

최종보고서(일반과제용)							보안등급				
							일반[✓], 보안[]				
중앙행정기관명	국토교통부			사업명	사업명		국토교통기술혁신연구사업				
전문기관명	국토교통과학기술진흥원				내역사업명		국토교통기술혁신연구 (기반연구 유형)				
공고번호	공고-제05호			연구개발과제번호		20CTAP-C158215-01					
국가과학기술 표준분류	EI0406	50%	EI0204	30%	EI0307	20%					
연구주제	(대분류)고부가가치 건설기술 창출		(중분류)고부가가치 인프라		(소분류)지하 대공간/라이프라인						
연구개발과제명	국문	지하대공간 구현시 역타공법이 가능한 삼각유닛 CFT기둥과 단순 패널의 모멘트 접합부 개발									
	영문	Development of CFT Column and Joint Panel with Triangular Unit Realizing Underground Space by Top-Down Method									
주관연구개발기관	기관명	동신대학교 산학협력단			사업자등록번호	412-82-05825					
	주소	(58245) 전라남도 나주시 건재로 185			법인등록번호	205571-0003941					
연구책임자	성명	양일승			직위	정교수					
	연락처	직장전화	061.330.3129			휴대전화	010-7174-1698				
		전자우편	yang1698@dsu.ac.kr			국가연구자번호	1008-5232				
연구개발기간	전체	2020. 04. 01 - 2021. 12. 31 (21개월)									
	1년차	2020. 04. 01 - 2020. 12. 31 (9개월)									
	2년차	2021. 01. 01 - 2021. 12. 31 (12개월)									
연구개발비 (단위 : 천원)	정부지원 연구개발비	기관부담 연구개발비		그외기관 등의 지원금		합계			연구개발비 외 지원금		
	현금	현금	현물	현금	현물	현금	현물	합계			
총계	370,000	12,400	111,600	-	-	-	-	382,400	111,600	494,000	-
1년차	160,000	5,400	48,600	-	-	-	-	165,400	48,600	214,000	-
2년차	210,000	210,000	63,000	-	-	-	-	217,000	63,000	280,000	-
공동연구개발기관 등	기관명	책임자	직위	휴대전화	전자우편	비고					
	역할	기관유형									
공동연구개발기관	(주)세진알앤에스	오재열	소장	010-4165-1587	sejinrns@hanmail.net	공동연구 책임자	중소기업				
	(주)삼원중공업	장성욱	공장장 (전무)	010-5476-1738	sojang61@naver.com	공동연구 책임자	중소기업				
위탁연구개발기관											
연구개발기관 외 기관											
연구개발담당자 실무담당자	성명	전진우			직위	과장					
	연락처	직장전화	02-542-0525			휴대전화	010-3329-1908				
		전자우편	sejinrns@hanmail.net			국가연구자번호	1253-9329				

이 최종보고서에 기재된 내용이 사실임을 확인하며, 만약 사실이 아닌 경우 관련 법령 및 규정에 따라 제재 처분 등의 불이익도 감수하겠습니다.

2022 년 03 월 15 일

연구책임자 : 양일승

주관연구개발기관의 장 : 동신대학교 산학협력단 최효승 (직인)

공동연구개발기관의 장 : (주)세진알앤에스 오재열

(주)삼원중공업 장성욱

국토교통과학기술진흥원장 귀하

< 요약 문 >

사업명		국토교통기술촉진연구사업		연구개발과제번호		20CTAP-C158215-01	
내역사업명		국토교통기술혁신연구					
국가과학기술표준분류		EI0406	50%	EI0204	30%	EI0307	20%
연구주제		고부가가치 건설기술 창출		고부가가치 인프라		지하대공간/라이프라인	
연구개발과제명		지하대공간 구현시 역타공법이 가능한 삼각유닛 CFT기둥과 단순 패널의 모멘트 접합부 개발					
전체 연구개발기간		2020. 04. 01 - 2021. 12. 31(21개월)					
총 연구개발비		총: 494,000 원 (정부지원연구개발비: 370,000원, 기관부담연구개발비 : 124,000원, 지방자치단체: 원, 그 외 지원금: 원)					
연구개발단계		기초[√] 응용[] 개발[] 기타(위 3가지에 해당되지 않는 경우)[]		기술성숙도		착수시점 기준(6단계) 종료시점 목표(6단계)	
연구개발과제 유형		지정공모 [] 자유공모 [✓]					
연구개발과제 특성		기반연구					
연구 개발 목표 및 내용	최종 목표		본 연구는 ‘지하 대공간 구현 시 역타 공법이 가능한 삼각유닛 CFT기둥과 단순 패널의 모멘트 접합부’를 개발하여 개발 구조시스템의 경제성과 구조성능을 검증하고, 설계·시공지침 작성 및 시작품 제작을 통해 현장적용 가능성을 극대화하고자 함.				
	전체 내용		<u>이 연구에서는 ‘지하대공간 구현시 역타공법이 가능한 삼각유닛 CFT기둥과 단순 패널의 모멘트 접합부’을 개발하기 위하여 시공단계 및 합성단계에 대한 실험 및 해석적 연구를 수행하고, 설계·시공 상세지침 및 시작품 제작을 통해 현장적용의 가능성을 극대화 하고자 함.</u> 연구개발 목표를 달성하기 위한 세부목표는 다음과 같음. ▶ 선행연구 문헌조사 및 기존 합성구조 시스템의 한계점 분석 ▶ 다양한 변수에 대한 유한요소해석을 수행하여 조립단면의 최적형상 도출 ▶ 실험 및 해석적 연구를 통한 개발 합성구조 시스템의 구조성능 검증 ▶ 시공하중 및 극한하중 재하에 따른 기둥의 처짐 및 변형 계측 ▶ 합성 전 실험 및 해석에 근거한 기둥 및 접합부의 가설계획 수립 ▶ 실물실험을 통한 합성 기둥 및 접합부의 구조성능평가 ▶ 이론적, 해석적, 실험적 연구를 통한 성능검증 결과를 바탕으로 설계법 도출, 설계 및 시공지침 작성, 시작품 제작				
	1년차	목표	변수분석을 통해 지하대공간 구현시 역타공법이 가능한 삼각유닛 CFT기둥과 단순 패널의 모멘트 접합부의 최적 단면형상을 결정하고, 해석적 연구를 통하여 개발 구조시스템의 구조성능을 검증				
		내용	<u>이 연구에서 개발하고자 하는 ‘지하대공간 구현시 역타공법이 가능한 삼각유닛 CFT기둥과 단순 패널의 모멘트 접합부’은 기존 합성구조 시스템의 형상을 혁신적으로 개선하여 합성부재의 하중전달문제를 개선하고 제작성을 향상시킨 합성구조 시스템임.</u> 개발 합성기둥은 콘크리트의 구속효과를 극대화하여 기둥의 강도뿐만 아니라 연성 확보가 가능한 우수한 기술임. 이 연구개발 과제목표를 효과적으로 달성하기 위하여 주관 연구기관과 공동연구기관에서는 다음과 같은 실험 및 해석적 연구와 현장 적용성 평가 등을 수행할 예정임. 문헌연구 및 유한요소해석을 이용한 변수분석을 통하여 하중전달 및 구속효과를 극대화할 수 있는 합성구조 시스템의 최적 단면형상을 결정하고, 구조적 취약점, 제작 공정 상의 문제점, 시공시 발생 가능한 문제점 등을 파악한 후 이를 개선할 수 있는 해결방안을 수립하여 최적의 단면형상을 도출할 것임. 도출된 최적 단면형상을 가진 합성기둥에 대한 실험 및 해석적 연구를 통하여 개발 기둥의 시공단계 및 합성단계 구조성능을 검증할 것임. 이와 더불어, 요구되는 구조성능에 적합하게 선정된 최적단면을 가진 합성기둥에 대한 경제성 평가를 통하여 기존 합성기둥 대비 경쟁력을 확보할 수 있도록 할 것임.				

	2년차	목표	보-기둥 접합부의 최적 형상 제시 및 구조성능 검증을 위한 시작품 제작과 더불어 설계·시공 상세 지침 작성											
		내용	개발된 합성기둥의 형상을 기반으로 합성구조 시스템에 적합한 보-기둥 접합부의 형상을 개발할 예정임. 개발된 접합부는 실험 및 해석적 연구를 통하여 개발 기둥의 콘크리트와 합성 전의 시공단계 및 합성 이후 단계의 구조성능을 검증할 것임. 이와 더불어, 요구되는 구조성능에 적합하게 선정된 최적단면을 가진 합성기둥 및 접합부에 대한 경제성 평가를 통하여 기존 합성기둥 대비 경쟁력을 확보할 수 있도록 할 것임. 개발 기술의 현장적용 시 발생할 수 있는 설계·시공상의 문제점을 사전에 파악하여 설계·시공 상세지침을 작성하고, 이를 바탕으로 시작품을 제작하여 현장적용 가능성을 검토할 것임.											
연구개발성과			이 연구를 통하여 ‘지하대공간 구현시 역타공법이 가능한 삼각유닛 CFT기둥과 단순 패널의 모멘트 접합부’를 개발하고, 시공단계 및 합성단계에서의 구조성능, 시공성, 경제성 등을 분석하여 개발기술의 우수성을 정량적으로 검증할 것임. 또한, 설계 및 시공 상세지침 작성, 시작품 제작 등을 통하여 현장적용 가능성을 극대화 할 것임. 이 연구를 통하여 다음과 같은 연구개발성과를 도출할 수 있음. ▶ 시공단계 및 합성단계에서 개발기술의 구조성능 검증 ▶ 개발기술의 구조상세 해석 및 설계기법 도출 ▶ 개발기술의 설계·시공 상세 지침 작성 ▶ 개발기술의 시작품 제작 ▶ 특허 출원을 통한 제안 기술의 지적재산권 확보 ▶ 이론적, 해석적, 실험적 연구결과의 학술논문게재 및 학술대회 발표											
연구개발성과 활용방안 및 기대효과			현재 건설현장에서 적용되고 있는 합성기둥은 일체성 및 합성도의 부족에 의한 하중 전달의 문제가 지적되고 있으며, 각형강관의 경우 구속효과의 부재로 기대성능에 미치지 못한 강도와 연성을 보이는 문제점이 있음. 이 연구를 통해 개발하고자 하는 지하대공간 구현시 역타공법이 가능한 삼각유닛 CFT기둥과 단순 패널의 모멘트 접합부는 최적화된 조립형상의 단면을 합성기둥에 적용함으로써, 기존 합성기둥의 구조적 문제점을 해결할 수 있으므로 큰 하중전달 및 높은 연성이 요구되는 건축구조물에 널리 적용될 수 있을 것으로 판단됨. 이 연구개발 결과로부터 다음과 같은 활용 및 기대효과를 얻을 수 있음. ▶ 경제적인 합성구조 시스템에 대한 원천기술 확보 ▶ 개발기술의 설계 및 시공상세 제시를 통한 현장 적용성 및 사업화 성공 가능성 증진 ▶ 공장제작 방식으로 인한 품질관리용이, 현장 작업 최소화 및 공기단축 등을 통하여 시장 경쟁력 확보 ▶ 거푸집 사용을 줄임으로써 폐기물을 최소화한 친환경 기술 선도											
연구개발성과의 비공개여부 및 사유			해당없음											
연구개발성과의 등록·기탁 건수			논문	특허	보고서 원문	연구 시설·장비	기술 요약 정보	소프트웨어	표준	생명자원		화학물	신품종	
										생명 정보	생물 자원		정보	실물
			Y	Y	Y	N	Y	N	N	N	N	N	N	Y
연구시설·장비 종합정보시스템 등록 현황			구입기관	연구시설·장비명	규격 (모델명)	수량	구입 연월일	구입가격 (천원)	구입처 (전화)	비고 (설치장소)	ZEUS 등록번호			
			-	-	-	-	-	-	-	-	-			
국문핵심어 (5개 이내)			합성구조			충전형기둥		접합부		조립 단면			구조성능	
영문핵심어 (5개 이내)			Composite construction			CFT		Joint		Built-up section			Structural performance	

< 목 차 >

1. 연구개발과제의 개요	1
1) 연구개발과제의 최종 목표	1
2) 연구개발과제의 연차별 목표	6
2. 연구개발과제의 수행 과정 및 수행내용	11
1) 연구개발과제의 수행 과정	11
2) 연구개발과제의 수행 내용	15
3. 연구개발과제의 수행 결과 및 목표 달성 정도	72
1) 연구수행 결과	72
2) 목표 달성 수준	128
4. 목표 미달 시 원인분석(해당 시 작성)	129
5. 연구개발성과 및 관련 분야에 대한 기여 정도	130
6. 연구개발성과의 관리 및 활용 계획	131
7. 참고 문헌	133

별첨자료(성과 증빙자료 등)

1. 연구개발과제의 개요

1) 연구개발과제의 최종 목표

- 이 연구에서는 ‘지하대공간 구현시 역타공법이 가능한 삼각유닛 CFT기둥과 단순 패널의 모멘트 접합부’를 개발하기 위하여 개발 구조시스템의 경제성과 구조성능을 검증하고, 설계·시공지침 작성 및 시제품 제작을 통해 현장적용의 가능성을 극대화하고자 함.
- 최근 도시의 사무실 및 상업용 건물은 한정된 부지의 효율적인 이용을 위하여 고층화되고 있음. 건축물의 고층화는 구조계획 측면에서 공간의 효율성을 요구할 뿐 아니라 기둥 또는 보 등의 주요 구조부재로 고인성, 고강도의 부재를 요구하고 있음. 또한, 건물의 주요 부재에는 지진에 의한 반복하중에 견딜 수 있도록 높은 축력 하에서 안정된 이력 특성이 요구되고 있음. 초고층 건축은 용도의 다양화, 복합화, 의장의 기대감으로부터 종래의 구조적 제약 조건을 극복하고 장스팬 구조 및 공간의 효과적 이용을 가능하게 하는 구조형식이 요구되고 있음.
- 기존 콘크리트 충전 각형강관(Concrete Filled Tube, CFT)구조는 폐단면 부재로써 그림 1.1에 나타낸 것과 같이 휨모멘트에 효과적으로 저항하는 강관을 외부에 배치하고, 압축력에 효과적으로 저항하는 콘크리트를 내부에 타설하는 합성기둥임. 외부의 강관이 내부 콘크리트를 구속하여 구속효과(confinement effect)에 의한 압축력에 대한 저항성능의 향상을 기대할 수 있고 내부의 콘크리트가 외부 강관의 국부좌굴을 방지하기 때문에 강도와 에너지 흡수 능력이 다른 구조시스템에 비해 효율적인 합성구조시스템임.

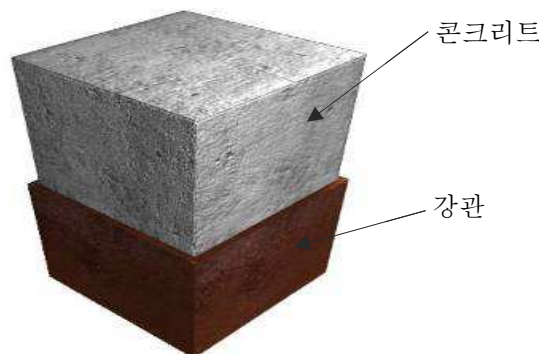


그림 1.1 콘크리트 충전 각형강관기둥

- 기존 CFT기둥의 경우 기둥의 구조성능 및 연성확보를 위해 기둥의 단면의 폭(B)에 대한 강관의 두께(t)의 비율인 판폭두께비(B/t)를 표1.1과 같이 제한하고 있음. 판폭두께비의 제한은 작용하는 휨모멘트가 작고 압축력이 큰 기둥의 경우 강관의 두께를 필요이상으로 두껍게 설계해야하기 때문에 경제성이 저하되는 문제점이 있음.

표 1.1 국가별 CFT관련 규정

Code	KBC				AISC				Eurocode 4	
	2005		2009		1999		2005			
A_s/A_g	3 % or above		1 % or above		4 % or above		1 % or above		2%~9%	
f_c'	20.5 MPa or greater		21~70MPa		21~55MPa		21~70MPa		20~50MPa	
$F_{y,max}$	415MPa		440MPa		415MPa		440MPa		450MPa	
Shape	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
$(B \text{ or } D)/t_w$	$\sqrt{\frac{3E}{F_y}}$	$\sqrt{\frac{8E}{F_y}}$	$\sqrt{\frac{5.1E}{F_y}}$	$\frac{0.15E}{F_y}$	$\sqrt{\frac{3E}{F_y}}$	$\sqrt{\frac{8E}{F_y}}$	$\sqrt{\frac{5.1E}{F_y}}$	$\frac{0.15E}{F_y}$	$52\sqrt{\frac{235}{F_y}}$	$90\frac{235}{F_y}$

○ CFT기둥은 외부의 강관과 내부의 콘크리트가 완전히 일체화되어 거동할 때 그 합성효과가 극대화되는 합성부재로 KBC 2016(Korea Building Code 2016)에 따르면 외력이 부재에 축방향으로 가해질 때, 부재로의 힘 도입과 부재 안에서의 길이방향 전단력 전달은 직접부착작용, 전단접합 및 직접지압 중에서 가장 큰 공칭강도의 힘의 전달기구를 사용할 수 있으나 이러한 힘의 전달기구들은 중첩하여 사용할 수 없다고 명시됨. 따라서 작용하중이 부재의 직접부착작용이나 직접지압에 의한 강도보다 큰 경우, 추가적인 전단연결재를 설치하여 강관과 콘크리트의 일체성을 확보하게 되어있음. 추가적으로 설치되는 전단연결재는 기둥의 제작성과 경제성을 저하시켜 CFT기둥의 보급화에 악영향을 미침.

○ CFT기둥의 대표적인 장점은 압축력이 작용하면 그림 1.2에 나타난 것과 같이 내부의 콘크리트는 하중의 방향으로 수축하며, 수축의 직각방향으로는 푸아송효과(poisson's effect)에 의하여 팽창함. 균열이 발생한 이후에 콘크리트의 팽창은 외부의 강관에 의해 구속되며, 이 때 발생한 구속력은 콘크리트의 강도를 증가시키고 이 현상을 구속효과(confinement effect)라고 함. 하지만, 이러한 구속효과는 원형 CFT기둥에만 적용이 가능하며, 각형 CFT기둥에서 구속효과는 강도를 산정할 때 무시되고 있음. 그 이유는 그림 1.3에 나타난 것과 같이 각형 CFT기둥에서는 모서리 쪽의 콘크리트는 구속효과가 있지만, 면의 중앙부로 갈수록 철판에 의한 구속효과가 매우 작기 때문에 강도증진에 미치는 영향이 매우 작기 때문임.

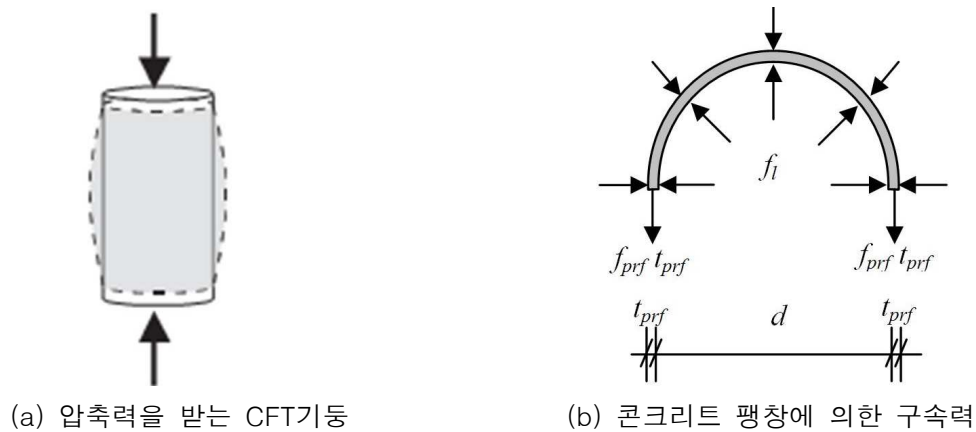


그림 1.2 원형 CFT기둥의 구속효과

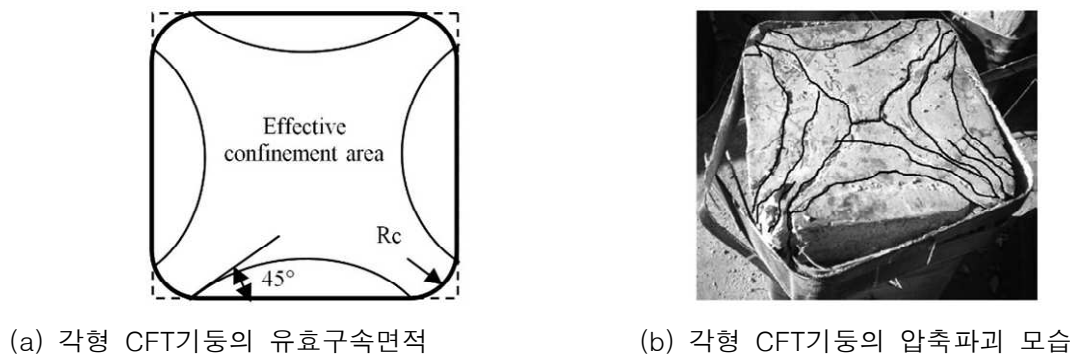


그림 1.3 각형 CFT기둥의 구속효과

○ 기존 CFT기둥시스템에서 보-기둥 접합부는 보의 하중을 기둥에 효과적으로 전달하기 위하여 그림 1.4에 나타난 것과 같이 내다이아프램(Internal diaphragm), 외다이아프램(External diaphragm), 관통형 다이아프램을 사용하는 것이 일반적임. 이러한 다이아프램은 일반적으로 CFT기둥에 횡방향으로 용접되어 설치됨. 이러한 횡방향의 다이아프램은 길이방향으로 제작되는 기둥과 접합부에 삽입 또는 관통되기 때문에 기둥과 접합부의 제작성 및 경제성을 저하시키는 원인이 됨.

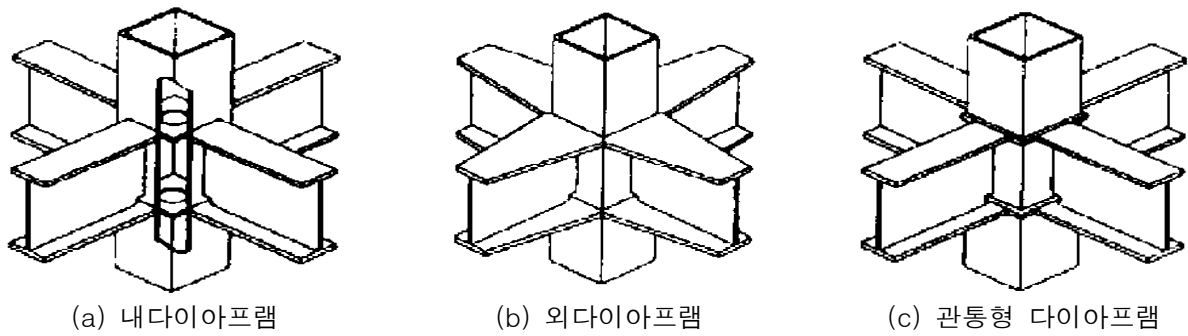


그림 1.4 기존 CFT기둥의 보-기둥 접합부

- 이 연구에서는 기존 각형 CFT기둥과 접합부의 문제점을 해결하기 위하여 그림 1.5(a)에 나타난 것과 같이 각 삼각형형태의 유닛강관 4개를 결합해서 제작하는 삼각유닛 CFT(CFTU)기둥을 개발함. 개발 CFTU(Concrete Filled Tube with Triangle Unit)기둥은 기둥면의 중앙부에 유닛의 모서리를 배치하고 국부좌굴을 방지하고 구속효과를 극대화할 수 있음. 또한, 콘크리트와 철판의 접촉면을 증가시킴으로써 하중을 효과적으로 전달할 수 있기 때문에 추가적인 전단연결재의 배치가 필요치 않아서 경제성 및 제작성을 향상시킬 수 있음.
- 개발된 CFTU기둥의 개념을 발전시켜 접합부에 적용하면 그림 1.5(b)에 나타난 것과 같으며, 이는 기존의 횡방향으로 삽입되거나 관통되는 보강재를 생략하고 길이방향으로 일정한 단면을 가질 수 있기 때문에 우수한 제작성 및 경제성을 확보할 수 있음.

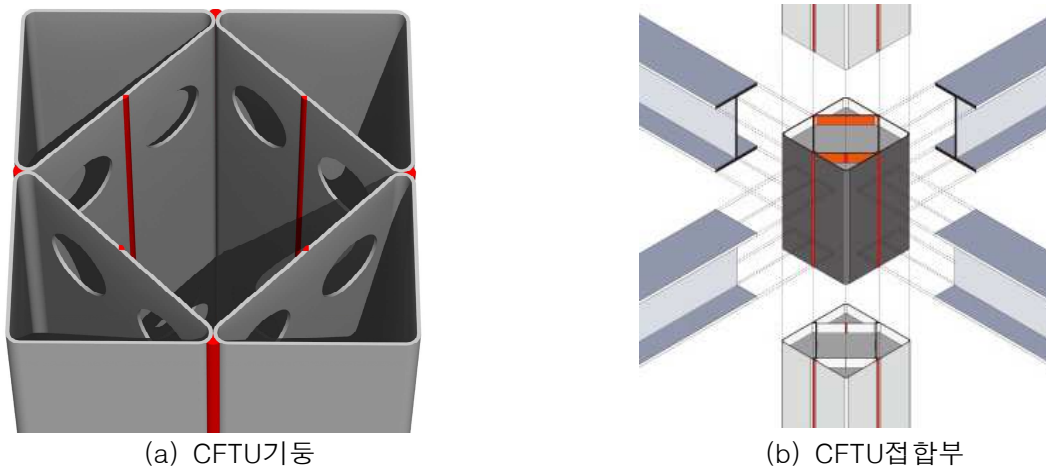


그림 1.5 개발 합성구조 시스템의 개념도

- 개발 CFTU기둥의 단면은 그림 1.6에 나타난 것과 같이 삼각형형태의 유닛을 4개 결합하여 제작하여 유닛 삼각형의 모서리가 맞대어 용접된 곳이 기둥면의 중앙에 위치하게 됨. 이는 기둥면 중앙에 스티프너를 설치한 것과 같이 기둥면의 국부좌굴을 방지하는 역할을 함. 따라서, CFTU기둥을 설계 시 판폭(B)의 길이를 기둥 폭의 절반으로 사용할 수 있기 때문에 경제적인 설계가 가능함. 특히, 휨모멘트에 비해 상대적으로 축력이 큰 부재에서 두께가 얇은 철판을 사용하여 기둥을 제작할 수 있기 때문에 경제적인 효과가 탁월할 것으로 판단됨.
- KBC 2016에는 CFT기둥의 하중전달은 직접지압강도, 전단접합 및 직접부착강도 중 가장 큰 강도의 힘 전달기구를 사용할 수 있으나 이러한 힘의 전달기구는 중첩할 수 없게 되어 있음. 이 때 직접부착강도(R_n)는 $R_n = U_{in} L_{in} F_{in}$ 으로 산정할 수 있는데, 여기서 U_{in} , L_{in} 와 F_{in} 은 그림 1.7에 나타난 것과 같이 각각 강관의 둘레길이(mm), 하중도입부의 길이(mm)와 공칭부착응력(MPa)임. 하중도입부의 길이(L_{in})은

기둥의 폭(B)의 2배와 기둥의 길이(L)의 1/3배 중 작은 값을 넘을 수 없으며, 각형강관 단면에서 F_{in} 는 0.4MPa를 사용함.

- 일반적인 각형 CFT기둥과 개발 CFTU기둥이 동일한 폭과 길이일 경우 콘크리트와 접하는 면적이 약 2.4배 크기 때문에 2.4배 큰 직접부착강도를 확보할 수 있을 것으로 판단됨. 또한, 개발 기둥은 콘크리트 타설을 위한 구멍이 있는데 추가적인 하중전달요소로 작용할 것으로 예상되어 별도의 전단연결재의 설치가 필요 없음.

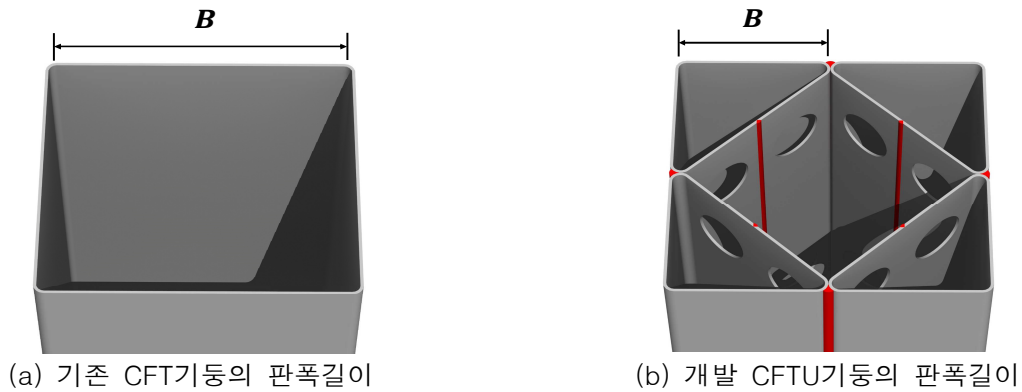


그림 1.6 기둥 판폭의 길이 비교

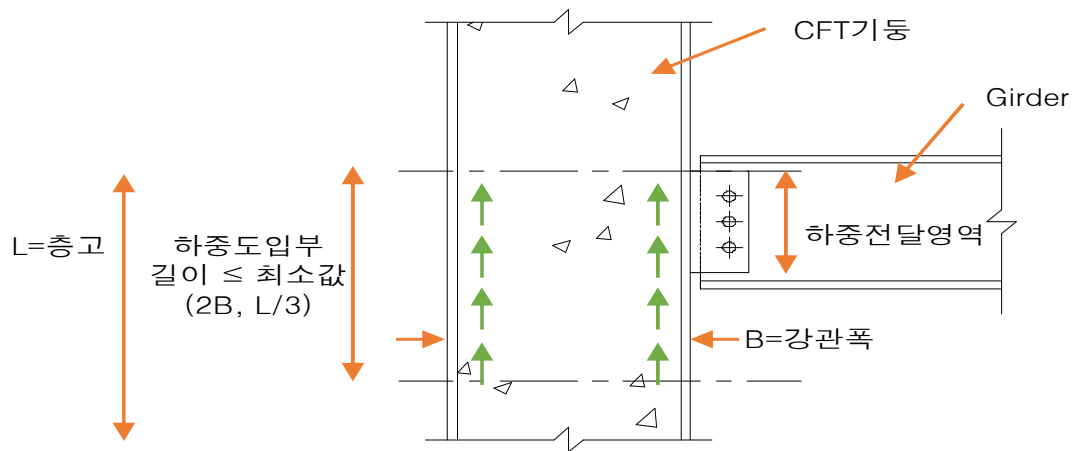


그림 1.7 하중도입부 조건

- 앞에서 언급한 것과 같이 각형 CFT기둥은 원형 CFT기둥과 달리 구속효과에 의한 강도증진효과를 기대하기 어려움. 그 이유는 각형강관은 원형강관과 달리 강관의 모서리에서 면의 중심으로 갈수록 콘크리트의 팽창에 대한 구속력이 작아지기 때문에 그림 1.8(a)과 같이 유효구속효과 면적이 작기 때문임. 하지만, 개발 CFTU기둥의 경우 면의 중앙에 삼각형 유닛의 모서리가 위치하기 때문에 면의 중앙에서의 구속력이 유효함. 따라서, 개발 기둥은 그림 1.8(b)에 나타난 것과 같이 유효구속효과 면적이 상대적으로 크기 때문에 상대적으로 큰 압축강도 증진효과를 기대할 수 있고, 구속효과에 의하여 연성도 증가할 것으로 예상됨.

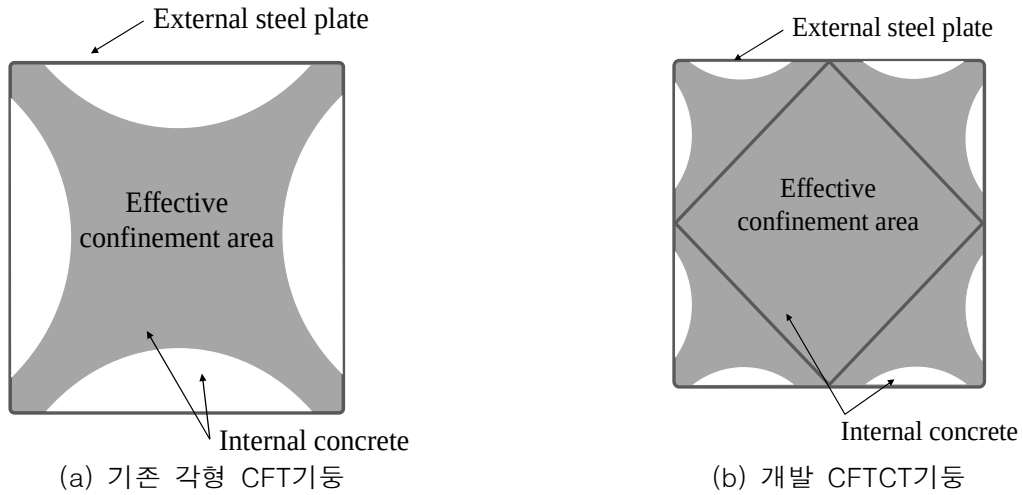


그림 1.8 유효구속효과 면적비교

- 기존 CFT기둥의 보-기둥 접합부는 일반적으로 내다이아프램(Internal diaphragm), 외다이아프램(External diaphragm), 관통형 다이아프램 등을 용접하여 제작함. 이러한 이질적인 작업은 보-기둥 접합부를 구현하는데 많은 비용과 시간이 투입되어 경제성과 생산성을 저해시키는 원인이 됨. 하지만 개발 CFTU접합부는 그림 1.9(a)에 나타난 것과 같이 기둥에 인장력이 작용하면 그림 1.9(b)와 같이 내부의 사재들이 스티프너로 작용함으로써 철판에 과도한 변형 없이 응력을 전달할 수 있기 때문에 접합부에는 추가적인 다이아프램의 설치가 필요 없어 경제성과 제작성을 크게 향상시킬 수 있음.

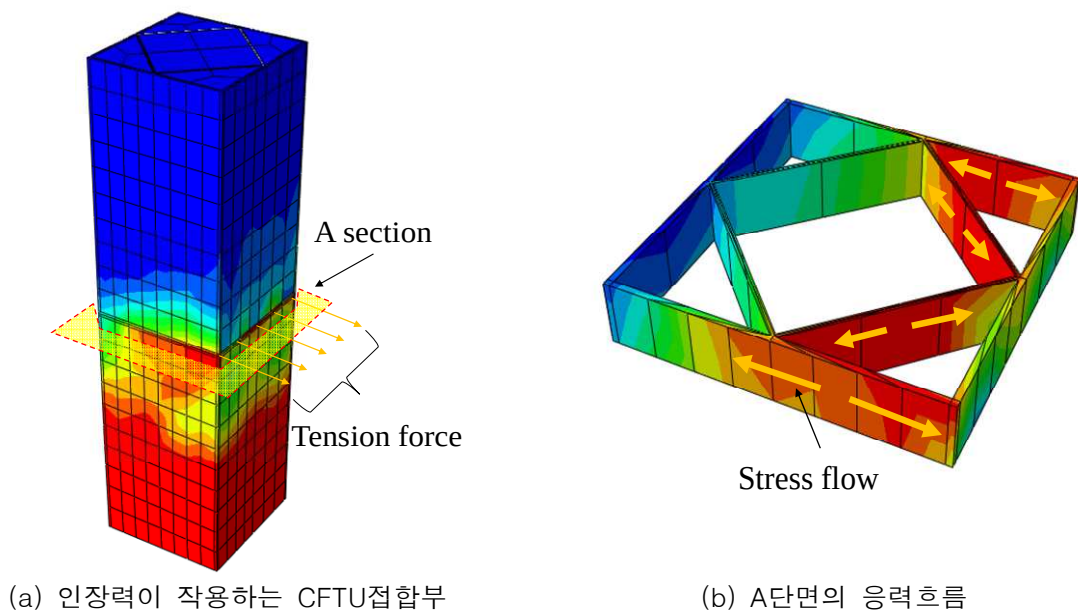


그림 1.9 CFTU접합부의 응력전달 개념도

2) 연구개발과제의 연차별 목표

▶ 1차년도

○ 1차년도 연구개발 목표 및 설정 근거

- 기술개발 목표 : 변수분석을 통해 지하대공간 구현시 역타공법이 가능한 삼각유닛 CFT기둥과 단순 패널의 모멘트 접합부의 최적 단면형상을 결정하고, 해석적 연구를 통하여 개발 구조시스템의 구조성능을 검증할 것임 또한, 현행 설계법을 검토하여 개발 시스템에 적용하는 것이 적합한 지 여부를 검토. 주관 및 공동 연구기관별 1차년도도 개발목표는 표 1.2와 같음.
- 목표 설정근거 : 기존 합성구조 시스템의 구조적 취약점, 제작공정 및 시공 시 발생 가능한 문제점 등을 개선하기 위해서는 다양한 변수분석을 통하여 조립단면을 도입한 합성구조 시스템의 최적 단면형상을 도출하는 것이 필요함. 또한, 현장 적용을 위해서는 개발 시스템의 구조성능 검토 및 적합한 강도산정법과 설계법이 필요함.

표 1.2 주관 및 공동 연구기관별 1차년도 개발내용 및 범위

연구기관	개발 내용 및 범위
주관연구기관 (동신대학교)	■ 기존 합성구조 시스템의 문제점 검토 - 기존 문헌조사 및 한계점 분석 - 물량저감 및 구조성능 확보를 위한 이론적 연구 ■ 해석적 연구를 통한 개발 합성구조 시스템의 문제점 및 개선방안 도출 - 역학이론을 활용하여 개발기술을 적용한 합성기둥의 구조거동 검토 - 제작과정, 현장적용 시 발생할 수 있는 문제점 파악 ■ 시공단계에 대한 실험계획 및 실험연구 수행 - 콘크리트 타설 전 재하실험을 통한 개발 기둥의 처짐, 변형 검토 - 유한요소해석을 통한 해석적 연구결과와 실험결과 비교 분석 및 타당성 검토 ■ 합성단계에 대한 실험계획 및 실험연구 수행 - 콘크리트 타설 후 재하실험을 통하여 개발 기둥의 사용성, 안전성 검증 - 콘크리트와 철판의 하중에 대한 저항 기여분 파악 ■ 개발 기술의 검토 및 보완을 통한 최적화 - 해석적 연구결과와의 비교 및 검토 - 기존 이론, 해석방법의 수정 및 보완
공동연구기관 (세진알앤에스)	■ 합성기둥의 최적단면 도출 및 설계방안 검토 - 변수분석을 통한 최적의 단면형상 도출 - 기존 합성 기둥의 설계법 분석 ■ 요구 구조성능 및 경제성 평가 - 개발기둥에 적합한 요구 구조성능 평가 - 경제성 평가를 통한 경쟁력 확보 ■ 개발 기술의 검토 및 보완을 통한 최적화 - 설계강도 및 실험강도의 비교, 분석 - 설계식의 수정 및 보완
공동연구기관 (삼원중공업)	■ 합성기둥의 최적단면 도출 - 기둥의 형태의 제작가능 여부를 판단 - 제작 단가를 비교하여 경제성을 평가 ■ 목업실험체 제작 - 목업실험체를 제작하여 보고서 작성

○ 개발 내용 및 범위

- 개발 CFTU기둥의 단면은 그림 1.10에 나타난 것과 같이 삼각형형태의 유닛을 4개 결합하여 제작하여 유닛 삼각형의 모서리가 맞대어 용접된 곳이 기둥면의 중앙에 위치하게 됨. 이는 기둥면 중앙에 스티프너를 설치한 것과 같이 기둥면의 국부좌굴을 방지하는 역할을 함. 따라서, CFTU기둥을 설계시 판폭(B)

의 길이를 기둥폭의 절반으로 사용할 수 있기 때문에 경제적인 설계가 가능함. 특히, 휨모멘트에 비해 상대적으로 축력이 큰 부재에서 두께가 얇은 철판을 사용하여 기둥을 제작할 수 있기 때문에 경제적인 효과가 탁월할 것으로 판단됨.

- 일반적인 각형 CFT기둥과 개발 CFTU기둥이 동일한 폭과 길이일 경우 콘크리트와 접하는 면적이 약 2.4배 크기 때문에 2.4배 큰 직접부착강도를 확보할 수 있을 것으로 판단됨. 또한, 개발 기둥은 콘크리트 타설을 위한 구멍이 있는데 콘크리트 타설 이후 이 구멍에 의한 perfobond 추가 부착효과가 추가적인 하중전달요소로 작용할 것으로 예상되어 별도의 전단연결재의 설치가 필요 없음.

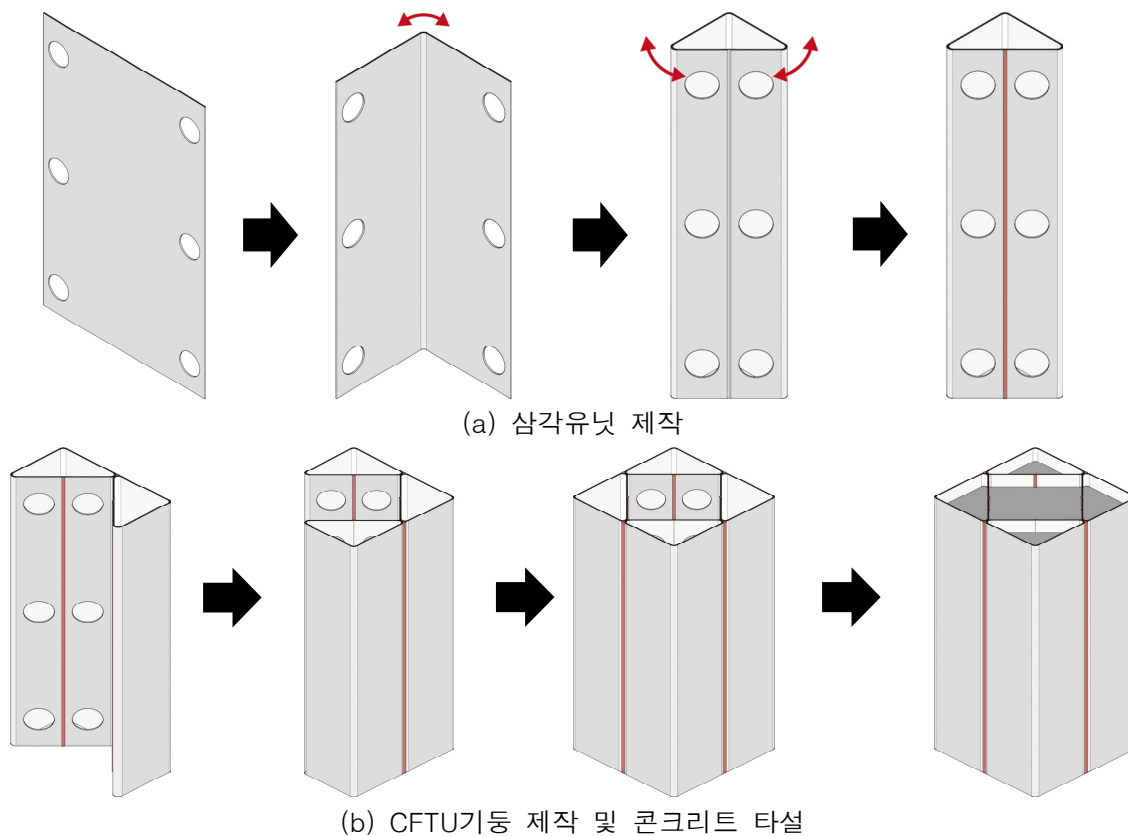


그림 1.10 개발 CFTU기둥의 제작순서

- 개발하고자 하는 합성기둥은 절곡형상 및 용접상세에 대한 면밀한 검토가 필요함. 따라서, 이 연구에서는 기본적으로 삼각형 유닛의 형태는 그대로 적용하되 다양한 치수와 두께 등을 변수로 그림 1.11에 나타난 것과 같이 유한요소해석을 수행하여 기둥의 응력분포 및 변형을 검토함으로써 최적화된 합성기둥의 형태를 제시하고자 함.
- 그림 1.12에 예시된 바와 같이 중심압축실험 및 편심압축실험을 수행하고자 함. 이때 합성기둥의 처짐 및 변형률을 계측하여 시공하중에 대한 기둥의 저항성능을 검토할 것임.
- 콘크리트 타설 이후 합성단계에서 사용하중 및 극한설계하중에 대한 부재의 저항성능을 평가하기 위하여 실물실험을 수행하고자 함. 1차 연도에서는 CFTU기둥에 대한 시공단계와 합성단계에서 중심압축실험과 편심압축실험을 통하여 구조성능에 대한 검증을 수행할 예정임. 또한, 개발 부재에 적합한 강도산정법 및 설계법을 제안할 것임.

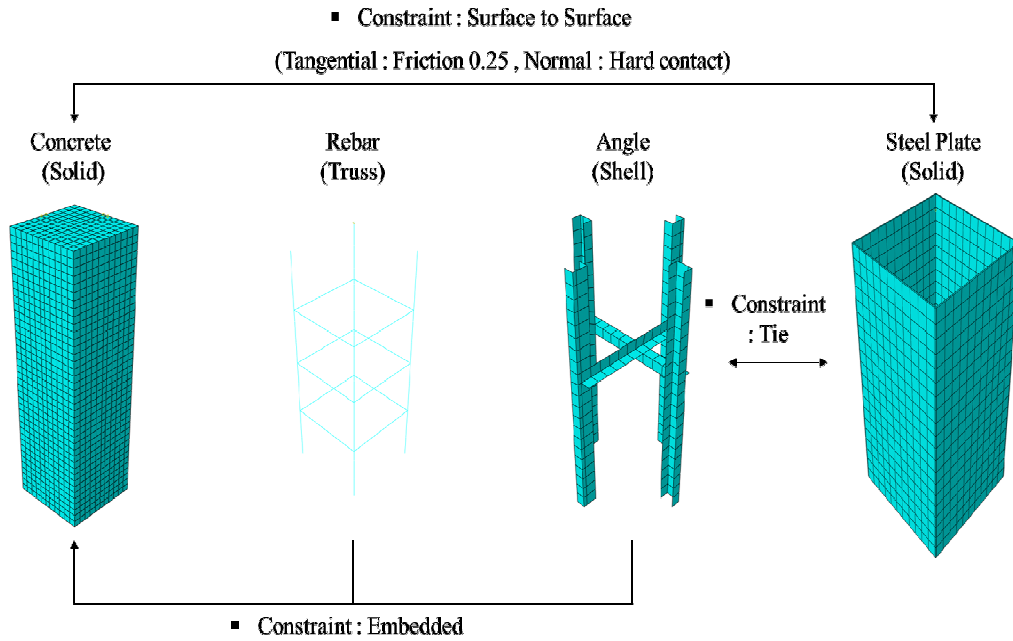
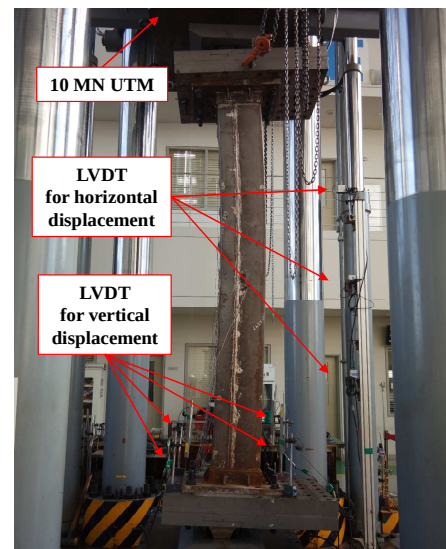


그림 1.11 개발 CFTU기둥의 유한요소해석



(a) 중심압축실험



(b) 편심압축실험

그림 1.12 개발 CFTU기둥의 실험적 연구

▶ 2차년도

○ 2차년도 연구개발 목표 및 설정 근거

- 기술개발 목표 : 그림 1.10에 나타낸 것과 같이 개발된 CFTU기둥의 단면을 수정 및 보완하여, 현장적용이 용이한 접합부를 개발할 예정임. 개발 CFTU접합부의 구조성능 및 제작성능을 검증하기 위하여 실험 및 해석적 연구를 수행하고, 개발 합성구조 시스템의 설계법 도출 및 설계·시공 지침서를 작성하여 실무적용이 용이하도록 하고자 함. 주관 및 공동 연구기관별 2차년도 개발 목표 및 내용은 표 1.3과 같음.
- 목표 설정근거 : 2차년도에서는 개발 CFTU접합부에 대하여 실험 및 해석적 연구를 통하여 개발 구조성능 및 제작성을 검증을 진행할 것임. 또한, 현장적용 가능성을 극대화하고 실무적용이 용이하게 설계법 제시 및 설계·시공 지침서 제공이 필요함.

