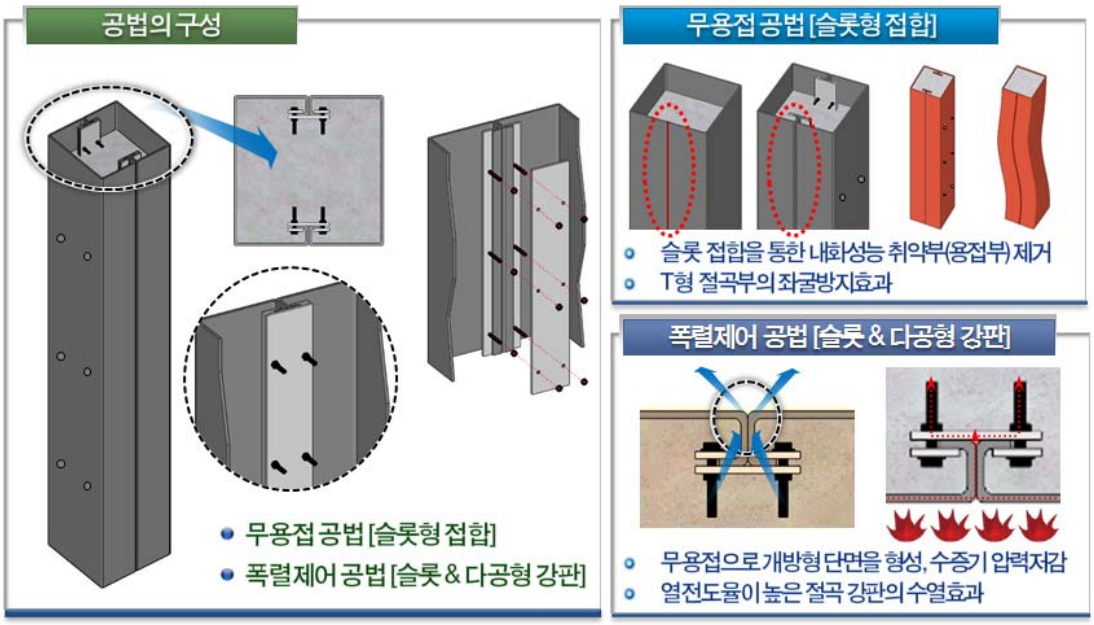
기존 CFT기둥 및 CFT기둥의 내화보강공법의 단점을 보완하기 위하여 슬롯접합방식의 개발 및 다공형 강판을 도입하여 별도의 내화보강 없이 내화성능을 충분히 발휘할 수 있는 본 연구개발 기술의 목적을 다음과 같이 요약할 수 있다.

가. 슬롯을 활용한 CFT기둥의 무용접 일체화 제작공법 실현

기존 용접형 CFT기둥은 고온에 노출 될 경우 용접부의 급격한 성능저하 현상으로 인하여 주요 취약부로 지적되고 있다. 반면 슬롯에 의한 접합방식은 화재 시 강관의 파단 및 구조물 내력상실의 주요원인인 용접부를 제거할 수 있다. 슬롯형 접합부의 형상은 [그림 1.8]-(2)와 같이 접합부위를 콘크리트 내부에 T형 형상으로 절곡하여 인입시키고 일체화를 위한 볼트형 슬롯을 슬라이딩 방식으로 삽입하여 접합함으로써 용접시공을 대체할 수 있으며, 강재와 콘크리트의 합성효과를 극대화시킬 수 있어 화재 시 취성적인 거동을 방지할 수 있다.

나. 폭렬제어 및 수열능력 향상을 통한 CFT기둥의 무피복 내화공법 실현

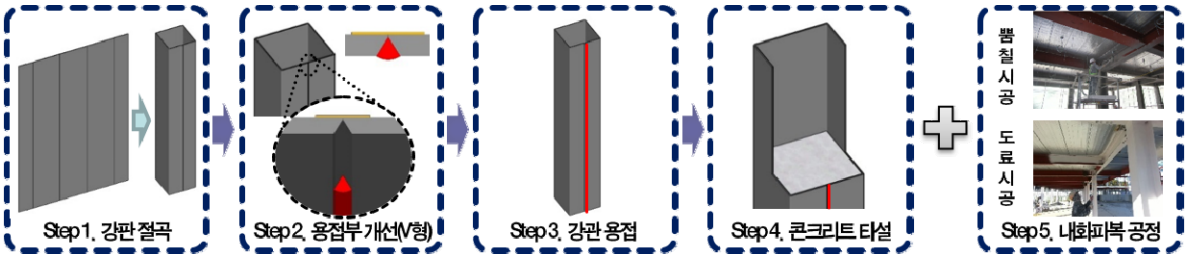
본 연구개발 기술의 슬롯형 접합부는 기존 강관과 같은 폐단면을 구성하지 않아 콘크리트에서 발생하는 고압의 수증기를 외부로 배출할 수 있는 통로 역할을 하며, 슬롯이 배치되지 않는 면에서는 다공형 관통부를 통하여 고압의 수증기를 배출함으로서 폭렬제어가 가능하다. 또한 슬롯형 접합부는 기둥의 단면형상별로 절곡길이를 최적화 하여 화재 시 외부에서 전달되는 열을 강재를 통해 콘크리트 내부로 원활하게 전달함으로서 콘크리트의 수열능력을 최대로 활용할 수 있어 별도의 내화피복 없이도 내화성능 향상이 가능한 공법이다.



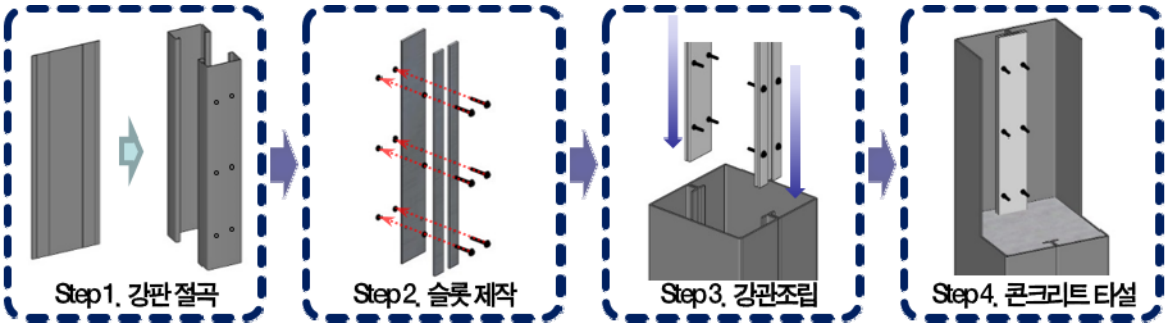

[그림 1.8] 신청기술의 기술 개념도

기존 CFT기둥의 단점을 극복하기 위하여 연구개발 된 본 기술은 슬롯접합을 활용한 CFT기둥의 무용

접 일체화 제작공법과 폭렬제어 및 수열능력 향상을 통한 CFT기둥의 무피복 내화공법으로 구성되며, 대상 공법의 시공절차를 기존 CFT공법의 시공절차와 비교하여 [그림 1.9]에 나타내었다.




(1) 기존 CFT기둥의 제작공정




(2) 무용접 CFT기둥의 제작공정

[그림 1.9] 기존 CFT기둥과 무용접 CFT기둥의 제작공정

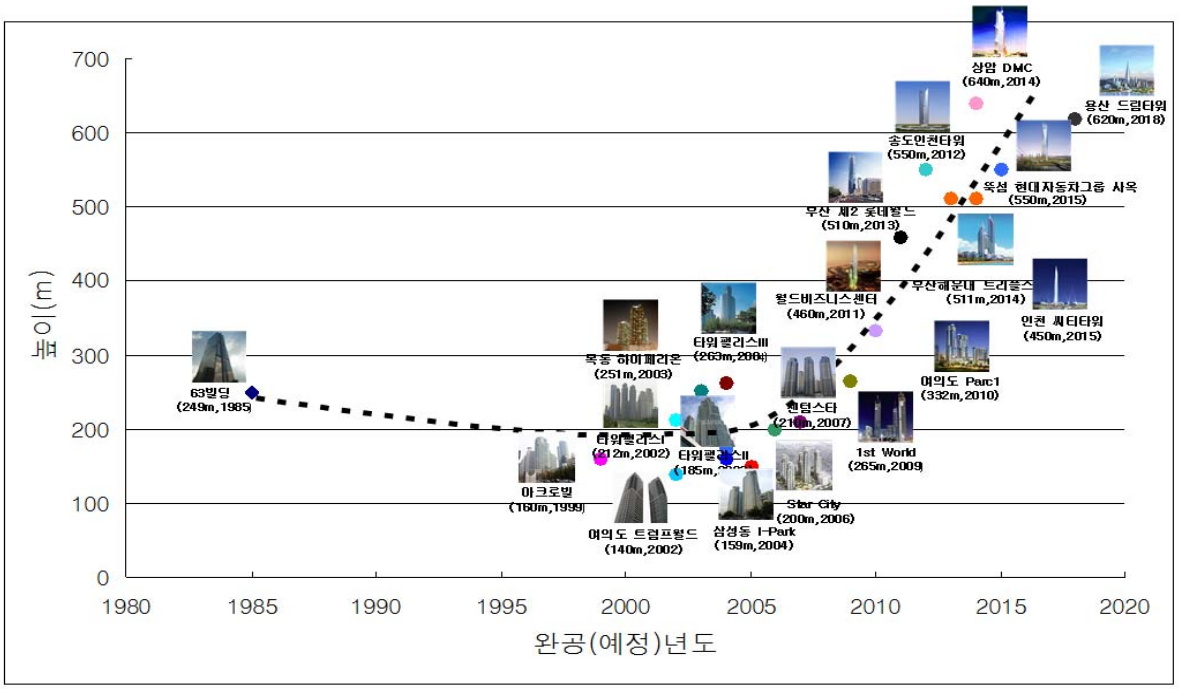
## 제2절 연구개발의 필요성

### 1. 연구개발 추진배경

가. 연구개발 추진배경

(1) **대형 건축물의 증가**

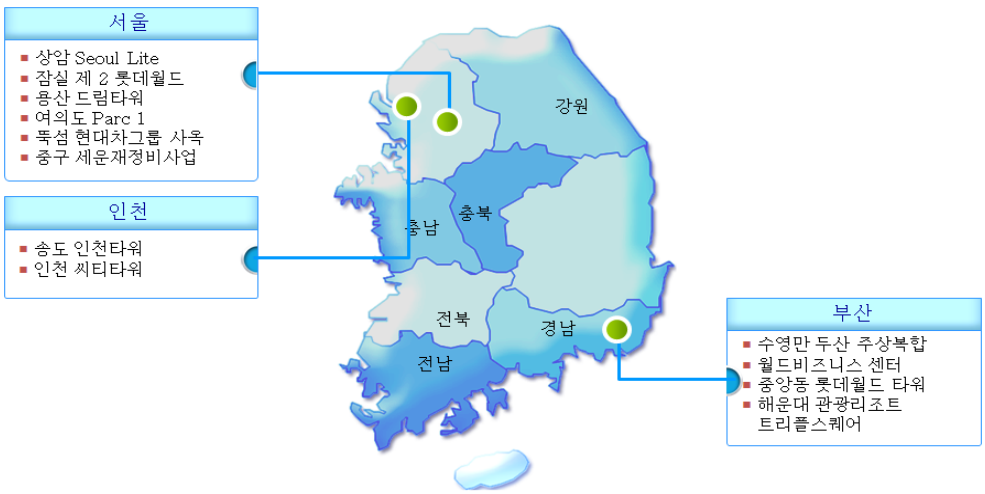
- 건축기술이 발달함에 따라 건축물의 높이는 점점 높아지고 있으며, 다양한 형태와 용도로 건설되고 있다. 현재 국내에서 건설되었거나 건설 중인 건축물은 [그림 1.10]에 정리된 것과 같이 주상복합아파트, 오피스텔, 호텔 등의 용도로 많이 건설되고 있으며, 세계적인 기술력을 보유한 우리나라인 만큼 **초고층 건축물에 대한 투자도 활발히 이루어지고 있다**.
- 이러한 상황과 더불어 최근에는 건축적 공간의 다양성 및 유동성을 확보하고자 하는 사용자의 요구에 따라 초고층 건축물에서 **고강도 기둥에 적합한 CFT기둥의 설계가 많이 이루어지고 있다**. 또한 건축물의 대형화를 인하여 공사기간이 늘어남에 따른 인력 및 부대설비 비용의 증가로 인한 **공기단축이 가능한 CFT 기둥 시스템이 주목받고 있다**.




[그림 1.10] 국내 초고층 발전현황

(2) **고강도 CFT 기둥의 적용사례 증가**

- 국내에서 CFT구조를 최초로 적용한 건물은 1996년에 건설된 삼성건설 기술연구소이며, 이후 중저층 건축물에서 초고층 건축물에 이르기까지 다양한 이유로 아래에 소개된 건축물들이 완공되었다. 예를 들어 세일철강 공장들의 경우, 사용강재량 절감 및 내화피복량 감소를 목적으로 CFT가 채용되었으며, 대우조선 종합기술센터(식당동 3층)의 경우 설계조건상 기둥의 단면크기가 제한되어 있어 CFT의 적용이 불가피했던 경우이다. 이밖에도 주거용 건축물의 경우 기둥단면 축소, 강성증대 외에 시공성 향상 및 공기단축 등의 경제적 효과를 거둘 목적으로 CFT를 구조를 채용하고 있으며 [그림 1.11 및 12]와 같이 **국내 건설시장에서 CFT구조의 적용이 시공성과 경제성으로 인해 사용이 점차 증가하고 있다.**




[그림 1.11] 국내 초고층 분포현황

① 삼성 Tower Palace Sport Club (서울, 지하2층/지상7층, 연면적 5,400평)

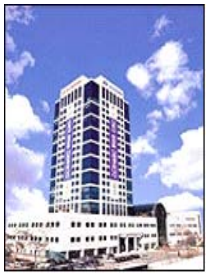
② 우신하우스텔 (부산, 지하6층/지상40층, 2개동 연면적 25,800평)

③ 대우조선 종합기술센터 (거제, 지상9층)

④ 삼성 메디컬센터 (김포, 지상8층)

⑤ 세일철강 공장 (서울, 지상1층, 연면적 1,500평/향후 30,000평 예정)

⑥ 삼성 R4 (수원 DM 연구소, 지하 4층/지상 37층)

|  |  |  |  |  |
|---|---|---|---|---|
| 타워펠리스III<br>스포츠동<br>(9층, 2004년) | 타워베르빌<br>(49층, 2005년) | R4<br>(42층, 2005년) | 현대자동차 사옥<br>(24층, 2006년) | 부산 롯데월드<br>(107층, 시공중) |

[그림 1.12] 국내 CFT 구조 사례

## 2. 연구개발 추진 필요성

| | |
|---|---|
| 기술적 측면 | • 폭렬제어형 무용접 CFT기둥 설계·시공 매뉴얼 구축 및 건설 신기술 추진 |
| 경제·산업적 측면 | • 해외기술 대체효과로 인한 국가 기술경쟁력 확립 |
| 사회·문화적 측면 | • 안전성이 확보된 고품질·고효율의 대형 건축물 제공 가능 |

가. 기술적 측면

- 대상기술의 내화실험·해석에 의한 내화성능검증에 따른 국내 기술력 확보
- CFT구조의 국내 고유의 재료 물성 정립을 통한 국내 기술력 확보
- CFT구조 내화성능설계 기법 정립 및 인증추진
- 대상기술의 상·고온조건에서의 구조성능 확보를 통한 건설 신기술 추진을 통하여 적극적인 공법의 실용화 가능

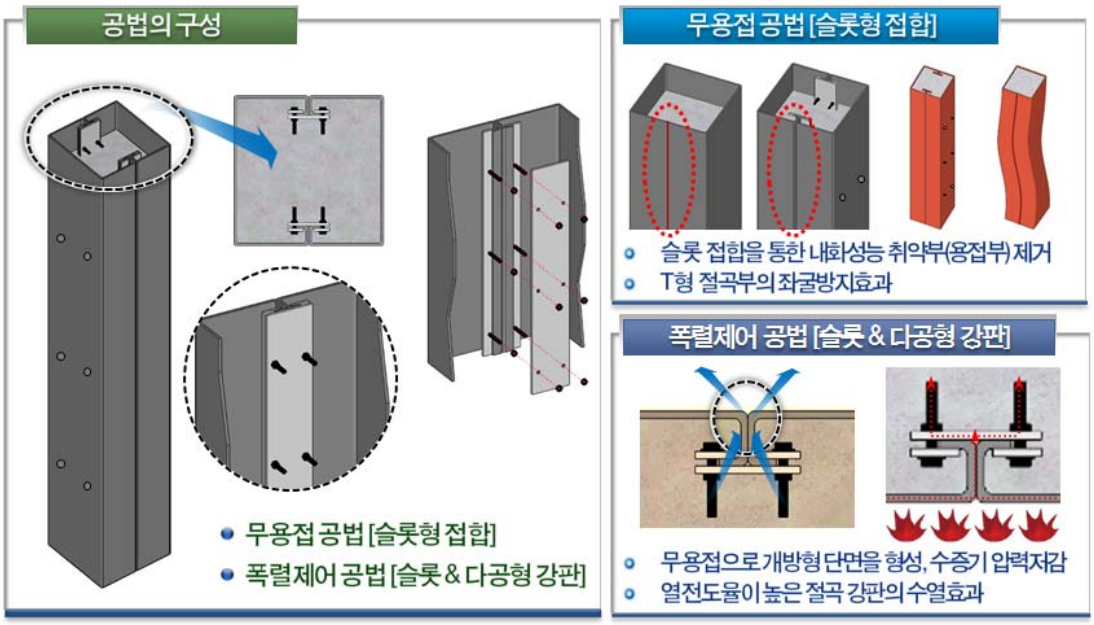
나. 경제·산업적 측면

- CFT구조의 고급 내화설계 기술 개발로 인한 국가 경쟁력 확보
- CFT구조 시공의 단순화로 시공현장의 작업환경 개선
- CFT구조의 내화성능 확보를 통한 현장 적용 활성화 및 수요 증가
- 무피복 CFT구조 적용에 따른 내화피복비용 절감(약 70% 절감)
- 내화관련 산업부문의 국제적 인증 및 무역거래 확대기여
- 건설신기술 추진 및 공법의 실용화를 통한 수요 급증 기대

다. 사회·문화적 측면

- 내화성능이 확보된 CFT구조 적용에 따른 화재 시 건축물 붕괴로 발생될 수 있는 인명 및 재산피해의 절감에 기여
- 성능적 화재안전설계기술 확보에 의한 대형 국가적 재해 방지

## 제3절 연구개발 범위




[그림 1.13] 신청기술의 기술 개념도

CFT 기둥은 강재튜브 내에 콘크리트를 타설한 부재로서, 강재튜브에 의한 구속력으로 인하여 내부 콘크리트의 강도증진 효과가 발휘되며 별도의 철근보강 없이도 우수한 구조적 성능을 가지기 때문에 국내·외의 대형 건축물에 널리 사용되고 있다. 그러나 기존 CFT 기둥은 용접접합 방식을 통하여 외부강관을 제작하며, 용접부위는 화재 노출 시 급격한 강도저하 현상이 발생하게 되어 부재의 내화성능 확보가 매우 어려우며 또한, 강관이 외부로 노출되어 있기 때문에 화재 노출 시 급격한 재료성능저하로 인하여 취성적인 부재거동이 우려된다. 따라서 기존 CFT기둥의 경우 내화성능 확보를 위하여 강관 표면에 내화피복이 불가피하다.

본 연구개발 기술인 무용접 CFT기둥의 경우 기존 CFT기둥의 취약점을 보완하기 위하여 [그림 1.12]와 같이 외부강관 제작 시 용접접합을 배제하여 **슬롯을 활용한 접합방식을 개발**하였다. 또한 **다공형 외부강관을 사용함으로서 고온에 노출된 콘크리트의 높은 수증기압을 제어**할 수 있기 때문에 콘크리트 재료에서 발생하는 폭렬현상을 방지할 수 있다. 이와 같은 개발공법을 통하여 본 연구개발에서는 별도의 **내화피복 없이 3시간 이상의 내화성능을 확보**하고자 하였다.

# 제2장 국내·외 기술개발 현황

## 제1절 관련분야의 국내·외 기술동향

### 1. 국가연구개발사업 유사연구 검토

[표 2.1] 관련분야의 국내 유사연구

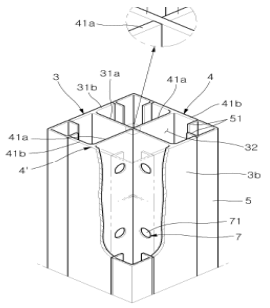
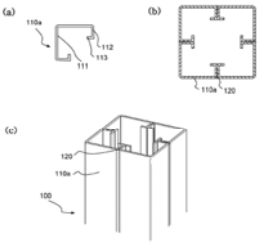
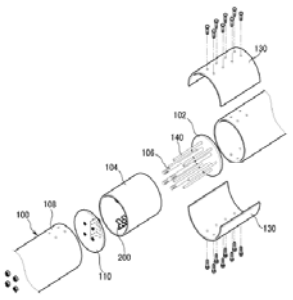
| 부처명 | 사업명 | 과제명 | 예산 (백만원) | 비 고 |
|---|---|---|---|---|
| 교육부 | 일반연구자지원 | 스마트 반강접합을 갖는 CFT 합성골조의 성능 평가 및 향상 기법 | 45 | CFT 접합부의 구조적 성능에 대한 연구로써 본 과제와 차별성을 지님 |
| 교육부 | 일반연구자지원 | 충전성을 개선한 CFT 구조의 기둥-보 접합부의 구조적 거동 | 60 | CFT 접합부의 구조적 성능에 대한 연구로써 본 과제와 차별성을 지님 |
| 중소기업청 | 산합연협력 기술개발 | CFT 강관기둥을 이용한 철골조 역타공법 | 262 | CFT 구조의 시공에 대한 연구로써 본 과제와 차별성을 지님 |

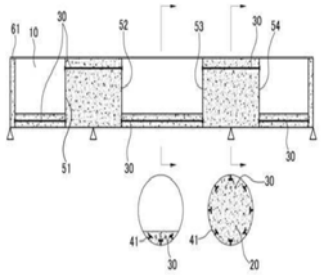
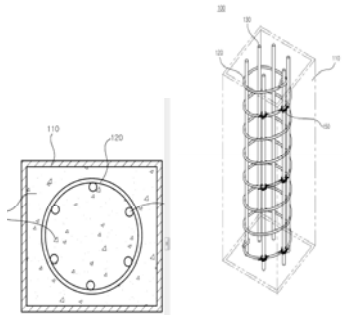
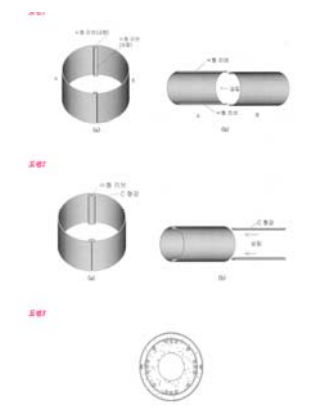
국내에서 실시된 본 연구개발 과제와 유사한 국가연구개발사업은 [표 2.1]과 같이 기존 CFT 기둥기술을 활용한 연구로서 이 연구개발 과제에서 수행하고자 하였던 무피복 조건의 CFT기둥의 내화성능 3시간 확보공법 개발과는 차별성이 있다.

### 2. 국내·외 관련기술 특허동향

#### 가. 유사기술 선행조사

- 국내에서 구조성능 및 내화성능 향상을 목표로 개발된 대표적인 CFT기둥은 아래 표와 같다. 폐단면을 만들기 위한 다양한 방식이 제시되고 있다. 하지만 폐단면 구현방식으로 용접을 벗어나지 못하고 있는 실정이며, 충전 콘크리트의 고강도로 인한 폭렬현상에 대한 기술은 제시되지 못하고 있다.

<table>
<tr><th colspan="6">유사기술 선행조사</th></tr>
<tr><th>구분</th><th colspan="2">기술명칭</th><th>출원번호</th><th>출원일자</th><th>등록번호</th><th>등록일자</th></tr>
<tr><td rowspan="2">등록<br>특허</td><td colspan="2">콘크리트충전 강관기둥</td><td>10-2009-0046234</td><td>2009.05.27</td><td>10-2010-0127902</td><td>2010.12.07</td></tr>
<tr><td>청구항<br>기술요약</td><td colspan="3">• H형강과 H형강 웹부분에 T형강을 용접하고, 각 모서리 부분은 얇은 강판을 절곡하여 형성하는 구조<br>• H형강과 T형강의 각 플랜지와 접합하여 충진 콘크리트가 타설되도록 공동을 형성하는 마감재<br>• T형강의 웹에 길이방향으로 일정간격 이격되는 관통부</td><td>  </td></tr>
<tr><th>구분</th><th colspan="2">기술명칭</th><th>출원번호</th><th>출원일자</th><th>등록번호</th><th>등록일자</th></tr>
<tr><td rowspan="2">등록<br>특허</td><td colspan="2">절곡성형 철판을 이용한 조립식 폐쇄형 철골부재 및 이의 설치구조</td><td>10-2006-0019142</td><td>2006.02.28</td><td>10-0684931</td><td>2007.02.13</td></tr>
<tr><td>청구항<br>기술요약</td><td colspan="3">• 철판을 절곡성형한 단위부재를 조립하여 완성한 폐쇄형 철골부재 및 이의 설치구조에 관한것<br>• 리브L형상의 면형성부와 상기 면형성부 양단부에 내측으로 절곡된 절곡부</td><td>  </td></tr>
<tr><th>구분</th><th colspan="2">기술명칭</th><th>출원번호</th><th>출원일자</th><th>등록번호</th><th>등록일자</th></tr>
<tr><td rowspan="2">등록<br>특허</td><td colspan="2">콘크리트 충전강관거더</td><td>2006-0047254</td><td></td><td>10-0766661</td><td>2007.10.05</td></tr>
<tr><td>청구항<br>기술요약</td><td colspan="3">• 교량 거더를 구축하기 위한 프리캐스트 부재제작 공법<br>• 강관을 폐쇄하는 정착판, 콘크리트가 충전되는 강관소켓<br>• 정착판에 연결되고, 볼트가공이 되어 있는 강봉<br>• 강관의 타단에 설치되며, 이웃하는 강관의 소켓이 삽입될 수 있도록 형성된 소켓끼움부</td><td>  </td></tr>
</table>

<table>
<tr><th colspan="6">유사기술 선행조사</th></tr>
<tr><th>구분</th><th colspan="2">기술명칭</th><th>출원번호</th><th>출원일자</th><th>등록번호</th><th>등록일자</th></tr>
<tr><td rowspan="2">등록<br>특허</td><td colspan="2">콘크리트 충전강관보</td><td>10-2006-0123946</td><td>2006.12.07</td><td>10-0763029</td><td>2007.09.21</td></tr>
<tr><td>청구항<br>기술요약</td><td colspan="3">• 교량등의 거더로서 콘크리트가 충전된 프리스트레스 강관보에 관한 것<br>• 부착력을 높이기 위한 부착보강재 포함<br>• 상기 복부의 끝단을 절단하고, 부착돌기를 포함하는 것을 특징으로 하는 콘크리트 충전강관보</td><td colspan="2">  </td></tr>
<tr><th>구분</th><th colspan="2">기술명칭</th><th>출원번호</th><th>출원일자</th><th>등록번호</th><th>등록일자</th></tr>
<tr><td rowspan="2">특허<br>출원</td><td colspan="2">횡구속력이 향상된 콘크리트 충전강관</td><td>10-2008-0134676</td><td>2008.12.26</td><td>-</td><td>-</td></tr>
<tr><td>청구항<br>기술요약</td><td colspan="3">• 횡구속력 및 내화성이 향상된 콘크리트 충전강관<br>• 상기 강관 내부에 강관의 길이방향으로 설치되는 나선형 선재<br>• 나선형 선재는 철근, 강선, 강연선 중 어느하나 또는 둘 이상의 조합으로 이루어지는 것을 특징으로 하는 충전강관</td><td colspan="2">  </td></tr>
<tr><th>구분</th><th colspan="2">기술명칭</th><th>출원번호</th><th>출원일자</th><th>등록번호</th><th>등록일자</th></tr>
<tr><td rowspan="2">특허<br>등록</td><td colspan="2">리브강관을 사용한 중공 CFT 제작공법</td><td>10-2008-0095138</td><td>2008.09.29</td><td>10-2010-0035787</td><td>2010.04.07</td></tr>
<tr><td>청구항<br>기술요약</td><td colspan="3">• 리브강관을 사용한 원심력 중공 CFT 제작방법에 관한 것<br>• 열연코일을 이용하여 양단에 ㄷ형 리브가 달린 방원형으로 제작하여 용접없이 결합하는 것<br>• 첫 번째는 반원형 강관 양단에 각각 안쪽 바깥쪽으로 E형 리브를 조성한 한쌍의 리브들을 맞대고 끼워넣은 방법<br>• 반원형으로 성형한 양단을 안쪽에 ㄷ형 리브로 조성하여 C형강을 끼우는 방법</td><td colspan="2">  </td></tr>
</table>

## 나. 구조물의 접합부 관련 연구사례 분석

- 충남대학교(2002)[1]는 연구보고서를 통해 원자력 발전소 구조물의 기술개발에 있어 공기단축을 위한 모듈화 시스템 개발 일환으로 CFT를 도입하였고, 그에 따라 접합부에 대한 거동을 검토하게 되었으며 기존은 CFT 공법의 접합방식에 대한 다양한 연구에 대해 기존 연구자들의 내용을 다음 [표2.2]와 같이 정리하였다.

[표 2.2] 기존 연구자들의 실험변수 및 주요내용

| 연구자 | 실험변수 | 주요내용 |
|---|---|---|
| Marcakis & Mitchell (1980) | • 기둥 축하중, 관통된 철골형태<br>• 접합부의 유효길이, 하중 편심거리<br>• 접합부에 용접된 철근량 | • 기둥속에 넓은 플랜지의 철골이 박혀 있을 때 강성이 크다<br>• 박혀 있는 구조 철골 단면에 용접된 철근은 접합부의 성능 향상시킴. |
| Hawkins (1980) | • 스터드의 묻힘 길이<br>• 스터드의 배치 형태<br>• 작용된 하중의 모멘트-전단력 비 | • 접합부의 휨강도가 스터드의 인장강도와 그 수직간격에 제한을 받는다.<br>• 심한 반복하중은 접합부의 극한강도를 감소시키고 강성을 저하시킨다. |
| Valbert | • 축력<br>• 보의 전단력 | • 콘크리트 코어가 강관내에서 국부좌굴을 연기시킨다.<br>• 시험편들은 인장플랜지 근처의 관벽 파단에 의해 파괴된다. |
| Ansourian (1976) | • 재하하중/최대하중비 (0.15~0.75) | • 강관의 항복과 접합부의 성능감소 후에 패널존의 붕괴에 의해 파괴된다. |
| Kanatani (1987) | • 하중재하 방법(단조가력, 반복하중)<br>• 접합형식(외다이아프램, 관통다이아프램)<br>• 콘크리트 강도 | • 모든 접합부가 접합된 보의 소성모멘트를 향상시킨<br>• 관벽의 국부좌굴에 의해 파괴<br>• 콘크리트 강도와 무관한 거동 특성 |
| Dawe (1990) | • 접합부 형식(tension plate, seat angle) | • 중공강관벽에 double plate를 보강함으로써 보 전체 성능 증가 |
| Shanmugam (1994) | • 접합부 형식<br>• flat plate, angle, T-stiffner | • flat plate, angle은 관벽에 높은 응력 유발<br>• WT단면으로 보강된 접합부는 높은 강성과 극한 성능을 보임<br>• 보 플랜지의 하중이 강관기둥의 웨브로 |

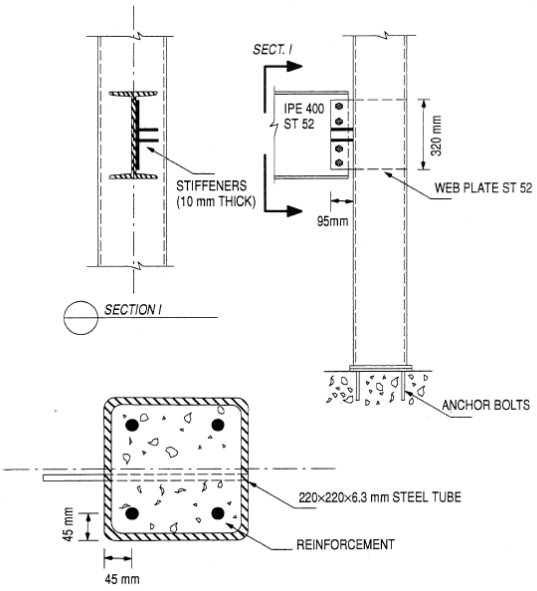
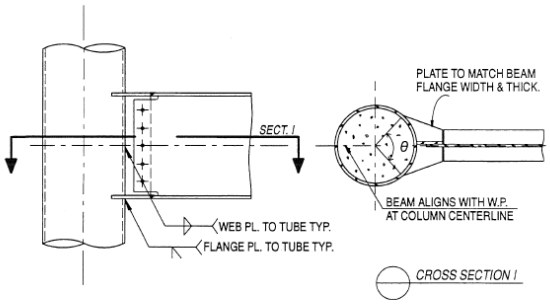
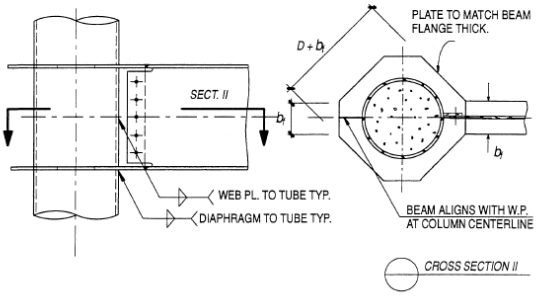
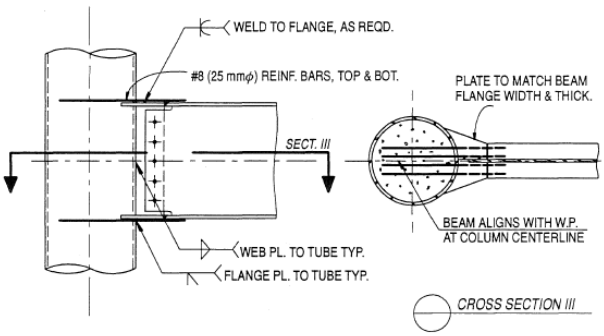
1) 충남대학교, 대형 CFT 기둥과 보 접합형식 개발, pp.38, 2002

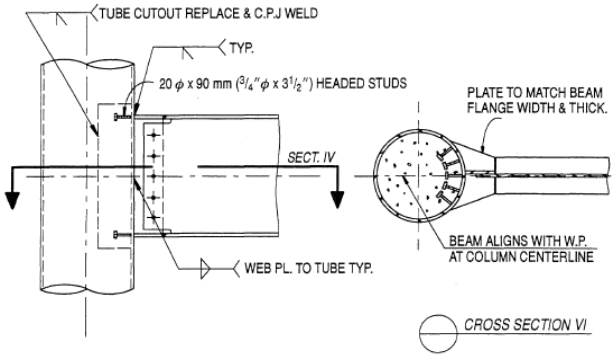
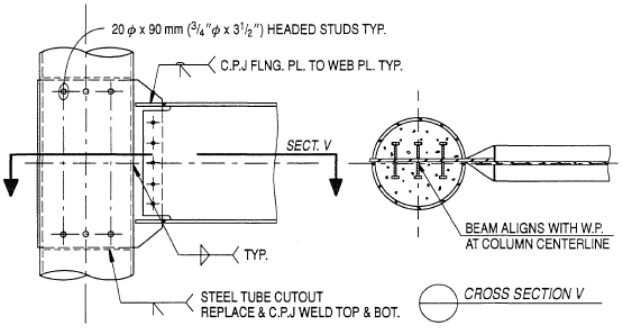
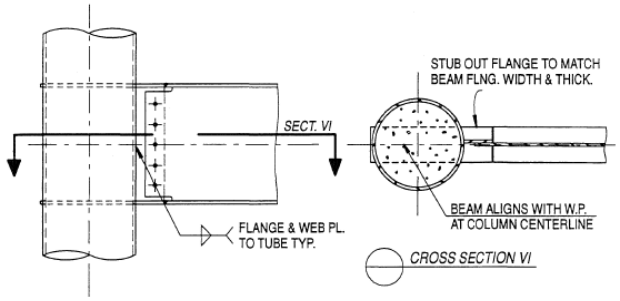
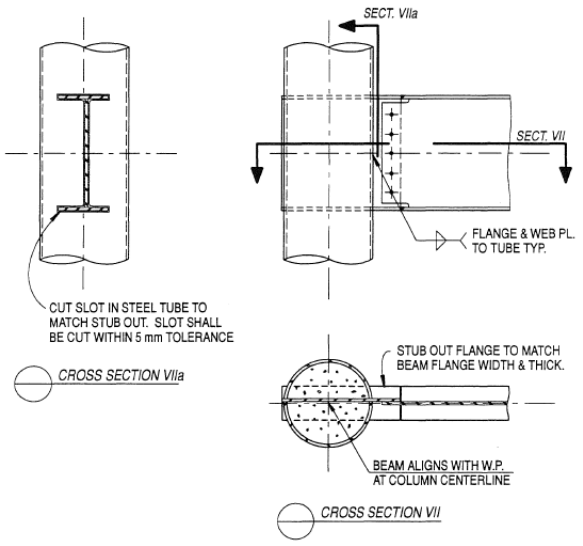
| 연구자 | 실험변수 | 주요내용 |
|---|---|---|
| | | 전달될 때 가장 좋은 거동을 보임 |
| Azizinamini (1997) | • 관통형 접합부 | • 접합부 내부의 형강 웨브부분에 전단 변형 발생<br>• 충전 콘크리트의 압축지지대는 접합부에서 전단에 저항하는 형강 웨브를 보강해 줌을 입증 |
| Kato (1992) | • 철골보-기둥 모멘트 접합부 | • 적절히 설계된 접합부는 보의 휨강도 증가<br>• 안정된 주기적 거동과 훌륭한 에너지 소산 능력을 보임 |
| Morino (1992) | • 파괴유형(패널존의 전단파괴, 합성기둥의 파괴) | • 패널파괴 시험편이 기둥파괴 시험편에 비해 더 안정적이고, 더 좋은 에너지 분산 능력을 보임<br>• 평평한 실험체에서는 보이지 않는 항복 후 강도증가, 소성힌지가 3차원패널에서 나타남. |
| Prion & McLellan | • 단부 플레이트가 보의 단부에 부착된 접합부 | • 기둥 관통 볼트로부터 우수한 전단 능력이 나타남<br>• 이때 볼트에는 큰 편심거리에 의한 전단, 휨 작용 |
| Shakir (1992) | • shear connector의 사용 유무 | • shear connector 사용시 파괴하중 7% 증가<br>• 접합부의 유일한 손상은 볼트 구멍의지지 파괴<br>• 콘크리트 손상이 없다 |

- Yousef M. L 등(1996)[2] 은 원형 CFT 강관의 접합부에 대해 연구한 보고서로, 프로토타입 프레임의 설계와 해석, 접합부의 유한요소 해석 및 6개 타입의 접합부에 대한 실험을 실시하였다. 이 연구에서 CFT의 접합부에 대해 몇 가지 타입으로 분류하여 정리하였으며 그 분류는 다음 [표 2.3]과 같다.

2) Yousef M. A., Stephen P. S., Connections to concrete-filled tubes, University of Illinois at Urbana-Champaign, 1996

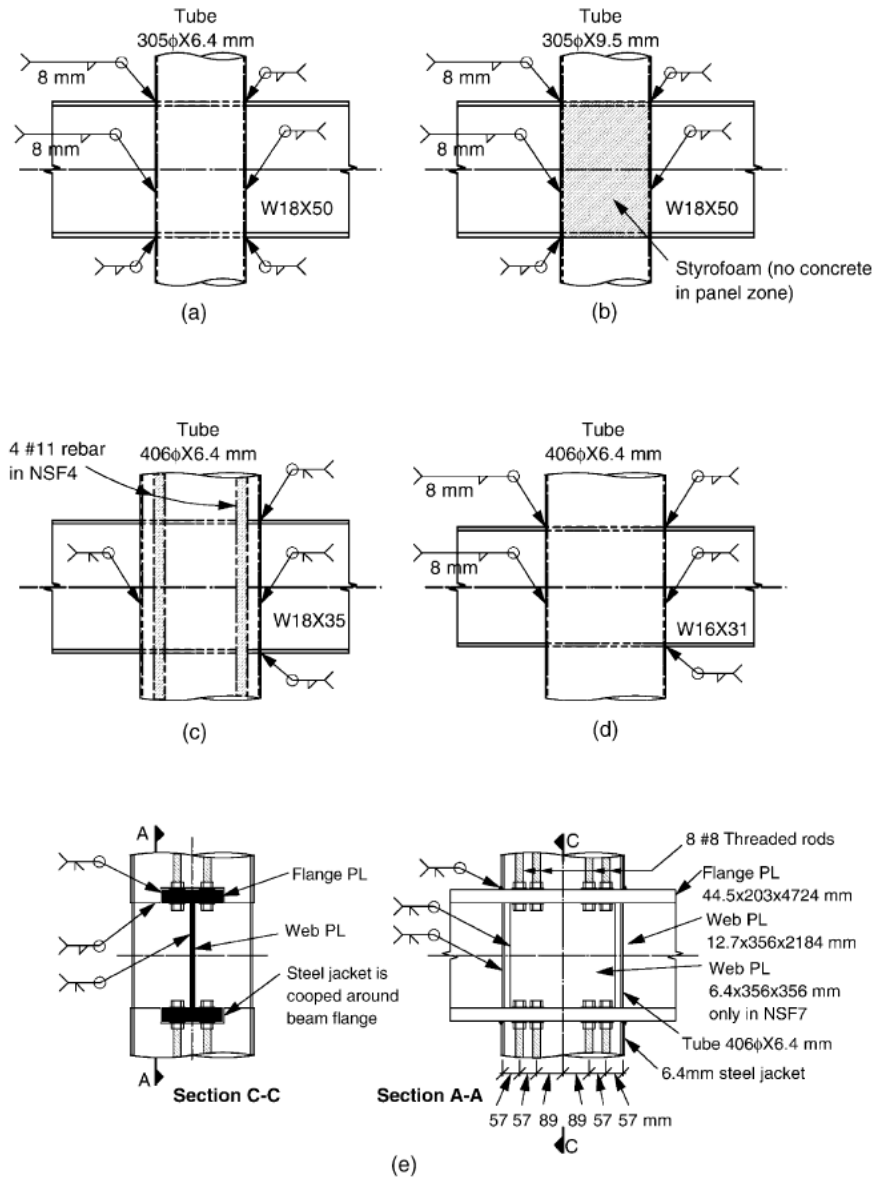
[표 2.3] CFT 접합부에 대한 분류(Yousef M. A(1996)의 정리)

| Type | name | Details |
|---|---|---|
| I | Simple Connection |  |
| II | Connection with External Diaphragms |  <br>Figure 3.3. Simple Connection, *Type I*<br>  |
| III | Connection with Deformed Bars |  |

| Type | name | Details |
|---|---|---|
| IV | Connection with Headed Studs |  |
| V | Connection with Web Plate and Headed Studs |  |
| VI | Continuous Flanges |  |
| VII | Connection of the Girder through the Column |  |

- Ahmed E. 등(2001)[3]은 앞서 Yousef M. A(1996)가 정리한 Tyep Ⅶ에 해당하는 타입으로 원형 CFT강관에 H형강 보가 관통하는 형태에 대해 파괴형상을 연구한 논문으로 총 7개의 실험체를 대상으로 시험을 실시하였으며 각 부재의 크기와 용접 형태에 따라 파괴형상을 연구하였다. 파괴형상은 크게 3가지로 분류하여, 기둥 파괴, 보 파괴 그리고 접합부 전단파괴로 분류하였다. 기둥 파괴의 경우 보가 기둥에 비해 상대적으로 크기가 큰 형태에서 발생하였으며, 보 파괴의 경우 보가 기둥에 비해 상대적으로 약한 경우에 발생하고, 접합부 전단파괴의 경우 패널존에 강한 전단력이 발생하는 경우 발생하는 것으로, 조인트 패널에 가해지는 응력을 전달하는 능력이 없을 때 파괴가 발생하는 것으로 보고하였다. 다음 [그림 2.1]은 대상 실험체이며 (a)와 (b)는 기둥파괴, (c와 (d)는 보파괴, (e)는 접합부 전단파괴를 나타낸 실험체의 상세도면이다.

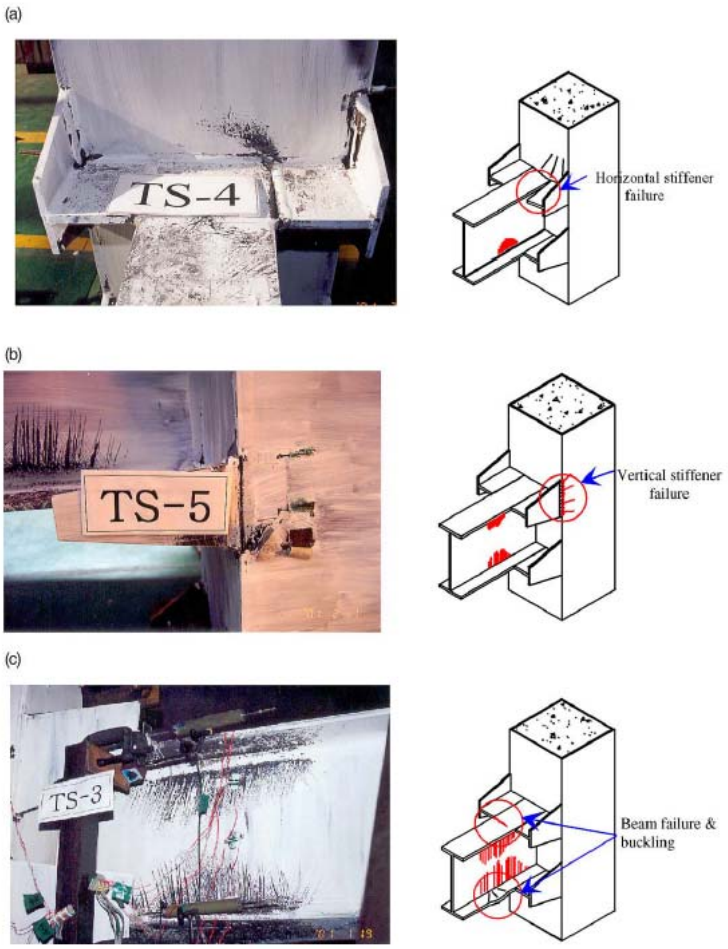
3) Ahmed Elremaily, Atorod Azizinamin, Experimental behavior of steel beam to CFT column connections, Journal of Constructional Steel Research 57 pp.1099-1119, 2001




[그림 2.1] Ahmed E(2001)의 실험체 상세

- K.J. Shin 등(2004)[4]은 CFT 기둥에 H형강 보를 접합하는데 외부 T형 스티프너를 보강한 형태에 대해 실험과 함께 해석적 연구를 함께 하였으며, 3가지 파괴 형태를 나타내었다. 수평방향의 스티프너에 발생하는 전단 파괴, 수직 방향의 스티프너에 발생하는 인장 파괴, 보의 인장 파괴와 좌굴 형태로 구분하였으며, 그 형상은 다음 [그림 2.2]과 같다. 여기에서 수직 스티프너는 하중을 보에서 기둥으로 효과적으로 전달하는 역할을 하고, 수평 스티프너는 변형과 모멘트에 대한 응력 증가시키는 역할을 한다고 보고하고 있다.

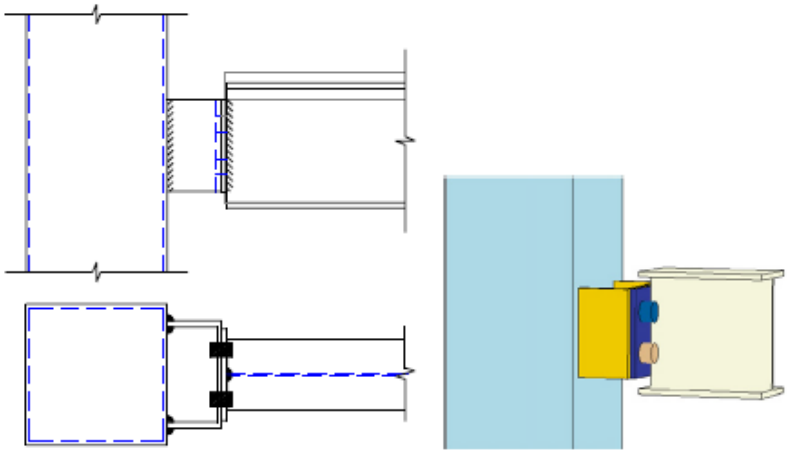
4) Kyung-Jae Shin, Young-Ju Kim, Young Suk Oh, Tae-Sup Moon, Behavior of welded CFT column to H-beam connections with external stiffeners. Engineering structures 26 pp.1877-1887, 2004




[그림 2.2] K.J Shin(2004)의 파괴 모드

- S. Elsawaf(2011)[5] 등은 화재 시 CFT 기둥과 보의 접합부 거동에 대해 실과 해석으로 신뢰성을 확보하였다. 이 연구에서 접합부는 flexible endplate와 reverse channel 을 사용한 것으로 그 형태는 다음 [그림 2.3]와 같다. 부재 구성에 있어 reverse channel의 접합부에 hybrid extended/flexible endplate를 사용하는 경우 별도의 비용증가없이 기존의 flush endplate보다 연결 보가 버틸 수 있는 온도가 약 50℃ 이상 증가하는 것으로 나타난 것으로 보고하였다.

5) S. Elsawaf, Y.C. Wang, P. Mandal, Numerial modelling of restrained structural subassemblies of steel beam and CFT columns connected using reverse channels in fire, Engineering Structures 33 pp.1217-1231, 2011



[그림 2.3] S. Elsawaf(2011)의 flexible endplate와 reverse channel 접합상세

- 국내의 경우 박순규(1997)[6]외는 CFT기둥과 H형강 보의 합성구조시스템으로 고장력 볼트를 이용한 접합방식으로 관통형 볼트를 이용한 접합부는 휨 강도나 변형 성능이 우수하고 접합부의 구속도가 90~100%로 강접 성능을 가진다. 이러한 경우 지진이 심하지 않은 중·저 지진 구역에서 효과적인 것으로 보고하였다.
- 최성모외(2005)[7]는 복합십자형 다이아프램을 사용한 CFT 기둥-보의 접합부의 각 요소에 대한 구조적 특성을 연구한 것으로 복합십자형 다이아프램의 접합부 요소중 하나인 슬리브에서의 응력전달에 주목하였다. 슬래브의 두께 및 길이를 변수로 하여 해석하였으며, 슬리브의 길이 및 두께는 접합부의 내력에 큰 영향을 주지 않고 다이아프램으로 부터의 하중을 콘크리트로 전달시키는 매개체의 역하는 것으로 규명하였다. 또한 적정 슬리브의 길이 및 두께를 각각 직경의 1배, 슬립 직경/두께비를 20으로 제안하였다.
- 이철호외(2005)[8]는 앞서 많은 연구를 해왔던 CFT 기둥과 H형강 보와의 결합이 아닌 CFT 기둥과 RC 무량판 접합부에 대한 연구를 진행하였다. 국내의 주차장 용도로 사용되는 지하층은 시공성과 경제성을 도모하기 위해 RC 무량판 구조를 도입하는 것이 현실이나 CFT기둥과 무량판과의 접합에 관한 설계법과 상세는 제시된 것이 없어 이에 대한 접합부 상세와 설계법을 제시하였으며 다양한 형식의 CFT기둥-RC 무량판 접합상세 가운데, 완전관통 상세와 전단키로 전단티 및 전단머리를 사용하는 상태를 채택할 경우 바람직한 접합부가 구축될 것으로 권고하였다.

---

6) 박순규, 이상훈, CFT 기둥 구조의 접합부에 관한 실험적 연구, 대한건축학회논문집 구조계, v. 16 n. 9, pp.19-25, 2000

7) 최성모, 정도섭, 김대중, 김진호, 복합십자형 CFT 기둥-보 접합부의 내력식에 관한 연구, 한국강구조학회 논문집 v.17, n.4 pp.419-429, 2005

8) 이철호, 김진원, 오정근, An experimental study for development of details and design method of CFT column-to-RC flat plate connections, 한국강구조학회 논문집 v.17, n.4, pp. 481-490, 2005

## 3. CFT기둥의 선진내화 상세 및 기술 적용사례 분석

- 각 나라의 CFT 기둥에 대한 설계법을 비교해보면 일본의 설계기준(AIJ)의 경우 내화성능 예측식에서 강재의 영향을 무시하고 콘크리트의 하중축력비와 잔존내력만을 변수로 하고 나머지 영향인자는 계수로 처리하여 내화성능을 예측하고 있다. 미국(LRFD)의 경우에는 단면크기, 유효좌굴길이, CFT기둥의 보강방안의 효과를 직접적인 변수로 적용하여 내화성능을 예측하고 있다. 유럽기준의 경우에는 별도로 CFT기둥 내화성능 예측식을 제시하고 있지 않으나, 영국(BS)코드에서는 요구내화시간별로 한계축력비를 제시하여 설계자들이 사용하고 있다.
- 이 외에도 캐나다 및 중국, 홍콩 등지에서도 다양한 연구 및 실험 결과를 바탕으로 CFT 기둥의 내화성능을 예측할 수 있는 방법을 제시하고 있다. 본 절에서는 해외 각국의 선진내화기술의 상세 및 기술 동향을 실제 시공된 CFT 기둥 적용사례를 중심으로 살펴보았다.

가. 캐나다

- 캐나다는 National Research Council of Canada(NRC-캐나다국립건설연구소, 이하 NRC)에 의해 1990년 후반부터 CFT기둥의 내화성능평가에 관한 연구를 시작하였으며, 연구와 실험을 통해 다음과 같은 CFT기둥 내화성능 평가식을 도출하였다.

$$R = f_1 \frac{(f_c^{'} + 20)}{(KL - 1000)} D^2 \sqrt{\frac{D}{C}} \qquad (2.1)$$

- 본 평가식은 강관내부에 PC(Plain concrete, 이하 PC), FC(Fiber reinforce Concrete, 이하 FC), RC(Reinforced Concrete, 이하 RC)를 적용하였을 경우에 사용이 가능하다. 캐나다의 경우 이와 같은 실험식을 토대로 CFT기둥을 설계하여 실제 건물에 적용한 사례를 살펴 볼 수 있다. CFT를 적용한 사례는 다음과 같다.

■ St. Thomas Elementary School

- 캐나다 Ontario주에 위치한 이 건물은 2층 건물로써 건축면적은 42m×57m이다. 건물 내부 중앙은 [그림 2.4]와 같이 커다란 아트리움 형식으로 설계되어 자연채광과 시야를 확보할 수 있는 장점이 있다. Ontario Building Code(OBC)에 의하면 CFT를 적용한 건물의 기둥은 1시간의 내화성능을 요구한다. 이에 따라 NRC는 CFT기둥의 내화성능 설계기술에 의한 설계법을 적용하여 해결방안을 제시하였다.



[그림 2.4] St. Thomas Elementary School

- Kodur의 실험결과 RC로 채워진 CFT기둥이 PC로 채워진 기둥보다 약 1/3가량 내화에 유리한 것으로 나타났다. 이와 같은 실험을 통해 이 건물은 강관 내부에 더 높은 하중을 견디기 위해 CFT에 보강철근을 삽입하여 1층부터 지붕층까지 지지하도록 설계하였다.

■ Correctional Facility



[그림 2.5] Correctional Facility

- 캐나다 Alberta에 위치한 이 건물은 교도소로 사용되고 있다. 교도소 내부에서 교도관들이 감독을 원활히 할 수 있도록 [그림 2.5]와 같이 시각적인 제약을 최소화하였으며, 2시간의 내화성능을 확보하기 위하여 콘크리트 건물 내에 CFT기둥을 적용하였다. 만약, 일반 RC구조를 사용하였다면 내화뿜칠이나 내화보드를 사용하여야 하는 이유로 인해 기둥의 단면이 커지고 이에 따라 시각적인 제약을 받았을 것으로 판단된다. 또한 입소자들에 의해 내화재료가 손상되거나 파괴되어 화재 발생 시 일정 내화시간을 확보

하는데 어려움이 있을 것으로 예측된다. 이와 같은 건물의 피해를 최소화 하고자 설계자는 CFT를 적용하였다.