○ 개발 내용 및 범위

- 기존 CFT기둥의 보-기둥 접합부는 일반적으로 내다이하프램(Internal diaphragm), 외다이하프램(External diaphragm), 관통형 다이하프램 등을 용접하여 제작함. 이러한 이질적인 작업은 보-기둥 접합부를 구현하는데 많은 비용과 시간이 투입되어 경제성과 생산성을 저해시키는 원인이 됨. 하지만 개발 CFTU접합부는 기둥에 인장력이 작용하면 내부의 사재들이 스티프너로 작용함으로써 철판에 과도한 변형 없이 응력을 전달할 수 있기 때문에 접합부에는 추가적인 다이하프램의 설치가 필요 없어 경제성과 제작성 크게 향상시킬 수 있음.

표 1.3 주관 및 공동 연구기관별 2차년도 개발내용 및 범위

연구기관	개발 목표
주관연구기관 (동신대학교)	■ 개발 합성기둥의 문제점 검토 - 합성 기둥의 실험 선행연구 조사 및 한계점 분석 - 목표성능 확보를 위한 이론적 연구 ■ 해석적 연구를 통한 개발 합성기둥의 문제점 및 개선방안 도출 - 역학이론을 활용하여 개발기술을 적용한 기둥의 구조거동 검토 - 유한요소해석을 통한 개발 기둥의 구조성능 해석수행 ■ 합성구조에 적합한 접합부의 단면도출 - 기둥의 단면을 수정 및 보완하여 접합부에 적합한 최적단면 도출 ■ 실험계획 및 실험적 연구수행 - 콘크리트 타설 전 시공단계에서의 접합부의 구조성능 검증 - 콘크리트 타설 후 합성단계에서 접합부의 구조성능 검증 ■ 개발기술의 검토 및 보완을 통한 구조성능 최적화 - 실험결과와 해석적 연구결과와의 비교·분석 - 기존 이론·해석방법의 수정 및 보완 ■ 개발된 접합부의 설계 및 시공 상세지침 작성 - 설계·제작단계에서 발생하는 애로사항 파악 및 해결
공동연구기관 (세진알앤에스)	■ 합성구조 시스템의 설계방안 검토 - 기존 합성 접합부의 설계법 검토 ■ 개발기술의 검토 및 보완을 통한 구조성능 최적화 - 도출된 설계법과 실험적 연구결과와의 비교·분석 - 설계법의 수정 및 보완 - 개발기술의 구조성능 향상을 위한 상세 수정안 도출 ■ 개발 합성구조 시스템의 가설계획 수립 - 실험결과를 바탕으로 시스템 서포트 적용 여부 검토 - 현장적용을 위한 상세도면 작성 ■ 개발된 합성구조 시스템의 설계 및 시공 상세지침 작성 - 현장적용을 위한 상세도면 작성 - 실무자를 위한 설계법 검토 및 시공방법 제시
공동연구기관 (삼원중공업)	■ 개발 기둥의 제작보고서 작성 ■ 제작 시방서 작성 ■ 현장적용을 위한 시공 지침서 작성

- 개발CFTU접합부의 구조성능을 분석하기 위하여 그림 1.13에 나타난 것과 같이 유한요소해석프로그램을 사용하여 응력집중, 국부좌굴 등에 대하여 상세해석을 수행할 예정임. 콘크리트 타설 이후 합성단계에서 사용하중 및 극한설계하중에 대한 접합부의 저항성능을 평가하기 위하여 그림 1.14에 보이는 바와 같이 실물실험을 수행하고자 함.

- 또한, 개발기술의 현장 적용을 위하여 설계, 제작과정, 시공과정에서 발생할 수 있는 애로사항 및 다양한 시공조건에서의 시공상세 등을 고려하여 설계·시공 지침서를 작성하고자 함.

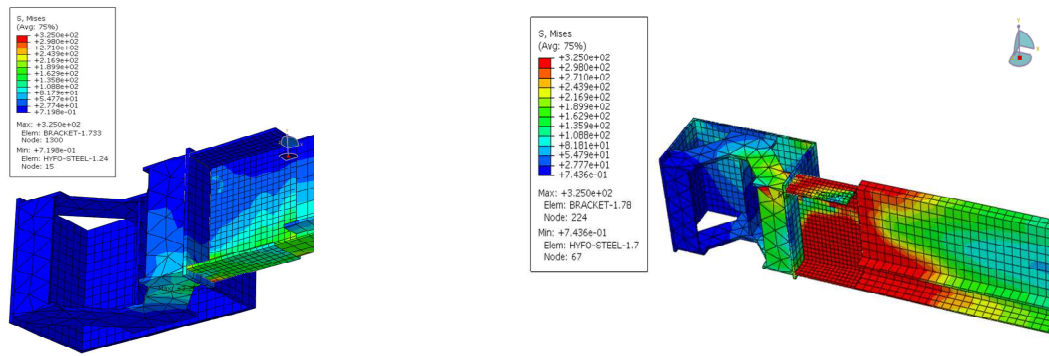


그림 1.13 접합부 유한요소해석



그림 1.14 접합부 실험적 연구

- 본 연구의 연도별 연구개발 목표 및 핵심 연구 개발 성과 목록을 정리하여 표 1.4에 나타내었다. 연구개발 목표를 설정하고 핵심 연구개발 성과 및 성과물을 제시함으로써 각 기관별 역할 분담 및 목표 달성을 이루고자 함.

표 1.4 연구개발 목표에 따른 성과 및 목표치 설정

구분	연구개발목표	핵심 연구개발성과 (연구개발성과물)	목표치 설정	가중치 (%)
1년차 (2020)	지하대공간 구현시 역타공법이 가능한 삼각유닛 CFT기둥과 단순 패널의 모멘트 접합부의 최적화된 형상 개발	변수분석을 통한 다양한 형상 및 최적 형상 도출	보고서	10
		이론적 연구를 통한 구조성능 평가 및 경제성 평가	보고서	10
		도출된 최적단면 형상 등에 대한 특허 출원 또는 등록	특허	5
	개발 합성구조 시스템의 구조성능 검증 (CFTU기둥)	해석적 연구를 통한 구조성능 평가	보고서	5
		실험적 연구를 통한 구조성능 검증	보고서, 논문	10
2년차 (2021)	개발 합성구조 시스템의 구조성능 검증 (CFTU접합부)	실험 · 해석적 연구결과 논문게재	논문	5
		해석적 연구를 통한 구조성능 평가	보고서	5
		실험적 연구를 통한 구조성능 검증	보고서, 논문	15
	개발 합성구조 시스템의 설계 및 시공기술 정립	실험 · 해석적 연구결과 논문게재	논문	10
		개발기술의 설계반영, 공정상의 문제점 분석 및 해결방안 도출	특허, 보고서	15
		개발기술의 설계 · 시공 상세 지침서 작성	설계 · 시공 지침서	10

2. 연구개발과제의 수행 과정 및 수행 내용

1) 연구개발과제의 수행 과정

▶ 수행 과정

- 개발 CFTU기둥의 단면 및 접합부 개발을 통한 시제품 제작에 따른 성능검증은 그림 2.1에 나타난 것과 같이 모멘트 접합부 구현이 최종 목표임을 알 수 있다. 이를 구현하기 위하여 콘크리트 타설 전 강관 기둥의 압축력에 대한 저항 성능 검토와 강관기둥에 축직각 방향으로 작용하는 인장력에 대한 성능이 필요함. 또한 합성기둥에 작용하는 압축력과 인장력에 따른 성능 검증을 요구하게 됨. 따라서 단일부재의 검증 완료 후 현행 규정을 만족하는 접합부 내진성능을 확인하는 것으로 순차적 연구를 진행함.

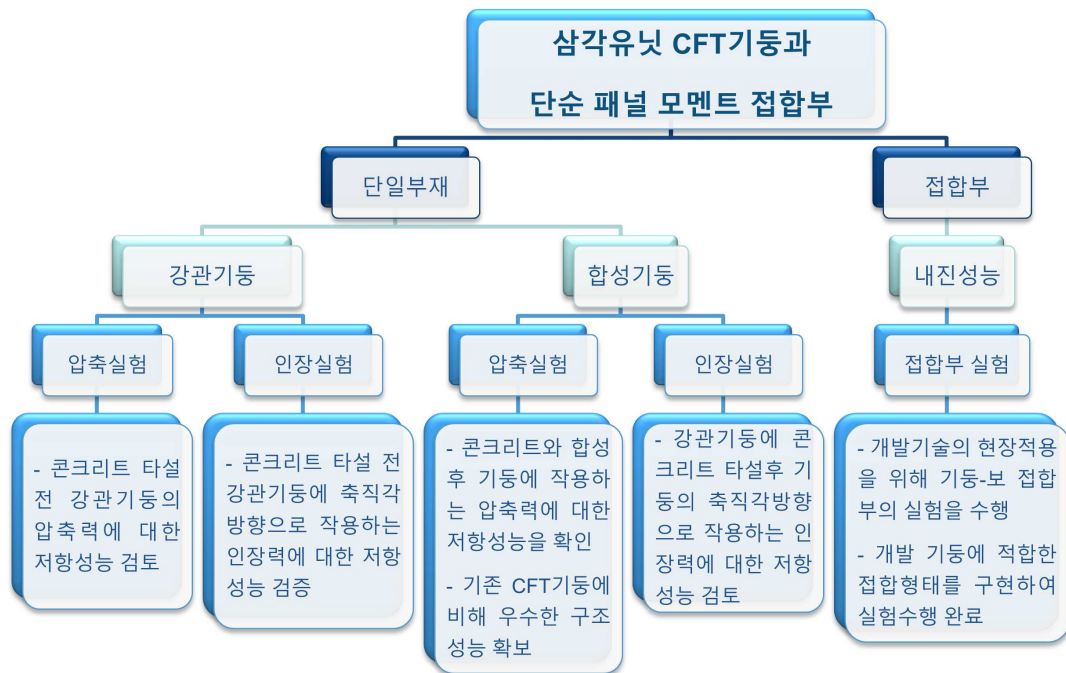


그림 2.1 연구개발 과제의 구조성능 평가 모식도

▶ 선행연구 및 문헌조사

- 개발 CFTU기둥의 단면은 그림 2.2에 나타난 것과 같이 삼각형형태의 유닛을 4개 결합하여 제작하여 유닛 삼각형의 모서리가 맞대어 용접하여 제작하는 합성기둥의 아이디어를 기본으로 다양한 형태의 합성기둥에 대한 구조적인 효율과 제작성 및 시공성에 대한 검토를 수행함.

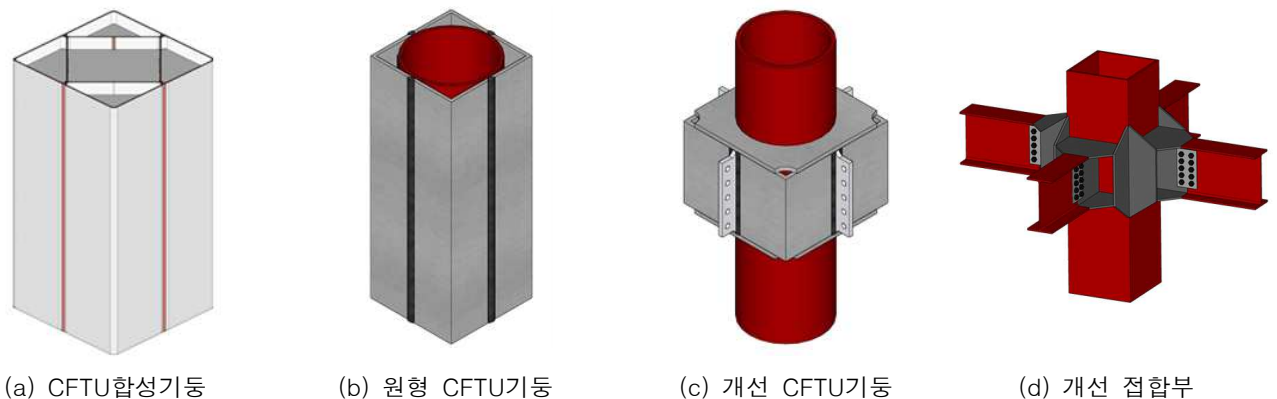


그림 2.2 다양한 형태의 합성기둥

○ 그림 2.3에 나타난 것과 같이 각형기둥과 원형기둥의 성능을 비교하기 위해서 구속효과에 다른 원형기둥과 각형기둥의 강도를 정량적으로 비교하기 위해서 기둥의 직경, 강관의 두께, 콘크리트 압축강도, 철판의 항복강도를 변수로 변수분석을 수행함. 역타 공법을 적용한 현장에서 지하구조물의 기둥의 크기는 천공한 오거의 직경에 의해 결정되기 때문에 분석결과를 각형강관의 대각길이(D_r)와 원형기둥의 직경(D_c)의 비율로 나타냄. 비교결과 원형강관의 압축강도는 구속효과에 의해서 향상되지만 각형강관의 대각길이보다는 크다는 것을 확인함.

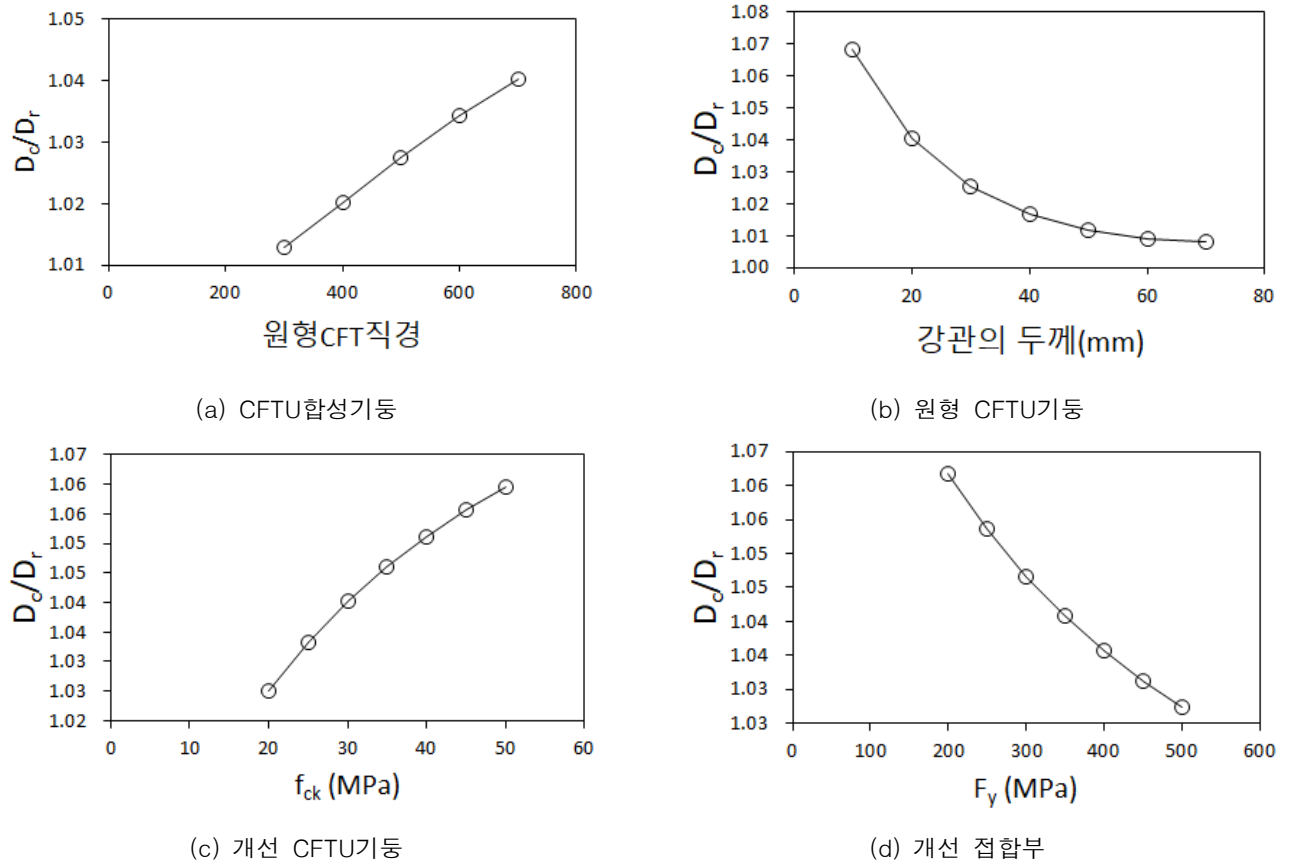


그림 2.3 각형기둥의 대각길이(D_r)에 대한 원형기둥의 직경(D_c)의 비율

○ 그림 2.4에 나타난 U칼럼BCR(Box Column Rolled)은 주니어 사이즈(150각, 175각)로 제작됨, 그동안의 U칼럼BCR을 포함하여 새로 국토 교통 대신 인정을 취득함. 뛰어난 내진성과 변형 성능은 역사, 학교, 상점 등 공공성이 높고 안심, 안전의 요구가 높은 건축물에도 이용되고 있음. 표 2.1은 제품 크기와 사양을 나타냄.

- 규격 : BCR295
- 대신인정번호 : MSTL-0188(센다이제조소)
MSTL-0189(히로하타제조소)



(a) 학교 야외통로



(b) 유치원 외부계단

그림 2.4 칼럼BCR(Box Column Rolled)의 적용 예시

표 2.1 칼럼BCR(Box Column Rolled)의 제품 크기 및 사양

寸法 (mm)		単位質量 (kg/m)	断面積 (cm ²)	断面二次モーメント (cm ⁴)	断面二次半径 (cm)	断面係数 (cm ³)	塑性断面係数 (cm ³)
A×B	t	W	A	Ix=Iy	ix=iy	Zx=Zy	Zpx=Zpy
150×150	6	26.2	33.32	1,130	5.82	150	178
	9	37.7	47.98	1,540	5.66	205	248
	12	48.1	61.30	1,850	5.50	247	307
175×175	6	30.9	39.32	1,840	6.84	210	246
	9	44.7	56.98	2,550	6.68	291	348
	12	57.5	73.30	3,120	6.52	356	437

○ 그림 2.5와 같이 에코각파이프는 최소 두께와 비교하면 단위 길이당 무게가 약 30% 감소한 경제적, 환경적, 각파이프임. 주요 용도는 공장, 창고, 점포 등 철골 건물의 안채, 스테드, 장선, 오프닝 프레임의 주요 부재임. 또한 가설 건축물이나 축사, 토목, 산업기기 분야 등의 용도에 적합한 크기를 선택할 수 있음. 표 2.2는 에코각파이프의 제품 사양과 종류를 나타내고 있음.

- 규격 : JIS G 3466(일반 구조용 각형강관) STKR400
- 설계기준강도 : 고시 2646호 표1에 따르면 235MPa



(a) 에코각파이프 형상



(b) 커튼월 프레임

그림 2.5 에코각파이프의 제품형상 및 적용 예시

표 2.2 에코각파이프의 제품 사양 및 종류

断面 形状	サイズ		単位質量 (kg/m)	表面処理			
	寸法 (mm)	板厚 (mm)		なし (クロカワ)	塗装		めっき
					赤錆色	グレー	
正方形	100×100	1.6	4.89	○	○	○	○
	125×125	2.3	8.75	○	○	○	○
	150×150	3.2	14.5	○	○	○	
矩形	125×75	1.6	4.89	○	○	○	○
	150×100	2.3	8.75	○	○	○	○
	200×100	3.2	14.5	○			

○ ND(Non-Diaphragm)코어는 그림 2.6에 나타낸 것과 같이 접합부에 두꺼운 강관을 이용하여 다이아프램을 보강하지 않는 형식의 기둥-보 접합부재임. 소정의 기둥-보 크기 범위 내에서 보유 내력의 접합 조건을 만족한다면, 접합부의 구조계산을 하지 않아도 됨. 기존대로, 기둥-보 접합부를 강접으로 골조 설계가 가능한 공법임. 다이아프램에 제한을 받지 않아 경제적인 보 크기로 설계가 가능하여 철골 중량 저감이 가능함. 접합부의 원만한 설계가 용이하기 때문에 경사진 보나, 단차가 있는 보의 설치가 용이하며 보 외면 맞춤에도 대응이 가능함. 아울러 경사지붕 또한 경제적이고 시공이 간편하며 설계용이성을 지니고 있음.

○ ND(Non-Diaphragm)코어는 이음 및 단차에 따른 시공성을 향상시키며, 논스캘럽 공법을 비롯한 현장 용접에도 상당히 용이하여 현장 대응이 보다 쉽게되는 장점이 있음. 기둥-보 접합부의 단순화는 철골 가공 공정 및

용접부 검사 양을 대폭적으로 저감할 수 있기 때문에, 공사기간의 단축에도 효과적임. 표 2.3은 ND(Non-Diaphragm)코어의 제품 사양과 종류를 나타내고 있음.



그림 2.6 ND(Non-Diaphragm)코어 형상 및 적용 예시

표 2.3 ND(Non-Diaphragm)코어의 제품 사양

부재기호	단면치수 B x B x t (mm)	길이(L)	단위중량	기둥크기	비고
ND150	152x152x16.5	최소 150mm에서 1.0mm 단위로 대응 가능 	69.8	□150	
ND175	177x177x17.0		85.1	□175	
ND200	202x202x22.0		124	□200	
ND250	252x252x24.0		184	□250	
ND300	302x302x29.0		265	□300	
ND350	352x352x33.8		360	□350	

2) 연구개발과제의 수행 내용

■ 기존 합성구조 시스템의 문제점 검토

- 기존 문헌조사 및 한계점 분석
- 물량저감 및 구조성능 확보를 위한 이론적 연구

- 현재 합성구조 시스템의 합성기둥 수요는 계속해서 늘어나고 있는 추세임. 따라서 현행 규정에서 제시하고 기준을 근간으로 기존 합성구조 시스템의 문제점을 검토하고자 함. 현행기준에서 제시하고 있는 휨좌굴에 대한 압축강도는 콤팩트 및 비콤팩트 단면인 압축재에 적용함. 비틀림에 대한 비지지길이가 횡좌굴에 대한 비지지 길이보다 큰 경우, H형강 기둥과 그와 유사한 기둥의 설계는 이 조항에 따름. 공칭압축강도 P_n 은 휨좌굴에 대한 한계상태에 기초하여 다음과 같이 산정함.

$$P_n = F_{cr} A_g$$

휨좌굴응력 F_{cr}

$$(1) \frac{KL}{r} \leq 4.71 \sqrt{\frac{E}{F_y}} \quad \text{또는} \quad F_y/F_e \leq 2.25 \text{인 경우}$$

$$F_{cr} = \left[0.658 \frac{F_y}{F_e} \right] F_y$$

$$(2) \frac{KL}{r} > 4.71 \sqrt{\frac{E}{F_y}} \quad \text{또는} \quad F_y/F_e > 2.25 \text{인 경우}$$

$$F_{cr} = 0.877 F_e$$

$$\text{여기서, } F_e : \text{탄성좌굴응력 } \frac{\pi^2 E}{\left(\frac{KL}{r}\right)^2}, \text{ MPa}$$

- 세장판요소를 갖는 압축부재는 등분포압축요소에 대하여 세장한 단면을 갖는 압축부재에 적용함. 세장한 단면을 갖는 압축부재의 공칭압축강도 P_n 은 휨좌굴, 비틀림좌굴, 휨-비틀림좌굴한계상태에 기초하여 다음과 같이 산정함.

$$P_n = F_{cr} A_g$$

$$(1) \frac{KL}{r} \leq 4.71 \sqrt{\frac{E}{QF_y}} \quad \text{또는} \quad QF_y/F_e \leq 2.25 \text{일 경우}$$

$$F_{cr} = Q \left[0.658 \frac{QF_y}{F_e} \right] F_y$$

$$(2) \frac{KL}{r} > 4.71 \sqrt{\frac{E}{QF_y}} \quad \text{또는} \quad QF_y/F_e > 2.25 \text{일 경우}$$

$$F_{cr} = 0.877 F_e$$

- 충전형 매입형 합성부재의 국부좌굴 영향에 대한 내용은 기존 합성구조에서는 적용하지 않았으나 현행기준의 내용을 살펴보면 다음과 같이 합성단면의 공칭강도는 소성응력분포법 또는 변형률적합법에 따라 결정하고 있

으며, 합성단면의 공칭강도를 결정하는데 있어 콘크리트의 인장강도는 무시함. 충전형합성부재는 국부좌굴의 영향을 고려해야 하며, 매입형합성부재는 국부좌굴을 고려할 필요가 없음.

- 원형단면의 경우 강관의 폭/두께비에 따른 의한 구속효과 고려하여 콘크리트의 강도증진 효과를 반영함 (Sakino et al. ,2004)

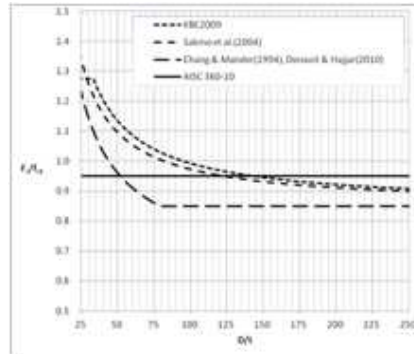


그림 2.7 원형강관 기둥의 구속효과 고려에 따른 콘크리트 강도 증진 효과

- 소성응력분포법에서는 강재가 인장 또는 압축으로 항복응력(F_y)에 도달할 때 콘크리트는 축력과/또는 휨으로 인한 압축으로 $0.85f_{ck}$ 의 응력에 도달한 것으로 가정하여 공칭강도를 계산하고, 충전형 원형강관합성단면의 콘크리트가 축력과/또는 휨으로 인한 압축응력을 받는 경우 구속효과를 고려함. 원형강관의 구속효과를 고려한 콘크리트의 소성압축응력은 $0.85\left(1+1.558\frac{f_y t}{D f_{ck}}\right)f_{ck}$ 로 함으로써 축력과/ 휨으로 인한 압축력을 명시하였으며, 충전형 원형강관 합성단면의 구속효과에 의한 콘크리트 강도증진 크기를 명시하여 제시하고 있음. 하지만 현행기준에서는 각형강관에 대한 구속효과는 무시하고 있는 실정을 반영하여 본 연구뿐 아니라 많은 연구진들에 의해 지속적으로 각형강관에 대한 구속효과 크기를 찾기 위한 연구가 진행되어야 할 것으로 판단됨.

- 현행기준에서 제시하고 있는 재료강도 제한 조건

합성구조에 사용되는 구조용강재, 철근, 콘크리트는 실험 또는 해석으로 검증되지 않을 경우 다음과 같은 제한 조건들을 만족해야 함.

- (1) 설계강도의 계산에 사용되는 콘크리트의 설계기준압축강도는 21MPa 이상이어야 하며, 70MPa를 초과할 수 없음. 경량콘크리트의 경우에는 설계기준압축강도는 21MPa 이상이어야 하며 42MPa를 초과할 수 없음.
- (2) 합성기둥의 강도를 계산하는데 사용되는 구조용 강재 및 철근 설계기준항복강도는 650MPa 초과할 수 없음.

- 국부좌굴에 대한 충전형 합성단면의 분류

- 압축력을 받는 충전형 합성부재의 단면은 조밀, 비조밀, 세장요소로 분류한다. 충전형 합성단면의 압축강재요소 중 최대폭두께비가 λ_p 를 초과하지 않는다면 조밀요소로 분류한다. 하나 또는 그 이상의 압축강재요소의 최대폭두께비가 λ_p 를 초과하고 λ_r 를 초과하지 않는다면 비조밀로 분류한다. 압축강재요소 중에서 최대폭두께비가 λ_r 를 초과하는 요소가 있으면 세장으로 분류한다. 최대허용 폭두께비는 표 2.4를 따른다.
- 휨을 받는 충전형 합성부재의 단면은 조밀, 비조밀, 세장요소(<표 2.5>를 참조)로 분류한다. 충전형합성단면의 압축강재요소 중 최대폭두께비가 λ_p 를 초과하지 않는다면 조밀요소로 분류한다. 하나 또는 그 이상의 압축강재요소의 최대폭두께비가 λ_p 를 초과하고 λ_r 를 초과하지 않는다면 비조밀로 분류한다. 압축강재요소 중에서 최대폭두께비가 λ_r 를 초과하는 요소가 있으면 세장으로 분류한다. 최대허용 폭두께비는 표 2.5를 따른다.
- 각형강관과 원형강관의 폭(b) 또는 직경(D)과 두께(t)에 대한 정의는 표 2.4 와 표 2.5를 참고한다.

표 2.4 압축력을 받는 충전형합성부재 압축강재요소의 판폭두께비 제한

구분	판폭 두께비	λ_p 조밀/비조밀	λ_r 비조밀/세장	최대허용
각형강관	b/t	$2.26\sqrt{\frac{E}{F_y}}$	$3.00\sqrt{\frac{E}{F_y}}$	$5.00\sqrt{\frac{E}{F_y}}$
원형강관	D/t	$\frac{0.15E}{F_y}$	$\frac{0.19E}{F_y}$	$\frac{0.31E}{F_y}$

표 2.5 힘을 받는 충전형합성부재 압축강재요소의 판폭두께비 제한

구분	판폭 두께비	λ_p 조밀/비조밀	λ_r 비조밀/세장	최대허용
각형강관의 플랜지	b/t	$2.26\sqrt{\frac{E}{F_y}}$	$3.00\sqrt{\frac{E}{F_y}}$	$5.00\sqrt{\frac{E}{F_y}}$
각형강관의 웹	h/t	$3.00\sqrt{\frac{E}{F_y}}$	$5.70\sqrt{\frac{E}{F_y}}$	$5.70\sqrt{\frac{E}{F_y}}$
원형강관	D/t	$\frac{0.09E}{F_y}$	$\frac{0.31E}{F_y}$	$\frac{0.31E}{F_y}$

-> 2010 AISC 합성기준의 중요 개정사항의 한 가지로서 실험결과를 토대로 강관의 폭-두께비 제한을 대폭 완화함. 비조밀/세장단면까지 허용하여 합성구조의 현장적용성을 제고할 것으로 기대되어 이를 적극 수용함. 조밀단면만 허용하는 과거의 2005 AISC 그리고 현행 ACI, EC4 합성기준은 실험결과와 비교해서 너무 보수적이었음.

○ 압축강도

- 축하중을 받는 2축대칭 매입형합성부재의 설계압축강도 $\phi_c P_n$ 은 기둥세장비에 따른 휨좌굴한계상태로부터 다음과 같이 구함.

$$\phi_c = 0.75$$

$$(1) \frac{P_{no}}{P_e} \leq 2.25 \text{인 경우}$$

$$P_n = P_{no} \left[0.658 \left(\frac{P_{no}}{P_e} \right) \right]$$

$$(2) \frac{P_{no}}{P_e} > 2.25 \text{인 경우}$$

$$P_n = 0.877 P_e$$

.....

$$EI_{eff} = E_s I_s + 0.5 E_{sr} I_{sr} + C_1 E_c I_c$$

- 합성부재의 설계압축강도는 순강재부재의 설계압축강도이상으로 해야 함.

- 축하중을 받는 2축대칭 충전형 합성부재의 설계압축강도는 다음과 같은 보정된 식들을 사용하여 휨좌굴 한계상태로부터 구함.

(1) 조밀단면

$$P_{no} = P_p$$

$$\text{여기서, } P_p = F_y A_s + F_{yr} A_{sr} + C_2 f_{ck} A_c$$

C_2 ; 사각형단면에서는 0.85, 원형단면에서는 $0.85 \left(1 + 1.558 \frac{f_y t}{D_c f_{ck}} \right)$ 로 한다. 여기서, $D_c = D - 2t$

(2) 비조밀단면

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

여기서, λ , λ_p 와 λ_r 은 판폭(직경) 두께비 제한값

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

(3) 세장단면

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

$$\text{여기서, 사각형단면 ; } F_{cr} = \frac{9 E_s}{(b/t)^2}$$

$$\text{원형단면 ; } F_{cr} = \frac{0.72 F_y}{[(D/t)(F_y/E_s)]^{0.2}}$$

- 합성단면의 유효강성은 다음 식으로 구함.

$$EI_{eff} = E_s I_s + E_{sr} I_{sr} + C_3 E_c I_c$$

여기서, C_3 는 충전형합성압축부재의 유효강성을 구하기 위한 계수

$$C_3 = 0.6 + 2 \left[\frac{A_s}{A_c + A_s} \right] \leq 0.9$$

- 합성부재의 설계압축강도는 순강재부재의 설계압축강도 이상으로 함.

○ 합성접합부

- 합성접합부는 작용하고 있는 하중의 종류에 따라 사용성과 안전성이 확보되도록 설계되어야 함. 합성 접합부는 강접합, 반강접합, 전단 접합으로 세분되어 매우 다양한 형식으로 사용될 수 있으므로 현행 기준에서는 기본원칙만을 최소 규정으로 하고 있는 실정임. 따라서 신규 개발된 접합부의 성능 인증은 인증 기관을 통해 검증되어야 실용화 단계의 완성도를 극대화할 수 있음.

○ 하중전달의 일반 요구사항

- 외력이 매입형 합성부재 또는 충전형 합성부재에 축방향으로 가해질 때, 부재로의 힘 도입과 부재안에서의 길이방향 전단력의 전달은 이 조항에 있는 힘의 분배에 대한 요구사항에 따라 평가함.
- 적절한 힘전달기구의 설계강도 ϕR_n 은 길이방향 소요전단력 V_r' 이상이어야 함.

○ 강재와 콘크리트 간 힘의 분배

- 강재와 콘크리트 간에 전달되어야 할 힘의 크기는 다음요구사항에 따라 외력을 분배함.

(1) 외력이 강재단면에 직접 가해지는 경우

- 모든 외력이 강재단면에 직접 가해지는 경우, 콘크리트에 전달되어야 할 힘 V_r' 은 다음과 같이 구함.

$$V_r' = P_r(1 - F_y A_s / P_{no})$$

여기서,

P_{no} : 길이효과를 고려하지 않은 공칭압축강도, N

매입형합성부재와 충전형합성부재는 압축강도 제안식에 의해 각각 구함.

P_r : 합성부재에 가해지는 소요외력, N

(2) 외력이 콘크리트에 직접 가해지는 경우

- 모든 외력이 피복콘크리트 또는 충전콘크리트에 직접 가해지는 경우, 강재에 전달되어야 할 힘 V_r' 은 다음과 같이 구함.

$$V_r' = P_r(F_y A_s / P_{no})$$

여기서, P_{no} : 길이효과를 고려하지 않은 공칭압축강도, N

매입형합성부재와 충전형합성부재는 압축강도 제안식에 의해 각각 구함.

P_r : 합성부재에 가해지는 소요외력, N

(3) 외력이 강재단면과 콘크리트에 동시에 가해지는 경우

- 외력이 강재단면과 매입콘크리트 또는 충전콘크리트에 동시에 가해지는 경우, 콘크리트에서 강재 또는 강재에서 콘크리트로 전달되어야 할 힘 V_r' 은 강재에 직접 가해지는 외력의 일부 P_{rs} 와 V_r' 과의 차이로 한다.

$$V_r' = P_{rs} - P_r(F_y A_s / P_{no})$$

여기서, P_{rs} : 강재에 직접 가해지는 외력의 일부 힘, N

○ 힘 전달기구

- 직접부착작용, 전단접합 및 직접지압에 의한 힘전달 기구의 공칭강도 R_n 은 다음과 같이 구한다. 이 중에서 가장 큰 공칭강도의 힘전달 기구를 사용할 수 있으나, 이러한 힘전달 기구들은 중첩하여 사용할 수 없음.

- 길이방향 전단력 V_r' 이 직접부착작용에 의한 설계전단강도를 초과할 경우에는 힘전달 기구를 사용하여야 함.

○ 직접지압강도

- 힘이 내부지압기구에 의한 직접지압에 의해 매입형 또는 충전형 합성부재에 전달되는 경우, 설계지압강도는 다음과 같이 콘크리트압괴의 한계상태로부터 구함.

$$R_n = 1.7f_{ck}A_1$$

$$\phi_B = 0.65$$

여기서, A_1 : 콘크리트의 재하면적, mm²

○ 하중도입부 이외구간의 길이방향 전단력

(1) 부재의 직각방향하중 또는 단부모멘트 또는 직각방향하중과 단부모멘트에 의해 발생하는 하중도입부 이외구

간에서의 콘크리트와 강재 사이 접촉면의 길이방향 소요전단응력분포를 확인해야 함. 길이방향 소요전단응력의 값에 강도저감계수 $\phi = 0.45$ 를 곱한 설계전단응력 ϕF_{in} 을 초과하는 경우에는 전단연결재로 보강해야 함.

(2) 보다 정밀한 방법에 의하지 않는 한, 접촉면에서의 길이방향 소요전단응력은 콘크리트의 장기효과와 균열을 고려한 탄성해석에 의해 구한 값을 사용할 수 있음.

■ 시공 및 합성 단계에 대한 실험계획 및 실험연구 수행

▶ 시공단계에서의 판폭두께비 검토

○ 세장판요소를 갖는 압축 부재는 등분포 압축요소에 대하여세장한 단면을 갖는 압부재에 적용함. 세장한 단면을 갖는 압축부재의 공칭압축강도 P_n 은 휨좌굴, 비틀림좌굴, 휨-비틀림 좌굴한계 상태에 기초하여 다음과 같이 산정함.

$$P_n = F_{cr} A_g$$

$$(1) \frac{KL}{r} \leq 4.71 \sqrt{\frac{E}{QF_y}} \text{ 또는 } QF_y/F_e \leq 2.25 \text{ 일 경우}$$

$$F_{cr} = Q \left[0.658 \frac{QF_y}{F_e} \right] F_y$$

$$(2) \frac{KL}{r} > 4.71 \sqrt{\frac{E}{QF_y}} \text{ 또는 } QF_y/F_e > 2.25 \text{ 일 경우}$$

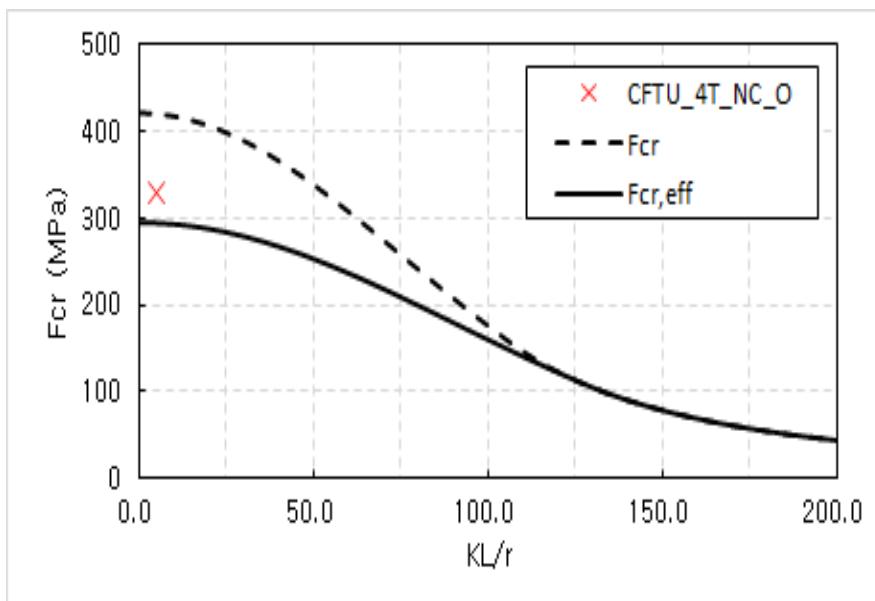
$$F_{cr} = 0.877 F_e$$

○ 합성구조의 시공 시에는 강구조 부분만으로 상당 기간 하중 및 외력을 부담하여야 하고 좌굴, 비틀림, 휨 등이 문제가 되는 경우가 있으므로 시공담당자와 협의하여 시공 시 하중 조건을 충분히 파악하고 이에 대한 안전을 확인하여야 함. 시공 시 하중에 대한 강재 및 접합부의 산정은 원칙적으로 건축구조기준에 따라야 하지만, 특별한 조사 등에 의해서 건축구조기준에 따르지 않는 경우라도 구조물의 안전에지장이 생기지 않도록 충분히 검토해야 함. 따라서 표 2.6의 콘크리트 충전 전 시공단계에서의 압축성능을 검증하기 위하여 본 연구를 통해 개발하고자 하는 단면과 일반 충전형 각형강관의 강재 단면과 제작 방법의 조건을 근간으로 각각의 판폭 두께비를 산정하였으며, 산정된 결과값을 바탕으로 개발하고자 하는 기동재의 압축강도를 산정하여 그림 8에 나타냄.

표 2.6 기동의 압축성능 검증 실험체

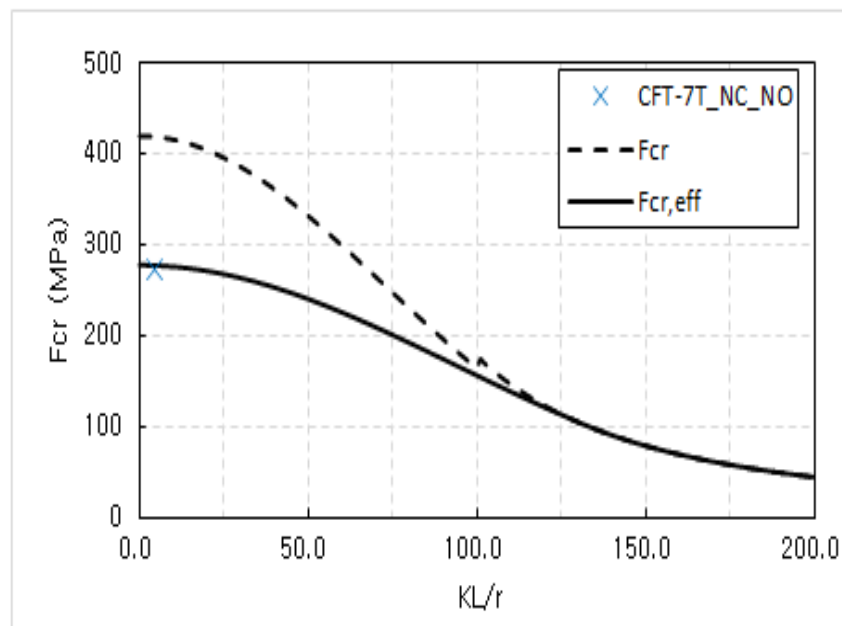
No.	기동의 종류	변 수			비고
		SIZE	Con'c	개구부	
1	CFTU_4t_NC_O	400x400x4t	X	O	
2	CFT_7t_NC_NO	400x400x7t	X	X	
3	CFTU_4t_NC_NO	400x400x4t	X	X	

판폭두께비검토		
b	200.0	mm
t	4.0	mm
ro	14.0	mm
판폭두께비	43.0	(b-2*ro)/t
비콤팩트 제한	32.9	-
검토	세장판요소	
세장판요소를 갖는 압축부재		
KL/r	4.9	-
4.71*(E/Fy)^0.5	104.1	-
Fe	83604.7	MPa
Fcr	419.1	MPa
세장한 구속판요소 Qa		
f	419.1	MPa
(E/Fcr)^0.5	22.1	-
be	140.1	mm
Aeff	5747.7	mm2
Qa	0.70	-
Pn		
Pn	3437.7	kN
Peff		
4.71*(E/(Q*Fy))^0.5	124.3	-
Fcr	293.9	MPa
Peff	2410.5	kN



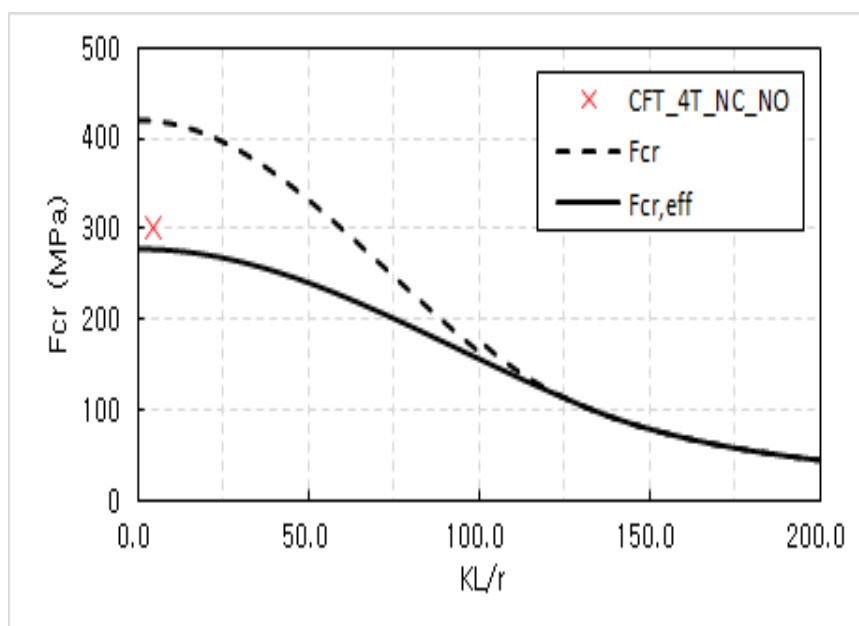
(a) CFTU_4t_NC_O

판폭두께비검토		
b	400.0	mm
t	7.0	mm
ro	24.5	mm
판폭두께비	50.1	$(b-2*ro)/t$
비콤팩트 제한	29.7	-
검토	세장판요소	
세장판요소를 갖는 압축부재		
KL/r	4.7	-
$4.71*(E/Fy)^{0.5}$	100.1	-
Fe	91360.8	MPa
Fcr	453.1	MPa
세장한 구속판요소 Qa		
f	453.1	MPa
$(E/Fcr)^{0.5}$	21.3	-
be	244.7	mm
Aeff	6576.1	mm ²
Qa	0.61	-
Pn		
Pn	4871.1	kN
Peff		
$4.71*(E/(Q*Fy))^{0.5}$	128.0	-
Fcr	277.3	MPa
Peff	2981.8	kN

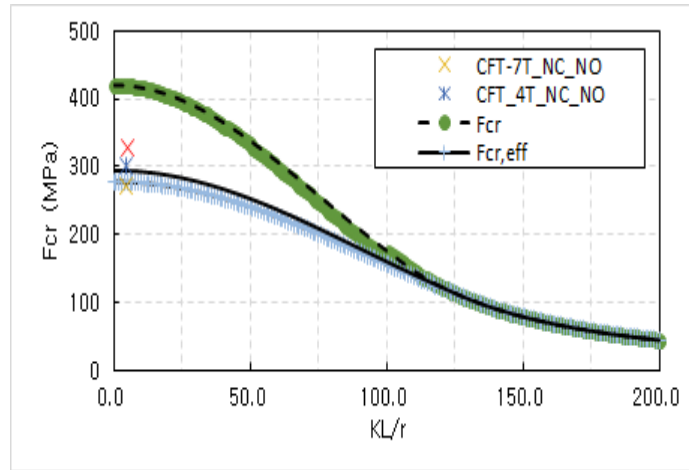


(b) CFT_7t_NC_NO

판폭두께비검토		
b	200.0	mm
t	4.0	mm
ro	14.0	mm
판폭두께비	43.0	(b-2*ro)/t
비콤팩트 제한	32.9	-
검토	세장판요소	
세장판요소를 갖는 압축부재		
KL/r	5.3	-
4.71*(E/Fy)^0.5	104.1	-
Fe	72311.0	MPa
Fcr	419.0	MPa
세장한 구속판요소 Qa		
f	419.0	MPa
(E/Fcr)^0.5	22.1	-
be	140.2	mm
Aeff	7430.5	mm2
Qa	0.70	-
Pn		
Pn	4442.1	kN
Peff		
4.71*(E/(Q*Fy))^0.5	124.3	-
Fcr	293.9	MPa
Peff	3115.5	kN



(C) CFTU_4t_NC_NO



(D) 각 형상별 유효좌굴 강도 산정 결과 비교

그림 2.8 시공단계에서의 판폭두께비 검토를 통한 유효좌굴 강도 산정 결과 비교

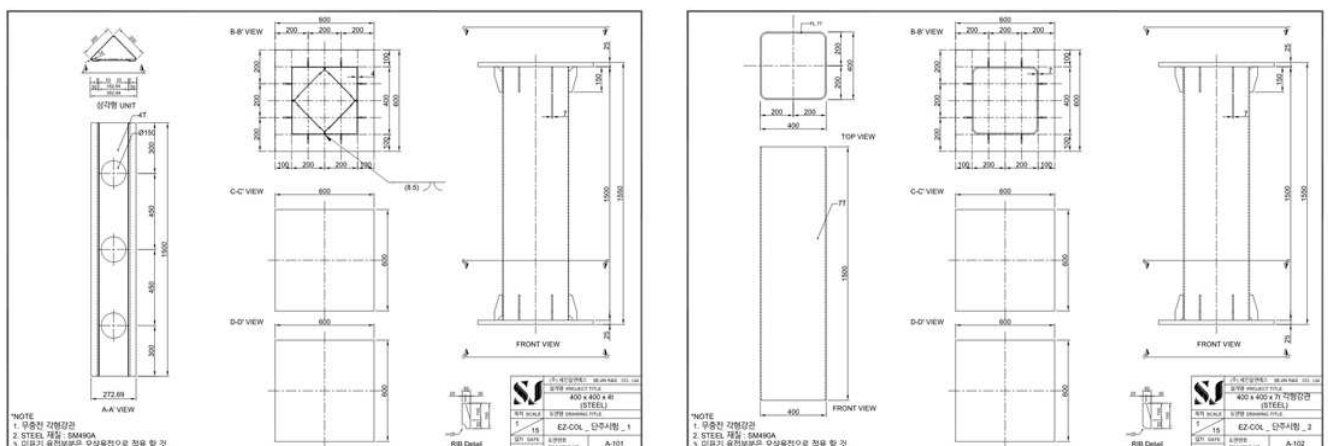
▶ 시공 및 합성 단계의 실험 계획 및 압축강도 평가 실험

- 표 2.7에 나타난 것과 같이 전체 압축강도 성능 검증을 위한 전체 실험체 제작 도면을 그림 2.9에 나타냄. CFTU기둥의 경우 내부 앵커 보강형 제작 방법을 채택하여 제작을 실시함.
- 개발 형상의 합성기둥의 압축력에 대한 구조성능을 검증하기 위해서 표 2.4에 나타난 것과 같이 5개의 실험체를 제작하여 실험을 수행함. 기둥 제작은 1-seam형 방법과 내부 앵커보강형 방법으로 경제성을 비교한 결과 1-seam기둥의 프레스 밴딩 조건에 따른 비용 상승과 제작 설비라인 미구축으로 인한 단가 상승의 영향으로 보편적인 내부 보강 방식인 내부 앵커 보강형을 선택하여 실험체를 제작함.