나. 미국

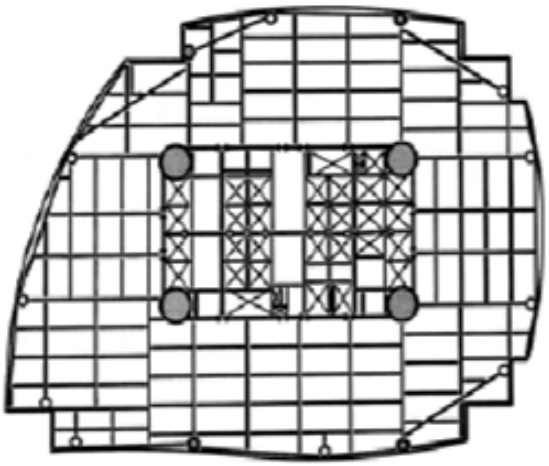
- 미국의 경우 국내와는 달리 수년전부터 CFT에 대한 내화성능 연구가 활발히 진행되었다. 미국 ASCE(2003)은 CFT기둥의 내화성능 평가를 캐나다 NRC의 실험 및 해석에 의한 식을 채택하여 제시하고 있다. 미국 내에서 CFT기둥이 적용된 사례는 다음과 같다.

■ Two Union Square

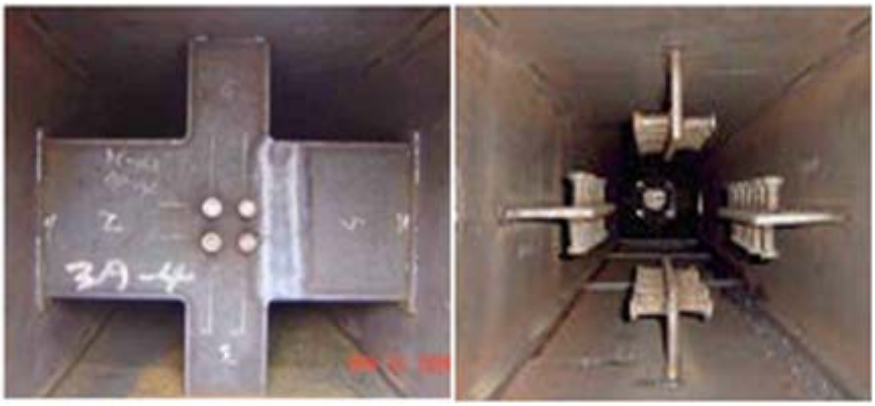
- 미국 Seattle에 위치한 이 건물은 [그림 2.6]과 같이 총 58층으로 이루어진 고층건물이다. [그림 2.7]과같이 총 4개의 대형 CFT기둥이 코어를 이루고 있으며 전체 횡하중의 약 40%을 전담하고 있다. 중력하중만 전달하는 작은 CFT기둥 14개는 건물의 외부에 배치되어 있다. CFT기둥에는 1,330kg/cm$^2$의 고강도 콘크리트가 강관에 충전되었고, [그림 2.8]과 같이 CFT의 강관과 콘크리트의 부착성능을 높이기 위해 강관 내부에 스터드가 용접되었다. 특이사항으로는 하중의 크기에 따라 강관에 보나 브레이스를 직접 용접하거나 철판을 강관내부로 관통시켜 수평부재와 연결하였다.



[그림 2.6] Two Union Square



[그림 2.7] Two Union Square의 CFT 위치



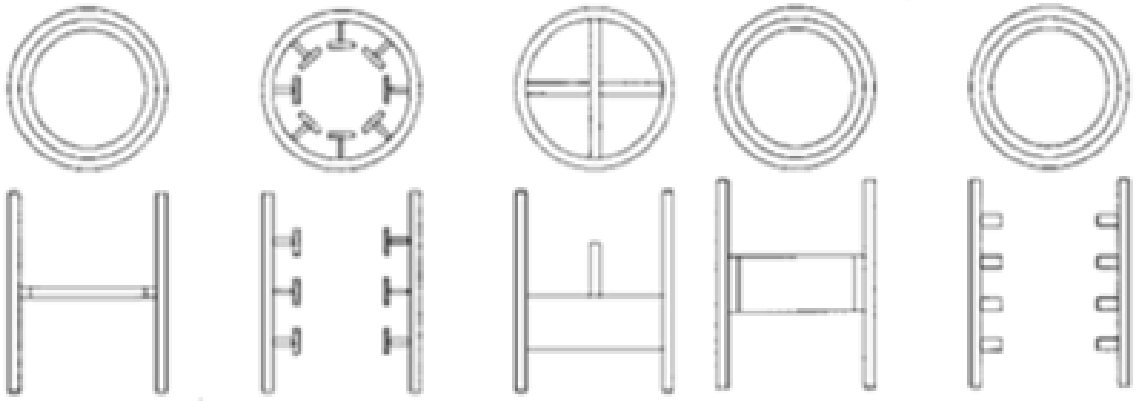
[그림 2.8] 강관 내부에 스터드를 용접 (R4-Project)(예)

■ Fremont Street Experience

- 미국 Las Vegas에 위치한 이 건물은 [그림 2.9]와 같이 CFT기둥이 거대 천막을 지지하는 형태로 적용된 사례이다. 지역적으로 강렬한 햇빛이 작용하고 있는 이 장소는 구조물 상부에 거대한 맴브레인 형태로 이루어져 있으며 CFT기둥은 그 맴브레인을 지지하고 있다. 또한 지붕 안쪽에는 그래픽 디스플레이 시스템이 설치되어 관광객들에게 볼거리를 제공한다. CFT의 직경은 1m, 강관의 두께는 19mm이고 560kg/cm$^2$의 콘크리트가 충전되었다. 길이 20.3cm, 지름 12.7mm의 Headed 스터드가 강관내부에 수직으로 용접되었다. [그림 2.10]은 강관내부에 스터드 및 Tube를 적용하여 CFT기둥의 부착성능을 높이기 위한 형상에 대한 예이다.




[그림 2.9] Fremont Street Experience



[그림 2.10] 강관내부의 Stud 및 Tube 부착 형상

■ Pacific First Center

- 이 건물은 44층 건축물로 SRC 기둥과 CFT 기둥을 복합적으로 적용한 건물이다. CFT 기둥에 1,330kg/cm2의 고강도 콘크리트가 강관에 충전되었고 콘크리트와 강관의 부착을 위해 강관내부에 스터드가 용접되었다. 원형 강관에 고강도의 콘크리트를 충전한 CFT가 중력하중의 대부분과 횡하중을 전담할 수 있는 구조시스템으로 [그림 2.11]과 같이 건물코어와 외주부 사이에 무지주공간(free space)이 형성되어있다.



[그림 2.11] Pacific First Center

■ Kalia Tower

- 미국 Waikiki에 위치한 이 건물은 24층의 호텔이다. 1990년대 하와이는 침체된 경제 분위기로 인해 건축물의 건설에 있어 경제적인 구조시스템과 공법이 주요 관심 대상이었다. 이러한 요구를 충족시키기 위해 CFT기둥, 프리캐스트콘크리트, 합성구조시스템이 복합적으로 적용되었고 그 결과 공사기간을 예정일보다 수개월 절약함으로서 공사비를 약 30%절감하였다. 내부에 기둥사용이 제한적인 호텔 객실에 CFT기둥을 적용하기 위해 38cm×122cm의 강관이 사용되었다. 각형강관의 내부에 19mm의 수직 스티프너를 용접하여 폭-두께비 제한을 만족시켰다. 이 건물을 시공하기 위하여 [그림 2.13]과 같이 강관에 콘크리트를 충전하는 Mook-up Test를 수행하였다. 콘크리트 충전완료 후 실험체는 절개하여 내부의 콘크리트 밀실도가 조사되었다.



[그림 2.12] Kalia Tower



[그림 2.13] Mock-up Test

■ Museum of Flight

- 워싱턴 시애틀에 위치한 Museum of Flight 건물은 미국 서부해안에서 가장 큰 규모의 항공기 박물관으로서 세계에서 가장 큰 규모이다. 13,300m$^2$의 박물관은 6층으로 유리와 강재의 조합으로 [그림 2.14]와 같은 큰 규모의 전시공간을 만든다. 박물관의 최고 높이는 23m이며, 76m의 폭과 148m의 길이로 구성되어있다. 설계자는 지붕에 CFT기둥과 유리를 통해 강재를 노출시켜 미적인 아름다움과 건물의 사용면적, 내화뿜칠 시공 등의 문제를 최소화 하고자 하였다. 또한 CFT기둥에 보강 철근을 삽입하여 기둥의 단면적을 최소화하였으며 관할당국(AHJ)의 표준 건물코드(UBC)에 따라 요구되는 기

등의 60분 내화성능을 확보하였다.



[그림 2.14] Museum of Flight

다. 영국

- 영국에서의 내화규정은 민간기관에 의한 화재안전기준과 정부에서 제정하는 화재안전 법령으로 나뉜다. 영국의 경우에는 성능적 내화설계법과 사양적 내화설계법을 동시에 사용하고 있으며 건축물 건축주의 판단에 따라 사양적 기준과 비교하여 선택할 수 있도록 되어있다. 영국에서 CFT구조가 적용된 사례는 다음과 같다.

■ Fleet Place House

- 영국 런던에 위치한 이 건물은 8층의 오피스 건물이다. CFT기둥은 323.9mm이며, 외부 강관은 FR강을 사용하였다. 강관에 충전된 콘크리트는 40MPa와 60MPa을 사용하였다. CFT기둥은 건물 외부에 미적 요소를 가진 외장재로 사용되었다. BS기준에 따라 외장재의 내화성능 35분을 확보하였으며 실험 및 검증을 통해 무내화피복으로서 실제 건물에 적용한 예이다.



[그림 2.15] Fleet Place House

■ Montevetro Apartment Block

- 영국 런던에 위치한 이 건물은 총 12층으로 이루어진 아파트 건물이다. CFT기둥은 건물 입면에 유리창과 함께 설치되어 [그림 2.16]과 같이 내부에서의 시야확보에 장점이 있다. 또한 이 건물의 CFT기둥에는 큰 축하중이 작용하고 있다. 내화도료를 사용하여 약 1시간에서 2시간 사이의 충분한 내화성능을 확보하였다.



[그림 2.16] Montevetro Apartment Block

■ Peckham Library

- 영국 런던에 위치한 Peckham Library는 2층 규모의 박물관이다. [그림 2.17]과 같이

독특한 외관으로 구성된 이 건물은 불규칙하게 세워진 CFT 기둥이 상부 구조체를 지지하도록 설계되어있다. CFT기둥 7개가 하나의 열로 불규칙하게 세워져 있으며, 1시간의 내화성능이 요구되었다. 모든 기둥은 외부 내화피복 없이 설계되었으며, 콘크리트 내부에 8T12의 보강철근이 삽입되었다. CFT 기둥의 재료는 EN10210의 S355J2H를 사용하였다. EN10210의 S355J2H란 내후성 구조용 강관재질로 해양공사의 Jacket용으로 많이 사용되는 재질이다.



[그림 2.17] Peckham Library

■ Queensberry house

- 영국 런던에 위치한 Queensberry house는 6층의 오피스 건물이다. 건물 내부에는 [그림 2.18]과 같이 원형 CFT가 적용되어 중앙부에 아트리움을 형성하고 있다. 모든 기둥들은 3층 길이의 2개의 기둥을 서로 접합하여 시공되었으며 CFT기둥의 외부 강관은 FRP보강이 이루어졌다. FRP강에 의해 CFT기둥의 강관 내 콘크리트만으로 충분히 1시간동의 내화성능을 확보하여 외부 내화피복을 할 필요가 없었다.



[그림 2.18] Queensberry House

라. 중국, 홍콩

- 중국의 경우에는 1960년대부터 산업화·도시화가 급속도로 발전함에 따라 강재의 부족 현상을 겪게 되었고 화재로 인한 재산상의 피해가 급증하였다. 특히, 화재사고는 1980년대에 매우 큰 폭으로 증가하였다. 이에 따라 정부와 여러 부처들은 적극적인 화재안전공학과 기술에 대해 연구하였고 이를 건물에 적용하였다. 중국 정부는 CFT기둥의 수요가 증가함에 따라 [표2.4]와 같이 CFT기둥 관련 설계기준 조항을 제시하였다.

[표 2.4] 중국의 CFT 관련 설계기준 조항

| 적용 | 周,他에 의한 방법 | 국가 건축재료 공업국 표준 |
|---|---|---|
| 압축재 | $N_u = N_0 \cdot \phi_1 \cdot \phi_e$ (단, $\phi_e = 1$ ) | $N_{cr} = \phi(f_s \cdot A_s + k_1 \cdot f_c \cdot A_c)$ |
| 힘과 압축력을 받는 CFT 부재의 내력 상관식 | $N_0 = A_c \cdot f_c(1+\sqrt{\phi}+\phi)$<br>$N_0 = A_c \cdot f_c(1+2\phi)$<br>$\frac{e}{c^r} \le 1.55$ 의 경우,<br>$\phi_e = \frac{1}{1+1.85e_0/\gamma_c}$<br>$\frac{e}{c^r} > 1.55$ 의 경우, $\phi_e = \frac{0.4}{e_0/\gamma_c}$ | $N_u = \gamma\phi_e(f_s \cdot A_s + k_1 \cdot f_c \cdot A_c)$<br>$\phi_e$ : 내력저감계수(편심량과 세장비를 변수로 수치화)<br>$\gamma$ : $\phi_e$ 의 수정계수 |
| 상세사항 | 원형강관만을 대상으로 하여 구속효과에 의한 콘크리트강도의 증대가 고려된 설계식이다. 축력과 휨을 받는 부재의 내력식은 실험식으로, 휨만을 받는 경우도 세장비의 증대와 함께 내력을 저하시킨다. | $\phi$ 의 값은 압축재가 탄성 좌굴하는 범위와 비탄성 좌굴하는 범위로 나눌 수 있다. 편심량 $e_1$ 은 다음 식으로 계산한다.<br>$e_1 = \eta(e_0 + e_a)$<br>여기서, $e_0 = M/N$ (1차편심량)<br>$e_a = 0.12(0.3D - e_0)$ |

■ SEG Plaza

- 중국 Shen-Zhen City에 위치한 이 건물은 상업시설로 지하 4층, 지상 76층이며 연면적은 166,000m$^2$이다. 내화성능설계를 적용한 이 건물은 중국내화기준코드(GB50045-95)에 따라 구조물의 내화성능시간 3시간을 확보하였다. [그림 2.20]과 같이 CFT기둥에는 약 8mm-15mm의 내화뿜칠을 사용하였다. 이는 내화설계기준 50mm의 약 1/3가량 절감되는 양으로써, 시공 전 CFT기둥에 대한 실험 및 이론해석에 의하여 내화피복재가 화재 시 부재의 강도에 미치는 영향, 단면치수, 강재비, 하중편심비, 세장비등이 CFT기둥에 어떤 영향을 미치는가에 대하여 평가하여 적용하였다. [표 2.5] 는 CFT에 적용한 강관 및 콘크리트 강도, 내화피복 두께를 의미한다.



[그림 2.19] SEG Plaza 전경

[표 2.5] SEG Plaza CFT기둥의 내화피복재 두께

| Column type | Storey height (m) | $D \times t$ (mm) | $f_y$ (MPa) | $f_{ch}$ (MPa) | $\delta$ (mm) |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 3.7 | 1300×18 | 345 | 27 | 15 |
| 2 | 3.7 | 1300×20 | 345 | 27 | 12 |
| 3 | 3.7 | 1400×20 | 345 | 27 | 12 |
| 4 | 3.7 | 1500×22 | 345 | 27 | 8 |
| 5 | 3.7 | 1500×24 | 345 | 41 | 8 |
| 6 | 4.8 | 1600×26 | 345 | 41 | 8 |
| 7 | 4.8 | 1600×28 | 345 | 41 | 8 |
| 8 | 4.7 | 900×14 | 345 | 41 | 12 |



[그림 2.20] 절감형 내화뿜칠된 기둥

■ Ruifeng, Shangye Building

- 이 건물은 지하 4층, 지상 24층으로 총 연면적은 51,095m$^2$이다. 본 건물의 중앙은 RC 코어와 CFT외각기둥으로 구성되어 있으며 CFT기둥에 내화뿜칠을 사용하여 내화뿜칠 양을 크게 감소하였다. SEG Plaza와 동일한 방법으로 실제 건물에 적용하기 위해 내화성능 실험의 결과 값과 수치해석 값을 비교 분석하였으며, 내화피복재의 화재 시 부재에 미치는 영향에 대한 평가도 함께 이루어 졌다. 이와 같은 분석을 통해 CFT기둥에 적용할 내화피복 두께를 도출하여 [그림 2.22]와 같이 최소한의 내화피복 두께만을 사용하였다. 내화피복재를 사용하여 성능설계 된 이 건물은 약 3시간의 내화성능을 요구하는 중국코드(GB50045-95)의 요구조건을 확보하였다.



[그림 2.21] Ruifeng, Shangye Building 전경



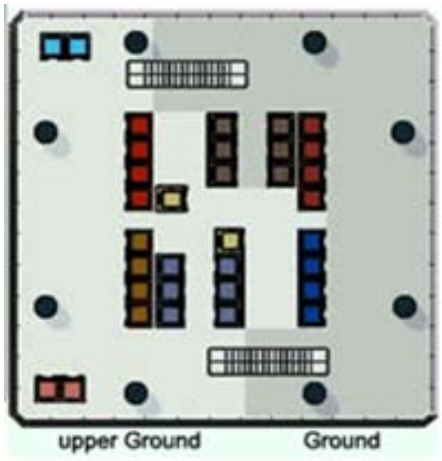
[그림 2.22] 내화피복재 시공 후 장면

■ Cheung Kong Center

- 홍콩에 위치한 이 건물은 지하 6층 지상 62층에 이르는 초대형 건물로서 7.2m 간격을 두고 건물 외주부에 CFT기둥을 사용하였다. 당시 CFT기둥의 사용목적은 단순성, 경제성, 빠른 공정의 이유로 채택되었으며 내화피복작업을 감소시키는데 큰 몫을 하였다.
- 또한, CFT타설 전에 최소한 6개 층을 지지할 수 있도록 설계하여 3개 층을 한 번에 타설하였다. CFT기둥의 직경이 변화되는 구간에서는 초고층건물의 횡변위를 줄이기 위하여 벨트 트러스를 적용하였다.
- 건물의 최상층, 중간층에 1개 층고의 춤으로 트러스를 만들어 건물의 전체 높이의 중간과 최상층을 강접합 하여 변위를 제어하는 구조시스템을 적용하였고, 상부에서 하부로의 하중전달을 원활하게 하기 위하여 강관기둥을 사용하였다.
- 오피스 건물의 특성상 사용면적을 최대화하기 위하여 [그림 2.23]과 같이 외곽부 기둥은 코어로부터 최대한 멀어지도록 설계하였다. 지하주차장에 의하여 외곽부 기둥이 지하층을 통과하는 것이 어려워 2층 규모의 트랜스퍼 거더를 2층과 4층에 설치하였으며 이 트랜스퍼 거더를 통해 24개의 외곽부 기둥으로부터 전달되는 모든 하중을 [그림 2.24]와 같은 8개의 Super Column으로 지지하도록 설계하였다. 트랜스퍼 거더는 강관 단면들의 조합으로 제작되었다.



(a) 건물 외관

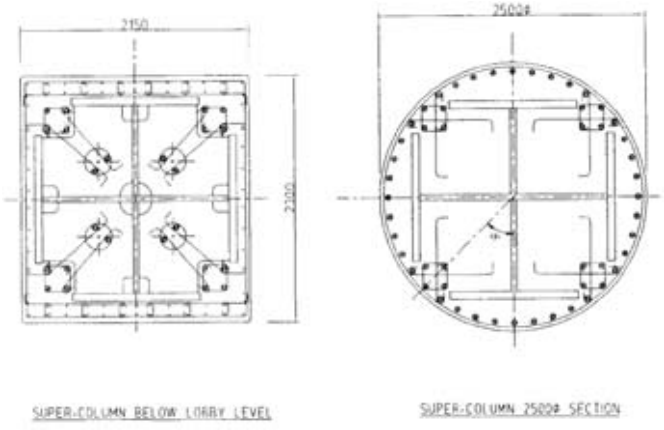



(b) 지하층 평면도

[그림 2.23] Cheung Kong Center



(a) CFT구조의 슈퍼칼럼




(b) 슈퍼칼럼 상세

[그림 2.24] Super Column

- FLS(Fire Limit State-BS5950: Part 8) 기법은 기둥과 슬래브가 소방설비 없이 1시간 동안 화재에 견딜 수 있도록 하기 위하여 채택되었다. FLS란 화재 시 '구조물이 의도했던 기능을 더 이상 만족시킬 수 없는 상태'를 말하며 강도(strength)와 사용성(serviceability)의 두 가지로 분류된다. 강도(즉, 안전성)의 한계상태는 연성의 최대강도(소성강도), 피로, 파괴, 전도 등이 있을 때 나타나는 현상이며 사용성의 한계상태는 빌딩의 거주성, 즉 변위, 진동, 영구변형, 균열 등과 관련 있다. 열전달 연구를 통해 화재 시 기둥을 관통하는 온도 분포를 알아내고 이를 이용해 FLS가 계산되었다.
- 이 건물에서는 기둥을 관통해서 내화피복 된 보와 기둥의 접합부에 이르는 열 이동 가능성 또한 FLS에서 언급하는 연결부위의 적당한 위치를 찾기 위해서 연구되었으며, 이러한 접근으로 건물의 일정높이 제한 하에 내화피복은 보에만 적용할 수 있게 되었다.

마. 일본

- 일본의 경우 재하 가열실험으로 크게 기둥의 중심압축실험과 강제적으로 부재각을 준 기둥의 휨 압축실험을 행하였으며, 신도시하우징협회에서는 이러한 실험데이터를 통계적으로 정리하여 설계식을 제시하고 있다. 현재, 무내화피복 CFT기둥을 이용한 다수의 건물은 신도시하우징협회의 지침의 기초로 설계되고 있다. 한편, 일본건축학회의 콘크리트충전 강관구조설계시공지침에서는 CFT기둥의 내화성능에 대해서, 정산으로 하는 방법과 간단한 모델에 의한 계산 방법으로 [표 2.6]을 제시하고 있다.

[표 2.6] 일본의 CFT기둥 설계지침

| 적용 | 콘크리트충전강관구조설계시공지침 |
|---|---|
| 폭두께비 | $1.5\times\frac{74}{\sqrt{F_y}}$ (각형 CFT)<br>$1.5\times\frac{240}{\sqrt{F_y}}$ (원형 CFT) |
| 압축재 허용압축응력도 | $N_u = sA\times {}_s f_c + cA\times f_c$ (각형 CFT)<br>$N_u = (1+\eta)sA\times {}_s f_c + cA\times f_c$ (원형 CFT) |



(a)요코하마 Sogo 저장소(1989) (b)IPSX EAST

[그림 2.25] 내화성능설계가 적용된 사례(일본)

바. 국내

- 국내의 경우에도 CFT구조를 적용한 건물이 점차 증가하고 있다 1990년대 중반 [그림 2.26]과 같이 삼성건설에 의해 최초로 CFT기둥을 접목시킨 건물이 완공되었다.
- 그 이후로 경간 확장, 기둥의 강성 증가, 시공의 편의성, 설계조건상의 기둥크기의 한

계 등을 이유로 [표2.7]과 같이 CFT기둥이 적용되었다. 특히 미국의 경우와 같이 일반 구조뿐만 아니라 새로운 분야에 응용을 하여 구조성능 및 내화 성능측면에서 좀 더 합리적이고 효율적인 새로운 구조시스템을 보급하고 발전할 것이라고 판단된다.



[그림 2.26] 삼성전자 R4-Project



[그림 2.27] 대우조선 종합기술센터

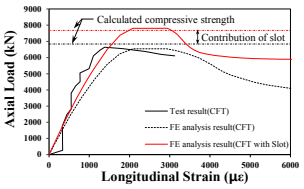
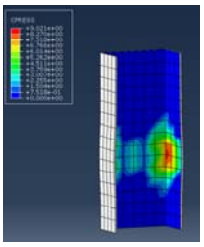
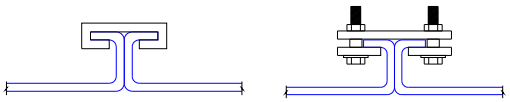
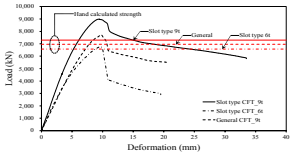
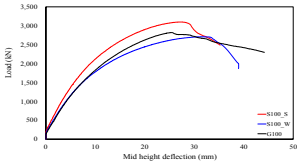
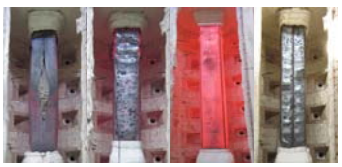
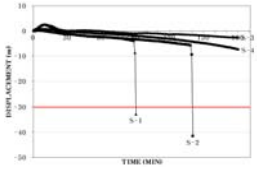
[표 2.7] 국내의 CFT 적용사례

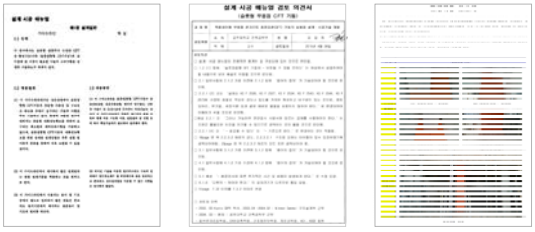
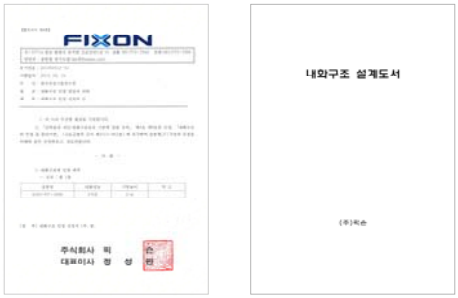
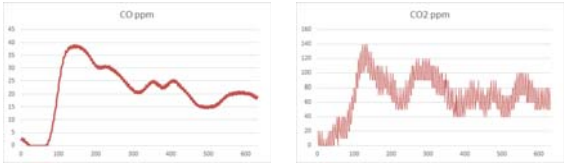
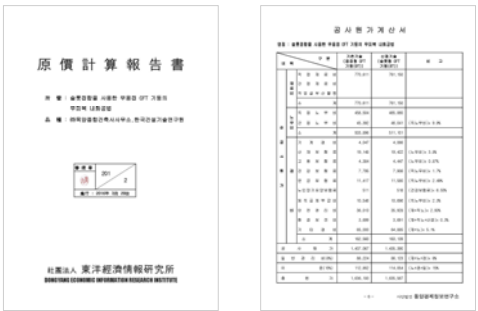
| 건물명 | 층수<br>건물 상세 | CFT사양 및 특징 | 내화설계 | 비고 |
|---|---|---|---|---|
| 대도/남한상가 재건축공사 | 지하8층, 지상16층<br>– | • 강재 : SM490 TMC<br>• 기둥크기 :각형, ㅏ 500 X 500 X 80<br>• 콘크리트 : 400kgf/cm$^2$ | 사양설계 | • TOP DOWN 공법 적용 |
| 김포시 삼성 메디컬 센터 | 지하3층, 지상8층<br>연면적 150,000m$^2$ | • 강재 : SM490A,<br>• 콘크리트 : 400kgf/cm$^2$<br>• 기둥크기 : 각형, 400 X 400 X 16 | 사양설계 | • 시공의 편의성에 의해 CFT기둥 채택 |
| 삼성전자 R4-Project | 지하5층, 지상37층<br>8.4m X 14.75m | • 강재 : SM490A<br>• 콘크리트 : 500kgf/cm$^2$ | 사양설계 | • 강관내부에 스터드 용접 |
| 현대자동차 연구센타 | 지하3층, 지상21층<br>– | • 강재 : SM490A,<br>• 콘크리트 : 500kgf/cm$^2$<br>• 기둥크기 : 각형, 700 X 700 X 32 | 사양설계 | • Span 의 길이확장<br>• CFT 기둥을 전층에 적용함 |
| 삼성타워팰리스 스포츠동 | 지하2층, 지상7층<br>8.4m X 10.2m (최대스팬 16.2m) | • 강재 : SM490 A<br>• 기둥크기 :각형, 700 X 700 X 25<br>• 콘크리트 : 500kgf/cm$^2$ | 사양설계 | • 기둥의 강성 증대를 위해 CFT 기둥 채택<br>• 시공의 편의성 |
| 대우조선종합 기술센터 | 지하1층, 지상9층<br>연면적 285,566m$^2$ | • 강재 : SM490 A,<br>• 콘크리트 : 240kgf/cm$^2$<br>• 기둥크기 : 각형, 406 X 406 X 19 | 사양설계 | • 설계조건상 기둥크기의 한계에 의해 CFT 채택 |

# 제3장 연구수행 내용 및 성과

## 제1절 연구개발 성과

### 1. 연구개발 성과 요약

| 연구목표 | 주요 연구 내용 | 연구개발 성과 |
|---|---|---|
| 무용접 CFT 기둥의 구조 및 내화성능 평가 | ○ 구조 및 내화성능 평가를 위한 수치해석 신뢰성 확보<br>- 상온 및 고온조건<br>- 단면 : 300×300㎜<br>- 강관두께 : 8㎜<br>- 높이 : 1500㎜<br>- 강재 항복강도 : 387MPa<br>- Con`c 압축강도 : 40MPa | ▪ 실물실험 수행 전 비선형 유한요소해석 실시<br>▪ CFT기둥의 상·고온거동에 대한 해석신뢰도 90% 이상 확보<br>  <br>  |
| | ○ 구조성능 평가<br>- 용접형 CFT<br>- 무용접 CFT<br>- Con`c 압축강도 : 50MPa<br>- 강재 항복강도 : 235MPa<br>- 강관두께 6T, 9T | ▪ 슬롯접합부의 시공성 개선형상 도출<br>  <br>▪ 중심축압축 실험<br>- 단면 : 300×300㎜<br>- 높이 : 3000㎜<br>- 강관두께 : 9T<br>  <br>▪ 편심압축 실험<br>- 단면 : 300×300㎜<br>- 높이 : 3000㎜<br>- 강관두께 : 6T<br>  |
| | ○ 내화성능 평가<br>- 단면 : 500×500㎜<br>- 강관두께 : 6T, 9T<br>- 높이 : 3000㎜<br>- 강재 항복강도 : 235MPa<br>- Con`c 압축강도 : 50MPa | ▪ 실물 내화시험을 통한 개발공법의 3시간내화성능 확보<br>  <br>  |
| | ○ 학술검증(논문) | ▪ SCI(E) 2건, 국외논문 2건, 국내논문 2건, 국내학술 2건 |

| 연구목표 | 주요 연구 내용 | 연구개발 성과 |
|---|---|---|
| 현장적용성 및 경제성 검토 | ○ 시공성 및 애로사항 도출을 위한 현장적용 | ▪ 설계·시공매뉴얼 작성 및 전문가 검토<br>▪ 현장적용 보고서<br>  |
| | ○ 원가분석을 통한 경제성 검토 | ▪ 경제성검토 보고서<br>- 기존 무피복 공법대비 강재물량 50%절감<br>- 강재 두께 및 소요시간 감소에 따른 10%이상의 공사비 절감효과 발생 |
| 내화구조인정 추진 | ○ 설계도서 전문가 검토 | ▪ 내화구조 설계도서 및 품질관리 매뉴얼 작성<br>  |
| 녹색기술인증 및 건설신기술 추진 | ○ 녹색기술인증 추진 | ▪ 내화피복재 유해가스 발생량 평가<br>- 무피복으로 유해가스 발생 100% 저감<br>  |
| | ○ 건설신기술 추진 | ▪ 선행 유사기술 비교분석<br>▪ 건설신기술 인증을 위한 원가분석<br>  |

| 연구목표 | 주요 연구 내용 | 연구개발 성과 |
|---|---|---|
| 기술 상용화를 위한 기술홍보 및 시장성 분석, 기술 특허 확보 | ○ 시장성 분석 | ▪ 슬롯형 무용접 CFT 기둥의 마케팅 전략 분석<br>- 개발 기술 실수요처 발굴<br>- 국내외 실 수요처 마케팅 계획 수립 |
| | ○ 특허 확보 | ▪ 특허출원 3건, 특허등록 2건<br>  |
| | ○ 기술홍보 | ▪ 2016 국토교통기술대전 참가<br>  |
| | ○ 선행특허조사 및 무효심판 자료조사 | ▪ 무피복 조건에서 3시간 내화성능 확보<br>▪ 유해가스 100% 저감기술<br>   |
| 기술실시계약 | ○ 기술실시계약 체결<br>- 전용실시권, 5년 | ▪ 대상기술 : 특허 제 10-1611868 「볼트형 조립슬롯을 사용한 무용접 방식의 콘크리트 충전 강관기둥」<br>   |

# 제2절 무용접 CFT 기둥의 구조 및 내화성능 평가

## 1. 구조 및 내화성능 평가를 위한 수치해석 신뢰성 확보

- 개발기술의 구조성능을 개선하고 검증하기 위하여 실물실험을 수행하기 이전에 먼저 개발된 폭렬제어형 무용접 CFT기둥의 상온 및 고온조건에서의 구조성능을 평가하기 위해 비선형유한요소해석(Nonlinear finite element analysis)을 실시하였다.
- 폭렬제어형 무용접 CFT기둥의 상온거동성능을 평가하기 위하여 Cai et al.[9]에 의해 수행된 정사각형 단면의 CFT기둥 실험체를 대상으로 해석적 연구를 실시하였으며, 실험결과와 비교 검증을 통하여 해석결과의 신뢰성을 확보하고자 하였다. 검증실험체는 $300\,\mathrm{mm}\times300\,\mathrm{mm}$단면치수의 $8\,\mathrm{mm}$의 강관두께를 가진 길이 $1{,}500\,\mathrm{mm}$의 내화피복이 되어있지 않은 CFT기둥 실험체를 대상으로 하였으며, 강재의 항복강도는 $387.0\,\mathrm{MPa}$, 콘크리트의 압축강도는 $39.8\,\mathrm{MPa}$이었다.
- 유한요소해석은 상용 비선형유한요소해석 프로그램인 ABAQUS를 사용하여 수행하였다. 개발부재의 대칭성을 이용하여 [그림 3.1(a)]에 나타낸 것과 같이 부재의 1/2만을 모델링하였다. 강관과 콘크리트는 3D soild element를 사용하여 모델링 하였으며, 해석의 수렴도 및 결과의 정확도를 높이기 위해서 3D solid요소 중 육면체 형태를 가지는 Hexahedron (brick) element 중에서 eight nodes를 갖는 C3D8R element 를 사용하였다.
- 강관은 elasto-perfectly plastic behavior를 가정하였으며, 따라서 이들의 응력과 변형률의 관계는 식 (3.1)로 나타낼 수 있다.

$$F_s = E_s\varepsilon_s \le F_y \tag{3.1}$$

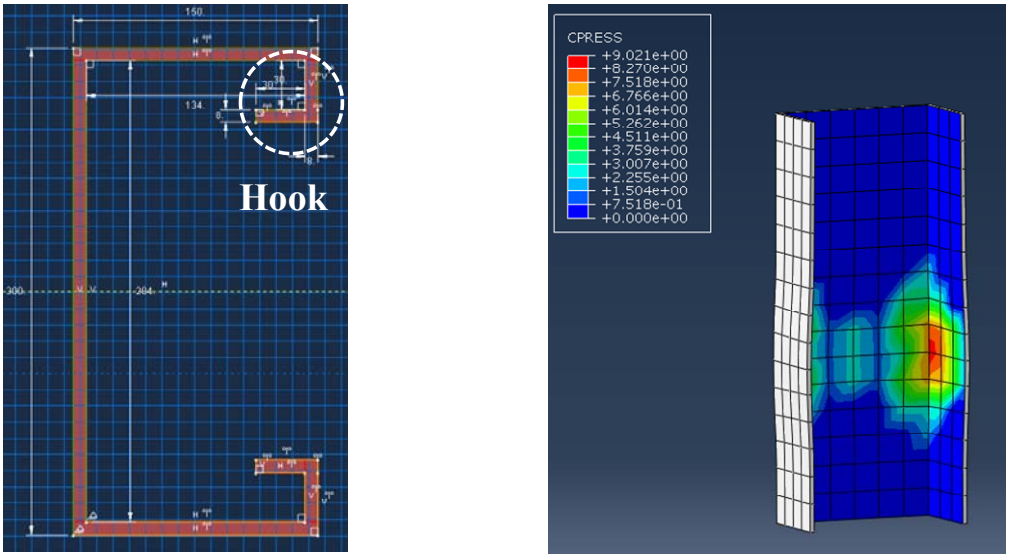
- 여기서, $F_s$, $\varepsilon_s$, $E_s$와 $F_y$는 각각 강관강재의 응력, 변형률, 탄성계수 그리고 항복강도이다. 압축을 받는 콘크리트의 구속효과(confining effect) 및 재료의 비선형성(material nonlinearity) 뿐만 아니라 인장을 받는 콘크리트의 이축인장연화(biaxial tension softening) 거동을 적절히 반영하기 위하여 C.D.P(Concrete damaged plasticity) model 을 사용하였고, dilation angle은 52.9o, eccentricity를 0.1로 적용하였다. 또한, 1축압축응력에 대한 2축압축응력 비는 1.16을 적용하였다. 콘크리트의 응력-변형률 관계는 Vecchio and Collins의 제안식인 식 3.2 및 3을 사용하였다.

$$f_c = f_c'\left[2\left(\frac{\varepsilon_c}{\varepsilon_c'}\right)-\left(\frac{\varepsilon_c}{\varepsilon_c'}\right)^2\right] \tag{2}$$

9) Jian Cai, Zhen-Qiang He. Axial load behavior of square CFT stud column with binding bars. Jouranl of Constructional Steel Research, Vol. 62, pp. 472-483, 2006.

$$f_{c1} = \frac{f_{cr}}{1 + \sqrt{200\varepsilon_1}} \quad (3)$$

- 여기서, $f_c$와 $\varepsilon_c$은 콘크리트의 압축응력과 압축변형률이고, $f_c'$와 $\varepsilon_c'$은 콘크리트 압축강도와 이에 대응되는 변형률이다. $f_{c1}$과 $\varepsilon_{c1}$콘크리트의 인장강도와 인장변형률이고, $f_{cr}$은 콘크리트 균열강도로서 $0.33\sqrt{f_c'}$을 사용하였다.
- 강관과 콘크리트의 접촉면은 수직방향으로는 contact pressure로 서로간의 침투를 방지하였고, 수평방향으로는 Coulomb friction model을 사용하여 부착응력(bond stress) 이상의 응력이 작용하면 미끄러짐(slip)이 발생하는 것을 구현하였다. 여기서 사용된 부착응력은 0.6 MPa를 사용하였고, 0.3의 마찰계수(friction coefficient)를 사용하여 미끄러짐이 발생한 후의 강관과 콘크리트 사이의 접촉면의 거동을 모델링하였다.

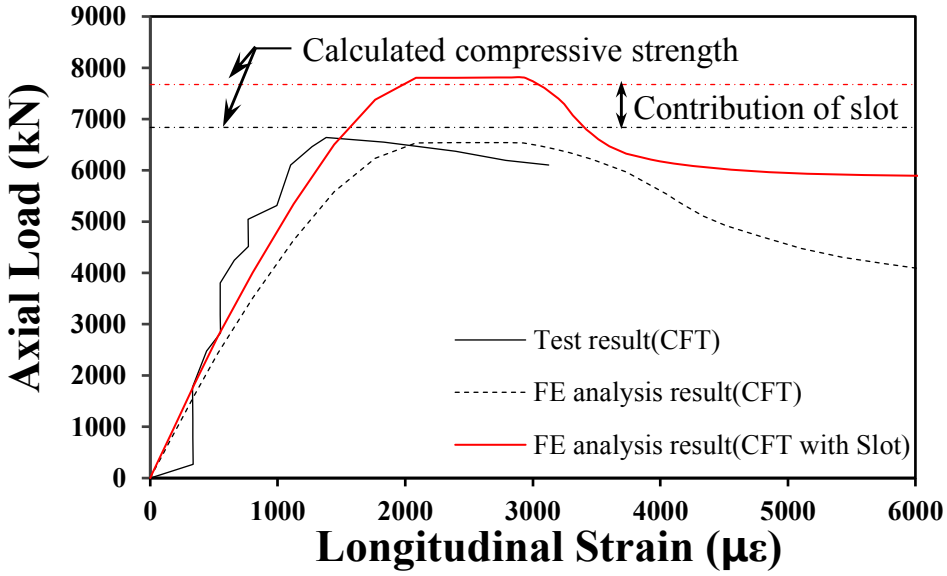



(a) FEM 모델링(강관) (b) 극한하중에서 강관의 응력분포

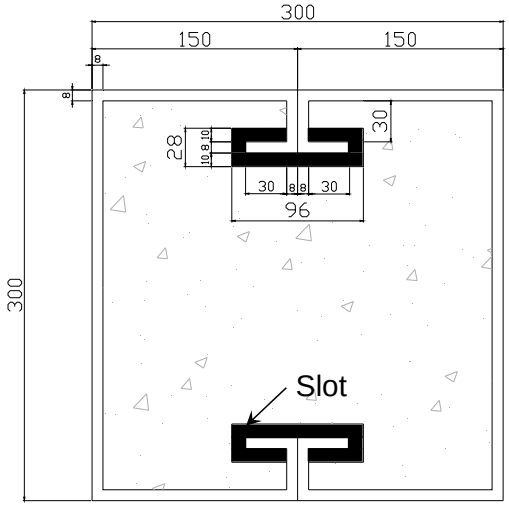
[그림 3.1] 유한요소해석

- [그림 3.2]는 해석결과와 실험결과를 비교하여 나타내었다. 실험체는 극한하중의 약 70%까지 도달한 후 강성이 천천히 감소하면서 최대하중에 도달한 후, 강관의 국부적인 좌굴이 발생하면서 하중이 감소하며 실험이 종료되었다. 해석결과는 실험결과와 비슷한 강성을 가지고 극한하중의 약 70% 하중까지 증가하다가 강성이 점차 감소하면서 실험결과와 동일한 극한하중에 도달하였다. 극한하중에 도달한 이후 점차적으로 하중이 증가하면서 해석이 종료되었다. 유한요소해석을 통한 결과가 강성과 강도를 포함한 전반적인 거동을 매우 잘 예측하는 것을 확인 할 수 있었다.
- 일반 CFT기둥의 해석을 통해 신뢰성을 확보한 해석방법을 [그림 3.3]에 나타낸 검증실험체에 적용하여 해석을 실시하였다. 검증실험체는 앞서 소개한 Cai et al.의 실험체와 동일한 치수와 재료강도를 사용하였다. 이때 무용접 CFT 기둥의 외부강관 유닛의 양쪽 끝을 절곡하여 슬롯의 구속접합을 위한 [그림 3.1(a)]에 보이는 바오 같이 갈고리(hook)를 형성한 후 [그림 3.3]과 같이

외부강관의 갈고리(Hook)를 슬롯(Slot)으로 구속결합한 형태로 단면을 모델링하여 비선형유한요소해석을 수행하였다.




[그림 3.2] CFT기둥의 해석적 성능평가 검증(상온조건)




[그림 3.3] 무용접 CFT기둥

- 개발기둥의 유한요소해석결과를 [그림 3.2]에 비교하여 나타내었다. 용접으로 접합된 CFT기둥보다 강성나 강도면에서 비슷한 구조성능을 가지는 것을 확인할 수 있다. 이는 개발부재의 슬롯형 접합부가 기존 CFT기둥의 용접접합부와 동일하게 콘크리트에 구속효과를 발현할 수 있음을 의미한다. 또한, 미약하게나마 강도와 강성이 증진된 이유는 외부강관의 절곡부(부재내부로 관입되는 부분)와 이를 결속해 주는 슬롯에 의한 강재단면의 증가에 의한 것이다. 따라서, 무용접 CFT기둥의 구조성능이 기존의 일반 용접 접합형 CFT기둥의 구조성능과 동등하거나 그 이상인 것을 확인 할 수 있다. 또한, 무용접 CFT기둥의 해석적 성능평가 결과, 부재의 설계압축강도 이상의 강도를 확보하였으며, 부재의 최대강도까지 접합부가 벌어지는 오프닝현상이 발생하지 않

았다. 설계압축강도($P_{no}$)는 아래와 같이 강구조설계기준[10] 및 AISC[11]에서 제시하고 있는 방법으로 산정하였으며, 표 1-1에 보이는 바와 같이 단면형태 및 외부강관의 판폭두께비에 따라 조밀단면, 비조밀단면 및 세장단면으로 구분하여 산정할 수 있다.

■ 조밀단면

$$P_{no} = P_P \tag{3.4}$$

여기서,

$$P_P = f_y A_s + C_2 f_{ck}\left(A_c + A_{sr}\frac{E_{sr}}{E_c}\right) \tag{3.5}$$

$C_2$ - 사각형 단면에서는 0.85, 원형 단면에서는 $0.85\left(1+1.56\frac{f_y t}{D_c f_{ck}}\right)$

$D_c = D - 2t$

■ 비조밀단면

$$P_{no} = P_P - (P_P - P_y)\frac{(\lambda-\lambda_p)^2}{(\lambda_r-\lambda_p)^2} \tag{3.6}$$

여기서,

$P_P$는 식 (5)로 산정

$$P_y = f_y A_s + 0.7 f_{ck}\left(A_c + A_{sr}\frac{E_{sr}}{E_c}\right) \tag{3.7}$$

■ 세장단면

$$P_{no} = f_{cr} A_s + 0.7 f_{ck}\left(A_c + A_{sr}\frac{E_{sr}}{E_c}\right) \tag{3.8}$$

여기서,

- 사각형 단면일 경우, $f_{cr} = \frac{9E_s}{(b/t)^2}$ (3.9)

- 원형 단면일 경우, $f_{cr} = \frac{0.72 f_y}{[(D/t)(f_y/E_s)]^{0.2}}$ (3.10)

여기서, $A_c$ : 콘크리트 코어의 단면적($\mathrm{mm}^2$), $A_s$ : 구조용강재의 단면적($\mathrm{mm}^2$), $A_{sr}$ : 철근의 단면적($\mathrm{mm}^2$), $C_2$, $C_3$ : 충전형 합성압축부재의 유효강성을 위한 계수, $D$: 원형 강관의 직경 (mm), $D_c$: 원형 강관의 강관두께를 제외한 내측직경(mm), $E_c$ : 콘크리트 탄성계수(MPa), $E_s$: 구조용강재의 탄성계수(MPa), $E_{sr}$: 철근의 탄성계수(MPa), $P_{no}$ : 세장효과를 고려하지않은 합성압축부재의 공

10) 한국강구조학회(2014). 하중저항계수설계법에 의한 강구조설계기준.

11) AISC(2005C). Steel Construction Manual, 13th Edition, American Institute of Steel Construction, Inc., Chicago, IL.

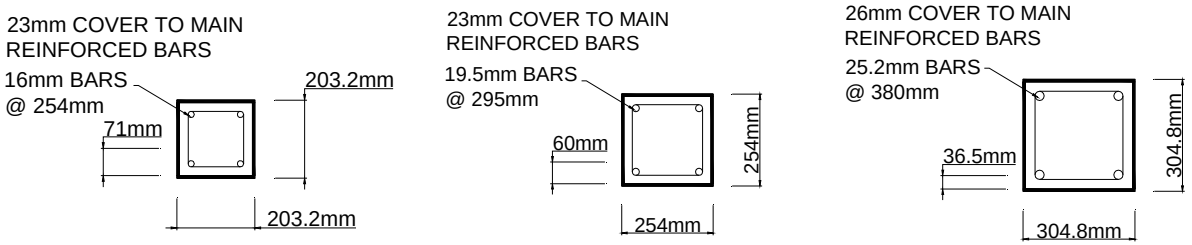
칭압축강도(N), $P_P$ : 콘크리트의 공칭지압강도(N), $b$ : 각형 강관 의 폭($mm^2$), $f_{ck}$ : 콘크리트 압축강도(MPa), $f_{cr}$ : 임계 좌굴응력(MPa), $f_{ysr}$ : 철근의 항 복강도(MPa), $f_y$ : 강재의 항복강도(MPa), $t$ : 강관의 두께(mm), $\lambda$ : 강관의 폭두께비, $\lambda_{max}$ : 강관의 최대 폭두께비, $\lambda_p$ : 조밀/비조밀단면 판단 기준 폭두께비, $\lambda_r$ : 비조밀/세장 단면 판단기준 폭두께비

[표 3.1] 외부강관의 폭두께비 제한

| 구분 | $\lambda$ | $\lambda_p$ 조밀/비조밀 | $\lambda_r$ 비조밀/세장 | $\lambda_{max}$ 최대허용 | 단면 판정기준 |
|---|---|---|---|---|---|
| 각형강관 | $b/t$ | $2.26\sqrt{\frac{E_s}{f_y}}$ | $3.00\sqrt{\frac{E_s}{f_y}}$ | $5.00\sqrt{\frac{E_s}{f_y}}$ | $\lambda < \lambda_p$ : 조밀단면<br>$\lambda_p < \lambda < \lambda_r$ : 비조밀단면<br>$\lambda > \lambda_r$ : 세장단면 |
| 원형강관 | $D/t$ | $\frac{0.15E_s}{f_y}$ | $\frac{0.19E_s}{f_y}$ | $\frac{0.31E_s}{f_y}$ | |

$b$: 각형강관의 폭(mm), $t$: 강관두께, (mm) $D$ : 원형강관 직경(mm), $\lambda$:폭두께비

- 내화성능실험을 수행하기 전에 고온상태의 CFT기둥에 대한 유한요소해석에 대한 신뢰성을 검증하기 위하여 기존 연구자에 의하여 수행된 내화성능 실험결과와 유한요소해석 결과를 비교하였다. 고온상태의 비선형유한요소해석 역시 상용 유한요소해석프로그램인 Safir[12]를 사용하여 수행하였다. [그림 3.4]에는 Chabot et al.[13]에 의하여 실험된 CFT기둥의 단면상세를 나타낸 것이며, 이 실험체들에 대한 비선형유한요소해석을 실시하였다. 해당 실험체는 실험당시 KS F 2257[14] 및 ISO 834[15]에서 규정하고 있는 표준화재곡선이 아닌 이와 유사한 ASTM E119[16] 표준화재곡선을 사용하여 실험을 실시하였으며, 해석에서도 ASTM E119표준화재곡선을 사용하였다.




(a) specimen 1 (b) specimen 2 (c) specimen 3

[그림 3.4] 해석적 내화성능평가 검증 실험체(Chabot et al.)

12) Franssen JM. (2007) User's Manual for SAFIR 2007, a Computer Program for Analysis of Structures Subjected to Fire. Structural Engineering, ArGEnCO, University of Liege, Belgium.

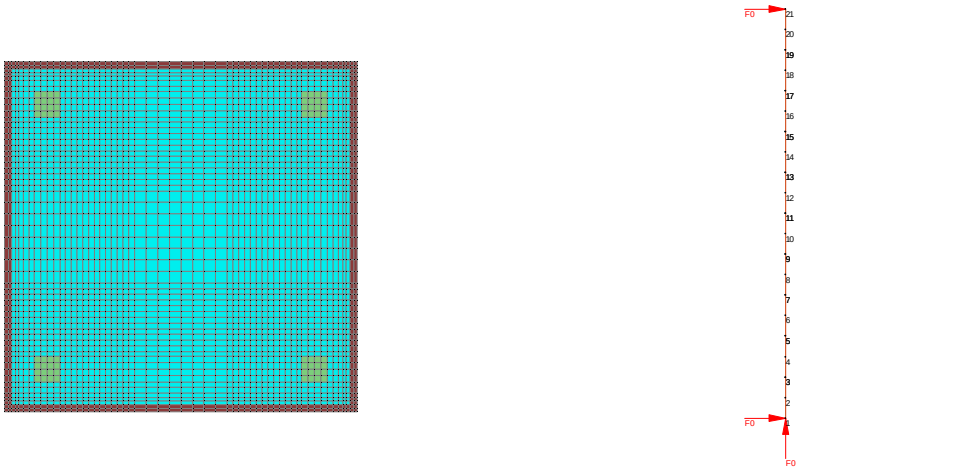
13) Chabot, M., Lie, T.T.(1992), Experimental Studies on the Fire Resistance of Hollow Steel Columns Filled with Bar-Reinforced Concrete, Internal report No. 628, Institute for Research in Construction, National Research Council of Canada, Ottawa.

14) KS F 2257-1(2005), 건축 부재의 내화 시험 방법-일반요구사항, 한국표준협회.

15) ISO 834-1(1999), Fire Resistance Tests-Elements of Building Construction Part1: General Requirements, International Organization for Standardization.

16) ASTM E119-00a(2000), Standard Test Methods for Fire Tests of Building Construction and Materials, American Society for Testing and Materials.

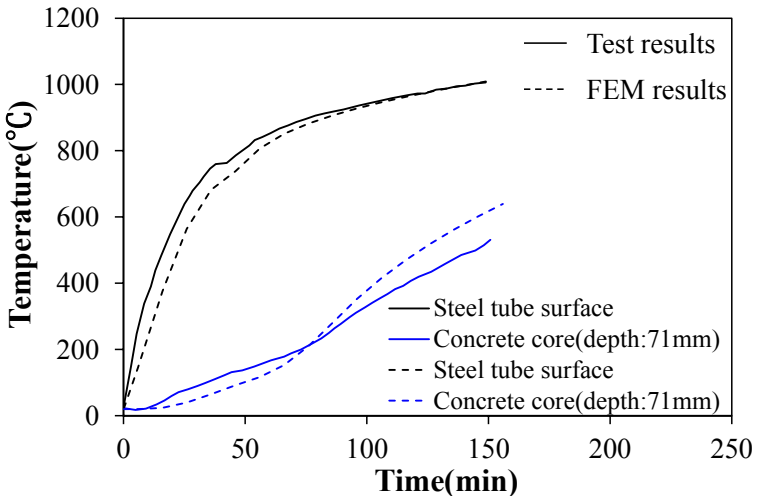
- 3개의 검증실험체는 각각 단면치수가 다른 정사각형단면을 가진 부재로서 3,800 mm의 동일한 길이를 가진 철근으로 보강된 CFT기둥이다. 실험체들은 각각 부재 압축강도의 22%(specimen1), 45%(specimen2) 및 48%(specimen3)에 해당되는 축력을 가력한 상태에서 가열되었다.
- [그림 3.4]에 나타낸 CFT부재의 내화성능을 해석적으로 평가하기 위하여 비선형 유한요소해석 프로그램인 SAFIR를 사용하여 단면의 온도해석 및 기둥의 내화거동해석을 각각 수행하였다. [그림 3.5(a)]와 같이 2D평면요소의 단면을 유한요소로 분할하여 비정상상태 열전달해석을 수행하여 단면의 온도분포를 구하였다. 온도해석결과를 이용하여 [그림 3.5(b)]와 같이 기둥부재를 beam요소로 구성된 세그먼트로 모델링하여 화재거동 해석을 실시하였다.