표 2.7 기둥의 압축성능 검증 실험체

No.	기둥의 종류	변 수			비고
		SIZE	Con'c	개구부	
1	CFTU_4t_NC_O	400x400x4t	X	O	
2	CFT_7t_NC_NO	400x400x7t	X	X	
3	CFTU_4t_C24_O	400x400x4t	24MPa	O	
4	CFT_7t_C24_NO	400x400x7t	24MPa	X	
5	CFTU_4t_NC_NO	400x400x4t	X	X	

- 판폭두께비 검토에 의한 유효 좌굴 강도를 비교하여 각 실험체별 제작 도면을 작성함.



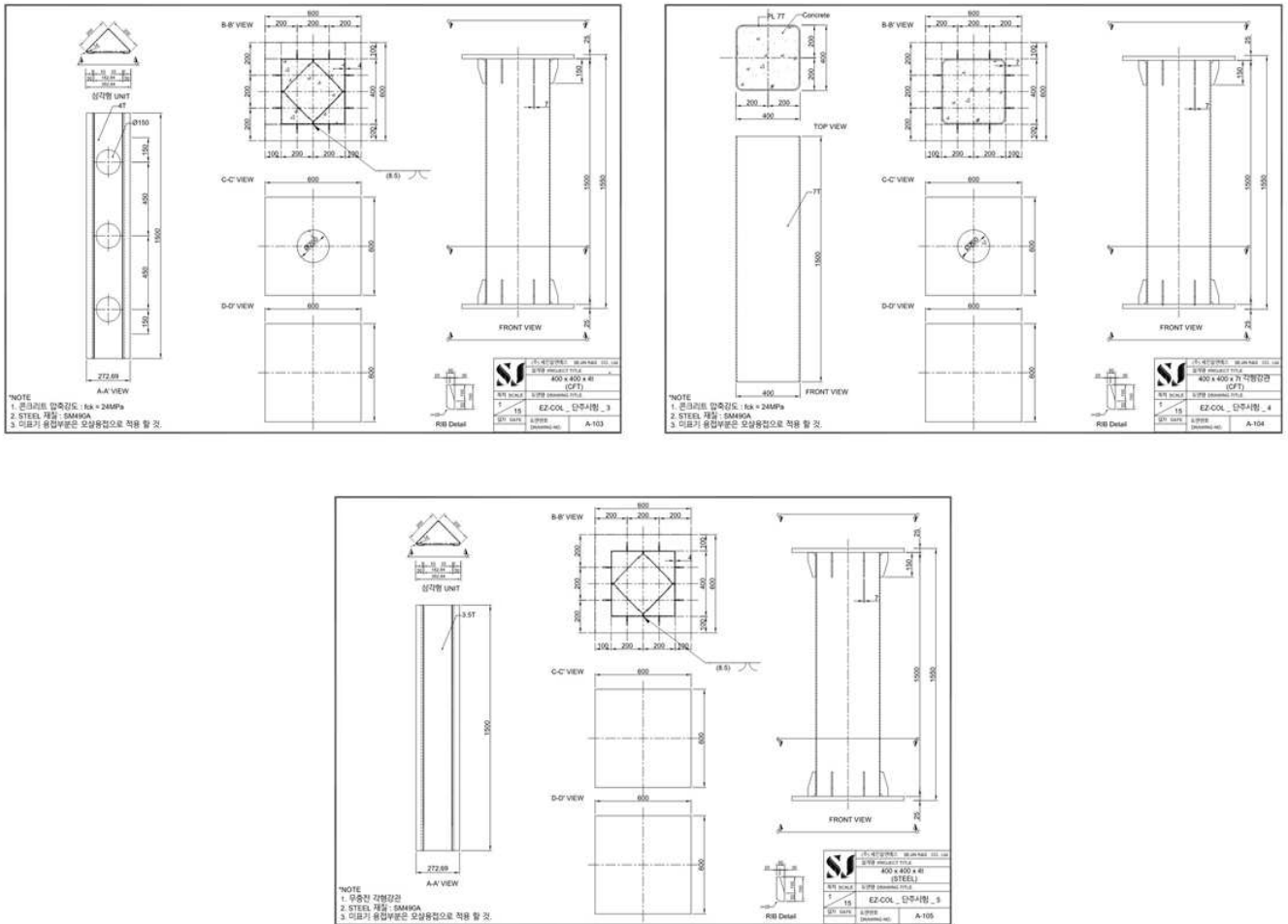
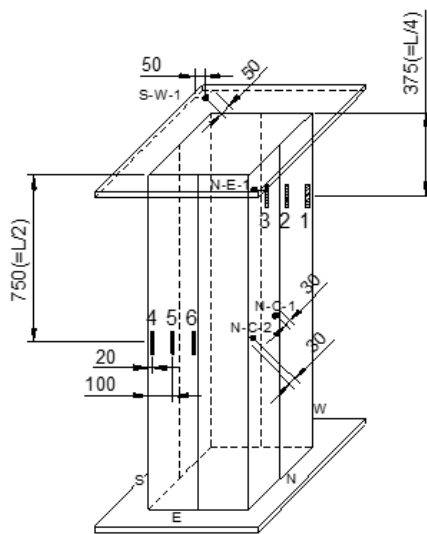


그림 2.9 CFTU기둥의 시공 및 합성 단계 압축 실험체 제작도면

- 실험체 계측 계획 및 실험체 세팅 전경을 그림 2.10에 나타냈으며, 실험 전 구간 하중가력을 일정 속도로 유지하며 진행함. 또한, 그림 2.10(a)와 같이 게이지와 LVDT를 설치하고, 10,000kN용량의 UTM을 사용하여 압축실험을 수행함.



(a) 계측장비 설치계획

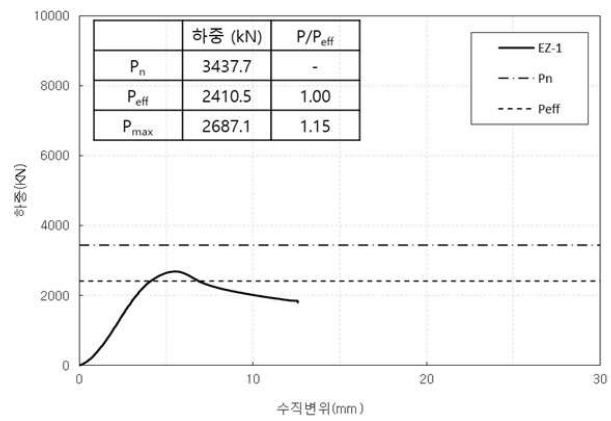


(b) 실험체 가력모습

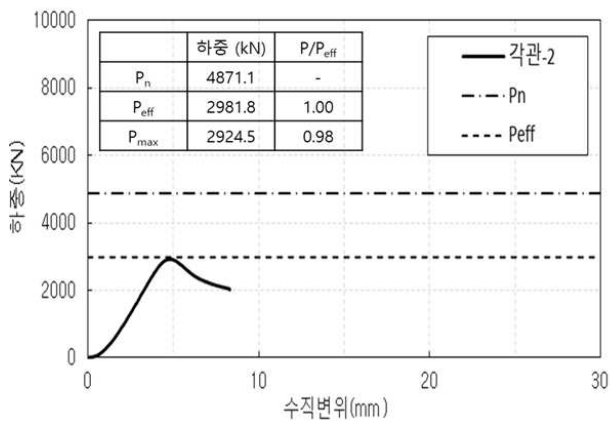
그림 2.10 실험체 계측계획 및 가력모습

- 그림 2.11과 2.12에 나타낸 것과 같이 기존 CFT 강관의 충전 및 내부 앵커 개공 유무에 따른 실험체별 압축 강도를 평가하여 구조실험 결과 및 파괴 형상을 검증하여 나타냄. CFTU강관 기둥의 경우 기존 CFT강관과 비교한 결과 구조 내력은 대등한 결과를 나타내고 있으며, 연성능력은 내부 앵커의 콘크리트 구속에 따른 효과

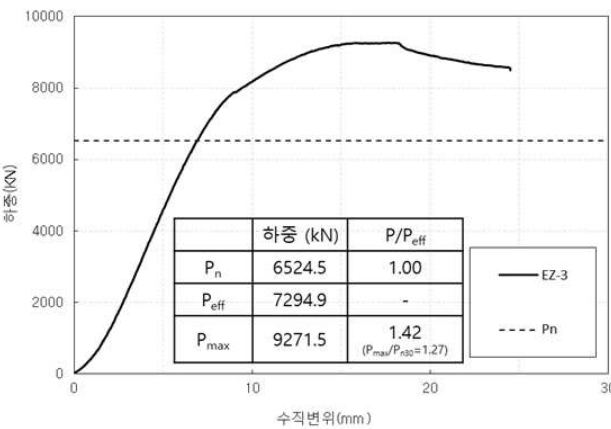
가 뚜렷이 나타남.



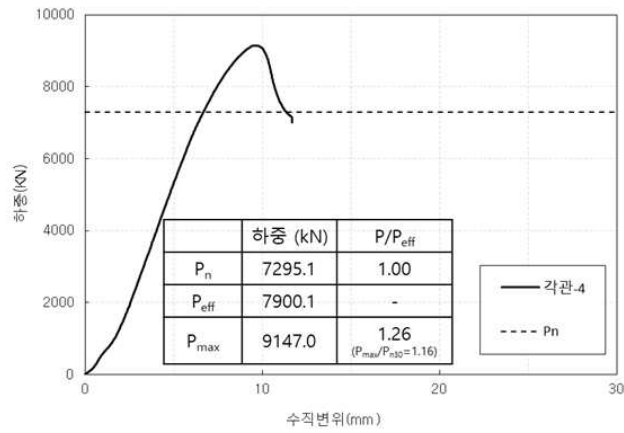
(a) CFTU_4t_NC_O 실험체



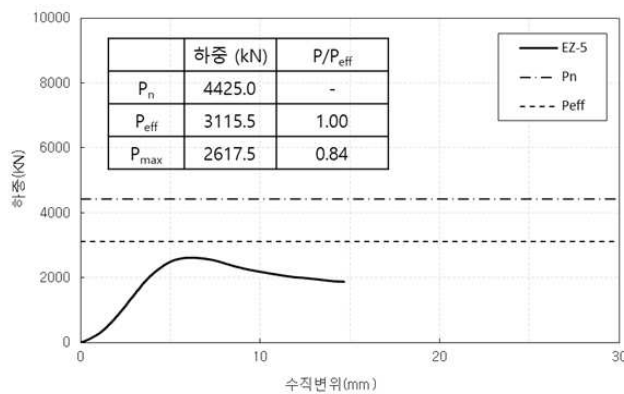
(b) CFT_7t_NC_NO 실험체



(c) CFTU_4t_C24_O 실험체



(d) CFT_7t_C24_NO 실험체



(e) CFTU_4t_NC_NO 실험체

그림 2.11 구조실험 결과 및 실험체 파괴 형상



(a) CFT_7t_NC_O



(b) CFT_7t_NC_NO



(c) CFTU_4t_NC_O



(d) CFTU_4t_NC_NO



(e) CFTU_4t_C24_NO

그림 2.12 단주 압축실험체 좌굴 형상

▶ 시공 및 합성 단계의 실험 계획 및 인장성능 평가 실험

○ 개발하고자하는 CFTU 기둥은 내부 앵커를기반으로 판폭두께비를 완화하여 기둥의 세장단면으로 최적 효율을 발휘할 수 있도록 계획된 합성기둥임. 하지만 강기둥 약보의 개념에서 수평부재인 보의 인장 내력을 원활히 기둥면에 전달될 수 있도록 하여 안정적인 접합 거동을 수행하도록 하기 위하여 보플랜지 인장력에 저항할 수 있는 유효폭을 그림 2.13과 같이 예상하여 예상 인장강도 산정에 활용하였음.

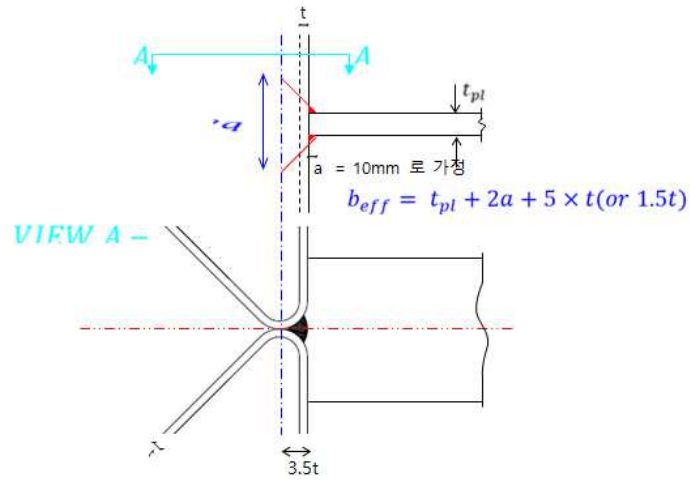


그림 2.13 CFTU 기둥면 인장 내력 분담 유효폭 산정

○ 개발 기둥의 접합부에 대한 성능을 검증하기 위해서 기둥의 측면에 플레이트를 설치하여 그림 2.14와 같이 인장실험을 수행함. 실험체의 변수는 기둥의 종류, 콘크리트의 타설 유무, 강관의 두께 등으로 표 2.8에 나타난 것과 같이 총 6개의 실험체를 제작하여 실험을 수행함.

표 2.8 접합부 인장실험체

No.	기둥의 종류	SIZE	Con'c	개구	비고
		기둥			
1	CFTU	400x400x4t	X	O	
2	CFTU	400x400x4t	24MPa	O	
3	각관	400x400x7t	X	X	
4	각관	400x400x7t	24MPa	X	
5	CFTU	400x400x12t	X	O	
6	CFTU	400x400x12t	24MPa	O	

○ 인장플랜지의 유효 항복면을 예상하여 예상내력을 산정하였으며, 실험체 인장성능을 평가하기 위하여 그림 2.14와 같이 인장실험체 도면을 작성 함. 그림 2.15는 실험 진행시 주요 부위의 거동을 계측하기 위한 계측 계획을 모사하였음.

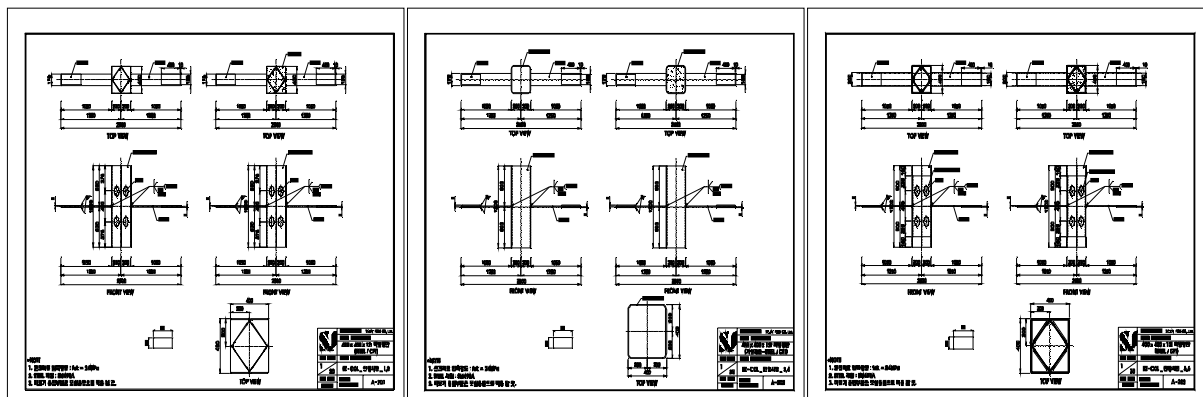
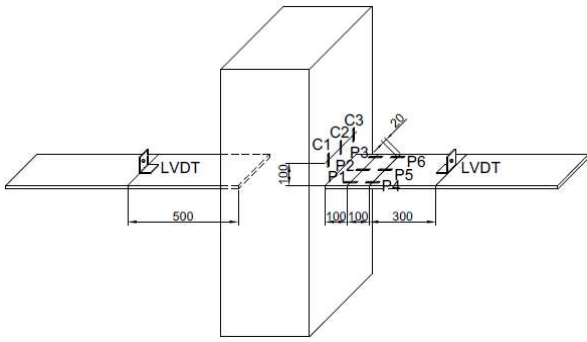
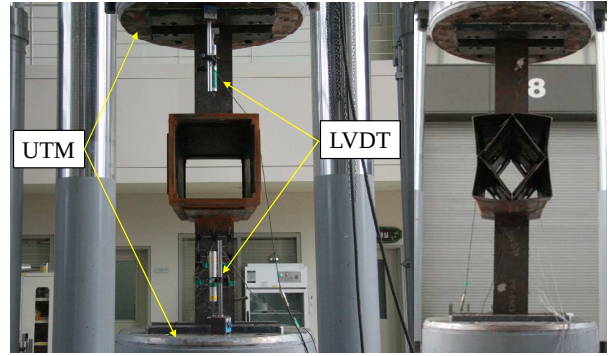


그림 2.14 CFTU기둥의 시공 및 합성 단계 인장 실험체 제작도면



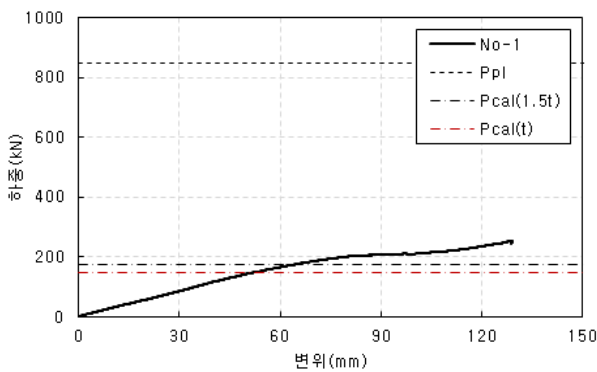
(a) 계측장비 설치계획



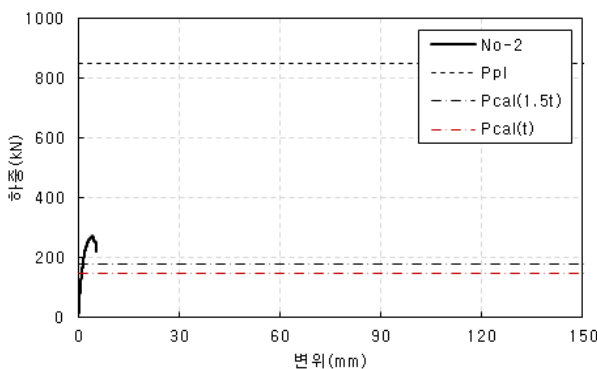
(b) 실험체 가력모습

그림 2.15 인장실험 계측계획 및 가력모습

○ 그림 16은 인장실험결과에 대한 하중-변위 곡선과 실험 및 파괴 전경을 정리하여 나타냄. 일반적인 각형강관에 집중하중과 CFTU기둥이 보 플랜지에 의해 기둥면에 인장력이 작용할 경우 그림 2.17과 같이 집중하중이 작용할 것으로 예상되어 현행 건축구조기준 및 해설에서 제시하고 있는 내용을 근간으로 실제 파괴 거동을 예측할 수 있는 예측식을 제시하여 개발 기둥의 인장강도를 산정함. 계산된 강도에 비해 개발하고자 하는 기둥에서는 보다 좋은 강도를 확보할 수 있는 것을 확인함. 하지만 내부 앵커가 없는 일반 CFT기둥은 강관 플레이트 두께가 더 두꺼운 경우임에도 불구하고 예상하중을 만족하지 못하는 결과를 보임. 개발하고자 하는 CFTU 실험체의 파괴 거동은 대부분 실험체의 경우에서 만족하는 값을 보였으나, No.5 실험체의 경우 예상내력을 약간 상회하는 값을 보임에 따라 제작상의 오류로 판단하고 실험 종료 후 실험체 내부를 확인하고자 그림 2.16과 같이 산소 절단하여 용접상태를 조사함. 그 결과 내부 앵커 모살용접부의 파단으로 실험체 내력을 만족하지 못하는 결과를 도출 함. 반면 동일 조건의 내부 앵커 보강형 CFTU 실험체의 경우 예상 내력을 모두 만족하였기 때문에 내부 앵커의 용접에 많은 주의를 요함. 따라서 본 내용을 제작 매뉴얼 내용을 반영할 내용임.

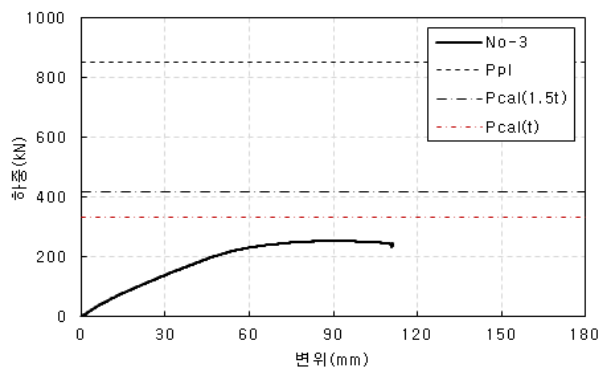


(a) No-1: CFTU 400x400x4t

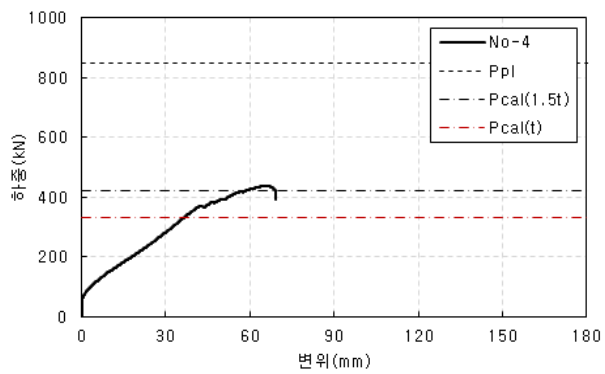


(b) No-2: CFTU 400x400x4t

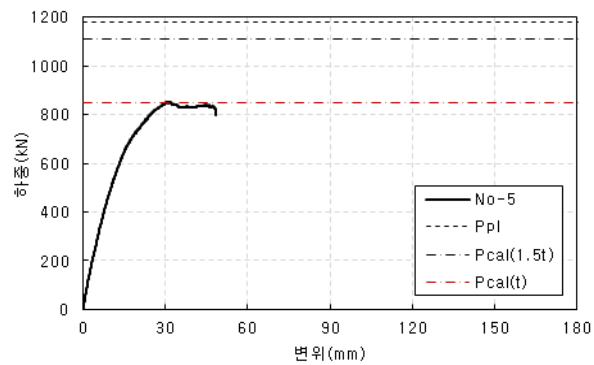




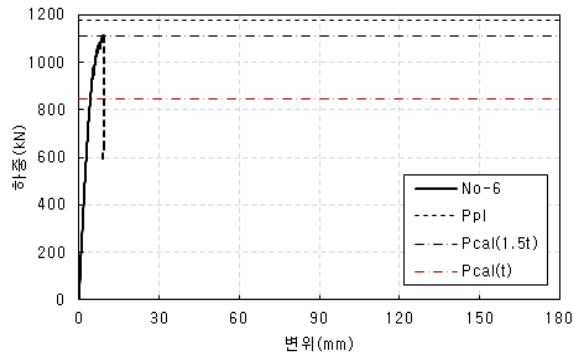
(c) No-3: CFT 400x400x7t



(d) 계측장비 설치계획



(e) 계측장비 설치계획



(f) 계측장비 설치계획



그림 2.16 실험 결과 및 파괴 전경

■ 개발 기술의 검토 및 보완을 통한 최적화

- 해석적 연구결과와의 비교 및 검토
- 기존 이론, 해석방법의 수정 및 보완

○ CFTU기둥의 인장성능을 평가하기 위한 유한요소해석 모델을 바탕으로 각 실험체별 인장강도를 예측하였으며, 현행 코드에서 제시하고 있는 규준을 파악하여, 기둥면의 인장 내력에 기여하는 인장 유효폭을 산정하기 위한 연구를 진행하였음. 따라서 구축된 해석 모델과 이론값 그리고 실험값을 비교 분석함으로써 개발하고자 하는 CFTU기둥의 일반화된 수식을 제시함.

▶ KBC-s 2019 현행규준의 분석

○ 집중하중을 받는 플랜지와 웨브

- H형단면부재에서 플랜지에 수직이며 웨브에 대하여 대칭인 단일 또는 이중집중하중을 받는 경우에 적용한다.

- (1) 한 쪽의 플랜지에 집중하중을 받는 경우에는 플랜지국부휨, 웨브국부항복, 웨브크리플링 및 웨브횡좌굴에 대하여 각각 설계한다.
- (2) 양측의 플랜지로부터 집중하중을 받는 경우에는 웨브국부항복, 웨브압축좌굴에 대하여 각각 설계한다.
- (3) 큰 전단력을 받는 웨브패널존을 설계한다.
- (4) 소요강도가 한계상태의 설계강도를 초과하는 경우에는 소요강도와 설계강도의 차이만큼 스티프너 또는 2중 플레이트를 설치하여야 한다.
- (5) 추가되는 스티프너, 2중플레이트에 대하여는 각각 설계한다.

○ 플랜지국부휨강도

- 플랜지에 수직으로 용접된 판에 작용된 인장력에 의해 국부힘을 받는 플랜지의 설계강도 ϕR_n 은 다음과 같이 산정한다.

$$R_n = 6.25t_f^2 F_{yf}$$

여기서, $\phi = 0.90$

F_{yf} : 플랜지의 항복강도, N/mm²

t_f : 하중을 받는 플랜지의 두께, mm

- 플랜지부재에 걸쳐 작용하는 하중구간의 길이가 $0.15b_f$ 보다 작으면 (여기서, b_f 는 플랜지부재의 폭), 식 (0710.10.1)의 검토는 필요하지 않다. 다만 부재단부로부터 집중하중에 저항하는 거리가 $10t_f$ 보다 작은 경우 R_n 의 50%를 저감한다.

○ 웨브국부항복강도

- 단일집중하중과 이중집중하중의 인장압축 2 요소에 모두 적용된다. 집중하중이 작용하는 지점에서 웨브모살 선단부의 설계강도 ϕR_n 은 다음에 의해 산정한다.

$$\phi = 1.00$$

- 웨브 국부공칭강도 R_n 은 다음에 의해서 산정한다.

- (1) 인장 또는 압축 집중하중의 작용점에서 재단까지의 거리가 부재깊이 d 를 초과할 경우

$$R_n = (5k + N)F_{yw}t_w$$

- (2) 상기의 집중하중의 작용점에서 재단까지의 거리가 부재깊이 d 이하일 경우

$$R_n = (2.5k + N)F_{yw}t_w$$

여기서, k : 플랜지의 바깥쪽 면으로부터 웨브필렛선단까지의 거리, mm

F_{yw} : 웨브의 항복응력, N/mm²

N : 집중하중이 작용하는 폭 (다만 k 보다 작지 않을 것), mm

t_w : 웨브두께, mm

d : 부재의 전체깊이, mm

- 필요한 경우 수직스티프너 또는 이중플레이트 한쌍을 설치한다.

○ 웨브크리플링강도

- 이 조항은 압축 단일집중하중과 2중집중하중의 압축요소에 적용된다. 웨브국부크리플링에 대한 설계강도 ϕR_n 은 다음에 의해 산정한다.

$$\phi = 0.75$$

- 웨브크리플링공칭강도 R_n 은 다음에 의해서 산정한다.

- (1) 집중하중이 재단에서 $d/2$ 이상 떨어진 지점에 작용할 때

$$R_n = 0.80t_w^2 \left[1 + 3 \left(\frac{N}{d} \right) \left(\frac{t_w}{t_f} \right)^{1.5} \right] \sqrt{\frac{EF_{yw}t_f}{t_w}}$$

(2) 집중하중이 재단에서 $d/2$ 미만 떨어진 지점에 작용할 때

① $N/d \leq 0.2$ 인 경우

$$R_n = 0.40t_w^2 \left[1 + 3 \left(\frac{N}{d} \right) \left(\frac{t_w}{t_f} \right)^{1.5} \right] \sqrt{\frac{EF_{yw}t_f}{t_w}}$$

② $N/d > 0.2$ 인 경우

$$R_n = 0.40t_w^2 \left[1 + \left(\frac{4N}{d} - 0.2 \right) \left(\frac{t_w}{t_f} \right)^{1.5} \right] \sqrt{\frac{EF_{yw}t_f}{t_w}}$$

여기서, t_f : 플랜지두께, mm

- 강도가 부족할 경우, 한 개의 수직스티프너 또는 한 쌍의 수직스티프너 또는 최소한 웨브깊이의 절반을 덮는 2중 플레이트를 설치한다.

○ 웨브횡좌굴강도

- 집중압축하중을 받는 힘부재의 하중작용점에서의 압축플랜지와 인장플랜지의 상대적 횡방향이동이 구속되어 있지 않은 경우에 적용된다. 웨브의 횡좌굴에 대한 설계강도 ϕR_n 은 다음에 의해 산정한다.

$$\phi = 0.85$$

웨브횡좌굴공칭강도 R_n 은 다음에 의해 산정한다.

(1) 압축플랜지가 회전에 대해서 구속될 때,

① $(h/t_w)/(l/b_f) \leq 2.3$ 일 때,

$$R_n = \frac{C_r t_w^3 t_f}{h^2} \left[1 + 0.4 \left(\frac{h/t_w}{l/b_f} \right)^3 \right]$$

② $(h/t_w)/(l/b_f) > 2.3$ 일 때, 웨브횡좌굴의 한계상태에 대한 검토는 필요하지 않다.

- 웨브의 소요강도가 설계강도를 초과할 때, 국부가로방향가새를 인장플랜지에 설치하거나 또는 한 쌍의 수직스티프너 또는 2중플레이트를 설치한다.

(2) 압축플랜지가 회전에 대해서 구속되지 않을 때,

① $(h/t_w)/(l/b_f) \leq 1.7$ 일 때,

$$R_n = \frac{C_r t_w^3 t_f}{h^2} \left[0.4 \left(\frac{h/t_w}{l/b_f} \right)^3 \right]$$

② $(h/t_w)/(l/b_f) > 1.7$ 일 때, 웨브횡좌굴의 한계상태에 대한 검토는 필요하지 않다.

- 웨브의 소요강도가 설계강도를 초과할 때, 국부횡가새를 집중하중에 작용하는 지점의 양측 플랜지에 설치한다. 식(0710.10.6), 식(0710.10.7)은 다음의 정의를 따른다.

b_f : 플랜지폭, mm

C_r : 하중작용지점에서 $M_u < M_y$ 일 때,

$$6.62 \times 10^6, \text{ N/mm}^2$$

: 하중작용지점에서 $M_u \geq M_y$ 일 때, $3.31 \times 10^6, \text{ N/mm}^2$

h : 플랜지 사이의 순거리, mm

(압연형강은 모살을 제외한 거리, 용접형강은 플랜지 안쪽 사이의 거리로 함)

l : 하중점에서 각 플랜지의 횡방향비지지길이, mm

t_f : 플랜지두께, mm

t_w : 웨브두께, mm

○ 웨브압축좌굴강도

- 양쪽플랜지에 집중압축력이 작용할 때 무보강웨브의 공칭강도 ϕR_n 은 다음에 의해 산정한다.

$$R_n = \frac{24t_w^3 \sqrt{EF_{yw}}}{h}$$

여기서, $\phi = 0.90$

- 부재단부로부터 한 쌍의 집중하중에 저항하는 거리가 $d/2$ 보다 작을 경우, R_n 의 50%를 저감한다. 필요한 경우에 단일 수직스티프너와 한 쌍의 수직스티프너 또는 웨브의 전체깊이를 덮는 2중 플레이트를 설치한다.

○ 웨브패널존전단강도

- 전단력과 압축력을 받는 패널존의 설계강도 ϕR_n 은 다음에 의해 산정한다.

$$\phi = 0.90$$

- 웨브패널존 공칭강도 R_n 은 다음에 의해 산정한다.

- (1) 골조안정성에 대한 패널존변형의 효과가 해석에서 고려되지 않을 때 :

$$\textcircled{1} P_r \leq 0.4P_c \text{ 일 때,}$$

$$R_n = 0.60F_y d_c t_w$$

$$\textcircled{2} P_r > 0.4P_c \text{ 일 때,}$$

$$R_n = 0.60F_y d_c t_w \left(1.4 - \frac{P_r}{P_c} \right)$$

- (2) 골조안정성에 대한 소성패널존변형을 포함하는 것이 해석에서 고려될 때 :

$$\textcircled{1} P_r \leq 0.75P_c \text{ 일 때,}$$

$$R_n = 0.60F_y d_c t_w \left(1 + \frac{3b_{cf} t_{cf}^2}{d_b d_c t_w} \right)$$

$$\textcircled{2} P_r > 0.75P_c \text{ 일 때,}$$

$$R_n = 0.60F_y d_c t_w \left(1 + \frac{3b_{cf} t_{cf}^2}{d_b d_c t_w} \right) \left(1.9 - \frac{1.2P_r}{P_c} \right)$$

A : 기둥횡단면적, mm²

b_{cf} : 기둥플랜지의 폭, mm

d_b : 보깊이, mm

F_y : 기둥웨브의 명시된 최소항복응력, N/mm²

P_c : P_y , N

P_r : 소요강도, N

$P_y : F_y A$, 기둥의 축방향항복강도, N

t_{cf} : 기둥플랜지의 두께, mm

t_w : 기둥웨브의 두께, mm

- 필요한 경우 2중플레이트 또는 1쌍의 대각스티프너를 강접합경계 내에 설치해야한다.

○ 집중하중에 대한 추가 스티프너 요구사항

- (1) 인장 집중하중에 저항하기 위해 요구되는 부재는 KBC 2009 0704에 따라 설계하고 스티프너가 필요한 경우, 소요강도와 한계상태강도의 차이만큼 설계한다. 스티프너를 웨브에 용접하는 경우, 스티프너단부에 작용하는 인장력의 차이 만큼을 웨브에 전달할 수 있도록 설계한다.
- (2) 압축집중하중에 저항하기 위해 요구되는 스티프너는 KBC 2009 0705.6.2와 0710.4.4에 의해 설계한다. 스티프너를 플랜지에 용접하는 경우, 소요강도와 설계강도의 차이만큼 용접설계한다. 스티프너를 웨브에 용접하는 경우, 스티프너의 단부에 작용한 압축력의 차이만큼을 웨브에 전달할 수 있도록 설계한다.
- (3) 압축력에 저항하는 전체깊이에 걸친 수직스티프너는 KBC 2009 0705.6.2과 0710.4.4에 따라 축방향압축력을 받는 부재로 설계되어야 한다. 부재의 성능은 유효좌굴길이를 $0.75h$ 로 하고 유효단면은 2개의 스티프너와 부재 안쪽으로 폭 $25t_w$, 부재단부쪽으로 폭 $12t_w$ 를 가지는 웨브의 스트립으로 구성되는 십자형단면을 사용하여 결정한다.
- (4) 수직 그리고 대각스티프너는 다음의 추가적인 기준을 만족하여야 한다:
 - ① 집중하중을 받는 스티프너 설계 시, 기둥웨브두께의 1/2에 스티프너 한 쪽의 폭을 더한 길이는 플랜지 또는 모멘트접합플레이트 폭의 1/3보다 작아서는 안된다.
 - ② 집중하중을 받는 스티프너 설계 시, 스티프너의 두께는 t_f 의 1/2 그리고 b_f 의 1/15 이상으로 한다.
 - ③ 수직스티프너의 길이는 KBC 2009 0710.10.5에서 요구하는 사항을 제외하고 부재깊이의 최소 1/2이상으로 한다.

KBC 2009 0710.10.8 집중하중에 대한 추가 2중플레이트 요구사항

2중 플레이트는 압축강도에 대해서 KBC 2009 0705의 요구사항을, 인장강도에 대해서 KBC 2009 0704의 요구사항을 따른다. 전단강도(KBC 2009 0710.10.6 참고)에 대해서는 0707을 따른다.

▶ KBC-s 2019 현행규준의 재해석을 통한 이론식 고찰

- 일반적인 H형강의 웨브 국부항복강도를 기반으로 강관면에서 인장력이 발생할 때 동일한 유효폭으로 외력에 저항할 것으로 가정하여 그림 2.17과 같이 CFTU기둥면의 인장 내력 분담 유효폭을 산정하고, 그림 2.18과 같이 해석 모델을 구축하여 유한요소해석을 진행하였으며, 인장성능을 산정할 수 있는 일반화된 예측식을 제시함.

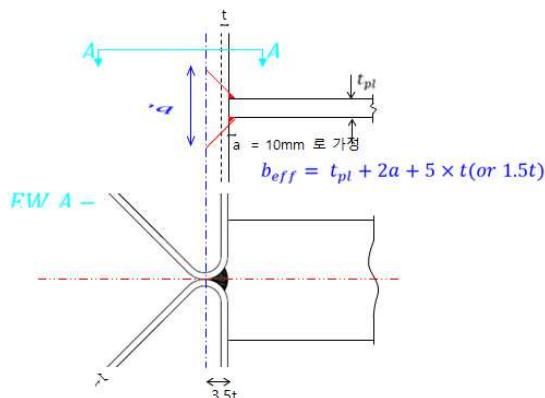


그림 2.17 CFTU 인장 유효폭 제안식

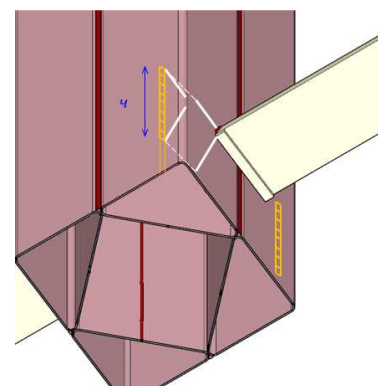


그림 2.18 유한요소 해석모델의 정립

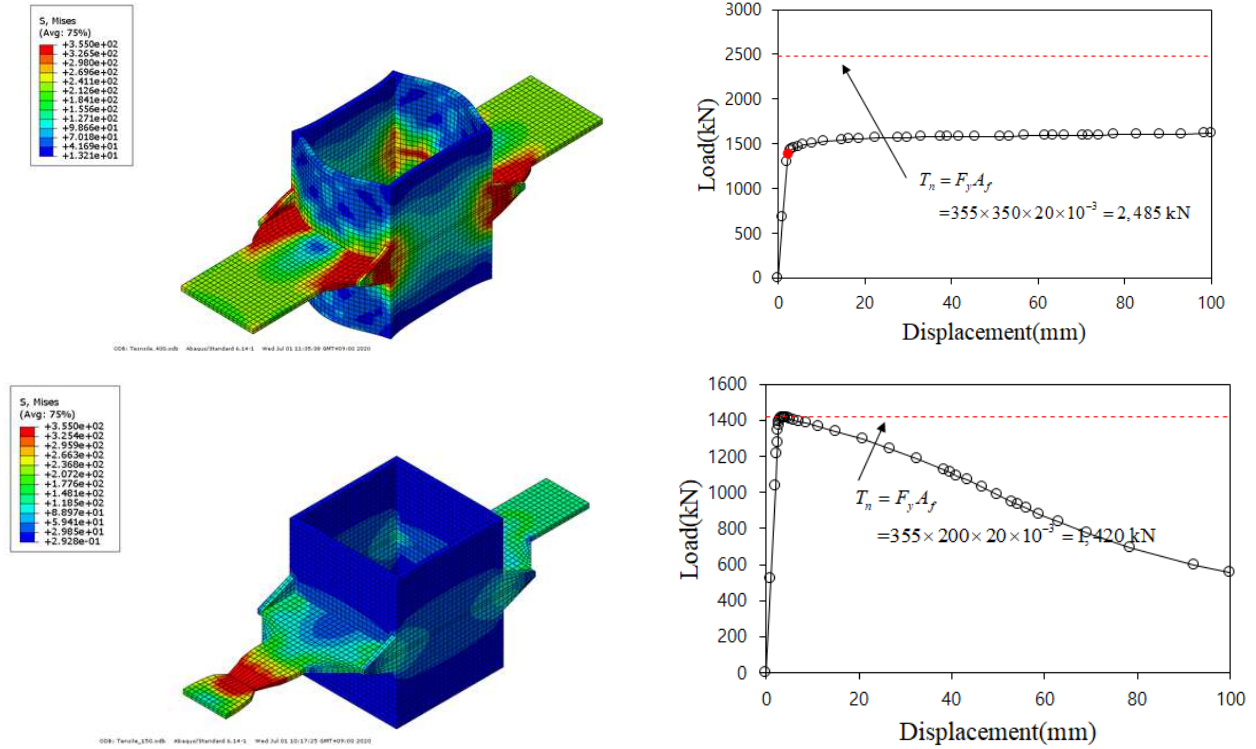


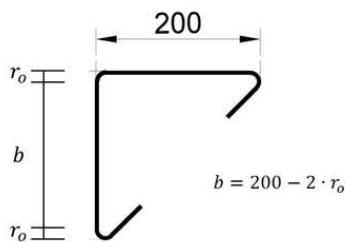
그림 2.19 유한요소 해석을 통한 CFTU 형상에 따른 인장 성능 평가

■ 합성기둥의 최적단면 도출 및 설계방안 검토

- 변수분석을 통한 최적의 단면형상 도출
- 기존 합성 기둥의 설계법 분석

○ CFTU 단주 기둥 부재의 최적단면을 도출하기 위하여 그림 2.20과 같이 CFTU-400x400x4t 실험체의 판폭두께비를 변수로 현행규정 만족여부를 평가하여 최적 단면을 도출함. 기존 합성 기둥의 설계법 분석은 시공단계 평가 시 검토된 내력식을 근간으로 하였으며, 그림 21과 같이 판폭두께비 검토를 통한 세장 단면의 합성기둥의 설계법을 설계시트를 작성하여 각각의 개발 CFTU 기둥의 압축강도를 평가함.

■ Ez Column 단주 판폭두께비 검토



■ 압축력을 받는 충전형 합성부재의 판폭두께비 제한

구분	판폭두께비	λ_p	λ_r	최대허용
각형강관	b/t	$2.26 \sqrt{E/F_y}$	$3.00 \sqrt{E/F_y}$	$5.00 \sqrt{E/F_y}$
ex) Ez-1	43.0	49.9	66.3	110.5

■ 균일압축을 받는 양쪽이 지지된 판요소 (일반 압축부재)

판폭두께비 제한값 : $\lambda_r = 1.49 \cdot \sqrt{E/F_y}$

ex) Ez-1 : $\lambda = 43.0 > \lambda_r = 32.9$

■ 균일한 두께를 갖는 등단면 압축력을 받는 세장한 부재 ($b/t \geq 1.49 \sqrt{E/f}$)

감소된 유효폭 : $b_e = 1.92 \cdot t \cdot \sqrt{E/f} \cdot [1 - \frac{0.34}{(b/t)} \cdot \sqrt{E/f}] \leq b$

ex) Ez-1 : $b = 172\text{mm}$, $b_e = 140.1\text{mm}$

$Q = A_{eff} / A$

그림 2.20 CFTU기둥의 판폭두께비 검토를 통한 최적단면 도출

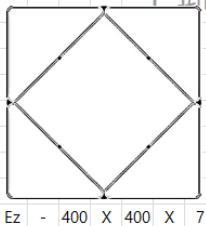
○ 실험체 예상하중의 산정을 위하여 그림 2.21에 나타난 것과 같이 자체 제작된 설계 시트를 활용하여 각 실험

체의 예상하중을 산정하여 나타냄. 이를 토대로 실험결과와 예상하중을 비교함. 또한, 향후 구조설계 시 자체 제작된 설계 시트를 활용하여 현장 발굴 및 대안 설계 검토를 실시할 예정임.

• 참고

$$P_n = 0.658 \left(\frac{f_y}{f_e} \right) \cdot f_{y, test} \cdot A_{s_i} \quad P_{eff} = Q \cdot 0.658 \left(\frac{f_y}{f_e} \right) \cdot f_{y, test} \cdot A_s$$

Q : 세장한 구속판요소의 저감계수 (기둥 예상하중 예측식)

INPUT					Check Limitation				
재료 강도 Concrete 24MPa 24MPa STEEL SM490 SM490 Fy= 420					재료 강도 Concrete fck 21 ≤ 24 < 70 -----> OK STEEL Fy 420 ≤ 440 -----> OK				
길이/계수 기둥의 높이 L = 1200 mm 지점 조건상수 K = 1					강관의 면적비 제한 As = 13929.81 ≥ 1595 (=0.01*Ag) -----> OK				
하중 Pu = 1000 kN Mux = 500 kN-m Vux = 664 kN Muy = 40 kN-m Vuy = 13 kN					판폭 두께비 b/t = 21.57 ≤ 49.93 (2.26√Es/Ey) -----> OK				
Ez-Coil의 치수  t = 7 mm H = 400 mm B/2 = 200 mm ro = 24.5 mm (3.5*t) ri = 17.5 mm (2.5*t) øh = 150 mm hn = 3 개 Ez - 400 X 400 X 7					Capacity 압축강도 1) 콘크리트 충전이 없는 경우 Pn = Fcr * As = 5,818 kN ØPn = 0.9 * Pn = 5,236 kN 2) 콘크리트 충전이 있는 경우 ① Pe = $\frac{\pi^2 E_{eff}}{(KL)^2}$ = 704,261 kN ② Po = AsFy + 0.85fckAc = 8,820 kN ③ Pe = 704,261 ≥ 3,881 = 0.44*Po -----> Pn=Po*[0.658^(Po/Pn)] øPn = 0.9 * Pn = 6,580 kN øPn = 6,580 kN > 1,000 kN = Pu Ratio= Pu/ øPn = 0.15 ≤ 1 -----> OK				
접합부 보 Size 800x300x14x26 800x300x14x26 A(mm2) Sx(mm3) Sy(mm3) Zx(mm3) Zy(mm3) 26740 7290000 782000 8240000 1220000 øbMy= 0.9*Sx*Fy øbMp= 0.9*Zx*Fy = 2755.6 kN-m = 3114.72 kN-m øMn/øbMp = 0.29									

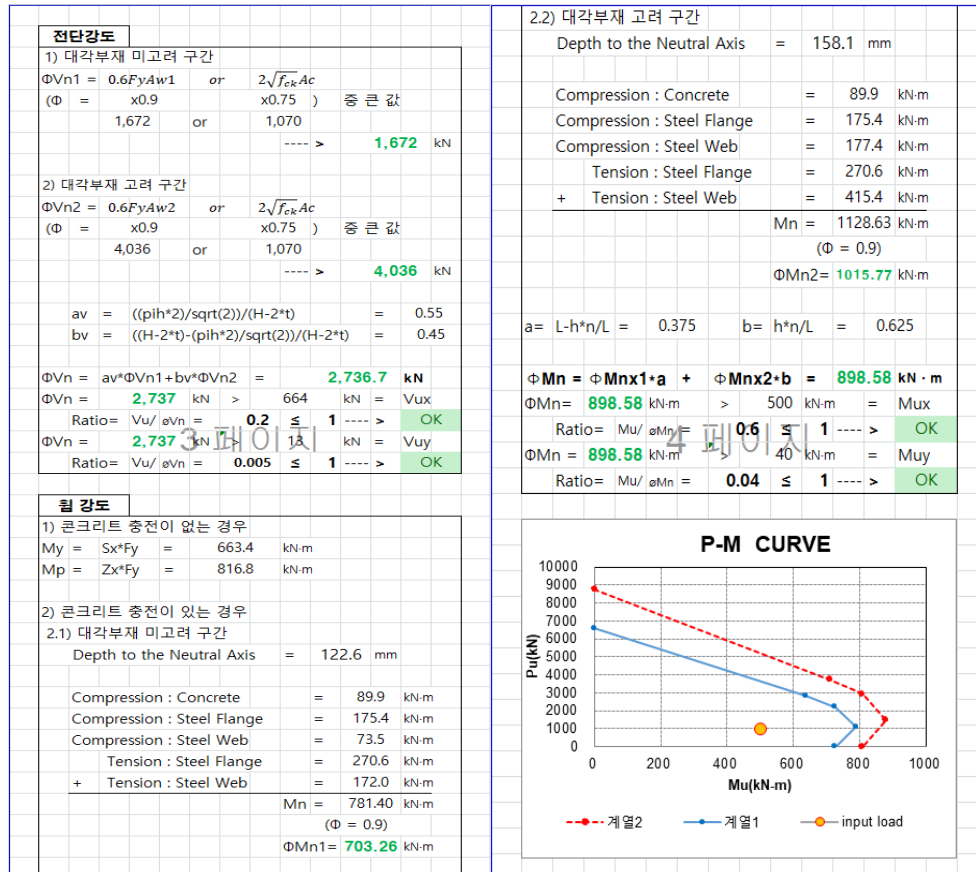


그림 2.21 CFTU기둥의 압축강도 산정을 위한 설계 시트 작성

■ 요구 구조성능 및 경제성 평가

- 개발기둥에 적합한 요구 구조성능 평가
- 경제성 평가를 통한 경쟁력 확보

○ 제안하고자 하는 CFTU 각형강관의 실용화 가능성 제고를 위한 한계성을 살펴보면 강관 제작에 있어 기존 용접 제작 방식이 아닌 프레스밴딩 또는 롤성형에 의한 제작을 통한 제품 출하 단가의 절감 효과를 기대하였음. 하지만 실용화를 위한 최대 경제성 창출은 프레스 밴딩 또는 롤성형을 통한 제품 양산화가 이루어져야 하나 아래 열거된 내용들의 이유로 제작시 원가 절감의 한계성이 발생됨.

- 강관 기둥 제작시 필요한 원가 절감의 필수 조건인 예각 범위의 프레스 제작 설비 투자 비용의 발생
- 실제 부재 생산 조건인 롤성형이나 프레스 밴딩을 통한 원가 절감을 고려하였으나, 참여 기업의 설비 투자 비용 부담은 연구의 한계성이라 할 수 있음.
- 본 연구 수행을 위한 제작은 용접을 통해 진행되어 프레스 밴딩에 의한 제작 단가는 실제 양산화 단가와 차이가 있으며, 시제품 제작의 경제성 분석은 실험체 제작시 반영된 업체 단가를 반영하여 용접 제작과 비교하여 경제성을 분석함.
- 삼각유닛 제작을 통한 각 유닛별 4면 플레어 용접 후 교정 장비 구축에 필요한 비용 부담으로 시제품 제작 단가를 기준한 경제성 분석은 사실상 양산화 조건과 다른 결과를 초래할 것으로 판단됨.

○ 또한 CFTU 각형강관은 콘크리트 충전시 트레미관 역할을 하는 내외부 2중 구조로 이루어진 각형 강관 기둥임. CFTU기둥의 최적단면 도출을 위한 경제성 분석은 단순 단면비교를 통해 진행하였으며, 그림 2.22에 이를 모사함. 기존 □-400x400x7t 각형강관의 단면을 비교한 결과 CFTU-400x400x4t일 경우 내부 앵커를 포함한 전단면은 10,627m²임. 이에 대응되는 단면으로는 각형강관 400x400x7t로 제작할 경우 단면적이 동일하게 됨. 따라서 □-400x400x7t 각형강관을 최종 대응 단면으로서 구조성능을 평가하였으며, 제작 방법에 따른 경제성 분석을 실시함.

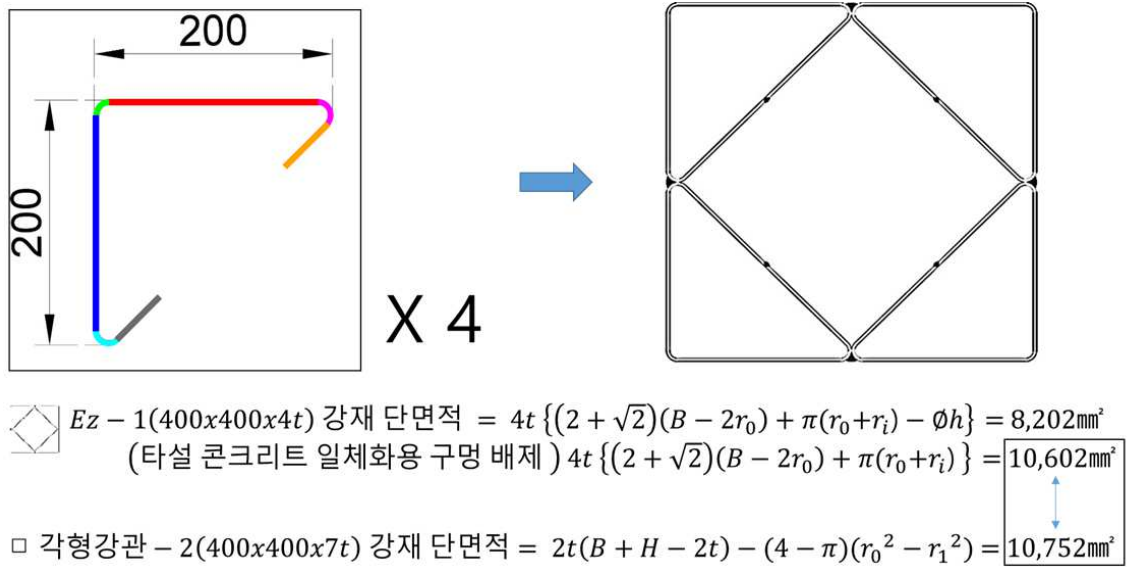


그림 2.22 CFTU합성기둥의 단면적 비교

- 실험체 강재 소모량은 동일 조건으로 압축강도와 인장강도를 평가한 결과 압축강도는 거의 동등 수준으로 평가되었음. 하지만 인장강도 평가 결과를 비교해보면, 내부 앵커형 단면과 일반 강관의 경우도 거의 동등 수준으로 평가됨. 따라서 CFTU-4t, CFT-7실험체의 제작에 물량 및 제작에 대한 단가만을 비교하여 경제성을 비교하는 것은 합리적인 접근법이라 판단됨.

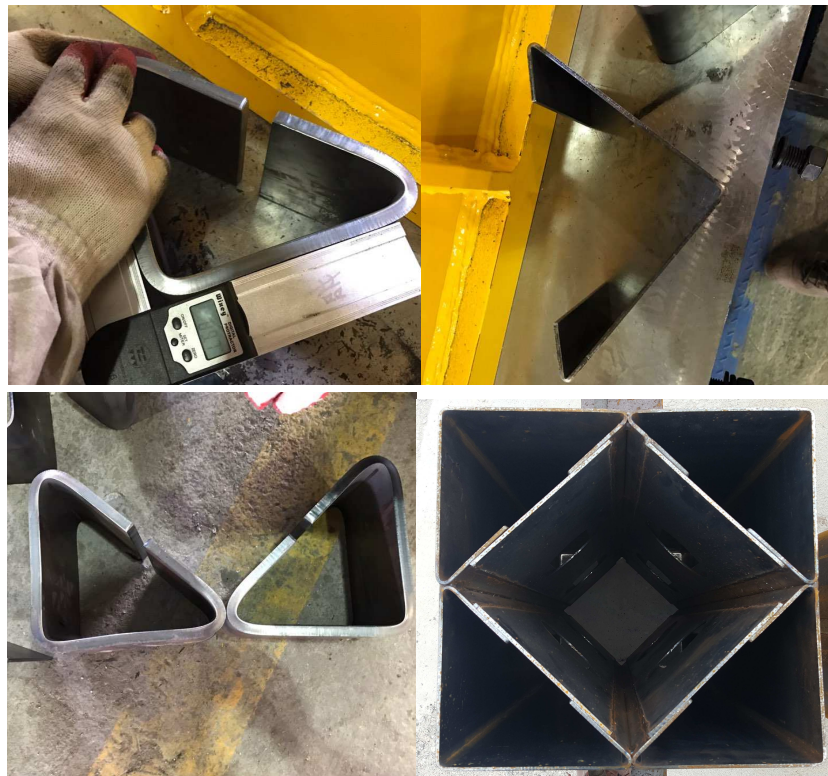


그림 2.23 CFTU-4t의 제작 과정

- 실험체 제작에 따른 비용과 삼원중공업에서 제시한 현장 설치단가를 반영하여 개발 CFTU기둥의 제작 및 시공 단가를 평가한 결과 기둥에 제작에 필요한 1차 가공 및 2차 가공 단가는 높은 반면, 강재량 절감 및 현장 콘크리트 충전에 필요한 타설용 트레미관의 미설치로 그림 2.24에 나타난 것과 같이 일반 CFT 기둥 대응 단면의 제작 단가에 비해 2% 절감된 비용으로 현장 납품이 가능할 것으로 평가됨.

항목		단위	수량	단가	금액	비고
CFT-7t	철골(SM355)	kg	84.4	1,750	147,700	
	베이스플레이트	kg	4.2	1,350	5,697	
	콘크리트 충전(49MPa)	m3	0.2	850,000	127,500	
	1차 철골가공조립비(밴딩 및 용접)	kg	88.6	220	19,496	
	타설용 트레미관 설치	kg	13.3	1,350	17,946	
	2차 가공 및 현장 설치비	kg	88.6	220	19,496	
	운반비	kg	88.6	65	5,760	
	SHOP DRAWING	kg	88.6	20	1,772	
	스터드볼트(철골물량의 3%)	kg	2.7	1	3	
	고력볼트(철골물량의 5%)	kg	4.4	15	66	
소 계					345,438	
CFTU-4t	철골(SM355)	kg	83.2	1,850	153,976	
	베이스플레이트	kg	4.2	1,350	5,618	
	콘크리트 충전(49MPa)	m3	0.2	850,000	127,500	
	1차 철골가공조립비(밴딩 및 용접)	kg	87.4	280	24,470	
	타설용 트레미관 설치	kg	0.0	1,350	-	
	2차 가공 및 현장 설치비	kg	87.4	220	19,226	
	운반비	kg	87.4	65	5,680	
	SHOP DRAWING	kg	87.4	20	1,748	
	스터드볼트(철골물량의 3%)	kg	2.6	1	3	
	고력볼트(철골물량의 5%)	kg	4.4	15	66	
소 계					338,286	98%

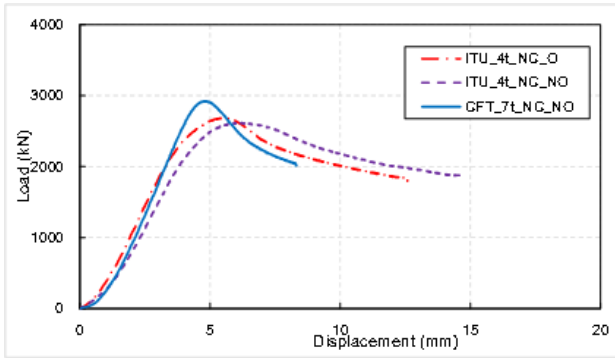
그림 2.24 CFTU-4t의 경제성 분석

▶ 압축성능 평가 실험 결과 비교

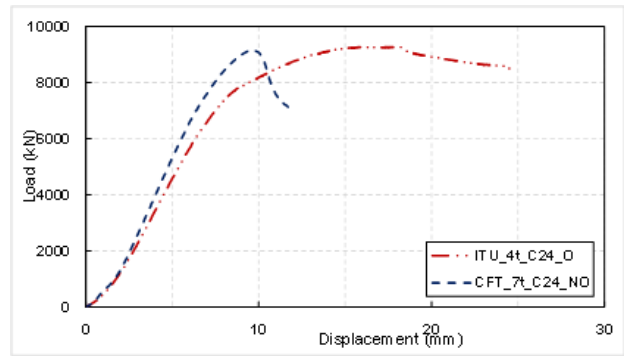
○ 개발 형상의 기둥의 두께는 4mm로 일반 각형강관은 7mm의 두께로 제작하였으며, 콘크리트 타설 전과 후에 관계없이 유사한 강도를 확보할 수 있는 것을 확인함. 또한, 삼각유닛을 결합하여 제작한 CFTU실험체의 경우 일반 CFT기둥에 비해서 보다 연성적으로 파괴된 것을 확인할 수 있음. 이런 연성적인 거동을 보인 이유는 그림 2.25에 나타난 것과 같이 최종적으로 파괴될 때 CFTU실험체의 경우 좌굴이 한 군데에서 크게 형성되는 것이 아니라 여러 군데에서 작은 좌굴들이 형성되며, 이는 기둥의 중앙에 배치된 사재가 좌굴을 방지하기 때문이라 판단됨.

표 2.9 실험결과분석

No.	Specimen name	Peak load ^(A) (kN)	Displacement at peak load (mm)	Nominal strength by LRFD ^(B) (kN)
1	CFTU_4t_NC_O	2,617.5	6.0	3,115.5
2	CFT_7t_NC_NO	2,924.5	4.8	2,981.8
3	CFTU_4t_C24_O	9,271.5	17.6	7,295.1
4	CFT_7t_C24_NO	9,147.0	9.7	6,524.5
5	CFTU_4t_NC_NO	2,687.1	5.6	2,410.5



(a) 각관기둥의 거동비교

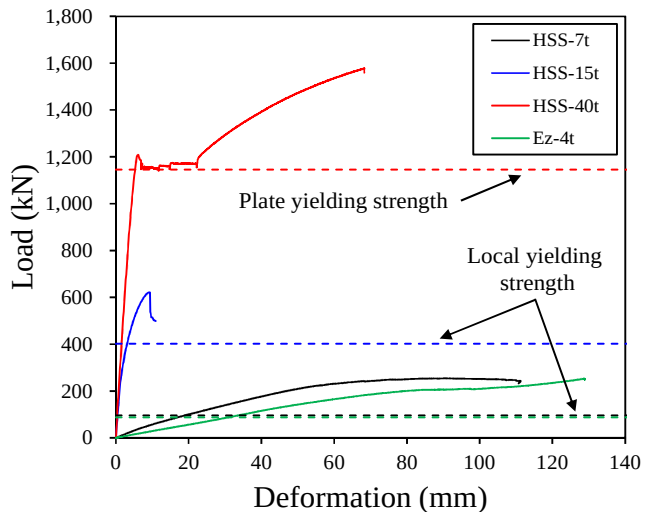
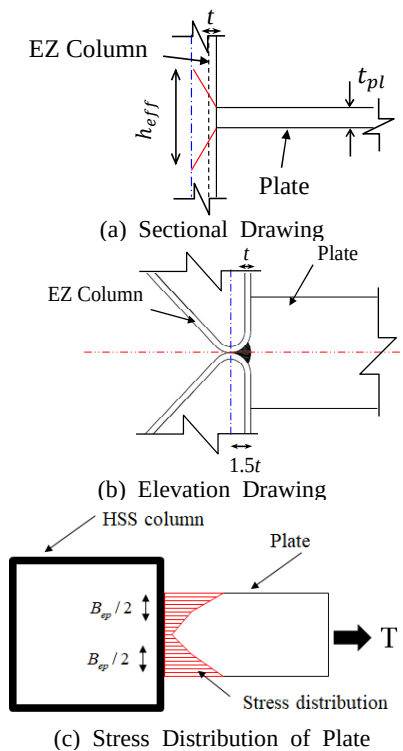


(b) 합성기둥의 거동비교

그림 2.25 압축실험체 거동 분석

▶ 인장성능 평가 실험 결과 비교

- 실험결과를 분석하기 위해서 그림 2.26에 나타난 것과 같이 기본적인 물성치를 근간으로 유한요소해석을 수행하였으며, 미처 수행하지 못한 형상에 대한 해석도 진행하였음. 또한, 실험체 제작 중에 발생한 제작상의 문제점과 현장 적용 시에 예상되는 문제점을 해결하기 위해서 세부기술에 대한 개발을 수행 중에 있으며 이러한 기술들을 정리하여 5건의 특허를 출원 및 등록함.



(d) Load-Deformation Relationship Curve

그림 2.26 인장실험 결과 분석

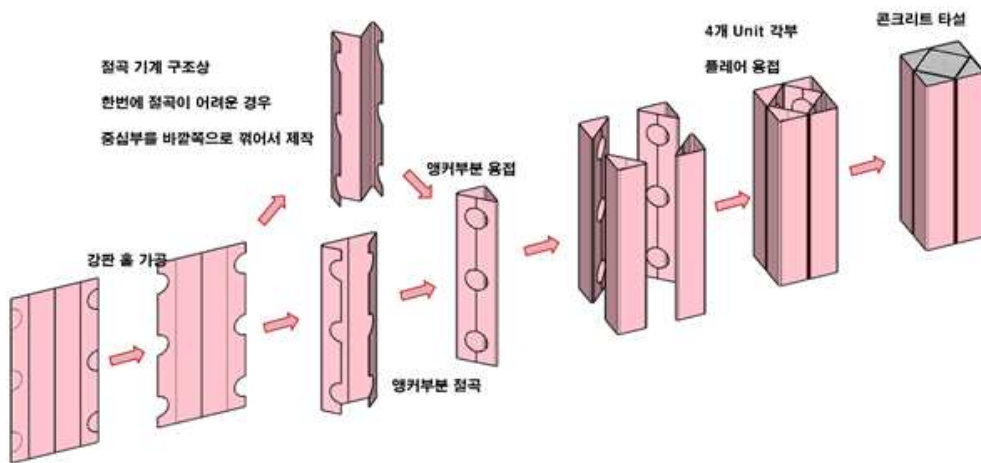
표 2.10 인장실험결과

Specimen	Bep (mm)	Rn (kN)	Pmax (kN)	Pmax/Rn	Governing Strength
CFT-7t	30.6	96	254.6	2.65	Local yield
CFT-15t	75.0	403	622.0	1.54	Local yield
CFT-40t	200.0	1,145	1,578.7	1.38	Plate yield
CFTU-4t	17.5	87.5	252.8	2.9	Local yield

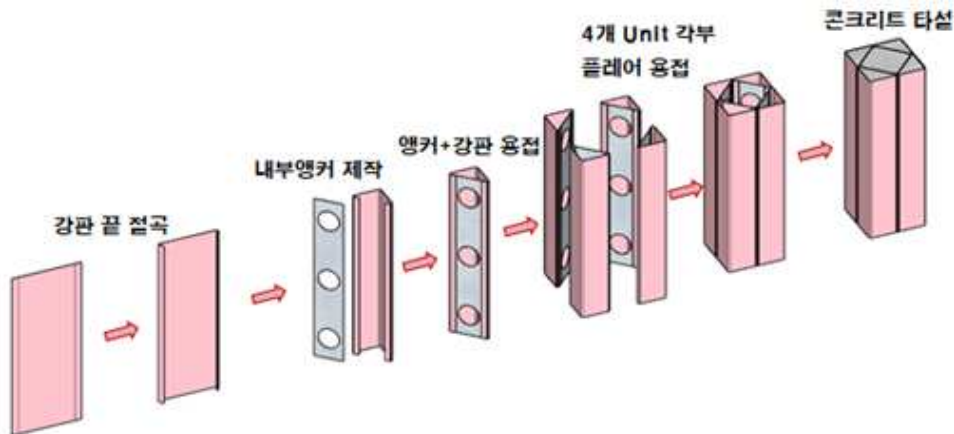
■ 합성기둥의 최적단면 도출

- 기둥의 형태의 제작가능 여부를 판단
- 제작 단가를 비교하여 경제성을 평가

○ CFTU 기둥의 제작과정을 그림 2.11에 나타냄. 본 연구의 목적은 롤성형과 프레스 성형에 따른 1차 제품인 삼각유닛을 제작하고, 2차 가공하여 기둥재를 구성하는 계획이었으나, 제작 설비의 설치 비용과 프레스를 통한 단면 형성의 많은 시도를 수행하였음. 하지만 초기 계획했던 장비 시설부분의 비용 부담으로 인하여 삼각유닛을 형성할 때 프레스 밴딩을 통한 1차 가공을 통하여 내부 앵커를 공장에서 용접하는 형태로 실험체를 제작 하였음. 따라서 각각의 제작 단가를 실험체 제작기준으로 경제성을 평가한 결과 개발하고자 하는 CFTU 기둥의 제작단가는 일반 충전형 강관에 비해 높게 책정되었으나, 판폭두께비를 완화할 수 있는 내부 앵커 플레이트의 영향으로 현장 타설시 발생하는 측압 제어와 트레미관으로서의 역할을 대행할 수 있어 별도의 트레미관이 불필요하게 되어 경제성이 창출되는 것으로 판단됨.



(a) CFTU합성기둥의 프레스밴딩을 통한 1-seam 제작



(b) CFTU합성기둥의 내부앵커 보강형 제작

그림 2.27 단주 압축시험체 제작 형상 및 제작 순서

▶ 접합부 내진성능 평가 실험

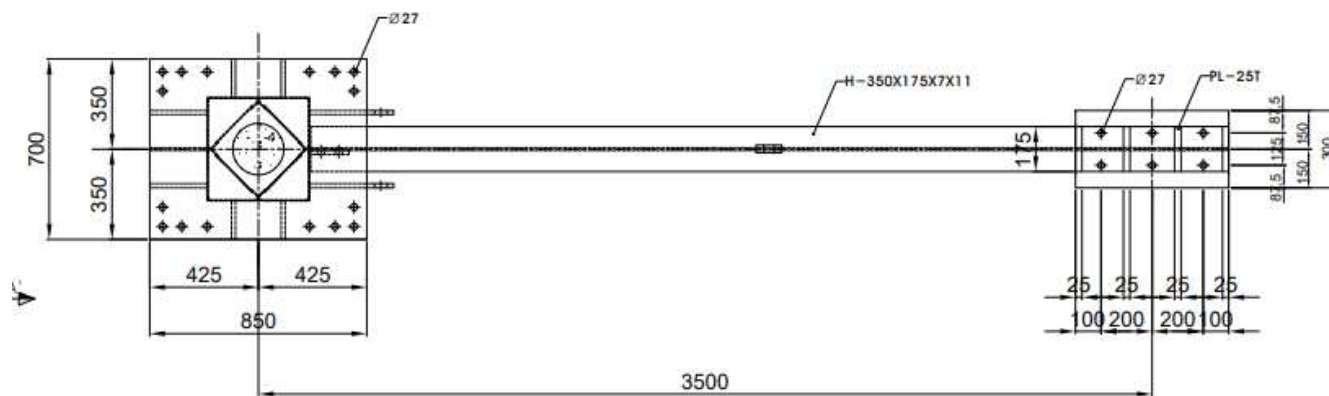
○ 개발된 형상의 기둥의 내진성능을 평가하기 위해서 표 2.11에 나타낸 것과 같이 기둥 및 패널의 종류를 주요 변수로 6개의 실험체를 제작하였다. 제작된 실험체의 기둥의 높이는 2,000 mm이고 단면의 크기는 400 mm이다. EZ기둥은 그림 2.28와 2.29에 나타낸 것과 같이 강판의 두께는 4 mm와 12 mm로 제작하여 강판의 두께를 변수로 하였다. 두께가 4 mm인 EZ-4실험체의 경우 H-300x175x7x11 H형강을 사용하여 보를 제작하였다. 웨브는 M16 고력볼트 6개를 사용하여 볼트접합 하였고, 플랜지는 완전용입용접하여 모멘트 접합하였다.

나머지 5개 실험체의 경우 H-500x200x10x16 H형강을 사용하여 보를 제작하였고 웨브에는 M16 고력볼트 10개를 사용하여 볼트접합 하였고, 플랜지는 완전용입용접하여 모멘트 접합하였다. 기둥의 중심에서 가력점까지의 거리는 3,500 mm이며, 가력점에는 하중 가력시 발생할 수 있는 국부좌굴을 방지하기 위해서 25 mm 두께의 스티프너를 설치하여 보강하였다.

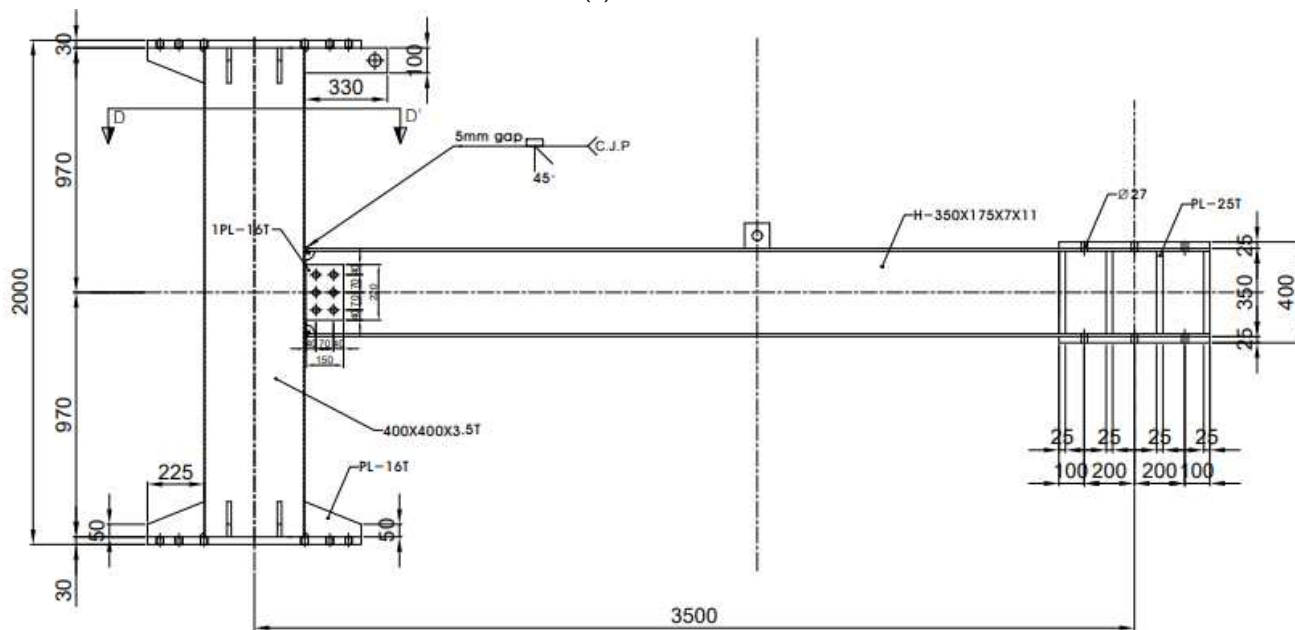
- S-40실험체는 그림 2.30에 나타난 것과 같이 기둥과 패널을 제작하는데 사용한 강판의 두께는 각각 12 mm와 40 mm이며, 패널의 높이는 보의 위 면과 아래 면 보다 200 mm씩 확장한 900 mm이다. 기둥과 패널의 연결을 완전용입용접으로 접합하였으며, 접합상세는 그림 2.31(c)에 나타난 것과 같다. S-40V실험체는 그림 2.31에 나타난 것과 같이 패널부에 16 mm의 두께의 강판을 사용하여 보강하였다.
- S-25+15실험체는 그림 2.32에 나타난 것과 같이 기둥은 12 mm의 두께의 강판을 사용하여 제작하였고 패널부에는 15 mm 두께의 강판을 겹쳐 그림 2.32(c)의 상세와 같이 용접하여 제작하였다. DW-21실험체는 그림 2.33에 나타난 것과 같이 기둥의 플랜지와 웨브의 두께는 각각 21mm와 9mm이며, 웨브의 외측과 기둥의 플랜지에 스티프너를 보의 플랜지의 높이에 16mm 두께의 강판을 사용하여 제작하였다.

표 2.11 실험체 상세

No.	Specimen	Type	Thickness of Column (mm)	Thickness of Panel (mm)	Beam
1	EZ-4	Triangular unit	4	4	H-300X175x7x11
2	EZ-12		12	12	H-500X200x10x16
3	S-40	Square	12	40	
4	S-40V		12	40 (with Diaphragm)	
5	S-25+15		25	25+15	
6	DW-21	Doble Webs	21	21	



(a) Plane



(b) Elevation

그림 2.28 E-4 실험체 형상

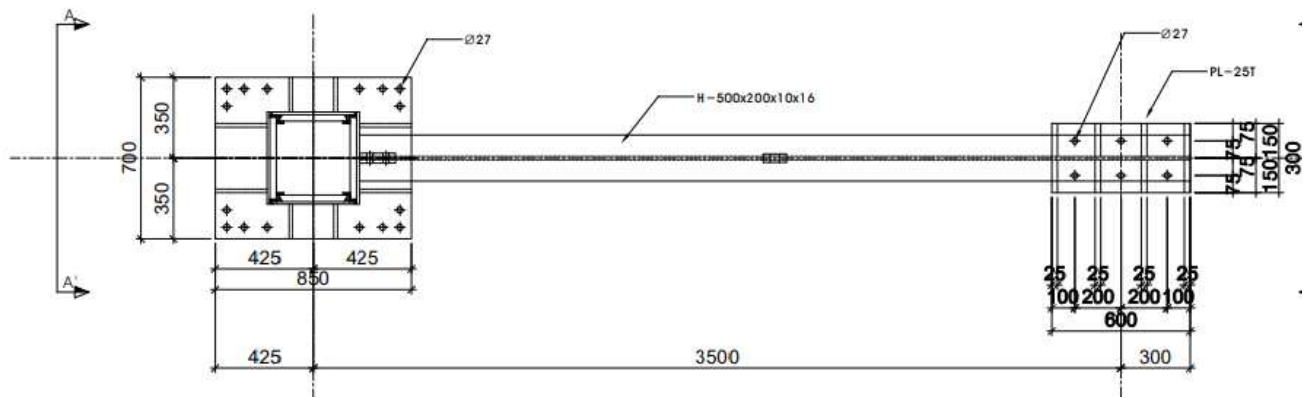


그림 2.29 E-12 실험체 형상

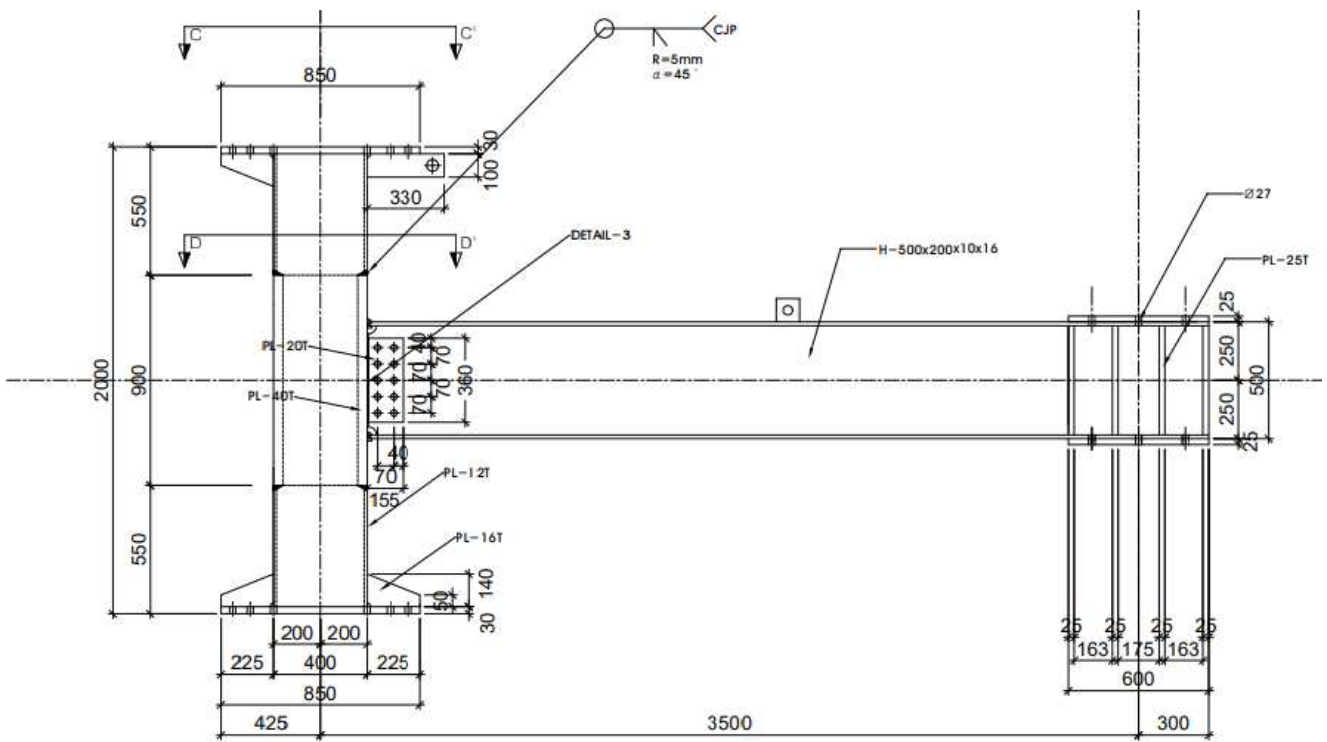
○ 모든 실험체는 SM355강재를 사용하여 제작하였으며, 사용된 강판의 재료강도인 항복강도와 인장강도는 표 2.12에 정리하여 나타내었다. 기둥 내부에 타설된 콘크리트의 설계압축강도는 24MPa이며, 재료실험결과 28일 압축강도는 31.4MPa이다.

2.12 Material property

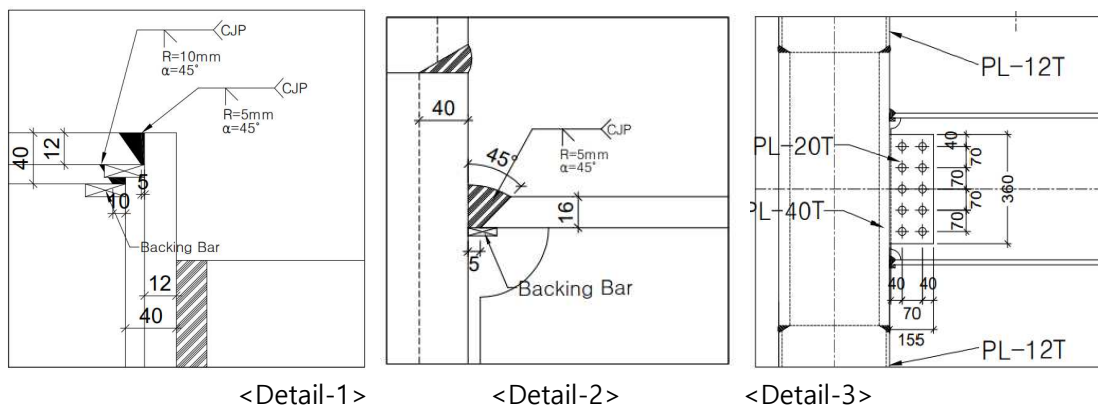
No.	Thickness (mm)	Fy (MPa)	Fu (MPa)	Used Part
1	4	355.0	516.0	Column(EZ-4)
2	7	359.8	535.3	Beam(Web)
3	10	368.7	529.9	Beam(Web)
4	11	347.4	524.2	Beam(Flange)
5	12	349.5	527.1	Column(EZ-12)
6	15	478.6	553.9	Column(S-25+15)
7	16	355.0	528.0	Beam(Flange)
8	21	338.3	530.7	Column(DW-21)
9	25	344.7	542.3	Column(S-25+15)
10	40	348.1	535.5	Column(S-40,S-40V)



(a) Plane



(b) Elevation

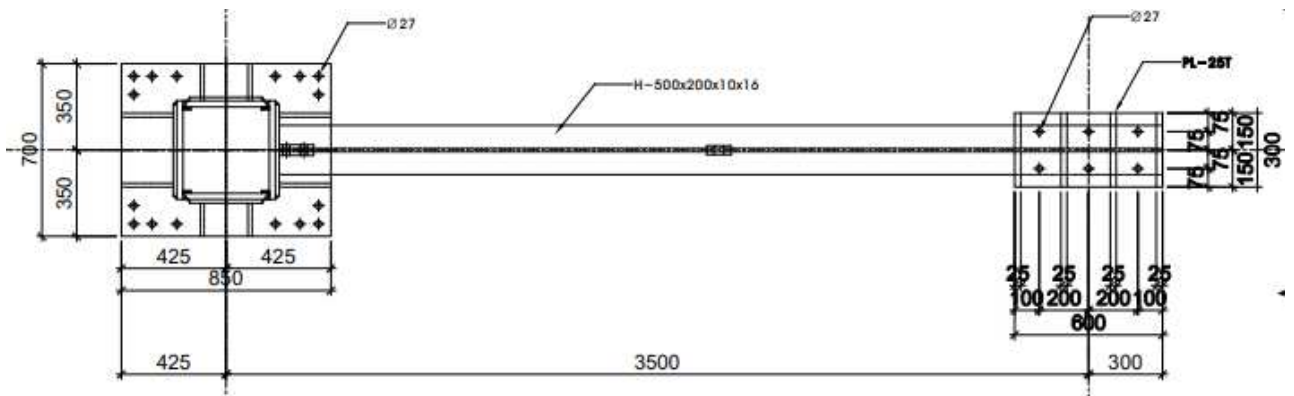


(c) Details

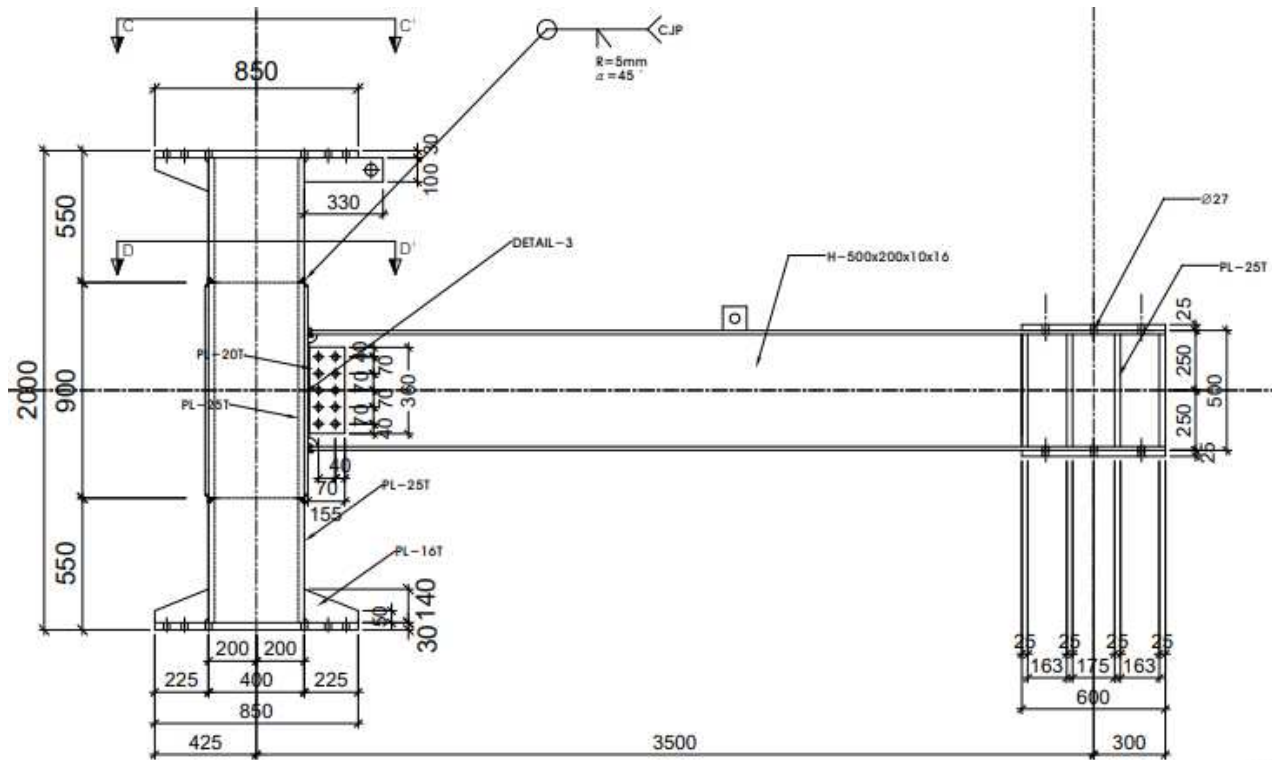
그림 2.30 S-40 실험체 형상



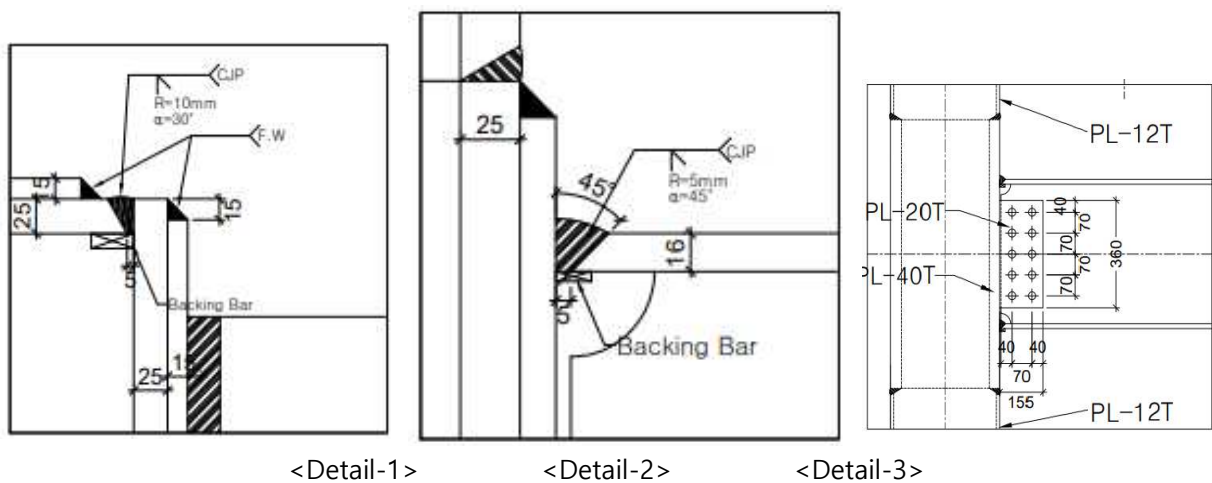
– 47 –



(a) Plane



(b) Elevation



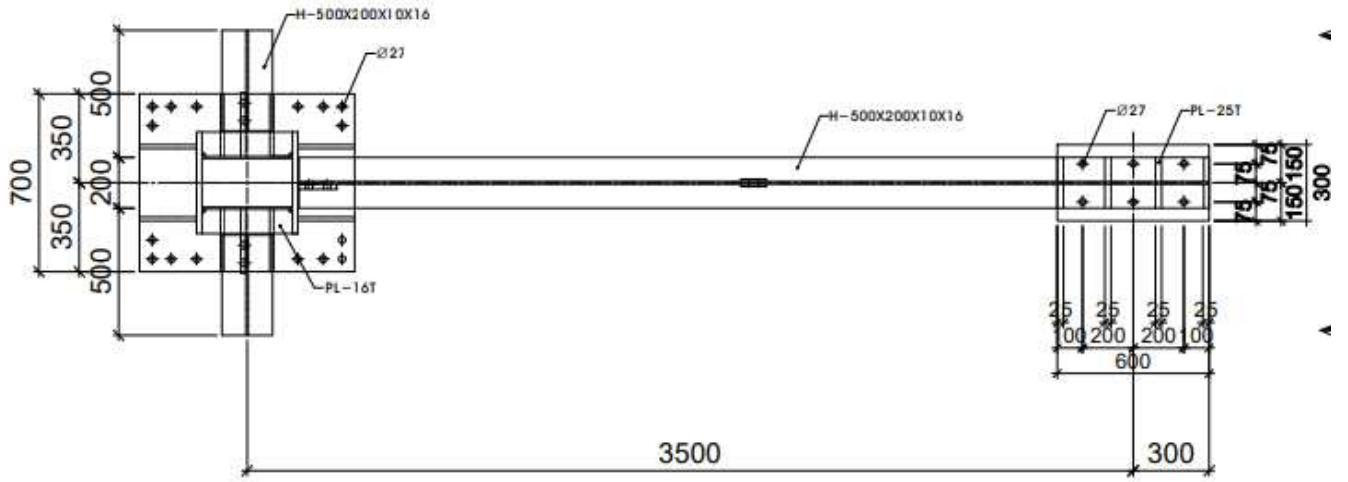
<Detail-1>

<Detail-2>

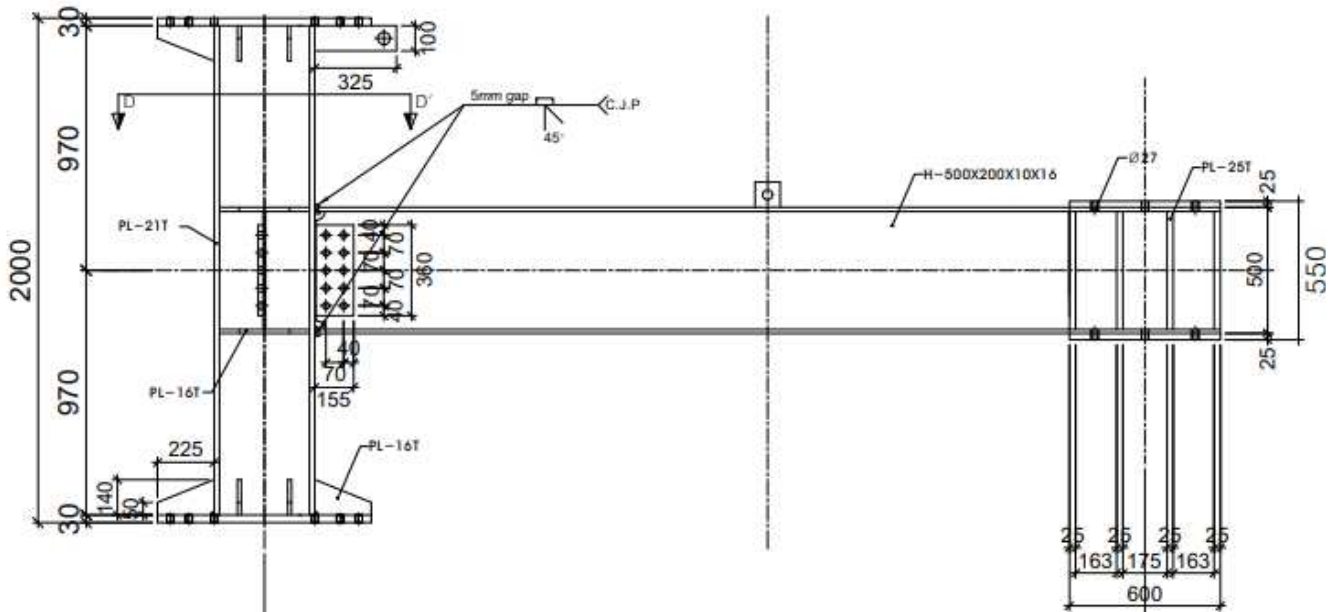
<Detail-3>

(c) Details

그림 2. 32 S-25+15 실험체 형상



(a) Plane



(b) Elevation

그림 2.33 DW-21 실험체 형상

- 하중가력 방법은 그림 2.34에 나타난 것과 같이 용량 3,000 kN의 액추에이터를 사용하여 ANSI/AISC 341 [33]에서 제시하고 있는 내진성능 평가를 위한 반복하중 프로토콜을 사용하여 진행하였음.