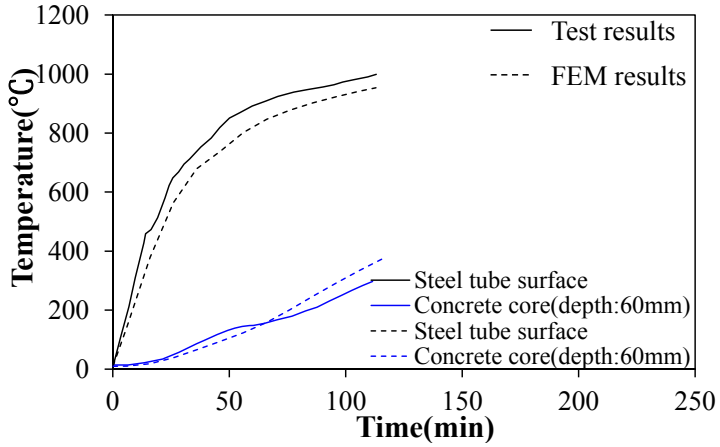
(a) 2D sectional modeling (b) CFT column modeling

[그림 3.5] Modeling details of mesh and segments for FE analysis

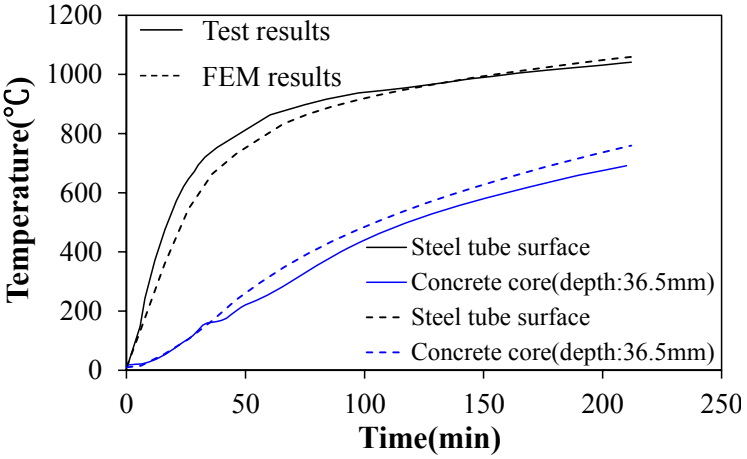
- [그림 3.6]와 같이 각 실험체에 따라 강관 표면의 온도와 콘크리트 코어의 온도를 해석결과가 매우 잘 유추하고 있는 것을 확인할 수 있다. CFT기둥의 외부강관은 화염에 직접 노출되기 때문에 가열 시작과 동시에 급격한 온도상승률을 보이고 있으며 비정상상태 열전달해석결과(unsteady state heat transfer analysis result)에서도 이러한 경향이 충분히 잘 반영되었다. 콘크리트의 경우 사용된 골재의 종류에 따라 노출온도에 따르는 온도상승률 및 콘크리트의 재료강도 저감률이 다르게 나타난다. Chabot et al. 의 실험에 사용된 골재는 석회질 골재이었으며, 해석결과는 이 실험체의 온도거동 특성을 매우 잘 반영하였다.




(a) specimen 1




(b) specimen 2

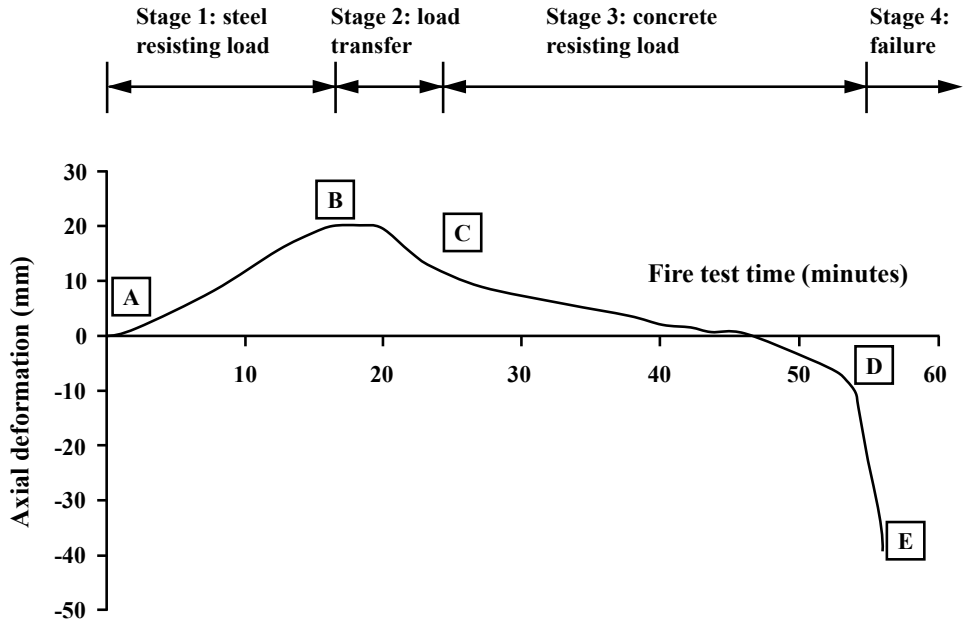



(c) specimen 3

[그림 3.6] CFT기둥의 해석적내화성능 평가 검증 - 온도해석

- 일반적으로 고온에 노출된 CFT기둥의 거동양상은 [그림 3.7]과같이 4가지 단계의 거동 특성을 나타내게 된다. 이러한 거동특성은 부재를 구성하고 있는 재료의 고온특성에 따라 나타나는 현상으로서 가열초기(stage 1)에는 외부표면에 있는 강관이 온도상승에 따라 열팽창변형이 발생하여 대부분의 하중이 강관에 의해서 저항되는 단계로 축방향으로 늘어나는 현상을 보인다. 이후 온도가 지속적으로 증가하면 강관에서 국부적인 좌굴이 발생하는 stage 2단계에 진입하고 부재

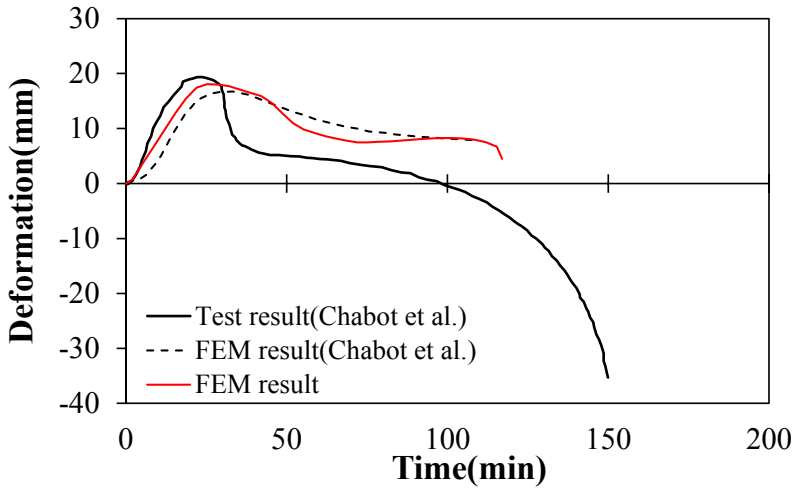
는 수축변형을 일으키기 시작한다. 좌굴에 의해 수축되는 강관이 저항하던 하중을 내부의 온도 상승에 의해 팽창하던 콘크리트에 의해 하중의 저항기구가 변하게 되어 stage 3에서는 콘크리트에 의해 하중이 지지된다. 마지막으로 온도가 상승함에 따라 재료의 강도는 지속적으로 감소하여 파괴에 도달한다.



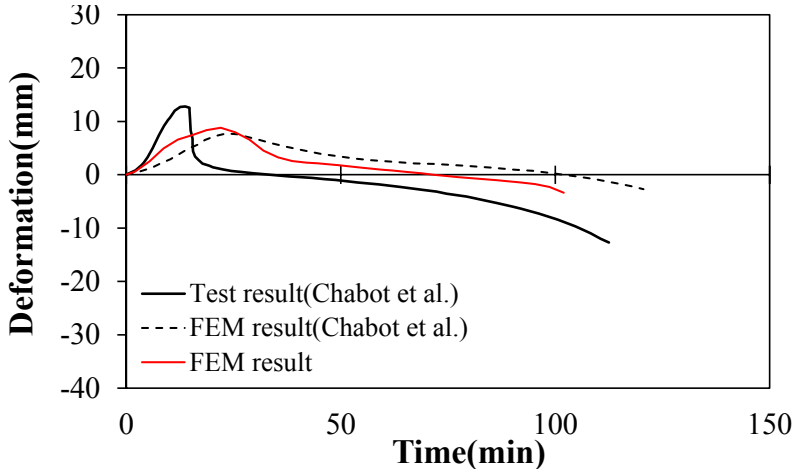

[그림 3.7] CFT기둥의 전형적인 내화거동양상(Wang, Y. C[17])

- [그림 3.8]은 앞서 수행된 검증 실험체의 온도해석결과를 근거로 수행된 부재의 축방향 변위거동결과를 나타낸 것으로서, 3개의 실험체 모두 [그림 3.7]과 같이 4단계에 따라 나타나는 CFT기둥의 거동양상을 보이고 있으며, 해석결과 역시 각 실험체의 거동 양상을 비교적 잘 유추하고 있는 것을 확인 할 수 있다.
- 3개의 실험체 중 상대적으로 하중비(22%)가 작았던 specimen 1의 경우 초기 강관의 열팽창에 의한 축변형이 가장 크게 나타났다. 그러나 국부좌굴 이후의 수축변형 단계에서는 단면크기가 상대적으로 작아 [그림 3.6]에서 확인 할 수 있듯이 콘크리트 코어의 온도분포가 높게 형성되어 급격한 수축변형이 발생하는 것을 확인 할 수 있다. 반면 specimen 2 및 3의 경우 하중비가 각각 45%와 48%로서 specimen 1에 비해 가열 초기 열팽창변형이 작은 것을 확인 할 수 있었다. 세 실험체의 실험 및 해석결과를 비교하였을 때, CFT기둥의 내화성능은 부재 단면의 크기와 하중비의 영향이 매우 큰 것을 확인할 수 있었으며, 이에 따라 추후 진행될 내화성능실험은 부재 크기를 변수로 설정하여 진행할 예정이다.

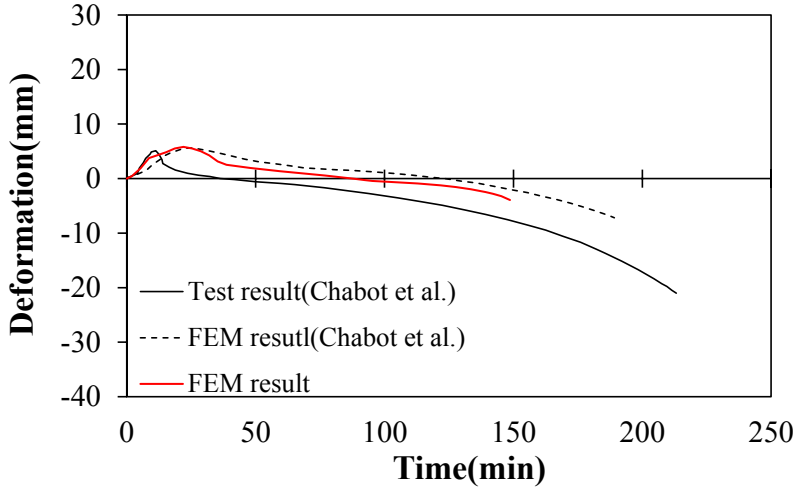
17) Wang, Y. C. (2002) Steel and Composite Structures: Behaviour and Design for Fire Safety, Spon Press-Taylor & Francis Group.




(a) specimen 1




(b) specimen 2



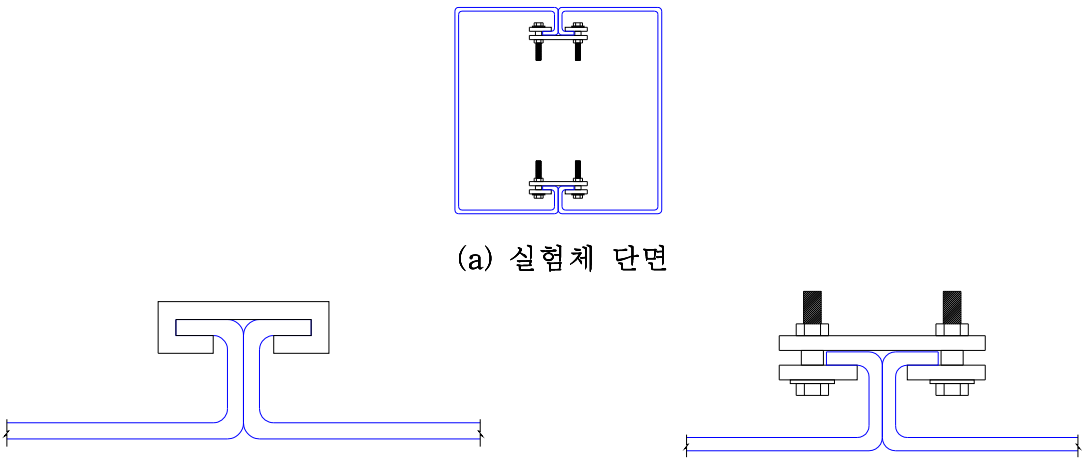

(c) specimen 3

[그림 3.8] CFT기둥의 해석적내화성능 평가 검증 - 축방향 변위거동

## 2. 무용접 CFT 기둥의 구조성능 평가

### 가. 슬롯접합부 형태개선

- CFT기둥의 상온 및 고온조건에서의 해석결과를 기존에 수행된 실험결과와 비교하여 신뢰도를 확보하였으며, 이를 근거로 무용접 CFT기둥의 성능평가를 수행하였다. [그림 3.2]를 통하여 무용접 CFT기둥의 상온 구조성능이 기존의 CFT기둥과 동일한 수준인 것을 확인하였으며, 추가적으로 고온거동 평가를 수행하여 내화성능실험 이전에 개발부재의 성능을 평가하고 시공성을 향상시킬 수 있는 대안을 마련하고자 하였다.
- [그림 3.9(a)]는 무용접 CFT기둥 실험체의 단면형태를 나타내었다. 초기 개발당시에는 슬롯의 형태가 [그림 3.9(b)]와 같이 강판을 절곡하여 제작하는 형태였으나, 시공성 및 경제성을 향상하기 위해 슬롯의 제작방법을 [그림 3.9(c)]에 나타낸 것과 같이 세 개의 강판을 볼트로 결합하여 슬롯을 만드는 볼트형 슬롯으로 개선하였다. 슬롯제작방법에 대한 개선으로 개발당시 슬롯에 비해 제작공정이 매우 용이해졌으며, 강판 절곡 시 발생되는 절곡반경에 의한 유격이 발생하지 않아 외부강관의 절곡부를 보다 효과적으로 구속할 수 있었다. 또한, 이러한 볼트형 슬롯이 적용된 무용접 CFT기둥을 요한요소해석을 수행하여 구조성능을 검증하였으며, 개선전 슬롯형 CFT기둥과 동일한 구조성능을 보이는 것을 확인하였다. 또한, 개선된 볼트형 슬롯의 형태는 강관내부로 볼트가 돌출되어 있기 때문에 강관과 콘크리트의 일체성을 향상시키는 전단연결재의 역할을 하는 것으로 분석결과 나타났다.
- 제작된 실험체는 길이 3,000mm로서 실제구조물에 사용될 수 있는 치수로 제작되었으며, 외부강관에 슬롯이 용이하게 설치될 수 있도록 슬롯의 길이를 500mm의 유닛으로 제작하여 삽입하였다. [그림 3.10]은 개선된 슬롯형태를 이용하여 제작된 무용접 CFT기둥의 사진으로서, 콘크리트 측압에 의한 강관의 접합부의 변형은 발생하지 않았고 시멘트 페이스트의 유출 또한 없었다.



(a) 실험체 단면

(b) 최초 개발부재의 슬롯형태 (강판절곡형)

(c) 슬롯형태의 개선방안 도출 (볼트형 슬롯)

[그림 3.9] 무용접 CFT기둥 실험체 도면_슬롯형태개선



(a) 개선된 슬롯



(b) 절곡강관에 슬롯설치모습



(c) 슬롯설치가 완료된 외부강관



(d) 무용접 CFT기둥의 타설

[그림 3.10] 무용접 CFT기둥 실험체제작

## 나. 중심축압축 실험

### (1) 실험개요

기존 CFT기둥의 용접 접합에 의한 문제점을 극복하기 위하여 개발된 무용접 CFT기둥의 성능을 평가하기 위하여 외부강관의 두께를 6t 및 9t로 설정하여 무용접 CFT기둥 2개(강관두께: 6, 9 mm 각각 1개씩)와 기존 CFT기둥(강관두께: 9 mm) 1개 실험체를 제작하였으며, 중심축하중가력 방식으로 실험을 수행하였다.

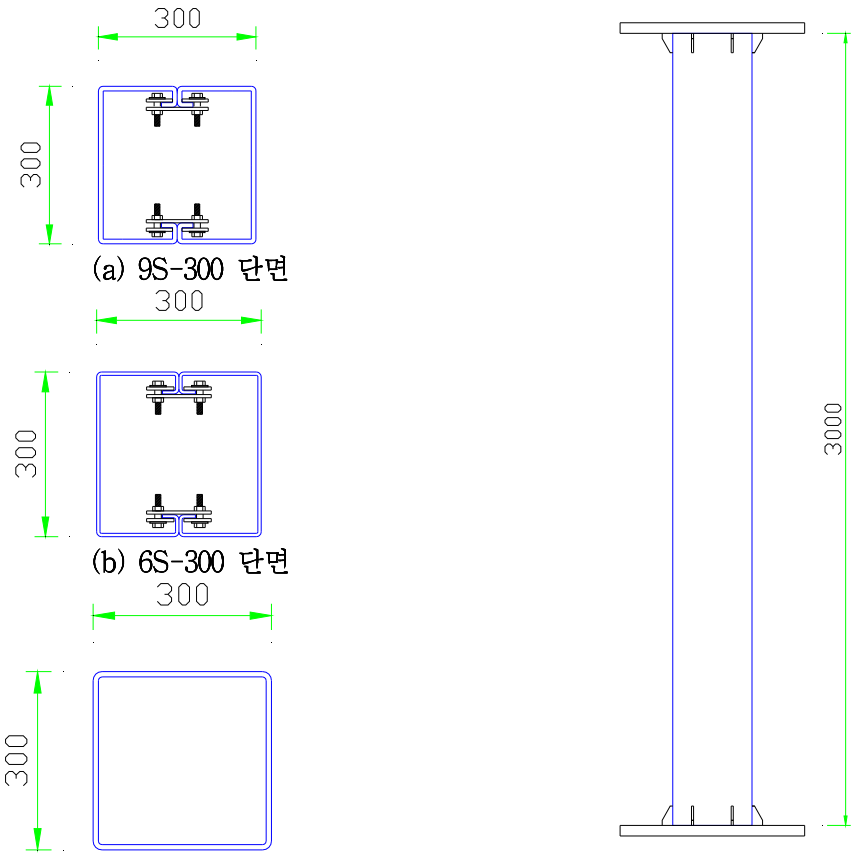
### (2) 실험체 제작 상세

개발된 무용접 CFT기둥의 상온성능평가를 위하여 [표 3.1] 및 [그림 3.11]와 같이 실험체를 제작하였다. 모든 실험체의 단면치수 및 길이는 가력장치의 용량(10,000 kN)을 고려하여 300 X 300 X 3,000 mm로 제작하였다.

무용접 CFT기둥의 강관은 [그림 3.11] 및 [그림 3.12]과 같이 양 단부가 절곡된 2개의 외부강관 유닛을 맞대어 슬롯을 활용하여 접합하게 되며, 여기에서 사용되는 슬롯은 [그림 3.12]과 같이 3개의 강재 플레이트 유닛을 간격유지용 베어링과 볼트로 고정하는 방식으로 구성된다. 볼트의 간격은 실험체 길이방향으로 100 mm이며, 단위 슬롯유닛의 길이는 500 mm로 하나의 실험체에 12개의 슬롯유닛이 설치되어 무용접 CFT기둥을 형성하게 되며, 실험은 [그림 3.14]와 같이 10,000 kN급 UTM을 이용하여 중심축하중 가력 방식으로 수행되었다.

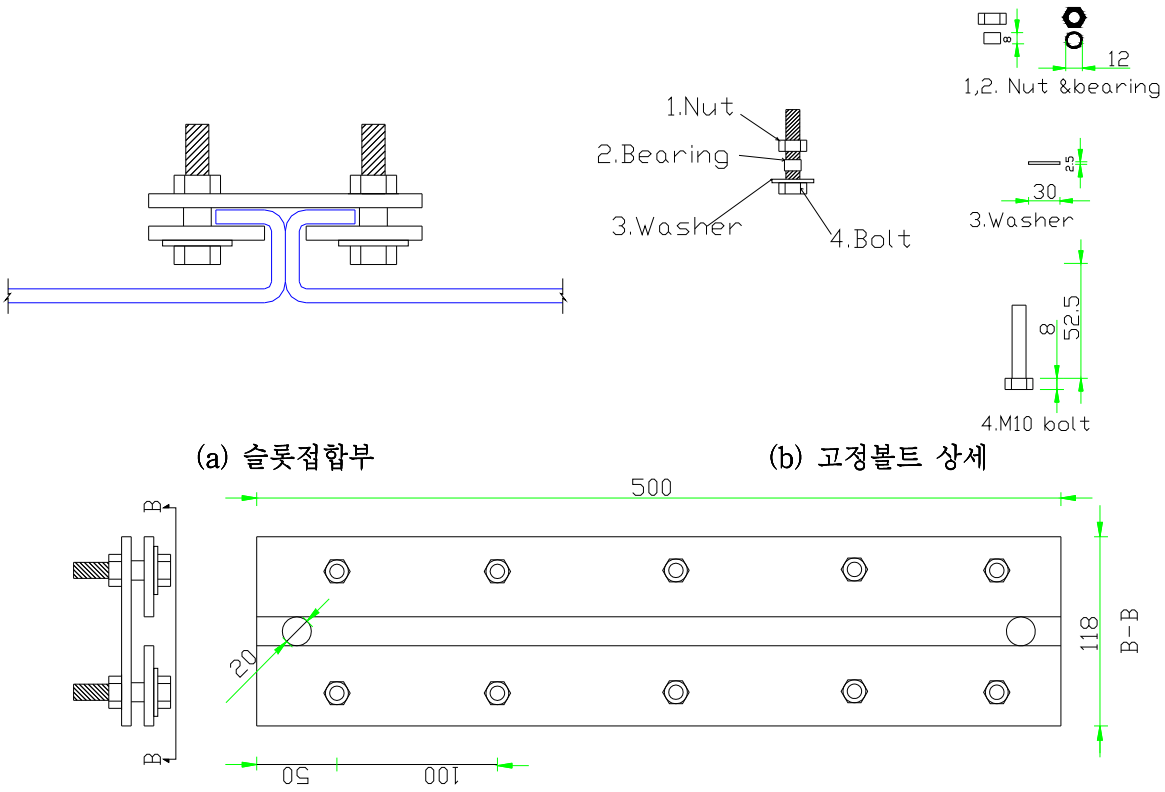
[표 3.1] 실험체 구성

| 실험체 | 변수 | 재료 설계강도 | | 부재크기 (단면, 높이 ㎜) |
|---|---|---|---|---|
| | | 콘크리트 압축강도 (MPa) | 강재 항복강도 (MPa) | |
| 9S-300 | 무용접CFT, 강관 9 mm | 50 | 235 (SS400) | 300 X 300, 3000 |
| 6S-300 | 무용접CFT, 강관 6 mm | | | |
| 9G-300 | 일반CFT, 강관 9 mm | | | |




(a) 9S-300 단면 (b) 6S-300 단면 (c) 9G-300 단면 (d) 실험체 입면

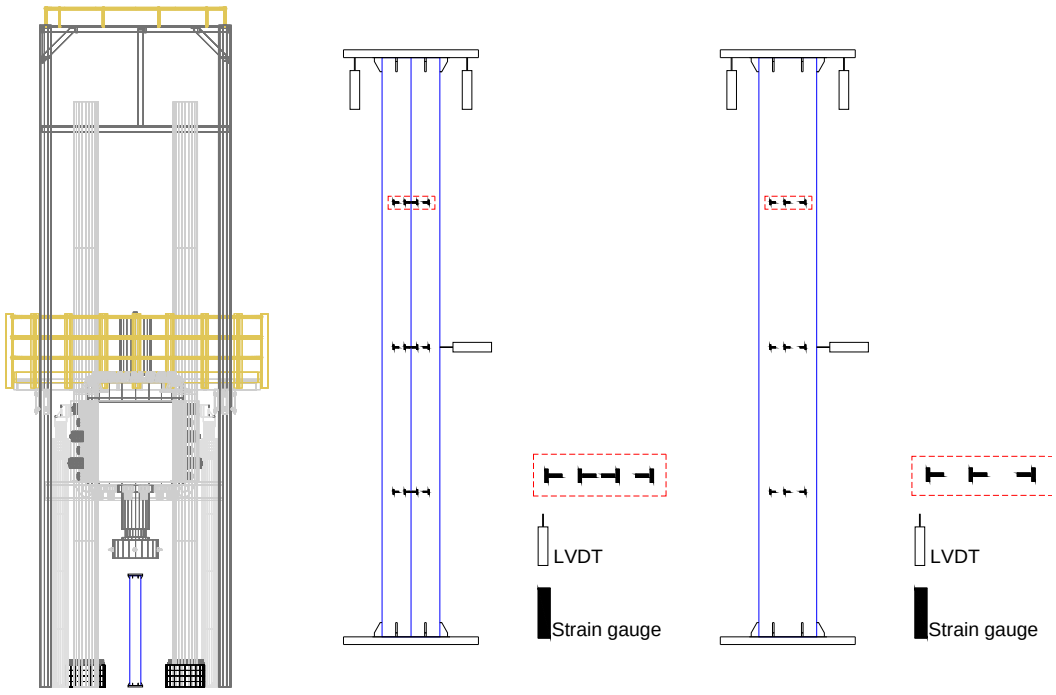
[그림 3.11] 상온성능 실험체




(a) 슬롯접합부 (b) 고정볼트 상세

(c) 슬롯유닛 상세

[그림 3.12] 슬롯유닛의 상세도



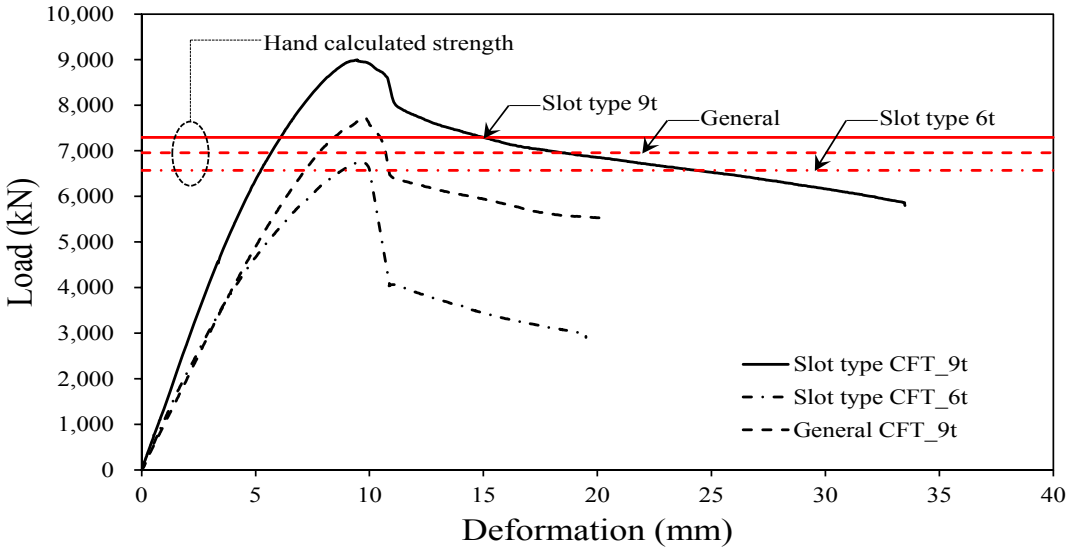

(a) 10,000kN급 UTM (b) 슬롯 접합면 계측계획 (c) 강판면 계측계획

[그림 3.13] 상온 성능검증 실험 계획

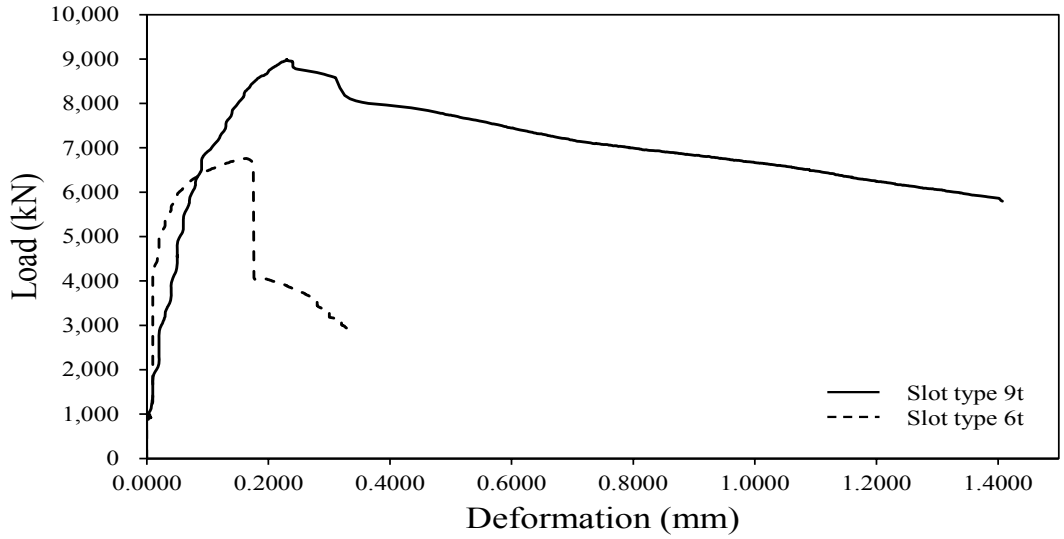
### (3) 실험결과 및 분석

무용접 CFT기둥은 기존 용접형 CFT기둥에서 발생할 수 있는 용접결함에 의한 부재의 급격한 성능저하 및 용접 접합부의 파단을 방지 할 수 있으며, 실험을 통하여 상온조건에서 우수한 구조적 성능을 확인할 수 있었다.

[표 3.1]의 실험체를 대상으로 중심축하중 가력방식을 사용한 구조성능실험을 실시하였으며, [그림 3.14]에 실험결과를 나타내었다. 실험결과 무용접 CFT기둥의 성능이 약 15 % 우수한 것을 확인 할 수 있었으며, 개발당시 우려되었던 외력증가에 따른 슬롯접합부의 오프닝현상은 [그림 3.14(b)]에서 확인할 수 있듯이 최대하중 이후에 점차 증가하는 것으로 확인되었다. 또한, 슬롯 접합부의 오프닝은 매우 미소하게 발생하여 부재의 거동에 큰 영향을 미치지 못하는 것을 확인하였다. 따라서 무용접 CFT기둥은 용접공정을 배제함으로서 기존 용접성형 CFT기둥에서 발생할 수 있는 문제점을 극복 할 수 있으며, 우수한 구조적성능을 가지는 것을 확인할 수 있었다.




(a) 무용접 CFT기둥의 상온거동




(b) 무용접 CFT기둥의 슬롯접합부 오프닝거동

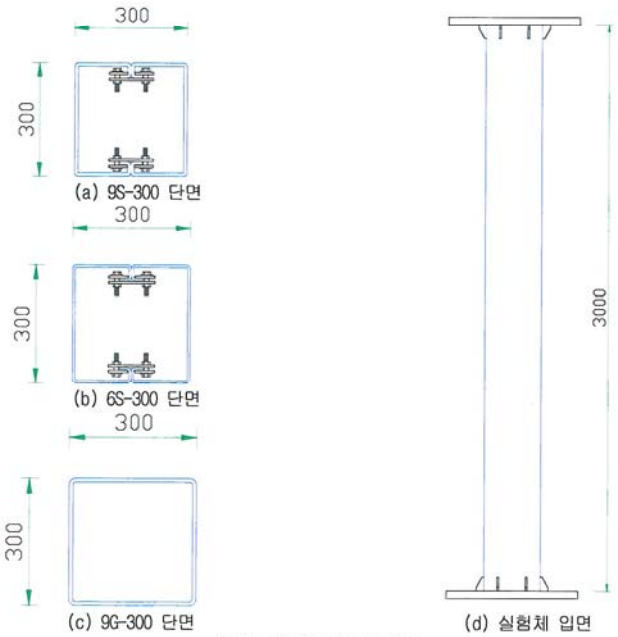
[그림 3.14] 무용접 CFT기둥의 상온성능 실험 결과

## (4) 중심압축 실험 확인서

# 무용접 CFT기둥의 중심축압축 실험 확인서

1. 실험 의뢰자
   - 기관명: 서울시립대학교 건축공학과
   - 책임자: 김강수 교수

2. 실험
   - 실험체: 무용접 CFT 2EA(강관: 6 mm, 9 mm), 일반 CFT 1EA(강관: 9mm)
   - 실험체 치수: 단면 300 X 300 mm, 길이 3,000 mm
   - 실험기간: 2015년 12월 2일
   - 실험방법: 중심압축가력
   - 실험체 도면:




[그림 1] 무용접 CFT기둥

지창영(jeecy) 2016-06-15 14:41:04 CONFIDENTIAL
POSCO CONFIDENTIAL jeecy 7703008000049 10449
포스코의 승낙없이 제3자에게 제공할 수 없는 문서입니다.

### 다. 편심압축 실험

#### (1) 실험개요

건축물에서 기둥은 설치위치 및 하중분포 상태 등에 따라 대부분 편심하중이 작용하게 된다. 편심하중을 받는 수직부재는 축력과 휨모멘트를 동시에 받기 때문에 축력에 대한 저항능력이 저하된다. 또한, 기둥이 세장할 경우 축하중과 휨모멘트에 의하여 발생되는 수평변형에 의한 P-Δ 효과는 추가적인 2차 휨모멘트(secondary moment)를 유발함으로서 기둥 부재의 급격한 성능저하가 발생하게 되어 부재의 과도한 변형 및 구조물의 붕괴를 유발할 수 있다. CFT기둥은 강관이 단면 최외단에 배치되어 있기 때문에 외부강관에 의한 휨 모멘트 저항성분이 크게 작용하며, 필요에 따라 보강철근을 배치하여 휨 모멘트 저항성능을 높일 수 있다. 기존 CFT기둥과 달리 이 연구를 통하여 개발된 무용접 CFT기둥은 용접부가 없는 부재이며, 앞서 설명된 중심압축실험과 함께 편심압축실험을 통하여 개발 부재의 구조성능 검증을 수행하였다. 편심실험체는 무용접 CFT기둥 2개(강축 및 약축가력 실험)와 기존 CFT기둥 1개로 총 3개의 실험체를 제작하였으며, 모든 실험체는 100 mm의 편심(B/3, B: 기둥의 폭)을 설정하여 실험을 수행하였다.

#### (2) 실험체 제작 상세

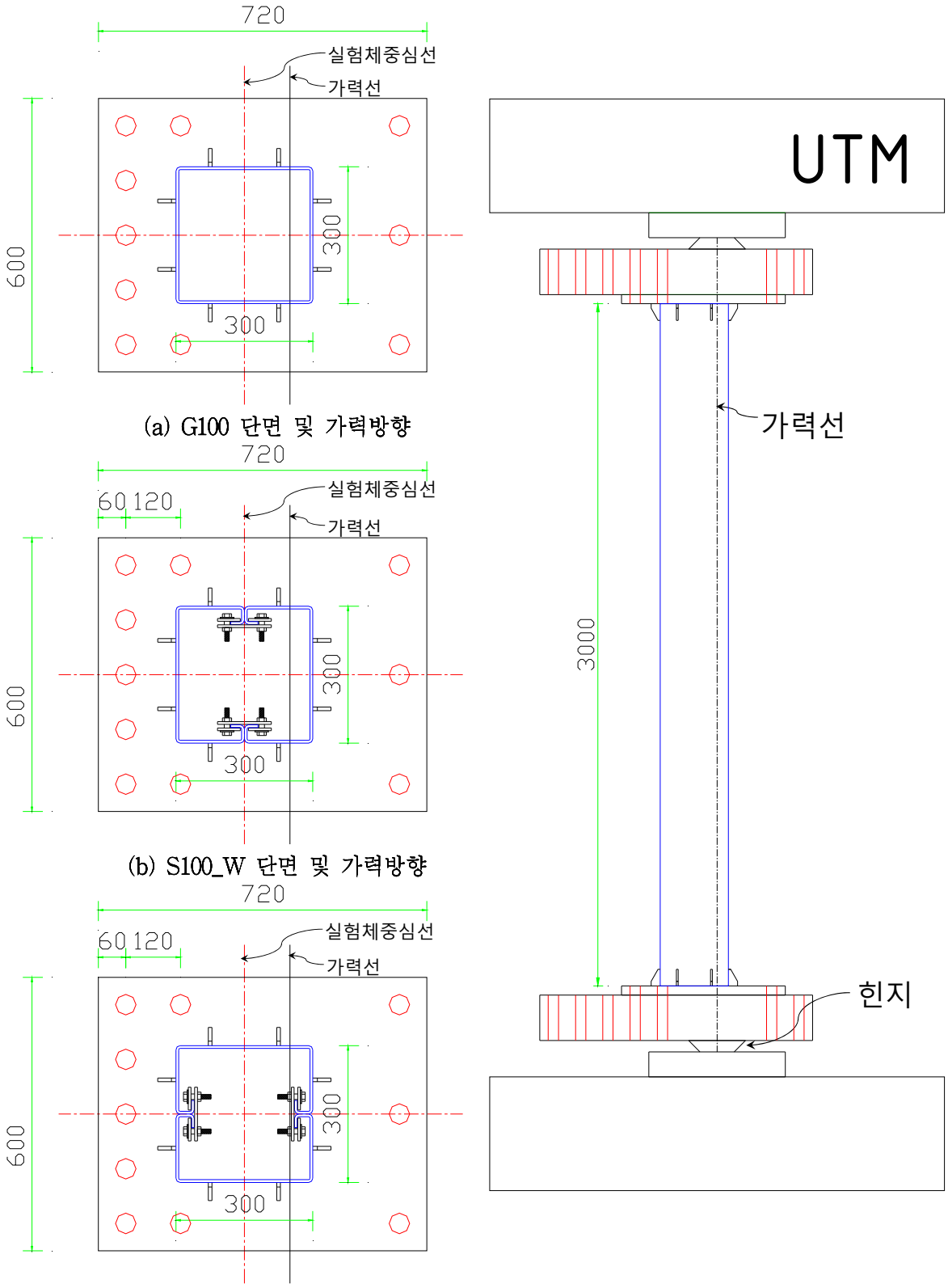
개발된 무용접 CFT기둥의 편심하중성능 평가를 위하여 [표 3.2]에 나타낸 것과 같이 실험변수를 설정하였으며 [그림 3.15]에 나타낸 바와 같이 실험체를 제작하였다. 모든 실험체의 단면치수 및 길이는 앞서 수행되었던 중심압축 실험체와 동일하게 300 × 300 × 3,000 mm로 제작하였으며, 강관의 두께는 무용접 CFT기둥의 경제성분석을 통하여 산정된 최적두께인 6 mm를 적용하였다.

[표 3.2] 실험체 구성

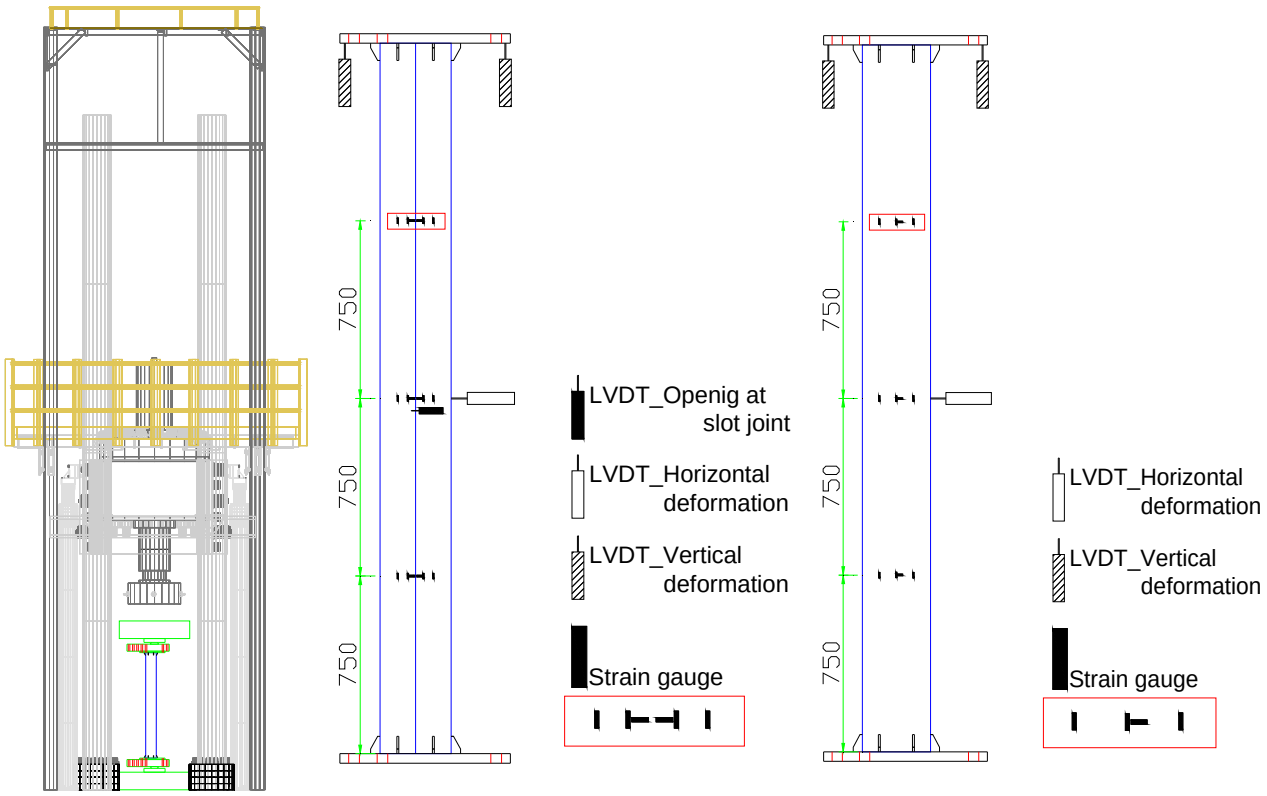
| 실험체 | 변수 | 재료 설계강도 | | 부재크기 (단면, 높이 ㎜) |
|---|---|---|---|---|
| | | 콘크리트 압축강도 (MPa) | 강재 항복강도 (MPa) | |
| G100 | 일반CFT | 50 | 235 (SS400) | 300 x 300, 3000 |
| S100_W | 무용접CFT, 약축가력 | | | |
| S100_S | 무용접CFT, 강축가력 | | | |

#### (3) 실험

제작된 실험체는 [그림 3.16 (a)]에 나타낸 것과 같이 10,000 kN급 UTM장비를 이용하여 가력 하였다. [그림 3.15 (b)]와 같이 실험체의 상·하부에 힌지를 각각 설치하여 (pin-pin) 실험을 수행하였다. [그림 3.16 (b) 및 (c)]와 같이 LVDT를 설치하여 각 실험체의 수직 및 수평변형과 무용접 CFT기둥의 슬롯접합부 오프닝을 측정하였다.




[그림 3.15] 상온성능 실험체



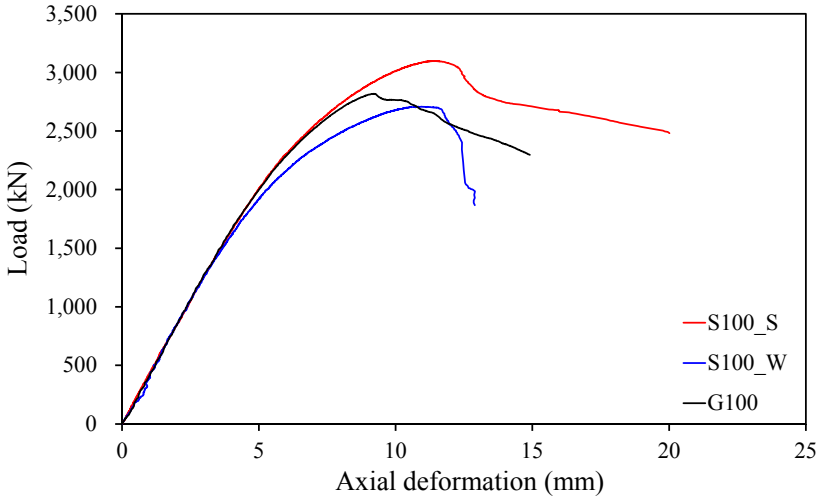

(a) 10,000kN급 UTM (b) 슬롯 접합면 계측계획 (c) 강판면 계측계획

[그림 3.16] 상온 편심하중 성능검증 실험 계획

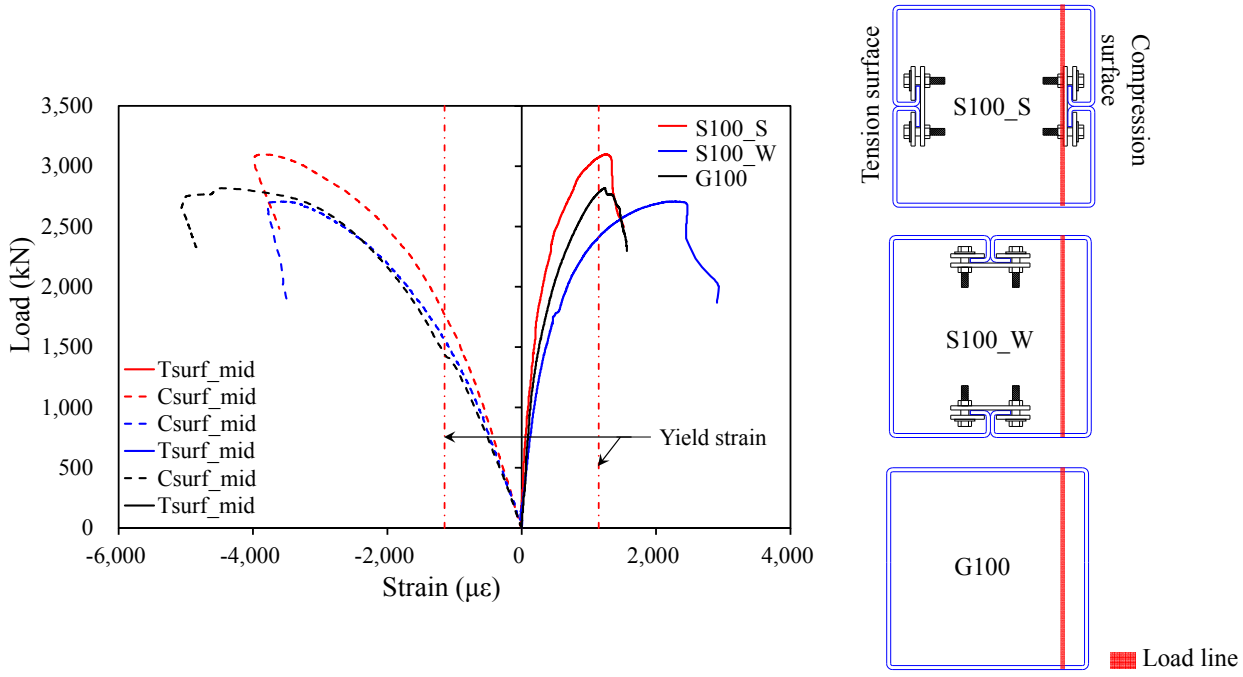
**(4) 실험결과 및 분석**

[그림 3.17 (a)]는 하중에 따르는 기둥의 수직변위 결과를 나타내었다. 무용접 CFT의 강축방향으로 편심가력을 실시했던 S100_S 실험체의 경우 기존 CFT기둥인 G100실험체 비해 약 10 %의 강도가 향상된 것을 확인할 수 있었다. 무용접 CFT기둥의 약축방향으로 편심가력을 실시했던 S100_W 실험체의 경우 G100 실험체의 강도와 거동이 유사한 것으로 나타났다.

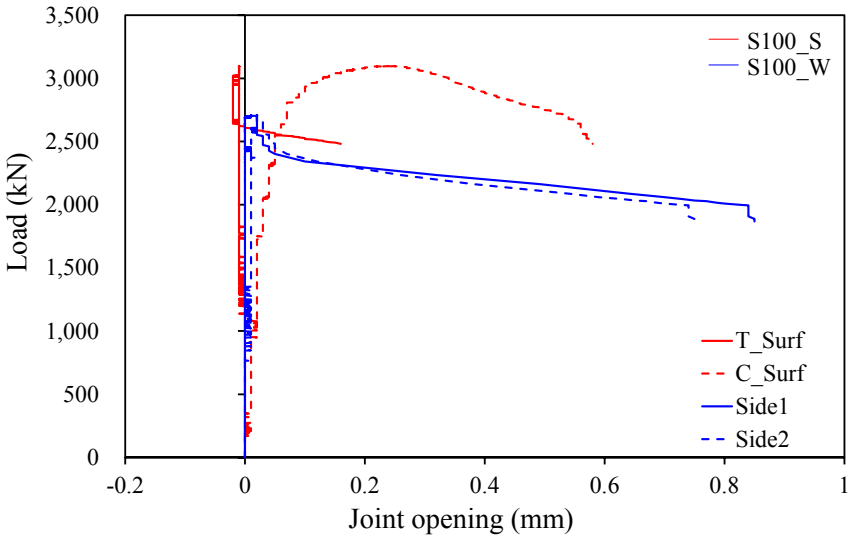
[그림 3.17 (b)]는 실험체의 인장 및 압축변형을 측정하기 위하여 실험체 중앙에 설치한 부재 길이방향 스트레인게이지 측정값을 나타낸 그래프이다. S100_W실험체와 G100실험체의 압축변형은 최대하중 시점까지 비슷한 경향을 보이는 반면, 인장변형은 하중증가에 따라 변형률의 차이가 발생하였다. [그림 3.17 (a)]에 나타낸 것과 같이 실험체의 중심의 수직변형이 약 5 mm가 발생하는 시점부터 S100_W 실험체의 강성이 G100 실험체보다 다소 감소하는 것으로 나타났다. 이러한 현상은 S100_W실험체의 외부강관을 구성하는 2개의 'ㄷ'형태 강관유닛사이에서 미소한 슬립이 발생하여 나타나는 현상으로 분석된다. [그림 3.17 (c)]에는 두 무용접 CFT기둥 슬롯접합부의 오프닝을 측정한 결과이다. 중심압축 실험결과와 유사하게 슬롯접합부의 오프닝은 매우 미소하게 발생하여 편심하중이 작용한 경우에도 개발 CFT기둥은 안정적으로 거동하는 것을 확인할 수 있었다.




(a) 편심하중거동_기계변위 값 보정




(b) 하중-변형률(인장면 및 압축면 변형률)




(c) 무용접 CFT기둥의 슬롯접합부 오프닝거동

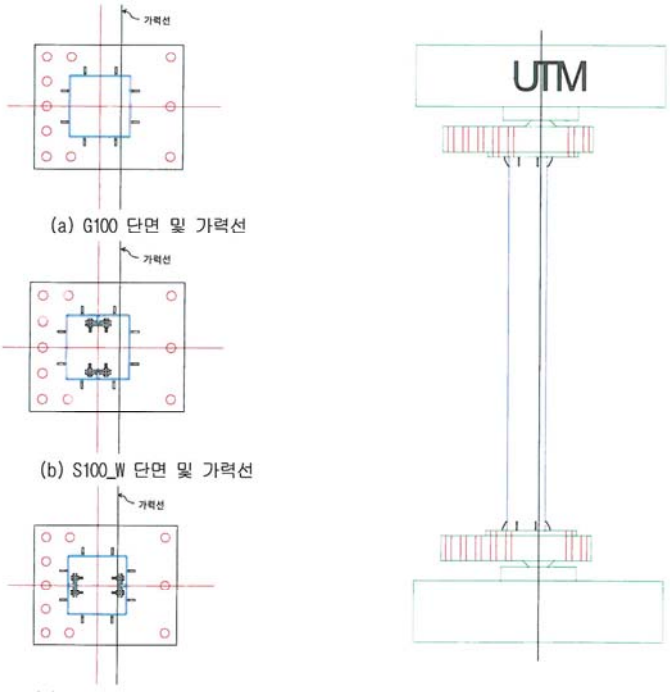
[그림 3.17] 무용접 CFT기둥의 편심압축실험 결과

## (5) 편심압축 실험 확인서

# 무용접 CFT기둥의 편심압축 실험 확인서

1. 실험 의뢰자
   - 기관명: 서울시립대학교 건축공학과
   - 책임자: 김강수 교수

2. 실험
   - 실험체: 무용접 CFT 2EA(강관: 6mm, 강축 및 약축실험체), 일반 CFT 1EA(강관: 6mm)
   - 실험체 치수: 단면 300 X 300 mm, 길이 3,000 mm
   - 실험기간: 2016년 5월 19일 ~ 20일
   - 실험방법: 편심압축가력
   - 실험체 도면:




(a) G100 단면 및 가력선

(b) S100_W 단면 및 가력선

(c) S100_S 단면 및 가력선

(d) 실험체 입면 및 가력선

[그림 1] 무용접 CFT기둥

지창영(jeecy) 2016-06-15 14:42:04 CONFIDENTIAL
POSCO CONFIDENTIAL jeecy 7703008000049 10444
포스코의 승낙없이 제3자에게 제공할 수 없는 문서입니다.

## 3. 무용접 CFT 기둥의 내화성능 평가

슬롯형 무용접 콘크리트 충정강관(CFT) 기둥의 내화성능을 검증하기 위하여 강관의 접합방식 및 강판의 두께 별로 500×500×3000㎜ 크기의 실험체를 제작하여 표준화재 재하조건에서 내화실험을 실시하였다.

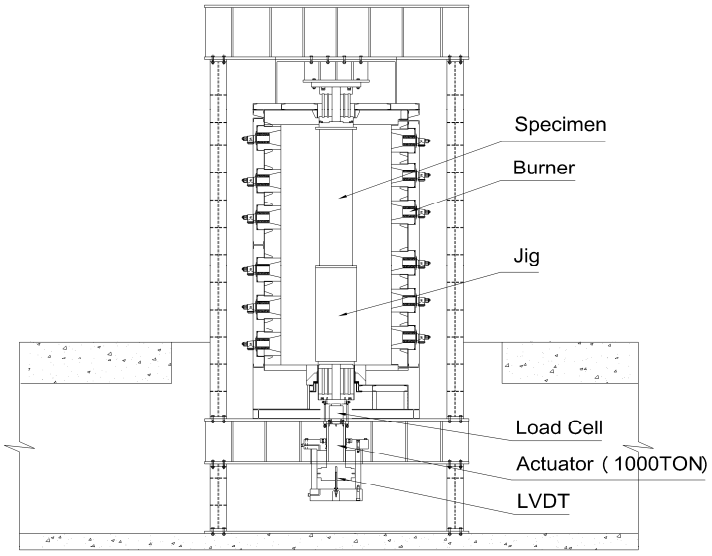
### 가. 실험개요

본 연구에서는 슬롯형 무용접 콘크리트 충전강관(CFT)의 실용화 기술 개발을 위하여 볼트형 조립 슬롯을 적용하여 무용접 CFT 기둥실험체에 대하여 [표 3.3]와 같이 강판두께 및 강관 접합방식 별로 3000㎜ 높이의 기둥 실험체에 대한 내화실험을 수행하였다.

[표 3.3] 고강도 내화콘크리트 공법개발을 위한 기둥실험체 실험계획

| 실험체명 | 강관 접합방식 | 실험변수 | | 시험체 치수 | 콘크리트 압축강도 |
|---|---|---|---|---|---|
| | | 슬롯볼트간격 | 강판 두께 | | |
| S-1 | 용접형 | - | 6T | 500×500×3000 | 50MPa |
| S-2 | | - | 9T | | |
| S-3 | 용접이중형 | - | 12T | | |
| S-4 | 슬롯형 | 100㎜ | 6T | | |
| S-5 | 용접슬롯형 | - | 6T | | |
| S-6 | 슬롯형 | 250㎜ | 6T | | |

실험 조건 : 슬롯형 무용접 CFT 기둥의 성능평가는 표준화재 재하조건에서의 실시하며, 내화실험은 KS F 2257-7「건축 부재의 내화 시험 방법-기둥의 성능 조건」을 따라 내화실험을 수행하였다. 온도조건은 ISO 834 화재곡선에 따라 [그림 3.18]과 같이 부재의 가열시험을 실시 하였다.




[그림 3.18] 1000ton 기둥 가열로

본 실험의 경우 기둥부재가 실제 건축물에 적용되었을 경우를 가정하여 재하조건에서 내화성능을 평가함. 재하조건에서 내화성능의 평가기준은 KS F 2257-1 「건축 부재의 내화 시험 방법－일반 요구 사항」에 따라 수축량과 변형률에 의해 판정하며, 수축량(1)과 변형률(2) 2가지 기준을 모두 초과하였을 때 부적합한 것으로 간주함. 이에 따라 실험체의 높이는 모두 3000 ㎜로 수축량 기준은 30 ㎜이고 변형률 기준은 9 ㎜/min 이다.

수축량 : $C = \frac{h}{100} mm$ (1)

변형률 : $\frac{dC}{dt} = \frac{3h}{1000} mm/\min$ (2)

여기서,

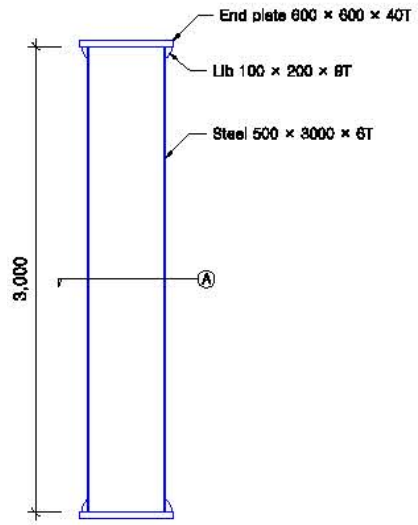
h : 실험체의 초기 높이(㎜)

## 나. 실험체 제작 상세

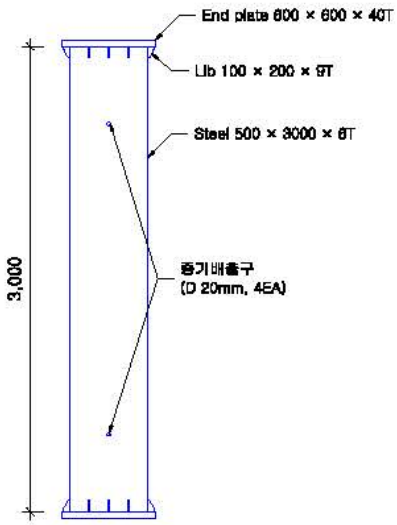
슬롯형 무용접 CFT 기둥의 내화성능 평가를 위해 가장 일반적으로 사용되고 있는 용접방식의 폐단면 CFT 기둥과 슬롯방식의 무용접 CFT 기둥으로 제작하여 강관두께 및 접합방식에 따른 내화성능을 비교하고자 하였다. 또한 현재 국내에서 유일하게 무피복으로 3시간 내화성능을 확보한 이중 CFT기둥(12T X 2)을 추가로 내화성능 평가하였다. S-1과 S-2는 기존 폐단면 용접형 CFT 기둥으로써 절곡된 강판(6T, 9T)의 개구부를 용접으로 접합하였다. S-3은 앞에 기술한 바와 같이 12T두께의 강판을 내부원형강관과 외부각형강관으로 나누어 2겹으로 제작하였다. S-4는 용접으로 접합된 슬롯을 사용하여 2개의 강관을 연결한 형태이며, S-5, S-6는 본 연구의 개발공법으로써 S-4와 강관의 형태는 동일하나 슬롯제작시 볼트를 이용한 마찰접합을 적용하였다. 이때, S-5과 S-6의 슬롯은 접합에 사용되는 볼트의 간격을 S-5의 경우 100㎜, S-6의 경우 250㎜로 구분하여 적용하였다. 개발공법은 폭렬제어를 위하여 시험체 표면에 공기 배출구를 천공하였으며, 이때, 공기배출구의 개소가 증가하면 페이스트가 새거나 강재의 내력이 저하되는 문제점이 있어 적정수준(직경 5㎜, 6개소)의 공기배출구를 천공하였다. 다음 그림 2-19에서 그림 2-23에 시험체의 상세도를 나타냈다.

[표 3.4] 실험체[S-1] 상세도

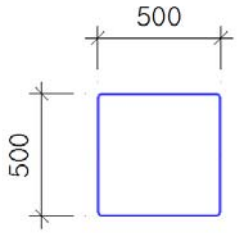
**용접형 CFT기둥(6T) [S-1]**




종단면도




입면도



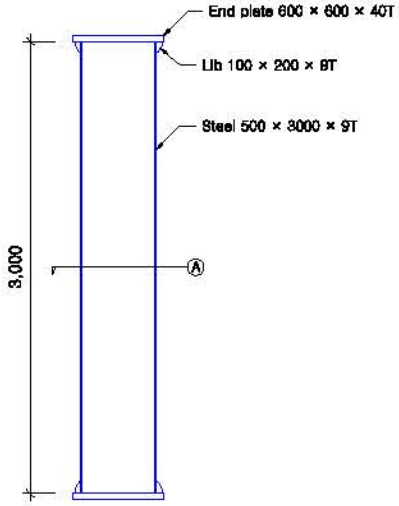

단면도

NOTES

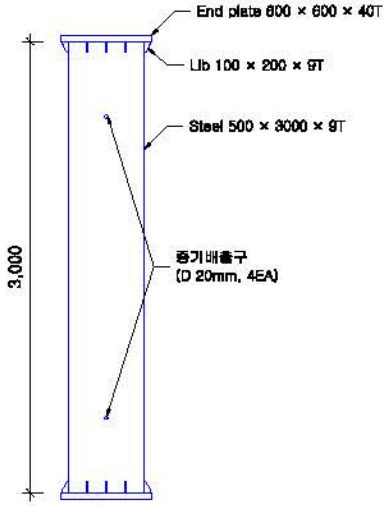
1. 콘크리트 강도 50MPa
2. 강재종류 SS400
3. 강판두께 6T

[표 3.5] 실험체[S-2] 상세도

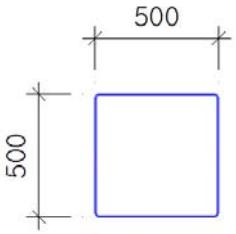
**용접형 CFT기둥(9T) [S-2]**




종단면도




입면도

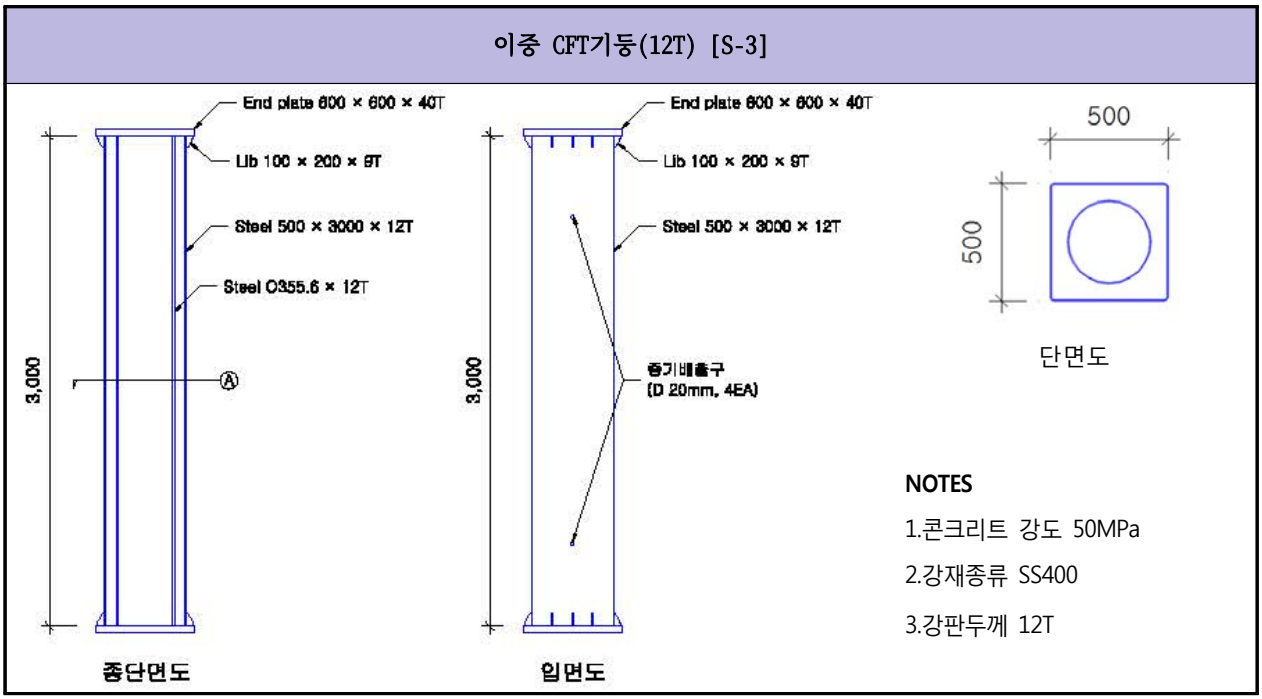



단면도

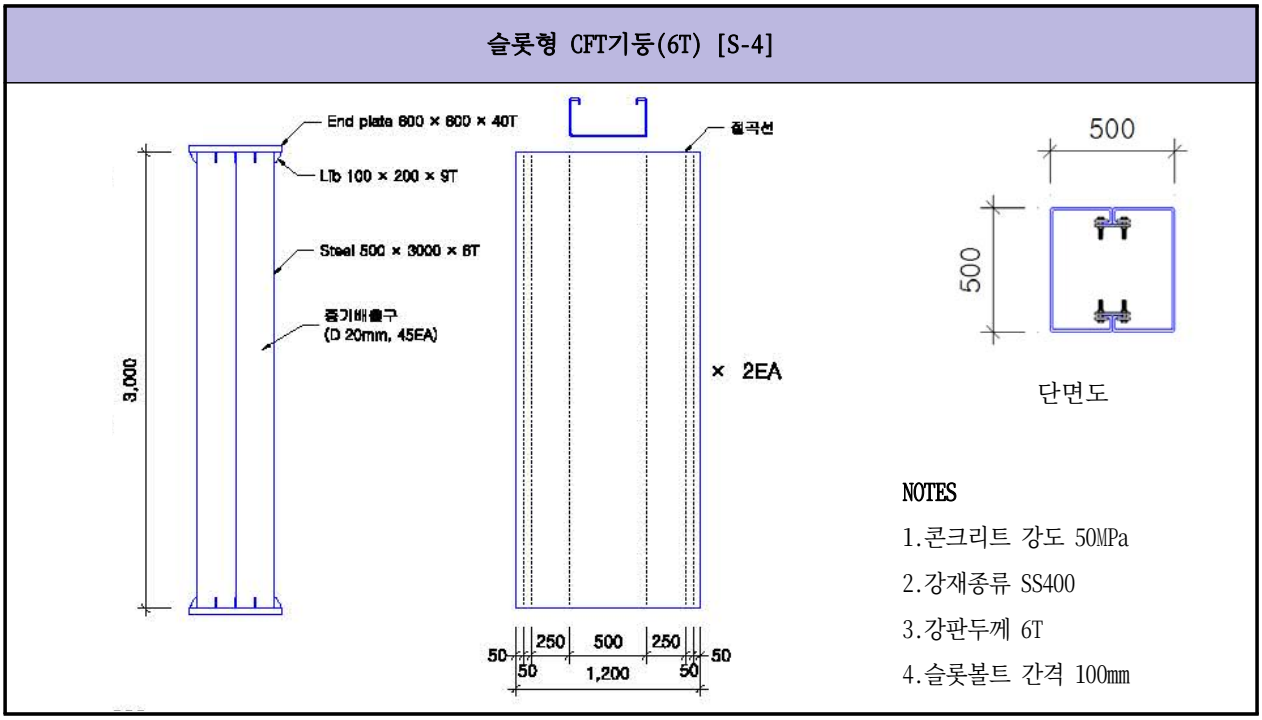
NOTES

1. 콘크리트 강도 50MPa
2. 강재종류 SS400
3. 강판두께 9T

[표 3.6] 실험체[S-3] 상세도

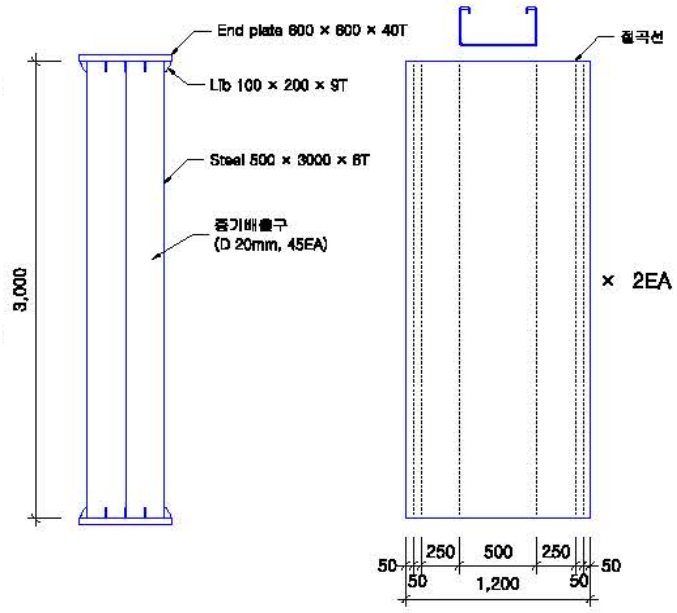


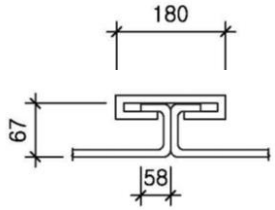

[표 3.7] 실험체[S-4] 상세도



[표 3.8] 실험체[S-5] 상세도

**용접슬롯형 CFT기둥(6T) [S-5]**




단면도

NOTES

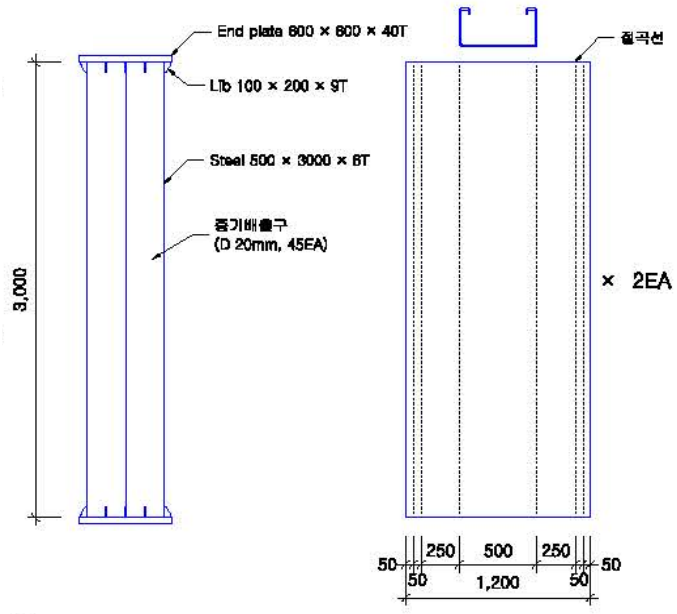
1.콘크리트 강도 50MPa

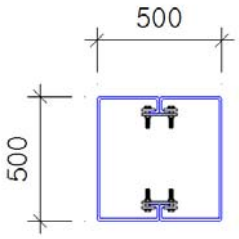
2.강재종류 SS400

3.강판두께 6T

[표 3.9] 실험체[S-6] 상세도

**슬롯형 CFT기둥(6T) [S-6]**




단면도

NOTES

1.콘크리트 강도 50MPa

2.강재종류 SS400

3.강판두께 6T

4.슬롯볼트 간격 250㎜

### 다. 실험결과 및 분석

슬롯형 무용접 콘크리트 충정강관(CFT) 기둥의 내화성능을 검증하기 위하여 강관의 접합방식 및 강판의 두께 별로 500×500×3000㎜ 크기의 실험체를 제작하여 표준화재 재하조건에서 내화실험을 실시한 결과 [표 3.8] 및 [그림 3.19]와 같은 결과를 도출하였다. 용접형 CFT기둥인 S-1, S-2는 각각 90분, 140분에서 급격한 변형을 나타내며 내화성능을 상실했다. 따라서 용접형 CFT기둥의 경우 강판두께 6T를 적용한 S-1은 89분, 9T를 적용한 S-2는 139분의 내화성능을 확보할 수 있는 것으로 나타났다.

한편 용접이중형 CFT기둥(S-3)과 슬롯형 CFT기둥(S-4)의 경우 180분까지 안정적인 변형량 및 변형률을 보이는 것으로 나타나, 내부에 원형강관 12T와 외부에 각형강관 12T를 적용한 이중형 CFT기둥과 슬롯형 CFT기둥(S-4)의 경우 180분 이상의 내화성능을 확보할 수 있는 것을 확인하였다.

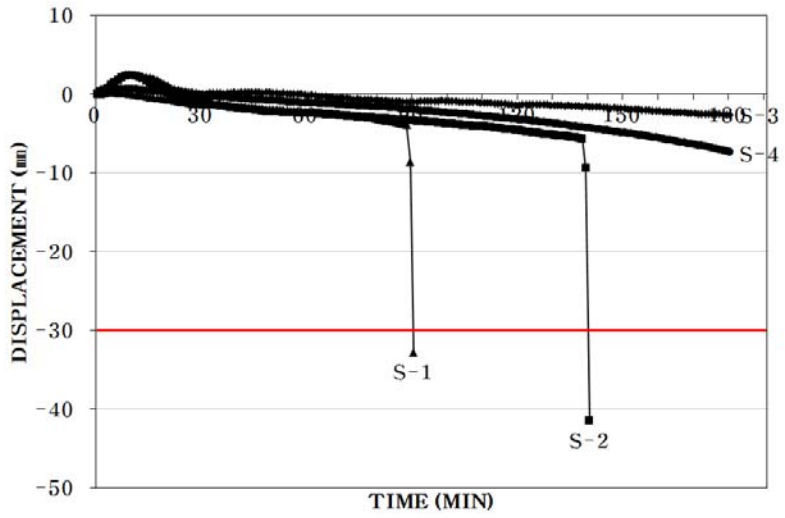
용접슬롯형 CFT기둥(S-5)의 경우 최종적으로 146분의 내화성능을 나타냈으며, 슬롯형 CFT기둥(S-6)은 156분의 내화성능을 갖는 것으로 나타났다.

[표 3.10] Fire resistance performance by displacement and rate of displacement

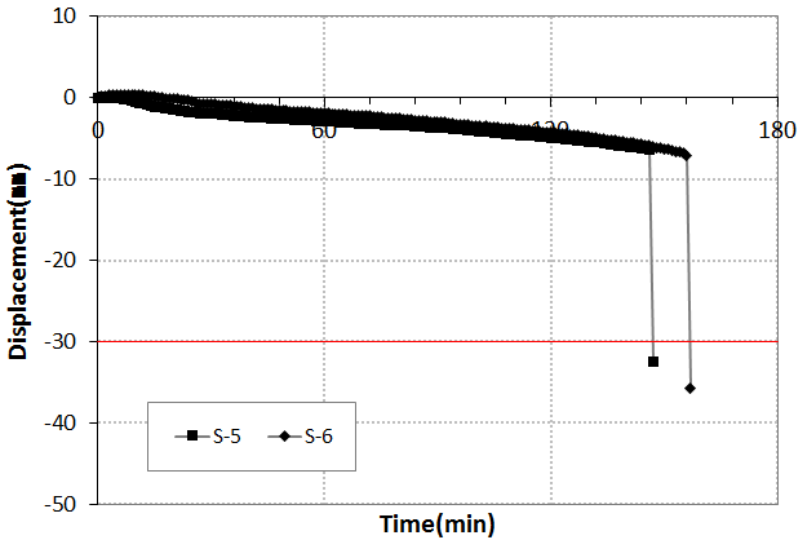
| 실험체명 | 실험변수 | | 시간 (min) | 변형량 (㎜) | 변형률 (㎜/min) | 내화성능 (min) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | 접합방식 | 강판두께 | | | | |
| S-1 | 용접형 | 6T | 60 | -2.3 | -0.1 | 89 |
| | | | 90 | -32.8 | -24.3 | |
| | | | | | | |
| S-2 | | 9T | 60 | -2.5 | -0.1 | 139 |
| | | | 120 | -4.6 | -0.1 | |
| | | | 140 | -41.5 | -32.1 | |
| S-3 | 용접이중형 | 12T | 60 | -0.2 | -0.1 | 180 |
| | | | 120 | -1.4 | -0.1 | |
| | | | 180 | -2.8 | -0.1 | |
| S-4 | 슬롯형 (볼트간격) | 6T (100㎜) | 60 | -1.1 | -0.1 | 180 |
| | | | 120 | -3.2 | -0.1 | |
| | | | 180 | -7.4 | -0.1 | |
| S-5 | 용접슬롯형 | 6T | 60 | -2.9 | -0.02 | 146 |
| | | | 120 | -4.9 | -0.02 | |
| | | | 147 | -32.4 | -25.94 | |
| S-6 | 슬롯형 (볼트간격) | 6T (250㎜) | 60 | -1.9 | -0.01 | 156 |
| | | | 120 | -4.3 | -0.01 | |
| | | | 157 | -35.7 | -28.5 | |

용접형 CFT기둥의 경우 내화성능 상실시점에서 급격한 변형이 발생하는 것으로 보아 실 구조물에 적용하였을 경우 취성파괴 가능성이 높을 것으로 판단된다. 특히 강관두께 6T 실험체의 경우 용접부에서 파괴가 발생하여 내화성능을 상실한 것으로 나타났다. 슬롯형 CFT기둥(S-6)의 경우 1시간 정도의 내화피복이 필요한 것으로 판단된다. 한편 이중형 CFT기둥의 경우 현재 개발공법을 제외하고 유일하

게 180분 이상의 내화성능을 확보할 수 있는 것으로 나타났지만 내외부에 12T 강관을 배치함으로써 실질적으로는 무피복 CFT라 할 수 없으며, 강재 사용량의 증가로 경제성 확보가 어려운 것으로 판단된다. 반면에 슬롯형 CFT기둥(S-4)의 경우 6T 조건에서 180분 이상의 내화성능을 확보하였으며, 강재 사용량의 감소로 경제적 단면구성으로 법정 요구내화성능을 충분히 확보할 수 있는 것으로 판단된다.




[그림 3.19] 내화성능 실험 결과(S-1~4)

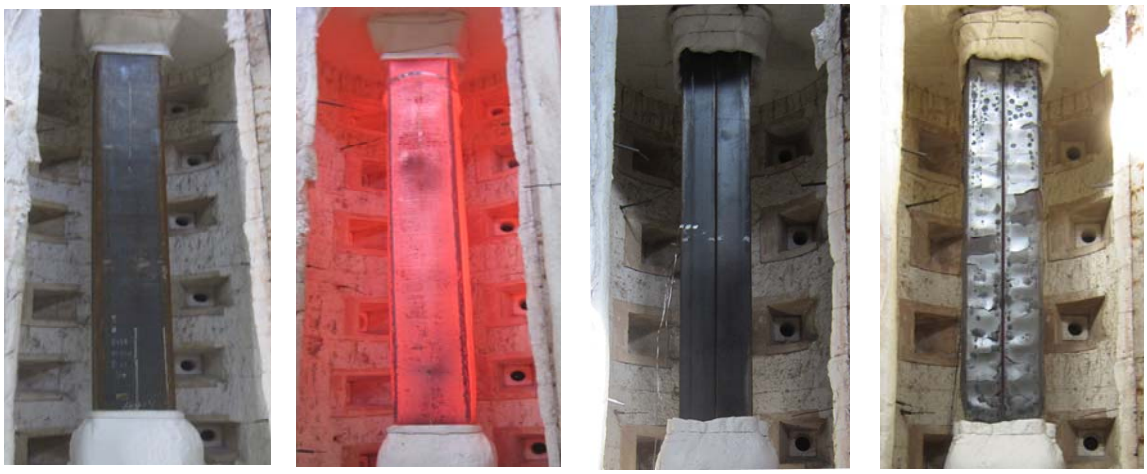



[그림 3.19] 내화성능 실험 결과(S-5~6)



실험 전 실험 후 실험 전 실험 후

용접형 6T[S-1] 용접형 9T[S-2]



실험 전 실험 후 실험 전 실험 후

이중형 12T[S-3] 슬롯형 6T_100㎜[S-4]



실험 전 실험 후 실험 전 실험 후

용접슬롯형 6T[S-5] 슬롯형 6T_250㎜[S-6]

[그림 3.20] 내화성능 실험 전·후 실험체 모습

### 라. 내화성능 확보(무피복조건)

슬롯형 무용접 콘크리트 충정강관(CFT) 기둥의 내화성능을 검증하기 위하여 강관의 접합방식 및 강판의 두께 별로 500×500×3000㎜ 크기의 실험체를 제작하여 표준화재 재하조건에서 내화실험을 실시한 결과 법정 요구내화성능 최고 수준인 180분을 확보할 수 있는 것으로 확인하였다. 용접형 CFT기둥의 경우 강판두께 6T를 적용한 S-1은 89분, 9T를 적용한 S-2는 139분의 내화성능을 확보할 수 있는 것으로 나타났다. 또한 용접형 CFT기둥 중 내부에 원형강관 12T와 외부에 각형강관 12T를 적용한 이중형 CFT기둥과 슬롯형 CFT 기둥 6T의 경우 180분 이상의 내화성능을 확보할 수 있는 것으로 나타났다. 용접형 CFT기둥인 S-1, S-2는 각각 90분, 140분에서 급격한 변형을 나타내며 내화성능을 상실했다. 이중형 및 슬롯형 CFT기둥의 경우 180분까지 안정적인 변형량 및 변형률을 보이는 것을 확인하였다.

[표 3.11] 국내 내화성능규정

| 관련 법규 및 기준 | | 품질기준 세부내용 | 비 고 |
|---|---|---|---|
| 법규 | 내화구조의 성능기준 | 12층/50m 초과건물: 3시간<br>12층/50m 이하건물: 2시간<br>4층/20m 이하건물: 1시간 | |
| KS기준 | 건축부재의 내화시험방법 | 축방향 재하부재의 하중지지력<br>- 수축량: h/1000 mm<br>-변형률: 3h/1000 min/min<br>h: 시험체의 초기 높이(mm) | |

## 마. 무용접 CFT기둥의 내화시험 성적서

### (1) 슬롯형 CFT기둥 9T[내화성능 180분]

KICT 한국건설기술연구원

경기도 화성시 마도면 마도로 182번길 64
Tel: 031-369-0631 Fax: 031-369-0670

성적서 번호 :
KICT-R-K-2015-00955-1~3-1

쪽 ( 1 ) / 총 ( 13 )

KOLAS

시험확인 진본 2015/06/03 23:42:57 KST 정부시험확인센터

# 시험성적서

1. 의뢰자
   - 기 관 명 : (주)목양종합건축사사무소
   - 주 소 : [561-852] 전라북도 전주시 덕진구 추탄로38 유담빌딩 3층
   - 의뢰일자 : 2015년 05월 15일
2. 시험성적서의 용도: 제품성능확인용
3. 시험대상품목(또는 시료명): 슬롯형 무용접 CFT 기둥(500×500)
4. 시험일자 : 2015년 05월 18일
5. 시험방법 : KS F 2257-7:2014 (건축구조부재의 내화시험방법 - 기둥의 성능조건)
6. 시험환경 : 뒤쪽 참조
7. 시험결과 : 뒤쪽 참조

- 이 하 여 백 -

| 확인 | 작성자 | 승인자 |
|---|---|---|
| | 성 명 : 전 기 수 (서명) | 직 위 : (기술책임자)<br>성 명 : 여 인 환 (서명) |

2015년 06월 01일

한국인정기구 인정

한국건설기술연구원장

※ 위 성적서는 국제시험기관인정협력체(International Laboratory Accreditation Cooperation) 상호인정협정(Mutual Recognition Arrangement)에 서명한 한국인정기구(KOLAS)로부터 공인받은 분야에 대한 시험결과입니다.
※ 위 성적서는 2항 시험성적서의 용도 이외에는 사용을 금지합니다.
※ 상기 내용은 의뢰자가 제시한 시료의 시험결과이며, 본 시험결과는 전체 제품의 품질을 대표하지 않습니다.

<F-QP-05-05-1/2> 한국건설기술연구원

G4B(www.g4b.go.kr)진위확인코드 : SbA/hI8mkbc=

## (2) 슬롯형 CFT기둥 9T[내화성능 180분](계속)

성적서 번호 : KICT-R-K-2015-00955-1~3-1
쪽 ( 2 ) / 총 ( 13 )

1. 신청개요

1.1 시험체명 : 슬롯형 무용접 CFT 기둥(500×500)

1.2 신청 내화성능 : 180분

2. 시험조건

| 구 분 | 시험체 |
|---|---|
| 노 내 온 도 | 첨부자료 참조 |
| 시 험 체 온 도 | 첨부자료 참조 |
| 시 험 환 경 | 온도 (21.5 ± 1.5) ℃, 습도 (65.5 ± 2.5) % R.H. |
| 시 험 하 중 | 532 ton |
| 수 축 량 | h/100 ㎜ = 30.0 ㎜ |
| 변 형 률 | 3h/1 000 ㎜/min = 9.0 ㎜/min |

3. 시험결과

| 구 분 | 성능기준 | | | 측정결과 | |
|---|---|---|---|---|---|
| 시험체 | 차열성 | 수축량 | 30.0 ㎜ | 4.0 ㎜ | 180분 |
| | | 변형률 | 9.0 ㎜/min | 0.1 ㎜/min | 180분 |

4. 관찰사항

| 구 분 | 관찰내용 |
|---|---|
| 시험체 | 180분경과 시험종료 |

<F-QP-05-05-2/2> 한국건설기술연구원

G4B(www.g4b.go.kr)진위확인코드 : SbA/hiBmkbc=

### (3) 용접형 CFT기둥 9T[내화성능 140분]

KICT 한국건설기술연구원

경기도 화성시 마도면 마도로 182번길 64
Tel: 031-369-0631 Fax: 031-369-0670

성적서 번호 :
KICT-R-K-2015-00955-1~3-2

쪽 ( 1 ) / 총 ( 12 )

KOLAS

시험확인 진본 2015/06/09 23:42:03 KST 정부시험확인센터

# 시험성적서

1. 의뢰자
   - 기 관 명 : (주)목양종합건축사사무소
   - 주 소 : [561-852] 전라북도 전주시 덕진구 추탄로38 유담빌딩 3층
   - 의뢰일자 : 2015년 05월 15일
2. 시험성적서의 용도: 제품성능확인용
3. 시험대상품목(또는 시료명): 폐단면 용접 CFT 기둥(500×500)
4. 시험일자 : 2015년 05월 18일
5. 시험방법 : KS F 2257-7:2014 (건축구조부재의 내화시험방법 - 기둥의 성능조건)
6. 시험환경 : 뒤쪽 참조
7. 시험결과 : 뒤쪽 참조

- 이 하 여 백 -

| 확인 | 작성자 | 승인자 |
|---|---|---|
| | 성 명 : 전 기 수 (서명) | 직 위 : (기술책임자) |
| | | 성 명 : 여 인 환 (서명) |

2015년 06월 01일

한국인정기구 인정

한국건설기술연구원장

※ 위 성적서는 국제시험기관인정협력체(International Laboratory Accreditation Cooperation) 상호인정협정(Mutual Recognition Arrangement)에 서명한 한국인정기구(KOLAS)로부터 공인받은 분야에 대한 시험결과입니다.
※ 위 성적서는 2항 시험성적서의 용도 이외에는 사용을 금지합니다.
※ 상기 내용은 의뢰자가 제시한 시료의 시험결과이며, 본 시험결과는 전체 제품의 품질을 대표하지 않습니다.

<F-QP-05-05-1/2> 한국건설기술연구원

G4B(www.g4b.go.kr)진위확인코드 : lzC+j58YNKY=

## (4) 용접형 CFT기둥 9T[내화성능 140분](계속)

성적서 번호 : KICT-R-K-2015-00955-1~3-2
쪽 ( 2 ) / 총 ( 12 )

1. 신청개요

1.1 시험체명 : 폐단면 용접 CFT 기둥(500×500)

1.2 신청 내화성능 : 180분

2.시험조건

| 구 분 | 시험체 |
|---|---|
| 노 내 온 도 | 첨부자료 참조 |
| 시 험 체 온 도 | 첨부자료 참조 |
| 시 험 환 경 | 온도 (24.5 ± 1.5) ℃, 습도 (57.0 ± 4.0) % R.H. |
| 시 험 하 중 | 532 ton |
| 수 축 량 | h/100 ㎜ = 30.0 ㎜ |
| 변 형 률 | 3h/1 000 ㎜/min = 9.0 ㎜/min |

3.시험결과

| 구 분 | 성능기준 | | | 측정결과 | |
|---|---|---|---|---|---|
| 시험체 | 차열성 | 수축량 | 30.0 ㎜ | 41.5 ㎜ | 140분 |
| | | 변형률 | 9.0 ㎜/min | 32.1 ㎜/min | 140분 |

4. 관찰사항

| 구 분 | 관찰내용 |
|---|---|
| 시험체 | 140분경과 시험종료 |

<F-QP-05-05-2/2>

한국건설기술연구원

G4B(www.g4b.go.kr)진위확인코드 : izC+j58YNKY=

## (5) 슬롯형 CFT기둥 6T[내화성능 180분]

KICT 한국건설기술연구원
KOREA INSTITUTE of CIVIL ENGINEERING and BUILDING TECHNOLOGY

경기도 화성시 마도면 마도로 182번길 64
Tel: 031-369-0631 Fax: 031-369-0670

성적서 번호 :
KICT-R-K-2016-00267-1~3

쪽 ( 1 ) / 총 ( 7 )

KOLAS KOREA LABORATORY ACCREDITATION SCHEME TESTING NO.121

시점확인 진본 2016/03/23 09:32:35 KST 정부시점확인센터

# 시험성적서

1. 의뢰자
   - 기 관 명 : (주)목양종합건축사사무소
   - 주 소 : [54890] 전라북도 전주시 덕진구 추탄로38 유담빌딩 3층
2. 시험성적서의 용도: 제품성능확인용
3. 시험대상품목(또는 시료명) : 슬롯형 CFT 기둥[6T]
4. 시험기간 : 2016년 03월 07일
5. 시험방법 : KS F 2257-7:2014 (건축구조부재의 내화시험방법 - 기둥의 성능조건)
6. 시험결과 : 뒤쪽참조

- 이 하 여 백 -

| 확인 | 작성자<br>성 명 : 전 기 수 (서명) | 승인자<br>직 위 : (기술책임자)<br>성 명 : 여 인 환 (서명) |
|---|---|---|

2016년 03월 15일

한국인정기구 인정
한국건설기술연구원장

※ 위 성적서는 국제시험기관인정협력체(International Laboratory Accreditation Cooperation) 상호인정협정(Mutual Recognition Arrangement)에 서명한 한국인정기구(KOLAS)로부터 공인받은 분야에 대한 시험결과입니다.
※ * 표시된 시험결과는 당 공인기관의 인정범위 밖의 것임을 밝힙니다.
※ 이 시험결과는 의뢰자가 제시한 시료 및 시료명에만 한정됩니다.

<F-QP-05-05-1/2> 한국건설기술연구원

G4B(www.g4b.go.kr)진위확인코드 : kXHGgtrHtsA=

## (6) 슬롯형 CFT기둥 6T[내화성능 180분](계속)

성적서 번호 : KICT-R-K-2016-00267-1~3
쪽 ( 2 ) / 총 ( 7 )

1. 신청개요

1.1 시험체명 : 슬롯형 CFT 기둥[6T]

1.2 신청 내화성능 : 180분

2.시험조건

| 구 분 | 시험체 |
|---|---|
| 노 내 온 도 | 첨부자료 참조 |
| 시 험 체 온 도 | 첨부자료 참조 |
| 시 험 환 경 | 온도 (11.5 ± 0.5) ℃, 습도 (38.0 ± 3.0) % R.H. |
| 시 험 하 중 | 5763 kN |
| 수 축 량 | h/100 ㎜ = 30.0 ㎜ |
| 변 형 률 | 3h/1 000 ㎜/min = 9.0 ㎜/min |

3.시험결과

| 구 분 | 성능기준 | | | 측정결과 | |
|---|---|---|---|---|---|
| 시험체 | 차열성 | 수축량 | 30.0 ㎜ | -7.4 ㎜ | 180분 |
| | | 변형률 | 9.0 ㎜/min | 0.0 ㎜/min | 180분 |

4. 관찰사항

| 구 분 | 관찰내용 |
|---|---|
| 시험체 | 180분경과 시험체 특이사항 없음 시험종료 |



G4B(www.g4b.go.kr)진위확인코드 : kXHGgtrHtsA=

## (7) 용접형 CFT기둥 6T[내화성능 89분]



KICT 한국건설기술연구원
KOREA INSTITUTE of CIVIL ENGINEERING and BUILDING TECHNOLOGY

경기도 화성시 마도면 마도로 182번길 64
Tel: 031-369-0631 Fax: 031-369-0670

성적서 번호 :
KICT-R-K-2016-00267-4~6

쪽 ( 1 ) / 총 ( 7 )

KOLAS

시험확인 진본 2016/03/23 09:32:41 KST 경부시험확인센터

# 시험성적서

1. 의뢰자
   - 기 관 명 : (주)목양종합건축사사무소
   - 주　　소 : [54890] 전라북도 전주시 덕진구 추탄로38 유담빌딩 3층
2. 시험성적서의 용도: 제품성능확인용
3. 시험대상품목(또는 시료명) : 용접형 CFT 기둥[6T]
4. 시험기간 : 2016년 03월 08일
5. 시험방법 : KS F 2257-7:2014 (건축구조부재의 내화시험방법 - 기둥의 성능조건)
6. 시험결과 : 뒤쪽참조

- 이 하 여 백 -

| 확인 | 작성자<br>성 명 : 전 기 수 (서명) | 승인자<br>직 위 : (기술책임자)<br>성 명 : 여 인 환 (서명) |
|---|---|---|

2016년 03월 15일

한국인정기구 인정

한국건설기술연구원장

※ 위 성적서는 국제시험기관인정협력체(International Laboratory Accreditation Cooperation) 상호인정협정(Mutual Recognition Arrangement)에 서명한 한국인정기구(KOLAS)로부터 공인받은 분야에 대한 시험결과입니다.
※ * 표시된 시험결과는 당 공인기관의 인정범위 밖의 것임을 밝힙니다.
※ 이 시험결과는 의뢰자가 제시한 시료 및 시료명에만 한정됩니다.

<F-QP-05-05-1/2>　　한국건설기술연구원

G4B(www.g4b.go.kr)진위확인코드 : EGOxaaLJQbI=

## (8) 용접형 CFT기둥 6T[내화성능 89분](계속)

성적서 번호 : KICT-R-K-2016-00267-4~6
쪽 ( 2 ) / 총 ( 7 )

1. 신청개요
1.1 시험체명 : 용접형 CFT 기둥[6T]
1.2 신청 내화성능 : 180분

2.시험조건

| 구 분 | 시험체 |
|---|---|
| 노 내 온 도 | 첨부자료 참조 |
| 시 험 체 온 도 | 첨부자료 참조 |
| 시 험 환 경 | 온도 (11.5 ± 1.5) ℃, 습도 (44.0 ± 2.0) % R.H. |
| 시 험 하 중 | 5163 kN |
| 수 축 량 | h/100 ㎜ = 30.0 ㎜ |
| 변 형 률 | 3h/1 000 ㎜/min = 9.0 ㎜/min |

3.시험결과

| 구 분 | 성능기준 | | | 측정결과 | |
|---|---|---|---|---|---|
| 시험체 | 차열성 | 수축량 | 30.0 ㎜ | -32.8 ㎜ | 90분 |
| | | 변형률 | 9.0 ㎜/min | 0.4 ㎜/min | 90분 |

4. 관찰사항

| 구 분 | 관찰내용 |
|---|---|
| 시험체 | 90분경과 시험종료 |

<F-QP-05-05-2/2> 한국건설기술연구원

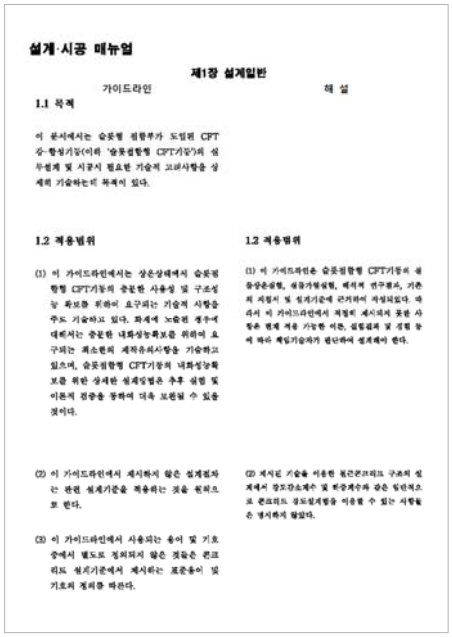
G4B(www.g4b.go.kr)진위확인코드 : EGOxaaLJQbI=

# 제3절 현장적용성 및 경제성 검토

## 1. 시공성 및 애로사항 도출을 위한 현장적용

### 가. 설계·시공 매뉴얼 작성 및 전문가 검토

다음 그림은 본 기술의 설계·시공 매뉴얼이다. 현장시공성을 개선하고, 본 기술에 대한 현장 기술공의 이해도를 높이기 위해 현장적용에 앞서 설계시공 매뉴얼을 작성하였다. 설계·시공 매뉴얼은 설계일반, 재료, 배합설계, 구조설계 등에 대한 내용으로 구성되어 있으며 각각 가이드라인과 해설로 나누어 작성하였다. 또한, 매뉴얼 작성 후 매뉴얼의 완성도를 높이기 위해 객관적인 전문가 검토를 실시하여 검토의견을 반영하였다.



설계·시공 매뉴얼

제1장 설계일반

| 가이드라인 | 해 설 |
|---|---|

1.1 목적

이 문서에서는 슬롯형 접합부가 도입된 CFT 강-합성기둥(이하 '슬롯접합형 CFT기둥')의 성무설계 및 시공시 필요한 기술적 고려사항을 상세히 기술하는데 목적이 있다.

1.2 적용범위

(1) 이 가이드라인에서는 상온상태에서 슬롯접합형 CFT기둥의 충분한 사용성 및 구조성능 확보를 위하여 요구되는 기술적 사항을 주로 기술하고 있다. 따라서 h>D인 경우의 대변서는 충분한 내화성능확보를 위하여 요구되는 최소한의 제작유의사항을 기술하고 있으며, 슬롯접합형 CFT기둥의 내화성능확보를 위한 상세한 설계방법은 추후 실험 및 이론적 검증을 통하여 더욱 보완될 수 있을 것이다.

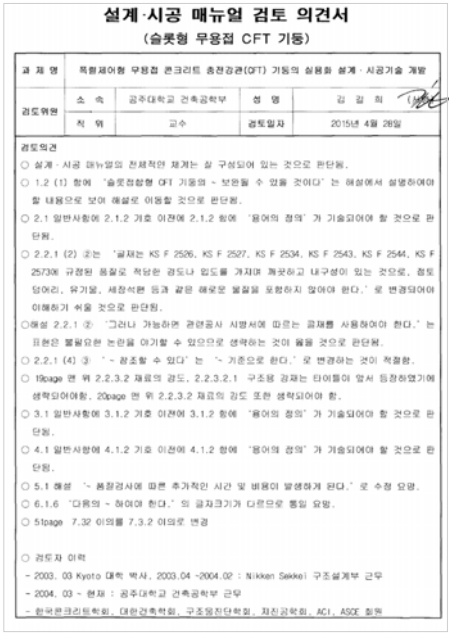
(2) 이 가이드라인에서 제시하지 않은 설계절차는 관련 설계기준을 적용하는 것을 원칙으로 한다.

(3) 이 가이드라인에서 사용되는 용어 및 기호 중에서 별도로 정의되지 않은 것들은 콘크리트 설계기준에서 제시하는 표준용어 및 기호의 정의를 따른다.

1.2 적용범위

(1) 이 가이드라인은 슬롯접합형 CFT기둥의 성능향상을 위한 다양한 사용성 및 구조성능 확보를 위해 요구되는 기술적 사항을 주로 기술하고 있다. 따라서 이 가이드라인에서 제정되지 않은 사항은 별개 제정 가능한 이론, 실험결과 및 경험 등에 따라 해당기술자가 판단하여 설계해야 한다.

(2) 제시된 기술을 이용한 철근콘크리트 구조의 설계에서 장치장소제수 및 부정계수와 같은 일반적으로 콘크리트 설계기준에서 제시하는 표준용어 및 기호의 정의를 따른다.



설계·시공 매뉴얼 검토 의견서

(슬롯형 무용접 CFT 기둥)

| 과 제 명 | 폭렬제어형 무용접 콘크리트 충전강관(CFT) 기둥의 상용화 설계·시공기술 개발 | | | |
|---|---|---|---|---|
| 검토위원 | 소 속 | 공주대학교 건축공학부 | 성 명 | 김 갑 희 |
| | 직 위 | 교수 | 검토일자 | 2015년 4월 28일 |

검토의견

○ 설계·시공 매뉴얼의 전체적인 체계는 잘 구성되어 있는 것으로 판단됨.

○ 1.2 (1) 항에 '슬롯접합형 CFT 기둥의 ~ 보완될 수 있을 것이다' 는 해설에서 설명하여야 할 내용으로 보아 해설로 이동할 것으로 판단됨.

○ 2.1 일반사항에 2.1.2 기호 이전에 2.1.2 항에 '용어의 정의' 가 기술되어야 할 것으로 판단됨.

○ 2.2.1 (2) 코는 '골재는 KS F 2526, KS F 2527, KS F 2534, KS F 2543, KS F 2544, KS F 2573에 규정된 품질로 적당한 강도나 입도를 가지며 耐久하고 내구성이 있는 것으로, 점토 덩어리, 유기물, 세장석편 등과 같은 해로운 물질을 포함하지 않아야 한다.' 로 변경되어야 이해하기 쉬울 것으로 판단됨.

○해설 2.2.1 ② '그러나 가능하면 관련공사 시방서에 따르는 골재를 사용하여야 한다.' 는 표현은 불필요한 논란을 야기할 수 있으므로 생략하는 것이 좋을 것으로 판단됨.

○ 2.2.1 (4) ③ '~ 참조할 수 있다' 는 '~ 기준으로 한다.' 로 변경하는 것이 적절함.

○ 19page 맨 위 2.2.3.2 재료의 강도, 2.2.3.2.1 구조용 강재는 타이틀이 앞서 등장하였기에 생략되어야함. 20page 맨 위 2.2.3.2 재료의 강도 또한 생략되어야 함.

○ 3.1 일반사항에 3.1.2 기호 이전에 3.1.2 항에 '용어의 정의' 가 기술되어야 할 것으로 판단됨.

○ 4.1 일반사항에 4.1.2 기호 이전에 4.1.2 항에 '용어의 정의' 가 기술되어야 할 것으로 판단됨.

○ 5.1 해설 '~ 품질검사에 따른 추가적인 시간 및 비용이 발생하게 된다.' 로 수정 요망.

○ 6.1.6 '다음의 ~ 하여야 한다.' 의 글자크기가 다르므로 통일 요망.

○ 51page 7.32 이의를 7.3.2 이의로 변경

○ 검토자 이력

- 2003. 03 Kyoto 대학 박사, 2003.04 -2004.02 : Nikken Sekkei 구조설계부 근무
- 2004. 03 ~ 현재 : 공주대학교 건축공학부 근무
- 한국콘크리트학회, 대한건축학회, 구조물진단학회, 한진공학회, ACI, ASCE 회원

### 나. 현장적용

#### (1) 현장적용 목적 및 범위

본 연구에서는 폭렬제어형 무용접 콘크리트 충전강관(CFT) 기둥의 상용화 방안을 모색하고 개선사항을 도출하며 설계 및 시공단계에서의 애로사항과 시공 시 문제점 등을 확인할 수 있도록 실제 시공현장에 부분 적용하였다. 설계변경을 통해 연수시설 현장에 적용하였으며, 이에 따른 구조검토를 통해 건물의 안전성을 확보하였다.

### (2) 현장 개요 및 사용재료

본 건물은 전라남도 진도군에 신축되는 지상4층 규모의 연수시설로 주요 구조시스템은 철골·철근콘크리트 기둥으로 이루어졌고, 슬래브는 RC 슬래브가 적용되었으며, 건물개요와 사용재료 강도는 각각 표 3.12 및 표 3.13와 같다.

[표 3.12] 건물 개요

| 구 분 | | 내 용 |
|---|---|---|
| 건축물 명 | | ㈜목양종합건축사사무소 진도군 연수원 신축공사 |
| 위 치 | | 전라남도 진도군 의신면 진도대로 3161 |
| 용 도 | | 연수시설 |
| 규 모 | | 지하 1층, 지상 2층 |
| 구조형식 | 횡력저항 시스템 | 철골·철근콘크리트 |
| | 기 둥 | S.R.C |
| | 슬 래 브 | RC 슬래브 |

[표 3.13] 사용재료 강도

| 구 분 | 내 용 |
|---|---|
| 콘크리트 | $f_{ck}$ = 24 ㎫ |
| 철 근 | $f_y$ = 400 ㎫ (HD22 이하)<br>$f_y$ = 500 ㎫ (HD25 이상) |
| 철 골 | KS D 3503 $F_y$ = 235 ㎫ (SS400) |
| BOLT | CONNECTION BOLT - KS B 1010 고력볼트 (F10T)<br>ABCHOR BOLT - KS B 1002 앵커볼트 (M20-60㎜, SS400) |

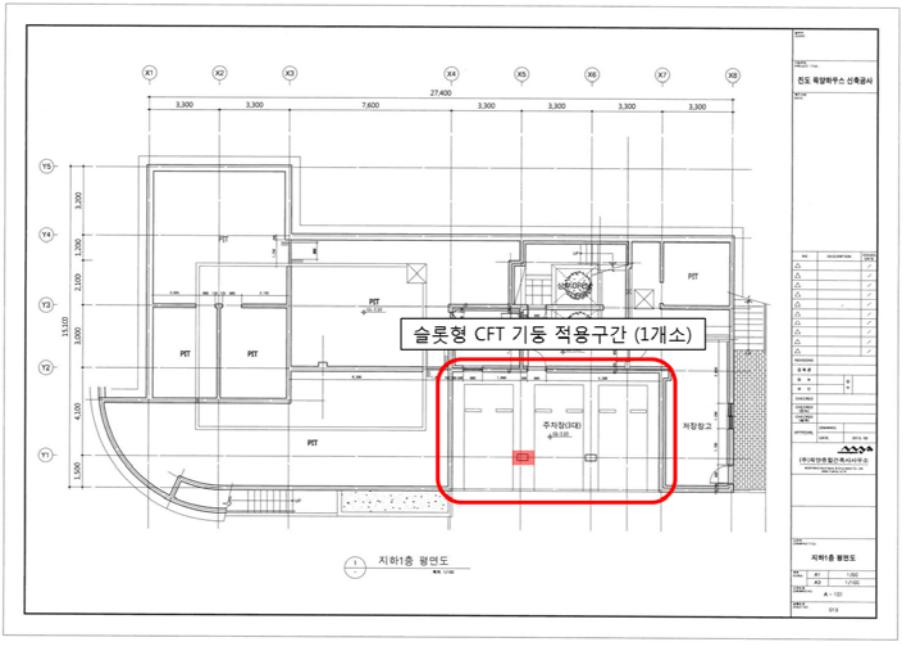
### (3) 현장적용 프로세스

개발기술의 현장적용을 위한 프로세스는 다음과 같이 요약할 수 있으며, 이에 따라 각 공사의 공사기간, 공정 간섭 및 자재수급 등의 문제발생을 최소화할 수 있도록 계획 수립 후 각 현장에 적용하였다.