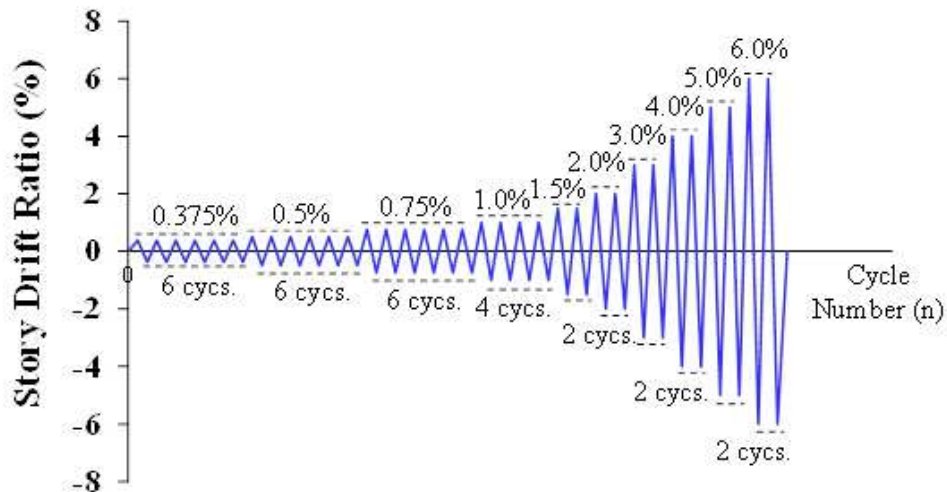


그림 2.34 하중가력 프로토콜

- 실험의 종료는 접합부 최대 내력이 보의 소성모멘트(M_p)의 80% 이하로 저하되었을 때를 파괴로 간주하여 실험을 종료하였다. 가력 중에는 그림 2.35에 나타난 것과 같이 3개의 LVDT를 설치하여 보의 처짐을 측정하였으며, 기둥의 변형 및 패널존의 변형을 측정하기 위해서 각각 2개의 LVDT를 설치하였다. 보의 상부와 하부 플랜지에는 기둥의 표면에서 100 mm와 200 mm 떨어진 곳에 각 3개씩의 변형률 게이지를 설치하여 보에서 발생하는 변형률을 측정하였다.



그림 2.35 Test setup

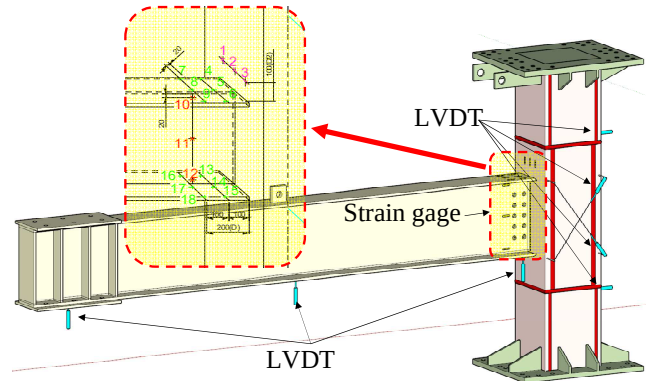
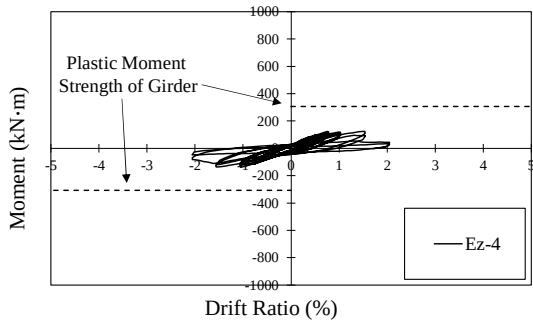


그림 2.36 접합부 성능 검증 계측 계획

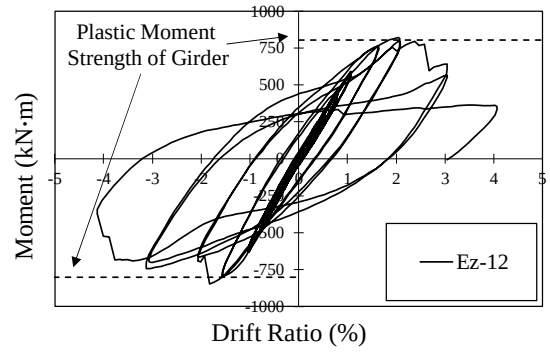
- 삼각유닛을 겹합하여 제작한 EZ-4실험체는 그림 2.37(a)에 나타난 것과 같이 초기에는 낮은 강성을 가지고 하중이 증가하다가 변위비 0.0075 rad에서 강성이 저하되기 시작하였다. 외부에서는 관측되는 변형을 없었으며, 이후 변위비 0.01 rad에서 부모멘트구간에서 상부 기둥이 미세하게 볼록해짐을 관측하였고, 변위비 0.015 rad에서 최대하중 122.9 kN·m에 도달하였다. 이후 하중이 점차적으로 저하되었으며, 변위비 0.02 rad에서 랜지와 접합된 기둥부분에서 변형이 발생하며 파괴되었다. EZ-4실험체의 최대내력은 보의 소성모멘트의 약 40 %로 보의 플랜지에서 발생한 최대 평균변형률은 그림 2.37(a)에 나타난 것과 같이 -939로 보의 항복변형률에 도달하지 못하였다. 이렇게 EZ-4실험체가 보의 소성모멘트에 도달하지 못하고 파괴된 이유는 기둥을 포함한 패널을 얇은 4 mm 강판을 사용하여 제작함으로써 요구되는 용접성능이 확보되지 않았기 때문이다.

- 12 mm두께의 강판을 사용하여 삼각유닛을 접합하여 제작한 EZ-12실험체는 그림 2.37(b)에 나타난 것과 같이 EZ-4실험체보다 높은 강성을 가지고 하중이 선형적으로 증가하였다. 변위비 0.015 rad에서 보의 플랜지의 변형률이 항복변형률 이상으로 변형을 하였으며 강성은 점차 감소하였다. 변위비 0.02 rad에서 최대모멘트인 820.5 kN·m에 도달하였고 이후 하중이 점차 감소하다가 변위비 0.04 rad에서 그림 2.37(b)에 나타난 것과 같이 보의 상부와 하부플랜지에서 좌굴이 발생하였으며, 웨브의 이음판이 찢어지면서 파괴되었다.

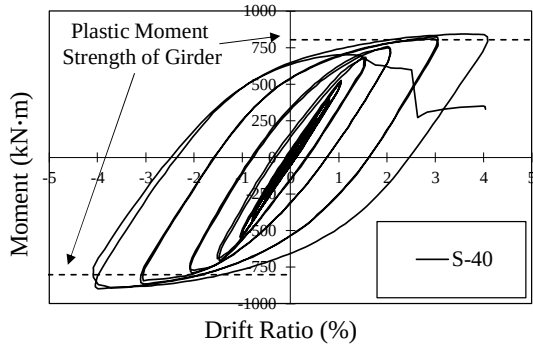
- S-40과 S-40V실험체는 보와 접합되는 패널을 40 mm의 두꺼운 강판을 사용하여 제작하였으며, S-40V실험체는 추가적으로 16 mm의 두께의 수직다이아프램을 설치하였다. 그림 2.37(c)와 (d)에 나타난 것과 같이 변위비 0.01 rad까지 높은 강성을 가지고 하중이 선형적으로 증가하였으며, 이후 보의 플랜지의 변형률이 항복 변형률에 도달하며 강성이 점차 감소하였다. 변위비 0.04 rad에서 최대강도에 도달했으며, 플랜지가 그림 2.37(c)와 (d)와 같이 파괴되면서 실험이 종료되었다.



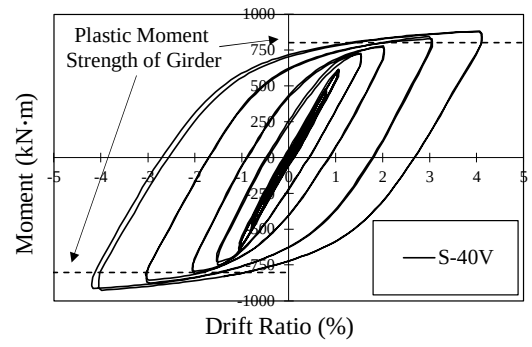
(a) EZ-4 specimen



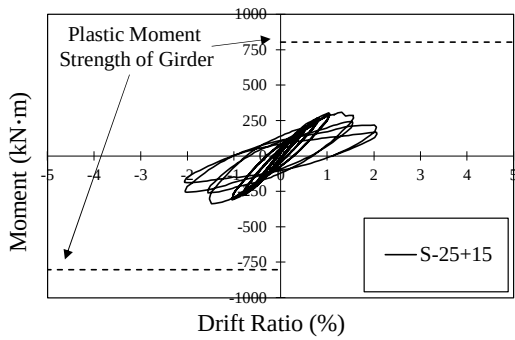
(b) EZ-12 specimen



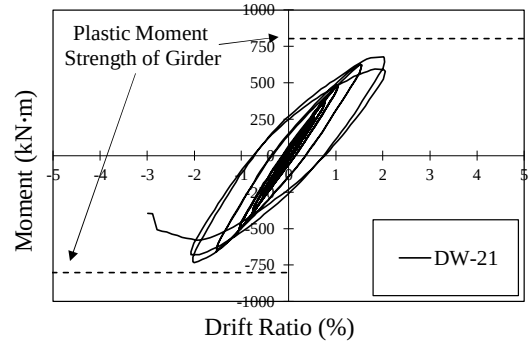
(c) S-40 specimen



(d) S-40V specimen



(e) S-25+15 specimen



(f) DW-21 specimen

그림 2.37 모멘트-회전각 곡선



(a) EZ-4 specimen



(b) EZ-12 specimen



(c) S-40 specimen



(d) S-40V specimen

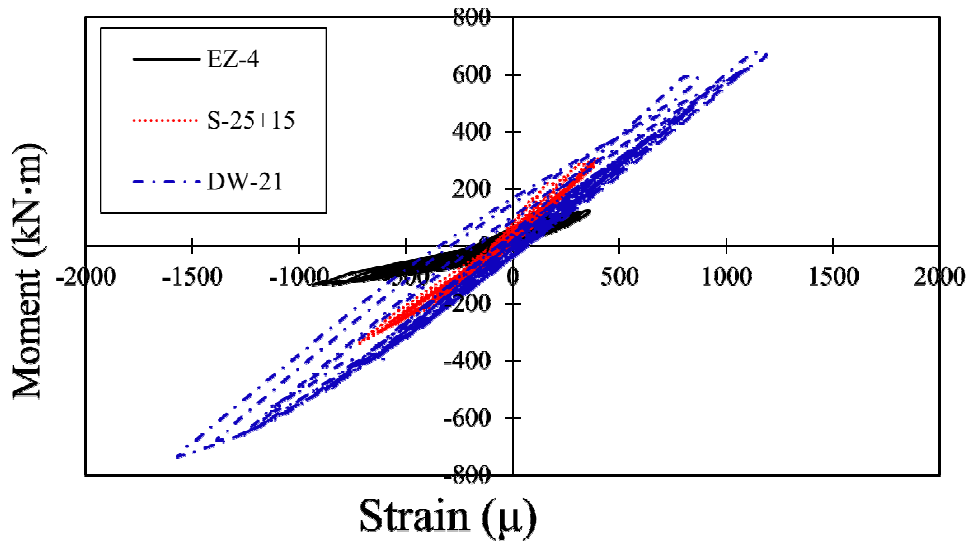


(e) S-25+15 specimen

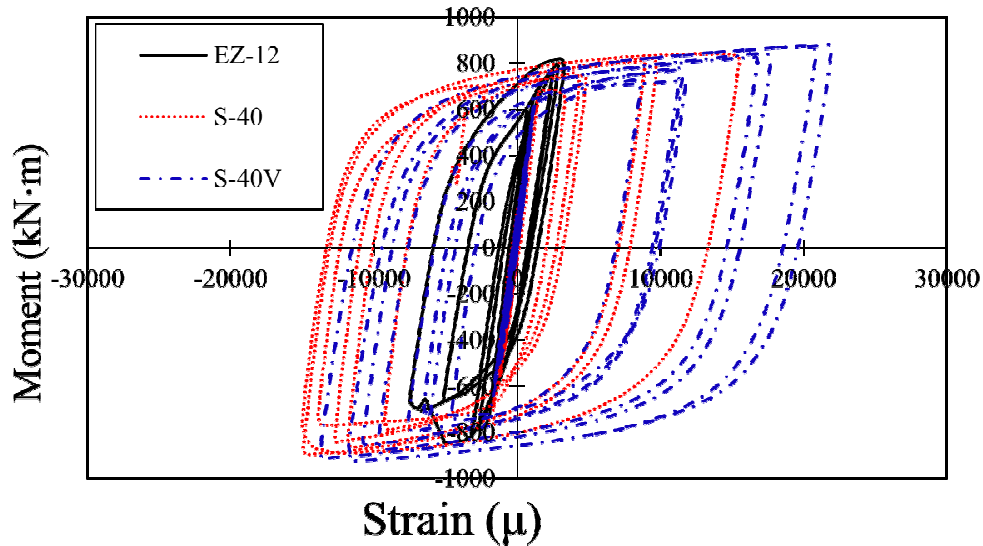


(f) DW-21 specimen

그림 2.38 실험체 파괴 형상



(a) EZ-4, S-25+15, DW21 specimens



(b) EZ-12, S-40, S-40V specimens

그림 2.39 Moment-Strain of Flange of Girder Curve

○ 기둥을 25 mm 두께의 강판으로 제작하고 15 mm 강판을 사용하여 패널부를 보강한 S-25+15 실험체의 경우 그림 2.37(e)에 나타난 것과 같이 낮은 강성을 가지고 변위비 0.0075 rad까지 하중이 서서히 증가하였으며, 이후 패널부에 보강한 강판과 기둥 사이의 용접부에서 균열이 발생하였고 강성이 급격하게 저하되었다. 변위비 0.015 rad에서 하중이 저하되기 시작하였으며, 최종적으로 변위비 0.02 rad에서 그림 2.37(e)의 사진과 같이 보강된 강판이 기둥에서 완전히 분리되면서 파괴되었다. 이러한 파괴양상은 보에서 전달되는 하중이 보강 강판에 전달되고 이는 기둥에 효율적으로 전달하지 못하여 발생한 것으로 보의 플랜지에서 발생한 최대변형률은 0.00075로 매우 작은 것을 그림 2.37(a)에서 확인할 수 있다.

○ 두 개의 웨브를 설치한 DW-21실험체는 그림 2.37(f)에 나타난 것과 같이 변위비 0.01 rad까지 하중이 선형적으로 증가하였다. 이후 점차 강성이 저하되었으며, 변위비 0.02 rad에서 최대하중에 도달하였고 보의 상부 플랜지 용접부에서 균열이가기 시작하였고 하중이 저하되었다. 변위비 0.03 rad까지 가력하는 중에 플랜지의 균열이 확대되면서 하중이 급격하게 저하되며 그림 2.37(f)에 나타난 것과 같이 파괴되었다. 최대 변형률은 그림 2.37(a)에 나타난 것과 같이 0.0016으로 항복변형률에 도달하지 못하고 파괴된 것으로 판단된다.

○ 접합부 내진성능의 평가는 ANSI/AISC 341 [33]에서 제시하고 있는 반복하중 가력 방법에 따라 최대내력의 80% 이상의 내력을 기준으로 보의 순수 회전각이 어느 정도의 성능을 발휘하느냐에 따라 성능을 평가함. 따라서 접합부 내진성능 실험 시 기둥과 보 그리고 패널의 회전각을 그림 2.41에 제시하고 방법을 통해 각 부위 별 순수 회전각을 평가함. 그림 2.42와 같이 기둥과 보 그리고 패널로 각각 회전각을 평가하여 그 결과를 나타냄.

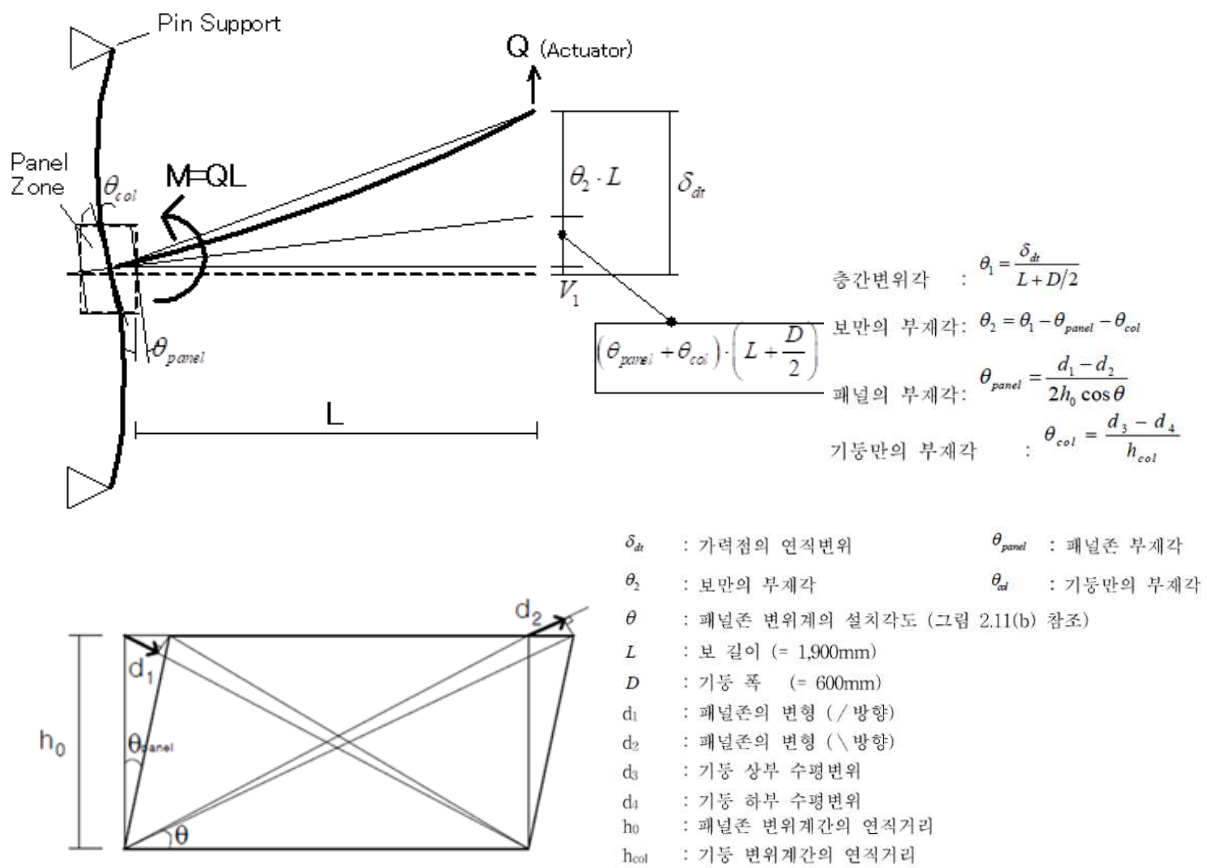
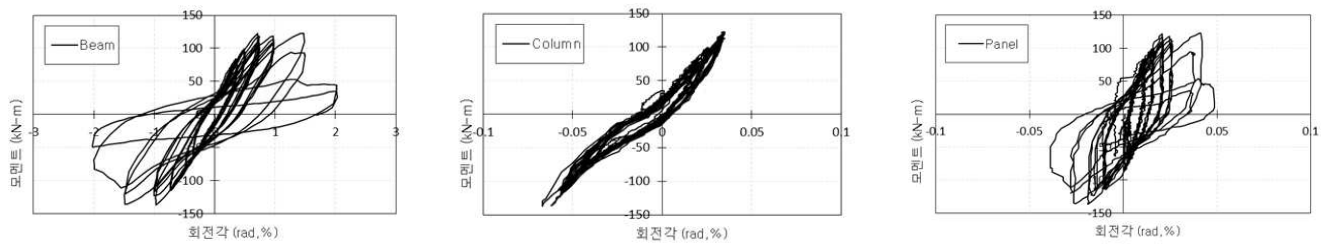
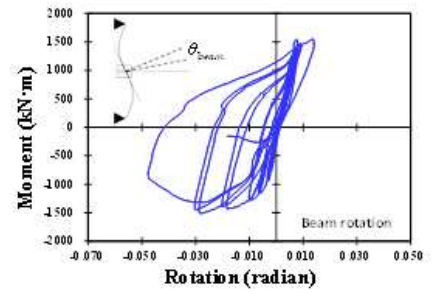
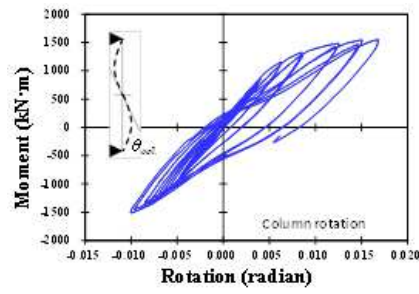
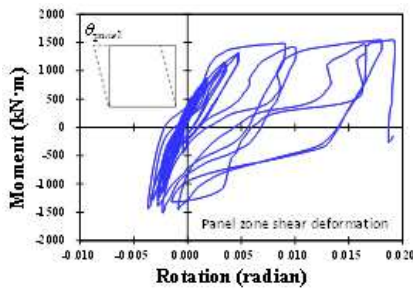


그림 2.40 접합부 성능 검증 계측 계획

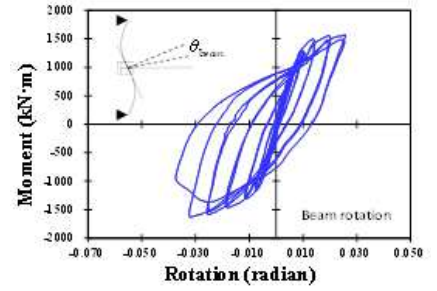
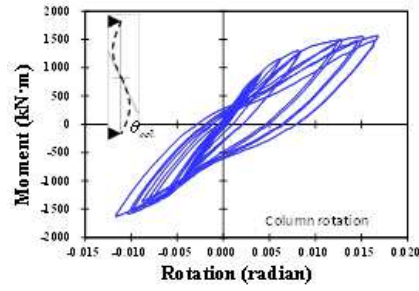
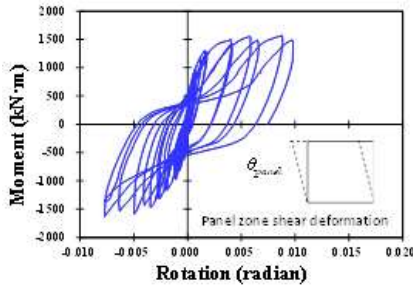


(a) 보의 회전각 정리 (b) 기둥의 회전각 정리 (c) 패널의 회전각 정리

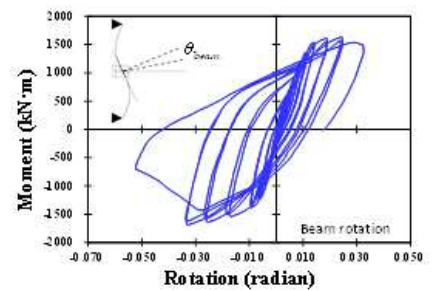
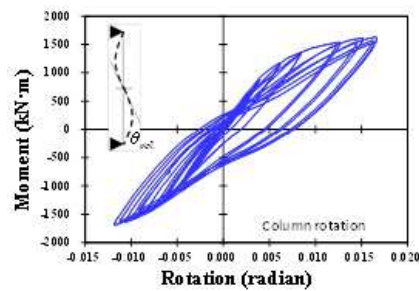
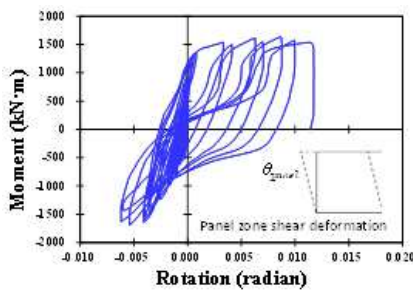
그림 2.41 접합부 구성요서의 각부재별 성능 평가



(a) S1 specimen



(b) S2 specimen



(c) S3 specimen

그림 2.42 Detailed displacement responses of each component in moment frame

■ 개발 합성구조 시스템의 가설계획 수립

- 실험결과를 바탕으로 시스템 서포트 적용 여부 검토
- 현장적용을 위한 상세도면 작성

○ 거푸집 및 동바리 구조설계

(1) 일반적으로 동바리는 현장조건에 부합하는 각 부재의 연결조건과 받침조건을 고려한 2차원 또는 3차원 해석을 수행하여야 하나, 구조물의 형상, 평면선형 및 종단선형의 변화가 심하고 편재하의 영향을 고려할 경우에는 2차원 해석결과와 3차원 해석결과를 비교하여 안전측 설계가 되도록 하여야 한다. 다만, 설치 높이가 5.0 m 미만인 동바리의 경우에는 2차원 또는 3차원 구조해석을 생략할 수 있으며, 구조설계는 그림 2.43에 따라 수행한다.

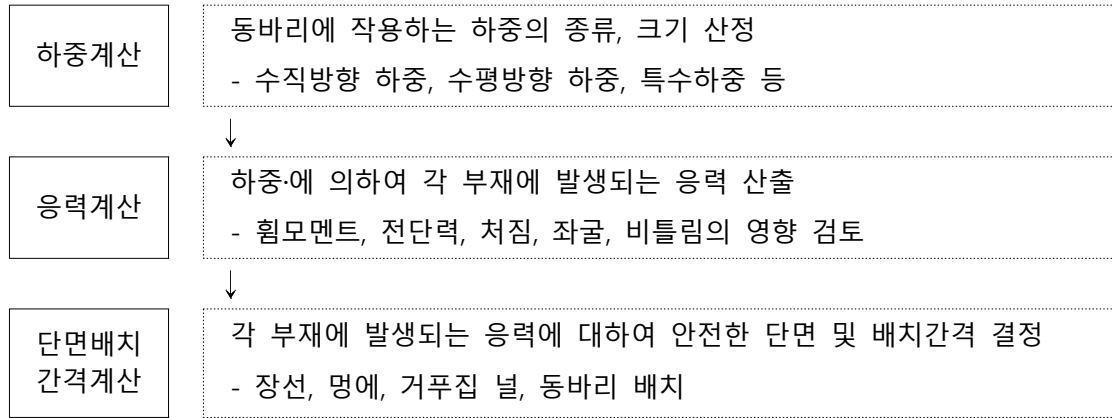


그림 2.43 구조설계 순서도

(2) 시스템 동바리의 경우에는 각 부재의 연결조건을 다음과 같이 적용한다.

- ① 수직재와 수직재의 연결부: 연속 부재
- ② 수직재와 수평재의 연결부: 힌지 연결(수평재 단부)
- ③ 수직재와 경사재의 연결부: 힌지 연결(경사재 단부)
- ④ 수평재와 경사재의 연결부: 힌지 연결

(3) 강관틀 동바리의 경우에는 각 부재의 연결조건을 다음과 같이 적용한다.

- ① 수직재와 수직재의 연결부: 연속 부재
- ② 수직재와 수평재의 연결부: 연속 부재
- ③ 주틀과 경사재의 연결부: 힌지 연결(경사재 단부)

(4) 강관틀 동바리의 부재 중에서 주틀을 구성하는 수직재에 연결되는 수평재와 경사재의 연결부가 강성의 저하없이 용접 연결되는 경우에는 연결조건을 다음과 같이 적용할 수 있다.

- ① 수직재와 수평재의 연결부: 연속 부재
- ② 수직재와 경사재의 연결부: 연속 부재
- ③ 수평재와 경사재의 연결부: 연속 부재

(5) 동바리 상·하 받침부의 경계조건은 원칙적으로 힌지로 간주한다.

○ 동바리

- 파이프 서포트

- (1) 파이프 서포트는 방호장치 안전인증기준 또는 KS F 8001에 적합하여야 한다.
- (2) 파이프 서포트의 압축성능은 표 2.13과 같다.

표 2.13 파이프 서포트의 압축성능(P_{scr})

길이 (mm)	압축성능 (kN)
6,000 이하	40

- 시스템 동바리

- (1) 시스템 동바리는 방호장치 안전인증기준 또는 KS F 8021에 적합하여야 한다.
- (2) 시스템 동바리 각 부재의 허용인장성능은 허용인장응력을 따르고, 수직재의 압축성능은 표 2.14와 같다.

표 2.14 수직재의 압축성능(P_{scr})

호칭길이 (mm)	압축성능 (kN)	
	1종	2종
900 미만	160	90
900 이상 1,200 미만	140	70
1,200 이상 1,500 미만	120	55
1,500 이상 1,800 미만	90	40
1,800 이상 2,100 미만	70	30
2,100 이상 2,400 미만	60	25
2,400 이상 2,700 미만	50	20
2,700 이상 3,000 미만	40	17
3,000 이상 3,300 미만	35	14
3,300 이상 3,600 미만	30	12
3,600 이상	25	10

- 주 ① 1종 : 수직재 바깥지름이 60.2 mm 이상인 부재
 ② 2종 : 수직재 바깥지름이 48.3 mm 이상 60.2 mm 미만인 부재

(3) 위 (1)항 외 제품은 공인시험기관에서 성능시험을 통하여 확인된 값을 적용하여야 한다.

○ 강관틀 동바리

- (1) 강관틀 동바리는 방호장치 안전인증기준 또는 KS F 8022에 적합하여야 한다.
 (2) 강관틀 동바리 각 부재의 허용인장성능은 허용인장응력을 따르고, 주틀과 가새재의 압축성능은 표 2.15 및 표 2.16과 같다.

표 2.15 주틀의 압축성능(P_{scr})

길 이 (mm)	압축성능 (kN)
900	360
1,200	300
1,500	240
1,800	180

표 2.16 가새재의 압축성능(P_{scr})

종 류	길 이(mm)	압축성능 (kN)
단일가새	1,500 미만	15
	1,500 이상 2,400 미만	12
	2,400 이상	8
교차가새	-	15

(3) 위 (1) 외 제품은 공인시험기관에서 성능시험을 통하여 확인된 값을 적용하여야 한다.

○ 강재 동바리

- (1) 강재 동바리에 적용되는 대구경 원형 강관, H형강, I형강 또는 플레이트 거더 등의 강재는 한국산업표준에 적합하여야 하며, 강재의 두께에 따른 구조성능은 KDS 14 30 00에 따른다.
 (2) 강재 동바리의 대구경 원형 강관에 적용되는 기성 강관은 KS D 3566에 적합하여야 하며, 강판을 이

용해 용접 제작된 강관의 경우 강판의 재료 특성을 설계에 적용한다.

- (3) 강재 동바리의 형강 또는 플레이트 거더에 적용되는 강재는 KS D 3503, KS D 3515 및 KS D 3529에 적합하여야 한다.

○ 강재 트러스 조립보

- (1) 강재 트러스 조립보는 강재 트러스 형태의 무지주 동바리 역할을 하는 보형식의 시스템 동바리이며, 구조성능은 KDS 14 30 00에 따른다.

○ 동바리 설계

- 일반사항

- (1) 동바리의 설계는 KDS 14 30 00에 따른다.
- (2) 동바리는 조립이나 해체가 편리한 구조로서, 그 이음이나 접속부에서 하중을 확실하게 전달할 수 있도록 한다.
- (3) 파이프 서포트, 시스템 동바리의 수직재와 강관틀 동바리의 주틀의 경우에는 압축성능을 안전율로 나눈 허용압축력에 근거한 허용압축응력을 적용하여 안전성을 검토할 수 있다.
- (4) 동바리 기초는 상부하중에 대한 지반의 허용지지력 및 허용침하량을 초과하지 않도록 설계하여야 하며, 모든 부속품이 변형기준과 허용응력을 초과하지 않도록 설계되어야 한다.
- (5) 동바리의 설계는 시공 중과 완성 후의 전체 연직방향 변위량에 충분한 안전성을 확보하여야 한다. 이 때, 전체 연직방향 변위량 선정은 기초 침하량과 동바리 자체 변형량을 포함하여야 한다.
- (6) 단품 지지형식 동바리의 허용압축내력 산정 시 수평연결재로 좌굴길이를 조정하지 않고 전체 동바리 길이에 대하여 좌굴길이를 산정하였을 경우에는 수평연결재를 생략할 수 있다.
- (7) 양중이 필요한 동바리는 양중에 의한 영향을 고려하여야 한다.
- (8) 동바리에 설치되는 수평연결재 및 가새는 예상되는 모든 수평하중을 안전하게 지지할 수 있도록 설치하여야 한다.
- (9) 동바리 시공 중 태풍 등과 같은 강풍이 작용하여 동바리가 붕괴될 우려가 있는 경우에는 수평방향 풍하중에 저항할 수 있도록 설계하여야 한다. 특히 콘크리트 부분 타설 등 상부 편심하중에 의해 횡방향 쏠림현상(sidesway)이 크게 발생할 우려가 있는 시공조건일 경우 이를 미연에 방지할 수 있는 경사버팀대 등으로 충분히 보강하여야 한다.
- (10) 건물의 층고 및 부재의 높이가 높아 단품지지 동바리를 사용할 수 없는 경우에는 구조계산을 하여 안전성을 검토한 후, 현장 여건에 적합한 동바리로 설계하여야 한다.
- (11) 전이보(transfer girder) 등과 같이 콘크리트 타설 두께가 큰 구조물을 지지하는 동바리에 의해 하부의 구조물에 전달되는 하중이 구조계산서에서 제시한 그 부재의 설계하중을 상회하는 경우에는 하부 지지구조물의 구조 안전성을 검토하여야 한다. 이 때 하부 지지구조물이 콘크리트 구조물인 경우 재령에 따른 콘크리트 압축강도를 고려하여야 한다.
- (12) 동바리 기초에 시공되는 말뚝에 관한 사항은 KDS 11 50 15에 따른다.
- (13) 동바리 구조물에 볼트연결이 필요한 경우 다음 사항을 적용한다.
- ① 고장력 볼트를 사용하는 모든 가시설물은 너트회전법, 직접인장측정법, 토크관리법, TS볼트 등을 사용하여 주어진 설계볼트장력 이상으로 조여야 한다.
- ② 진동이나 하중변화에 따른 고장력 볼트의 풀림이나 피로를 설계에 고려할 필요가 없는 경우와 지압이음은 밀착조임을 할 수 있으며 밀착조임은 설계도면과 시공상세도에 명확히 표기하여야 한다. 여기서, 밀착조임이란 임팩트랜치로 수 회 또는 일반랜치로 최대로 조여서 접합되는 판들이 서로 충분히 밀착된 상태가 된 볼트 조임을 말한다.
- ③ 진동, 충격 또는 반복하중을 받는 이음부 이외의 곳에 설계된 일반 볼트를 고장력 볼트로 대응하는 경우 일반 볼트의 규정을 따라 시공하며, 그 외 서술되지 않은 부분은 KDS 14 30 00에 따른다.

○ 파이프 서포트

- (1) 거푸집 동바리 구조에 대한 구조검토를 통해 파이프 서포트의 적절한 간격을 결정하여야 한다.
- (2) 파이프 서포트 허용압축내력 산정 시 수평연결재로 좌굴길이를 조정하지 않고 전체 동바리 길이에 대하여 좌굴길이를 산정하였을 경우에는 수평연결재를 생략할 수 있다.
- (3) 파이프 서포트 구조계산 시 수평하중에 대한 안전성 검토를 실시하여야 한다.
- (4) 파이프 서포트 설치 전, 지반의 지지력에 대한 안전성 검토를 실시하여야 한다.
- (5) 개구부에 파이프 서포트를 설치하는 경우에는 상부하중을 충분히 지지할 수 있는 지지물을 설치하고 이에 대한 안전성 검토를 실시하여야 한다.

○ 시스템 동바리

- (1) 구조계산에 의한 조립도를 작성하여야 한다.
- (2) 시스템 동바리는 수평재 및 가새재를 반드시 설치하여 예상되는 수평하중을 이들 부재가 지지토록 하여야 한다. 다만, 구조검토에 의해 안전성이 확인된 경우에는 가새재를 견고하게 설치할 수 있다.

(3) 경사진 구조물의 가설용 동바리로 시스템 동바리를 사용하는 경우 다음의 편경사 및 평면곡선 반지름에 대한 조건을 만족하여야 한다. 단, 종단경사의 경우에는 제한을 두지 않는다.

① 편경사는 6% 이내이어야 한다.

② 평면곡선 반지름은 도로의 구조·시설 기준에 관한 규칙 제19조(평면곡선 반지름)에서 최대 편경사 6% 일 때의 설계속도에 대응하는 최소 평면곡선 반지름 규정을 만족하여야 한다.

(4) 동바리의 전체 좌굴을 방지하기 위해 시스템 동바리의 설치높이는 조립되는 동바리 단변 폭의 3배가 넘지 않도록 하며, 초과 시에는 주변 구조물에 지지하는 등의 전체 좌굴을 방지할 수 있는 조치를 취하여야 한다. 다만, 수평버팀대 등의 설치를 통해 전도 및 좌굴에 대한 구조 안전성이 확인된 경우에는 3배를 초과하여 설치할 수 있다.

(5) 시스템 동바리를 지반에 설치할 경우에는 연직하중에 견딜 수 있도록 지반의 지지력을 검토하여 강재, 목재 등을 이용하여 깔판 또는 깔목을 설치하거나, 지반다짐 후 콘크리트를 타설하는 등의 상재하중에 의한 침하 방지조치를 하여야 한다.

○ 강관틀 동바리

(1) 강관틀 동바리는 수직재, 수평재 및 경사재 등이 용접으로 일체화되어 생산된 주철과 경사재 등이 조립되어 구조 시스템을 형성하기 때문에 시스템 동바리와 마찬가지로 부재의 단면적과 재료 특성만을 토대로 성능을 산정하기 어렵다. 따라서, 강관틀 동바리 부재의 성능은 KS F 8022에 규정된 시험방법에 따라 하중을 가하여 각 부재가 견딜 수 있는 하중의 최댓값을 토대로 산정하는 것을 원칙으로 한다.

(2) 강관틀 동바리는 수평재 및 경사재를 반드시 설치하여 예상되는 수평하중을 이들 부재가 지지토록 하여야 한다.

(3) 강관틀 동바리의 상하 수평재 설치간격에 대한 수직재 설치간격의 비는 0.5/1~1/1의 범위 이내이어야 한다.

(4) 경사진 구조물의 가설용 동바리로 강관틀 동바리를 사용하는 경우 다음의 편경사 및 평면곡선 반지름에 대한 조건을 만족하여야 한다. 단, 종단경사의 경우에는 제한을 두지 않는다.

① 편경사는 6% 이내이어야 한다.

② 평면곡선 반지름은 도로의 구조·시설 기준에 관한 규칙 제19조(평면곡선 반지름)에서 최대 편경사 6% 일 때의 설계속도에 대응하는 최소곡선 반지름 규정을 만족하여야 한다.

○ 강재 동바리

(1) 강재 동바리는 대구경 원형 강관 또는 H 형강, I 형강 또는 플레이트 거더 등을 이용하여 설계 및 시공되는 동바리를 말하며, 동바리의 재료특성과 단면형상을 토대로 설계되어 시공 현장에서 다양하게 적용될 수 있는 일반적인 동바리를 말한다.

(2) 강재 동바리에 유수압이 작용하는 경우에는 KDS 24 12 20(식 (4.1-11))에 따른다.

(3) 강재 동바리는 유목에 의한 충돌하중을 고려할 경우에는 KDS 24 12 20(식(4.1-26))에 따른다.

(4) 강재 동바리에 적용되는 대구경 원형강관의 허용응력은 KDS 14 30 00에 따른다.

(5) 강재 동바리에 적용된 형강 또는 플레이트 거더의 허용응력은 KDS 14 30 00에 따른다.

■ 개발된 합성구조 시스템의 설계 및 시공 상세지침 작성

- 현장적용을 위한 상세도면 작성
- 실무자를 위한 설계법 검토 및 시공방법 제시

▶ CFT기둥 제작 및 시공 매뉴얼의 작성

○ 본 시방서의 내용으로는 CFT Column 공사에 대한 CFT Column 제작 가공 및 설치에 대한 공사시방을 명기한 것이며, 중복이나 모순 혹은 기술되지 않은 경미한 사항에 대해서는 건축주와 감리자가 협의하여 시행한다.

○ CFT Column 적용기준은 제작 가공 및 설치에 대한 사항에 대해서는 이 시방서의 규정을 적용한다. 또한, 필요한 경우 관련 법규나 국토해양부 채택 표준시방서의 규정을 적용한다.

○ 재료의 규격 및 재질은 아래 기준에 따르며, 사용 재료별 제조회사의 시험 성적표, 견본품, 용접시험편, 기타 감리자가 요구하는 관련 자료를 제출하여 감리자의 승인을 받아야 한다.

- 사용되는 구조용 강재는 KS에 명시한 규격품으로 하고, 그 종류는 공사시방서에 따른다. 해당하는 규격에 규정되지 않는 성능을 특별하게 규정하는 경우에는 공사시방서에 따른다. 구조용 강재는 유해한 결함이 없는 것으로 한다.
- 고력볼트 및 볼트는 CFT Column에 사용되는 고력볼트, 볼트는 KS 규격품 (KS B 1010, KS B 1002, KS B 1012)에 명시한 규격품으로 하고 그 종류는 공사시방서에 따른다. KS 규격에 나타난 규격품 이외의 고력볼트, 볼트 등을 사용하는 경우에는 공사시방서에 따른다.
- 재료구입, 반입 및 보관에 있어 먼저 강재의 구입은 적절한 관리를 하고 있는 재료 공급자를 선정한다. 강재의 종류, 형상 및 치수는 규격 증명서의 원본으로 확인한다. 강재 규격증명서의 원본을 준비할 수 없는 경우에는 그 사본에 의해 확인한다. 다만, 그 사본은 해당 강재와 일치한다고 보증하는 자의 성명, 날인 및 날짜가 첨부되어 있는 것이어야 한다. 재료는 심한 녹, 표면손상 등의 유해한 표면 결함, 휨, 비틀림 등의 변형이 없어야 하며, 규격이 다른 것이나 불량품이 혼입되지 않도록 정돈하여 양호한 상태에서 보관한다. 보관은 재료의 식별이 용이하도록 조치한다.
- 제작
 - 시공하는 제품의 형상, 치수 및 배근상세와 주요부위의 접합상세를 나타낸 시공도를 작성하여 발주자의 승인을 얻은 후 제작한다.

○ 공작도

- (1) 공작도의 작성에 있어 시공자는 제작공정에 지장이 없도록 충분한 시간적 여유를 가지고 철골 제작업자에게 필요한 지시서를 제출한다.
- (2) 시공자는 설계도서에 따라 설계의도를 정확히 파악, 고려한 공작도를 철골 제작업자에게 작성 하도록 하고, 시공성과 구조 세부마감을 확인한 후 공사감독자의 승인을 받는다.
- (3) 공작도의 승인 날짜는 공사감독자와 협의하여 결정한다.
- (4) 공작도는 설계도서에 대신하여 제작, 설치에 대한 지시서의 역할을 수행하는 것으로, 아래에 나타난 내용을 구비하는 것을 원칙으로 한다.

- (가) 철골 바닥틀도, 가구도, 부재 목록 등
- (나) 철골부재의 상세한 형상, 치수, 부재부호, 제품수량, 제품부호, 재질 등
- (다) 용접 및 고력볼트, 접합부의 형상, 치수, 이음매부호, 볼트종류, 등급 등
- (라) 설비 관련 부속철물, 철근 관통구멍, 가설철물, 파스너 등
- (마) 공작도의 작성은 수작업 및 CAD 시스템 중 어느 방법을 이용해도 좋다.

○ 기준강제줄자

- (1) 기준강제줄자는 KS B 5209의 1급품에 적합한 것을 사용한다.
- (2) 기준강제줄자는 제조회사에서 정기적으로 정밀도 검사를 받는다.
- (3) 원칙, 조립, 공사현장 작업용 강제줄자는 기준강제줄자와 대조하여 정밀도 확인을 하며, 이때의 장력은 49N으로 한다.

○ 금매김(Marking)

- (1) 금매김은 공작도 또는 정규, 형판 등에 따라 이후 공정에서 필요한 사항을 정확, 명료하게 기재한다.
- (2) 490N 급 이상의 고장력강 및 휨 가공한 연강의 표면에는 펀치, 정 등에 의한 흔적을 남겨서는 안 된다. 다만, 절단, 구멍뚫기, 용접 등으로 제거되는 경우에는 무방하다.

(3) 금매김 치수는 제작 중에 발생하는 수축, 변형 및 마무리 손실을 고려한 수치로 한다.

○ 절단 및 절삭가공

- (1) 강재의 절단은 기계절단법, 가스절단법, 플라즈마 절단법 등에 의하여 강재의 형상, 치수를 고려하여 최적의 방법으로 한다.
- (2) 가스절단을 수행하는 경우, 원칙적으로 자동가스절단기를 이용한다.
- (3) 부재 자유단의 가스절단면 정밀도는 공사시방에 명기가 없는 경우 거칠기 $100\mu\text{mRy}$ 이하, 노치깊이 1mm 이하로 한다. 가스절단면의 정밀도가 확보될 수 없는 것에 대해서는 그라인더 등으로 수정한다.
- (4) 용접개선부의 절단, 절삭면의 정밀도는 거칠기 $200\mu\text{mRy}$ 이하, 노치깊이 2mm 이하로 한다.
- (5) 전단 절단하는 경우, 강재의 판 두께는 13mm 이하로 한다. 절단면에 직각도를 상실한 홀림, 끌림 등이 발생한 경우에는 그라인더 등으로 수정한다.
- (6) 설계도서에서 메탈터치(Metal Touch)가 지정되어 있는 부분은 페이스잉 머신(Facing Machine) 또는 로타리 플레이너(Rotary Planer)등의 절삭가공기를 사용하여 상호부재 상호가 충분히 밀착하도록 가공한다.
- (7) 절단면의 정밀도가 절삭가공기의 경우와 같도록 확보될 수 있는 기계절단기(Cold Saw)를 이용한 경우, 절단 연단부는 그대로 두어도 좋다.
- (8) 스칼롭(Scallop) 가공은 절삭가공기 또는 부속장치가 달린 수동가스절단기를 사용한다. 가공 정밀도는 거칠기 $100\mu\text{mRy}$ 이하, 노치깊이 1mm 이하로 하고 정밀도를 확보할 수 없는 것은 그라인더 등으로 수정한다.

○ 개선판공

- (1) 개선 가공면에 관한 거칠기는 $200\mu\text{mRy}$ 이하, 노치깊이는 2mm 이하로 한다.
- (2) 허용값을 넘는 경우, 용접덧살, 그라인더 등 적절한 방법으로 보완한다.

○ 구멍뚫기

- (1) 고장력볼트용 구멍뚫기는 드릴뚫기로 한다. 접합면을 블라스트 처리하는 경우에는 블라스트 하기 전에 구멍뚫기를 한다.
- (2) 볼트, 앵커볼트는 드릴뚫기를 원칙으로 하며, 판두께가 13mm 이하일 경우에는 전단 구멍뚫기가 가능하고, 절단면에 직각도를 상실한 홀림, 끌림 등이 발생한 경우, 그라인더로 수정한다.
- (3) 앵커볼트, 거푸집 격리제, 설비배관용 관통구멍 및 설비, 내외장 콘크리트 타설용의 부속철물등의 구멍이 지름 30mm 이상인 경우, 가스 구멍뚫기를 해도 좋다. 가스구멍뚫기를 하는 경우의 절단면의 거칠기는 $100\mu\text{mRy}$ 이하로 하고, 구멍지름의 허용차는 $\pm 2\text{mm}$ 이하로 한다.
- (4) 고력볼트, 볼트 및 앵커볼트의 공칭축 직경에 대한 구멍지름은 표 2.17과 같이 한다.
- (5) 구멍뚫기 가공은 구멍뚫기를 해야 하는 부재표면에 대하여 직각도를 유지하고 정규의 위치에 작업한다. 구멍뚫기 가공 후 구멍의 주변은 홀림, 끌림, 쇠파우 등을 완전히 제거한다.

표 2. 17 각 볼트의 공칭축 직경에 대한 구멍지름

종 류	구멍지름(D,mm)	공칭축 직경(d,mm)
고력볼트	d+2.0	d < 22
	d+3.0	d ≥ 24
볼트	d+0.5	-
앵커볼트	d+5.0	-

○ 마찰면의 처리

- 미끄럼계수가 0.45 이상 확보되도록 하고 마찰면의 처리방법은 공사시방에 명기가 없는 경우 자연 발생한 녹 또는 블라스트(Blast) 처리 중 어느 한가지 방법으로 한다.

- (1) 자연 발생녹의 경우에는 디스크 그라인더 등으로 원칙적으로 이음판 전면에 대하여 검정 녹등을 제거한 후 옥외에 방치하여 자연발생시킨 붉은 녹 상태를 확보한다.
- (2) 블라스트 처리를 할 경우 표면 거칠기는 50 μ mRy 이상으로 하여 적녹을 발생시키지 않아도 된다.

○ 변형의 교정

- (1) 가공 중에 발생한 변형은 그 변형량이 정해진 제품의 정밀도를 확보할 수 없는 경우, 재질을 손상시키지 않도록 상온에서 또는 가열로 교정한다.
- (2) 상온에서 교정하는 경우는 프레스 또는 롤러 등을 사용한다.
- (3) 가열로 교정하는 경우의 온도는 표 2.18에 기재한 것을 표준으로 한다.

표 2. 18 가열로 교정하는 경우의 온도

구 분	가열 후 공냉	가열 후 즉시 수냉	공냉 후 수냉
온 도	850℃ ~ 900℃	600℃ ~ 650℃	850℃ ~ 900℃
비 고	단, 수냉 개시 온도는 650℃ 이하로 한다.		

○ 휨 가공

- (1) 휨 가공은 상온가공 또는 가열가공으로 한다. 가열가공의 경우는 적열상태(800℃~900℃)에서 하고 청열 취성역(200℃~400℃)에서 가공해서는 안 된다. 이 경우에도 "변형의 교정"에 명시된 온도조건에 따라야 한다.
- (2) 상온가공에서 구부림 내반경은 기둥, 보 및 가새단의 현치 등 소성변형능력을 요구하는 부재는 판 두께의 4배 이상으로 하고 이외의 부재는 판두께의 2배 이상으로 한다.

○ 조립

- (1) 조립방법 및 순서를 결정함에 있어 용접에 의해서 발생하는 변형이나 잔류응력이 최소가 되도록 사전에 역변형을 주거나 작은 블록으로 분할하여 조립, 용접을 하는 등의 방법을 검토하여 시행한다.
- (2) 조립에 사용하는 부재는 조립 전에 부재의 부호, 재질, 수량 등을 확인한 다음 오염, 부식, 유해한 자국 등의 유무를 확인하고, 있는 경우에는 교체를 하거나 보수한다.
- (3) 조립에 사용하는 부재에 휨, 비틀림 등 변형이 있는 경우에는 소정의 제품 정밀도를 유지하기 위해 조립 전에 변형을 교정한다.
- (4) 조립은 작업에 적합한 지그(Jig)등을 이용하여 부재 상호의 위치 및 각도를 정확히 유지하면서 시행한다.
- (5) 뒷담재(Backing Plate, Backing Bar(Strip)) 및 엔드탭(End Tab)은 소정의 루트(Root) 간격을 확보하여 모재와의 사이에 틈새가 발생되지 않도록 밀착시켜서 부착한다.
- (6) 부재상호의 면의 불일치의 유무, 맞담용접 개선의 형상 등을 확인하여 적절하지 않은 경우에는 수정한다.
- (7) 조립용접은 조립, 운반, 본 용접작업에서 조립부재의 형상을 유지하고, 동시에 조립용접이 떨어지지 않도록 충분한 소요길이와 각장을 갖는 비드를 적절한 간격으로 배치하여 실시한다. 조립용접의 비드길이는 표 2.19의 값을 최소로 하고, 특히 짧은 비드가 되지 않도록 한다. 판두께가 서로 다를 경우 두꺼운 쪽에 따른다.
- (8) 조립용접은 본용접과 동등한 품질을 얻을 수 있도록 한다. 또한 개선 안쪽에는 조립용접을 하지 않는다. 다만, 구조상 개선 안쪽에 조립 용접을 하지 않을 수 없는 경우 본 용접 후의 품질이 충분히 확보 가능한 방법으로 시공한다.

표 2. 19 조립용접의 최소 비드길이

판두께(mm)	가용접의 최소 비드길이(mm)
$t \leq 6$	30
$t > 6$	40

○ 가조립

- 가조립을 하는 경우는 미리 가조립 요령서를 작성하여 승인을 받고 이에 따라 시공한다.

○ 용접

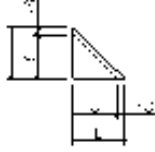
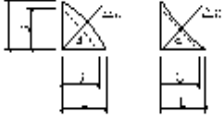
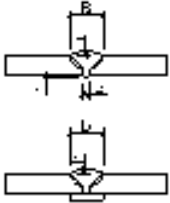
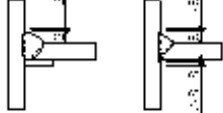
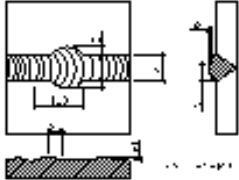
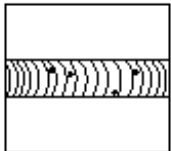
- 일반조건

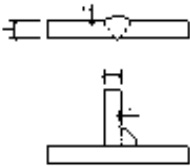
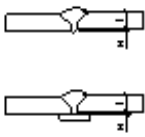
용접은 자동 용접을 원칙으로 하며 부분적으로 감리자의 승인을 받아 반자동 또는 수동용접을 검할 수 있으며 용접 착수 전 모재의 기계적 성질, 용접성, 용접의 치수 및 형상에 따른 부재 및 부위별 용접방법, 용접 재료, 용접기종, 용접전류, 아아크 전압 용접속도 및 개스량 등에 대한 용접 세부 계획서를 작성하여 건축주 및 감리자의 승인을 받아야 한다.

○ 표면 결함의 검사 및 정밀도의 검사

- 용접부 표면 결함의 검사 및 정밀도의 검사방법, 합격, 불합격의 판정은 공사시방에 명기가 없는 경우 아래 사항에 따른다.
 - (1) 검사항목 및 합격, 불합격의 판정은 철골정밀도 한계허용오차에 따른다.
 - (2) 표면결함의 검사 및 정밀도의 검사는 전 용접부위에 대해서 육안검사를 한다. 육안기준에 벗어났다고 판단되는 곳에 대해서 적절한 기구로 정밀측정을 한다.
 - (3) 불합격된 개소는 적절한 방법으로 수정 또는 보강한다.

표 2. 20 용접관리 허용치

항 목	도 시	관리 허용치	한계 허용치
필렛 용접 SIZE $\Delta\Delta S$		$0 \leq \Delta\Delta S \leq 0.5S$ MAX. $\Delta\Delta S \leq 5$ S : SIZE, L : 각장	$0 \leq \Delta\Delta S \leq 0.8S$ MAX. $\Delta\Delta S \leq 8$
필렛 용접 여성높이 $\Delta\Delta a$		$0 \leq \Delta\Delta a \leq 0.4S$ MAX. $\Delta\Delta a \leq 4$	$0 \leq \Delta\Delta a \leq 0.6S$ MAX. $\Delta\Delta a \leq 6$
BUTT용접 여성높이 h		$B < 15$ $0 \leq h \leq 3$ $15 \leq B \leq 25$ $0 \leq h \leq 4$ $25 \leq B$ $0 \leq h \leq 4B/25$	$B < 15$ $0 \leq h \leq 5$ $15 \leq B \leq 25$ $0 \leq h \leq 6$ $25 \leq B$ $0 \leq h \leq 6B/25$
완전용입 T이음 보강 필렛용접 SIZE $\Delta\Delta S$		$t \leq 40 (s=t/4)$ $0 \leq \Delta\Delta S \leq 7$	$t \leq 40 (s=t/4)$ $0 \leq \Delta\Delta S \leq 10$
비드 표면 요철의 고저차 및 불일치 e		요철의 고저차 e1, e2는 용접장 또는 비드 폭 25범위에 대해 2.5mm 이하. 비드 폭 불일치 e3는 용접장 150범위에 대해 5mm 이하.	요철의 고저차 e1, e2는 용접장 또는 비드 폭 25범위에 대해 4.0mm 이하. 비드 폭 불일치 e3는 용접장 150범위에 대해 7mm 이하.
피트(PIT)		용접길이 30cm 마다 1개이하(크기가 1m 이하의 3개를 1개로 계산)	용접길이 30cm 마다 2개이하(크기가 1m 이하의 3개를 1개로 계산)

언더컷 (UNDER CUT) e		BUTT 용접 : $e \leq 0.3$ 전면필릿용접 : $e \leq 0.3$ 측면필릿용접 : $e \leq 0.5$ 1개 길이가 3mm이하로 30cm 내에 총길이 30mm이하인 경우는 0.7mm 까지 허용	BUTT 용접 : $e \leq 0.5$ 전면필릿용접 : $e \leq 0.5$ 측면필릿용접 : $e \leq 0.8$ 1개 길이가 5mm이하로 30cm 내에 총길이 30mm이하인 경우는 1.0mm 까지 허용
BUTT 이음부 편차 e		$t \leq 15, e \leq 1$ $t > 15, e \leq t/15$ MAX. $e \leq 2$	$t \leq 15, e \leq 1.5$ $t > 15, e \leq t/10$ MAX. $e \leq 3$

○ 용접부의 내부결함 검사

- (1) 용접부의 내부결함 검사방법은 공사시방에 명기가 없는 경우 초음파탐상검사 등의 비파괴검사에 따른다.
- (2) 초음파탐상검사 시험방법은 KS B 0896에 따르되, 그 대상은 공사시방에 명기가 없는 경우 용접부 전부를 대상으로 하여 추출 검사한다.

(가) 검사로트의 구성

공사시방에 명기가 없는 경우 용접개소 300개 이하를 1개 검사로트로 하여 용접부위마다 구성한다. 용접개소의 수가 100개 이하의 부위에 대해서는 용접방법, 용접자세, 개선표준 등이 유사한 다른 부위와 같이 검사로트를 구성할 수 있다.

(나) 표본추출

각 검사로트마다 30개의 표본을 추출한다.

(다) 검사로트의 합격, 불합격의 판정

30개의 추출된 표본중의 불합격 개소가 1개소 이하일 때는 그 검사로트를 합격으로 하고, 4개소 이상일 때는 그 검사로트를 불합격으로 한다. 그러나 표본 중의 불합격 개소가 1개소를 초과하고 4개소 미만일 때는 동일 검사로 30개소의 표본을 다시 뽑아서 재검사한다. 총계 60개소의 표본에 대하여 불합격수의 합계가 4개소 이하일 때는 그 검사로트를 합격으로 하고, 5개소 이상일 때는 불합격으로 한다.

(라) 검사로트의 처치

불합격 검사로트는 나머지 전체를 검사한다. 또한 어떤 검사에서나 검출된 불합격된 용접부는 모두 수정하여 재검사한다.

○ 용접부의 보수

(1) 시공 중에 발생한 불량용접부의 보수

(가) 불량 용접부에 대한 보수 요령서를 작성하여 승인을 받아야 한다.

(나) 용접균열의 범위가 국부적이 아닌 경우나 모재가 균열된 경우에는 그 보수방법에 대하여 승인을 받은 후에 보수한다.

(2) 반입검사에 의한 불합격 용접부의 보수

(가) 반입검사에서 불합격된 용접부는 외관불량, 치수불량, 내부결함 등 모든 결함사항에 대하여 보수를 수행하고 재검사하여 합격되도록 한다.

○ 패널의 용접

(1) 외부판 제작 및 용접

(가) 판두께는 용접성을 고려하여 최소 4.5mm이상으로 한다.

(나) 격판의 홀직경은 100mm 이상으로 하며, 가스절단 및 펀칭전단이 가능하다.

(다) 격판과 웨브간의 용접은 모살용접으로 하며 목두께는 격판두께의 0.7배로 한다.

(라) 격판의 길이방향 간격은 단부보강 철골보의 춤과 동일하게 배치한다.

(마) 격판과 외부 거푸집 판재간의 용접접합은 태그용접으로 용접길이는 3mm이며, 간격은 100mm간격으로 한다.

(2) 기둥과 보플랜지간 용접 (AWS 2010)에 준함)

(가) 노드와 부재간의 용접으로 상하단 플랜지는 완전용입용접을 하며, 웨브는 볼트체결로 추천한다. 다만, 모살용접으로 할 경우에는 플랜지두께의 1.4배의 목두께를 가져야 한다. 완전용입용접에 대해서는 용접디테일은 그림 2. 45에 나타내었다.

(나) 용접 개선각도의 허용차는 $-5^{\circ} \sim +10^{\circ}$ 이며, 루트간격(R) 허용차는 $-2\text{mm} \sim +6\text{mm}$, 홈의 깊이(f)의 허용차는 $-2\text{mm} \sim +2\text{mm}$ 이다.

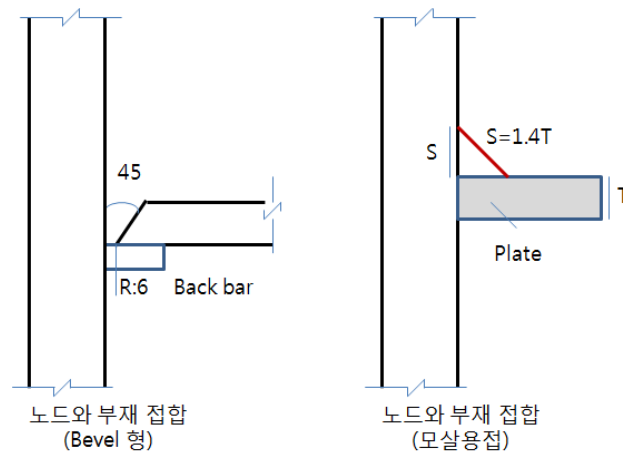


그림 2. 44 용접디테일

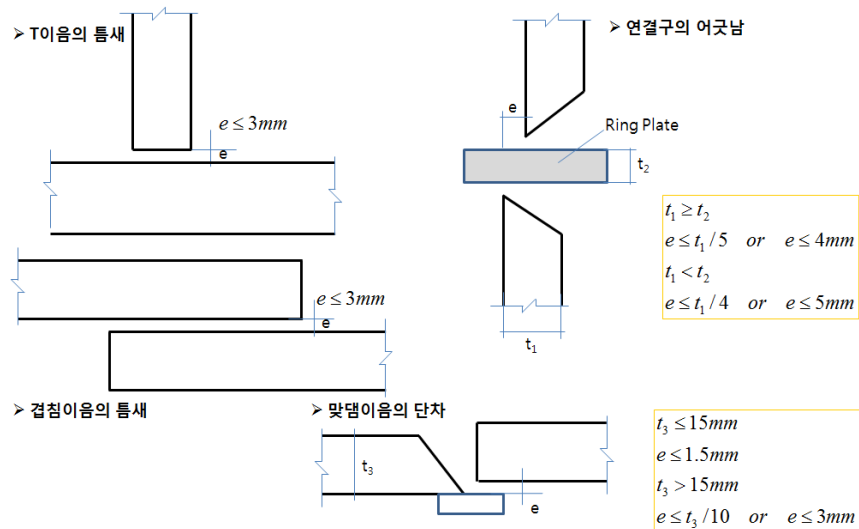


그림 2. 45 용접상세: 허용오차 (건축공사표준시방서4))

○ 내부 철근 정착 및 배근

(1) 내부 인장철근 정착

- (가) 단부 인장철근 정착으로는 90°후크한 철근으로 직경별 건축구조설계기준에 준하는 정착길이를 한다.
- (나) 기둥에 정착배근하는 방법으로는 기둥중심을 지나서 철골기둥면에서 40mm 떨어진 위치에 놓이도록 한다.

(2) 이음부 철근 보강방법

- (가) 철근이 끝나는 위치에 대해서 내력검토를 통하여 보강을 할 경우에는 이음위치를 중심으로 정착길이를 확보하게 철근을 배근한다.

○ 고장력볼트 접합 조임시공법의 확인

(1) 토크관리(Torque Control)법을 이용하는 경우

- (가) 고장력볼트는 제작사 및 볼트 호칭마다 대표 1로트에 대해서 5세트를 임의로 뽑아서 볼트 장력에 대한 검사를 한다.
- (나) 볼트장력 평균값이 표 2.12의 규정값을 만족하고 각각의 측정값이 평균값의 $\pm 15\%$ 이내인 것을 확인한다. 종료작업 완료 후의 검사에도 사용가능성이 있으므로 토크렌치를 이용한 토크값도 측정하여 둔다.

표 2.22 온도에 따른 볼트장력 규정 값

볼트의 호칭	상온 (kN)
M 12	57.37 ~ 69.82
M 16	107.87 ~ 130.43
M 20	168.67 ~ 203.00
M 22	207.90 ~ 251.05
M 24	242.22 ~ 292.24
M 27	315.77 ~ 380.50
M 30	386.38 ~ 464.84

(다) 5세트의 평균 값이 규정 값을 벗어난 경우에는 동일한 로트로부터 다시 10세트를 임의로 취하여 위와 같이 검사한다. 이 10세트의 볼트장력의 평균 값을 구해 위의 규정 값과 비교하여 재시험의 결과만으로 검사한 로트의 적부를 판정한다.

(라) 검사의 결과가 규정 값을 만족하지 않는 경우, 해당 호칭의 모든 로트를 교환한다.

(2) 너트회전법에 의한 경우

실제 접합부에 상응하는 적절한 두께의 철판을 조임작업에 이용하는 볼트 5개 이상으로 조임하여 너트 회전량을 육안조사에 따라 모든 볼트에서 같은 회전량이 생기는 것을 확인한다. 이 방법으로 조임기기의 정상, 조임시공법의 적정함을 판단한다. 이 때 도입장력과 조임토크의 확인은 필요 없다.

○ 고장력 볼트 접합부의 조립

(1) 조립정밀도

- (가) 접합부의 밀착성유지에 주의하고 모재접합부분의 변형, 뒤틀림 구부러짐, 이음판의 구부러짐 등이 있는 경우에는 마찰면을 손상하지 않도록 교정한다.
- (나) 접합부에 틈새가 1mm를 초과하는 경우에는 끼움판을 넣으며, 1mm 이하인 경우는 끼움판을 설치할

필요가 없다.

(다) 끼움판(Filler Plate)의 재질은 모재의 재질과 관계없이 KS D 3503의 SS400에 적합한 압연강재로 하고, 양면 모두 마찰면으로 처리한다.

(2) 볼트구멍 어긋남의 수정

(가) 접합부 조립 시에는 겹쳐진 판 사이에 생긴 2mm 이하의 볼트구멍의 어긋남은 리머로써 수정해도 된다.

(나) 구멍의 어긋남이 2mm를 초과하는 때의 처리는 접합부의 안전성을 검토를 하여 승인을 받아 결정한다.

(3) 조립 시의 가볼트

부재 조립시의 가볼트 조임은 현장시공 시의 가볼트 조임에 따른다.

○ 고장력 볼트 조임

(1) 일반조건

(가) 고장력볼트의 조임은 표 2. 23에 명시한 표준볼트 장력을 얻을 수 있도록 1차 조임, 금매김, 본조임의 순으로 한다. 조임은 토크관리법 또는 너트회전법에 따른다.

(나) 고장력 볼트의 조임은 고장력 볼트에 이상이 없는 것을 확인한 후 볼트의 머리쪽과 너트쪽에 와서 1장씩 끼우고 너트를 회전시켜서 조인다.

(다) 세트를 구성하는 와셔 및 너트에는 바깥쪽과 안쪽이 있으므로 볼트 접합부에 사용할 때에는 반대로 사용하지 않도록 한다.

(라) 고장력 볼트의 조임 작업은 부재의 밀착에 주의하여 조임 순서대로 조임을 하고 1차 조임, 금매김 및 본조임의 3단계로 작업한다.

(마) 고장력 볼트의 조임 및 검사에 사용되는 기기 중에서 토크렌치와 축력계의 정밀도는 3% 오차범위가 되도록 충분히 정비된 것을 이용한다.

(바) 고장력 볼트의 끼움에서 본조임까지의 작업은 같은 날 이루어지는 것을 원칙으로 한다.

표 2.23 볼트의 호칭별 표준볼트 장력

볼트의 등급	F10T						
볼트의 호칭	M12	M16	M20	M22	M24	M27	M30
표준볼트장력(kN)	61.35	114.66	178.36	221.48	256.76	334.18	408.66

(2) 1차 조임

조임은 프리세트형 토크렌치, 전동 임팩트렌치 등을 사용하여 표 2. 24에 명시한 토크 값으로 너트를 회전시켜 조인다.

표 2. 24 1차 조임 토크값

볼트의 호칭	M12	M16	M20, M22	M24	M27	M30
1차 조임 토크값 (kN-m)	약 490	약 980	약 1,470	약 1,960	약 2,940	약 3,920

(3) 금매김

1차 조임 후에 모든 볼트에 볼트, 너트, 와셔 및 부재를 지나는 금매김을 한다.

(4) 본조임

(가) 토크관리법에 의한 본조임은 표준볼트장력을 얻을 수 있도록 조정된 조임기기를 이용하여야 한다.

조임 기기의 조정은 매일 조임 작업 전에 하는 것을 원칙으로 한다.

(나) 너트 회전법에 의한 본조임은 1차 조임 완료 후를 기점으로 해서 너트를 120°(M12는 60°)회전시킨다. 다만, 볼트의 길이가 볼트호칭의 5배를 넘는 경우 너트 회전량은 공사 시방서에 따른다.

○ 조임후의 검사

(1) 토크관리법에 의한 경우

(가) 조임 완료 후, 모든 볼트에 대해서 1차 조임 후에 표시한 금매김으로 너트의 회전량을 육안으로 검사한다.

(나) 너트의 회전량에 현저하게 차이가 인정되는 볼트군에 대해서는 모든 볼트를 토크렌치를 이용한 추가 조임에 따른 토크 값의 적부를 검사한다. 이 결과 조임시공법 확인을 위한 시험에서 얻어진 평균 토크 값의 $\pm 10\%$ 이내의 것을 합격으로 한다. 이 범위를 넘어서 조여진 볼트는 교체한다. 조임을 잊어버리거나, 조임 부족이 인정된 볼트군에 대해서는 모든 볼트를 검사하고 동시에 소요 토크 값까지 추가로 조인다.

(2) 너트회전법에 의한 경우

(가) 조임 완료 후 모든 볼트에 대해서 1차 조임 후의 금매김으로 소요 너트회전량을 육안으로 검사한다.

(나) 1차 조임 후에 너트의 회전량이 $120^\circ \pm 30^\circ$ (M12는 60~90°)의 범위에 있는 것을 합격으로 한다. 이 범위를 넘어서 조여진 볼트는 교체한다. 또한 너트의 회전량이 부족한 너트에 대해서는 소요 너트회전량까지 추가로 조인다.

(3) 볼트의 교환

너트, 볼트, 와셔 등이 동시회전, 축회전을 일으킨 경우나, 너트 회전량에 이상이 인정되는 경우에는 새로운 세트로 교체한다.

(4) 볼트의 재사용 금지

한번 사용한 볼트는 재사용할 수 없다.

○ 녹막이 도장

- 도료 및 공법

(1) 녹막이 도장을 하기 전에 반드시 바탕 만들기를 실시한다.

(2) 바탕 만들기를 한 강재표면은 녹이 생기기 쉽기 때문에 즉시 도장을 하여야 한다.

(3) 아래와 같은 상황에서는 도장작업을 중지한다.

(가) 도장 작업의 온도가 5°C 이하, 또는 상대습도가 80% 이상일 때

(나) 도장 작업 시 또는 도막이 마르기 전에 눈, 비, 강풍, 등에 의하여 수분이나 분진 등이 도막에 부착될 우려가 있을 때

(다) 기온이 높아 강재 표면온도가 50°C 이상이 되어 도막에 기포가 생길 우려가 있을 때

(4) 아래와 같은 부분은 도장작업을 하지 않는다.

(가) 현장 용접을 하는 부위 및 그곳에 인접하는 양측 100mm 이내, 그리고 초음파 탐상 검사에 지장을 미치는 범위

(나) 고장력 볼트 마찰 접합부의 마찰면

(5) 아래와 같은 부분은 도장작업을 하지 않는 것을 원칙으로 하지만 도장작업을 할 경우는 담당원과 협의한다.

(가) 콘크리트에 묻히는 부분

(나) 핀, 롤러 등 밀착하는 부분과 회전면 등 절삭 가공한 부분

(다) 조립에 의하여 면 맞춤 되는 부분

(라) 밀폐되는 내면

○ 현장 용접부의 녹막이 도장

- 접합부 및 도장하지 않은 부분 및 운반 또는 와이어 등에 의하여 도막이 손상된 부분은 바탕만들기를 한

후 곧 바로 공장 도장과 같은 녹막이 도료를 도장한다.

○ 검사 및 보수

- (1) 공장에서의 검사는 바탕만들기를 한 면과 도장한 면에 대하여 실시한다. 다만 현장에서 도장한 면을 검사하는 것으로 공장에서의 검사를 대신할 수 있다.
- (2) 검사는 육안검사로 하며, 현저한 결함은 제거 후 다시 도장한다. 도막두께가 부족한 부분은 덧칠한다.

○ 검사 및 발송

- (1) 공장 제작이 완료된 부재는 자체 제작자 검사를 실시한다. 검사항목은 기둥의 길이, 층의 높이, 접합부의 길이, 기둥 폭, 접합부 높이, 보길이, 보 높이로서 이들 항목에 대하여 전량 검사한다. 치수 정밀도 검사에 대하여는 소정치수 및 측정치수와의 차를 검사성적표에 기록하며 합격한 제품에 한하여 발주자에게 보고한다.
- (2) 각 부재는 조립에서 부호도에 근거한 부재번호를 명시하고, 필요에 따라 접합부호를 기입한다.
- (3) 발송에 있어서는 제품을 손상하지 않도록 충분히 주의하고, 특히 수송 중 부재에 손상을 주지 않도록 적절한 방호조치를 하여야 한다.

▶ 설계·시공·지침서 내용 요약

○ 설계·시공·지침서 1건: CFT Column(가칭) 제작, 시공, 설계 매뉴얼

- 설계·시공·지침서의 제작은 개발하고자 하는 제품의 시작품 제작 시 참여기업과 더불어 용접 및 볼트의 취급이나 제품 출하에 필요한 모든 과정을 수록하였으며, 구조설계에 필요한 설계시트 등을 작성하여 수록하였음. 2장의 내용에 자세하게 설명되어 있으므로 이를 참고함.

- (1) KBC 2019에서 강관의 축에 직각으로 집중하중이 작용하는 기둥의 강도는 비균일하중분포로 인한 국부항복, 전단항복(뿔림), 측벽강도 중에서 가장 작은 값을 사용하도록 제시하고 있음. 비균일하중분포로 인한 국부항복은 각관의 판폭두께비에 따라서 플레이트의 양단부에서 큰 변형이 발생하며 이후 단부에서부터 항복이 발생하며 파괴됨. 이러한 비균일하중분포로 인한 응력집중현상(stress concentration effect)이 고려된 국부항복강도는

$$R_{n,1} = [10F_y t / (B/t)] B_p$$

으로 산정할 수 있음(Chung 2005, Fukumoto 2005). 여기서, B 와 B_p 는 각각 기둥과 플레이트의 폭이며, F_y 와 F_{yp} 는 각각 기둥과 플레이트의 항복강도, t 와 t_p 는 각각 기둥과 플레이트의 두께임. 이 강도는 플레이트의 항복강도인 $F_{yp} t_p B_p$ 를 초과할 수 없으며, 판폭두께비(B/t)가 10 이상인 경우 플레이트의 항복강도에 의해서 강도가 결정됨.

- (2) 전단항복의 한계상태도 비균일한 하중분포가 고려된 유효폭인 B_{ep} 을 도입하여 아래와 같이 산정함.

$$R_{n,2} = 0.6F_y t [2t_p + 2B_{ep}]$$

여기서, B_{ep} 는 $10B_p/(B/t)$ 으로 산정하고 B_p 이하로 산정할 수 있음.

- (3) 기둥 측벽에서 발생하는 국부항복 한계상태를 검토해야하며, 측벽 국부항복강도는 다음 식으로 산정 가능.

$$R_{n,3} = 2F_y t [5k + t_p]$$

- 시공 및 품질관리 방안을 고려한 내진설계 매뉴얼의 제작 필요성은 기존 CFT기둥의 내진 접합 상세의 단순화 과정이라 판단됨. 현재 사용되고 있는 CFT기둥과 철골보의 내진접합부 구현을 위한 접합방식은 보의 하중을 기둥에 효과적으로 전달하기 위하여 그림 2.46에 나타난 것과 같이 내다이아프램(Internal diaphragm), 외다이아프램(External diaphragm) 및 관통형 다이아프램을 사용하는 것이 일반적임. 이러한 다이아프램은 일반적으로 CFT기둥에 횡방향으로 용접되어 설치됨. 횡방향의 다이아프램은 길이방향으로 제작되는 기둥과 접합부에 삽입 또는 관통되기 때문에 내진 접합부의 구현시 공작 제작 및 현장시공 시 접합부의 제작성 및 경제성을 저하시키는 원인이 되며 공기 단축 실현의 저해 요소로 작용함.

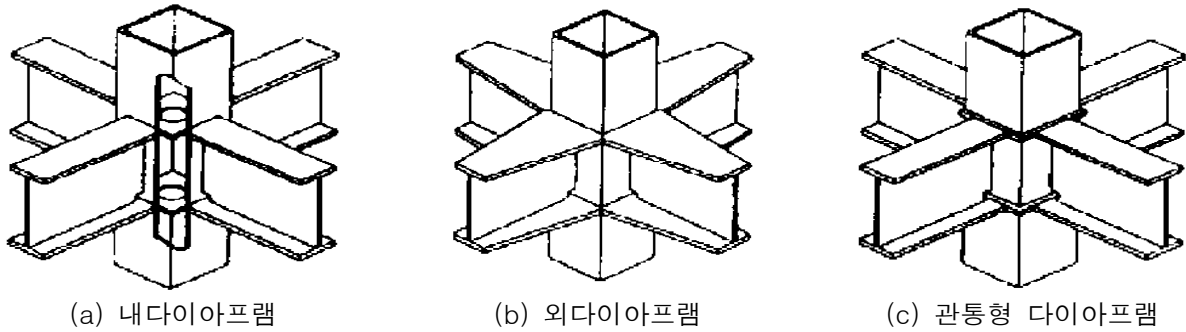


그림 1.46 기존 CFT기둥의 보-기둥 접합부

- 따라서, 현행 규준에서 제시하고 있는 강기둥 약보 개념과 내진접합부 구현을 위한 접합디테일의 단순화 및 제작 시공에 따른 경제성 창출을 목표로 내진접합부를 구현하고자 하였음. 기존 각형강관 기둥의 내진 접합부 구현은 다이어프램의 설치가 필수 불가결하였음. 하지만 본 연구의 1장에 논의된 바와 같이 현재 일본과 같이 각형강관 CFTU기둥의 내진접합부 구현을 위한 접합부 단순화가 필요하게 되었으며, 제안된 CFTU 기둥의 다이어프램 설치가 없는 시공 및 품질관리 방안을 고려한 설계 시트를 제작하고자 하였음.
- 그림 2.47은 다이어프램 보강이 없는 각형강관의 벽 두께를 결정하여 단순 패널을 통한 내진접합이 가능한 설계 시트임. 보-기둥 내진접합 패널은 제시된 설계 매뉴얼을 통해 수평부재 크기가 결정되면, 다이어프램 보강이 없는 단순 패널을 통해 내진접합이 가능한 강관 벽두께가 결정되게 됨. 본 설계시트를 통해 내진접합부의 성능 검증을 위한 실험체 제작시 내력 계산에 반영하고 실험체를 제작하였음. 또한 시공 및 품질관리를 위해 패널 용접부의 용접 레이어 절감을 통해 내진접합부 검증 실험을 실시하였음. 그 결과 다이어프램 보강이 없는 단순 내진접합 패널 접합부는 패널 제작에 있어 완전용입용접을 통해 제작될 경우 충분한 연성능력과 내진성능을 만족하는 접합부 회전 성능을 발휘하였음.

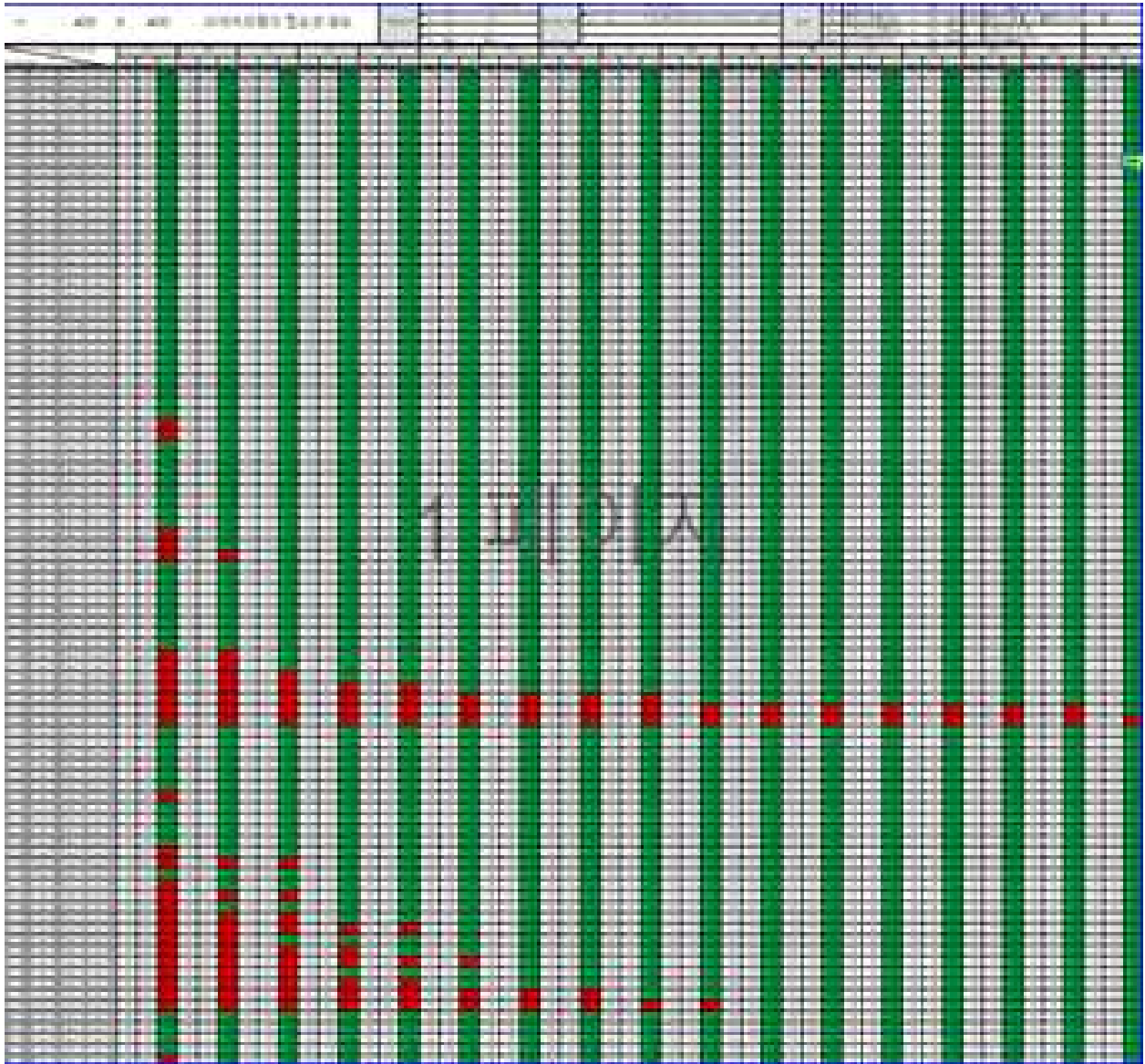


그림 2.47 CFTU 각형강관 보-기둥 내진접합부의 기둥 두께에 따른 접합 가능한 일반 철골보 단면 검토

3. 연구개발과제의 수행 결과 및 목표 달성 정도

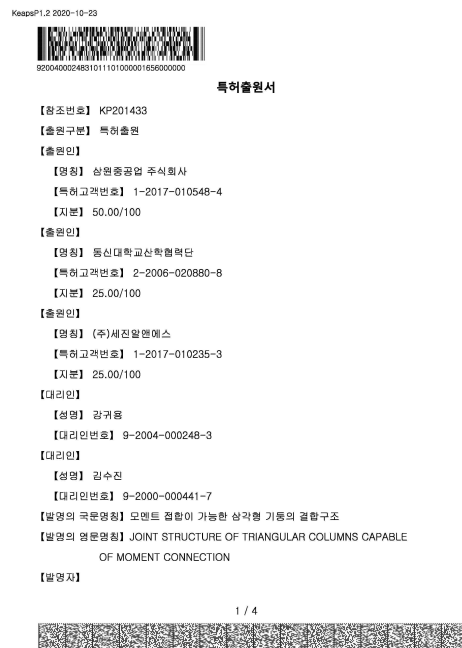
1) 연구수행 결과

(1) 정성적 연구개발성과

▶ 목표 핵심 연구개발성과

핵심성과 1	연구계획서 제시	
정의	지하대공간 구현시 역타공법이 가능한 삼각유닛 CFT기둥과 단순 패널의 모멘트 접합부의 최적화된 형상 도출	
목적	단면형상의 최적화를 통한 제작성 향상 및 구조성능 확보	
성능목표	기존 합성구조와 비교하여 동등 이상의 구조성능(강도, 연성)을 발휘함과 동시에 제작성 및 시공성 향상을 실현할 수 있는 단면형상 도출	
성과달성 책임자 (소속기관)	양일승(동신대학교) 오재열(세진알앤에스)	
소요기간	2020.04 ~ 2020.08 (5개월, 1년차)	
성과달성 확인방법	- 전문가를 활용한 제작성 평가 - 도출된 최적형상에 대한 특허 출원 또는 등록 건수	
성과달성에 따른 정량적 성과	특허 출원/등록	2건
	논문	0건
	저작	0건
	S/W	0건
	신기술	0건
	기타	0건

○ 핵심성과 1 요약: 특허 등록 1건/특허 출원 1건



특허등록 1건 : 단부모멘트 및 휨 저항력이 보강된 보와 기둥의 이_지(EZ)결합구조

특허출원 1건 : 모멘트 접합이 가능한 삼각형 기둥의 결합구조

▶ 출원등록 내용 요약

○ 특허등록 1건: 단부모멘트 및 휨 저항력이 보강된 보와 기둥의 이-지(EZ)결합구조

○ 발명의 명칭

단부모멘트 및 휨 저항력이 보강된 보와 기둥의 이-지(EZ) 결합구조{E-Z CONNECTING STRUCTURE FOR BEAM AND COLUMN WHEREIN THE END-MOMENT AND BENDING RESISTIBILITY ARE REINFORCED}

○ 기술분야

본 발명은 단부모멘트 및 휨 저항력이 보강된 보와 기둥의 이-지(EZ) 결합구조에 관한 것으로서, 더욱 상세하게는 소정의 두께를 가지는 강판을 절곡시켜 평단면이 삼각형 형상으로 이루어진 복수개의 칼럼유닛 양측 단부를 서로 결합하여  형상으로 형성되는 CFT 기둥의 이-지(EZ) 칼럼부와, 철골 보 단부의 외측을 사각 박스 형상의 거푸집 형태로 감싸 보 단부의 좌굴을 방지하는 이-지(EZ) 거더보강부 및 이-지(EZ) 플레이트접합부로 구성됨으로써 중앙부 대비 1.6배 내지 2배의 단부모멘트가 가해지는 기둥접합 단부에만 철골 및 철근콘크리트 합성 보 구조를 적용시키는 것이 가능한 새로운 구조의 단부모멘트 및 휨 저항력이 보강된 보와 기둥의 이-지(EZ) 결합구조에 관한 것이다.

○ 발명의 배경이 되는 기술

건축물 시공 시 사용되는 골조의 종류 중 하나인 CFT(Concrete Filled Steel Tube)는 평단면이 원형 또는 각형 형상의 강관으로 구성되며, 강관 내에 고강도 콘크리트를 충전하게 되는 콘크리트 충전 강관을 의미한다.

이러한 CFT는 강성, 내력, 변형성 및 내진성 등이 뛰어나고, 작은 기둥 단면에서 보다 높은 층고보다 긴 기둥 간격(SPAN)이 가능한 장점이 있어, 주로 고층건물을 시공하는데 사용되고 있는 기둥 부재이다.

도 1은 종래기술에 따른 CFT 기둥의 종류를 설명하기 위한 참고도이며, 상기 도 1에 도시된 바와 같이, 기둥의 평단면 형상은 원형 또는 사각형이 주로 이용되며 층고가 높아짐에 따라 발생할 수 있는 좌굴을 방지하기 위해, 그 내부에 작은 사이즈의 강관을 추가적으로 인입하는 방법 또한 소개되어 있다.

그러나 강관을 추가 인입하는 경우 기둥의 개수가 증가할수록 시공에 소요되는 강재의 양이 2배 가까이 증가하기 때문에 경제성이 떨어지게 되며, 운반에 따른 비용이 추가적으로 증가하게 되는 문제점이 있다.

이러한 문제점을 해결하기 위하여, 강관을 여러 개의 단위유닛으로 제작한 후, 용접을 통해 사각형상의 전체 기둥으로 완성하는 방식이 소개된 바 있다. 즉, 도 1에 도시된 바와 같이, 강관을 여러 단계로 절곡시켜 단위유닛을 제작함으로써 전체 기둥으로 완성할 시, 좌굴을 방지하기 위한 구조를 형성함과 동시에 재료 및 운반에 소요되는 비용을 최소화하기 위한 기술이 소개되었다.

그러나 도 2는 종래기술에 따른 CFT 기둥의 국부 좌굴을 방지하기 위한 웨일러 시공 및 다이아프램의 종류를 설명하기 위한 참고도로서, 상기 도 2에 도시된 바와 같이, 단순히 단위유닛을 절곡시켜 돌출된 보강구조를 형성하는 것만으로는 좌굴에 대해 완벽하게 보완이 어렵기 때문에 추가적으로 웨일러를 시공하거나 또는 다이아프램을 설치해야하는 문제점이 존재한다.

일 예로, 한국등록특허 제10-1367626호의 경우 CFT기둥용 조립박스강관의 제작방법에 관한 기술로, 종방향의 단위부재에 대해 복수개를 횡방향으로 연결 조립하여 박스강관으로 제작하는 방법으로서, 철판을 절곡하여 종방향의 단위부재를 복수개로 제작하되 L자형으로 절곡된 본체부와 본체부의 양단에서 내향하여 더 절곡된 L 단부절곡부를 구비하는 형태로 제1단위부재를 제작하는 제1단계; 제1단위부재에 보강플레이트를 접합

하면서 부분보강강관을 제작하는 제2단계; 제2단계와 동시에 또는 순차적으로 부분보강강관 복수개를 상호 맞대어 용접 접합하면서 폐쇄형 조립박스 강관으로 완성하는 제3단계;로 이루어지는 것을 특징으로 한다.

그러나 상기 선행문헌에서도 CFT기둥 내부에 다이어프램을 설치해야하는 제약조건 및 그에 따른 한계점이 있으며, 따라서 CFT를 이용하여 기둥을 세울 경우, 가장 먼저 좌굴에 대해서는 안정적인 구조를 통해 추가적인 웨일러 내지 다이어프램의 설치를 지양하고, 동시에 강재의 소비량을 절감할 수 있도록 여러 단위 유닛으로 제작되어지는 새로운 구조의 CFT 기둥에 대한 기술개발의 필요성이 점점 증대되고 있다.

한편, 건축물의 기둥을 설치한 이후, 보의 경우에는 일반적으로 보 단부에 발생하는 모멘트 양을 M 이라고 하였을 때, 보 중앙부는 상기 보 단부의 모멘트 M 의 50% 내지 60% 수준인 $0.5M$ 내지 $0.6M$ 이 발생하게 된다.

이때, 기존 설계에서는 보 중앙부에서 발생하는 모멘트에 맞춰 $0.5M$ 내지 $0.6M$ 을 지지하기 위한 철골 보를 설계하는 것이 아닌, 보 단부에서 발생하는 모멘트 양인 M 을 기준으로 하여 보를 설계하게 되며, 이에 따라 중앙부의 강재가 불필요하게 낭비되는 문제점이 발생하고 있으며, 또한 강재의 사용량이 함께 증가함에 따라 층고도 낮아지게 되는 문제점이 여전히 있다.

이러한 강재의 낭비를 방지하기 위하여, 보 중앙부에서 발생하는 모멘트 양을 M 으로 설정하게 되면, 보 단부에서는 이의 1.6배 내지 2배의 모멘트가 발생하게 되며, 즉 보 중앙부를 기준으로 최소 $1.6M$ 에서부터 최대 $2M$ 가량의 모멘트를 견딜 수 있도록 보 단부를 설계하는 방식이 소개되어 왔다.

일 예로, 한국등록실용신안 제20-0469319호의 경우, 철골 또는 철골철근콘크리트 기둥과 처근콘크리트로 보강된 단부를 갖는 철골 보의 접합구조에 관한 기술로, 철골 기둥에 브라켓을 연결하고, 브라켓이 연결된 철골 기둥을 세우는 단계; 브라켓에 철골 보를 연결하는 단계; 및 슬래브 콘크리트와 브라켓 내부에 채워지는 콘크리트를 동시에 타설하는 단계를 포함하여, 철골 보의 단부가 철골철근콘크리트조로 되고 중앙부는 슬래브 콘크리트와 합성보 구조가 되도록 하는 것을 특징으로 한다.

그러나 상기 선행문헌에서는 단순히 철골 기둥에 브라켓을 연결하여 그 내부에 콘크리트를 타설하는 기술만을 개시하고 있어, 단부 모멘트를 보강하기 위해서 철골 기둥의 폭보다 더 큰 너비의 브라켓을 설치해야 하고, 그에 따라 타설되는 콘크리트의 재료비 및 콘크리트 양생에 따른 공기가 증가하게 되는 문제점이 여전히 존재하고 있다.

즉, 단순히 보 단부 주위를 철근 및 콘크리트 등을 통해 보강하는 것만으로는 상부 슬래브로부터 가해지는 전단력을 지탱하기 어려우며, 더욱이 강성을 증대시키기 위해 보 단부의 보강부재를 무작정 늘리기만 할 경우 보강부재 자체의 자중이 크게 증가하여 시공상 비효율적인 문제점이 있어, 본 출원인은 좀 더 효과적으로 보 단부의 모멘트를 지지하면서도 강성도 함께 증대시킬 수 있는 새로운 방식의 기둥과 보의 결합구조의 필요성이 존재하고 있다.

○ 선행기술문헌

○ 특허문헌

한국등록특허 제10-1367626호 (2014.02.20. 등록)

한국등록실용신안 제20-0469319호 (2013.10.01. 등록)

○ 발명의 내용

○ 해결하고자 하는 과제

본 발명은 상기와 같은 종래기술의 문제점을 해결하기 위하여 창안된 것으로서, 더욱 상세하게는 강판을 절곡

시켜 평단면이 삼각형 형상으로 이루어진 복수개의 칼럼유닛 양측단부를 서로 결합하여  형상으로 형성되는 CFT 기둥의 이-지(EZ) 칼럼부와, 철골 보 단부의 외측을 사각 박스 형상의 거푸집 형태로 감싸 보 단부의 좌굴을 방지하는 이-지(EZ) 거더보강부 및 이-지(EZ) 플레이트접합부로 구성됨으로써 중앙부 대비 1.6배 내지 2배의 단부모멘트가 가해지는 기둥접합 단부에만 철골 및 철근콘크리트 합성 보 구조를 적용시키는 것이 가능한 새로운 구조의 단부모멘트 및 휨 저항력이 보강된 보와 기둥의 이-지(EZ) 결합구조를 제공하는 것을 목적으로 한다.

○ 과제의 해결 수단

본 발명은 상기와 같은 문제점을 해결하기 위하여 창안된 것으로서, 더욱 상세하게는 중앙부는 철골 보, 양측 단부는 강성이 증대된 합성 보로 이루어진 거더(Girder) 및 이와 접합되는 기둥(Column)의 보강구조를 이용한 보와 기둥의 결합구조에 있어서, 상기 결합구조는 소정의 두께를 가지는 강판을 절곡시켜 평단면이 삼각형 형상으로 형성되어지는 복수개의 칼럼유닛(110) 양측단부가 서로 결합되어  형상으로 접합되어짐으로써 일체형의 CFT(Concrete Filled Steel Tube) 기둥으로 구성되어지는 이-지(EZ) 칼럼부(100)와, 상기 이-지(EZ) 칼럼부(100)의 일측면에 접합되어지며, 철골 보 단부의 외측에 상부면이 개방된 사각박스 형상의 거푸집 형태로 감싸도록 구성되며, 그 내부에는 철근이 배근되고 현장콘크리트가 타설되어짐으로써 철근콘크리트구조로 보강되어 보 단부의 좌굴이 방지되어지는 거더보강부(200)와, 상기 거더보강부(200)의 상측단부에 구성되며, 일측면이 상기 이-지(EZ) 칼럼부(100)의 일측면에 결합되고, 현장타설 콘크리트(C)로 인해 형성되어지는 슬래브 내부에 구성되어짐으로써, 상기 슬래브와 일체형으로 구성되어지는 이-지(EZ) 플레이트접합부(300)가 포함되어지는 것을 특징으로 한다.