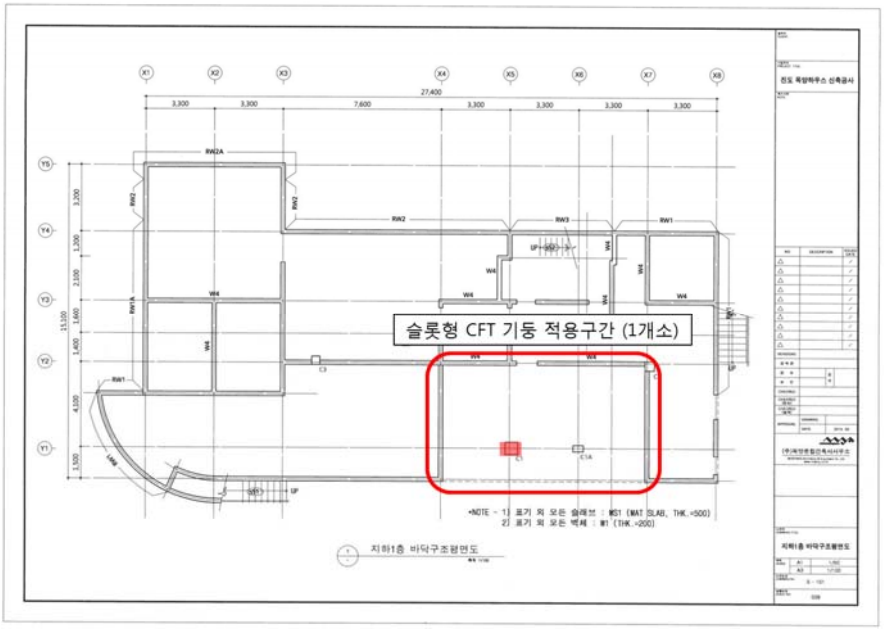

### (4) 현장적용 계획

대상건물의 지하1층 X5열,Y1열에 슬롯형 무용접 CFT기둥을 적용하였으며, 개발기술이 적용된 건축 및 구조평면도를 다음 그림에 나타내었다.

| 구 분 | 건축평면도 |
|---|---|
| 지하1층 건축 평면도 |  |



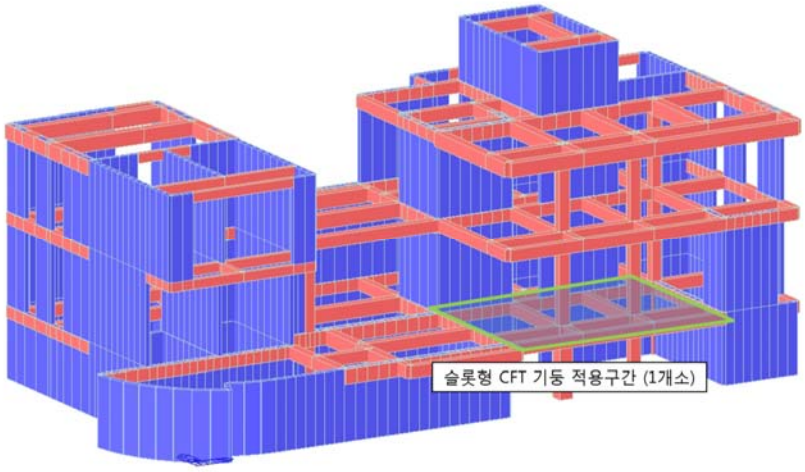
㈜목양종합건축사사무소 직원연수원 지하1층 건축평면도

| 구 분 | 바닥구조평면도 |
|---|---|
| 지하1층 구조 평면도 |  |



㈜목양종합건축사사무소 직원연수원 지하1층 바닥구조평면도

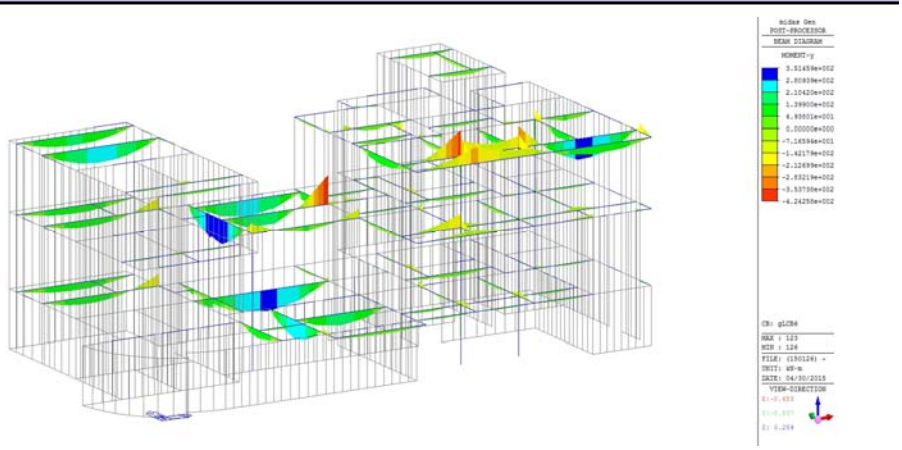
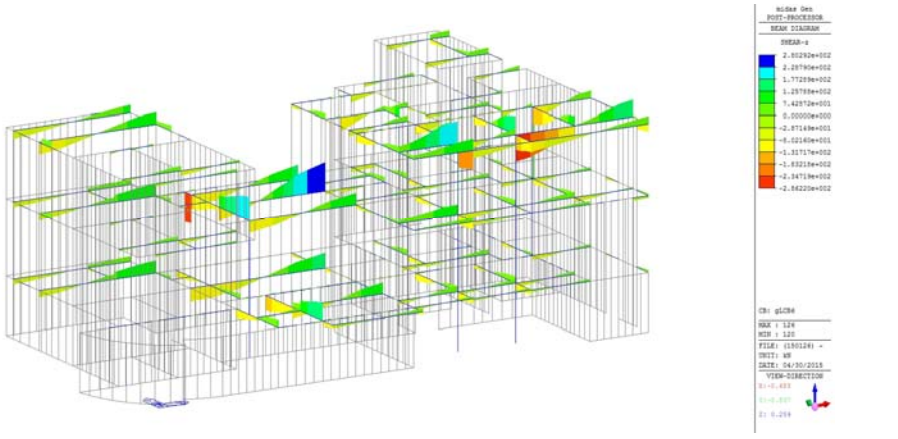
슬롯형 무용접 CFT기둥 적용에 따른 전체 구조물의 거동을 확인하고, 구조안전성을 확보하기 위하여 3차원 구조해석을 수행하였으며 그 결과를 정리하면 그림과 같다.

| 3D 해석모델 |
|---|
|  |

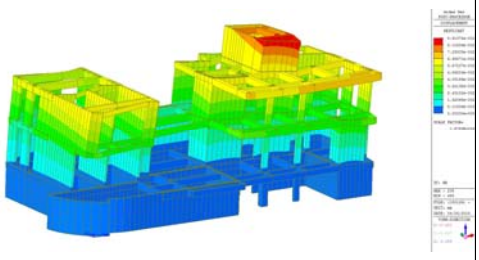
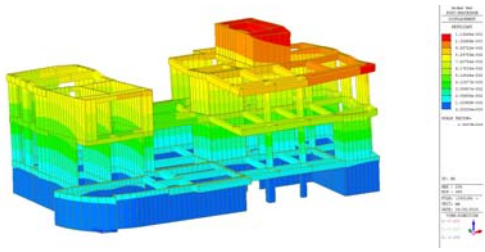
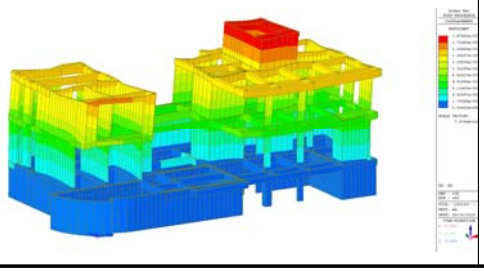
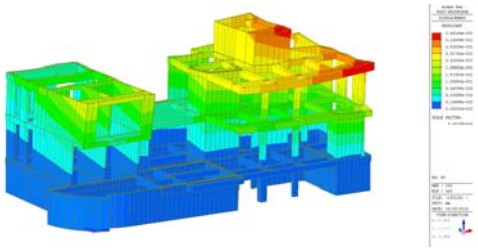


㈜목양종합건축사사무소 직원연수원 3D 해석모델

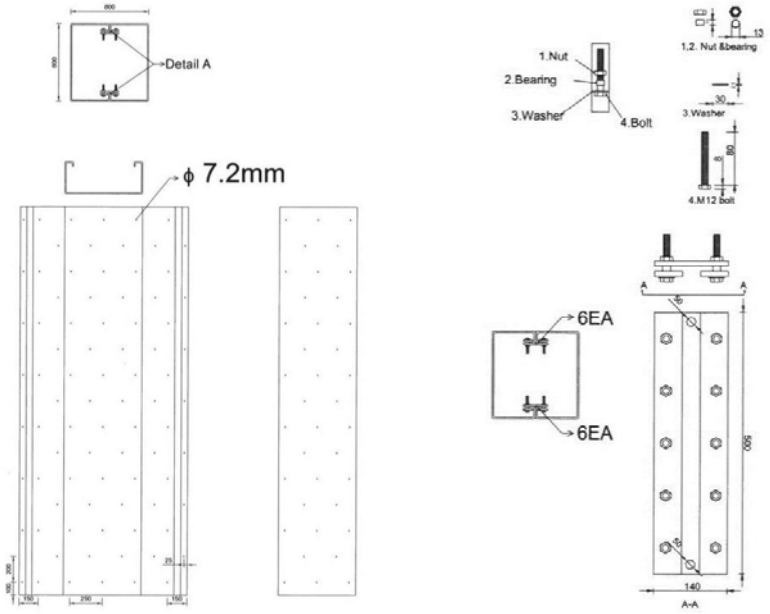
슬롯형 무용접 CFT기둥을 다음 그림에 나타낸 바와 같이 설계에 반영하고 구조해석을 통해 안전성을 확보하였으며, 충전강관은 600×600×9(SS400)로 계획하였다. 내화 및 구조성능을 유지하면서 제작이 용이하고 내화성능 저하요인의 제거를 위한 대안으로 제시된 볼트형 조립 슬롯은 볼트로 간편 조립이 가능한 형상으로 제작되었으며, 그림 6에 나타낸 바와 같이 실제 현장에 적용이 가능한 제작 상세도를 작성하였다. 또한 일반 RC구조에 대상공법을 적용하기 위한 설치 상세도를 작성하여 제작 및 시공에 오류를 최소화하기 위해 조치하였다.

| 구 분 | 구조해석 결과 |
|---|---|
| 전체골조 휨 모멘트도 |  |
| 전체골조 전단력도 |  |

㈜목양종합건축사사무소 직원연수원 구조해석 결과

| 구 분 | 구조안전성 검토 | |
|---|---|---|
| | X-방향 | Y-방향 |
| 풍하중 |  |  |
| 지진하중 |  |  |

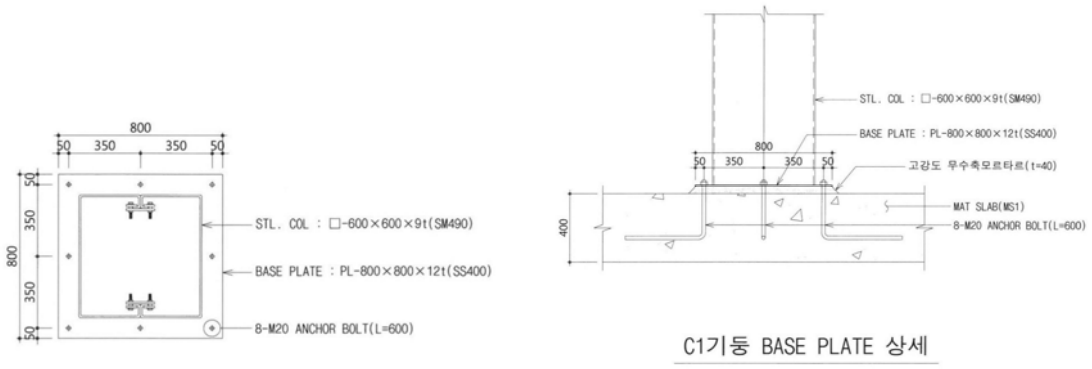
㈜목양종합건축사사무소 직원연수원 구조안전성 검토

| 제작 상세도 |
|---|
|  |



제작 상세도

## 설치 상세도




설치 상세도

## 건물 배치도



배치도 및 건물 위치

### (5) 현장적용 결과

현장적용 계획에 따라 설계, 제작된 층고절감형 장경간 프리스트레스트 매입형 합성보의 현장적용 결과를 현장적용 프로세스에 따라 정리하면 다음과 같다.

| 적용현장 전경 |
| --- |
|  |
|  |

현장 전경

| 구 분 | 현장적용 사진 |
| --- | --- |
| CFT 기둥 제작 및 형상가공 |  |
| 타공작업 |  |
| 슬롯삽입 |  |

현장적용 사진(계속)

| 구 분 | 현장적용 사진 |
| --- | --- |
| 볼트체결 |  |
| 먹매김 및 앵커볼트 매립 |  |
| 기둥 세우기 |    |

현장적용 사진(계속)

| 구 분 | 현장적용 사진 |
|---|---|
| 상/하부 연결부 |  <br>(a) 상부연결부 - 입면①  <br>(b) 상부연결부 - 입면③  <br>(c) 상부연결부 - 입면④  <br>(d) 하부 연결부 |
| 현장적용 최종점검 |  |

현장적용 사진(계속)

### (6) 소결

볼트접합에 따른 시공성 및 콘크리트의 충진성 저하 등의 문제점이 발생할 경우를 대비하여 강관절곡부에 굵은 골재 최대치수이상의 충분한 여유간격을 확보하였으며, 현장적용을 통해 시공성 및 콘크리트 충진성에는 큰 문제가 없는 것을 확인하였다.

**(7) 적용현장 현황자료**

# 실사현장 현황자료

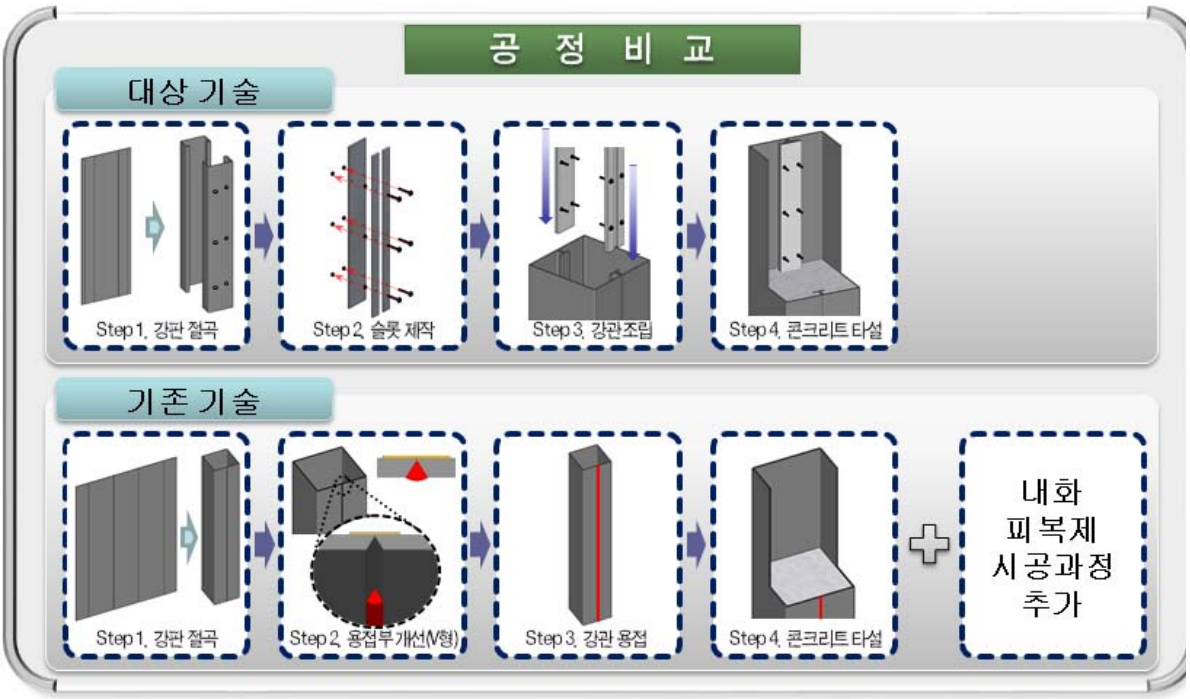
| 실사장소 우선순위 | 1 |
|---|---|

| | | | |
|---|---|---|---|
| 기술 적용현장 개 요 | 공 사 명 | 진도 목양하우스 신축공사 |  |
| | 발 주 처 (감 리 자) | ㈜목양종합건축사사무소 | |
| | 계약형태 | ●수의계약 ○제한경쟁입찰 ○공개경쟁입찰 ○기타 | |
| | 전체공사금액 (신기술공사금액) | 1,900,000,000원 (4,092,000원) | |
| | 시공규모 | 지상 2층, 지하 1층 | |
| | 현장위치 (주 소) | 전라남도 진도군 의신면 진도대로 3161 | |
| | 공사 기간 | 총 365일(2015.07~2016.06) | ○시공예정 ○시공중 ●준공(예정) |
| | 투입인원및 장 비 | <인원> • 기 술 공 : 1인x3일=3인 • 보통인부 : 1인x3일=3인 | <장비> • 기둥 양중용 크레인 • 콘크리트 타설 펌프카 |
| 현장설명 | 현장특징 | 특이사항 없음 | |
| | 하자발생 | 특이사항 없음 | |
| | 실사 가능 시기 | 2016. 06.(준공서류 접수완료(준공예정)) | |
| | 실사 가능 공정 | 준공예정 현장실사 가능  | |

## 2. 원가분석을 통한 경제성 검토

### 가. 공사기간 단축

본 기술은 콘크리트 타설을 제외한 모든 공정이 공장제작으로 진행되며, [그림 3.23]과 같이 기존 기술과는 달리 내화피복제 시공과정(피복제 도포 및 건조)에 소요되는 시간을 단축할 수 있다. 특히 3시간 내화도료의 경우 상온에서 최소 7~10일 이상의 시간이 필요하기 때문에 이에 따른 공기단축이 가능하다.




[그림 3.23] 기존 CFT기둥과 무용접 CFT기둥의 공정비교

### 나. 설계·시공비 절감효과

#### (1) 유사공법 대비 무용접 CFT기둥의 물량분석

[표 3.18] 및 [표 3.19]와 같이 기존 기술 중 동등내력을 확보하고 있는 용접형 CFT기둥(9T)는 기술과 동등한 강재물량이 소요되는 반면 유기화합물인 내화도료 피복이 불가피한 것으로 나타났다. 또한 무피복 조건에서 3시간 이상의 내화성능을 확보할 수 있는 이중형 CFT기둥의 경우 강재물량이 50%이상 많이 소요되는 것으로 확인되었다.

이처럼 기술은 동등성능을 갖는 기존기술(내화보강이 적용된 기존 용접형 CFT 기둥 및 이중형 CFT 기둥)에 비하여 강재물량 절감 및 내화피복 재료에서 발생할 수 있는 유해가스 차단을 통하여 자원절약이 가능하며, 환경 친화적인 공법이다.

[표 3.18] 재료소요량 산출 명세서

| 품명 | 재질 및 규격 | 구분 | 산출내역 | 단위 | 정미량 | 손율 | 소요량 | 비고 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **용접형 CFT 기둥 (6T)** | | | | | | | | |
| 열연강판(철판) | T=6 | 베이스판 | (0.5+0.5+0.5+0.5)×3×6×7.85 | kg | 282.60 | 10 | 310.86 | |
| 열연강판(철판) | T=3 | 백플레이트 | (0.02×3)×2×3×7.85 | kg | 2.83 | 10 | 3.11 | |
| 내화도료 | 2시간 | | (0.5+0.5+0.5+0.5)×3 | ㎡ | 6.00 | | 6.00 | |
| 부산물 | 철재 | 회수율100% | (310.86 - 282.6) | kg | 28.26 | | 28.26 | |
| | | | | | | | | |
| **용접형 CFT 기둥 (9T)** | | | | | | | | |
| **열연강판(철판)** | **T=9** | **베이스판** | **(0.5+0.5+0.5+0.5)×3×9×7.85** | **kg** | **423.90** | **10** | **466.29** | |
| **열연강판(철판)** | **T=3** | **백플레이트** | **(0.02×3)×2×3×7.85** | **kg** | **2.83** | **10** | **3.11** | |
| **내화도료** | **1시간** | | **(0.5+0.5+0.5+0.5)×3** | **㎡** | **6.00** | | **6.00** | |
| **부산물** | **철재** | **회수율100%** | **(466.29 - 423.9)** | **kg** | **42.39** | | **42.39** | |
| | | | | | | | | |
| **이중형 CFT 기둥** | | | | | | | | |
| 열연강판(철판) | T=12 | 베이스판 | (0.5+0.5+0.5+0.5)×3×12×7.85 | kg | 565.20 | 10 | 621.72 | |
| 열연강판(철판) | T=3 | 백플레이트 | (0.02×3)×2×3×7.85 | kg | 2.83 | 10 | 3.11 | |
| 구조용강관 | T=12 | | (355.6-12)×12×0.02466 | kg | 101.68 | 5 | 106.76 | |
| 부산물 | 철재 | 회수율100% | (731.59 - 669.71) | kg | 61.60 | | 61.60 | |
| | | | | | | | | |
| **슬롯형 CFT 기둥(6T)** | | | | | | | | |
| **열연강판(철판)** | **T=6** | **베이스판** | **(1.2×3×2)×6×7.85** | **kg** | **339.12** | **10** | **373.03** | |
| **열연강판(철판)** | **T=6** | **고정판** | **(0.18×3×2)×6×7.85** | **kg** | **50.87** | **10** | **55.96** | |
| **열연강판(철판)** | **T=6** | **연결판** | **(0.076×3×4)×6×7.85** | **kg** | **42.96** | **10** | **47.26** | |
| **육각볼트** | **M12×50** | | **고정판 3m당 22개×2개×2개** | **개** | **88** | | **88** | |
| **와샤** | **M12** | | **볼트와 동일** | **개** | **88** | | **88** | |
| **너트** | **M12** | | **볼트와 동일** | **개** | **88** | | **88** | |
| **부산물** | **철재** | **회수율100%** | **(476.25 - 432.95)** | **kg** | **43.30** | | **43.30** | |

[표 3.19] 직접재료비 산출명세서

| 명칭 | 규격 | 단위 | 수량 | 단가 | 금액 |
|---|---|---|---|---|---|
| 용접형 CFT 기둥 (6T) | | | | | |
| 열연강판(철판) | T=6 | kg | 310.86 | 966 | 300,291 |
| 열연강판(철판) | T=3 | kg | 3.11 | 966 | 3,004 |
| 내화도료 | 2시간 | ㎡ | 6 | 12,800 | 76,800 |
| 부산물 | 철재 | kg | 28.26 | -135 | -3,815 |
| 계 | | | | | 376,280 |
| | | | | | |
| **용접형 CFT 기둥 (9T)** | | | | | |
| **열연강판(철판)** | **T=9** | **kg** | **466.29** | **966** | **450,436** |
| **열연강판(철판)** | **T=3** | **kg** | **3.11** | **966** | **3,004** |
| **내화도료** | **1시간** | **㎡** | **6** | **8,000** | **48,000** |
| **부산물** | **철재** | **kg** | **42.39** | **-135** | **-5,723** |
| **계** | | | | | **495,717** |
| | | | | | |
| 이중형 CFT 기둥 | | | | | |
| 열연강판(철판) | T=12 | kg | 621.72 | 969 | 602,447 |
| 열연강판(철판) | T=3 | kg | 3.11 | 966 | 3,004 |
| 구조용강관 | T=12 | kg | 106.76 | 966 | 103,130 |
| 부산물 | 철재 | kg | 61.6 | -135 | -8,316 |
| 계 | | | | | 700,265 |
| | | | | | |
| **슬롯형 CFT 기둥(6T)** | | | | | |
| **열연강판(철판)** | **T=6** | **kg** | **373.03** | **966** | **360,347** |
| **열연강판(철판)** | **T=6** | **kg** | **55.96** | **966** | **54,057** |
| **열연강판(철판)** | **T=6** | **kg** | **47.26** | **966** | **45,653** |
| **육각볼트** | **M12*50** | **개** | **88** | **108** | **9,460** |
| **와샤** | **M12** | **개** | **88** | **19** | **1,674** |
| **너트** | **M12** | **개** | **88** | **36** | **3,163** |
| **부산물** | **철재** | **kg** | **43.3** | **-135** | **-5,846** |
| **계** | | | | | **468,508** |

### (1) 무용접 CFT기둥의 노무비

[표 3.20]의 직접 노무비 산출표를 살펴보면, 폐단면 용접 CFT 기둥의 경우 자재절단, 펀칭, 자재절곡, 자재용접 및 용접부사상의 공정이 들어가며, 슬롯형 무용접 CFT 기둥 9T와 비교하여 자재절단 및 자재절곡에 있어 소요공수가 큰 것으로 나타났다. 폐단면 기둥은 베이스판을 제작하는데 있어 자재를 규격에 맞게 절단 후 기둥 단면 크기에 따라 절곡이 이루어지고 폐단면이 이루어지는 부위에 용접을 하므로 총 소요공수가 그리 크지 않으나, 슬롯형 무용접 CFT 기둥 9T의 경우 폐단면과 비교하여 볼트 구멍 펀칭과 볼트체결, 체결 결합의 과정이 추가되었으며, 자재절단 및 절곡에 횟수가 상대적으로 높아 노무비의 상승이 초래하였다. 그러나 슬롯형 무용접 CFT기둥의 경우 베이스판의 두께가 9T에서 4.5T로 줄어듬으로 인해 작업이 9T에 비해 수월하여 단위공수가 절반으로 줄어들어 노무비 절감 효과가 있는 것으로 나타났다.

[표 3.20] 직접 노무비 산출표

| 공 정 별 | 직종번호 | 직 종 | 총소요공수 | 임율 | 금액 |
|---|---|---|---|---|---|
| 폐단면 용접 CFT 기둥 | | | | | |
| 자재절단 | 29 | 철물재단원 | 0.042 | 76,435 | 3,179 |
| 펀칭 | 6 | 드릴링기조작원 | 0.034 | 83,818 | 2,816 |
| 자재절곡 | 12 | 절곡원 | 0.062 | 99,369 | 6,200 |
| 자재용접 | 50 | 용접원 | 0.010 | 92,605 | 963 |
| 용접부사상 | 51 | 연산기및연마기조작원 | 0.042 | 90,072 | 3,746 |
| 직접노무비 계 | | | 0.190 | | 16,904 |
| 슬롯형 무용접 CFT 기둥(9T) | | | | | |
| 자재절단 | 29 | 철물재단원 | 0.250 | 76,435 | 19,078 |
| 펀칭 | 6 | 드릴링기조작원 | 0.080 | 83,818 | 6,705 |
| 볼트구멍펀칭 | 6 | 드릴링기조작원 | 0.202 | 83,818 | 16,897 |
| 자재절곡 | 12 | 절곡원 | 0.250 | 99,369 | 24,802 |
| 볼트체결 | 135 | 단순노무종사원 | 0.120 | 81,077 | 9,729 |
| 체결결합 | 135 | 단순노무종사원 | 0.008 | 81,077 | 681 |
| 직접노무비 계 | | | 0.91 | | 77,892 |
| 슬롯형 무용접 CFT 기둥(4.5T) | | | | | |
| 자재절단 | 29 | 철물재단원 | 0.125 | 76,435 | 9,539 |
| 펀칭 | 6 | 드릴링기조작원 | 0.032 | 83,818 | 2,682 |
| 볼트구멍펀칭 | 6 | 드릴링기조작원 | 0.101 | 83,818 | 8,448 |
| 자재절곡 | 12 | 절곡원 | 0.125 | 99,369 | 12,401 |
| 볼트체결 | 135 | 단순노무종사원 | 0.120 | 81,077 | 9,729 |
| 체결결합 | 135 | 단순노무종사원 | 0.008 | 81,077 | 681 |
| 직접노무비 계 | | | 0.51 | | 43,480 |

노무비 중 간접노무비적용비율은 기획재정부 회계예구기준에 의한 적용한도율과 유사업체 실적 및 통상 적용요율을 비교하여 낮은 율인 25%를 적용하였다. [표 3.21]의 노무비 전체 집계를 살펴보면 폐단면 용접 CFT 기둥을 100% 으로 보았을 때, 슬롯형 무용접 CFT 기둥 9T는 460%의 노무비 증가가 발생하는 것으로 나타났으며, 4.5T와 비교하였을 때는 250%의 증가가 발생되었다. 슬롯형 9T와 4.5T를 비교하였을 때는 4.5T는 45%의 노무비 절감효과가 있는 것으로 분석되었다.

[표3.21] 노무비 집계(직접노무비+간접노무비)

| 구 분 / 비 목 | 폐단면용접 CFT기둥 | 슬롯형무용접 CFT기둥(9T) | 슬롯형무용접 CFT기둥(4.5T) | 비 고 |
|---|---|---|---|---|
| 직접노무비 | 16,904 | 77,892 | 43,480 | |
| 간접노무비 | 4,226 | 19,473 | 10,870 | |
| 노 무 비 계 | 21,130 | 97,365 | 54,350 | |

### (2) 무용접 CFT기둥의 경비 및 관리비

경비 산출은 재료비와 노무비의 합계액을 각 비목별로 나눈 비율로 실 발생된 재료비와 노무비에 그 율을 곱하여 산출하였다. 경비 산출은 실제로 발생된 재료비와 노무비의 합에 동일 비율을 곱하여 산출하므로 재료비와 노무비에 따라 금액이 달라지게 된다. 따라서 [표 3.22]와 같이 상대적으로 재료비와 노무비가 높은 슬롯형 무용접 CFT 기둥 9T 가 가장 높게 나타났으며, 노무비가 상대적으로 낮은 폐단면의 경우 4.5T와 비교하여 재료비가 상승되어 경비가 높게 나타났다. 슬롯형 4.5T의 경우 노무비는 폐단면과 비교하여 높게 나타났으나 노무비 비율이 재료비와 비교하여 약 10%를 상회하여 상대적으로 높은 단가의 재료비로 인해 경비는 슬롯형 무용접 CFT 기둥 4.5T가 가장 작게 산출되었다.

[표 3.22] 경비 집계

| 구 분 / 비 목 | 폐단면용접 CFT기둥 | 슬롯형무용접 CFT기둥(9T) | 슬롯형무용접 CFT기둥(4.5T) | 비 고 |
|---|---|---|---|---|
| 전력비 | 12,794 | 20,668 | 11,310 | |
| 수도광열비 | 4,478 | 7,234 | 3,958 | |
| 운반비 | 11,631 | 18,789 | 10,281 | |
| 감가상각비 | 21,867 | 35,323 | 19,329 | |
| 수리수선비 | 3,199 | 5,167 | 2,827 | |
| 연구개발비 | 2,966 | 4,791 | 2,622 | |
| 시험검사비 | | | | |
| 지급임차료 | 5,583 | 9,019 | 4,935 | |
| 보험료 | 4,129 | 6,670 | 3,650 | |
| 복리후생비 | 12,562 | 20,292 | 11,104 | |
| 세금과공과 | 1,977 | 3,194 | 1,748 | |
| 소계 | 81,186 | 131,147 | 71,764 | |

일반관리비는 기획재정부 계약예규 제213호(2015.01.01.) “예정가격 작성기준”에 의거, 일반관리비율은 “조립금속제품, 기계, 장비의 제조, 구매”업종 7%를 적용하여 산출하였다. [표 3.23]과 같이 재료비, 노무비 및 경비의 합에 요율 7%를 적용함으로 인해 재료비가 상대적으로 높은 슬롯형 9T 의 일반관리비가 상대적으로 크며, 재료비가 가장 작은 슬롯형 4.5T의 경우 폐단면 CFT 기둥과 비교하여 낮게 산출되었다.

[표 3.23] 일반관리비 집계

| 구 분 / 비 목 | 폐단면용접 CFT기둥 | 슬롯형무용접 CFT기둥(9T) | 슬롯형무용접 CFT기둥(4.5T) | 비 고 |
|---|---|---|---|---|
| 재료비 | 560,436 | 842,067 | 459,723 | |
| 노무비 | 21,130 | 97,365 | 54,350 | |
| 경비 | 81,186 | 131,147 | 71,764 | |
| 제조원가 | 662,752 | 1,070,579 | 585,837 | |
| 일반관리비율 | 7.00% | | | |
| 일반관리비 | 46,392 | 74,940 | 41,008 | |

### (3) 무용접 CFT기둥의 이윤

이윤은 기획재정부 계약예규 제213호(2015.01.01.) “예정가격 작성기준”에 의거 “제조원가계산” 업종을 적용하여 25%로 산출하였다. [표 3.24]와 같이 이윤은 노무비와 경비 그리고 일반관리비와 연동되어 요율을 적용하여 산출되므로 상대적으로 노무비 비율이 높은 슬롯형 9T의 이윤이 높게 나타났으며, 노무비 비율이 낮은 폐단면 CFT의 경우 9T와 비교하여 51% 낮게 나타났고, 4.5T와 비교하여 12%가 낮게 산출되었다.

[표 3.24] 이윤 집계

| 구 분 / 비 목 | 폐단면용접 CFT기둥 | 슬롯형무용접 CFT기둥(9T) | 슬롯형무용접 CFT기둥(4.5T) | 비 고 |
|---|---|---|---|---|
| 노 무 비 | 21,130 | 97,365 | 54,350 | |
| 경 비 | 81,186 | 131,147 | 71,764 | |
| 일반관리비 | 46,392 | 74,940 | 41,008 | |
| 소 계 | 148,708 | 303,452 | 167,122 | |
| 이 윤 율 | 25% | 25% | 25% | |
| 이 윤 | 37,177 | 75,863 | 41,780 | |

### (4) 무용접 CFT기둥의 경제성분석 소결

경제성 검토 대상에 대한 경제성 비교 결과 다음 [표 3.25]와 같이 분석되었다. 목표 제품인 슬롯형 무용접 CFT 기둥 4.5T 는 비교제품인 폐단면 용접 CFT 기둥에 비해 10.41% 절감되는 것으로 나타났으며, 시험제품인 슬롯형 무용접 CFT 기둥 9.0T는 기존 용접 방식과 비교하여 63.65% 단가가 높은 것으로 분석되었다.

슬롯형 무용접 CFT 기둥은 기존 방식의 폐단면 용접 CFT 기둥과 비교하여 직접재료비에서 큰 차이가 발생하는데 이는 동일 두께의 9T를 사용하나 슬롯 제작을 위한 추가 철판이 소요되어 재료비의 상승이 나타나고, 공정상 볼트체결과 철판 절곡과 펀칭 등의 단계가 상대적으로 많이 소요되어 직접비의 증가가 큰 것으로 나타났다. 따라서 직접비 증가에 따라 이와 연동되는 경비, 일반관리비, 이윤의 증가로 인해 60% 이상의 단가 상승이 발생하였다.

이에 목표 제품인 슬롯형 무용접 CFT 기둥 4.5T의 경우 9.0T와 비교하여 절반 가까이 강판의 수량을 줄임으로 인해 금액의 절감효과가 극대화 되었으며, 철판이 경량화 됨으로 인해 9.0T에 비해 소요시간을 줄일 수 있어 노무비에 대한 절감도 가능한 것으로 나타났으며, 기존 제품이 폐단면 용접 CFT 기둥(4.5T)과 비교하여도 10% 이상의 절감 효과를 나타내었다.

[표 3.25] 슬롯형 무용접 CFT 기둥 경제성 비교

| 명칭 | 규격 | 단위 | 단가(원) | 비율(%) | 비고 |
|---|---|---|---|---|---|
| 슬롯형 무용접 CFT 기둥(4.5T) | 슬롯형 | SET | 735,487 | **89.59** | 목표제품 |
| 슬롯형 무용접 CFT 기둥(9T) | 슬롯형 | SET | 1,343,520 | 163.65 | 시험제품 |
| 폐단면 용접 CFT 기둥 | 용접방식 | SET | 820,953 | 100.00 | 비교제품 |

※ 부가가치세 포함 금액

# 제4절 내화구조인정 추진

## 1. 국내 CFT 내화구조 인정(증) 제도 현황

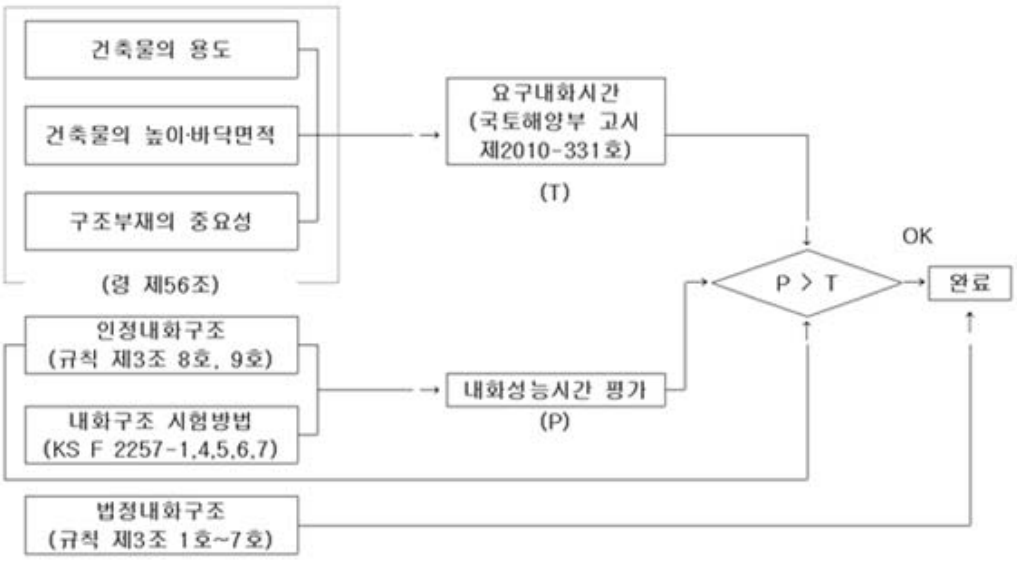
(1) 사양적 인정제도와 성능적 인정제도

국내에서 CFT 구조를 건설현장에 적용하기 위한 법적 요건 확보는 크게 인정 내화구조 제도, 인증 내화구조 제도로 분류할 수 있다. 먼저 인정 내화구조 제도는 사양적 내화구조 제도로서 국토해양부로부터 한국건설기술연구원에 위탁된 현장 인정 내화구조 제도, 일반 인정 내화구조 제도, 내화구조 표준 인정 제도, 한국산업표준에 의한 인정제도가 있다. 이에 반해 인증 내화구조 제도는 성능설계 내화구조 제도로서 피난규칙 제27조에 규정된 신제품에 대한 인정 제도, 성능설계에 의한 인증 제도가 있다.

(2) 사양적 인정 내화구조 제도의 장단점

선진국에서는 일반적인 건축물에 적용되고 있는 제도이지만 국내의 경우, 거의 대부분의 건축물에 적용되고 있는 사양적 내화구조 인정 제도로서 건축물 용도, 구조, 층수에 따른 내화시간 설정 및 부재의 선정을 위해 관련법규에서 명시된 사양적 규정에 따라 이루어지는 것으로서 건축물 규모와 상관없이 획일적 요구내화시간이 정하여 지는 제도이다.

현재 국내의 사양적 내화구조 인정 제도는 건물의 층별, 부위별로 소요 내화시간을 법규로서 규정하고, 건축법규에서 내화구조로 정한 구조나 국토해양부고시에 의하여 인정된 내화구조로서 설계하도록 되어 있기 때문에 설계작업이 단순하고 확실하지만 건물 화재하중이나 공간 조건 등을 고려할 수 없는 단점을 지니고 있다.




**[그림 3.24] 국내의 사양적 내화구조 인정 제도**

○ 현장적용 및 사업화를 위해 가장 먼저 선결되어야 할 문제로써 내화성능에 관한 국가 공인 인증이 반드시 필요하기 때문에 2차년도 에는 대상공법의 3시간 내화구조 인정 확보예정




**내화구조 인정 신청 서류[별표2]**

내화구조 인정 신청 시 별지 제1호 서식의 내화구조 성능인정 신청서에 [별표2]에서 정한 서류를 첨부하여 원장에게 신청

| 신 청 도 서 | 기 재 사 항 |
|---|---|
| 1. 내화구조 설계도서 | o 구조설명도(구조의 형상, 크기, 구성건축재료명 등)<br>o 구성재료 설명<br>o 시방서 |
| 2. 품질관리 설명서 | o 제품 및 재료설명서(제품 및 구성재료의 품질관리항목 및 품질기준)<br>o 공정 및 제품관리에 관한 사항<br>o 제조·검사설비 리스트 (주요설비 표시)<br>o 내화구조의 시공 및 현장품질관리에 관한 사항(검사기준 포함) |
| 3. 신청자의 사업개요 | o 연혁 및 생산·판매실적<br>o 품질관리 조직(품질관리 전담인력의 자격증, 경력증명서 및 고용관련 서류) |
| 4. 기타자료 | o 법인등기부등본, 사업자등록증, 공장등록증<br>o 제품의 원재료규격 및 배합비<br>o 제품 및 원재료 시험성적서 (KS제품인 경우 생략가능)<br>o 사내규정 목차(규격번호 및 개정번호 포함) |
| 5. 대리신청인의 경우 | o 대리신청자 연혁<br>o 신청자와의 관계를 증명하는 서류<br>o 기타 필요한 서류 |
| 6. 신청자가 시공자인 경우 | o 대지현황 : 대지위치, 대지면적, 지역·지구<br>o 규모 : 용도, 규모, 구조, 건축면적, 건폐율, 연면적, 용적율, 높이<br>o 시공현장 책임자의 동의서<br>o 설계도면 |

## 2. 내화구조인정 신청 및 내화구조설계도서 작성

본 연구개발의 성과로써 기술사업화를 위한 내화구조인정 추진하였으며, 내화구조인정 추진을 위해 내화설계 매뉴얼을 작성하였다. 또한 내화설계 매뉴얼의 기술적 완성도를 높이기 위해 전문가 검토 후 보완대비표를 작성하여 매뉴얼 수정 및 검토의견을 반영하였다.

내화구조 설계도서는 구조 설명도, 구성재료, 성능기준 등으로 구성되어 있으며, 안전관리, 품질관리 등의 제반 사항을 포함하고 있다.


FIXON

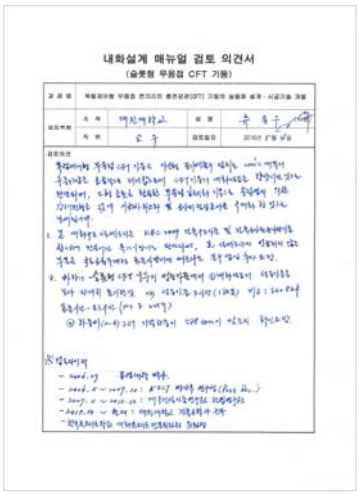
주식회사 픽
대표이사 정 성

(a) 내화구조인정 신청 공문


내화구조 설계도서

(주)픽슨

(b) 내화구조 설계도서


내화설계 매뉴얼 검토 의견서

(c) 검토의견서

**[그림 3.25] 내화구조인정 추진**

# 제5절 녹색기술인증 및 건설신기술 추진

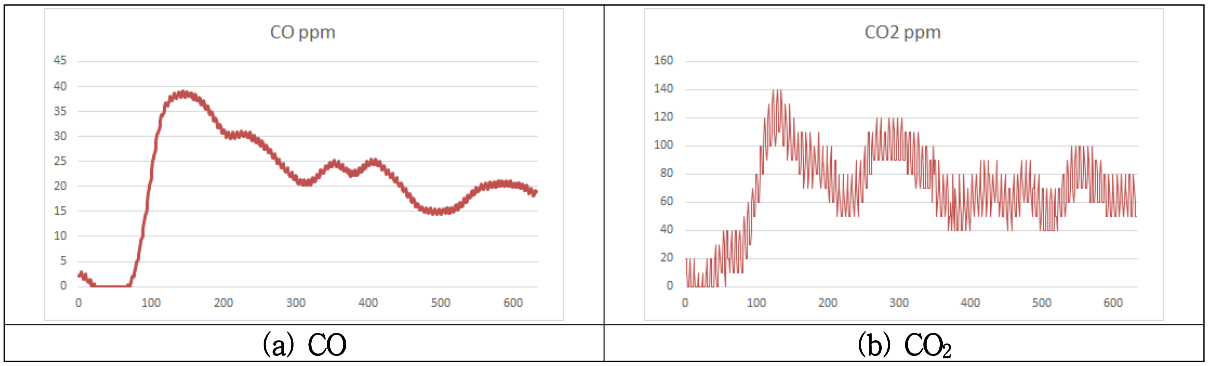
## 1. 녹색기술인증 추진

■ 유해가스 100% 제거 : [표 3.13]과 같이 유해가스(CO/CO2) 배출량은 일반 용접형 CFT기둥 중 강관 두께 6T의 경우 607,360/15,858,453 ppm이고, 강관두께 9T의 경우 316,800/9,791,253 ppm으로 평가되었다. 이중형 CFT기둥(내·외부 강관 각각12T)의 경우에도 외부강관에 무피복 조건으로 3시간 내화성능을 만족하는 것으로 나타났으나 공정이 복잡하며 경제성이 현저히 떨어지는 반면, 기술의 경우 무피복 조건에서 3시간 내화성능을 만족하는 구조로 유해가스 배출량을 100% 제거할 수 있다.

[표 3.13] 슬롯형 CFT기둥의 유해가스 저감량 평가

| 구분 | | 용접형 CFT 기둥(6T) | 용접형 CFT 기둥(9T) | 이중형 CFT기둥 | 슬롯형 CFT 기둥 |
|---|---|---|---|---|---|
| 강관두께 (㎜) | | 6 | 9 | 12 | 6 |
| 단면크기 (㎜) | | 500×500 | 500×500 | 500×500 | 500×500 |
| 콘크리트 강도 (MPa) | | 50 | 50 | 50 | 50 |
| 부재내력 (kN) | | 12,907.3 | 14,027.6 | 17,626.4 | 14,407.5 |
| 재하량 (ton) (하중비) | | 526.8 (0.4) | 572.6 (0.4) | 612.2 (0.34) | 588.1 (0.4) |
| 내화성능 | | 60분 이상 | 120분 이상 | 180분 이상 | 180분 이상 |
| 피복수준1) | | 2시간 피복 (3.5 ㎜) | 1시간 피복 (0.9 ㎜) | 무피복 (0 ㎜) | 무피복 (0 ㎜) |
| 유해 가스량3) (ppm) | CO[2)] | 0.6×106 (607,360) | 0.3×106 (316,800) | - | - |
| | $CO_2$[2)] | 15.9×106 (15,858,453) | 9.8×106 (9,791,253) | - | - |
| 유해가스 발생비율 | CO | 100 % | 52 % | 0 % | 0 % |
| | $CO_2$ | 100 % | 62 % | 0 % | 0 % |

1) 해당 공법별로 180분 내화성능 확보를 기준으로 H사 내화도료 피복수준
2) 연소가스 발생량 시험[한국건설기술연구원 공인 시험성적서 첨부]
시편크기: 0.075×0.075 ㎡
시험결과: 1시간 도료 - 최대 CO 발생량 → 297 ppm, 최대 $CO_2$ 발생량 → 9,179 ppm
2시간 도료 - 최대 CO 발생량 → 569 ppm, 최대 $CO_2$ 발생량 → 14,867 ppm
3) 시편크기 대비 3M 기둥의 피복물량에 따른 유해가스 최대 발생량 추론

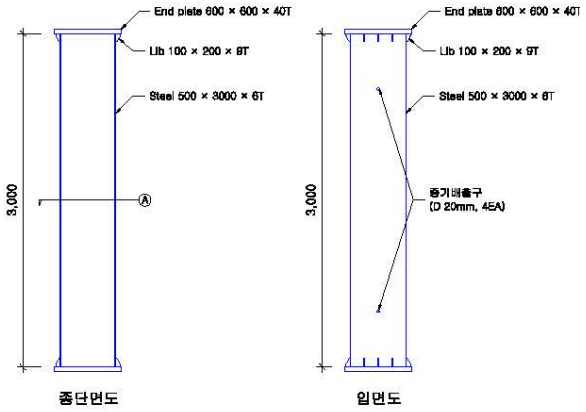


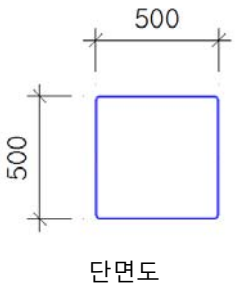

(a) CO　　(b) $CO_2$

[그림 3.24] 유해가스 발생량 분석

[표 3.14] 일반 CFT기둥(6T) 유해가스 산출근거 (기둥 1개소 기준)

| 공정 | 내화피복 | 단면크기 | 강재 노출면적(㎡) | 단위면적당 유해가스 발생량 (ppm/㎡) | 유해가스 발생량 (ppm) |
|---|---|---|---|---|---|
| CO | 2시간 도료 | 500×500×3000㎜ | (0.5×4)×3=6 | 101,209 | 607,360 |
| $CO_2$ | | | | 2,642,606 | 15,858,453 |




단면도

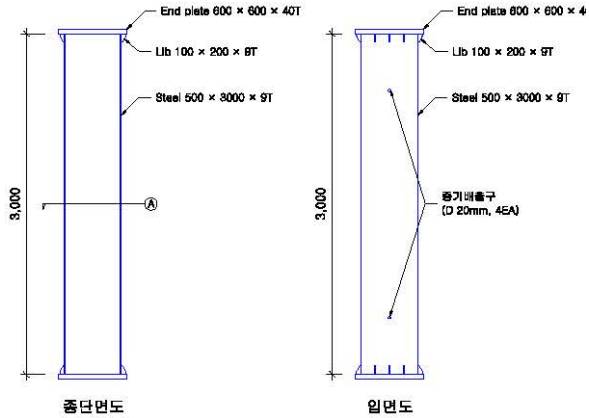
**NOTES**

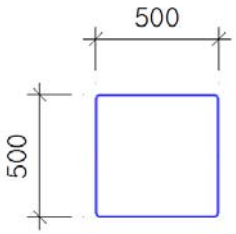
1. 콘크리트 강도 50MPa
2. 강재종류 SS400
3. 강판두께 6T

입면도

[표 3.15] 일반 CFT기둥(9T) 유해가스 산출근거 (기둥 1개소 기준)

| 공정 | 내화피복 | 단면크기 | 강재 노출면적(㎟) | 단위면적당 유해가스 발생량 (ppm/㎡) | 유해가스 발생량 (ppm) |
|---|---|---|---|---|---|
| CO | 1시간 도료 | 500×500×3000 ㎜ | (0.5×4)×3=6 | 52,791 | 316,800 |
| $CO_2$ | | | | 1,631,585 | 9,791,253 |




단면도

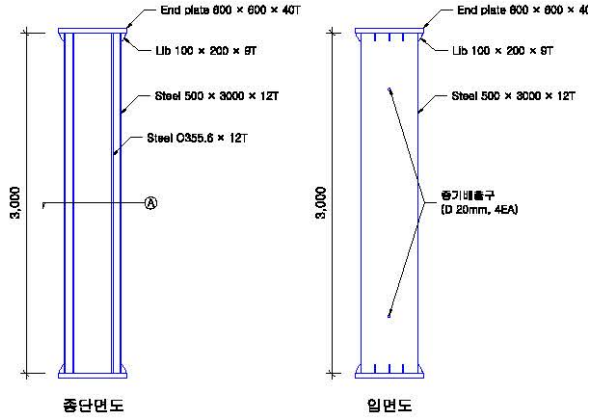
**NOTES**

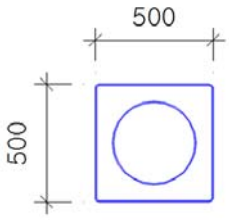
1. 콘크리트 강도 50MPa
2. 강재종류 SS400
3. 강판두께 9T

입면도

[표 3.16] Double CFT기둥의 유해가스 산출근거 (기둥 1개소 기준)

| 공정 | 내화피복 | 단면크기 | 강재 노출면적(㎟) | 단위면적당 유해가스 발생량 (ppm/㎡) | 유해가스 발생량 (ppm) |
|---|---|---|---|---|---|
| CO | 무피복 | 500×500×3000 ㎜ | (0.5×4)×3=6 | - | - |
| $CO_2$ | | | | - | - |




단면도

**NOTES**

1.콘크리트 강도 50MPa

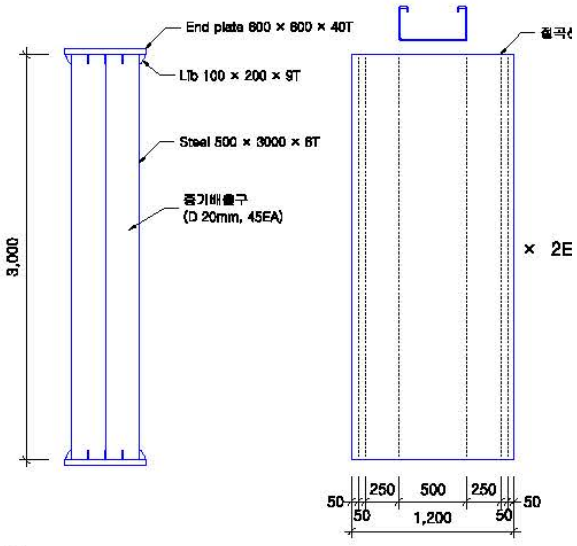
2.강재종류 SS400

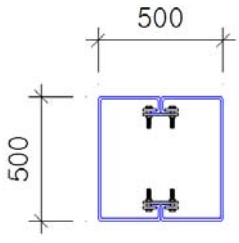
3.강판두께 12T

입면도 단면도

[표 3.17] 본 기술[슬롯형 CFT기둥]의 유해가스 산출근거 (기둥 1개소 기준)

| 공정 | 내화피복 | 단면크기 | 강재 노출면적(㎟) | 단위면적당 유해가스 발생량 (ppm/㎡) | 유해가스 발생량 (ppm) |
|---|---|---|---|---|---|
| CO | 무피복 | 500×500×3000 ㎜ | (0.5×4)×3=6 | - | - |
| $CO_2$ | | | | - | - |




단면도

**NOTES**

1.콘크리트 강도 50MPa

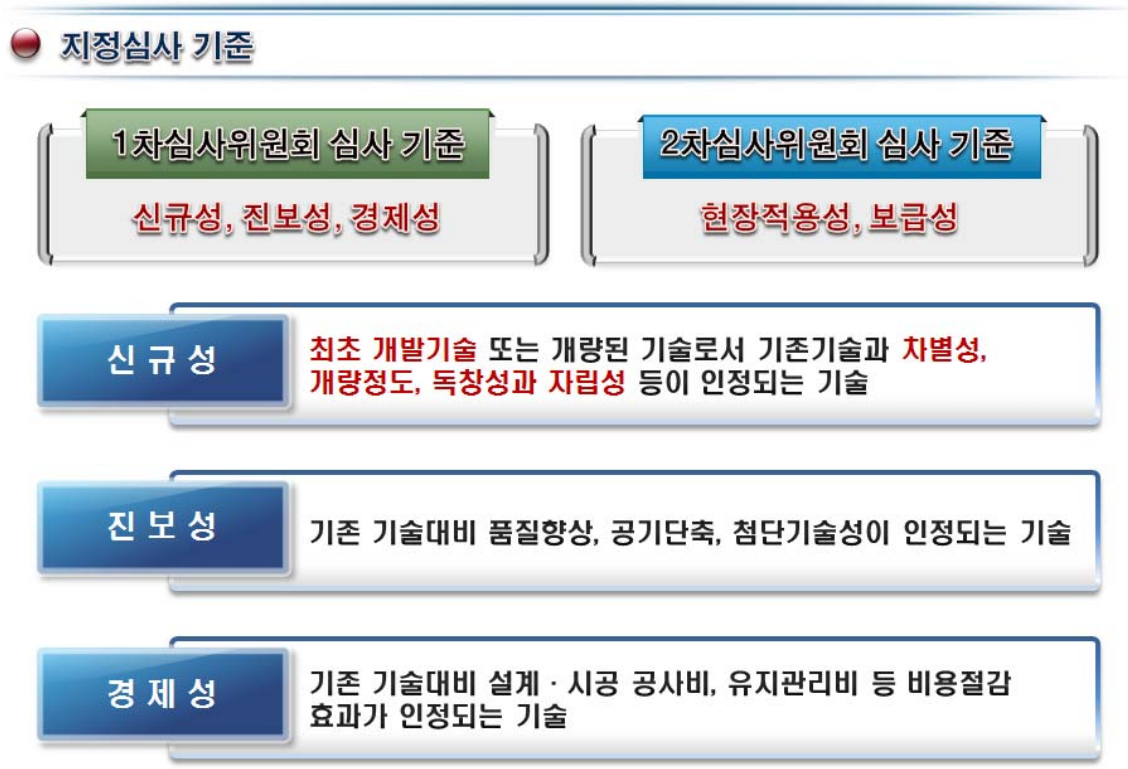
2.강재종류 SS400

3.강판두께 6T

입면도 단면도

## 2. 건설신기술 추진

■ 기술 보급 활성화를 위하여 상온 및 고온 성능을 기존공법 대비 동등이상의 성능을 확보하고, 경제성 확보를 통하여 건설신기술 신청하여 평가 중임.






## 가. 기존 기술과의 차별성

본 기술의 핵심인 슬롯을 활용한 CFT기둥의 강관제작 및 다공형강관의 사용을 통한 무용접 CFT 기둥의 무피복 내화공법의 특허출원·등록과 기존 기술에 대한 검토 결과, 국내·외 독자적으로 개발된 신규 기술임을 확인할 수 있었다.

한국특허정보원의 선행기술조사 결과, 대부분이 일반 용접접합을 통한 강관성형 및 일반강관을 사용한 기술이며, 본 기술과 같은 슬롯접합기술 및 다공형강관을 이용한 무피복 내화공법과는 개념이 상이하였다. 기존 CFT기둥 공법에 대한 본 기술의 신규성 및 진보성은 다음과 같이 요약될 수 있다.

① 기존 CFT기둥의 경우, 국내에서 무피복 조건으로 3시간 이상의 내화성능을 확보하여 성능검증이 이루어진 대상공법은 강관 제조사인 S사의 Double CFT기둥[RIST-HIT CFT 500PD]의 경우가 유일하였다. 다만, Double CFT기둥의 특징은 내·외부에 강관이 2중으로 배치되는 구조로 내부강관과 외부강관 사이에 콘크리트가 채워지고 내·외부 강관의 두께가 12㎜ 이상으로 경제성이 현저히 떨어지며 공정이 매우 복잡하다는 것을 확인하였다. 또한, 해외에서도 기술 수준의 경제성을 확보하면서 무피복 조건에서 3시간 이상의 내화성능을 확보한 사례를 찾아볼 수 없었다. 본 기술은 기존 용접형 CFT기둥에서 발생할 수 있는 화재 시 용접접합부의 파단에 의한 취성적인 거동을 방지할 수 있으며, 폭렬제어를 통하여 무피복 조건으로 3시간 이상의 내화성능을 확보할 수 있는 효율적이며 경제적인 신규기술이라 판단된다.

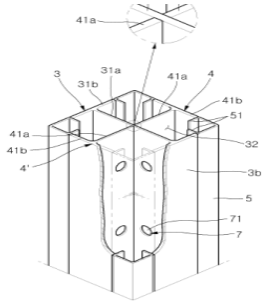
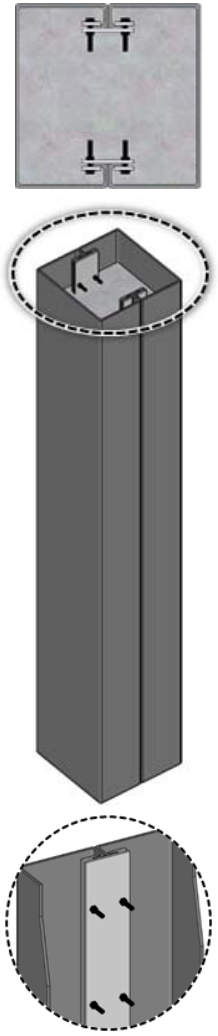
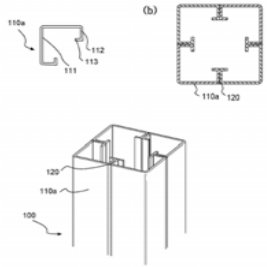
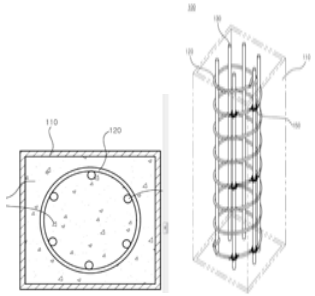
② 기존 CFT기둥 제작공법으로는 용접방식에 의한 폐단면 구성 및 콘크리트 내부 철근 배근 방식의 내력 향상 방식의 기술로써 개발 대상기술에 비하여 공정이 다소 복잡하며 특히 별도의 내화피복이 적용되지 않을 경우 법정 요구내화성능을 만족하지 못하는 것으로 판단된다.