본 발명의 다른 실시예에 따르면, 상기 복수개의 칼럼유닛(110)의 평단면 형상은 직각이등변삼각형 형상으로 이루어지도록 다단으로 절곡하여 높이방향을 따라 길게 연장형성되며, 길이가 동일한 두 변은 4개의 칼럼유닛(110)들이 직각이 아닌 절곡부에서 서로 맞닿아 플레어(Flare) 용접(120)되어짐으로써 정사각형의 평단면 형상을 가지는 CFT 기둥의 둘레부가 형성되어지며, 상기 칼럼유닛(110)의 빗변들은 상기 둘레부의 각 중점과 내접하는 정다iamond()의 평단면 형상을 가지는 CFT 기둥의 좌굴방지구조를 구성하며, 상기 칼럼유닛(110)의 빗변들은 상하방향으로 소정의 간격으로 관통되어지는 관통공(111)이 연속적으로 구성되어지는 것을 특징으로 한다.

본 발명의 또 다른 실시예에 따르면, 중앙부는 철골 보, 양측 단부는 강성이 증대된 합성 보로 이루어진 거더(Girder) 및 이와 접합되는 기둥(Column)의 보강구조를 이용한 보와 기둥의 결합구조에 있어서, 상기 결합구조는 기둥의 골조를 형성하는 H형강 또는 π 형강 중 어느 하나의 기둥으로 구성되어지며 상기 H형강 또는 π 형강의 상하부 플랜지 내측으로는 수평방향의 스티프너(Stiffener)가 구비되어져 측압이 보강되어지는 이-지(EZ) 칼럼부(100)와, 상기 이-지(EZ) 칼럼부(100)의 일측면에 접합되어지며, 철골 보 단부의 외측에 상부면이 개방된 사각박스 형상의 거푸집 형태로 감싸도록 구성되며, 그 내부에는 철근이 배근되고 현장콘크리트가 타설되어짐으로써 철근콘크리트구조로 보강되어 보 단부의 좌굴이 방지되어지는 거더보강부(200)와, 상기 거더보강부(200)의 상측단부에 구성되며, 일측면이 상기 이-지(EZ) 칼럼부(100)의 일측면에 결합되고, 현장타설 콘크리트(C)로 인해 형성되어지는 슬래브 내부에 구성되어짐으로써, 상기 슬래브와 일체형으로 구성되어지는 이-지(EZ) 플레이트접합부(300)가 포함되어지는 것을 특징으로 한다.

본 발명의 다른 실시예에 따르면, 상기 거더보강부(200)는 상기 이-지(EZ) 칼럼부(100)의 일측면에 결합되며 H형강 또는 I형강으로 구성되는 형강부재(210)와, 상측면이 개방되어지고 상기 형강부재(210)를 둘러싸도록 구성되며 상부면이 상기 형강부재(210)의 하부플랜지 하부면과 면접하도록 설치되는 하부판(221)과, 상기 하부판(221)의 양측단부에는 상기 형강부재(210)의 웹(Web) 길이만큼 상측방향으로 각각 연장형성되는 한 쌍의 측판(222)으로 구성되어지는 보강부(220)와, 상기 보강부(220)의 길이방향을 따라 소정의 간격으로 이격되어지는 격판(230)을 포함하는 것을 특징으로 한다.

본 발명의 다른 실시예에 따르면, 상기 격판(230)에는 인접한 구획공간 사이를 상호 연통시키는 복수개의 관통

홀이 형성되어지며, 철골 보의 길이방향을 따라 상기 관통홀을 통과하도록 인장철근이 배근되어지며, 개방된 상측을 통해 보강부(220) 내부로 현장콘크리트가 타설되어지는 것을 특징으로 한다.

본 발명의 다른 실시예에 따르면, 상기 이-지(EZ) 플레이트접합부(300)는 일측단부가 상기 이-지(EZ) 칼럼부(100)의 일측면에 용접(W)으로 결합되며 소정의 두께로 형성되어지는 윙 플레이트(Wing-plate)(310)와, 상기 윙 플레이트(310)의 상하부면에 접합되어지며 체결구멍(321)을 통해 볼트(B)로 결합되어지는 한 쌍의 커넥팅 플레이트(Connecting-plate)(320)와, 상기 한 쌍의 커넥팅 플레이트(320)의 상부면 또는 하부면 상에 접합되어지며 소정의 길이를 가지는 복수개의 보강근(330)을 포함되어지는 것을 특징으로 하다.

본 발명의 다른 실시예에 따르면, 상기 이-지(EZ) 말럼부(100)의 빗변들에 관통되어진 관통공(111)에는 상기 이-지(EZ) 칼럼부(100)가 고정되어 결합되어지도록 하기 위한 칼럼유닛 결합부재(400)가 더 포함되어지는 것을 특징으로 한다.

본 발명의 다른 실시예에 따르면, 상기 칼럼유닛 결합부재(400)는 상기 이-지(EZ) 칼럼부(100)의 중앙부분에 구성되어지는 다각형 형상의 몸체부재(410)와, 소정의 길이를 가지는 강봉(421)으로 구성되며, 일측단부는 나사산(422)이 형성되어 상기 몸체부재(410)의 측면에 관통되어 구성되어지며, 타측단부는 상기 이-지(EZ) 칼럼부(100)의 관통공(111)을 향해 연장형성되어지는 연결봉(420)과, 상기 연결봉(420)의 타측단부에 구성되어지며, 상기 관통공(111)의 외측면에 밀착되어 내측방향으로 인장력이 부여되어지는 밀착부재(430)로 구성되어지는 것을 특징으로 한다.

본 발명의 다른 실시예에 따르면, 상기 몸체부재(410)는 내부에 공간부가 형성되며 상하방향 및 상기 연결봉(420)의 일측단부와 결합되어지도록 관통공이 형성되어지는 케이스부재(411)와, 상기 케이스부재(411)의 내부에는 상하부로 소정의 간격으로 이격되며 원판형상으로 형성되어 서로 마주보도록 구성되는 한 쌍의 회전부(412, 413)와, 상기 한 쌍의 회전부(412, 413)의 양측단부에는 서로 마주보는 방향으로 돌출되어지는 나사부(414)가 상기 연결봉(420)의 나사산(422)과 서로 맞물려 회전되어짐으로써, 상기 연결봉(420)의 이-지(EZ) 칼럼부(100)의 중심을 향해 인장력이 발생되어지는 것을 특징으로 한다.

한편 본 명세서에 개시된 기술에 관한 설명은 단지 구조적 내지 기능적 설명을 위한 실시예에 불과하므로, 개시된 기술의 권리범위는 본문에 설명된 실시예에 의하여 제한되는 것으로 해석되어서는 아니 된다. 즉, 실시예에는 다양한 변경이 가능하고 여러 가지 형태를 가질 수 있으므로 개시된 기술의 권리범위는 기술적 사상을 실현할 수 있는 균등물들을 포함하는 것으로 이해되어야 한다. 또한, 개시된 기술에서 제시된 목적 또는 효과는 특정 실시예가 이를 전부 포함하여야 한다거나 그러한 효과만을 포함하여야 한다는 의미는 아니므로, 개시된 기술의 권리범위는 이에 의하여 제한되는 것으로 이해되어서는 아니 될 것이다.

또한 본 발명에서 서술되는 용어의 의미는 다음과 같이 이해되어야 할 것이다. “제1”, “제2” 등의 용어는 하나의 구성요소를 다른 구성요소로부터 구별하기 위한 것으로, 이들 용어들에 의해 권리범위가 한정되어서는 아니 된다. 예를 들어, 제1 구성요소는 제2 구성요소로 명명될 수 있고, 유사하게 제2 구성요소로 제1 구성요소로 명명될 수 있다.

나아가 어떤 구성요소가 다른 구성요소에 “연결되어” 있다고 언급된 때에는, 그 다른 구성요소에 직접적으로 연결될 수도 있지만, 중간에 다른 구성요소가 존재할 수도 있다고 이해되어야 할 것이다. 반면에, 어떤 구성요소가 다른 구성요소에 “직접 연결되어” 있다고 언급된 때에는 중간에 다른 구성요소가 존재하지 않는 것으로 이해되어야 할 것이다. 한편, 구성요소들 간의 관계를 설명하는 다른 표현들, 즉 “~사이에”와 “~사이에” 또는 “~에 이웃하는”과 “~에 직접 이웃하는” 등도 마찬가지로 해석되어야 한다.

단수의 표현은 문맥상 명백하게 다르게 뜻하지 않는 한 복수의 표현을 포함하는 것으로 이해되어야 하고, “포함하다” 또는 “가지다” 등의 용어는 실시된 특징, 숫자, 단계, 동작, 구성요소, 부분품 또는 이들을 조합한 것이 존재함을 지정하려는 것이며, 하나 또는 그 이상의 다른 특징이나 숫자, 단계, 동작, 구성요소, 부분품 또는

는 이들을 조합한 것들의 존재 또는 부가 가능성을 미리 배제하지 않는 것으로 이해되어야 한다.

○ 발명의 효과

본 발명에 따른 단부모멘트 및 휨 저항력이 보강된 보와 기둥의 이-지(EZ) 결합구조에 의하면 철골조에 비해 100mm 내지 200mm 가량의 층고를 절감시키면서도 철골조와 동일한 시공방법으로 시공되어질 수 있어 시공성이 우수한 장점이 있다. 또한 강재량을 30% 가량 절감시키고 내화피복면적이 감소함과 동시에 처짐 및 진동성능이 10% 가량 향상된 효과가 있으며, CO₂ 배출량 또한 15% 가량 감소시켜 친환경적인 장점이 있다.

추가적으로, 이-지(EZ) 거더보강부는 콘크리트 타설시 거푸집 역할을 수행하여 완공시 내부 콘크리트를 횡방향으로 구속하는 역할을 하며, 단부보강용 강판 내부에 콘크리트를 타설함에 따라 보 단부의 강성을 증대시키고 진동에 우수한 성능을 발휘함과 동시에 보 국부좌굴 및 횡좌굴을 방지하는 효과가 있다.

○ 도면의 간단한 설명

- 도 1은 종래기술에 따른 CFT 기둥의 종류를 설명하기 위한 참고도,
- 도 2는 종래기술에 따른 CFT 기둥의 국부 좌굴을 방지하기 위한 웨일러 시공 및 다이아프램의 종류를 설명하기 위한 참고도,
- 도 3은 본 발명에 따른 단부모멘트 및 휨 저항력이 보강된 보와 기둥의 이-지(EZ) 결합구조의 전체모습을 도시한 도면,
- 도 4는 본 발명에 따른 단부모멘트 및 휨 저항력이 보강된 보와 기둥의 이-지(EZ) 결합구조의 칼럼유닛을 도시한 도면,
- 도 5는 본 발명에 따른 단부모멘트 및 휨 저항력이 보강된 보와 기둥의 이-지(EZ) 결합구조의 칼럼유닛의 평면모습을 도시한 도면,
- 도 6은 본 발명에 따른 단부모멘트 및 휨 저항력이 보강된 보와 기둥의 이-지(EZ) 결합구조의 다른 실시예를 도시한 도면,
- 도 7은 본 발명에 따른 단부모멘트 및 휨 저항력이 보강된 보와 기둥의 이-지(EZ) 결합구조의 이-지(EZ) 플레이트접합부를 도시한 도면,
- 도 8은 본 발명에 따른 단부모멘트 및 휨 저항력이 보강된 보와 기둥의 이-지(EZ) 결합구조의 이-지(EZ) 플레이트접합부의 평면모습을 도시한 도면,
- 도 9는 본 발명에 따른 단부모멘트 및 휨 저항력이 보강된 보와 기둥의 이-지(EZ) 결합구조의 단면모습을 도시한 도면,
- 도 10은 본 발명의 또 다른 실시예에 따른 단부모멘트 및 휨 저항력이 보강된 보와 기둥의 이-지(EZ) 결합구조의 칼럼유닛 결합부재를 도시한 도면,
- 도 11은 도 10의 단면모습을 도시한 도면,

○ 발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

이하, 본 발명이 속하는 선호적인 실시예를 참고로 하여 더욱 상세하게 설명한다.

먼저 도 3에 따르면 본 발명은 이-지(EZ) 칼럼부(100), 거더보강부(200), 이-지(EZ) 플레이트접합부(300)가 결합되어 구성되진다.

먼저 상기 이-지(EZ) 칼럼부(100)는 도 4에 도시된 바와 같이, 소정의 두께를 가지는 강판을 절곡시켜 평단면이 삼각형 형상의 칼럼유닛(110)을 형성한다. 이때 상기 칼럼유닛(110)은 직각이등변삼각형 형상'  '으로 이루어지도록 다단으로 절곡하여 높이방향을 따라 길게 연장형성되어진다.

상기 칼럼유닛(110)은 복수개로 구성되며, 일반적으로 4개의 유닛으로 구성되어 결합되는 것이 선호되지만 동일한 목적과 기능을 달성할 수 있는 범위 내에서 그 이상 또는 그 이하로 구성되어 결합되는 질수도 있다.

다음으로 상기 칼럼유닛(110)을 4개의 유닛으로 구성하여 결합하는 것에 대해 설명하고자 한다.

상기 칼럼유닛(110)은 양측단부를 서로 결합하여 일체형으로 형성하게 되는데, 이때 평단면이 도 5에 도시된 바와 같이, 형상으로 접합되어 CFT(Concrete Filled Steel Tube) 기둥으로 구성하여 이-지(EZ) 칼럼부(100)를 구성하게 된다.

상기 칼럼유닛(110)과 칼럼유닛(110)은 절곡된 부분이 서로 접합되며, 상기 절곡된 부분이 인접되어 플레어(Flare) 용접(120) 되어짐으로써 결합되어지는 것이 선호되지만 동일한 목적과 기능을 달성할 수 있는 범위 내에서 다른 접합방법의 사용을 배제하는 것은 아니다.

상기 칼럼유닛(110)은 정사각형()의 평단면 형상을 가지는 CFT 기둥의 둘레부를 형성하게 되고, 그에 따라 4개의 빗변들은 상기 둘레부의 각 중점과 내접하는 45°회전된 정다이아몬드()의 평단면 형상을 가지게 되어 CFT 기둥의 좌굴방지구조를 형성하게 된다.

이때 상기 4개의 빗변들은 상하방향으로 소정의 간격으로 관통되어지는 관통공(111)이 연속적으로 형성되어진다.

다음으로 상기 거더보강부(200)는 상기 이-지(EZ) 칼럼부(100)의 일측면에 접합되어지며, 철골 보 단부의 외측에 상부면이 개방된 사각박스 형상의 거푸집 형태로 감싸도록 구성되며, 그 내부에는 철근이 배근되고 현장콘크리트가 타설되어짐으로써 철근 콘크리트구조로 보강되어 보 단부의 좌굴이 방지되어진다.

상기 거더보강부(200)는 상기 이-지(EZ) 칼럼부(100)의 일측면에 형강부재(210)가 결합되어지는데, 이때 상기 형강부재(210)의 단면은 H형강 또는 H형강으로 구성되어진다.

상기 형강부재(210)에는 상측면이 개방된 형상의 보강부(220)가 구성되어진다. 상기 보강부(220)는 하부판(221)과 상기 하부판(221)의 양측단부에 상부방향으로 연장형성되는 한 쌍의 측판(222)으로 구성되어진다.

상기 하부판(221)의 상부면은 상기 형강부재(210)의 하부플랜지 하부면과 면접하도록 설치되어지며, 상기 한 쌍의 측판(222)은 상기 형강부재(210)의 웹(Web) 길이만큼 연장형성되어진다.

상기 보강부(220)의 길이방향을 따라 소정의 간격으로 이격되어 등간격배치되어지는 격판(230)이 구성되어지는데, 이때 상기 격판(230)에는 인접한 구획공간 사이를 상호 연통시키는 복수개의 관통홀이 형성되어진다.

상기 관통홀에는 인장철근이 철골 보의 길이방향을 따라 통과되어 배근되어지며, 개방된 상측을 통해 보강부(220) 내부로 도 9와 같이 현장콘크리트가 타설되어진다.

상기와 같이 구성된 거더보강부(200)는 슬래브의 좌굴하중을 미리 계산하여 이에 대응되도록 복수개로 구성되어짐으로써, 완공시 상기 거더보강부(200)의 상측단부에 구성되는 슬래브의 횡방향 변위를 구속할 수 있는 장점이 있다.

다음으로 도 7은 이-지(EZ) 플레이트접합부(300)를 도시한 도면으로, 상기 이-지(EZ) 플레이트접합부(300)는 상기 이-지(EZ) 칼럼부(100)의 폭에 대응되는 너비를 가지는 사각형상의 강판(Steel plate)으로 형성되어진다.

상기 이-지(EZ) 플레이트접합부(300)는 상기 거더보강부(200)의 상측단부에 구성되며, 일측단부는 이-지(EZ) 칼럼부(100)의 일측면에 용접(W)으로 결합되어지는 윙플레이트(Wing-plate, 310)가 구성되어진다.

상기 윙 플레이트(310)의 상하부면으로는 한 쌍의 커넥팅 플레이트(Connecting-plate, 320)가 접합되어지는데,

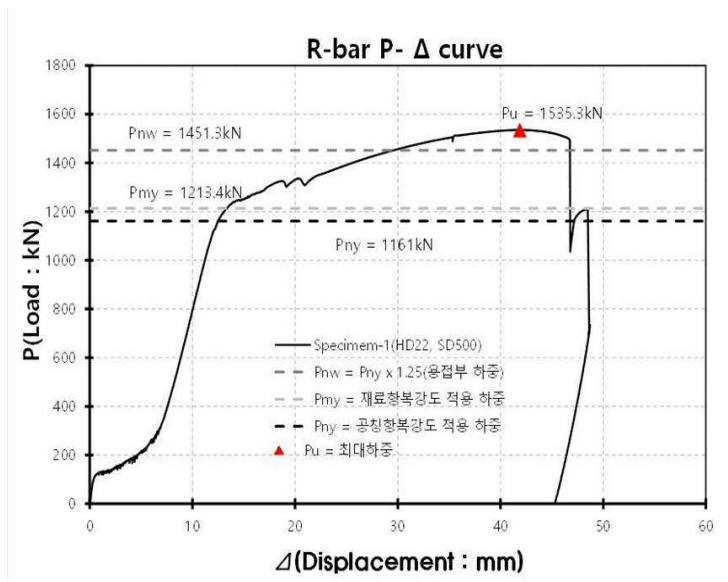
이를 접합하기 위하여 뿔 플레이트(310)의 소정의 위치에는 복수개의 체결구멍(311)이 형성되어지며, 상기 한 쌍의 커넥팅 플레이트(320)의 소정의 위치에는 상기 복수개의 체결구멍(311)과 대응되는 위치에 체결구멍(321)이 형성되어진다.

상기 뿔 플레이트(310)의 체결구멍(311)과 한 쌍의 커넥팅 플레이트(320)의 체결구멍(321)을 동일선상으로 일치시킨 후 볼트(B)로 인해 체결되어 결합되어짐으로써, 뿔 플레이트(310)와 한 쌍의 커넥팅 플레이트(320)가 샌드위치와 같이 서로 적층되어 일체형으로 결합되어진다.

한편 상기에서는 뿔 플레이팅(310)과 한 쌍의 커넥팅 플레이팅(320)가 볼트(B)로 인해 체결되어지는 것을 기재하였으나, 동일한 목적과 기능을 달성할 수 있는 범위 내에서 다른 체결방법의 사용을 배제하는 것은 아니다.

한편 상기 커넥팅 플레이트(320)의 상부면 또는 하부면 상에는 상기 거더보강부(200)의 길이방향과 대응되는 방향으로 소정의 길이만큼 돌출된 복수개의 보강근(330)이 결합되어진다.

상기 보강근에 대한 인장력 시험편의 실험결과에 대한 그래프는 다음과 같다.



본 발명의 실시예에 따르면 상기 보강근(330)은 HD22 또는 HD25 규격의 철근이 사용된다. 상기 HD22의 경우에는 보강근 6대 기준으로 설계강도는 1161.3kN 발생되고, 재료시험강도는 1391.2kN 이 발생하게 된다. 또한 상기 HD25의 경우 보강근 6대를 기준으로 설계강도는 1520.1kN 발생되고, 재료시험강도는 1617.4kN 이 발생하게 된다.

또한 상기 복수개의 보강근(330)은 상기 커넥팅 플레이트(320)에 플레어 용접되어지는데, 플레어 용접에 대한 용접강도는 $\phi P_w = 0.9 \cdot F_w \cdot A_w$ 공식을 사용하여 계산되어진다.

상기 HD22의 경우에는 용접길이가 최소 240mm 이상으로 용접되어, 상기 보강근(330) 1대당 561.1kN의 용접 강도로 접합되어진다. 또한 HD25의 경우에는 용접길이가 최소 280mm 이상으로 용접되어, 상기 보강근 (330) 1대당 628.9kN의 용접강도로 접합되어지게 된다.

본 발명에서는 상기 보강근(330)을 6개로 구성하여 설명하고 있으나, 시공환경 및 사용자의 목적에 따라 6개 보다 적거나 더 많게 구성하여 사용되어지는 것을 배제하는 것은 아니다.

다음으로 도 8 및 도 9에 도시된 바와 같이, 상기 이-지(EZ) 플레이트접합부(300)의 주변으로 철근을 배근한

후, 현장 콘크리트를 타설하여 슬래브(S)를 구성하게 되는데, 이때 상기 슬래브의 내부에 이-지(EZ) 플레이트접합부(300)가 묻히도록 구성됨으로써, 기둥과 슬래브를 일체형으로 구성하기 용이한 장점이 있다.

상기 이-지(EZ) 플레이트접합부(300)에 구성된 복수개의 보강근(330)으로 인하여, 슬래브의 지지력이 향상되어 상기 슬래브에 작용하게 되는 단부모멘트는 종래대비 50~60%만이 발생하게 되어, 시공성이 우수하고, 기존의 설치하는 보를 지지하기 위하여 발생하는 강재(Steel material)의 낭비를 절감하는 것이 가능한 장점이 있다.

또한 저감되는 강재만큼 충고를 확보하여 공간성이 향상되고, 이에 따른 슬래브의 자중이 저감하게 되어, 처짐 및 진동성능이 약 10% 향상되는 장점이 있다.

다음으로 도 6은 본 발명의 다른 실시예를 도시한 도면으로, 상기 이-지(EZ) 칼럼부(100)는 평단면 형상이 H형강 또는 ㅍ형강 중 어느 하나의 기둥으로 선택되어 사용되어진다.

상기 H형강 또는 ㅍ형강의 상하부 플랜지 내측으로는 수평방향으로 형성된 스티프너(stiffener, 130)가 구비되어 측압이 보강되어지게 된다.

상기와 같이 H형강 또는 ㅍ형강으로 구성된 이-지(EZ) 칼럼부(100)의 상부 플랜지 또는/ 및 하부 플랜지 소정의 위치에 거더보강부(200) 및 이-지(EZ) 플레이트접합부(300)가 결합되어 구성되어진다.

다음으로 도 10 및 도 11은 본 발명의 다른 실시예에 따른 칼럼유닛 결합부재(400)를 도시한 도면으로, 상기 이-지(EZ) 칼럼부(100)의 빔면들에 관통되어진 관통공(111)에 결합되어, 상기 이-지(EZ) 칼럼부(110)가 고정되어 결합되어지도록 한다.

상기 칼럼유닛 결합부재(400)는 상기 이-지(RZ) 칼럼부(100)의 중앙부에 구성되는 다각형 형상의 몸체부재(410)와, 상기 몸체부재(410)의 측면에는 복수개의 연결봉(420)이 구성되어진다.

상기 몸체부재(410)는 내부에 소정의 공간부가 형성되어지며 상하방향 및 상기 연결봉(420)의 일측단부가 결합되어지도록 측면에는 관통공이 형성된 케이스부재(411)가 구성되어진다.

상기 케이스부재(411)의 내부에는 상하부에 위치되며 소정의 간격으로 이격되고, 원판형상으로 형성되어 서로 마주보도록 구성되는 한 쌍의 회전부(412, 413)가 구성되어진다. 상기 한 쌍의 회전부(412, 413)의 중앙부분에는 다각형 형상의 키홈이 형성된다.

또한 상기 회전부(412, 413)의 양측단부 상하부면에 서로 마주보는 방향으로 돌출되어지는 나사부(414)가 형성되어진다. 상기 나사부(414)에 대해서는 추후에 상세히 설명하도록 한다.

상기 연결봉(420)은 소정의 길이를 가지는 강봉(421)으로 구성되며, 상기 강봉(421)의 일측단부에는 강봉(421)의 외경을 따라 나사산(422)이 형성되어지며, 타측단부에는 밀착부재(430)가 결합되어 구성된다.

밀착부재(430)는 상기 칼럼유닛(111)에 형성된 관통공(111)에 삽입되어지는데, 이때 상기 관통공(111)의 지름보다 더 큰 지름으로 형성되며, 탄성재질로 구성되어 관통공(111)에 원활하게 삽입되어질 수 있다.

상기 밀착부재(430)는 반구 형상으로 형성되어 평평한 면이 상기 관통공(111)의 외측면에 밀착되어짐으로써, 이-지(EZ) 칼럼부(100)가 내측방향으로 인장력이 발생되어지도록 한다.

다음으로 상기 칼럼유닛 결합부재(400)를 통하여 이-지(EZ) 칼럼부(100)의 인장력을 조절하는 방법에 대해 설명하도록 한다.

상기 강봉(421)의 일측단부에 구성된 나사산(422)은 몸체부재(410)의 측면 소정의 위치를 관통하게 되며, 상기 회전부(412, 413)의 나사부(414)와 서로 맞물려 회전되어진다. 이때, 상기 회전부(412, 413)에 형성된 키홈에 키를 삽입하고 소정의 방향으로 회전하게 되면, 상기 연결봉(420)은 이-지(EZ) 칼럼부(100)의 중심방향을 향해 이동되어지며, 이와 연동되는 밀착부재(430)가 복수개의 칼럼유닛(110)을 중심방향을 모이도록 함으로써, 인장력이 발생되어 상기 이-지(EZ) 칼럼부(100)가 견고하게 고정되어진다.

다시 키홈을 반대방향으로 회전하게 되면 상기 연결봉(420)은 이-지(EZ) 칼럼부(100)의 바깥방향을 향해 이동시킴으로써, 상기 이-지(EZ) 칼럼부(100)의 인장력을 조절하게 된다.

상기와 같이 이-지(EZ) 칼럼부(100)의 인장력이 조절되어지면 이-지(EZ) 칼럼부(100) 내부로 현장 콘크리트를 타설하게되며, 칼럼유닛 결합부재(400)및 키홈가 함께 일체화되어짐으로써 내부강도가 증가하게 되는 장점이 있다.

한편 사용자는 시공환경 및 사용 목적에 따라 4개의 칼럼유닛(110)으로 구성된 이-지(EZ) 칼럼부(100)를 사용하거나, 평단면이 H형강 또는 ㄲ형강 중 어느 하나의 기둥으로 선택되어지는 골조를 기둥으로 이용하여 결합구조를 구성하게 된다.

상기에서는 본 발명의 바람직한 실시예를 참조하여 설명하였지만, 해당 기술 분야의 숙련된 당업자는 하기의 특허 청구의 범위에 기재된 본 발명의 사상 및 영역으로부터 벗어나지 않는 범위 내에서 본 발명을 다양하게 수정 및 변경시킬 수 있음을 이해할 수 있을 것이다.

○ 부호의 설명

100 : 이-지(EZ) 칼럼부	200 : 거더보강부
300 : 이-지(EZ) 플레이트접합부	400 : 칼럼유닛 결합부재

○ 특허청구범위

○ 청구항 1

중앙부는 철골 보, 양측 단부는 강성이 증대된 합성 보로 이루어진 거더(Girder) 및 이와 접합되는 기둥(Column)의 보강구조를 이용한 보와 기둥의 결합구조에 있어서, 상기 결합구조는 소정의 두께를 가지는 강판을 절곡시켜 평단면이 삼각형 형상으로 형성되어지는 복수개의 칼럼유닛(110) 양측 단부가 서로 결합되어  형상으로 접합되어짐으로써 일체형의 CFT(Concrete Filled Steel Tube) 기둥으로 구성되어지는 이-지(EZ) 칼럼부(100)와, 상기 이-지(EZ) 칼럼부(100)의 일측면에 접합되어지며, 철골 보 단부의 외측에 상부면이 개방된 사각박스 형상의 거푸집 형태로 감싸도록 구성되며, 그 내부에는 철근이 배근되고 현장콘크리트가 타설되어짐으로써 철근콘크리트구조로 보강되어 보 단부의 좌굴이 방지되어지는 거더보강부(200)와, 상기 거더보강부(200)의 상측단부에 구성되며, 일측면이 상기 이-지(EZ) 칼럼부(100)의 일측면에 결합되고, 현장타설 콘크리트(C)로 인해 형성되어지는 슬래브 내부에 구성되어짐으로써, 상기 슬래브와 일체형으로 구성되어지는 이-지(EZ) 플레이트접합부(300)가 포함되어지는 것을 특징으로 하는 단부모멘트 및 휨 저항력이 보강된 보와 기둥의 이-지(ez) 결합구조.

○ 청구항 2

제 1 항에 있어서,
상기 복수개의 칼럼유닛(110)의 평단면 형상은 직각이등변삼각형 형상으로 이루어지도록 다단으로 절곡하여 높이방향을 따라 길게 연장형성되며, 길이가 동일한 두 변은 4개의 칼럼유닛(110)들이 직각이 아닌 절곡부에서 서로 맞닿아 플레어(Flare) 용접(120)되어짐으로써 정사각형의 평단면 형상을 가지는 CFT 기둥의 둘레부가 형성되어지며,

상기 칼럼유닛(110)의 빔변들은 상기 둘레부의 각 중점과 내접하는 정다이아몬드()의 평단면 형상을 가지는 CFT 기둥의 좌굴방지구조를 구성하며,
상기 칼럼유닛(110)의 빔변들은 상하방향으로 소정의 간격으로 관통되어지는 관통공(111)이 연속적으로 구성되어지는 것을 특징으로 하는 단부모멘트 및 휨 저항력이 보강된 보와 기둥의 이-지(eZ) 결합구조.

○ 청구항 3

중앙부는 철골 보, 양측 단부는 강성이 증대된 합성 보로 이루어진 거더(Girder) 및 이와 접합되는 기둥(Column)의 보강구조를 이용한 보와 기둥의 결합구조에 있어서, 상기 결합구조는 기둥의 골조를 형성하는 H형강 또는 ㄲ형강 중 어느 하나의 기둥으로 구성되어지며 상기 H형강 또는 ㄲ형강의 상하부 플랜지 내측으로는 수평방향의 스틱프너(Stiffener, 130)가 구비되어져 측압이 보강되어지는 이-지(EZ) 칼럼부(100)와,
상기 이-지(EZ) 칼럼부(100)의 일측면에 접합되어지며, 철골 보 단부의 외측에 상부면이 개방된 사각박스 형상의 거푸집 형태로 감싸도록 구성되며, 그 내부에는 철근이 배근되고 현장콘크리트가 타설되어짐으로써 철근콘크리트구조로 보강되어 보 단부의 좌굴이 방지되어지는 거더보강부(200)와,
상기 거더보강부(200)의 상측단부에 구성되며, 일측면이 상기 이-지(EZ) 칼럼부(100)의 일측면에 결합되고, 현장타설 콘크리트(C)로 인해 형성되어지는 슬래브 내부에 구성되어짐으로써, 상기 슬래브와 일체형으로 구성되어지는 이-지(EZ) 플레이트접합부(300)가 포함되어지는 것을 특징으로 하는 단부모멘트 및 휨 저항력이 보강된 보와 기둥의 이-지(eZ) 결합구조.

○ 청구항 4

제 1 항 또는 제 3 항 중 어느 하나의 항에 있어서,
상기 거더보강부(200)는 상기 이-지(EZ) 칼럼부(100)의 일측면에 결합되며 H형강 또는 I형강으로 구성되는 형강부재(210)와,
상측면이 개방되어지고 상기 형강부재(210)를 둘러싸도록 구성되며 상부면이 상기 형강부재(210)의 하부플랜지 하부면과 면접하도록 설치되는 하부판(221)과, 상기 하부판(221)의 양측단부에는 상기 형강부재(210)의 웹(Web) 길이만큼 상측방향으로 각각 연장형성되는 한 쌍의 측판(222)으로 구성되어지는 보강부(220)와,
상기 보강부(220)의 길이방향을 따라 소정의 간격으로 이격되어지는 격판(230)을 포함하는 것을 특징으로 하는 단부모멘트 및 휨 저항력이 보강된 보와 기둥의 이-지(EZ) 결합구조.

○ 청구항 5

제 4 항에 있어서,
상기 격판(230)에는 인접한 구획공간 사이를 상호 연통시키는 복수개의 관통홀이 형성되어지며, 철골 보의 길이방향을 따라 상기 관통홀을 통과하도록 인장철근이 배근되어지며, 개방된 상측을 통해 보강부(220) 내부로 현장콘크리트가 타설되어지는 것을 특징으로 하는 단부모멘트 및 휨 저항력이 보강된 보와 기둥의 이-지(EZ) 결합구조.

○ 청구항 6

제 1 항 또는 제 3 항 중 어느 하나의 항에 있어서,
상기 이-지(EZ) 플레이트접합부(300)는 일측단부가 상기 이-지(EZ) 칼럼부(100)의 일측면에 용접(W)으로 결합되며 소정의 두께로 형성되어지는 윙 플레이트(Wing-plate)(310)와,
상기 윙 플레이트(310)의 상하부면에 접합되어지며 체결구멍(321)을 통해 볼트(B)로 결합되어지는 한 쌍의 커넥팅 플레이트(Connecting-plate)(320)와,
상기 한 쌍의 커넥팅 플레이트(320)의 상부면 또는 하부면 상에 접합되어지며 소정의 길이를 가지는 복수개의 보강근(330)을 포함하는 것을 특징으로 하는 단부모멘트 및 휨 저항력이 보강된 보와 기둥의 이-지(EZ) 결합구조.

○ 청구항 7

제 2 항에 있어서,

상기 이-지(EZ) 칼럼부(100)의 빔변들에 관통되어진 관통공(111)에는 상기 이-지(EZ) 칼럼부(100)가 고정되어 결합되어지도록 하기 위한 칼럼유닛 결합부재(400)가 더 포함되어지는 것을 특징으로 하는 단부모멘트 및 휨 저항력이 보강된 보와 기둥의 이-지(EZ) 결합구조.

○ 청구항 8

제 7 항에 있어서,

상기 칼럼유닛 결합부재(400)는 상기 이-지(EZ) 칼럼부(100)의 중앙부에 구성되어지는 다각형 형상의 몸체부재(410)와,

소정의 길이를 가지는 강봉(421)으로 구성되며, 일측단부는 나사산(422)이 형성되어 상기 몸체부재(410)의 측면에 관통되어 구성되어지며, 타측단부는 상기 이-지(EZ) 칼럼부(100)의 관통공(111)을 향해 연장형성되어지는 연결봉(420)과,

상기 연결봉(420)의 타측단부에 구성되어지며, 상기 관통공(111)의 외측면에 밀착되어 내측방향으로 인장력이 부여되어지는 밀착부재(430)로 구성되어지는 것을 특징으로 하는 단부모멘트 및 휨 저항력이 보강된 보와 기둥의 이-지(EZ) 결합구조.

○ 청구항 9

제 8 항에 있어서,

상기 몸체부재(410)는 내부에 공간부가 형성되며 상하방향 및 상기 연결봉(420)의 일측단부와 결합되어지도록 관통공이 형성되어지는 케이스부재(411)와, 상기 케이스부재(411)의 내부에는 상하부로 구성되어 소정의 간격으로 이격되며, 원판형상으로 형성되어 서로 마주보도록 구성되는 한 쌍의 회전부(412, 413)와, 상기 한 쌍의 회전부(412, 413)의 양측단부 상하부면에는 서로 마주보는 방향으로 돌출되어지는 나사부(414)가 상기 연결봉(420)의 나사산(422)과 서로 맞물려 회전되어짐으로써, 상기 연결봉(420)은 이-지(EZ) 칼럼부(100)의 중심방향을 향해 인장력이 발생되어지는 것을 특징으로 하는 단부모멘트 및 휨 저항력이 보강된 보와 기둥의 이-지(EZ) 결합구조.

○ 요약서

○ 요약

본 발명은 단부모멘트 및 휨 저항력이 보강된 보와 기둥의 이-지(EZ) 결합구조에 관한 것으로서, 더욱 상세하게는 소정의 두께를 가지는 강판을 절곡시켜 평단면이 삼각형 형상으로 이루어진 복수개의 칼럼유닛 양측단부를 서로 결합하여  형상으로 형성되는 CFT 기둥의 이-지(EZ) 칼럼부와, 철골 보 단부의 외측을 사각 박스 형상의 거푸집 형태로 감싸 보 단부의 좌굴을 방지하는 이-지(EZ) 거더보강부 및 이-지(EZ) 플레이트접합부로 구성됨으로써 중앙부 대비 1.6배 내지 2배의 단부모멘트가 가해지는 기둥접합 단부에만 철골 및 철근콘크리트 합성 보 구조를 적용시키는 것이 가능한 새로운 구조의 단부모멘트 및 휨 저항력이 보강된 보와 기둥의 이-지(EZ) 결합구조에 관한 것이다.

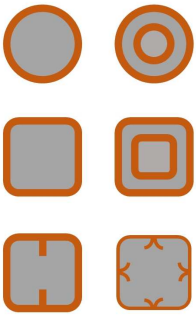
또한 이-지(EZ) 칼럼부와 이-지(EZ) 플레이트접합부가 일체형으로 구성되어짐으로써, 기둥과 슬래브 또한 일체형으로 형성하는 것이 가능하며, 상기 이-지(EZ) 플레이트접합부에는 복수개의 보강근이 연장형성되어, 슬래브의 내부구조 강도가 개선되어지는 장점이 있다.

○ 대표도

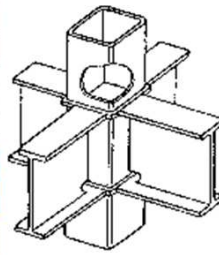
도 3 참조

○ 도면

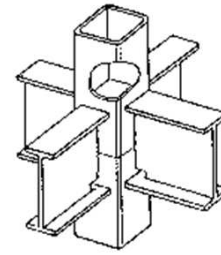
○ 도 1



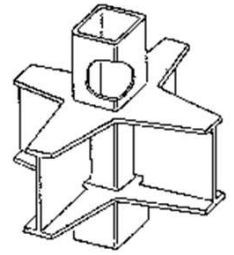
○ 도 2



(a) 관통형다이아프램

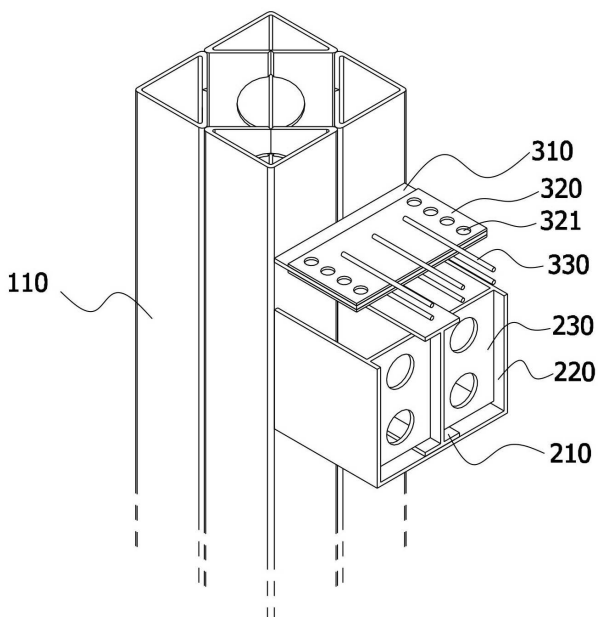


(b) 내다이아프램

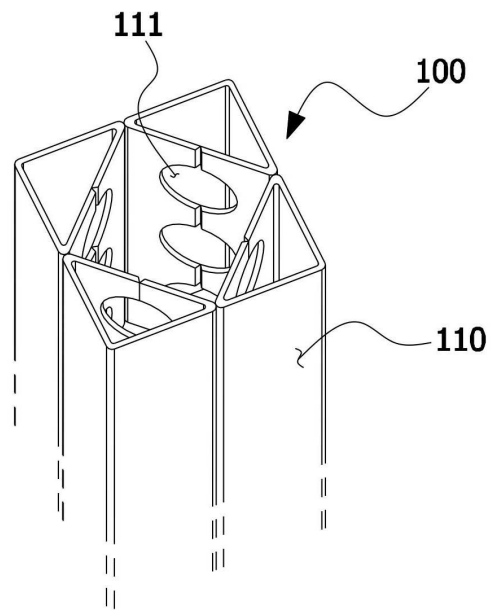


(c) 외다이아프램

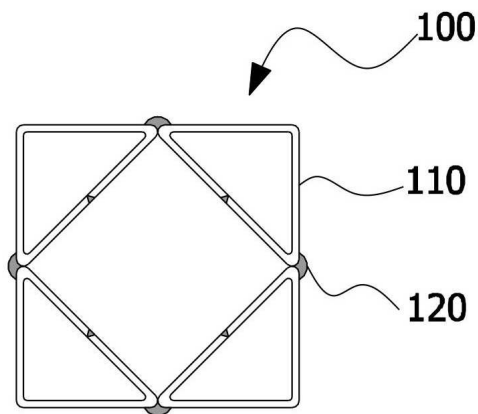
○ 도 3



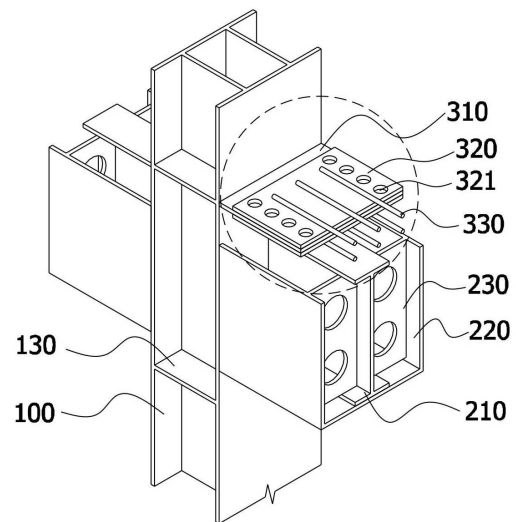
○ 도 4



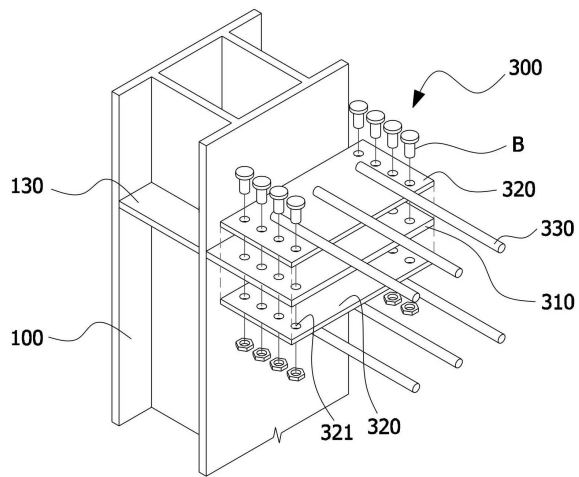
○ 도 5



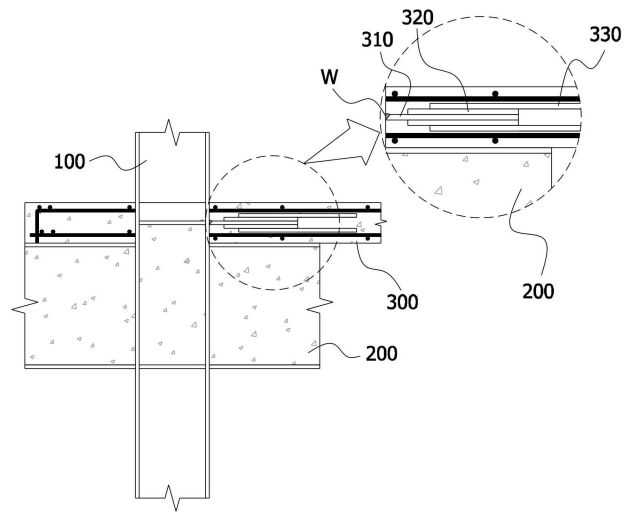
○ 도 6



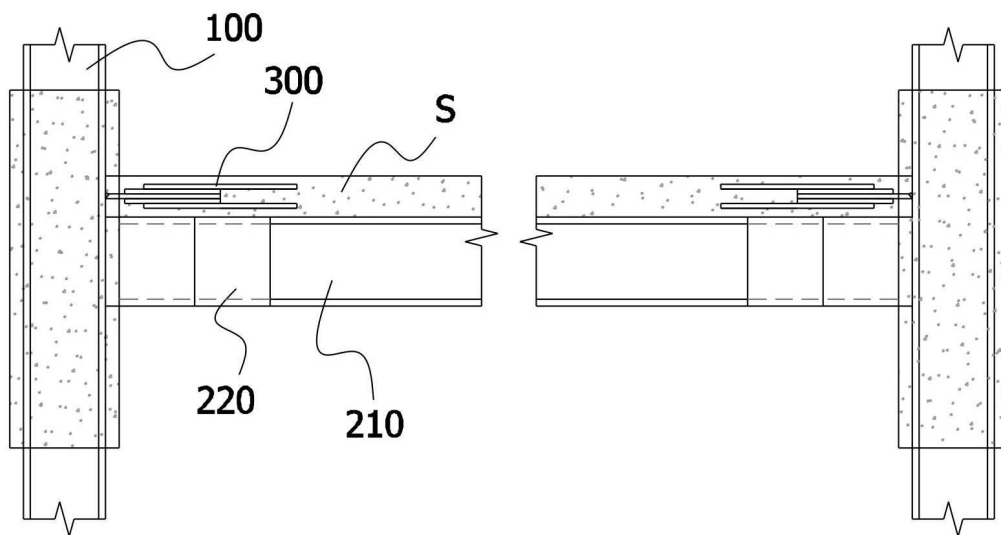
○ 도 7



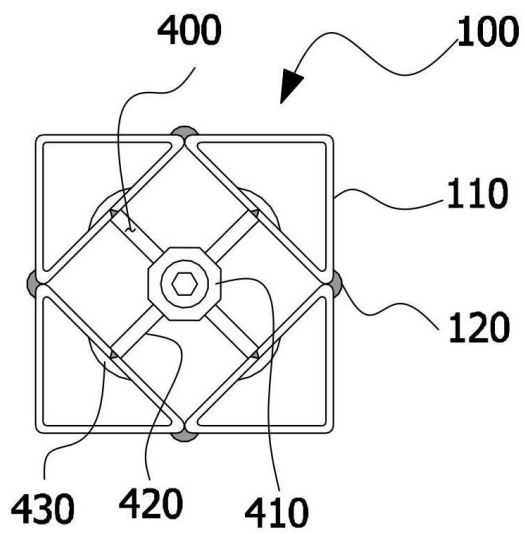
○ 도 8



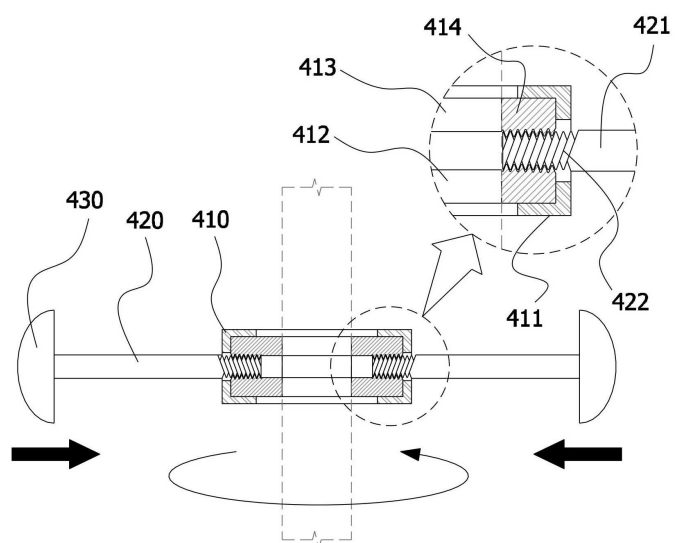
○ 도 9



○ 도 9



○ 도 10



▶ 출원출원 내용 요약

○ 특허출원 1건 : 모멘트 접합이 가능한 삼각형 기둥의 결합구조

○ 발명의 명칭

모멘트 접합이 가능한 삼각형 기둥의 결합구조{THE JOINT STRUCTURE OF TRIANGULAR COLUMN WITH MOMENT CONNECTION}

○ 기술분야

본 발명은 모멘트 접합이 가능한 삼각형 기둥의 결합구조에 관한 것으로서, 좀더 상세하게 설명하면 강관에 콘크리트를 채워 형성하는 기둥이 높이가 높아질 수록 좌굴이 발생하는 것을 방지하기 위하여 강판을 절곡시켜 형성된 네 개의 직삼각형의 조합으로 이루어지는 기둥이 보다 안정적으로 결합 시공될 수 있도록 하기 위하여 개발된 모멘트 접합이 가능한 삼각형 기둥의 결합구조에 관한 것이다.