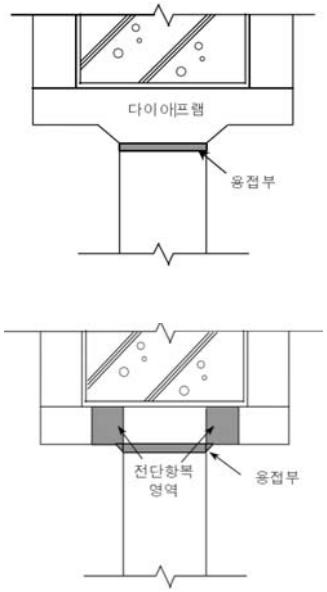
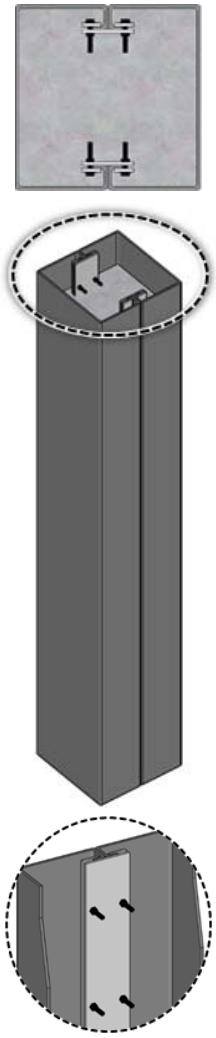
본 기술에 대한 지식재산권정보를 [표 3.9]에 나타내었으며, 앞서 살펴본 기존기술 대비 본 기술의 차별성 및 우수성을 [표 3.10]에 정리하여 나타내었다.

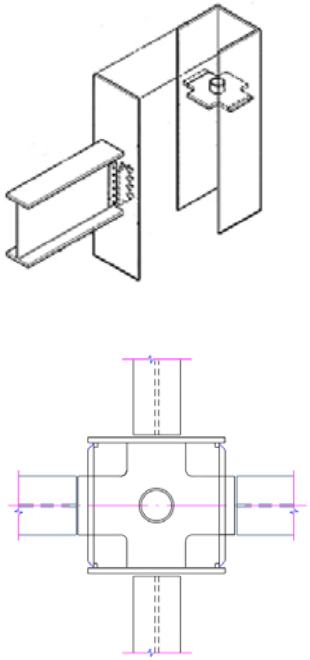
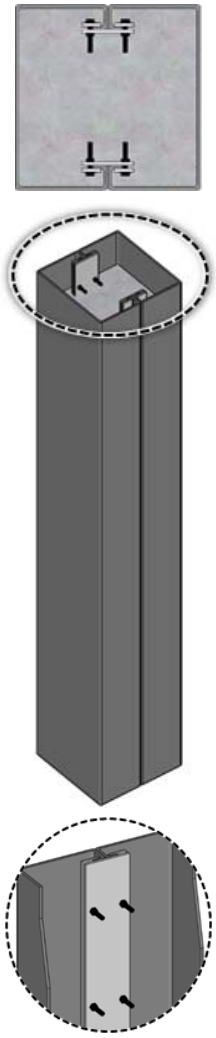
**[표 3.9] 본 기술과 관련된 지식재산권**

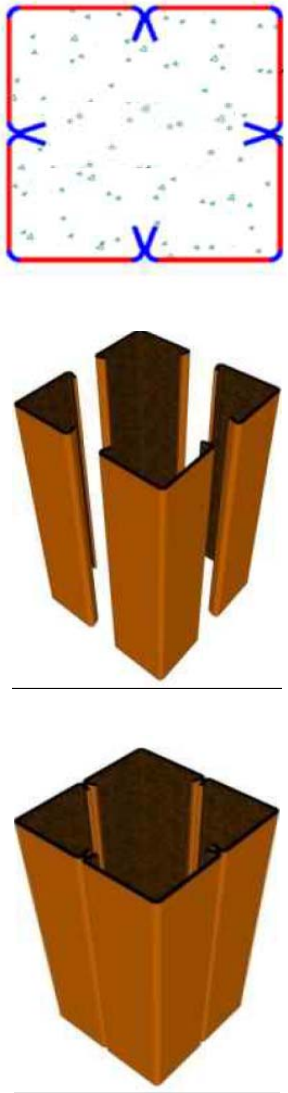
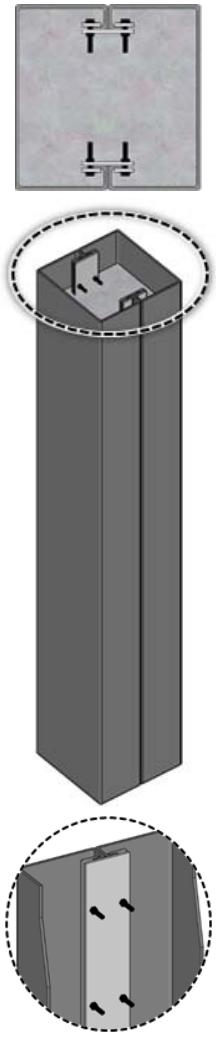
| 구분 | 등록번호 (출원번호) | 등록권리자 (출원인) | 등록일 (출원일) | 명칭 | 내용 요약 |
|---|---|---|---|---|---|
| 특허 등록 | 10-1158522 | 한국건설기술연구원 | 2012.06.14 | 슬롯을 사용한 무용접 방식의 콘크리트 충전 강관기둥 및 그 제조방법 | 기존 CFT기둥과 달리 외부 강관제작 시 용접접합을 하지 않고 슬롯(절곡형)을 사용하여 조립하는 기술이며, 외부강관은 다공형 강관을 사용함으로서 충전 콘크리트의 폭렬현상을 방지하도록 함. |
| 특허 등록 | 10-1611868 | (주)목양종합건축사사무소 | 2016.04.06 | 볼트형 조립슬롯을 사용한 무용접 방식의 콘크리트 충전기둥 | 기 등록 특허의 슬롯을 보완하여 슬롯의 제작방식을 강판절곡이 아닌 3개의 강판유닛을 볼트접합을 통하여 제작하는 방식으로 외부강관 절곡부와 슬롯 사이의 유격을 최소화 하여 구속력을 확보함. |

**[표 3.10] 본 기술과 동종분야 유사기술의 비교·분석 내용**

| 구분 | 기존기술명 | 기술내용 | 기존기술 도면 | 기술 도면 | 본 기술과의 차별성 | 비고 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 콘크리트 충전강관 기둥 | - H형강 웹부분에 T형강을 용접하고, 각 모서리 부분은 얇은 강판을 절곡하여 성형하는 구조<br>- H형강과 T형강의 각 플랜지를 접합하여 충전 콘크리트가 타설되도록 공동을 형성하는 마감재<br>- T형강의 웹에 길이방향으로 일정간격 이격되는 관통부 |  |  | - 폭렬제어 및 용접부 배제로 인한 내화성능 향상[고강도 콘크리트 내부수분 배출구 확보 및 슬롯형 접합방식을 통한 용접 접합부 배제]<br>- 법정 요구내화 시간 180분 만족<br>- 시공오차의 최소화[용접열에 의한 강재 변형 미발생]<br>- 공사비 절감 효과[무용접으로 인한 공정의 단순화] | 특허 제10-1062928000호 |
| 2 | 절곡성형 철판을 이용한 조립식 폐쇄형 철골부재 및 이의설치 구조 | - 철판을 절곡성형한 단위부재를 조립하여 완성한 폐쇄형 철골부재 및 이의 설치구조에 관한것<br>- 리브L형상의 면형성부와 상기 면형성부 양단부에 내측으로 절곡된 절곡부 |  | | | 특허 제10-0684931000호 |
| 3 | 횡구속력이 향상된 콘크리트 충전강관 | - 횡구속력 및 내화성이 향상된 콘크리트 충전강관<br>- 상기 강관 내부에 강관의 길이방향으로 설치되는 나선형 선재<br>- 나선형 선재는 철근, 강선, 강연선 중 어느하나 또는 둘 이상의 조합으로 이루어지는 것을 특징으로 하는 충전강관 |  | | | 특허 출원 10-2008013467 6 |

| 구분 | 기존기술명 | 기술내용 | 기존기술 도면 | 기술 도면 | 본 기술과의 차별성 | 비고 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 4 | 사각형 외다이아프램과 플랜지 용접부위를 사다리꼴로 확장하거나 원호형상으로 확장용접하여 소성힌지를 다이어프램의 전단항복으로 유도한 CFT기둥 외다이아프램 접합공법 | 1) 사각형 외다이아프램을 사다리꼴 형상으로 보플랜지 방향으로 확장시켜 플랜지와 접합하는 방법<br>2) 사각형 외다이아프램에 플랜지의 접합시 용접부위를 확장한 후 원호형으로 가공하여 접합하는 방법<br>3) 상기 방법으로 소성힌지 발생위치를 기존의 보 플랜지에서 외다이아프램 부위의 전단항복으로 유도한 접합부 설계 및 시공방법 |  |  | - 본 기술은 기술과는 달리 CFT 기둥의 부재간 연결방법에 관한 내용으로써 본 기술과는 관련이 없음 | 신기술 제392호 |

| 구분 | 기존기술명 | 기술내용 | 기존기술 도면 | 기술 도면 | 본 기술과의 차별성 | 비고 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 5 | 복합(내측+관통)십자형 다이아프램과 수직플레이트를 활용한 각형 CFT 기둥-보 강접합 공법 | 본 신기술은 중 약진 지진지역을 고려하여 개발된 기술로서 각형 CFT(Concrete Filled steel Tube) 기둥-보 접합을 위한 내부 다이아프램 형식으로, 상부 플랜지 접합을 위한 내측형과 관통형을 복합한 십자형 플레이트와 하부 플랜지 접합을 위한 수직 플레이트로 형성된다. 상부 플랜지의 접합을 위한 십자형상의 내부 다이아프램은 강축 방향은 콘크리트 충전강관을 관통하여 외부로 돌출되는 관통부로 형성되고 약축 방향은 콘크리트 충전 강관 내측 면에 접합되는 내접부로 형성된다. 이때 내부 다이아프램의 중앙부에는 필요에 따라 중앙개구부를 형성시키고, 중앙 개구부에는 슬리브가 설치되도록 구성할 수 있다. 수직플레이트는 강관 내측면에 수직으로 보강 플레이트를 용접하고 이 수직 플레이트에 스터드를 양쪽 면에 용접한 접합 형식이다. |  |  | - 본 기술은 기술과는 달리 CFT 기둥의 부재간 연결방법에 관한 내용으로써 본 기술과는 관련이 없음 | 신기술 제473호 |

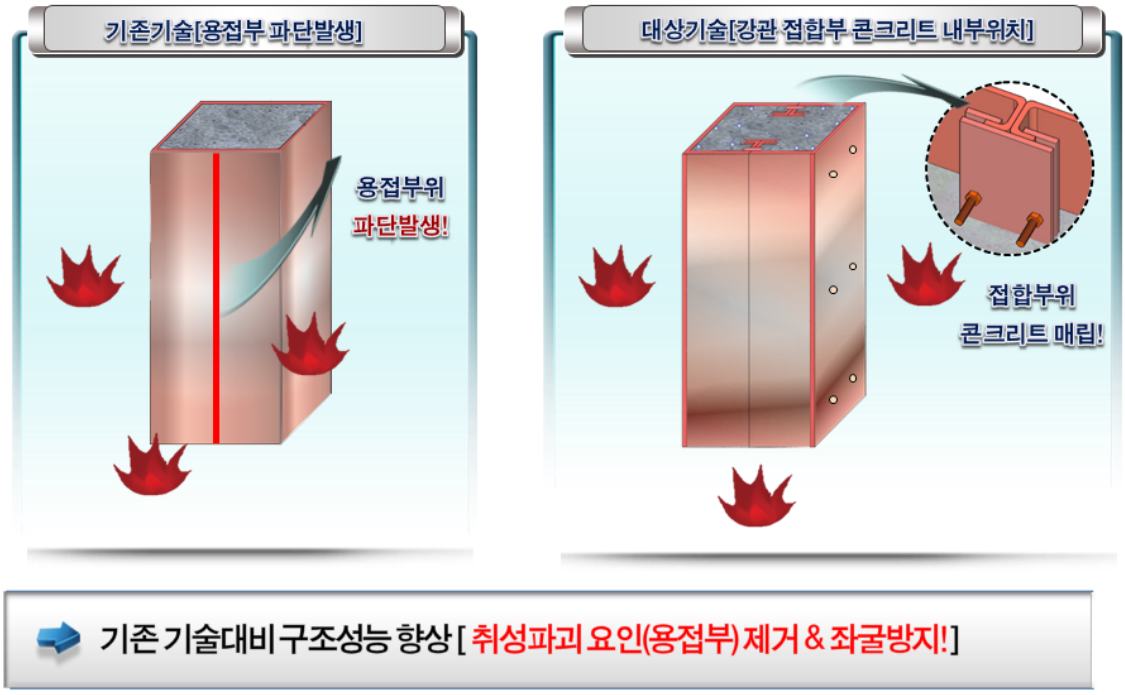
| 구분 | 기존기술 명 | 기술내용 | 기존기술 도면 | 기술 도면 | 본 기술과의 차별성 | 비고 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 6 | 내부 앵커형 조립식 냉간성형 CFT기둥(ACT Column) | 냉간절곡성형한 'ㄱ' 자형 단위부재 4개를 용접제작하여 완성하는 각형 튜브형상<br>철골부재에 관한 것으로 기존 CFT 기둥을 개선한 기술이다. 4개의 'ㄱ' 자형 부재를 사용하<br>므로 별도의 보강장치나 특수용접 없이 제작할 수 있고 강관내부를 향한 절곡부(리브)가<br>있어, 기존보다 얇은 철판을 부재로 이용하면서도 동일한 좌굴내력을 발휘하여 콘크리트<br>의 구속력을 증대시킬 수 있다. |  |  | - 본 기술은 기술과는 달리 4개의 'ㄱ' 자 단위부재 4개를 용접으로 접합하는 공법으로써 무용접 슬롯접합 방식을 취하고 있는 본 기술과 차이가 있으며, 용접부를 제거함으로써 180분의 내화성능을 확보하였다. | 신기술 제631호 |

## 나. 개량 정도

### (1) 기술 개발의 구성

#### ① 슬롯을 활용한 CFT강관의 무용접 일체화 제작공법

기존 용접형 CFT기둥의 경우 고온에 노출 될 경우 용접부의 급격한 성능저하 현상으로 인하여 주요 취약부로 지적되고 있다. 반면 슬롯에 의한 접합방식은 화재 시 강관파괴 및 구조물 내력상실의 주요원인인 용접부를 제거할 수 있다. 슬롯형 접합부의 형상은 [그림 3.21]과 같이 접합부위를 콘크리트 내부에 T형 형상으로 절곡하여 인입시키고, 일체화를 위한 볼트형 슬롯을 슬라이딩 방식으로 삽입하여 접합함으로써 용접시공을 대체할 수 있으며, 강재와 콘크리트의 합성효과를 극대화시킬 수 있으며 화재 시 취성적인 거동을 방지할 수 있다.




**[그림 3.26]** 화재 시 취약 용접부 파단방지[무용접 슬롯 형상

#### ② 다공형 관통부가 포함된 강관을 활용한 CFT 내화구조 시스템

기존 CFT 구조는 외벽이 폐쇄형의 얇은 강판으로 되어 있기 때문에 화재가 발생할 경우, 얇은 강판을 통해 대부분의 열이 콘크리트 내부로 전달되어 콘크리트 내부의 수분에 의한 수증기 압력이 급격하게 증가하게 된다. 그 결과 충전 콘크리트에서 폭렬현상이 발생하게 되고 부재의 급격한 변형 및 성능저하를 유발할 수 있다는 문제점이 있다. 이에 본 연구에서는 다공형 강판을 사용하여 화재 시 내부 콘크리트의 수분을 원활하게 배출할 수 있도록 유도함으로서 콘크리트 폭렬현상을 예방할 수 있기 때문에 부재의 급격한 성능저하 현상을 방지할 수 있다는 장점이 있다. 또한 다공형 강판의 경우 콘크리트

타설시 강관 내부 공기의 배출이 원활하지 않아 콘크리트가 밀실하게 충전되지 못하는 단점을 해결할 수 있다.

**(2) 기술의 중요도**

본 기술은 슬롯접합을 통한 CFT기둥의 강관제작 및 다공형 강판의 적용을 통한 무피복 내화공법으로서 [표 3.11]와 같이 시공성, 경제성 및 친환경성 측면에서 우수할 뿐만 아니라 법정 요구내화성능을 충분히 확보할 수 있다는 장점을 가지고 있다. 이에 따라 일정 규모이상의 건축물에 따라 달리 적용되는 요구내화성능을 모두 만족시킬 수 있어 기술의 활용도가 매우 높을 것으로 기대된다. 또한, 어떠한 내화피복보강이 불필요하기 때문에 화재 시 내화피복재에서 발생할 수 있는 유해가스를 100% 차단할 수 있으며, 이에 대하여 국토해양부의 녹색기술 인증 등 공신력 있는 기관으로부터 기술의 우수성도 인정받았다.

**[표 3.11] 기술의 중요성 및 기대효과**

| 내용 | 중요성 및 기대효과 |
|---|---|
| - 시공성 | · **무피복 내화공법으로서 열차단 내화공법에 비해 시공성이 우수하고 공사기간을 단축시킬 수 있음.**<br>· 다공형 강판을 사용함으로서 현장에서 콘크리트 타설 시 강관내부로 콘크리트가 밀실하게 채워질 수 있음. |
| - 경제성 | · **3시간 내화성능 확보에 기존 내화공법 대비 작은 크기의 단면이 요구됨.** |
| - 구조적 안전성 | · 기존 CFT기둥과 동등이상의 성능을 갖게 되며, 슬롯에 의한 콘크리트와 강재의 일체성 향상을 통하여 우수한 구조성능을 확보할 수 있음. |
| - 친환경성 | · 국토해양부의 녹색기술 인증 취득.<br>· 무피복 내화공법으로서 기존 CFT기둥에 적용하고 있는 내화피복재료에서 발생할 수 있는 유해가스(CO, $CO_2$)를 100% 차단할 수 있음. |
| - 실용화 | · 무피복 내화공법에 대한 성공적인 현장적용사례 있음.<br>· 기준에 기반한 설계지침이 제시됨으로서 향후 내화성능확보가 필요한 모든 구조물에 적용 가능함. |

# 제6절 기술 상용화를 위한 연구개발 성과

## 1. 시장성 분석

### 가. 슬롯형 무용접 CFT 기둥 마케팅 전략 분석

#### (1) 개발기술의 실수요처 발굴

■ 개발 기술의 실수요처 발굴 및 목록

- 삼성물산 : 삼성물산은 삼성그룹의 모기업으로 1928년 설립되어, 1995년 12월 삼성건설을 합병하여 현재 상사와 건설 두 개 부문으로 운영함. 전세계 50여 개국의 거점에서 사업을 하는 글로벌 기업임. 건설부문에서는 건축, 토목, 플랜트, 주택, 개발사업을 수행하며, 상사부문에서는 화학 소재, 철강, 자원, 생활산업, 프로젝트를 수행함

- 포스코(POSCO) : 철강 회사이며, 계열사인 포스코건설은 포스코의 제철소를 건설하기 위한 목적으로 1994년 12월 출범한 종합건설회사임. 포스코건설은 제철플랜트, 에너지플랜트, 화공플랜트, 물환경, 토목, 건축사업을 하며, 건축분야에서는 도시개발, 빌딩, 주거시설 분야의 사업을 수행함. 포스코 생산 제품으로는 열연, 후판, 선재, 냉연, 용융아연, 전기아연, 전기강판, 자동차소재, 스테인리스스틸, 티타늄, 마그네슘이 있음

- 센구조연구소 : 1973년 센구조안전기술연구소로 개업하여 1995년 (주)센구조연구소를 설립. 1997년 일부 분할하여 (주)센구조홀딩스를 설립하였으며, (주)센코어테크, (주)센벡스가 있음. 센구조연구소는 독자 원천기술(특허 110여건, 신기술 2건 등)을 활용하여 기본설계부터 강구조 시공까지 건축구조 전반의 서비스를 제공하는 기업임

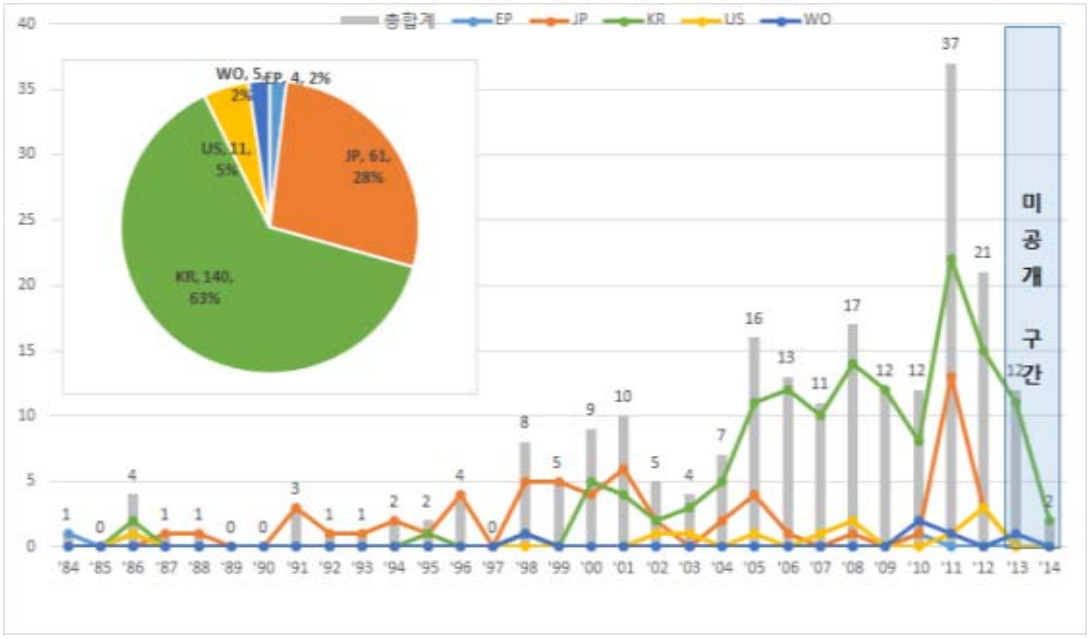
- 현대건설 : 현대건설(주)는 1947년 설립한 현대토건사와 현대자동차공업사가 1950년 1월 합병하여 설립한 현대자동차그룹 계열의 종합건설회사. 토목사업, 건축, 주택, 발전소 등의 사업부문을 영위함. 특히, 본 과제와 관련되는 철강, 건설 분야의 계열사는 현대제철, 현대하이스코, 현대비엔지스틸, 현대건설, 현대엠코, 현대엔지니어링, 현대스틸산업, 현대종합설계가 있음

- TAKENAKA KOMUTEN : 일본 오사카에 본사를 둔 대형 건설업체로, 아시아 7개국 유럽 12개국, 미국 등에 Factories를 갖고 있음. 2015년 1월 21일을 기점으로 CFT 기둥을 사용한 Grade A Office Building at SCBD LOT10 건물 시공을 함

- JFE Holdings : 일본 도쿄에 본사를 둔 JFE Holdings는 2002년 NKK (日本鋼管株式会社)와 Kawasaki Steel Corporation (川崎製鉄株式会社)의 합병으로 설립. 자회사로는 JFE Steel, JFE Engineering, JFE Shoji, Dividends가 있음. JFE는 석탄 철광석을 수입하여, 일본뿐 아니라 전세계적으로, 특히 중국과 한국을 포함한 아시아지역에서 다양한 고객의 요구에 부응하는 고품질 제품을 생산하는 종합 철강 생산업체임

■ 발표논문 및 특허출원 현황

- 폭렬제어형 무용접 콘크리트 충전강관(CFT) 기둥 개발과 관련하여 특허 검색한 결과 총 219건의 관련 특허가 조사됨. 출원된 국가와 법적상태를 기입하고 최근 출원된 특허 순으로 정렬하여 리스트를 제공함. 폭렬제어형 무용접 콘크리트 충전강관(CFT) 기둥 개발에 대한 연도별 특허출원 현황에 나타나듯이 해당 분야의 특허는 1984년부터 출원되었으며 현재까지 지속적으로 출원이 이어지고 있음. 년도별 특허 동향으로는 1990년 후반부터 해당 분야의 출원이 증가하여, 2011년 한국과 일본에서 가장 많은 특허 출원을 함에 따라 총합계에서도 최고 건수인 37건이 기록됨




〈그림 3.27〉 국가별-연도별 특허출원 현황

### (2) 국내 실수요처 마케팅 계획수립

■ 국내 실수요처의 장단점 및 니즈 파악

- 삼성물산 : 삼성물산은 삼성그룹의 모기업으로 1928년 설립되어, 1995년 12월 삼성건설을 합병하여 현재 상사와 건설 두 개 부문으로 운영함. 전세계 50여 개국의 거점에서 사업을 하는 글로벌 기업임. 건설부문에서는 건축, 토목, 플랜트, 주택, 개발사업을 수행하며, 상사부문에서는 화학 소재, 철강, 자원, 생활산업, 프로젝트를 수행함

- 포스코(POSCO) : 철강 회사이며, 계열사인 포스코건설은 포스코의 제철소를 건설하기 위한 목적으로 1994년 12월 출범한 종합건설회사임. 포스코건설은 제철플랜트, 에너지플랜트, 화공플랜트, 물환경, 토목, 건축사업을 하며, 건축분야에서는 도시개발, 빌딩, 주거시설 분야의 사업을 수행함. 포스코 생산 제품으로는 열연, 후판, 선재, 냉연, 용융아연, 전기아연, 전기강판, 자동차소재, 스테인리스스틸, 티타늄, 마그네슘이 있음

- 센구조연구소 : 1973년 센구조안전기술연구소로 개업하여 1995년 (주)센구조연구소를 설립. 1997년 일부 분할하여 (주)센구조홀딩스를 설립하였으며, (주)센코어테크, (주)센벡스가 있음. 센구조연구소는 독자 원천기술(특허 110여건, 신기술 2건 등)을 활용하여 기본설계부터 강구조 시공까지 건축구조 전반의 서비스를 제공하는 기업임

- 비비엠코리아 : 1998년 비비엠코리아(주)를 설립한 건설·건축·토목·시공 분야 기업으로, 2007년 4월 포항공장을 가동함에 따라 건설, 에너지, 플랜트 등의 산업분야에 다양하게 적용되는 대구경 후육강관을 직접 생산하여 제조 및 납품함. 비비엠코리아는 강관에 콘크리트를 충전하여 이를 신형상 전단연결재(특허 제0499020호)로 합성시켜 새로운 형태의 교량 거더인 CFT(Concrete Filled Tubular) 거더 교량 공법(특허 제0499019호)을 개발함

- 현대건설 : 현대건설(주)는 1947년 설립한 현대토건사와 현대자동차공업사가 1950년 1월 합병하여 설립한 현대자동차그룹 계열의 종합건설회사. 토목사업, 건축, 주택, 발전소 등의 사업부문을 영위함. 특히, 본 과제와 관련되는 철강, 건설 분야의 계열사는 현대제철, 현대하이스코, 현대비엔지스틸, 현대건설, 현대엠코, 현대엔지니어링, 현대스틸산업, 현대종합설계가 있음

■ 마케팅 계획 수립(SMK)

- SMK 보고서

| 기술 내용 요약 | |
|---|---|
| **기술개요** | 콘크리트 충전강관기둥을 폭렬제어 다공형 관통부와 T-형상 절곡부의 무용접 슬롯 접합 형식으로 제작할 수 있도록 하는 콘크리트 충전강관기둥 및 그 제조방법에 관한 기술 |

| | | | |
|---|---|---|---|
| **기술성** | **보유 특허 정보** | **등록번호** | 10-1158522 |
| | | **명 칭** | 슬롯을 사용한 무용접 방식의 콘크리트 충전 강관기둥 및 그 제조방법 |
| | | **권리성** | 2개의 독립항, 8개의 종속항으로 구성 |
| | | **안정성** | 일부 유사한 선행기술이 있으나 권리의 무효화 가능성이 매우 낮음 |
| | **차 별 성** | | • 무용접으로 시공 시간 단축과 내화성능 2시간 확보<br>• 슬롯 슬라이딩 시공의 편리함<br>• 다공형 강관으로 콘크리트 충진 용이 및 폭렬제어 가능 |
| | **응용 가능 분야** | | 설계 반영을 통한 CFT 무피복 슬롯 공법 기술 사업화 수행<br>시공반영(현장적용) |

| | | |
|---|---|---|
| **사업성** | **시장규모** | • '08년 이후부터는 전반적인 경기침체속에서 건설수주 감소세가 지속되고 있으며, 2013년 국내건설공사 수주액은 91조 3,069억원으로 집계됨 |
| | **성장성 및 전망** | • 많은 초고층, 대공간 건축물들이 추진예정에 있으며, 국내에서는 고층 건물 주요부위에 CFT 기둥이 적용되고 있음. 해외에서는 1990년대부터 시공사례가 있으며, 특히, 일본에서 2008년 3시간 무내화피복 실용화에 성공함. 따라서 향후 CFT 기둥의 시장성이 더욱 좋아질 것으로 판단됨<br>• 내화성능설계 도입으로 현재 중저층 건물 뿐만 아니라 고층 건물에도 활발히 적용되고 있으며, 향후 더욱 적용이 확대될 전망 |
| | **시장환경** | • 기둥단면 축소, 강성증대 외에 시공성 향상 및 공기단축 등의 경제적 효과를 거둘 목적으로 CFT 구조를 채용하고 있으며, 이처럼 국내 건설 시장에서 CFT 구조의 적용이 시공성과 경제성으로 인해 사용이 점차 증가하고 있음 |
| | **사업전략** | • CFT 구조의 내화성능 확보를 통한 현장적용 활성화<br>• 내화관련 산업부문의 국제적 인증 및 무역거래 기대<br>• 건설신기술 추진 및 공법의 실용화를 통한 수요 급증 기대 |

| | | |
|---|---|---|
| **기술 이전 전략** | **마케팅 기업** | • 모든 건물에 적용 가능한 3시간 내화성능을 확보하는 폭렬제어형 무용접 CFT 기둥의 설계 및 시공기술의 구축을 통해 신기술, 신공법 등 건설 분야의 우수한 기술능력을 확보하여 이를 기반으로 강관 공급업체, 연구기관 및 시공업체 등에 기술이전 추진 |
| | **거래조건** | 협상에 의해 결정 |

### (3) 해외 실수요처 마케팅 계획수립

■ 주요 제작사별 매출현황

- TAKENAKA KOMUTEN : 2009년에서 2011년까지 하락세를 띄던 매출이 2011년 이후 현재까지 지속적으로 증가하고 있음

**Income Statement and Balance Sheet (Consolidated)**

(Millions of yen)

| | 72nd term 2009 | 73rd term 2010 | 74th term 2011 | 75th term 2012 | 76th term 2013 |
|---|---|---|---|---|---|
| Orders received | 1,053,100 | 825,084 | 929,542 | 1,004,492 | 1,214,335 |
| Revenues | 1,175,915 | 1,055,498 | 976,612 | 998,381 | 1,020,956 |
| Operating income | 14,792 | 21,884 | 11,106 | Δ1,369 | 11,525 |
| Operating margin (%) | 1.3 | 2.1 | 1.1 | Δ0.1 | 1.1 |
| Ordinary income | 18,408 | 22,632 | 10,962 | 12,595 | 21,709 |
| Net income | 11,845 | 5,354 | 2,273 | 6,122 | 7,162 |
| Net assets | 334,521 | 328,092 | 308,135 | 350,884 | 438,468 |
| Total assets | 1,086,407 | 939,712 | 899,718 | 977,735 | 1,105,029 |

**Other Financial Data (Consolidated)**

(Millions of yen)

| | 72nd term 2009 | 73rd term 2010 | 74th term 2011 | 75th term 2012 | 76th term 2013 |
|---|---|---|---|---|---|
| Research and development expenses | 7,510 | 7,341 | 7,131 | 6,472 | 5,502 |
| Capital investment | 10,400 | 9,600 | 5,500 | 9,900 | 26,300 |
| Return on equity (ROE) (%) | 3.6 | 1.6 | 0.7 | 1.9 | 1.8 |
| Cash flow from operating activities | 58,934 | 87,968 | 55,933 | Δ10,610 | Δ929 |
| Cash flow from investing activities | Δ18,711 | Δ11,733 | Δ14,082 | Δ9,275 | Δ18,646 |
| Cash flow from financing activities | Δ51,318 | Δ62,873 | Δ7,262 | Δ5,792 | 8,294 |

**Revenues by Business (Consolidated)**

(Millions of yen)

| | 72nd term 2009 | 73rd term 2010 | 74th term 2011 | 75th term 2012 | 76th term 2013 |
|---|---|---|---|---|---|
| Construction business | 1,107,435 | 992,097 | 910,646 | 921,188 | 939,100 |
| Development business | 36,580 | 31,701 | 32,627 | 42,206 | 45,929 |
| Others | 31,900 | 31,700 | 33,338 | 34,986 | 35,926 |

- TAISEI : 2011년 이후 순이익이 지속적으로 증가 추세

(Millions of yen, %)

| | 2010.3 | 2011.3 | 2012.3 | 2013.3 | 2014.3 |
|---|---|---|---|---|---|
| Amount of order received | 1,244,439 | 1,254,094 | 1,379,572 | 1,404,406 | 1,645,895 |
| Net sales | 1,441,975 | 1,218,118 | 1,323,503 | 1,416,495 | 1,533,473 |
| Operating income | 35,627 | 36,294 | 36,485 | 35,606 | 53,773 |
| Ordinary income | 27,739 | 24,043 | 30,242 | 35,063 | 56,756 |
| Net income | 21,222 | 10,883 | 1,181 | 20,050 | 32,089 |
| Net assets | 297,179 | 290,598 | 292,601 | 343,300 | 384,166 |
| Total assets | 1,501,290 | 1,395,493 | 1,494,695 | 1,543,094 | 1,599,065 |
| Net assets per share (yen) | 262.15 | 253.94 | 255.60 | 299.84 | 335.42 |
| Net income per share (yen) | 19.74 | 9.58 | 1.04 | 17.60 | 28.17 |
| Operating margin ratio | 2.5 | 3.0 | 2.8 | 2.5 | 3.5 |
| Equity ratio | 19.0 | 20.7 | 19.5 | 22.1 | 23.9 |
| Return of equity | 7.8 | 3.8 | 0.4 | 6.3 | 8.9 |
| Cash flows from operating activities | 16,002 | 118,894 | 105,100 | 73,081 | 138,749 |
| Cash flows from investing activities | 40,871 | (3,902) | (8,095) | (4,703) | 16,028 |
| Cash flows from financing activities | (46,302) | (64,750) | (58,821) | (46,551) | (68,826) |
| Number of employees (person) | 14,461 | 14,039 | 13,776 | 13,569 | 13,599 |
| Interest-bearing debt | 530,746 | 472,032 | 419,248 | 379,072 | 316,493 |
| D/E ratio (times) | 1.7 | 1.5 | 1.3 | 1.0 | 0.8 |
| Research & development | 8,165 | 8,641 | 8,530 | 8,959 | 9,534 |
| Depreciation | 9,171 | 8,520 | 8,002 | 6,865 | 7,407 |
| Capital expenditure(Cash-base) | 6,255 | 5,537 | 6,721 | 6,283 | 12,193 |

■ 주요 제작사별 판매가격조사

- 일본의 경쟁제품(강관)

흑색 가스관 나사없는 50A 고로품(黒ガス管（ねじなし50A高炉品）

| 제조업체명 | 유통가격(천 엔) | | 시장점유율(톤) | 원산지 (수출국) |
|---|---|---|---|---|
| | 2011년 | 2013년 | | |
| NIPPON STEEL & SUMITOMO METAL | 148 | 135 | 24.1% (1105) | 일본 |
| JFE STEEL | | | 13.8% (602) | 일본 |
| MARUICHI KOUKAN | | | 11.6% (504) | 일본 |
| NSPC | | | 10.7% (467) | 일본 |
| NS-KENZAI | | | 6% (260) | 일본 |
| NISSHIN KOUKAN | | | 2.8% (120) | 일본 |
| JFE KOUKAN | | | 2.7% (118) | 일본 |
| JFE STEEL-PIPE | | | 2.4% (104) | 일본 |
| 한국 | 187 | 150 | 참조 2014년(115) | 한국 |

주: 2011년도 기준 시장점유율 및 생산량(2011년도 4,359천톤) (2014년도 현재 통합된 회사는 합산해 산출)

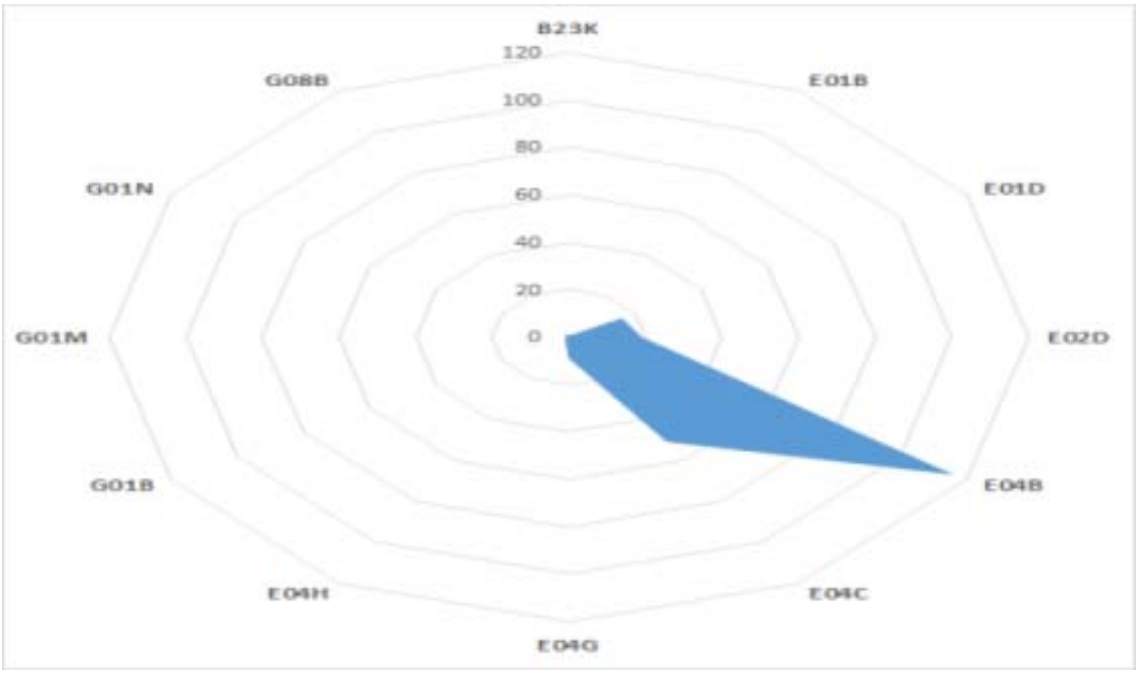
* 한국 수입 가격은 2011년도,2013년도 (수입액/수입량)에 해당년도 평균 환율적용해서 산출

* 적용 환율: 연간평균환율(USD/JPY): 2011년도(79.80), 2013년도(97.59)

### (4) 신사업 확장용 융합기술 발굴

■ 융합기술 발굴 및 신사업 계획

- IPC 국제특허분류 활용 : 폭렬제어형 무용접 콘크리트 충전강관(CFT) 기둥 기술 관련 출원된 유효데이터의 국제특허분류 IPC 현황으로, E04B(건축구조 일반)가 116건으로 해당기술 분야에 가장 많이 출원되고 있었으며, 그 뒤를 이어 E04C(구조요소;건축재료)가 51건으로 나타남. 해당 IPC에 따라 교량, 지하 또는 수중 구조물에 응용할 수 있음

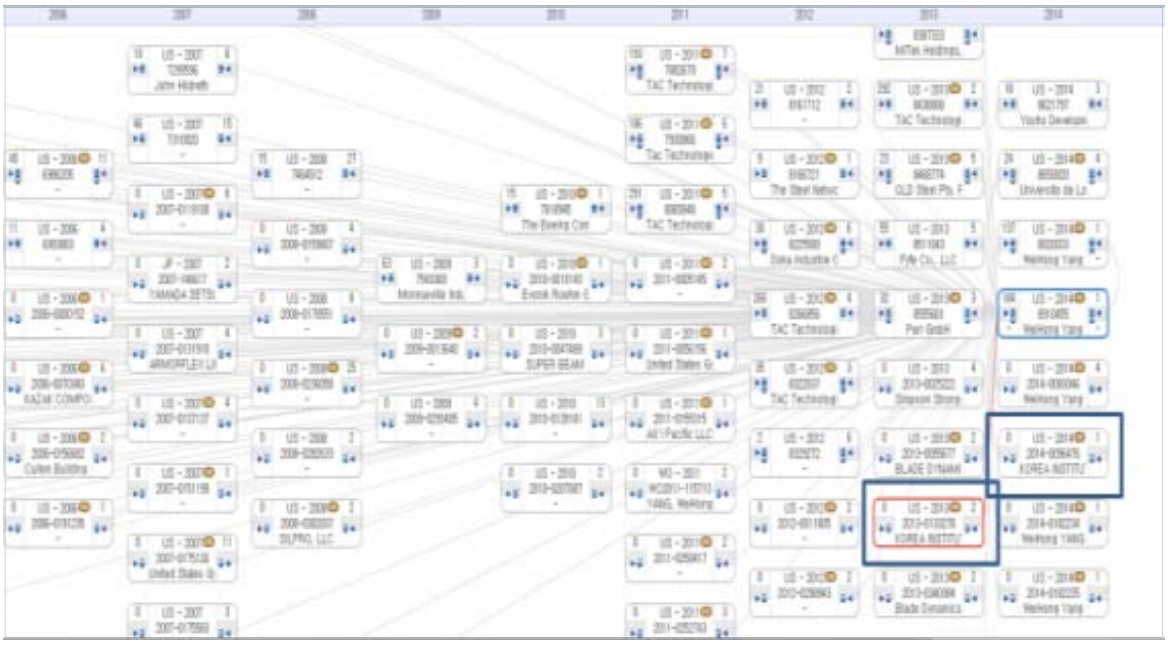


| IPC(Main) | 설 명 | 건수 |
|---|---|---|
| E04B | 건축구조일반; 벽, 예. 칸막이벽; 지붕; 바닥; 천정(天井); 건축물의 절연(絶緣) 또는 기타 보호(保護) | 116 |
| E04C | 구조요소; 건축 재료(교량(橋梁用) E01D; 절연(絶緣) 또는 다른 보호를 위하여 특별히 설계된 것 E04B; 건축 보조구로서 사용되는 요소 E04G; 터널용 E21D">E21D; 광업용 E21; 건축 공학보다도 넓은 적용 범위를 갖는 구조 요소 F16, 특히 F16S">F16S) | 51 |
| E02D | 기초(基礎); 굴착(掘鑿); 축제(築堤)(특히 수공(水工)에 적합한 것 E02B); 지하 또는 수중 구조물 | 19 |
| E01D | 교량(橋梁)(손님의 승강(乘降)을 위한 터미널 빌딩과 항공기 사이에 가설(架設)하는 다리 B64F-001/305)|다리의 해체 | 16 |
| E04G | 비계(飛階); 거푸집; 거푸집 널; 건축용 기구 또는 기타 건축용 보조구 또는 그것들의 사용; 현장에 있어서의 건축 재료의 취급; 현존하는 건축물의 보수, 해체 또는 기타 작업 | 9 |

- 강관의 사용 분야 활용 : 강관은 기계, 해양 플랜트, 건축분야 등에서 다양하게 사용하는데, 본 과제의 CFT 기둥 또한 해당 분야에의 응용을 염두해 볼 수 있음. 현대제철 강관의 다양한 용도 중 다음과 같은 사례를 들 수 있음

| 용도 Applications | 규격 Standard | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | KS/JIS | ASTM/ASME | SAE/AISI | EN/AS/NZS | API | HS(사내규격) |
| 강관용 Hot Rolled Carbon Steel Strip for Pipe & Tubes | HRS1/SPHT1<br>HRS2/SPHT2<br>HRS3/SPHT3<br>HRS4/SPHT4* | | - | - | - | |
| 열교환기용 탄소강관 Carbon Steel Boiler and Heat Exchanger Tubes | STB340<br>STB410<br>STB510* | A178A*<br>A178C*<br>A178D* | | - | - | |
| 일반구조용 탄소강관 Carbon Steel Tubes for General Structural Purposes | STK290<br>STK400<br>STK490<br>STK500<br>STK540*<br>STK590* | | - | - | - | |
| 기계구조용 탄소강관 Carbon Steel Tubes for Machine Structural Purposes | STKM11A<br>STKM12B<br>STKM13A/B<br>STKM15A*<br>STKM16A* | | - | - | - | HPCD290A<br>HPCD340A<br>HPCD410A<br>HPCD440A<br>HPCD470A<br>HPCD510A* |
| 철탑구조용 고장력강관 High Tensile Strength Steel Tubes for Tower Structural Purposes | STKT540<br>STKT590* | | - | - | - | |
| 건축구조용 압연강재 Rolled Steel for Building Structure | SN400B<br>SN490B* | | - | - | - | |
| 건축구조용 탄소강관 Carbon Steel Tubes for Building Structure | STKN400B<br>STKN490B | | - | - | - | |

- 보유특허의 인용관계분석 : 한국건설기술연구원의 미국 출원특허인 US2013-0133278을 인용하여 등록된 US8910455 특허의 인용관계를 살펴보면 다음과 같음. 이들 출원인과 IPC를 응용하여 신사업 발굴 및 융합기술 개발에 이용할 수 있음



## 2. 선행특허조사 및 무효심판자료조사

본 기술은 선행특허 및 무효심판자료 조사 결과 표준화재(KS F 2257, ISO 834)에 노출된 단일 강관이 적용된 무피복 CFT기둥 중에서 하중재하 조건으로 내화성능 시간 3시간을 만족할 수 있는 최초의 부재인 것으로 나타났다. 또한, 어떠한 내화피복 재료를 사용하지 않고 현장에 적용할 수 있기 때문에 기존의 CFT기둥에서 법정 요구 내화성능 확보를 위하여 적용하고 있는 내화피복 재료에서 발생하는 유해가스를 100% 제어할 수 있는 국내·외에서 유일한 기술이다.




[그림 3.28] 선행특허조사결과보고서




[그림 3.29] 무효심판자료조사서

## 3. 특허확보

본 기술은 기술사업화를 위해 2년의 연구기간에 걸쳐 특허출원 3건, 특허등록 2건을 확보하였으며, 그 중 핵심기술 1건에 대해 ㈜픽슨과 기술실시계약을 체결하였다.











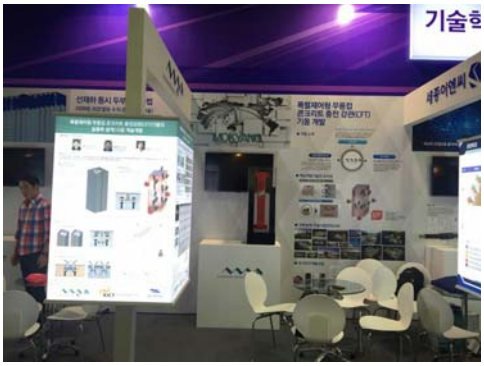





[그림 3.30] 특허출원번호통지서 및 특허증

## 4. 기술홍보

2016 국토교통기술대전을 통하여 개발공법에 대하여 관련 분야의 참가자들에게 기술홍보를 실시하였다. 이번 국토교통기술대전은 국토교통 R&D관계자 및 일반인이 약 1만1000여명이 참석하였으며 총 116개 기관이 참여하였다.



[그림 3.31] 국토교통기술대전 부스



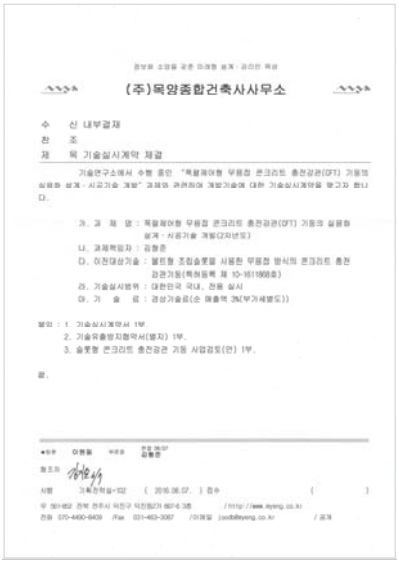
[그림 3.32] 무용접 CFT 기둥 기술설명자료

## 5. 소결

기존 기술의 단점을 극복하고 기술적, 경제적 타당성을 확보하였으나 적용 분야가 제한적이므로 새로운 시장 개척에 애로사항이 있을 것으로 판단된다. 따라서 본 기술의 제한적인 적용분야의 한계를 극복하기 위해 현재 국내·외 시장성 분석을 완료하였으며, 추후 국제 특허 및 학술발표, 기술설명회, 세미나 등의 기술홍보 방안을 적극적으로 활용하여 능동적으로 사업화를 진행할 예정이다.

## 제7절 기술실시계약

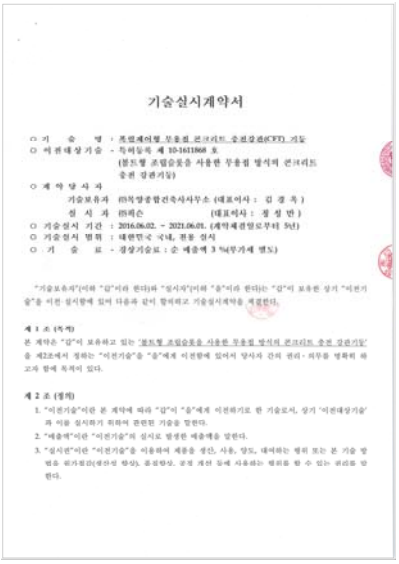
본 연구개발 과제는 기술사업화지원사업의 일환으로써 총 2개년에 걸쳐 기술사업화를 위한 다수의 연구성과를 달성하여 최종적으로 기술상용화를 위한 기술실시계약을 체결하였다. 기술실시계약을 체결함에 있어 핵심기술은 특허 제 10-1611868호 「볼트형 조립슬롯을 사용한 무용접 방식의 콘크리트 충전 강관기둥」으로 5년간의 전용 실시권을 ㈜픽슨에 부여하고 기술실시에 관련된 기술지도 및 기술 교육을 지원한다.



(주)목양종합건축사사무소

수 신 내부결재
참 조
제 목 기술실시계약 체결

[그림 3.33] 기술실시계약 체결공문



기술실시계약서

[그림 3.34] 기술실시계약서

# 제 4장 목표 달성도 및 관련분야 기여도

## 제 1절 연구목표 달성도

### 1. 제안 시 성과계획

| 구분 | 핵심연구성과 (level1) | | 단위 성과 (level2) | | 최종 성과점검기준 | | | | | | 해당 기관 | 예산 (백만) | 정량목표 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | | 질적성과지표 | 목표치 | 측정방법 | 검증방법 | 가중치 | | | |
| 총괄 | A | 폭렬제어형 무용접 콘크리트 충전강관(CFT)기둥의 실용화 설계·시공기술 개발 | A-1 | 콘크리트 충전강관(CFT)의 무용접 기법 및 실용화 기술 개발 | ① | 시공인력 투입물량감소 | 90% | 전문가 활용 평가 및 실무현장 만족도 | 보고서 | 1 | 목양건축 & 광일건축 | 399 | 특허 출원 / 등록 : 1 건<br>현장적용 : 1 건<br>설계·시공지침서 : 1 건 |
| | | | | | ② | 현장적용성 확보 | 100% | 전문가 활용 평가 및 실무현장 만족도 | 보고서 | 1 | | | |
| | | | A-2 | 폭렬제어형 무용접 콘크리트 충전강관(CFT)기둥의 현장적용을 위한 설계·시공지침 구축 | ① | 설계·시공 지침서 작성 | 1건 | 건축구조기준 부합 여부 | 보고서 | 1 | | | |
| | | | A-3 | 대상기술의 설계적용 및 현장활용을 통한 사업화 기반 마련 | ① | 기술실시계약 | 1건 | 계약서제시 | 보고서 | 2 | | 399 | 기술실시계약 : 1 건<br>신기술추진 : 1 건<br>현장적용 : 1 건 |
| | | | A-4 | 건설신기술 추진 | ① | 건설 신기술 추진 | 1건 | 건설신기술 추진 여부 | 신기술신청서 | 2 | | | |
| | B | 폭렬제어형 무용접 콘크리트 충전강관(CFT)기둥의 내화공법 개발 | B-1 | 다공형강관을 적용한 CFT기둥의 구조성능 확보를 위한 수분배출구 형상/갯수/위치 최적화 공법도출 | ① | 요구 구조성능 확보 | 100% | 건축구조기준 부합여부 | 보고서 | 1 | 한국건설기술연구원 | 56 | 시작품제작 : 1 건 |
| | | | B-2 | 폭렬제어형 무용접 콘크리트 충전강관(CFT)기둥의 2시간 내화성능 확보 | ① | 실물내화실험 | 120분 | KS F 2257-1 | 시험성적서 | 2 | | | |
| | | | B-3 | 폭렬제어형 무용접 CFT기둥의 3시간 내화성능 확보 | ① | 실물내화실험 | 180분 | KS F 2257-1 | 시험성적서 | 2 | | 56 | 논문 : 1 건<br>내화설계지침서 : 1 건 |
| | | | B-4 | 대상기술의 내화설계 지침 개발 | ① | 내화설계 지침서작성 | 1건 | 건축구조기준 부합 여부 | 보고서 | 1 | | | |
| | C | 폭렬제어형 무용접 콘크리트 충전강관(CFT)기둥의 구조성능 개선 및 접합부 시스템 개발 | C-1 | 고온에 노출 된 폭렬제어형 무용접 콘크리트 충전강관(CFT)기둥의 수치해석 | ① | 해석신뢰도 | 95% | KS F 2257-1 및 실험결과와 비교 | 보고서 | 2 | 서울시립대학교 | 70 | 논문 : 1 건 |
| | | | C-2 | 폭렬제어형 무용접 콘크리트 충전강관(CFT)기둥의 상온구조실험 | ① | 해석신뢰도 | 95% | 건축구조기준 | 보고서 | 1 | | | |
| | | | | | ② | 요구 구조성능 확보 | 100% | 건축구조기준 | 보고서 | 1 | | | |
| | | | C-3 | 폭렬제어형 무용접 CFT기둥의 보-기둥 접합부 시스템 개발 | ① | 요구 구조성능 확보 | 100% | 건축구조기준 부합여부 | 보고서 | 2 | | 70 | 논문 : 1 건 |
| | | | C-4 | 폭렬제어형 무용접 CFT기둥의 설계반영 및 실험을 통해 도출된 문제점 개선방안도출 | ① | 전문가 검증평가 | 우수 | 건축구조기준 | 보고서 | 1 | | | |
| 계 | | | | | | | | | | 20 | | 1,050 | 특허 출원 / 등록 : 1 건<br>논문 : 3 건<br>설계·시공지침서 : 1 건<br>기술실시계약 : 1 건<br>신기술추진 : 1 건<br>현장적용 : 2 건<br>내화설계지침서 : 1 건<br>시작품제작 : 1 건 |

## 2. 성과달성 현황

| 구분 | 핵심연구성과 (level1) | | 단위 성과 (level2) | | 최종 성과점검기준 | | | | | | | 정량목표 | 달성치 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | | 질적성과지표 | 목표치 | 달성치 | 측정방법 | 검증방법 | 가중치 | | |
| 총괄 | A | 폭렬제어형 무용접 콘크리트 충전강관(CFT)기둥의 실용화 설계·시공기술 개발 | A-1 | 콘크리트 충전강관(CFT)의 무용접 기법 및 실용화 기술 개발 | ① | 시공인력 투입물량감소 | 90% | 90% | 전문가 활용 평가 및 실무현장 만족도 | 보고서 | 5 | 특허 출원 / 등록 : 1 건<br>현장적용 : 1 건<br>설계·시공지침서 : 1 건 | 특허 출원 : 3 건<br>현장적용(설계반영) : 1 건<br>설계·시공매뉴얼 : 1 건<br>원가분석 보고서 : 1 건<br>선행기술조사(신규특허) : 1 건<br>무효성 검토(기존특허) : 1 건 |
| | | | | | ② | 현장적용성 확보 | 100% | 100% | 전문가 활용 평가 및 실무현장 만족도 | 보고서 | 5 | | |
| | | | A-2 | 폭렬제어형 무용접 콘크리트 충전강관(CFT)기둥의 현장적용을 위한 설계·시공지침 구축 | ① | 설계·시공 지침서 작성 | 1건 | 1건 | 건축구조기준 부합 여부 | 보고서 | 5 | | |
| | | | A-3 | 대상기술의 설계적용 및 현장활용을 통한 사업화 기반 마련 | ① | 기술실시계약 | 1건 | 1건 | 계약서제시 | 보고서 | 10 | 기술실시계약 : 1 건<br>신기술추진 : 1 건<br>현장적용 : 1 건 | 특허 등록 : 2 건<br>제품관리 매뉴얼 : 1 건<br>기술실시계약 : 1 건<br>녹색기술인증(평가 중) : 1 건<br>신기술추진(평가 중) : 1 건<br>현장적용(시공완료) : 1 건<br>기술홍보(2016기술대전) : 1 건 |
| | | | A-4 | 건설신기술 추진 | ① | 건설 신기술 추진 | 1건 | 1건 | 건설신기술 추진 여부 | 신기술신청서 | 10 | | |
| | B | 폭렬제어형 무용접 콘크리트 충전강관(CFT)기둥의 내화공법 개발 | B-1 | 다공형강관을 적용한 CFT기둥의 구조성능 확보를 위한 수분배출구 형상/갯수/위치 최적화 공법도출 | ① | 요구 구조성능 확보 | 100% | 100% | 건축구조기준 부합여부 | 보고서 | 10 | 시작품제작 : 1 건 | 시작품제작 : 2 건<br>국가공인 시험성적서 : 2 건 |
| | | | B-2 | 폭렬제어형 무용접 콘크리트 충전강관(CFT)기둥의 2시간 내화성능 확보 | ① | 실물내화실험 | 120분 | 180분 | KS F 2257-1 | 시험성적서 | 10 | | |
| | | | B-3 | 폭렬제어형 무용접 CFT기둥의 3시간 내화성능 확보 | ① | 실물내화실험 | 180분 | 180분 | KS F 2257-1 | 시험성적서 | 10 | 논문 : 1 건<br>내화설계지침서 : 1 건 | 시작품제작 : 2 건<br>논문(국내외 게재) : 3 건<br>국가공인 시험성적서 : 2 건<br>내화설계지침서 : 1 건<br>내화구조 인정(평가 중) : 1 건 |
| | | | B-4 | 대상기술의 내화설계 지침 개발 | ① | 내화설계 지침서작성 | 1건 | 1건 | 건축구조기준 부합 여부 | 보고서 | 5 | | |
| | C | 폭렬제어형 무용접 콘크리트 충전강관(CFT)기둥의 구조성능 개선 및 접합부 시스템 개발 | C-1 | 고온에 노출 된 폭렬제어형 무용접 콘크리트 충전강관(CFT)기둥의 수치해석 | ① | 해석신뢰도 | 95% | 95% | KS F 2257-1 및 실험결과와 비교 | 보고서 | 10 | 논문 : 1 건 | 논문(SCIE급) : 1 건<br>논문(국내외 게재) : 1 건 |
| | | | C-2 | 폭렬제어형 무용접 콘크리트 충전강관(CFT)기둥의 상온구조실험 | ① | 해석신뢰도 | 95% | 95% | 건축구조기준 | 보고서 | 5 | | |
| | | | | | ② | 요구 구조성능 확보 | 100% | 100% | 건축구조기준 | 보고서 | 5 | | |
| | | | C-3 | 폭렬제어형 무용접 CFT기둥의 보-기둥 접합부 시스템 개발 | ① | 요구 구조성능 확보 | 100% | 100% | 건축구조기준 부합여부 | 보고서 | 5 | 논문 : 1 건 | 특허출원 : 1 건<br>논문(SCIE급) : 1 건<br>논문(국내학술) : 2 건<br>시작품제작 : 4 건 |
| | | | C-4 | 폭렬제어형 무용접 CFT기둥의 설계반영 및 실험을 통해 도출된 문제점 개선방안도출 | ① | 전문가 검증평가 | 우수 | 우수 | 건축구조기준 | 보고서 | 5 | | |
| 계 | | | | | | | | | | | 100 | 특허 출원 / 등록 : 1 건<br>논문 : 3 건<br>설계·시공지침서 : 1 건<br>기술실시계약 : 1 건<br>신기술추진 : 1 건<br>현장적용 : 2 건<br>내화설계지침서 : 1 건<br>시작품제작 : 1 건 | 특허 출원 : 4 건 / 특허 등록 : 2 건<br>논문(SCIE급 & 국내외 게재) : 8 건<br>설계·시공매뉴얼 : 1 건<br>제품관리 매뉴얼 : 1 건<br>내화설계지침서 : 1 건<br>원가분석 보고서 : 1 건<br>선행기술조사(신규특허) : 1 건<br>무효성 검토(기존특허) : 1 건<br>기술실시계약 : 1 건<br>녹색기술인증(평가 중) : 1 건<br>신기술추진(평가 중) : 1 건<br>현장적용 : 1 건<br>시작품제작 : 8 건<br>국가공인 시험성적서 : 4 건<br>내화구조 인정(평가 중) : 1 건<br>기술홍보(2016기술대전) : 1 건 |

[별도 증빙자료 준비] 당해연도 성과점검기준표 순서에 따라 증빙자료 각 1부

## 3. 세부 성과내역

### (1) 논문게재 성과

| 게재 연도 | 논문명 | 저자 | | | 학술지명 | Vol. (No.) | 국내외 구분 | SCI 구분 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 주 저자 | 교신 저자 | 공동저자 | | | | |
| 2015 | Flexural Behavior of Prestressed Steel-Concrete Composite Members with Discontinuous Webs | Oh, Jae Yuel | Kim, Kang Su | Lee, Deuck Hang Cho, Sang Hum Kang, Hyun Cho, Hae-Chang | Advances in Materials Science and Engineering | Vol. 2015 | 국외 | SCI(E) |
| 2015 | 화재노출조건에 따른 무피복 각형 CFT기둥의 내화성능평가 | 강현 | | | 한국방재학회 | Vol. 15, No. 3 | 국내 | 국내 등재 |
| 2015 | STRUCTURAL PERFORMANCES OF PRESTRESSED COMPOSITE MEMBERS WITH CORRUGATED WEBS EXPOSED TO FIRE | Kang, Hyun | kim, Kang Su | Lee, Deuck Hang Hwang, Jin Ha Oh, Jae Yuel Kim, Heung Youl | Fire Technology | | 국외 | SCI(E) |
| 2015 | A studdy on the collapse mechanism of high strength concrete columns | 권기석 | | | Mechanics and materials | Vol. 784 | 국외 | 일반 |
| 2015 | Evaluation on Combustion Characteristics of Finishing Materials for Exterior Walls | 권오상 | | | Journal of Mechanics Engineering and Automation | | 국외 | 일반 |
| 2016 | 콘크리트용 부순 골재의 암석 종류별 열적 특성에 관한 실험적 연구 | 조경숙 | | | Journal of the Architectural Institute of Korea Structure & Construction | Vol. 32, No. 4 | 국내 | 국내 등재 |

### (2) 학술대회 발표 성과

| 발표일 | 발표명 | 저자 | 학술대회명 | 국내외 구분 |
|---|---|---|---|---|
| 2014.10 | 지하주차장 구조물의 성능기반 화재거동 해석 | 허인욱 외5인 | 한국콘크리트학회 | 국내 |
| 2014.10 | 화재노출조건에 따른 무피복 각형 CFT기둥의 내화성능 평가 | 강현 외4인 | 한국콘크리트학회 | 국내 |

(3) 특허 성과

| 출원된 특허의 경우 | | | | | 등록된 특허의 경우 | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 출원 연도 | 특허명 | 출원인 | 출원국 | 출원 번호 | 등록 연도 | 특허명 | 등록인 | 등록국 | 등록 번호 |
| 2015 | 볼트형 조립슬롯을 사용한 무용접 방식의 콘크리트 충전 강관기둥 | ㈜목양종합 건축사 사무소 | 대한 민국 | 10-2015 -0060419 | 2016 | 볼트형 조립슬롯을 사용한 무용접 방식의 콘크리트 충전 강관기둥 | ㈜목양종합 건축사 사무소 | 대한 민국 | 10-1611868 |
| 2015 | 다공강판과 거푸집용 강판으로 형성되는 기둥 및 그 시공방법 | ㈜목양종합 건축사 사무소 | 대한 민국 | 10-2015 -0173901 | 2016 | 다공강판과 거푸집용 강판으로 형성되는 기둥 및 그 시공방법 | ㈜목양종합 건축사 사무소 | 대한 민국 | 10-1624603 |
| 2015 | 콘크리트 충전강관(CFT)을 적용한 방수턱 및 그 시공 방법 | ㈜목양종합 건축사 사무소 | 대한 민국 | 10-2015 -0056567 | | | | | |
| 2016 | 경첩형 접합부를 갖는 무용접 CFT기둥 | 서울 시립대학교 산학협력단 | 대한 민국 | 10-2016-0049647 | | | | | |

(4) 기술료 징수 현황(연구개발과제에 참여한 협동연구기관 및 참여기관 포함) **(해당사항 없음)** (단위 : 백만원)

| 기 징수액 | 해당연도 징수액 | 향후 징수액 | 합계 |
|---|---|---|---|
| | | | |

(5) 사업화 매출액**(해당사항 없음)** (단위 : 백만원)

| 사업화명 | 사업화내용 | 사업화 업체 개요 | | | | 기매출액 | 해당연도 매출액 | 매출액 합계 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 업체명 | 대표자 | 종업원수 | 사업화형태 | | | |
| | | | | | | | | |

(6) 인력활용/양성 성과

(가) 인력지원 성과

| 지원 총인원 | 지원 대상 (학위별, 취득자) | | | | 성별 | | 지역별 | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 박사 | 석사 | 학사 | 기타 | 남 | 여 | 수도권 | 대전 | 기타지역 |
| 2 | 1 | 1 | | | 2 | | 2 | | |

(나) 장·단기 연수지원 성과**(해당사항 없음)**

| 장기 (2개월 이상) | | 단기 (2개월 미만) | |
|---|---|---|---|
| 국내 | 국외 | 국내 | 국외 |
| | | | |

(다) 산업기술인력 양성 성과**(해당사항 없음)**

| 프로그램명 | 프로그램 내용 | 교육기관 | 교육 개최회수 | 총 교육시간 | 총 교육인원 |
|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | |

(7) 국제화/협력 성과

(가) 인력교류 성과**(해당사항 없음)**

| 외국 연구자 유치 | | | | 해외 파견 | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 유치기간(월) | 국적 | 학위 | 전공 | 파견기간(월) | 파견국 | 학위 | 전공 |
| | | | | | | | |

(나) 기술무역 성과**(해당사항 없음)** (단위 : 백만원)

| 기술명 | 분야 | 징수액 | 해당연도 징수액 | 향후 예정액 | 계약 업체명 | 계약업체 소속국가 | 수출/수입 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | | | |

(다) 학술회의 개최 성과**(해당사항 없음)**

| 명칭 | 기술분야 | 규모 | | | 개최장소 | 지원금액 (백만원) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 참가국 | 인원 | 기간(일) | | |
| | | | | | | |

(라) 국제협력 기반**(해당사항 없음)**

| MOU 체결 | | | 수요조사 | | | 공동연구 | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 대상국 | 대상기관 | 수집자료 (건) | 대상국 | 과제접수 (건) | 과제도출 (건) | 대상국 | 협약연구비 (백만원) |
| | | | | | | | |

(8) 경제사회 파급효과**(해당사항 없음)**

| 산업지원 성과 (단위 : 건) | | | | 고용창출 성과 (단위 : 명) | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 기술지도 | 기술이전 | 기술평가 | 합계 | 창업 | 사업체 확장 | 합계 |
| | | | | | | |

마. 연구비 집행실적

(단위 : 천원)

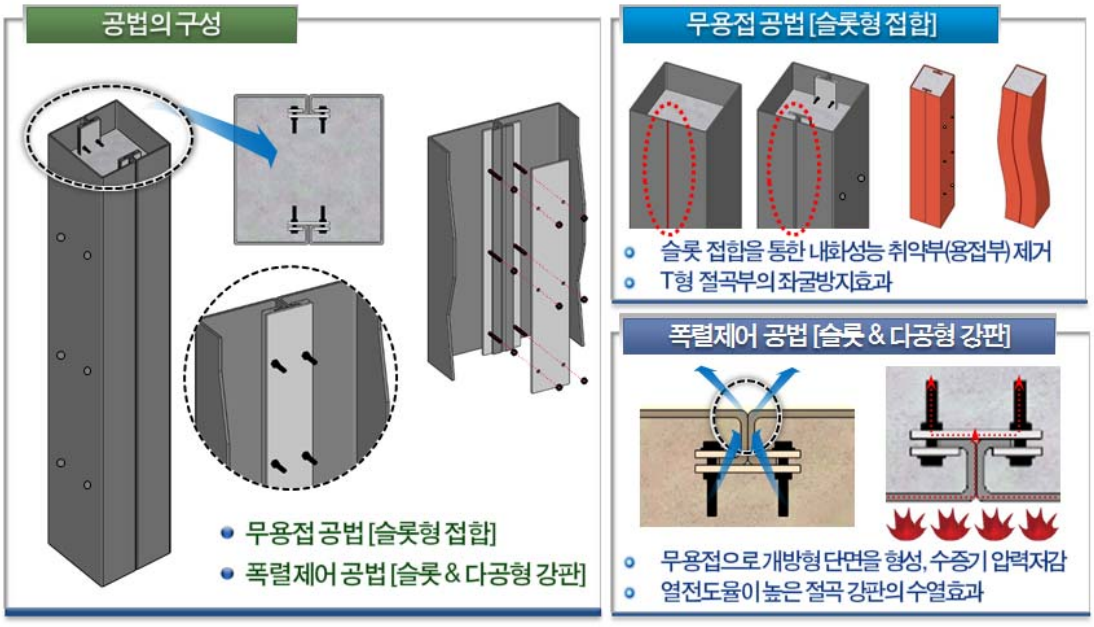
| 항목 | 비목 \ 금액 | | 계획금액 | 사용액 | | | | | 잔액 | 비고 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | ㈜목양 | 서울시립대 | KICT | ㈜광일 | 합계 | | |
| 직접비 | 인건비 | 미지급용 | 7,200 | 0 | 7,200 | 0 | 0 | 7,200 | 0 | |
| | | 지급용 | 313,320 | 237,540 | 0 | 26,280 | 49,500 | 313,320 | 0 | |
| | 학생인건비 | | 41,460 | 0 | 41,460 | 0 | 0 | 41,460 | 0 | |
| | 소 계 | | 354,780 | 237,540 | 41,460 | 26,280 | 49,500 | 354,780 | 0 | |
| | 연구장비、재료비 | 현금 | 43,240 | 17,550 | - | 9,340 | 8,529 | 35,419 | 0 | |
| | | 현물 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| | 연구활동비 | | 9,175 | 13,918 | 500 | 838 | 2,905 | 18,161 | 0 | |
| | 연구과제추진비 | | 19,342 | 2,946 | 6,690 | 4,361 | 4,634 | 18,631 | 0 | |
| | 연구수당 | | 53,921 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 53,467 | |
| | 소 계 | | 125,678 | 34,414 | 7,190 | 14,539 | 16,067 | 72,210 | 53,467 | |
| | 위탁연구개발비 | | 20,000 | 20,000 | 0 | 0 | 0 | 20,000 | 0 | |
| 간접비 | | | 24,542 | 2,975 | 11,618 | 9,925 | 0 | 24,518 | 25 | |
| 연구사업비 총액 | | | 525,000 | 294,929 | 60,268 | 50,744 | 65,567 | 471,508 | 53,492 | |

# 제 2절 관련분야 기여도

## 1. 기술적 측면

용접공정을 제거함으로써 용접열에 의한 열변형 및 강관의 취성화를 막을 수 있어 상온 및 고온에서의 취약부 발생이 줄어들게 되고 용접공의 숙련도에 따라 발생할 수 밖에 없는 열변형에 대한 제어가 가능해진다. 또한, 다공형 강판을 적용함으로서 콘크리트 부재의 화재 노출 시 빈번하게 발생하여 급격한 성능저하를 유발하는 폭렬현상을 방지할 수 있어 우수한 내화성능을 확보할 수 있는 공법으로서 구조부재의 내화성능 요구조건에 부합할 수 있다.

다양한 변수를 고려한 실물실험을 통해 부재의 성능검증과 건설현장 적용을 통해 현장 적용 시 발생하는 애로사항을 파악하여 개발 부재에 최적화 된 시공·설계지침서를 마련하는 등 개발 부재에 대한 이론적·해석적 연구를 통해 건설신기술 추진을 통해 개발 부재의 실용화를 위한 발판을 마련하였다. 따라서 기존 CFT기둥의 현장적용 시 우려되었던 부재의 내화성능 확보문제를 추가적인 공정 및 시공비 투입 없이 해소할 수 있다.




[그림 4.1] 무용접 CFT기둥의 핵심기술

## 2. 사회·경제적 측면

이 연구를 통하여 개발된 무용접 CFT기둥의 경우 부재의 자체성능 만으로 법정 요구내화성능 3시간을 확보할 수 있는 부재로서, 기존 CFT기둥 공법에서 요구내화성능 확보를 위하여 실시되는 추가적인 내화피복 공정을 생략할 수 있어 공기단축 및 공사비 절감효과를 확보할 수 있다. 또한, 용접접합에

의한 용접결함 및 화재노출 시 부재의 취약부 발생을 최소화 하고 폭렬제어공법을 통한 내부응력 감소효과를 통하여 기존 CFT기둥 대비 작은 단면을 구현해 낼 수 있는 구조로써 추가적인 공사비 절감 효과가 있다. 이와 같이 기존 CFT공법 대비 단순한 공정 및 최소단면 구현을 통해 CFT기둥 시장의 확대로 이어질 수 있으며, 세계 최초의 무용접 공법으로 CFT기둥의 해외 시장개척이 가능하다.

### 3. 환경적 측면

기존 CFT기둥에서 요구내화성능 확보를 위하여 실시하는 내화피복은 심미적요인 및 효율적인 공간의 활용 등의 근거에 따라 일반적으로 내화 도료를 적용하게 된다. 내화도료가 적용된 부재의 경우 화재 발생 시 도료의 팽창에 따라 공기단열층이 생성되어 효과적인 단열효과를 얻을 수 있다는 장점을 갖게 된다. 다만, 내화도료의 경우 화재 노출 시 CO 및 $CO_2$ 등의 유해가스를 함께 배출하게 되어 인명피해를 크게 증가시킬 수 있다는 문제점이 있다.

화재 시 발생하는 인명피해는 대부분 고온의 복사온도 및 화염에 의한 피해보다는 유해가스와 연소를 통해 발생하는 미세분진 등에 의하여 시야확보 불가 및 질식에 의하여 발생하게 된다. 따라서 무용접 CFT기둥의 경우 앞서 소개한 바와 같이 부재의 자체성능만으로 법정 요구내화성능 최고 수준인 3시간을 확보할 수 있는 공법으로서 내화도료와 같은 추가적인 내화피복을 적용하지 않기 때문에 화재 발생 시 유해가스에 의한 인명피해를 최소화 할 수 있다.

# 제 5장 연구개발성과의 활용계획

## A. 과제 일반정보

| 사 업 명 | 국토교통기술사업화 지원사업 | 과학기술표준분류 | 건설/교통 |
|---|---|---|---|
| 과 제 유 형 | □기초 □응용 ■개발 | 실용화대상여부 | ■실용화 □비실용화 |
| 연구과제명 | 폭렬제어형 무용접 콘크리트 충전강관(CFT)기둥의 실용화 설계·시공기술 개발 | 과 제 구 분 | ■일 반 □연구단 □사업단 |
| 주관연구기관 | ㈜목양종합건축사사무소 | 연구책임자 | 김형준 |
| 세부과제명 | - | | |
| 협동연구기관 | - | 연구책임자 | - |
| 총 연 구 기 간 | 2014년 06월 02일 ~ 2016년 06월 01일 (24개월) | | |
| 총 연구개발비 (단위 : 천원) | 정부출연금 | 민간부담금 | 합계 |
| | 630,000 | 420,000 | 1,050,000 |
| 공동연구기관 | 한국건설기술연구원, 서울시립대학교 산학협력단, ㈜광일CM 종합건축사사무소 | | |
| 참 여 기 업 | - | | |

| 구 분 | 성과활용책임자 | 성과활용실무자 |
|---|---|---|
| 성 명 | 김형준 | 박경훈 |
| 소속기관/부서 | ㈜목양종합건축사사무소/기술연구소 | ㈜목양종합건축사사무소/기술연구소 |
| E-mail | kimfestival@myeng.co.kr | khpark@myeng.co.kr |
| 연락처 | 010-3716-1742 | 010-3402-6332 |

국토교통부소관 연구개발사업 운영규정 제35조(연구개발결과의 보고) 제2항에 의거 연구개발결과 활용계획서를 제출합니다.

붙임 1. 성과총람 원고 1부.

2. 기술소개자료 각 1부(기술별).

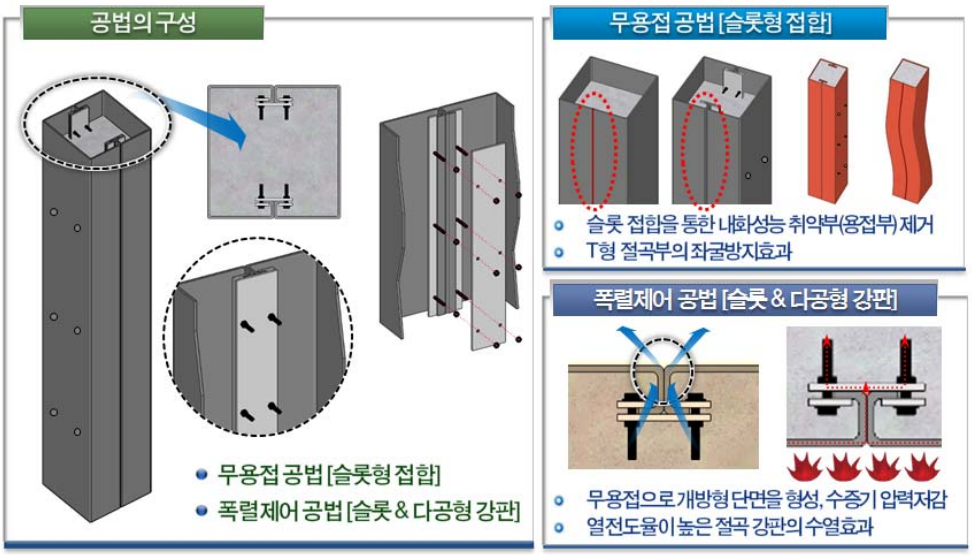
2016년 06월 26일

주관 연구기관장 : 김 경 옥 (직인)

## B. 요소기술 정보

### □ 요소기술 총괄

| 과제명<br>(세부과제명) | 해당 기관명 | 핵심연구성과 | 요소기술* | 정부<br>출연금<br>(백만원) | 기술실시계약<br>대상여부** | 비<br>고 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 폭렬제어형 무용접 콘크리트 충전강관(CFT)기둥의 실용화 설계·시공 기술개발 | ㈜목양 KICT 서울시립대 ㈜광일 | 슬롯형 무용접 CFT기둥 내화공법 [무피복/3시간] | 1-가. 화재 시 취성적 거동을 방지 할 수 있는 슬롯접합을 통한 무용접 CFT기둥의 내화성능확보 공법 | 630 | 대상 | |
| 합 계 | | | | 630 | | |

| 구 분 | 1-가 |
|---|---|
| 요소기술명 | 슬롯형 무용접 CFT기둥 [무피복/3시간] |
| 기술개요 | 기존 CFT기둥의 취약점인 강관용접부의 불량 및 화재 시 취성적인 파괴거동을 방지 하기위하여 슬롯형 접합방식을 도입한 시공성이 개선된 무용접 CFT기둥의 내화성능 확보 공법<br>  |
| 관련 키워드 | 슬롯, 무용접, 무피복, CFT기둥, 내화성능 |
| 기술 분류 | EI0402 |
| 결과물 유형* | ■공법/기법 □장비/장치 □재료/자재 □SW □시스템 □기준/지침 □기타 |
| 기술수명주기** | □기술도입기 ■기술성장기 □기술성숙기 □기술쇠퇴기 |

## C. 성과활용 네트워크 정보

| 요소기술 구분 | 1-가 | 요소기술명 | 슬롯형 무용접 CFT기둥 [무피복/3시간] |
|---|---|---|---|
| 구 분 | | 주체명 | |
| 연구개발결과 시험·검증기관 | | 한국건설기술연구원(내화구조인정) | |
| 연구개발결과 수요기업 | | ㈜픽슨 | |
| 연구개발결과 현장적용 기관·업체 | | ㈜광일CM 종합건축사사무소 | |
| 연구개발결과 추가 R&D(사업비) 투자·자문 기관 | | ㈜목양종합건축사사무소 | |

## D. 성과 정보

### 1. 특허등록

| No. | 요소기술 구분 | 특허명칭 | 등록번호 | 등록일 | 출원인 (등록권리자) |
|---|---|---|---|---|---|
| A-1 | 1-가 | 볼트형 조립슬롯을 사용한 무용접 방식의 콘크리트 충전 강관기둥 | 10- 1611868 | 2016.04.06 | ㈜목양종합건축사사무소 |
| A-2 | | 다공강판과 거푸집용 강판으로 형성되는 기둥 및 그 시공방법 | 10- 1624603 | 2016.05.20 | ㈜목양종합건축사사무소 |
| A-3 | | 볼트형 조립슬롯을 사용한 무용접 방식의 콘크리트 충전 강관기둥 | 10-2015 -0060419 | | ㈜목양종합건축사사무소 |
| A-4 | | 다공강판과 거푸집용 강판으로 형성되는 기둥 및 그 시공방법 | 10-2015 -0173901 | | ㈜목양종합건축사사무소 |
| A-5 | | 콘크리트 충전강관(CFT)을 적용한 방수턱 및 그 시공 방법 | 10-2015 -0056567 | | ㈜목양종합건축사사무소 |
| A-6 | | 경첩형 접합부를 갖는 무용접 CFT기둥 | 10-2016-0049647 | | 서울 시립대학교 산학협력단 |

## 2. 학술지 게재

| No. | 요소기술 구분 | SCI/ 일반 | 논문명 | 학술지명 | ISBN ISSN | 주저자명 | Vol. (No) | 시작 페이지 | 끝 페이지 | 게재 일자 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| B-1 | 1-가 | SCI(E) | Flexural Behavior of Prestressed Steel-Concrete Composite Members with Discontinuous Webs | Advances in Materials Science and Engineering | | Oh, Jae Yuel | Vol. 2015 | 13 | 27 | 2015.05 |
| B-2 | | 국내 등재 | 화재노출조건에 따른 무피복 각형 CFT기둥의 내화성능평가 | 한국방재학회 | 1738-2424 | 강현 | Vol. 15, No. 3 | 155 | 160 | 2015.06 |
| B-3 | | SCI(E) | STRUCTURAL PERFORMANCES OF PRESTRESSED COMPOSITE MEMBERS WITH CORRUGATED WEBS EXPOSED TO FIRE | Fire Technology | | Kang, Hyun | | | | 2015.07 |
| B-4 | | 국제 일반 | A studdy on the collapse mechanism of high strength concrete columns | Mechanics and materials | | 권기석 | Vol. 784 | 385 | 390 | 2015.04 |
| B-5 | | 국제 일반 | Evaluation on Combustion Characteristics of Finishing Materials for Exterior Walls | Journal of Mechanics Engineering and Automation | | 권오상 | | | | 2015.08 |
| B-6 | | 국내 등재 | 콘크리트용 부순 골재의 암석 종류별 열적 특성에 관한 실험적 연구 | Journal of the Architectural Institute of Korea Structure & Construction | 1229-6163 | 조경숙 | Vol. 32, No. 4 | 31 | 39 | 2016.04 |
| B-7 | | 국내 학술 | 지하주차장 구조물의 성능기반 화재거동 해석 | 한국콘크리트 학회 | 1229-5515 | 허인욱 | Vol. 26, No. 2 | 161 | 162 | 2014.09 |
| B-8 | | 국내 학술 | 화재노출면에 따른 각형 CFT기둥의 내화성능에 대한 해석적 연구 | 한국콘크리트 학회 | 1229-5515 | 강현 | Vol. 26, No. 2 | 291 | 292 | 2015.09 |

## 3. 소프트웨어 등록 (해당사항 없음)

| No. | 요소기술 구분 | SW명칭 | 창작일 | 저작자명 | 등록일 | 등록번호 | 저작권자명 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| E-1 | | | | | | | |

## 4. 신기술 지정

| No. | 요소기술 구분 | 명칭 | 출원일 | 고시일 | 보호기간 | 지정번호 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| F-1 | 1-가 | 슬롯접합을 사용한 무용접 CFT 기둥의 무피복 내화공법 | 2016.06.21. | | | 2037(접수번호) |

## 5. 시제품 제작

| No. | 요소기술 구분 | 시제품명 | 출시/제작일 | 제작업체명 | 설치장소 | 이용분야 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| C-1 | 1-가 | 슬롯형 CFT 기둥(6T)(300×300) | 2015.04.20 | ㈜토탈피씨산업 | 포항산업과학연구원 | 중심축압축 평가 |
| C-2 | | 슬롯형 CFT 기둥(9T)(300×300) | 2015.04.20 | | | |
| C-3 | | 슬롯형 CFT 기둥(6T)(300×300) | 2016.02.08 | | | 편심압축 평가 |
| C-4 | | 슬롯형 CFT 기둥(9T)(300×300) | 2016.02.08 | | | |
| C-5 | | 용접형 CFT 기둥(6T)(500×500) | 2015.04.20 | | 한국건설기술연구원 화재안전연구소 | 내화성능 평가 |
| C-6 | | 슬롯형 CFT 기둥(6T)(500×500) | 2015.04.20 | | | |
| C-7 | | 용접형 CFT 기둥(9T)(500×500) | 2016.02.08 | | | |
| C-8 | | 슬롯형 CFT 기둥(9T)(500×500) | 2016.02.08 | | | |

## 6. 현장시험*

| No. | 요소기술 구분 | 현장시험명 | 시험일 | 시험장소 | 주요내용 |
|---|---|---|---|---|---|
| D-1 | 1-가 | CFT기둥 구조성능평가 | 2015.12.02 | 포항산업과학연구원 | 슬롯형 CFT 기둥(6T)(300×300) |
| D-2 | | CFT기둥 구조성능평가 | 2015.12.02 | | 슬롯형 CFT 기둥(9T)(300×300) |
| D-3 | | CFT기둥 구조성능평가 | 2016.05.19 | | 슬롯형 CFT 기둥(6T)(300×300) |
| D-4 | | CFT기둥 구조성능평가 | 2016.05.20 | | 슬롯형 CFT 기둥(9T)(300×300) |
| D-5 | | CFT기둥 내화성능평가 | 2015.05.18 | 한국건설기술연구원 화재안전연구소 | 용접형 CFT 기둥(6T)(500×500) |
| D-6 | | CFT기둥 내화성능평가 | 2015.05.18 | | 슬롯형 CFT 기둥(6T)(500×500) |
| D-7 | | CFT기둥 내화성능평가 | 2016.03.07 | | 용접형 CFT 기둥(9T)(500×500) |
| D-8 | | CFT기둥 내화성능평가 | 2016.03.08 | | 슬롯형 CFT 기둥(9T)(500×500) |

* 현장시험: 개발기술의 보완이나 검증을 위하여 실험현장에 최초로 시험·적용하는 행위

## 7. 표준/인증 (해당사항 없음)

| No. | 요소기술 구분 | 인증번호 (규격번호) | 인증명 | 취득일 | 취득기관 | 관리기관 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| K-1 | | | | | | |

## 8. 정책채택 (해당사항 없음)

| No. | 요소기술 구분 | 구 분 | 정책명 | 관련기관 (담당부서) | 시행일시 | 채택내용 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| L-1 | | | | | | |

## 9. 법령반영 (해당사항 없음)

| No. | 요소기술 구분 | 구분 | 활용구분 (신규/개선) | 명 칭 | 해당조항 | 시행일시 | 관리부처 | 제정/개선내용 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| M-1 | | | | | | | | |

## 10. 설계기준, 시방서, 지침에 반영

| No. | 요소기술 구분 | 구 분 (설계기준/시방서/지침) | 활용구분 (신규/개선) | 설계기준/시방서/지침 명칭 | 반영일시 | 반영내용 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| J-1 | 1-가 | 설계·시공 매뉴얼 | 신규 | 슬롯형 접합부가 도입된 CFT기둥의 설계시공 매뉴얼 | 20150512 | 신규작성 |
| J-2 | | 내화설계매뉴얼 | 신규 | 슬롯형 접합부가 도입된 CFT기둥의 내화설계 매뉴얼 | 20160509 | 신규작성 |
| J-2 | | 제품 품질관리 매뉴얼 | 신규 | 슬롯형 접합부가 도입된 CFT기둥의 제품 품질관리 매뉴얼 | 20160523 | 신규작성 |

## 11. 기술실시계약

| No. | 요소기술 구분 | 계약명 | 실시기업명 | 계약체결일 | 기술사용 시작일 | 기술사용 종료일 | 징수일자 | 징수금액 (천원) | 계약 유형 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| G-1 | 1-가 | 기술실시 계약 | ㈜픽슨 | 20160602 | 20160602 | 20210601 | 20160602 | 경상기술료 순매출액 3% | 전용 실시 |

## 12. 사업화/제품화

| No. | 요소기술 구분 | 사업화명 | 사업화내용 | 업체명 | 사업자 등록번호 | 매출액(천원) | 매출발생년도 | 고용실적(명) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| H-1 | | | | | | | | |

## 13. 현장적용(시공)**

| No. | 요소기술 구분 | 발주기관명 | 시공업체명 | 적용현장명 | 공사시작일 | 공사종료일 | 공사금액(천원)*** |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| I-1 | 1-가 | ㈜목양종합 건축사사무소 | ㈜광일CM | 진도목양하우스 신축공사 | 20150701 | 20160630 | 190,000 |

** 현장적용(시공): 사업화주체(기업)가 개발기술을 실제 공사현장(수주)에 적용하여 매출이 발생하는 경우
***공사금액: 당해 기술이 적용된 공사의 총공사금액

## E. 성과활용 정보

| 구분 | 1-가 | 요소기술명 | 슬롯형 무용접 CFT기둥 [무피복/3시간] |
|---|---|---|---|

※ 본 보고서에서 사용하는 “성과의 활용”이란 용어는 아래와 같은 의미를 가지고 있습니다.

“국토교통 R&D 성과의 활용“ 이란?

국토교통 R&D 성과가 산업적 활용을 통해 부가가치를 창출하거나 공공적 활용을 통해 공익에 기여하는 경우에 대해 <활용되었다>고 판단합니다. 본 조사에서는 사업화/기업화에 의한 제품의 매출발생, 입찰 및 발주 절차를 거친 공법 등의 실제 공사 현장적용을 성과 활용으로 분류하고 있습니다. 다만 R&D의 목적이 법/기준/지침 마련인 경우, 법/기준/지침의 반영을 성과 활용으로 분류합니다.

1. 위 내용을 고려하였을 때 현재시점(R&D 종료)에서 귀 기관의 R&D 결과물은 그 성과가 활용되었습니까? ( 1 )

1. 예, 활용되었습니다. 2. 아니오, 활용되지 않았습니다.

2. 귀 기관이 수행한 건설교통 R&D 사업의 종료 후, 결과물이 활용되기까지 거쳐야 하는 프로세스를 <보기>와 같은 단계로 정의하였습니다. 귀 기관의 R&D 결과물의 활용프로세스 상 현재 단계를 표시하여 주십시오.

<보기> R&D사업 종료 후 성과 활용에 이르는 단계

| 단계 | 단 계 명(R&D 종료시점) | 단 계 정 의 |
|---|---|---|
| Ⅰ | 기술 개발 단계<br>□완료 | 국가 R&D 사업을 통해 연구개발이 완료된 단계 |
| Ⅱ | 기술 검증·보완 단계<br>□준비 □진행중 □완료 | 시제품 제작, 현장시험적용 등을 통해 기술을 검증하고 보완하여 기술적 완성도를 높이는 단계 |
| Ⅲ | 실용화 추진 단계(마케팅)<br>■준비 □진행중 | 제품판매 및 공사수주를 위한 마케팅(제안·홍보·입찰 등) 단계 |
| Ⅳ | 시장수용 단계<br>□초기발생 □지속발생 | 제품 판매나 공사 수주를 통해 실제 매출이 발생하는 단계 |

3. 위 2에서 Ⅰ~Ⅲ단계라고 응답한 경우, R&D 결과물을 활용하기 위해 지속적인 활동을 진행하실 예정입니까?( 1 )

1. 예, 계속 활용을 추진할 예정입니다. 2. 아니오, 활용추진을 중단하였습니다.

4. 귀 기관이 위 2번에서 응답한 단계까지 수행한 주요 활동내용을 구체적으로 설명해 주십시오.

※ 만약 귀 기관이 위 2번에서 Ⅲ단계라고 응답한 경우, Ⅰ단계, Ⅱ단계, Ⅲ단계의 주요 활동내용(주체, 시기, 산출물이나 공사명 등을 구체적으로 기입)을 작성해 주십시오.

※ 수행한 주요 활동내용을 기재하시고 B. 성과 및 활용정보에서 기재한 활용성과 번호를 함께 기재해 주십시오.

| 단계 | 단계명 | 주요 활동내용 |
|---|---|---|
| Ⅰ | 기술 개발 단계 | - 대상공법인 슬롯형 CFT기둥 특허 및 이와 연계된 다공형 강판기둥 특허를 확보(A-1~6)<br>- SCI급 학술지에 관련 논문을 2편 게재하였으며, 이외 국내 학술지에도 다수의 논문을 게재하여 학술적 검증을 완료함.(B-1~8) |
| Ⅱ | 기술 검증·보완 단계 | - 시제품 제작을 통한 시공성 및 경제성 검토(C-1~8)<br>- 구조적 성능과 무피복 3시간 내화성능을 확보 검증을 위해 현장실험(실물) 실시(D-1~8)<br>- 구조적 성능과 무피복 3시간 내화성능을 확보하고 ㈜광일CM과 함께 현장적용 진행(I-1) |
| Ⅲ | 실용화 추진 단계 | - 기술실시계약(G-1)을 통한 기술 실용화 추진<br>- 기술 실용화를 위한 설계, 시공, 내화, 품질관리 매뉴얼 작성(J-1~3) |
| Ⅳ | 시장 수용 단계 | - |

## F. 성과활용 계획

| 구분 | 1-가 | 요소기술명 | 슬롯형 무용접 CFT기둥 [무피복/3시간] |
|---|---|---|---|

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

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

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

| 단계 | 단계명 | 주요 활동내용 | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | 주체* | 성과물**/개수 | 시기 | 내용 |
| Ⅰ | 기술 개발 단계 | - | - | R&D종료시점 | R&D 기간 내 완료 |
| Ⅱ | 기술 검증·보완 단계 | ㈜목양, KICT, UOS, ㈜픽슨 | 내화구조인정/1건<br>녹색기술인증/1건<br>건설신기술/1건 | ~종료후 1년 | 내화구조인정 평가 중<br>녹색기술인증 평가 중<br>건설신기술 평가 중 |
| Ⅲ | 실용화 추진 단계 | ㈜목양<br>㈜픽슨 | 사업화·제품화/1개 | ~종료후 2년 | 개발공법 기술이전 완료<br>특수건축물 입찰 추진 |
| Ⅳ | 시장 수용 단계 | ㈜픽슨 | 현장적용/2회 | ~종료후 3년 | 국내·외 초고층 건축물 현장적용 |

* 주체: 연구주관기관(연구책임자)과 함께 Co-Work을 진행하는 기업/기관명

** 성과물: 각 단계별 성과활용 과정에서 발생한 성과물(예: 시험적용, 시제품, 현장적용 등)

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

1, 예, 필요합니다. 2. 아니오, 필요하지 않습니다.

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

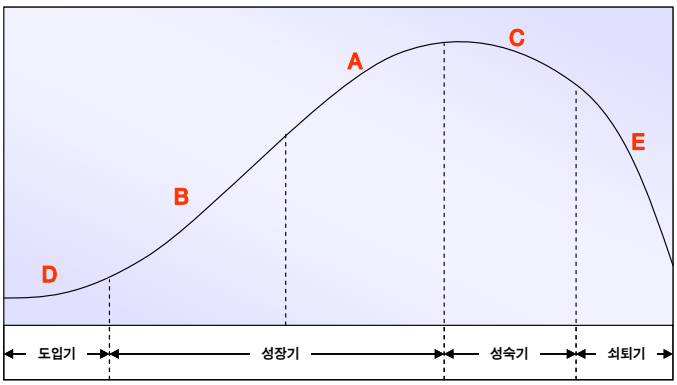
| 구 분<br>(설계기준/시방서/지침) | 활용구분<br>(신규/개선) | 내용 |
|---|---|---|
| | | |

# 제 6장 연구과정에서 수집한 해외 과학기술 정보

## 제1절 관련기술 수준 및 동향

### 1. 관련기술 수준

가. 기술 수명주기




[그림 6.1] CFT기둥의 기술 수명주기

- 수명주기상 위치 : ( B )
- 선택근거

대상기술의 근거가 되는 용접방식을 이용한 CFT기둥은 이미 국내외에서 개발되어 일부 현장에 적용되고 있는 실정이다. 하지만 용접부의 취성파괴 현상과 고강도 충전콘크리트의 폭렬 현상으로 인해 개선되어야 할 부분이 있는 것이 현실이다. 이에 본 대상기술의 경우 기술이 새로이 도입되는 단계를 지나 애로기술을 파악하고 해결해야하는 단계이므로 성장기에 해당

나. 현재 기술 수준

(1) 한국

(가) 한국의 구조설계기술 현황

CFT는 이전에도 일부학자들에 의해 국내에 소개된 적이 있으나, 1990년대에 들어서면서 본격적인 연구가 이루어지기 시작했으며, 현재까지도 활발한 연구가 진행되고 있다. 특히 1990년대 중반 대기업을 중심으로 고층건물 구조시스템에 대한 관심증대와 건설계획 등의 수립으로 매우 활성화되었다. 그러나, 발표된 CFT관련 논문의 주제별 분포가 대부분 기둥이나 접합부에 편중되고 아직 선진외국에 비해 양적이 측면이나 다양성에서 다소 부족함을 보여주고 있다.

대기업이 주도한 기술개발연구로서는 1992년 삼성건설 등의 “합성강관구조의 접합부에 관한 연구”를 시작으로 1994년에는 대한주택공사의 주관하에 8개 기업이 공동으로 진행한 “철골조 초고층 아파트 시스템 개발(1,2,3)”에서 CFT의 적용기술을 연구하였고, 이후 ”콘크리트충전 각형강관 구조의 내진안전성 확보를 위한 접합부 성능개발(1995~1997, 대림산업), “콘크리트충전 각형강관 기둥의 실용화 연구

(1997~1999, 현대건설), “CFT 장기거동특성 연구(1998~2000, 삼성건설)”, “초고층 철골복합구조의 합성강관(CFT) 충전기술 및 재료개발(2000~2001, 대림산업)” 등의 연구가 각 기업의 독자기술 개발 및 보유의 차원에서 진행되었다.

한편, 민간연구소로서 (재)포항산업과학연구원 강구조연구소는 개별적인 연구결과의 축적보다는 실제 건물에의 설계적용이 CFT의 발전에 더욱 중요할 수 있음을 인식하고 “콘크리트충전 강관구조(CFT) 설계기준에 관한 연구(1998~2000)”를 한국강구조학회와 공동으로 진행하였다. 또한 강구조학회는 2003년 “콘크리트충전 강관구조 설계 및 시공지침”을 발간, 기술강습세미나등을 개최하였으나 실제 적용에 어려움이 많아 2004년 “CFT구조 설계 및 시공매뉴얼”까지 발간함으로 CFT구조의 현장 적용에 대한 활용도를 높이는 계기를 마련하였다.

(나) 한국의 구조설계기법

CFT의 허용휨응력도는 콘크리트의 휨저항을 무시하고 강관부분만을 대상으로 하여 산정한다. CFT 기둥이 폐단면을 이루어 비틀림에 대해 특별한 고려가 필요치 않고, 복잡한 계산이 요구되는 콘크리트의 압축측 기여분을 무시하는 것 등을 고려하여, 허용휨응력도를 Fb(=0.75Fy)로 규정하고 있다. CFT의 허용전단응력도는 강관만이 전단력에 저항하는 것으로 가정하여 AISC-ASD의 표현대로 Fs(=0.4Fy)로 제안하고 있다.

휨과 압축력을 받는 부재는 압축재 설계부분에서 산정된 허용압축응력도와 모멘트가 조합되는 내력상관식을 만족하도록 되어 있다. [표 6.1]과같이 합성단면임을 고려하여 휨과 압축력의 관계를 2차함수로 설정하여 과다설계를 방지하고자 한 것은 SRC기준과 같은 개념이며, 미국의 AISC-SSRC(Structural Stability Research Center)의 연구에 근거를 두고 있다. 또한 AISC-ASD에서 고려된 각 방향의 모멘트확대계수를 도입한 것도 SRC기준과 마찬가지다.

[표 6.1] 한국의 CFT 관련 설계기준 조항

| 적용 | CFT구조 설계 및 시공매뉴얼 |
|---|---|
| 폭두께비 | $b/t \le \sqrt{3E_s/f_y}$ (각형 CFT)<br>$h/t \le \sqrt{8E_s/f_y}$ (원형 CFT) |
| 압축재<br>허용압축응력도 | $F_c = \dfrac{\left[1-\frac{1}{2}\left(\frac{KL}{r_m C_c}\right)^2\right]F_{ym}}{\frac{5}{3}+\frac{3}{8}\left(\frac{KL}{r_m C_c}\right)-\frac{1}{8}\left(\frac{KL}{r_m C_c}\right)^3}$ $\left(\frac{KL}{r_m} \le C_c\right)$일때<br>$F_c = \dfrac{12\pi^2 E_m}{23\left(\frac{KL}{r_m}\right)^2}$ $\left(\frac{KL}{r_m} \le C_c\right)$일때 |
| 힘과 압축력을<br>받는 CFT 부재의<br>내력상관식 | $\left(\frac{f_c}{F_c}\right)^2 + \frac{C_{mx}}{\left(1-\frac{f_c}{F'_{ex}}\right)}\cdot\frac{f_{bx}}{F_{bx}} + \frac{C_{my}}{\left(1-\frac{f_c}{F'_{ey}}\right)}\cdot\frac{f_{by}}{F_{by}} \le 1.0$ |
| 비고 | - 압축재의 설계지침은 미국의 AISC-ASD의 설계식을 기본개념으로함.<br>- 폭두께비/지름두께비 제한식은 AISC-LRFD, ACI, BS5400<br>- 기준식과 동일하게 적용 |

(2) 일본

(가) 일본의 구조설계기술 현황

CFT구조의 사용이 왕성한 일본에서는 세또해협을 횡단하는(아와지 섬부터 시코쿠까지) 송전철탑을 CFT로 건설하였고 건설한 것과 동일한 원형 CFT기둥에 대하여 실험 및 해석을 실시하였다. 이를 계기로 1967년 원형강관만을 대상으로 하여 강관콘크리트 구조 설계 기준이 일본 건축학회에 의하여 제정되었다. 그러나 건축기준법상 강관의 외측에 피복 콘크리트가 없는 관계로 철골철근 콘크리트 구조로 인정받지 못해 보급화 되지는 못하였다. 그 후 RC 구조의 내진 보강공법의 한 방편으로 기존의RC 기둥에 철골의 막을 입히는 공법이 연구되었고 많은 시공 사례가 전해지고 있다. 일본에서는 CFT구조가 RC조, S조, SRC조에 이은 제4의 구조시스템으로 각광받고 있으며, 중·저층 건축물에서 초고층에 이르기까지 많은 시공실적이 있다. 특히 일본 건설성 주관하에 동경만 근처의 주거용 아파트구조 시스템으로 CFT구조를 채택하여 일반 설계사및 건설사에 권장하고 있다. 또한 1989년에는 일본 대부분의 건설회사, 설계사무소, 철강제작사 등이 참여하는 신도시하우징협회가 구성되어 협회를 통해 CFT구조에 대한 기술지원, 기술지도, 구조심사 등의 활동이 활발하게 이루어지고 있다.

(나) 일본의 구조설계기법

일본건축학회는 1967년 원형강관을 대상으로한「강관콘크리트 구조설계규준 및 해설」을 출판하였다. 1975년의 「철골철근콘크리트 구조설계규준 및 해설」(이하 SRC규준이하 함)의 제2차 개정에 수반해서, 1980년에 제 1차 개정이 행해졌지만 이 개정에서는 각형강관도 적용범위에 포함하였다. 1981년 내진설계에 관한 건축기준법의 개정과 합성, 혼합형식의 다양화 등에 대응하여 1987년에 SRC규준의 제3차 개정이 행해졌다. 한편 강관콘크리트구조는 철골철근콘크리트의 일종으로 취급되어, 강관콘크리트 구조설계규준의 내용은 SRC 규준속에 통합되어 두 개의 규준은 하나로 정리되었다.

이 규준은 SRC규준 속에 포함되어 취급되었던 충전형 강관콘크리트구조를 선별하여 이 형식의 구조성능 및 시공법이 다른 2개의 형식과 다르기 때문에 현행의 SRC 규준을 보완하여 그 설계와 시공에 대한 구조의 이해를 신화하기 위한 유효한 정보를 제공하는 것이다. 내용으로는 지금까지 일본 자국에서 얻어진 연구성과 및 위원회활동의 성과를 집대성하여 현시점에서 이 구조의 State of the Art Report의 성격을 지니며, 동시에 장래의 SRC규준의 개정에 즈음하여 가능한 한 편입하기 쉽도록 정리하였다.

이 지침의 적용범위는 강관속에 콘크리트를 충전한 부재 (콘크리트충전 강관부재, Concrete Filled Steel Tubular Member, 이후 CFT기둥이라 함) 및 CFT부재와 철골부재 또는 강관콘크리트 합성부재를 대상으로 한다. CFT부재에 이용하는 강관의 폭두께비(직경두께비)는 「강구조설계규준」(이하 S규준이라 함)의 제한값의 1.5배 이내, CFT부재의 좌굴길이와 단면춤의 비는 SRC규준과 같게 압축재 50 이내, 기둥재 30 이내로 한다. 또한 본 지침서 적용하는 강관 및 콘크리트에 대해서는 강재에 사용하는 강재의 강도는 60 kgf/mm2 이내, 충전콘크리트의 압축강도는 600 kgf/cm2 이내로 한다.

(3) 미국

(가) 미국의 구조설계기술 현황

20세기 초 내화를 목적으로 철골기둥에 콘크리트로 피복한 것이 미국에서의 합성기둥의 초기형태였다. 당시 콘크리트는 단순히 내화만을 위한 것으로 기둥의 내력산정에는 반영되지 않았다. 2차 세계대전이후 경량의 내화재료가 개발되면서 이러한 형태의 합성 기둥은 신축건물에 더 이상 사용되지 않았다. 70년대 초에 들어서면서 대규모의 철골건물에 경제적으로 적용할 수 있는 합성기둥이 재등장하게 된다. 텍사스주립대의 Furlong에 의해 콘크리트충전강관에 대한 연구가 발표된 것도 이 시기였다. Furlong에 의한 CFT 초기 연구결과는 현재 미국에서 사용되고 있는 설계지침의 근간을 이루고 있다. 일본에 비해 미국에서는 CFT구조가 그다지 많이 사용되지 않는 이유는 CFT에 대한 전반적인 인식이 부족하며 이는 상대적으로 짧은 역사에서 기인한 것으로 사료된다. 그리고 미국에서는 구조부재의 재료에 따라 미국 강구조학회(AISC, 2001)의 규준과 미국콘크리트학회(ACI,1999)의 규준이 사용되는데 CFT구조는 강관이 콘크리트에 비해 상대적으로 많은 양의 하중을 지지하기 때문에 AISC규준을 따르는 것이 보다 합리적으로 판단되지만, 현재 AISC의 LRFD설계법은 압축력만을 받는 CFT기둥의 강도는 비교적 정확히 예측하는 반면, 휨과 압축을 동시에 받는 경우의 강도를 예측하는데 문제가 있는 것으로 보고되고 있다.

(나) 미국의 구조설계기법

현재 미국에서 CFT설계에 통용되는 기준으로 미국콘크리트협회(ACI)의 ACI 318-02와 미국철강협회(AISC)의 LRFD 철골시방서가 있다. 1986년 이전까지 합성기둥에 대한 설계규정은 ACI 318에서만 다루어졌었다. 초기의 허용응력설계방법은 ACI 318-63이후 강도설계법으로 전환되고 ACI 318-71을 통해 콘크리트와 합성되는 철근, 강관, 형강 등 모든 축방향 강재를 포함하게 되었다.

1970년대에 George Winter에 의해 조직된 Structural Specification Liaison Committee를 통해 AISC 합성기둥 설계방법에 대한 작업이 시작되었다. 허용응력법에 의한 설계규정이 먼저 개발되고 추후 극한강도단계로 전환되어 마침내 1986년에 합성기둥에 대한 설계규정이 AISC-LRFD에 도입되었다. ACI 318과 AISC-LRFD에서 CFT 부재설계에 대한 접근방식은 각 규준의 기본관점에 따라 차이를 보인다. ACI 318에서는 부재단면의 변형에 기초하여 CFT의 설계내력을 평가하지만 AISC-LRFD에서는 변형보다는 부재응력에 초점을 맞추어 설계식을 제시하고 있다.

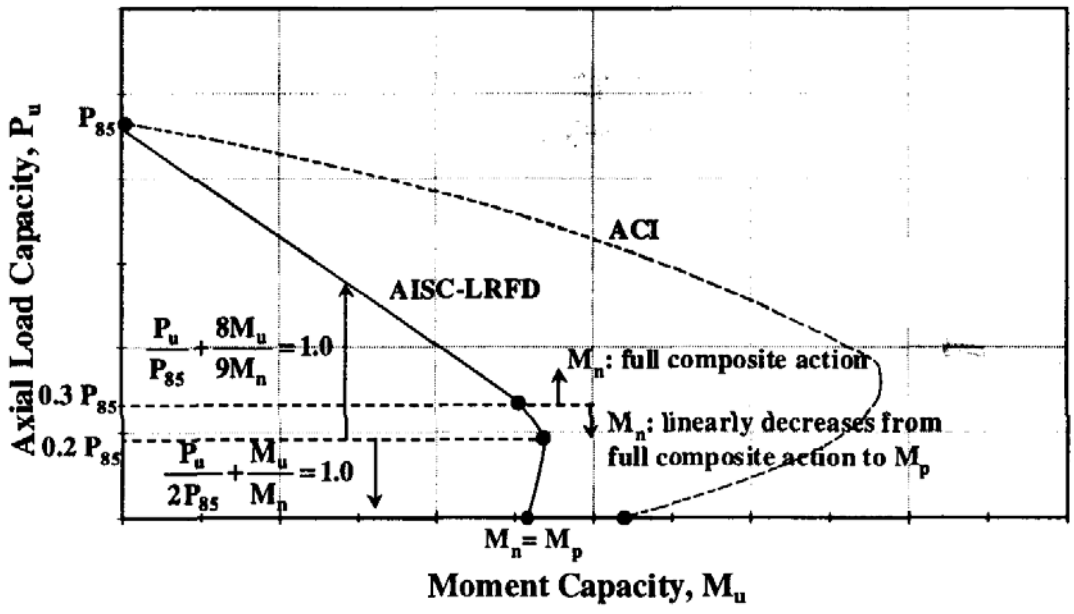
즉, ACI에서는 강관을 등가의 철근으로 치환하여 CFT를 철근콘크리트 기둥의 설계방식으로 다루지만 AISC-LRFD는 철골기둥의 설계식을 그대로 사용하고 부재강도와 강성에 관련된 계수만을 보정하여 합성 기둥을 설계하도록 규정하고 있는 것이다. [표 6.2]에 두 기준의 부재내력산정에 대한 설계식을 비교 정리하였다. CFT 강관에 폭두께비의 제한을 두는 이유는 강관이 항복하기 전에 국부좌굴이 발생하는 것을 방지하기 위해서이다. 등분포의 일축방향의 면내 압축력이 작용할 경우 탄성좌굴응력은 다음 식 6.1과 같이 표현할 수 있다.

$$\sigma_c = k\frac{\pi^2 E_s}{12(1-\nu^2)(b/t)^2} \qquad \text{식 6.1}$$

AISC-LRFD에서 규정하고 있는 각형강관의 폭두께비 제한치는 길이방향 경계조건을 단순지지로 하여 산정된 것이다. 그러나 CFT와 같이 좌굴의 방향의 강관의 외부로 대칭적으로 발생하는 경우에는 b/t제한값을 이에 따라 증가시킬 수 있지만 현재 AISC-LRFD에서는 반영되어 있지 않다.

[그림 6.2]와 같이 휨모멘트가 0인 경우, 각 기준에 따라 산정한 CFT의 축내력은 거의 유사하지만 모멘트가 증가함에 따라 큰 차이가 발생한다. AISC-LRFD의 경우 세장한 철골기둥 설계에 기초한 관계로 상당히 안전측으로 CFT부재의 내력을 평가하고 있다.

이러한 이유로 AISC-LRFD에서는 강관의 단면적이 CFT 전체 단면적의 4%이하일 경우에는 철근콘크리트기둥으로 설계할 것으로 규정하고 있다. 연구결과에 의하면 ACI에 의한 보-기둥의 극한하중과 실험에서 평가된 내력은 거의 근접하는 것으로 알려져 있다. 하지만 ACI의 방법은 컴퓨터나 설계도표의 도움이 없이는 적용하기가 어렵다는 단점이 있는 반면에 AISC-LRFD는 쉽게 사용할 수 있다는 장점이 있다. 올해 발행된 ACI 318-02에서는 복합구조의 건물설계에 일관성을 갖도록 ASCE 7-98의 하중계수를 적용하고 있다. 즉, 기존의 U=1.4D+1.7L의 계수하중이 U=1.2D+1.6L로 변경된 것이다. 이에 따라 규준에 관계없이 동일한 하중계수가 적용되었다. ACI에서는 이전 규준에 의한 결과와 일관성을 유지하기 위해 강도저감계수φ도 변경되었다.




[그림 6.2] 각 기준별 모멘트-축하중상관도

[표 6.2] 미국의 CFT 관련 설계기준 조항

| 적용 | ACI 318-02 (2002) | AISC-LRFD 3판 (2001) |
|---|---|---|
| 폭두께비 | $b/t \le \sqrt{3E_s/f_y}$ (각형 CFT)<br>$h/t \le \sqrt{8E_s/f_y}$ (원형 CFT) | $b/t \le \sqrt{3E/F_y}$ (각형 CFT)<br>$D/t \le \sqrt{8E/F_y}$ (원형 CFT) |
| 압축재 | $\phi P_n = 0.85\,\phi[0.85f_c'(A_g - A_{st}) + f_y A_{st}]$<br>$\phi = 0.70$ 또는 $\phi = 0.65$ | $\phi_c P_n = \phi_c A_s F_{cr}$ , $\phi_c = 0.85$<br>$A_g = A_s$, $F_{my} = F_y + 0.85f_c'(A_c/A_s)$ |
| 비고 | 휨과 축력의 상관도는 철근콘크리트의 경우와 동일하게 구한다.<br>기본가정:<br>(a) 단면은 변형후에도 평면을 유지.<br>(b) 최대 콘크리트 변형도는 0.003<br>(c) Whitney 응력블록 크기는 0.85f'c<br>(d) 콘크리트 인장강도는 무시<br>(e) 강재변형 - 응력도관계에서 변형경화(strain hardening) 무시 | 휨과 축력을 받는 대칭 CFT의 설계강도 상관식에서 공칭휨강도는 다음과 같이 산정한다.<br>$P_u$=0일때는 합성거동이 없다고 가정하여 강관의 소성모멘트($M_p$)를 Mn값으로 정한다. $P_u > 0.3(\phi_c P_n)$일 경우에는 완전한 합성거동을 하는 것으로 간주하여 합성단면에 대해 소성모멘트를 산정하다. $0 < P_u < 0.3(\phi_c P_n)$구간에서는 선형보간하다. |

| | AISC-ASD |
|---|---|
| 힘과 압축력을 받는 CFT 부재의내력상관식 | $\left(\frac{f_c}{F_c}\right)^2 + \frac{C_{mx}}{\left(1-\frac{f_c}{F'_{ex}}\right)} \cdot \frac{f_{bx}}{F_{bx}} + \frac{C_{my}}{\left(1-\frac{f_c}{F'_{ey}}\right)} \cdot \frac{f_{by}}{F_{by}} \le 1.0$ |

# 제2절 관련 특허 현황

## 1. 특허출원 현황

### 가. 특허 분석 범위

본 과제의 특허 분석 대상은 무용접 콘크리트 충전 강관(Concrete Filled steel Tube, CFT)에 관련된 기술로서, 2016년 1월 29일 이전에 한국, 미국, 일본, 유럽, 중국, PCT(국제)에 공개 또는 등록된 특허를 대상으로 하였으며, 분석 대상을 선별하기 위하여 사용한 검색 데이터베이스는 표 [6.3]과 같다.

[표 6.3] 사용 DB 및 검색 범위

| 국가 | 사용 DB | 검색 범위 | 검색 년도 | 검색 범위 |
|---|---|---|---|---|
| 한국 | Wips on | 공개/등록특허 | ~ 2016.01.29 (출원일 기준) | Title, Abstract, Claim |
| 미국 | | 공개/등록특허 | | |
| 일본 | | 공개/등록특허 | | |
| 유럽 | | 공개/등록특허 | | |
| PCT | | 공개특허 | | |

### 나. 검색식 및 검색 결과

CFT 기둥 기술에 관련된 키워드를 조사하여 검색식을 작성하였고, IPC(국제특허분류)의 경우, E04 - 건축물로 제한하여 검색하였다. 검색식은 [표 6.4]에 나타내었으며, 총 2,782건의 데이터를 확보하였다.

[표 6.4] CFT 기둥 기술의 검색식

| 대분류 | 검색식 |
|---|---|
| CFT 기둥 | ((CFT* (콘크리트* adj 충전* adj 강관*) (concrete* near3 steel*) CFST*) ***AND*** ((기둥* tub* struct* column* beam*) not 음극선관*)) ***AND*** (E04B* E04C* E04G* E02D*).IPC.<br><br>(((CFT* (콘크리트* adj 충전* adj 강관*) (concrete* near2 steel*) CFST*) AND ((기둥* tub* struct* column* beam*) not 음극선관*))).TI. AND (E04B* E04C* E04G*).IPCM. |

검색된 raw data를 바탕으로 다음과 같은 기준으로 노이즈를 제거하여 유효 data를 선별하였고, 연구담당자와의 협의를 통하여 중국특허를 제외하고[18] 최종 심층 분석 대상이 되는 특허를 추출하였다. 또

한, 아래의 조건에 따라 검색된 raw data를 필터링하였으며, 그 결과는 [표 6.5]에 나타내었다.

(1) 건축 구조물에 대한 내용 제외
: 강관 기둥에 대한 특허만 추출함.

(2) 철근콘크리트, 철골구조 등 제외
: CFT, 복합(철골철근 구조)에 관련된 특허만 추출함.

(3) 기타 제외
: 터널 시공방법, 콘크리트 구조 표면처리 방법, 콘크리트 충전기기에 관련된 특허 제외함. 기둥 및 보에 한정을 두지는 않았으나, 접합부 시공에 제한된 특허는 제외함.

[표 6.5] 검색 결과 및 1차 필터링 결과

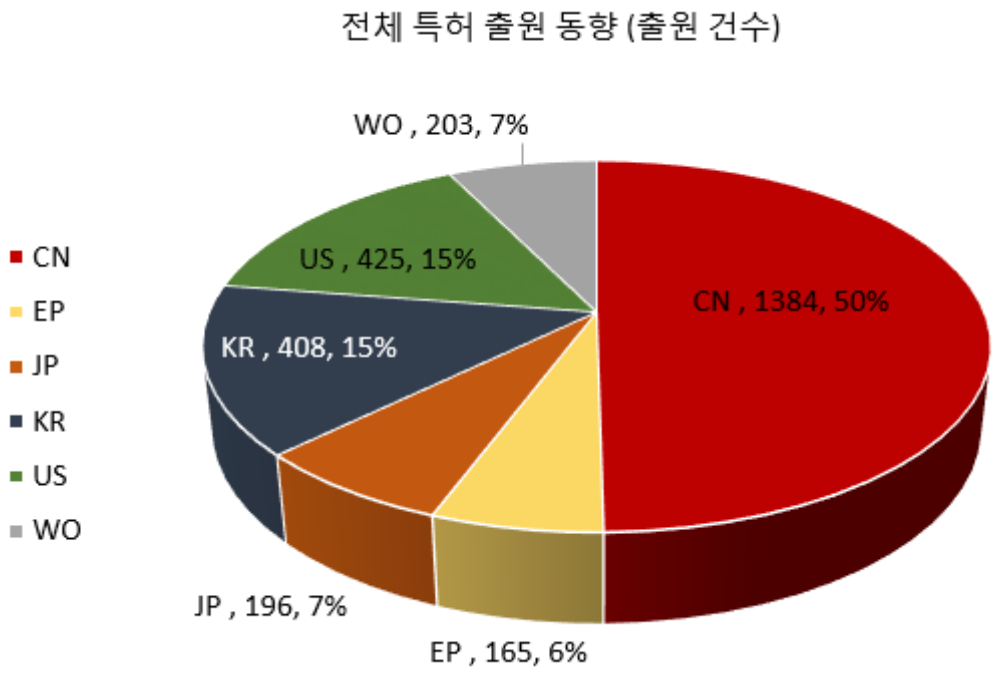
| - | KR | JP | US | EP | CN | PCT | 합계 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| raw data | 408 | 196 | 425 | 166 | 1384 | 203 | 2782 |
| 1차 필터링 | 117 | 65 | 26 | 8 | - | 8 | 224 |

## 다. 특허동향 분석

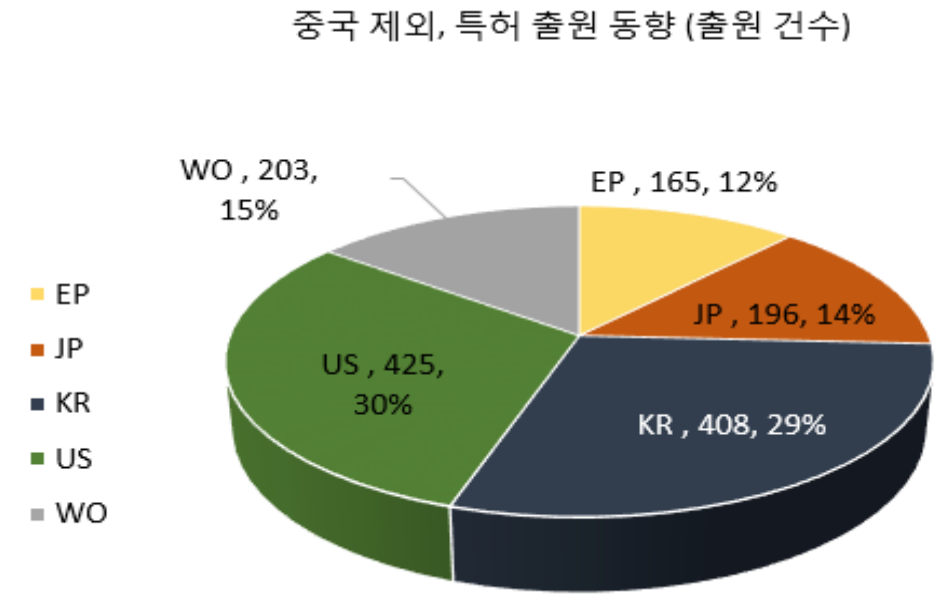
### (1) 국가별 출원 동향

[그림 6.3] 및[그림 6.4]와 같이 국가별 출원 동향을 살펴보면, 중국이 1384건으로 50%를 나타내며 그 뒤를 미국, 한국 특허가 다출원되는 경향을 나타내는 것을 알 수 있었다. 특히, 중국 특허의 경우 다수의 노이즈를 포함하기 때문에[19], 이를 제외한 출원 동향 확인 시에는, 미국이 425건(30%), 한국이 208건(29%)로 출원 경향이 두드러지는 것을 확인할 수 있었으며, 콘크리트 충전 강관 기둥에 관련된 특허는 미국과 국내에서 출원을 주도하고 있음을 알 수 있다.

18) 중국특허의 특성상, 노이즈와 유효하지 않은 특허가 많은 점을 감안하여 연구 담당자와의 협의를 통하여 정량 분석에는 이용하되 심층 분석 대상 특허의 고려 대상으로는 두지 않기로 함.
19) 중국의 경우, 무심사제도를 통하여 실용신안등록을 부여하고 있기 때문에 raw data 중에서 핵심특허라고 추출할 수 있는 특허는 극히 소수에 불과함.



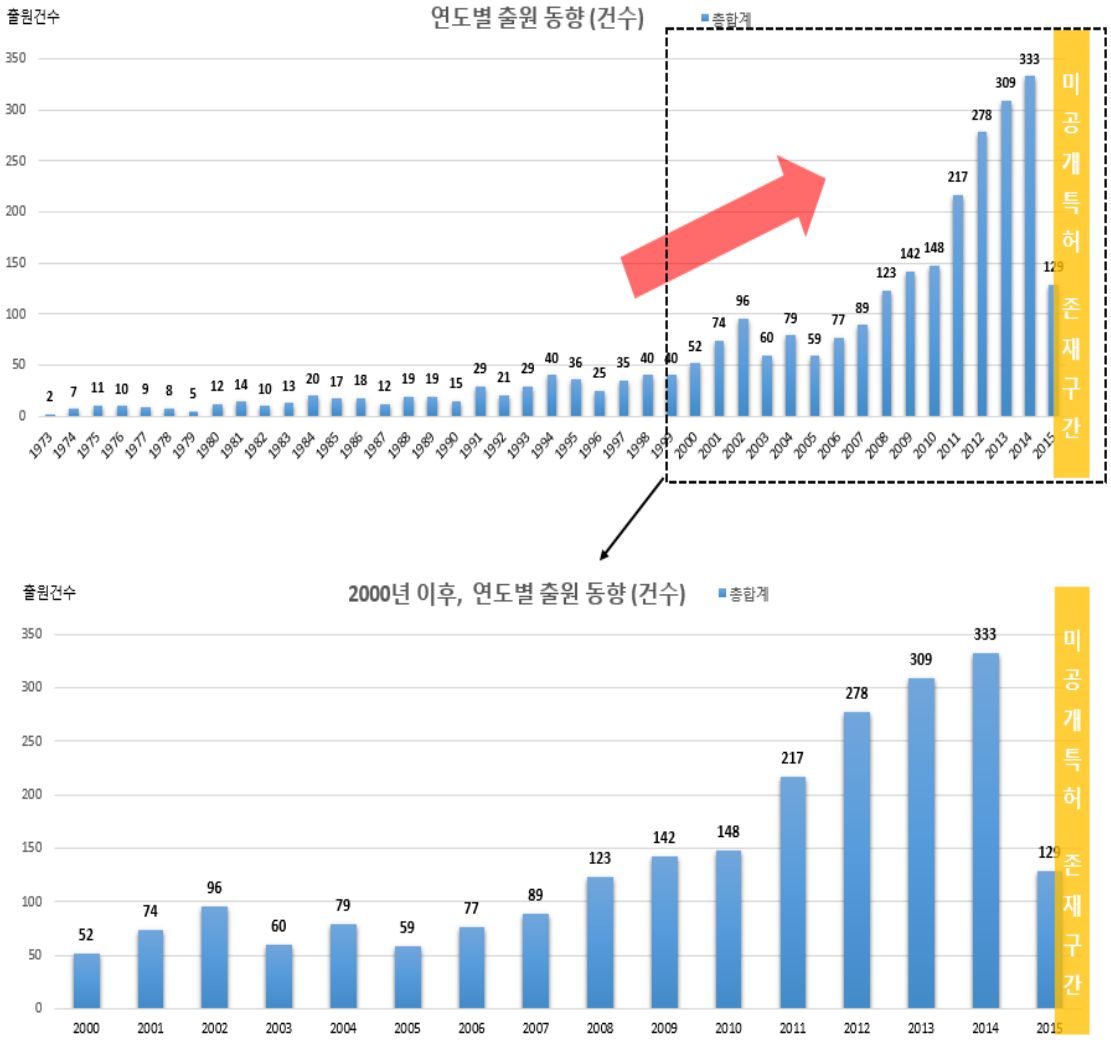

[그림 6.3] 국가별 전체 특허 출원 동향




[그림 6.4] 중국을 제외한, 국가별 특허 출원 동향

**(2) 연도별 출원 동향**

[그림 6.5]의 연도별 출원 동향을 살펴보면, 1973년도 출원을 시작으로 90년대까지는 출원 건수는 크지 않았으나, 2002년 96건의 출원을 기점으로 이후 지속적으로 출원 건수가 증가경향을 나타내고 있으며, 2014년은 총 333건의 출원이 발생하였다. 또한, 2015년의 경우, 129건의 출원이 확인되지만 1년 6개월의 미공개 특허를 고려하면 관련 특허 출원의 증가 경향이 한동안은 지속될 것으로 예상된다.

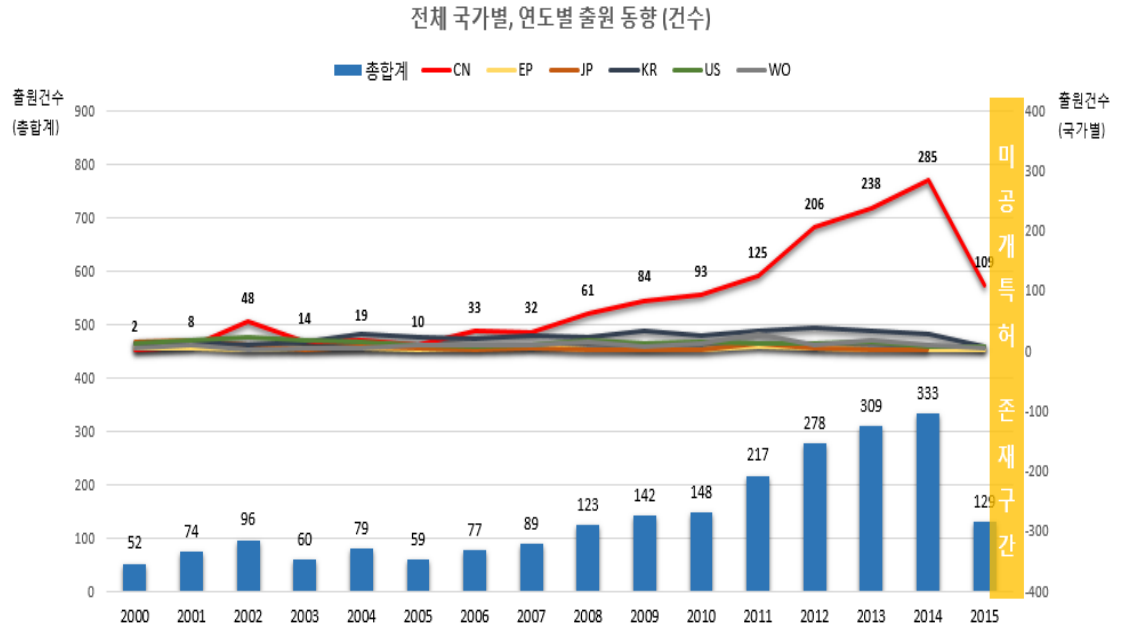



[그림 6.5] 연도별 전체 특허 출원 동향

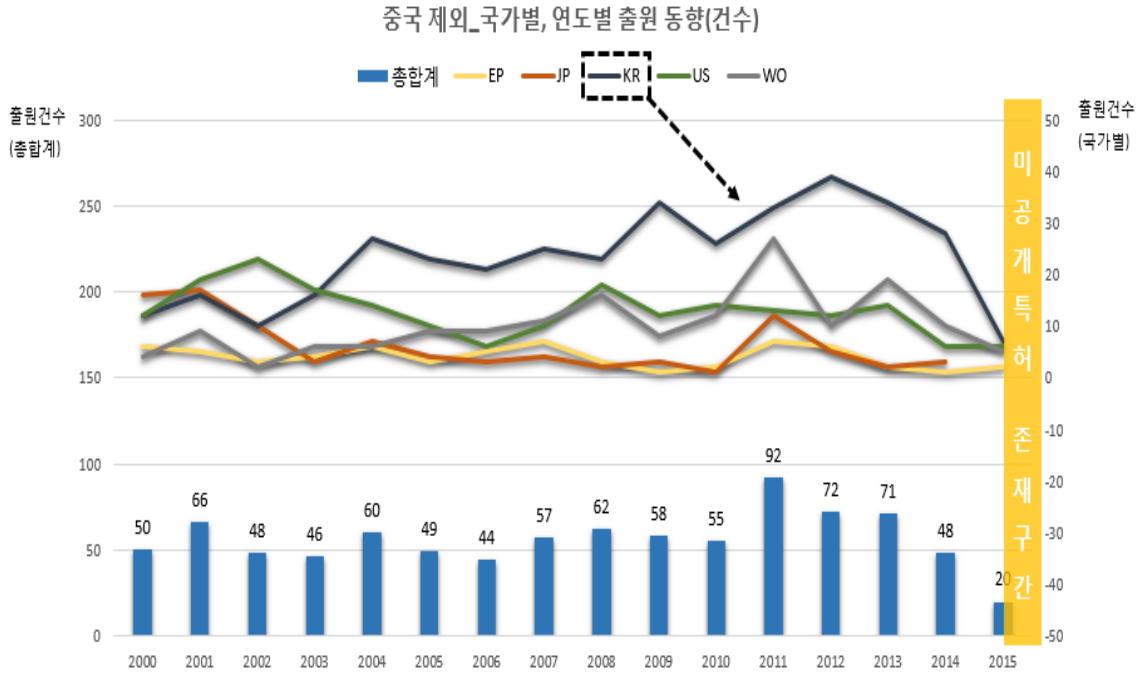
[그림 6.6]의 국가별, 연도별 출원 경향을 살펴보면, 2007년 이후부터 중국에서 압도적으로 많은 건수의 출원을 나타내고 있는 것을 알 수 있는데, 연도별 중국의 출원 건수를 확인하면 2014년에는 전체 333건 중 중국 출원이 약 285건으로 85% 점유율을 차지하는 것으로 확인되었다. 다만, 앞서 언급하였듯이, 중국의 경우 미심사 등록되는 실용신안 건을 비롯하여 정확한 경향을 파악하기에 어려움이 있으므로 중국을 제외한 국가별, 연도별 출원 경향을 추가적으로 살펴보고자 [그림 6.7]과 같이 나타내었다. 중국을 제외하고 국가별, 연도별 출원 경향을 살펴보면, 우리나라가 관련특허 출원을 주도하고 있음을 알 수 있다.

2004년 이후로 우리나라는 지속적으로 타 국가에 비해서 콘크리트 충전 강관 기둥에 관련된 특허가 우세하게 출원되고 있으며 최근에도 그러한 경향이 지속되고 있는 것을 확인할 수 있었다.

일본의 경우에는, 2000년도 초반에 출원이 적다가 2011년 이후 출원이 다시 증가하는 경향이 확인되었으며, 그 외 미국, 유럽의 경우에는 출원이 급증, 급감 하는 경향 없이 유사한 특허출원이 지속되고 있음을 알 수 있다.



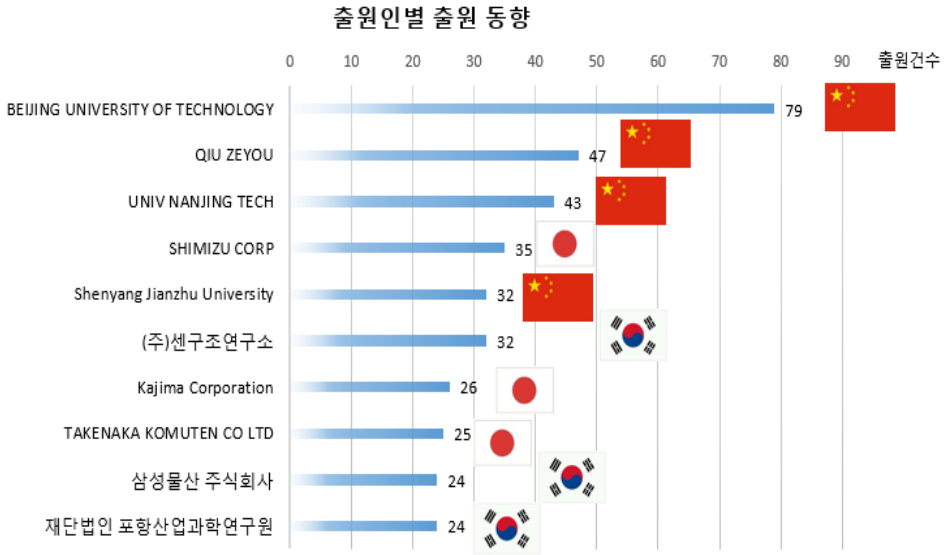

[그림 6.6] 전체 국가별, 연도별 출원 동향



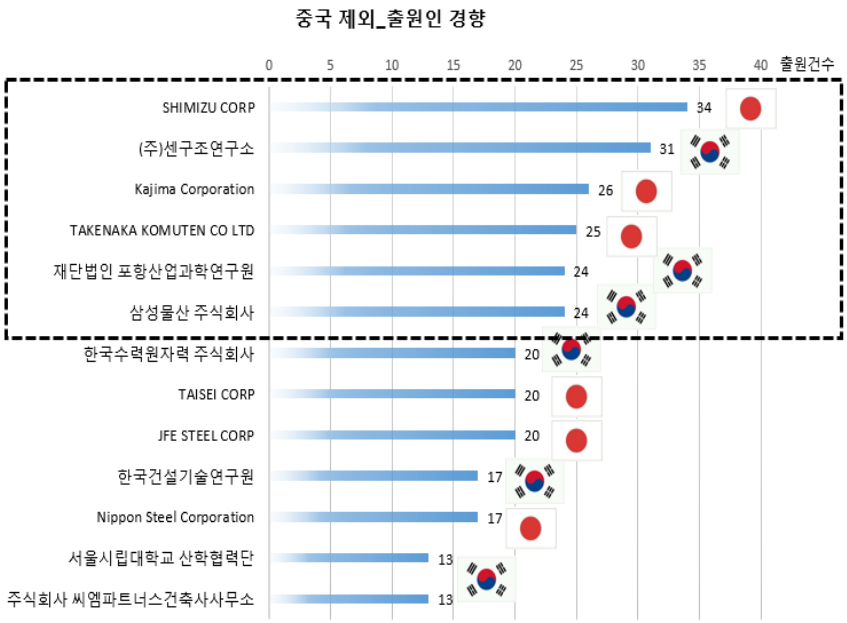

[그림 6.7] 중국 제외_국가별, 연도별 출원 경향

### (3) 출원인별 출원 동향

[그림 6.8]에서 확인 할 수 있듯이 출원인별 상위 10곳의 출원을 살펴보면, 중국이 가장 우세한 것을 확인 할 수 있으며, 특히 BEIJING UNIVERSITY OF TECHNOLOGY, UNIV NANJING TECH, Shenyang Jianzhu University 등 대학의 출원 경향이 두드러지는 것을 확인 할 수 있다. [그림 6.9]와 같이 중국을 제외한 출원인들의 출원 경향을 살펴보면, 일본이 상당히 강세를 보이는 것을 알 수 있다. 앞서 살펴본, 국가별, 연도별 동향에서는 일본이 뚜렷한 점유율을 보이지 않았으나 출원인별로 살펴봤을 때에 주도 경향이 보이는 것으로 보아, 연구 초반 단계가 아니라 일부 선점기업을 위주로 출원 및 연구가 이루어지고 있을 것으로 판단된다. 우리나라의 경우에도, 센구조연구소 및 포항산업과학연구원, 삼성물산 등의 주도로 다 출원이 이루어지고 있는 것을 알 수 있으며, 이와 같은 내용을 [표 6.6]에 나타내었다.




[그림 6.7] 출원인별 출원 동향




[그림 6.7] 중국제외_출원인별 출원 동향

[표 6.6] 상위 다출원인 출원 건수 및 국가

| 출원인 | 출원건수 | 국가 |
|---|---|---|
| SHIMIZU CORP | 34 | JP |
| (주)센구조연구소 | 31 | KR |
| Kajima Corporation | 26 | JP |
| TAKENAKA KOMUTEN CO LTD | 25 | JP |
| 재단법인 포항산업과학연구원 | 24 | KR |
| 삼성물산 주식회사 | 24 | KR |
| 한국수력원자력 주식회사 | 20 | KR |
| TAISEI CORP | 20 | JP |
| JFE STEEL CORP | 20 | JP |
| 한국건설기술연구원 | 17 | KR |
| Nippon Steel Corporation | 17 | JP |
| 서울시립대학교 산학협력단 | 13 | KR |
| 주식회사 씨엠파트너스건축사사무소 | 13 | KR |
| ARBED S.A. | 10 | US |
| (주)한국건설공법 | 10 | KR |
| OHBAYASHI CORP | 9 | JP |
| NUCOR CORPORATION | 9 | US |
| 주식회사 에이스스틸 | 8 | KR |
| SUMITOMO METAL IND LTD | 8 | JP |
| 주식회사 포스코건설 | 8 | KR |
| FUJITA CORP | 8 | JP |
| DAIWA HOUSE INDUSTRY CO., LTD. | 8 | JP |

# 제 7장 연구개발성과의 보안등급

# 제 8장 국가과학기술종합정보시스템에 등록한 연구시설·장비 현황

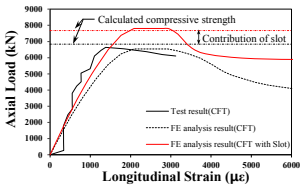
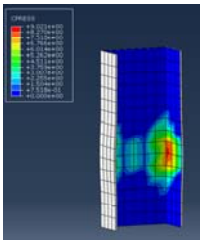
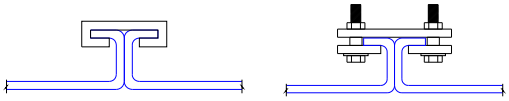
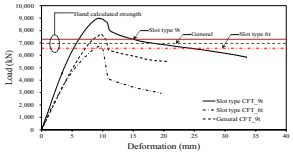
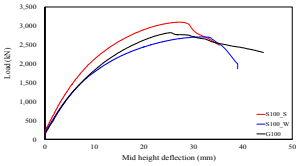
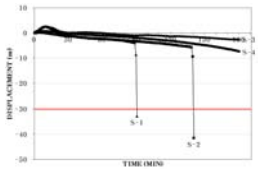
## (해당사항 없음)

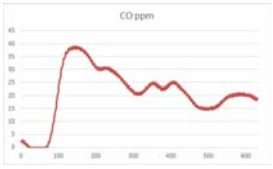
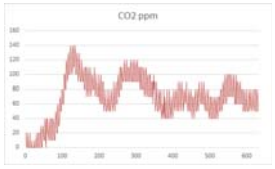
| 구입 기관 | 연구시설/ 연구장비명 | 규격 (모델명) | 수량 | 구입 연월일 | 구입 가격 (천원) | 구입처 (전화번호) | 비고 (설치 장소) | NTIS장비 등록 번호 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| - | - | - | - | - | - | - | - | - |

# 제 9장 연구개발과제 수행에 따른 연구실 등의 안전조치 이행계획

- 목양종합건축사사무소의 경우 토목공사 안전관리, 철골공사 안전관리, 안전관리 활동강화를 기본방향으로 하여 현정여건을 고려한 안전관리 계획을 수립하였다. 철골공사시 안전관리자 및 감리원 입회 등으로 붕괴방지 대책을 강구하고 건설중장비 운행관리 지침을 작성하며, 작업시에는 안전관리자의 입회하에 작업자의 안전관리 조치를 이행하고 있다.
- 서울시립대의 경우 교내에서 자체 지정한 '실험 실습실 안전관리 지침'을 통해 안전조치를 실시하고 있으며 특히 총 9개 조항으로 구성된 지침규정으로 구성되어있다. 또한 별도의 안전관리 점검표를 구비하여 개인안전, 소방안전, 전기안전, 가스안전, 화학약품 관리, 기계설비 안전 등의 세부적인 관리 항목을 두어 연구실 및 실험실습실의 안전관리를 철저하게 이행하고 있다.
- 한국건설기술연구원의 경우 안전보건에 관한 사항을 정한 것으로 산업안전보건법과 연구실안전환경조성에 관한 법률 제 6조, 시행규칙 제2조에 의거하여 산업안전보건지침을 재·개정하여 안전조치 이행계획을 수행하고 있으며 근로자의 안전보건을 유지 증진하고, 연구원의 재산 보전을 도모하며, 쾌적한 연구환경을 조성하여 연구능률을 향상시킴을 그 목적으로 하고 있다.

# 제 10장 연구개발과제의 대표적 연구실적

<table>
<tr><th>연구목표</th><th>주요 연구 내용</th><th>연구개발 성과</th></tr>
<tr><td rowspan="4">무용접 CFT 기둥의 구조 및 내화성능 평가</td><td>○ 구조 및 내화성능 평가를 위한 수치해석 신뢰성 확보<br>– 상온 및 고온조건<br>– 단면 : 300×300㎜<br>– 강관두께 : 8㎜<br>– 높이 : 1500㎜<br>– 강재 항복강도 : 387MPa<br>– Con`c 압축강도 : 40MPa</td><td>▪ 실물실험 수행 전 비선형 유한요소해석 실시<br>▪ CFT기둥의 상·고온거동에 대한 해석신뢰도 90% 이상 확보<br>  <br>  </td></tr>
<tr><td>○ 구조성능 평가<br>– 용접형 CFT<br>– 무용접 CFT<br>– Con`c 압축강도 : 50MPa<br>– 강재 항복강도 : 235MPa<br>– 강관두께 6T, 9T</td><td>▪ 슬롯접합부의 시공성 개선형상 도출<br>  <br>▪ 중심축압축 실험<br>– 단면 : 300×300㎜<br>– 높이 : 3000㎜<br>– 강관두께 : 9T<br>  <br>▪ 편심압축 실험<br>– 단면 : 300×300㎜<br>– 높이 : 3000㎜<br>– 강관두께 : 6T<br>  </td></tr>
<tr><td>○ 내화성능 평가<br>– 단면 : 500×500㎜<br>– 강관두께 : 6T, 9T<br>– 높이 : 3000㎜<br>– 강재 항복강도 : 235MPa<br>– Con`c 압축강도 : 50MPa</td><td>▪ 실물 내화시험을 통한 개발공법의 3시간내화성능 확보<br>  <br>  </td></tr>
<tr><td>○ 학술검증(논문)</td><td>▪ SCI(E) 2건, 국외논문 2건, 국내논문 2건, 국내학술 2건</td></tr>
<tr><td>현장적용성 및 경제성 검토</td><td>○ 시공성 및 애로사항 도출을 위한 현장적용</td><td>▪ 설계·시공매뉴얼 작성 및 전문가 검토<br>▪ 현장적용 보고서</td></tr>
</table>

| 연구목표 | 주요 연구 내용 | 연구개발 성과 |
|---|---|---|
| | |  |
| | ○ 원가분석을 통한 경제성 검토 | ▪ 경제성검토 보고서<br>- 기존 무피복 공법대비 강재물량 50%절감<br>- 강재 두께 및 소요시간 감소에 따른 10%이상의 공사비 절감효과 발생 |
| 내화구조인정 추진 | ○ 설계도서 전문가 검토 | ▪ 내화구조 설계도서 및 품질관리 매뉴얼 작성<br>  <br>  |
| 녹색기술인증 및 건설신기술 추진 | ○ 녹색기술인증 추진 | ▪ 내화피복재 유해가스 발생량 평가<br>- 무피복으로 유해가스 발생 100% 저감<br>  <br>  |
| | ○ 건설신기술 추진 | ▪ 선행 유사기술 비교분석<br>▪ 건설신기술 인증을 위한 원가분석<br>  <br>  |
| 기술 상용화를 위한 기술홍보 및 시장성 분석, 기술 특허 확보 | ○ 시장성 분석 | ▪ 슬롯형 무용접 CFT 기둥의 마케팅 전략 분석<br>- 개발 기술 실수요처 발굴<br>- 국내외 실 수요처 마케팅 계획 수립 |

| 연구목표 | 주요 연구 내용 | 연구개발 성과 |
|---|---|---|
| | ○ 특허 확보 | ▪ 특허출원 3건, 특허등록 2건<br>  |
| | ○ 기술홍보 | ▪ 2016 국토교통기술대전 참가<br>  |
| | ○ 선행특허조사 및 무효심판 자료조사 | ▪ 무피복 조건에서 3시간 내화성능 확보<br>▪ 유해가스 100% 저감기술<br>  <br>  |
| 기술실시계약 | ○ 기술실시계약 체결<br>- 전용실시권, 5년 | ▪ 대상기술 : 특허 제 10-1611868 「볼트형 조립슬롯을 사용한 무용접 방식의 콘크리트 충전 강관기둥」<br>  <br>  |

# 제 11장 기타사항

## 1. 기술소개자료(SMK : Sales Material Kit)

### 폭렬제어형 무용접 콘크리트 충전강관(CFT)기둥의 무피복 3시간 내화공법 개발

□ 기술개요

본 기술은 기존 CFT기둥의 단점을 보완하기 위해 고온에 노출된 콘크리트의 수증기압을 제어할 수 있는 다공형 외부강관과 슬롯접합 방식을 활용하여 별도의 내화피복 없이 법정 요구내화성능 최고 수준인 3시간 이상의 내화성능을 확보할 수 있는 공법임

□ 기존 기술의 문제점

❶ 외부강관이 폐단면을 형성하기 때문에 화재시 내부 수증기압이 급격히 증가
❷ 화재시 고온에 취약한 용접부위의 파단으로 인해 강관의 터짐현상이 발생
❸ 화재 노출 시 급격한 재료성능저하로 인하여 취성적인 부재거동이 우려
❹ 고강도 콘크리트를 타설하는 경우 폭렬현상 발생

□ 기술의 차별성 및 효과

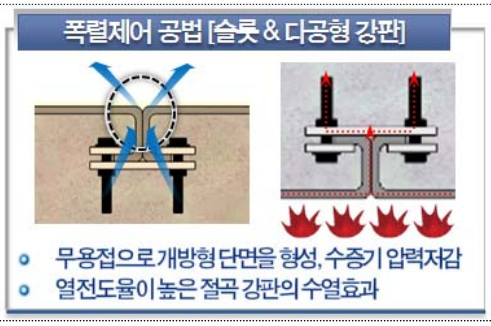
차별성

슬롯접합을 사용한 무용접 콘크리트 충전강관 기둥의 무피복 내화공법

기술적효과

콘크리트 내부의 T형 형상의 절곡 부로 제작함으로써 콘크리트와 강관의 부착성능을 증대시킬 수 있으며, 상대적으로 내화성능이 높은 콘크리트에 온도를 분산시켜 화재 시 외부에 노출되는 강관의 내력저하 문제를 해결할 수 있음

- T형상의 콘크리트 인입부의 고온분산 효과
- T형상의 콘크리트 인입부의 부착성능 증대
- 슬롯접합을 통한 무용접 내화공법
- 다공형 강판 및 슬롯접합부를 통한 수증기배출
- 좌굴방지에 유리한 단면형상비




경제적 효과

무용접 공법으로써 불량률을 현저히 줄일 수 있으며, 시공이 간편하기 때문에 이에 따른 인건비가 절약됨
이와 더불어 기존 기술대비 1.38% 더 경제적이며, 내화피복에 따른 유지관리가 요구되지 않기 때문에 경제적인 공법임

- 무용접 공법으로 불량률 현저히 감소
- 기술공의 고도의 전문성이 필요하지 않음
- 기존기술대비 소요공수 감소로 인한 원가절감
- 무피복으로 내화피복 건조시간이 요구되지 않음
- 무피복으로 유지관리에 유리함



## □ 기술활용 실적 및 기술내용

### 활용실적

- **진도 목양하우스 신축공사 현장적용(`15.7~`16.6)**
- **기술실시계약 체결(㈜픽슨)**
-

### 기술내용

기존 용접형 CFT기둥의 경우 고온에 노출 될 경우 용접부의 급격한 성능저하 현상으로 인하여 주요 취약부로 지적되고 있음. 반면 슬롯에 의한 접합방식은 화재 시 강관파괴 및 구조물 내력상실의 주요원인인 용접부를 제거할 수 있음. 슬롯형 접합부의 형상은 접합부위를 콘크리트 내부에 T형 형상으로 절곡하여 인입시키고, 일체화를 위한 볼트형 슬롯을 슬라이딩 방식으로 삽입하여 접합함으로써 용접시공을 대체할 수 있으며, 강재와 콘크리트의 합성효과를 극대화시킬 수 있으며 화재 시 취성적인 거동을 방지할 수 있음.




## □ 수요처 및 권리현황

### 수요처

| 수요처 | 적용처 |
|---|---|
| ▪ **철골 가공 및 시공업체** (대상기술 가공 및 시공) | ▪ 강판 공장제작을 통한 공기단축 및 시공오차 최소화 |
| ▪ **건축사사무소 및 구조사무소** (구조물 설계 및 내화성능 확보방안 컨설팅) | ▪ 대형 건축물에 기둥 적용 가능 |

### 권리현황

- ***국내특허 출원 2건, 국내특허 등록 2건***

| 특허명 | 특허번호 | 비고 |
|---|---|---|
| ▪ *볼트형 조립슬롯을 사용한 무용접 방식의 콘크리트 충전 강관기둥* | *제10-1611868호* | *등록* |
| ▪ *콘크리트 충전강관(CFT)을 적용한 방수턱 및 그 시공방법* | *10-2015-0056567* | *출원* |
| ▪ *경첩형 접합부를 갖는 무용접 CFT기둥* | *10-2016-0049647* | *출원* |
| ▪ *다공강판과 거푸집용 강판으로 형성되는 기둥 및 그 시공방법* | *제10-1624603호* | *등록* |

## □ 추가기술정보

### 기술분류

| | |
|---|---|
| 기술수준 | □ 기술개념확립<br>□ 연구실환경검증<br>□ 시제품제작<br>□ 실제환경검증<br>□ 신뢰성평가<br>□ 상용품제작<br>■ 사업화 |
| 시장전망 | ▪ 건축물의 대형화 고층화 추세<br>▪ 무피복 기둥에 대한 시장수요증대<br>▪ 기둥의 내화성능확보 필수<br>▪ 국내외 초고층건물 CFT기둥 수요증가 |

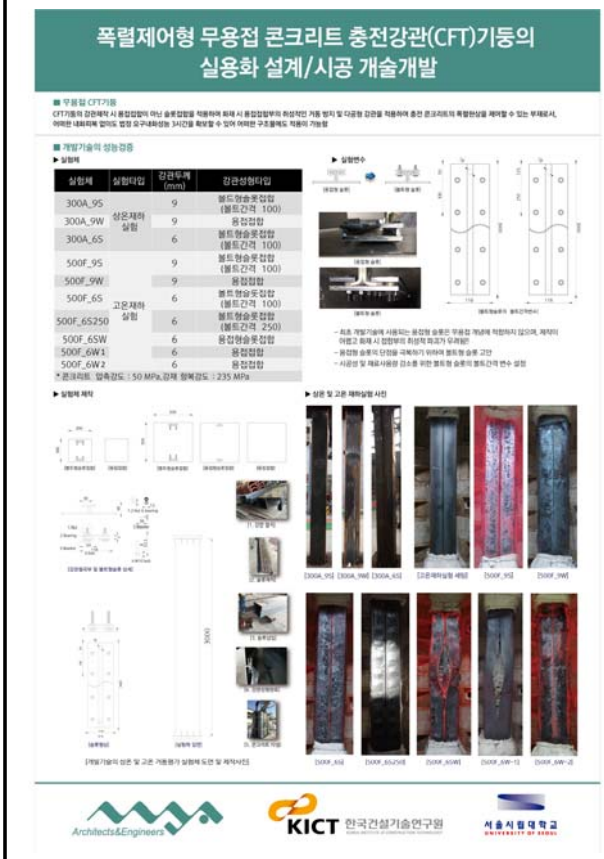
## □ 문 의

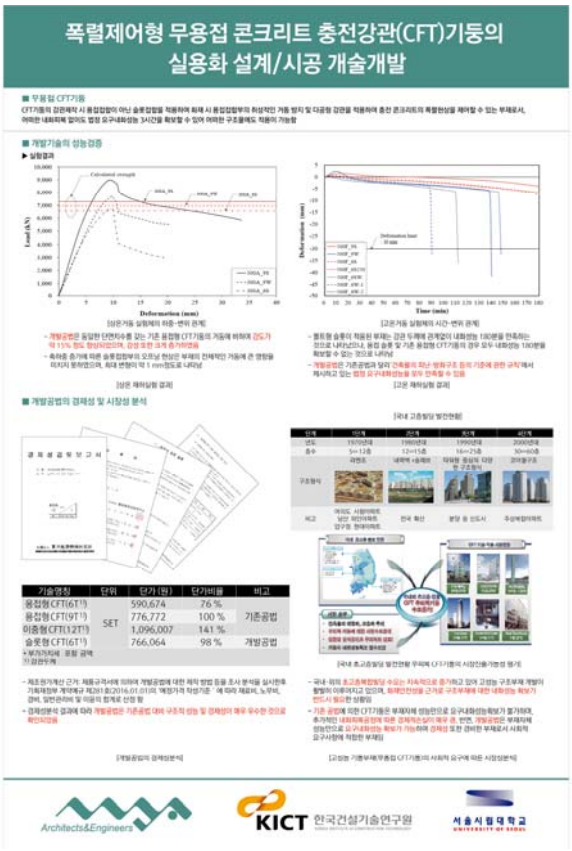
| | |
|---|---|
| 관리자 | - 국토교통과학기술진흥원 성과활용실(031-389-6000)<br>- techbiz@kaia.re.kr |
| 연구자 | **소속기관 : ㈜목양종합건축사사무소**<br>**성명 : 김형준**<br>**연락처 : 010-3716-1742**<br>**이메일 : kimfestival@myeng.co.kr** |

## 2. 홍보 브로슈어


폭렬제어형 무용접 콘크리트 충전강관(CFT)기둥의
실용화 설계/시공 개술개발
KICT 한국건설기술연구원


폭렬제어형 무용접 콘크리트 충전강관(CFT)기둥의
실용화 설계/시공 개술개발
KICT 한국건설기술연구원


폭렬제어형 무용접 콘크리트 충전강관(CFT)기둥의
실용화 설계/시공 개술개발
KICT 한국건설기술연구원


폭렬제어형 무용접 콘크리트 충전강관(CFT)기둥의
실용화 설계/시공 개술개발
KICT 한국건설기술연구원

# 제 12장 참고문헌


1) 대한건축학회 : 강구조 내화설계 기준 및 기법에 관한 연구, (주)포항종합제철, 1995.3.

2) 건설교통부, 한국건설기술연구원 : 국내 내화구조기준 개선연구 (Ⅰ), (Ⅱ), 2000.3.

3) 한국건설기술연구원, 포항산업과학연구원 : 강재 단면형상계수 설정 및 내화피복기준에 관한 연구, 2000.12.

4) 金和中 : 高熱을 받은 콘크리트의 性狀에 關한 實驗的인 硏究, 漢陽大學校 碩士學位論文, 1979.12.

5) 윤명오 외 : 건축소방, 일진사, 1997.

6) 행정자치부 소방국 : '98 火災統計年報, 1998.

7) 대한건축학회 : 강구조 건축물 내화설계 기준 및 기법에 관한 연구, 1995.3.

8) 과학기술부 : 공공건물의 화재안전진단 및 피난구조 기술 개발, 1998.10.

9) 김운형 외 1인 : 건물 내장재의 화재위험성 평가방법, 한국화재·소방학회지 12권 2호 통권 30호 1998.6.

10) 김 해전외 13人 : 강구조 내화설계 기준 및 기법에 관한 연구, 대한건축학회, 1995년 3월

11) 金德在외 3人 : H形鋼構造設計便覽, 도서출판 일광, 1997年1月

12) 建築生産硏究室 : 내화구조기준 개선 연구-1차자문회의자료부록(상)(하) -, 한국건설기술연구원, 1998年 8月

13) 서덕석, 윤명오 : 공동주택 소방설계원칙 및 발전방향에 관한 연구, 한국화재·소방학회지 8권 2호 통권 18호, 1994.9.

14) 박기창 최성모 김동규(2000) 콘크리트충전 강관기둥의 내화실험에 대한 고찰, 한국강구조학회논문집, 한국강구조학회, 제12권, 제6호, pp759-767.

15) 정경수, 최성모, 김동규(1997) 콘크리트 충전강관 기둥의 내화특성에 관한 이론적 연구, 대한건축학회학술발표논문집, 대한건축학회, 제17권, 제2호, pp1179-1186.

16) 정경수, 최성모, 김동규(1999) 화재시 중심축력을 받는 콘크리트충전 강관기둥의 구조특성, 대한건축학회논문집, 대한건축학회, 제15권, 제6호, pp.13-20.

17) 정경수, 전상우, 김진호, 최성모, 김동규(2000) 중심축력을 받는 콘크리트 충전 강관기둥의 내화성능, 대한건축학회논문집, 대한건축학회, 제16권, 제5호, pp.3-10.

18) 정경수, 최성모, 김동규(2000) 화재시 중심축력을 받는 콘크리트충전 강관기둥의 내화 최대내력추정식 제안, 대한건축학회논문집, 대한건축학회, 제16권, 제6호, pp.13-20.

한국강구조학회, 충전강관기둥의 내화성능평가 및 설계법에 관한 연구, 1999.6.

19) 曺翔奎 : 鐵骨構造 角形鋼管標準接合, 泰林文化社, 1995年 5月

20) 岡部 猛 :鋼構造物の高溫時の彈塑性クリープ變形擧動解析に關する硏究、平成2年3月

21) 吳昌熙 : 鐵筋コンクリート造火災建物の火害とその補修に關する硏究, 東京工業大學 工業材料硏究所, 昭和60年7月

22) 高木任之 : 徹底解說 大改正 建築基準法, 1998.10.

23) 光和堂 : 建築基準法關係法令集, 2000.2.

24) 新日本法規 : 改正建築基準法, 2000.6.

25) 日本建築學會 : 鋼構造耐火設計指針, 1999.

26) 原田 有 : 建築耐火構法, 工業調査會, 1973.

27) (財)國土開發技術硏究センター : 建築物の總合防火設計法(全4卷), (財)日本建築センター, 1988.4.

28) 汁本 誠 : 防・耐火性能の評價技術-性能評價手法の體系, 建設省建築硏究所, 1998.10.

29) 遊佐秀逸 : 鐵骨造耐火性能とその評價", 建設省建築硏究所, 1998.10.

30) 浜田 稔외 19人, 建築學大系, 彰國社, 昭和48年3月

31) 齊藤春重 外 : セメント系濕式吹付けモルタル被覆鐵骨はりの 耐火性能試驗, 建材試驗情報, 1994.3.

32) 張福貴,靑木博文 :"金屬材料の繰返し應力-變形關係への Menegotto-Pintoモテルの適用性", 日本建築學會大會學術講演槪要集,1991年9月

33) 金和中 : 高溫度における コンクリートの力學的擧動に關する實驗的硏究, 東京工業大學校 博士學位論文, 1988.3.

34) 新・建築防災計劃指針, 日本建築 センター、1993.

35) 建設省建築硏究所 : 防・耐火性能評價技術の開發, 1996.

36) 作本好文 : 現行の耐火規準と新しい耐火設計法の槪要, 鐵構技術, 1995.

37) 作本好文 : 火災性狀および鐵骨溫度豫測(1,2),鐵構技術, 1995.

38) 堀內 三郎 : 建築防災, 朝倉書店, 1994.

39) 安部 武雄 : 建築構造用鋼材および鋼柱の高溫クリープ擧動に關する硏究, 東京工業大學 工業材料硏究所, 昭和58年3月

40) 篠原 保二 : 非定常加熱を受ける超極厚H鋼柱の非彈性擧動, 東京工業大學 工學部 建築學科, 昭和50年

41) 長谷見雄二 : 特殊建築物等 調査講習 テキスト, 日本建築防災協會

42) Dong-Il Chang, Hyo-Nam Cho, Chung-Bang Yun, Sang-Dae Kim : Structural Steel PSSC′ 98 VOLUME 1, Korean Society of Steel Construction, 1998.

43) T.Z.Harmathy : Fire Safety Design and Concrete, Longman Scientific & Technical, 1993.

44) Paul Stollard and John Abrahams : Fire From First Principles, CHAPMAN & HALL, 1991.

45) International Code Council : International Building Code, 2000.

46) International Code Council : International Fire Code, 2000.

47) IISI, International Fire Engineering Design for Steel Structures : State of the Art, 1993.

48) ASFPCM : Fire Protection for Structural Steel in Buildings(2nd Edition-Revised), 1992.

49) Philip J. Dinenno, P.E. et al : SFPE Handbook of Fire Protection Engineering, National Fire Protection Association and Society of Fire Protection Engineers, 1988.5.

50) Vincent Powell-Smith & M.J. Billington : The Building Regulations, Blackwell Science Ltd, 1999.

51) Department of the Environment, Transport and the Regions : The Building Regulations - APPROVED DOCCUMENT B(Fire Safety), 2000.

52) John A. Purkiss : Fire Safety Engineering Design of Structures, Butterworth-Heinemann, 1996.

53) 일본 강구조협회(1991), Calculation of the Fire Resistance of Centrally Loaded Composite Steel-Concrete Columns Exposed to the Standard Fire.

54) Y.S. Chae, K.S. Chung, S.M. Choi, D.K. Kim(2000.9), 中心壓縮軸力を受けるCFT柱の耐火性能, 일본건축학회 논문 경계집.

55) American Institute of Steel Construction, Inc.(2003), Steel Design Guide 19 - Fire Resistance of Structural Steel Framing.

56) D.K. Kim, S.M. Choi, J.H. Kim, K.S. Chung, S.H. Park, Experimental Study on Fire Resistance of Concrete-filled Steel Tube Column under Constant Axial Loads, International Journal of Steel Structures, 2005, pp.305-313.

57) D.K. Kim and S.M. Choi(2000.11), Structural Characteristics of CFT Columns Exposed to Fire, Program of 2nd International Japan-Korea Symposium on Advanced Engineering and Science.

58) D.K. Kim, S.M. Choi, K.S. Chung(2000.3), Structural Characteristics of CFT Columns subject to Fire Loading and Axial Force, Associate for International Cooperation and Research in Steel-Concrete Composite Structures(ASCCS), pp.271-278.

59) European Committee for Standardization(1992), Eurocode No. 4: Design of Composite Steel and Concrete Structures, Part 1.1: General Rules and Rules for Buildings, DD ENV 1994-1-1. British Standards Institution, UK.

60) Eurocode No. 4: Design of Composite Steel and Concrete Structures(2003), Part 1.2: Structural Fire Design, ENV 1994-1-2. British Standards Institution, UK.

61) James A.Milke(2004), Performance-Based Analysis Methods to Determine the Fire Resistance of Structural Members, ASCE.

62) Jamil Ghojel(2004), Experimental and analytical technique for estimating interface thermal conductance in composite structural elements under simulated fire conditions, Experimental Thermal and Fluid Science, pp.347-354.

63) T.T. Lie, Member, ASCE, and R.J. Irwin(1995), Fire Resistance of Rectangular Steel Columns Filled with Bar-Reinforced Concrete, Journal of Structural Engineering, pp.797-805.

64) Han, L. H. (2001). Fire performance of concrete filled steel tubular beam-columns, J. Constr. Steel Res., 57(6), 697-711.

65) Lin-Hai H, You-Fu Y, Lei X.(2003) An experimental study and calculation on the fire resistance of concrete-filled SHS and RHS columns, Journal of Constructional Steel Research,

66) Lin-Hai Han, Xiao-Ling Zhao, M.ASCE(2003), Experimental Study and Calculation of Fire Resistance of Concrete-Filled Hollow Steel Columns, Journal of Structural Engineering, pp.346-356.

67) Jean Baptiste Schleich, Jean-Pierre Bouillette (1992), International Fire Engineering Design for Steel Structures: State of the Art.

68) Jing Yin, Xiao-xiong Zha, Long-yuan Li(2006), Fire resistance of axially loaded concrete filled steel tube columns, Journal of constructional steel research, pp.723-729.Journal of Constructional Steel Research.

69) V.K.R. Kodur, Member, ASCE.(1998.6) Design Equations For Evaluation Fire Resistance of SFRC-Filled HSS Columns, Journal of Structural Engineering, pp.671-677.

70) V.K.R. Kodur, Member, ASCE, and T.T. Lie, Member, ASCE(1996), Fire Resistance of Circular Steel Columns Filled with Fiber-Reinforced Concrete, Journal of Structural Engineering, pp.776-782.

71) Y.C. Wang(2003), Steel and Composite Structures-Behaviour and design for fire safety, SPON PRESS.

주 의

1. 이 보고서는 국토교통부에서 시행한 국토교통기술사업화 지원사업의 연구보고서입니다.
2. 이 보고서 내용을 발표하는 때에는 반드시 국토교통부에서 시행한 사업의 연구결과임을 밝혀야 합니다.
3. 국가과학기술 기밀유지에 필요한 내용은 대외적으로 발표 또는 공개하여서는 아니됩니다.