○ 발명의 배경이 되는 기술

건축물을 이루는 가장 중요한 요소 중 하나가 기본 골조라고 할 수 있으며 일반적으로 가장 많이 사용하는 철근콘크리트 공법의 경우 시공이 용이하고 저렴하나 시공기간이 오래 걸리고, 철재를 이용한 철골조의 경우 시공기간이 짧지만 철재의 특성상 주거공간으로 사용하기에는 실내의 온도 변화가 심하여 공장이나 창고에 많이 사용하고 있는 것이다.

최근에는 이러한 철근콘크리트에서 발상의 전환으로 역으로 원형이다 사각 단면을 가진 강관에 콘크리트를 타설하는 방법인 CFT(concrete filled steel tube) 즉 콘크리트충진강관으로 기둥을 시공하는 방법이 개발되었다.

이러한 CFT 공법의 경우 거푸집이 필요하지 않아 시공시간이 짧으며, 강성, 내력, 변형성 및 내진성 등이 뛰어나고, 작은 기둥 단면에서 보다 높은 층고보다 긴 기둥간격(SPAN)이 가능한 장점이 있어 주로 고층건물을 시공하는데 사용되고 있다.

기본적으로 CFT(콘크리트충진강관)은 좌굴에 대한 저항이 우수하지만 층고가 높아짐에 따라 좌굴의 가능성은 높아지는 것이며, 철근콘크리트와 달리 중앙에 콘크리트로만 이루어진 면적이 클수록 모든 성능이 떨어지게 되어 이를 방지하기 위한 수단으로 내부에 작은 크기의 강관을 인입하는 방법이 제안되었으나 고가인 강재의 양이 증가하고 좁아진 내부에 콘크리트를 균일하게 충전하는 작업이 어려워진다는 문제가 발생하게 된다.

다른 방식으로서는 철판을 여러 개의 단위 유닛으로 제작한 후 용접을 통하여 기둥을 완성하는 방법이 소개되었으나 용접한 부위의 용접 상태를 완벽하게 확인할 수 없는 상황에서 좌굴로부터 안전하다고 볼 수 없으며 이에 따라 추가적으로 용접부위를 보강하며 감싸는 웨일러를 시공하거나 다아아프램을 설치해야하는 문제점이 발생하게 된다.

이에 본원인이 출원하고 등록된 대한민국특허등록 제10-2079008-0000호(2020년02월13일) '단부모멘트 및 휨저항력이 보강된 보와 기둥의 이-지(EZ) 결합구조'에서 소정의 두께를 가지는 강판을 절곡시켜 평단면이 삼각형 형상으로 형성되어지는 복수 개의 칼럼유닛 양측단부가 서로 접합되어짐으로써 일체형의 CFT(Concrete Filled Steel Tube)을 형성하는 구조를 제안하였다.

이러한 구조는 콘크리트 타설시 거푸집 역할을 수행하여 완공시 내부 콘크리트를 횡방향으로 구속하는 역할을 하며, 단부보강용 강판 내부에 콘크리트를 타설함에 따라 보 단부의 강성을 증대시키고 진동에 우수한 성능을 발휘함과 동시에 보 국부좌굴 및 횡좌굴을 방지하는 효과를 가지고 있다.

하지만 삼각형으로 절곡된 칼럼유닛의 내부 공간은 크지 않아 무방하나 4개의 칼럼유닛으로 형성된 중앙의 사각 공간은 별다른 보강 수단이 없이 콘크리트가 타설되지만 이러한 공간을 최소한의 철재로 콘크리트의 타설에 지장을 주지 않고 칼럼유닛과 연결되어 보강하는 수단이 필요한 상황이다.

또한 4개의 용접부위를 제외하고 4개의 칼럼유닛은 결합 또는 접합된 부분이 없어 충격 등에 의한 용접부위의 손상이 발생하는 치명적일 수 있기에 추가적인 결합 또는 접합 수단이 필요하며 기둥의 특성상 내측 공간은 협소하여 용접이나 볼팅 또는 리베팅이 곤란하다는 문제점이 있었다.

○ 선행기술문헌

○ 특허문헌

(특허문헌 1) 대한민국특허등록 제10-1367626-0000호 (2014년02월20일)

(특허문헌 2) 대한민국특허등록 제10-2079008-0000호 (2020년02월13일)

(특허문헌 3) 대한민국공개특허 제10-2020-0016019호 (2020년02월14일)

(특허문헌 4) 대한민국특허등록 제10-2147047-0000호 (2020년08월14일)

○ 발명의 내용

○ 해결하고자 하는 과제

본 발명은 전술한 문제점을 해결하기 위하여 개발된 것으로서, 그 목적은 강판을 절곡시켜 평단면이 직각 이등변삼각형 형상으로 형성되어지는 4의 칼럼유닛을 직각인 부분이 모서리가 되도록 양측단부가 서로 접합되어짐으로써 일체형의 CFT에서 4개의 용접부위를 제외하고 칼럼유닛으로 형성된 중앙의 사각 공간을 결합 보강하는 모멘트 접합이 가능한 삼각형 기둥의 결합구조를 개발하는 것에 있다.

○ 과제의 해결 수단

상기와 같은 목적을 달성하기 위하여 본 발명은 중앙부는 철골 보, 양측 단부는 강성이 증대된 합성 보로 이루어진 거더(Girder) 및 이와 접합되는 기둥(Column)의 보강구조를 이용한 보와 기둥의 결합구조에 있어서; 상기 결합구조는 소정의 두께를 가지는 강판의 정중앙이 직각으로 절곡된 후양측은 동일한 길이에서 상호 마주 보는 방향으로 절곡되어 연장되는 직각 이등변삼각형 형상을 가지며, 직각인 부분과 마주보는 변은 양측 끝단이 1cm 이하의 폭으로 이격되어 길이 방향으로 연장되는 이격부와, 상기 이격부를 포함하여 원 또는 사각형 형상으로 관통되는 제1 연통홀을 구비하는 네 개의 칼럼유닛이 직각인 부분이 사각 기둥의 모서리를 이루도록 배치되고 인접한 칼럼유닛의 모서리끼리 접합 용접되어 접합부를 형성하여 일체형의 CFT(Concrete Filled Steel Tube) 기둥으로 구성되어지는 칼럼부와; 1cm 미만의 두께를 가지는 판형으로 이루어져 복수 개의 관통된 제2 연통홀이 형성되며, 양측 끝단은 서로 마주보는 이격부의 사이를 통과한 후 원형으로 말리는 걸림부가 형성되어 고정되는 복수 개의 보강판을 포함하는 것을 특징으로 한다.

아울러, 상기 보강판의 상부와 하부 중앙에는 각각 수직으로 절개되며 입구 부분은 폭이 확장되는 제1 삽입절개부가 형성되어 상기 칼럼부의 서로 마주보는 이격부의 사이를 통과하는 방식으로 삽입된 후 다른 보강판이 수직 교차하는 방향으로 삽입되어 상기 제1 삽입절개부가 상호 결합되도록 구성됨을 특징으로 한다.

또한, 상기 보강판 중 칼럼부의 양측 단부에 위치한 2~3개의 보강판은 상하 길이가 70% 이하의 작은 크기가 삽입 배치됨을 특징으로 한다.

아울러, 상기 보강판의 상단에는 하나 이상의 수직으로 절개된 제2 삽입절개부가 추가로 형성되고; 하부에 상기 제2 삽입절개부 중 하나와 교호하여 결합하도록 하부에 제3 삽입절개부가 형성된 판상의 제1 보강부재를 추가로 구비함을 특징으로 한다.

또한, 상기 보강판 중 수직으로 상하 결합하는 한 쌍 이상의 보강판은 결합하는 상부와 하부 제1 삽입절개부

길이의 합이 상부에 위치하는 보강판의 길이와 동일하게 형성되며; 짧은 원통형의 형상을 가진 제2 보강부재가 상부에 노출된 4개의 제1 삽입절개부에 삽입 고정되도록 구성됨을 특징으로 한다.

아울러, 상기 보강판 중 수직으로 상하 결합하는 한 쌍 이상의 보강판은 결합하는 상부와 하부 제1 삽입절개부 길이의 합이 상부에 위치하는 보강판의 길이와 동일하게 형성되며; 상부에 노출된 4개의 제1 삽입절개부에는 원형 또는 사각형으로 절곡된 고정철근이 고정됨을 특징으로 한다.

또한, 상기 보강판은 상단 또는 하단의 중앙이 수직으로 길게 연장되는 연장리브가 형성되어 그 끝단에 수직으로 절개되며 입구 부분은 폭이 확장되는 제1 삽입절개부가 형성되며, 상기 연장리브에는 돌출 또는 함몰되어 수직으로 연장되는 하나 이상의 보강돌출부를 구비함을 특징으로 한다.

한편 본 명세서에 개시된 기술에 관한 설명은 단지 구조적 내지 기능적 설명을 위한 실시예에 불과하므로, 개시된 기술의 권리범위는 본문에 설명된 실시예에 의하여 제한되는 것으로 해석되어서는 아니 된다. 즉, 실시예에는 다양한 변경이 가능하고 여러 가지 형태를 가질 수 있으므로 개시된 기술의 권리범위는 기술적 사상을 실현할 수 있는 균등물들을 포함하는 것으로 이해되어야 한다. 또한, 개시된 기술에서 제시된 목적 또는 효과는 특정 실시예가 이를 전부 포함하여야 한다거나 그러한 효과만을 포함하여야 한다는 의미는 아니므로, 개시된 기술의 권리범위는 이에 의하여 제한되는 것으로 이해되어서는 아니 될 것이다.

또한 본 발명에서 서술되는 용어의 의미는 다음과 같이 이해되어야 할 것이다. “제1”, “제2” 등의 용어는 하나의 구성요소를 다른 구성요소로부터 구별하기 위한 것으로, 이들 용어들에 의해 권리범위가 한정되어서는 아니 된다. 예를 들어, 제1 구성요소는 제2 구성요소로 명명될 수 있고, 유사하게 제2 구성요소로 제1 구성요소로 명명될 수 있다.

나아가 어떤 구성요소가 다른 구성요소에 “연결되어” 있다고 언급된 때에는, 그 다른 구성요소에 직접적으로 연결될 수도 있지만, 중간에 다른 구성요소가 존재할 수도 있다고 이해되어야 할 것이다. 반면에, 어떤 구성요소가 다른 구성요소에 “직접 연결되어” 있다고 언급된 때에는 중간에 다른 구성요소가 존재하지 않는 것으로 이해되어야 할 것이다. 한편, 구성요소들 간의 관계를 설명하는 다른 표현들, 즉 “~사이에”와 “~사이에” 또는 “~에 이웃하는”과 “~에 직접 이웃하는” 등도 마찬가지로 해석되어야 한다.

단수의 표현은 문맥상 명백하게 다르게 뜻하지 않는 한 복수의 표현을 포함하는 것으로 이해되어야 하고, “포함하다” 또는 “가지다” 등의 용어는 실시된 특징, 숫자, 단계, 동작, 구성요소, 부분품 또는 이들을 조합한 것이 존재함을 지정하려는 것이며, 하나 또는 그 이상의 다른 특징이나 숫자, 단계, 동작, 구성요소, 부분품 또는 이들을 조합한 것들의 존재 또는 부가 가능성을 미리 배제하지 않는 것으로 이해되어야 한다.

○ 발명의 효과

상술한 바와 같이 본 발명은 네 개의 칼럼유닛으로 형성된 중앙의 빈 사각 기둥 형상의 공간에 복수 개의 보강판을 서로 수직으로 교차하도록 순차적으로 삽입한 후 콘크리트를 타설하여 양생하도록 하여 용접이나 볼팅 또는 리벳의 방법이 아닌 비교적 간단한 과정에 의하여 칼럼부의 물성을 대폭 향상시킬 수 있는 효과가 있다.

○ 도면의 간단한 설명

- 도 1은 본 발명의 일 실시 예에 따른 사시도
- 도 2는 본 발명의 일 실시 예에 따른 분해사시도
- 도 3은 본 발명의 일 실시 예에 따른 보강판 배치의 예를 나타낸 개념도
- 도 4는 본 발명의 제1 확대 실시 예에 따른 보강판 결합구조를 나타낸 개념도
- 도 5는 본 발명의 제2 확대 실시 예에 따른 보강판 결합구조를 나타낸 개념도
- 도 6은 본 발명의 제3 확대 실시 예에 따른 보강판 결합구조를 나타낸 개념도
- 도 7은 본 발명의 제4 확대 실시 예에 따른 보강판을 나타낸 개념도

○ 발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

이하, 본 발명이 속하는 선호적인 실시예를 참고로 하여 더욱 상세하게 설명한다.

도 1은 본 발명의 일 실시 예에 따른 사시도이고, 도 2는 본 발명의 일 실시 예에 따른 분해사시도로서, 중앙부는 철골 보, 양측 단부는 강성이 증대된 합성 보로 이루어진 거더(Girder) 및 이와 접합되는 기둥(Column)의 보강구조를 이용한 보와 기둥의 결합구조에 있어서; 상기 결합구조는 소정의 두께를 가지는 강판의 정중앙이 직각으로 절곡된 후양측은 동일한 길이에서 상호 마주 보는 방향으로 절곡되어 연장되는 직각 이등변삼각형 형상을 가지며, 직각인 부분과 마주보는 변은 양측 끝단이 1cm 이하의 폭으로 이격되어 길이 방향으로 연장되는 이격부(111)와, 상기 이격부(111)를 포함하여 원 또는 사각형 형상으로 관통되는 제1 연통홀(112)을 구비하는 네 개의 칼럼유닛(110)이 직각인 부분이 사각 기둥의 모서리를 이루도록 배치되고 인접한 칼럼유닛(110)의 모서리끼리 접합 용접되어 접합부(113)를 형성하여 일체형의 CFT(Concrete Filled Steel Tube) 기둥으로 구성되어지는 칼럼부(100)와; 1cm 미만의 두께를 가지는 판형으로 이루어져 복수 개의 관통된 제2 연통홀(121)이 형성되며, 양측 끝단은 서로 마주보는 이격부(111)의 사이를 통과한 후 원형으로 말리는 걸림부(122)가 형성되어 고정되는 복수 개의 보강판(120)을 포함하는 것을 특징으로 하는 모멘트 접합이 가능한 삼각형 기둥의 결합구조를 나타내었다.

상기 칼럼부(100)는 양측 단부와 필요에 따라 중간에 거더가 연결되는 구조를 가지는 것으로 본원에서 제시한 칼럼부(100)의 구조에 콘크리트를 타설 양생하여 CFT 기둥을 형성하여도 기존의 원통형 또는 사각형의 CFT 기둥 보다 강한 물성을 가지게 되지만 중앙의 사각기둥 형상의 공간은 콘크리트만 타설할 뿐 아무런 보강수단이 없었다.

본원인은 이러한 칼럼부(100)의 중강 공간과 용접으로 형성된 긴 네 개의 접합부(113)에 대한 내구성에 대한 우려를 해소하기 위한 방법으로 다양한 방법을 적용하려 하였으나 칼럼부(100)의 크기에 따라 다르지만 내부의 공간은 작업자가 들어가 작업할 수 있는 환경을 제공하지 않기 때문에 이격부(111)를 이용하여 복수 개의 보강판(120)을 삽입 교차 적층하여 이를 보강하도록 하는 실시 예이다.

이때 보강판(120)의 제2 연통홀(121)은 콘크리트를 타설할 때 콘크리트가 서로 다른 공간으로 용이하게 흘러갈 수 있도록 하는 것이며, 칼럼유닛(110)에도 길이 방향으로 이격부(111)를 중심으로 관통한 제1 연통홀(112)에 의하여 콘크리트의 흐름이 용이하도록 하였다.

또한, 상기 보강판(120)의 상부와 하부 중앙에는 각각 수직으로 절개되며 입구 부분은 폭이 확장되는 제1 삽입절개부(123)가 형성되어 상기 칼럼부(100)의 서로 마주보는 이격부(111)의 사이를 통과하는 방식으로 삽입된 후 다른 보강판(120)이 수직 교차하는 방향으로 삽입되어 상기 제1 삽입절개부(123)가 상호 결합되도록 구성됨을 특징으로 하는 구조를 제시하였다.

이러한 구조는 보강판(120) 상호 간에 제1 삽입 절개부(123)에 의한 맞물림 결합은 수평방향의 충격에 인접한 보강판(120)의 경계에 별다른 결합 수단이 없는 우려를 해소하도록 용접이나 볼트의 방법이 아닌 제1 삽입 절개부(123)에 의하여 억지끼움으로 맞물림하도록 하는 것이다.

도 3은 본 발명의 일 실시 예에 따른 보강판 배치의 예를 나타낸 개념도로서, 상기 칼럼부(100)는 상단과 하단 그리고 필요에 따라 중간에 하나 이상의 거더가 연결되면 여기에서 모멘트를 견딜 수 있는 구조가 필요하게 되며 그 일 예로 상기 보강판(120) 중 칼럼부(100)의 양측 단부에 위치한 2~3개의 보강판(120)은 상하 길이가 70% 이하의 작은 크기가 삽입 배치됨을 특징으로 하는 모멘트 접합이 가능한 삼각형 기둥의 결합구조를 제시한 것이다.

즉 같은 공간에 더 많은 수의 보강판(120)이 형성되도록 하여 단부모멘트와 휨저항력을 향상시킬 수 있는 구조를 가지게 되며 상기 실시 예는 상단과 하단을 보강하기 위한 예를 제시한 것이다.

또한 중간에 거더가 연결되는 구조일 경우에는 중간에도 길이가 짧은 보강판(120)에 의하여 보강하도록 하여 휨저항력을 향상시키도록 하는 것이며, 사용자는 보강판(120)은 철재로 비용이 발생하는 것으로 최소한 보강판(12)으로 최대한의 효과를 얻을 수 있도록 하는 치밀한 설계가 요구된다.

도 4는 본 발명의 제1 확대 실시 예에 따른 보강판 결합구조를 나타낸 개념도로서, 상기 보강판(120)의 상단에는 하나 이상의 수직으로 절개된 제2 삽입절개부(124)가 추가로 형성되고; 하부에 상기 제2 삽입절개부(124) 중 하나와 교호하여 결합하도록 하부에 제3 삽입절개부(125)가 형성된 판상의 제1 보강부재(125)를 추가로 구비함을 특징으로 하는 실시 예를 추가로 제시하였다.

상기 실시 예는 추가적인 제1 보강부재(125)에 의하여 해당 부분의 휨모멘트에 대하여 보다 큰 저항력을 가질 수 있도록 하는 구조를 제시한 것이다.

도 5는 본 발명의 제2 확대 실시 예에 따른 보강판 결합구조를 나타낸 개념도로서, 상기 보강판(120) 중 수직으로 상하 결합하는 한 쌍 이상의 보강판(120)은 결합하는 상부와 하부 제1 삽입절개부(123) 길이의 합이 상부에 위치하는 보강판(120)의 길이와 동일하게 형성되며; 짧은 원통형의 형상을 가진 제2 보강부재(127)가 상부에 노출된 4개의 제2 삽입절개부(124)에 삽입 고정되도록 구성됨을 특징으로 하는 실시 예를 나타내었다.

상기 실시 예는 기존에는 거더를 연결할 때 보강판(120)의 방향에 따라 휨저항력이 다르게 발생할 우려가 있으나 본원은 십자로 교차하는 형상을 가지도록 하고 추가적으로 제2 보강부재(127)를 장착하면 네 방향 모두에서 고르게 휨저항력을 증가시키고 물성을 대폭 향상되도록 하는 것이다.

도 6은 본 발명의 제3 확대 실시 예에 따른 보강판 결합구조를 나타낸 개념도로서, 상기 보강판(120) 중 수직으로 상하 결합하는 한 쌍 이상의 보강판(120)은 결합하는 상부와 하부 제1 삽입절개부(123) 길이의 합이 상부에 위치하는 보강판(120)의 길이와 동일하게 형성되며; 상부에 노출된 4개의 제2 삽입절개부(124)에는 원형 또는 사각형으로 절곡된 고정철근(128)이 고정됨을 특징으로 하는 실시 예를 나타내었다.

이러한 실시 예는 도 5의 예와 같이 단부를 보강하기 위한 실시 예로 철근을 절곡하여 장착하도록 하는 것이며 상황에 따라 금속와이어를 경로에 따라 권취하도록 하여 동일한 효과를 얻을 수 있게 되며, 이 경우 제2 삽입절개부(124)의 형상을 각각 철근 또는 와이어에 적합하도록 변형할 수 있다.

도 7은 본 발명의 제4 확대 실시 예에 따른 보강판을 나타낸 개념도로서, 상기 보강판(120)은 상단 또는 하단의 중앙이 수직으로 길게 연장되는 연장리브(129)가 형성되어 그 끝단에 수직으로 절개되며 입구 부분은 폭이 확장되는 제1 삽입절개부(123)가 형성되며, 상기 연장리브(129)에는 돌출 또는 함몰되어 수직으로 연장되는 하나 이상의 보강돌출부(130)를 구비함을 특징으로 하는 실시 예를 나타내었다.

본원의 보강판(120)은 각종 물성을 보강하도록 하고 있으나 가격이 비싼 금속재이며 하중을 증가시키는 원인이 된다.

따라서 최소의 보강판(120)을 적용시킴이 바람직하며 연장리브(129)가 형성될 경우에는 최소한의 무게로 길이를 확보할 수 있게 되며, 이때 보강돌출부(130)에 의하여 연장리브(129)의 휨모멘트에 대한 저항력을 증가시키도록 한 것이다.

상기에서는 본 발명의 바람직한 실시예를 참조하여 설명하였지만, 해당 기술 분야의 숙련된 당업자는 하기의 특허 청구의 범위에 기재된 본 발명의 사상 및 영역으로부터 벗어나지 않는 범위 내에서 본 발명을 다양하게 수정 및 변경시킬 수 있음을 이해할 수 있을 것이다.

○ 부호의 설명

100 : 칼럼부

110 : 칼럼유닛

120 : 보강판

130 : 보강돌출부

○ 특허청구범위

○ 청구항 1

중앙부는 철골 보, 양측 단부는 강성이 증대된 합성 보로 이루어진 거더(Girder) 및 이와 접합되는 기둥(Column)의 보강구조를 이용한 보와 기둥의 결합구조에 있어서;

상기 결합구조는 소정의 두께를 가지는 강판의 정중앙이 직각으로 절곡된 후양측은 동일한 길이에서 상호 마주 보는 방향으로 절곡되어 연장되는 직각 이등변삼각형 형상을 가지며, 직각인 부분과 마주보는 변은 양측 끝단이 1cm 이하의 폭으로 이격되어 길이 방향으로 연장되는 이격부(111)와, 상기 이격부(111)를 포함하여 원 또는 사각형 형상으로 관통되는 제1 연통홀(112)을 구비하는 네 개의 칼럼유닛(110)이 직각인 부분이 사각 기둥의 모서리를 이루도록 배치되고 인접한 칼럼유닛(110)의 모서리끼리 접합 용접되어 접합부(113)를 형성하여 일체형의 CFT(Concrete Filled Steel Tube) 기둥으로 구성되어지는 칼럼부(100)와;

1cm 미만의 두께를 가지는 판형으로 이루어져 복수 개의 관통된 제2 연통홀(121)이 형성되며, 양측 끝단은 서로 마주보는 이격부(111)의 사이를 통과한 후 원형으로 말리는 걸림부(122)가 형성되어 고정되는 복수 개의 보강판(120)을 포함하는 것을 특징으로 하는 모멘트 접합이 가능한 삼각형 기둥의 결합구조.

○ 청구항 2

제 1항에 있어서, 상기 보강판(120)의 상부와 하부 중앙에는 각각 수직으로 절개되며 입구 부분은 폭이 확장되는 제1 삽입절개부(123)가 형성되어 상기 칼럼부(100)의 서로 마주보는 이격부(111)의 사이를 통과하는 방식으로 삽입된 후 다른 보강판(120)이 수직 교차하는 방향으로 삽입되어 상기 제1 삽입절개부(123)가 상호 결합되도록 구성됨을 특징으로 하는 모멘트 접합이 가능한 삼각형 기둥의 결합구조.

○ 청구항 3

제 2항에 있어서, 상기 보강판(120) 중 칼럼부(100)의 양측 단부에 위치한 2~3개의 보강판(120)은 상하 길이가 70% 이하의 작은 크기가 삽입 배치됨을 특징으로 하는 모멘트 접합이 가능한 삼각형 기둥의 결합구조.

○ 청구항 4

제 2항에 있어서, 상기 보강판(120)의 상단에는 하나 이상의 수직으로 절개된 제2 삽입절개부(124)가 추가로 형성되고;

하부에 상기 제2 삽입절개부(124) 중 하나와 교호하여 결합하도록 하부에 제3 삽입절개부(125)가 형성된 판상의 제1 보강부재(125)를 추가로 구비함을 특징으로 하는 모멘트 접합이 가능한 삼각형 기둥의 결합구조.

○ 청구항 5

제 4항에 있어서, 상기 보강판(120) 중 수직으로 상하 결합하는 한 쌍 이상의 보강판(120)은 결합하는 상부와 하부 제1 삽입절개부(123) 길이의 합이 상부에 위치하는 보강판(120)의 길이와 동일하게 형성되며;

짧은 원통형의 형상을 가진 제2 보강부재(127)가 상부에 노출된 4개의 제2 삽입절개부(124)에 삽입 고정되도록 구성됨을 특징으로 하는 모멘트 접합이 가능한 삼각형 기둥의 결합구조.

○ 청구항 6

제 4항에 있어서, 상기 보강판(120) 중 수직으로 상하 결합하는 한 쌍 이상의 보강판(120)은 결합하는 상부와 하부 제1 삽입절개부(123) 길이의 합이 상부에 위치하는 보강판(120)의 길이와 동일하게 형성되며;

상부에 노출된 4개의 제2 삽입절개부(124)에는 원형 또는 사각형으로 절곡된 고정철근(128)이 고정됨을 특징으로 하는 모멘트 접합이 가능한 삼각형 기둥의 결합구조.

○ 청구항 7

제 2항에 있어서, 상기 보강판(120)은 상단 또는 하단의 중앙이 수직으로 길게 연장되는 연장리브(129)가 형성되어 그 끝단에 수직으로 절개되며 입구 부분은 폭이 확장되는 제1 삽입절개부(123)가 형성되며, 상기 연장리브(129)에는 돌출 또는 함몰되어 수직으로 연장되는 하나 이상의 보강돌출부(130)를 구비함을 특징으로 하는 모멘트 접합이 가능한 삼각형 기둥의 결합구조.

○ 요약서

○ 요약

본 발명은 모멘트 접합이 가능한 삼각형 기둥의 결합구조에 관한 것으로서, 강관에 콘크리트를 채워 형성하는 기둥이 높이가 높아질 수록 좌굴이 발생하는 것을 방지하기 위하여 강판을 절곡시켜 형성된 네 개의 직삼각형의 조합으로 이루어지는 기둥이 보다 안정적으로 결합 시공될 수 있도록 하기 위하여 개발된 것으로; 중앙부는 철골 보, 양측 단부는 강성이 증대된 합성 보로 이루어진 거더(Girder) 및 이와 접합되는 기둥(Column)의 보강구조를 이용한 보와 기둥의 결합구조에 있어서;

상기 결합구조는 소정의 두께를 가지는 강판의 정중앙이 직각으로 절곡된 후양측은 동일한 길이에서 상호 마주 보는 방향으로 절곡되어 연장되는 직각 이등변삼각형 형상을 가지며, 직각인 부분과 마주보는 변은 양측 끝단이 1cm 이하의 폭으로 이격되어 길이 방향으로 연장되는 이격부와, 상기 이격부를 포함하여 원 또는 사각형 형상으로 관통되는 제1 연통홀을 구비하는 네 개의 칼럼유닛이 직각인 부분이 사각 기둥의 모서리를 이루도록 배치되고 인접한 칼럼유닛의 모서리끼리 접합 용접되어 접합부를 형성하여 일체형의 CFT(Concrete Filled Steel Tube) 기둥으로 구성되어지는 칼럼부와;

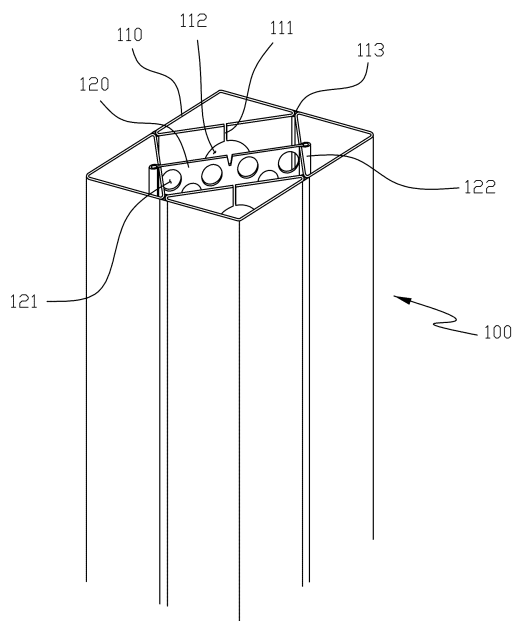
1cm 미만의 두께를 가지는 판형으로 이루어져 복수 개의 관통된 제2 연통홀이 형성되며, 양측 끝단은 서로 마주보는 이격부의 사이를 통과한 후 원형으로 말리는 걸림부가 형성되어 고정되는 복수 개의 보강판을 포함하는 것을 특징으로 하는 모멘트 접합이 가능한 삼각형 기둥의 결합구조에 관한 것이다.

○ 대표도

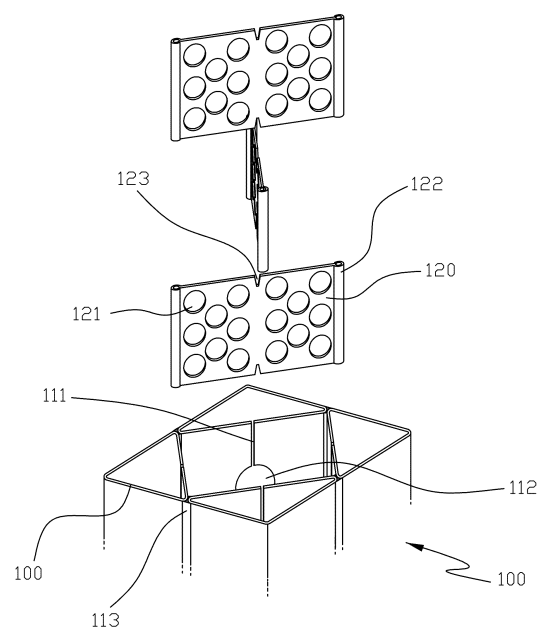
도 1

○ 도면

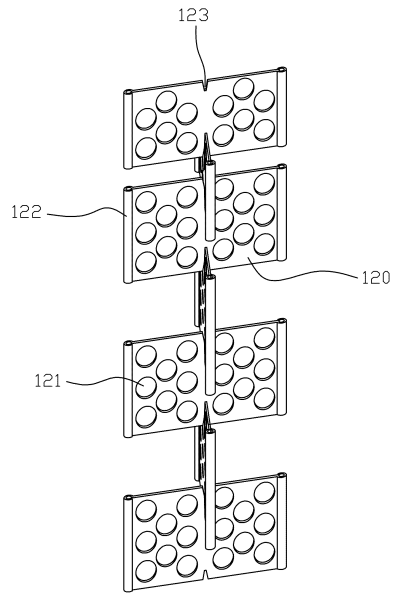
○ 도 1



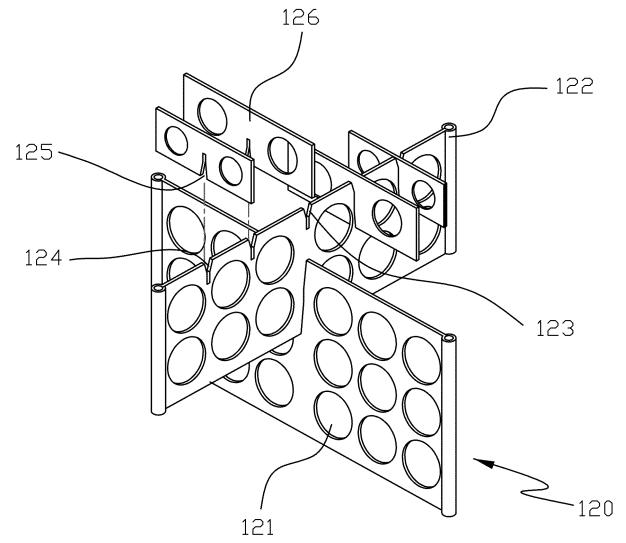
○ 도 2



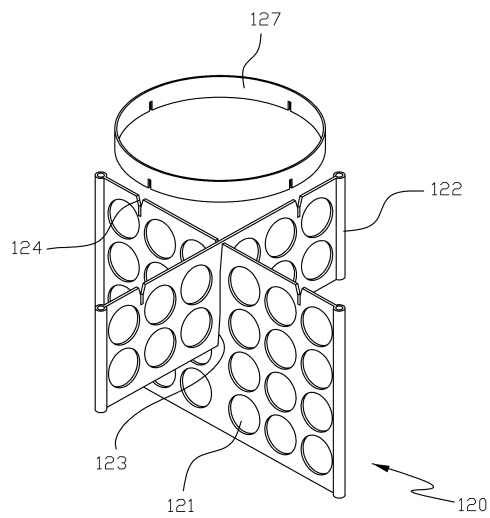
○ 도 3



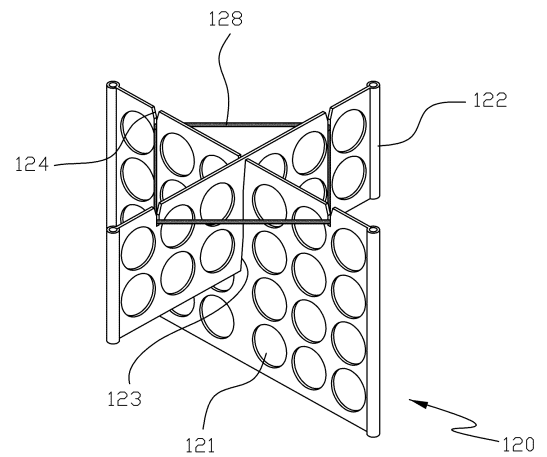
○ 도 4



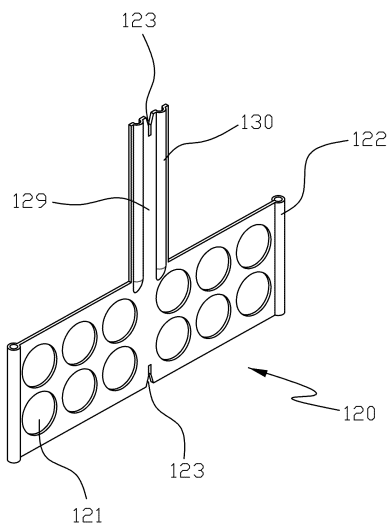
○ 도 5



○ 도 6



○ 도 7



[과제정보]

- 1) 과제고유번호:20CTAP-C158218-01
- 2) 부처명:국토교통부/국토교통과학기술진흥원
- 3) 연구사업명:국토교통기술촉진연구사업
- 4) 연구과제명:지하대공간 구현시 역타공법이 가능한 삼각 유닛 CFT기둥과 단순 패널의 모멘트 접합부 개발
- 5) 수행기관명: 동신대학교산학협력단(주관), 세진알앤에스(공동), 삼원중공업(공동)
- 6) 연구기간: 2020. 04. 01 - 2021. 12. 31(21개월)

핵심성과 2	연구계획서 제시												
정의	개발 합성구조 시스템의 구조성능 검증												
목적	개발기술의 구조성능을 검증하여 개발기술의 안전성 및 신뢰성 확보												
성능목표	실험 및 해석적 연구를 통하여 요구 구조성능 확보 (기존 합성구조 시스템 대비 동등 이상의 구조성능 및 구조성능 확보)												
성과달성 책임자 (소속기관)	오재열(세진알앤에스) 최현수(삼원중공업)												
소요기간	2020.08 ~ 2021.07(12개월, 1~2년차)												
성과달성 확인방법	- 해석적 연구를 통한 구조성능 평가 - 실험적 연구를 통한 구조성능 검증 - 개발기술의 실험적·해석적 연구에 관한 논문게재 - 개발기술에 적합한 강도산정방법 및 설계법 제안												
성과달성에 다른 정량적 성과	<table> <tr> <td>특허 출원/등록</td><td>0건</td></tr> <tr> <td>논문</td><td>2건</td></tr> <tr> <td>저작</td><td>0건</td></tr> <tr> <td>S/W</td><td>0건</td></tr> <tr> <td>신기술</td><td>0건</td></tr> <tr> <td>기타</td><td>구조성능실험: 2건</td></tr> </table>	특허 출원/등록	0건	논문	2건	저작	0건	S/W	0건	신기술	0건	기타	구조성능실험: 2건
특허 출원/등록	0건												
논문	2건												
저작	0건												
S/W	0건												
신기술	0건												
기타	구조성능실험: 2건												

○ 핵심성과 2 요약: SCI급 논문 게재 1건/학회 논문 게재 1건



Steel-concrete composite beam-column connections utilizing prefabricated permanent steel form

Il-Seung Yang^a, Deuckhang Lee^{b,c}, Hyunjin Ju^c, Se-Jung Lee^d, Jae-Yuel Oh^e

^aDepartment of Architectural Engineering, Dongshan University, 67 Dongshangdae-gil, Naju, Chuanam, 58245, Republic of Korea
^bDepartment of Architectural Engineering, Chungbuk National University, 1 Chungdae-ro, Seowon-gu, Cheongju, Chungbuk, 28664, Republic of Korea
^cSchool of Architecture and Design Convergence, Hankyung National University, 327 Gangneung-ro, Ansan, Gyeonggi, 17579, Republic of Korea
^dDepartment of Architectural Engineering, University of Seoul, 163 Seowangdae-ro, Dongjak-gu, Seoul, 02504, Republic of Korea
^eSELIN Structure Construction Maintenance Co., 33 Hyeonpyeong-ro 4th fl, Seongju, Seoul, 06670, Republic of Korea

ARTICLE INFO

Keywords:
Composite beam
Connection
Seismic performance
Permanent steel plate form
Special steel moment frame

ABSTRACT

To facilitate fast-built and economical constructions, a unique composite moment frame system with prefabricated permanent steel form is presented. A conventional steel wide flange beam is used at the mid-span of horizontal member which has typically small design forces. The so-called composite mechanism between the concrete and steel is utilized selectively on the beam-column connection regions of the moment frame structure, which requires higher strength and ductility demands compared to those in the mid-span. For this purpose, the permanent steel plate forms are prefabricated to the beam-column connection regions before composite with cast-in-place concrete. Since the steel beam is first connected to the steel columns, no additional false work requires during constructions, and high seismic performances can be secured at the beam-column joints, where the structural integrity should be firmly ensured. In this study, full scale cyclic loading tests were carried out considering the various details at the connection regions as the key experimental variables to evaluate the seismic performances of the proposed composite system. Test results showed that the proposed method fully satisfies the required performances to be accepted as the composite special moment frame specified in the current design code.

1. Introduction

According to common design practice of steel construction, the size of wide flange beam (WFB) is generally determined by the maximum design bending moment and shear force required in the beam-column connection region [1–3]. Therefore, the available design strength is considerably larger than required strength in the mid-span of a steel moment-resisting frame, which means uneconomical designs have been often made in current steel design practice [3,6]. It is well known that the structural steel materials have excellent mechanical properties in terms of the ductility and strength [7], while its price as a raw material is much more expensive among usual construction materials. In addition, the steel construction industry is inevitably very sensitive to the trading markets due to large fluctuations in the price of steel products [8–16]. Therefore, better structural design could be obtained if the cross-sectional size of WFB is optimized in a steel moment-resisting frame. In this study, a unique composite beam-column connection with a prefabricated permanent steel form (PPSF) is developed to realize an efficient structural system considering the common design practice of the current composite construction. Fig. 1 shows the key concept and advantages of the proposed composite beam-column connection

* Corresponding author.
E-mail addresses: yang1009@dsu.ac.kr (I.-S. Yang), dh@dsu.ac.kr (D. Lee), hju@hkn.ac.kr (H. Ju), sejun@hankyu.ac.kr (S.-J. Lee), hahyungpy@naver.com (J.-Y. Oh).

https://doi.org/10.1016/j.jbe.2021.103836
Received 16 June 2021; Received in revised form 25 November 2021; Accepted 6 December 2021
Available online 7 December 2021
2352-7102/© 2021 Elsevier Ltd. All rights reserved.

Journal of Korean Society of Steel Construction
Vol.33, No.6, pp.395-401, December, 2021

ISSN(Print) 1226-363X, ISSN(Online) 2287-4054
DOI: https://doi.org/10.7781/kpsn.2021.33.6.395

플레이트를 통해 인장력이 축직각방향으로 작용하는 CFT기둥에 대한 실험적 연구

오재열¹ · 이세창² · 전진우³ · 최성모⁴ · 양일승⁵

¹소장, 세진알앤에스, ²대표, 세진알앤에스, ³과장, 세진알앤에스, ⁴교수, 서울시립대학교, 건축공학과, ⁵교수, 동진대학교, 건축공학과

An Experimental Study on the CFT Column in Which the Tensile Force Acts in the Axial Perpendicular Direction Through the Steel Plate

Oh, Jae Yuel¹, Lee, Se Jung², Jeon, Jin Woo³, Choi, Sung-Mo⁴, Yang, Il Seung⁵

¹Research Engineer, Sejin R&S, Seoul, 04788, Korea
²Chief Executive Officer, Sejin R&S, Seoul, 04788, Korea
³Manager, Sejin R&S, Seoul, 04788, Korea
⁴Professor, Department of Architectural Engineering, University of Seoul, Seoul, 02504, Korea
⁵Professor, Department of Architectural Engineering, Dongshan University, Naju, 58245, Korea

Abstract - In order to overcome the problem that the existing CFT column required complex beam-column joints, CFT column manufactured by combining triangular units and CFT columns with a double web were developed. In the case of the CFT column manufactured as a triangular unit, the same effect as that of installing the stiffener can be expected since the corner of the triangular unit is located at the center of each face, and the CFT column with double web is expected to have excellent manufacturing and workability. In order to verify the resistance performance of the developed CFT column against the tensile force, a existing CFT and developed were manufactured and plates were installed on both sides to apply the tensile force. As a result of the experiment, the CFT column to which the triangular unit was combined showed a more uniform load distribution on the plate compared to the existing CFT column, but was brittle destroyed at both ends of the plate. Among them, the CFT column with the double web can secure both strength and ductility, indicating that it is structurally excellent.

Keywords - Square shape steel tube, Tensile force, Nonuniform load distribution, Yield strength, With-thickness ratio

1. 서론

최근 도시의 사무실 및 상업용 건물은 한정된 부지의 효율적인 이용을 위하여 고층화되고 있으며 이러한 건축물의 고층화로 기둥과 보와 같은 주요 부재의 결합부는 자중에 의한 반력하중에 견딜 수 있도록 높은 전응을 확보하는 것은 매우 중요하다. 또한, 초고층 건축은 용도가 다양하고 복

잡하기 때문에, 종래의 구조의 제약 조건을 극복하고 강스텐 구조 및 공간의 효과적 이용을 가능하게 하는 구조형식이 요구되고 있다.

일반적으로 사용되는 콘크리트 충전 강형강관(Concrete filled tube, CFT)은 단면강도가 높은 강관을 외부에 배치하여 코멘트에 효과적으로 지지하고, 압축력에 효과적으로 저항하는 콘크리트를 내부에 다짐하는 합성기둥이다. 강관의 압축력에 대한 저항능력의 향상을 기대할 수 있고 콘크리트에 의해 강관의 국부파괴를 방지하기 때문에 높은 강도와 연성을 확보할 수 있는 우수한 합성구조시스템이다. 건축구조기준(KBC 2016)에서는 CFT기둥은 구조성능 및 전성하중을 위해 기둥의 단면의 폭(B)에 대한 강관의 두께(t)의 비율인 전력두께비(B/t)를 제한하고 있다. 전력두께비의

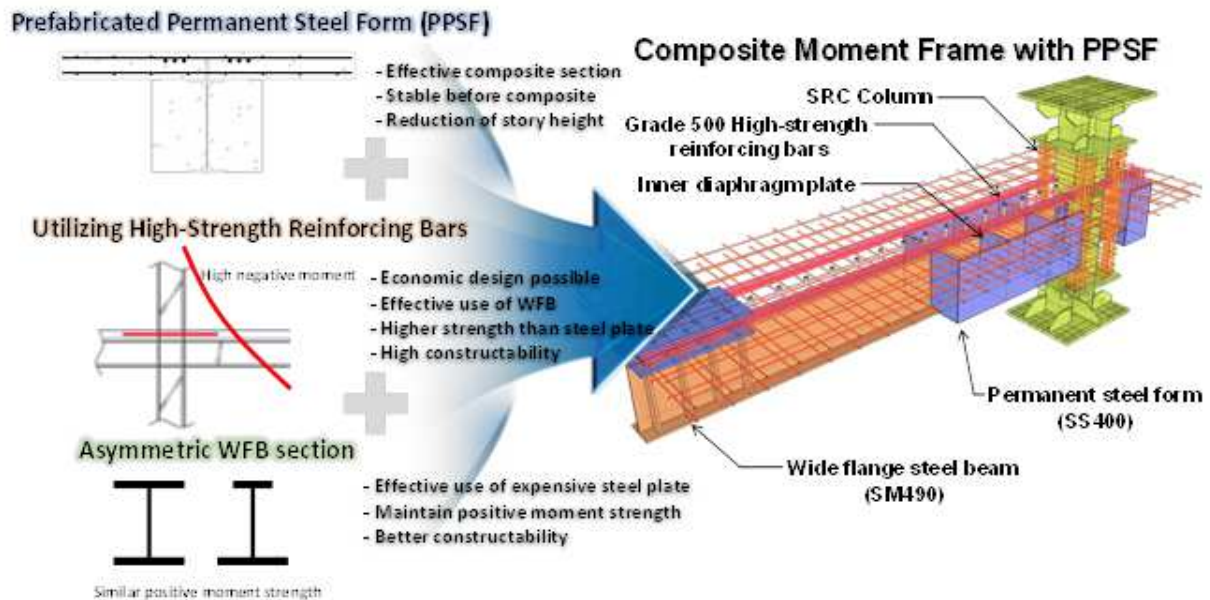
한국건축구조학회 논문 제33권 제6호(통권 제173호) 2021년 12월 395

SCI급 논문 게재 1건: Steel-Concrete Composite Beam-Column Connections Utilizing Prefabricated Permanent Steel Form
 학회 논문 게재 1건 : 플레이트를 통해 인장력이 축직각방향으로 작용하는 CFT기둥에 대한 실험적 연구

▶ 논문 게재 내용 요약

- SCI급 논문 게재 1건: Steel-Concrete Composite Beam-Column Connections Utilizing Prefabricated Permanent Steel Form

: Graphical Abstract



○ INTRODUCTION

According to common design practices of steel construction, the size of wide flange beam (WFB) is generally determined by the maximum design bending moment and shear force required in the beam-column connection region [1-4]. Therefore, the available design strengths are considerably larger than the cross-sectional size actually required in the mid-span of a steel moment-resisting frame, and this means uneconomical designs have been often made in current steel design practices [5,6]. It is well known that the structural steel materials have excellent mechanical properties in terms of the ductility and strength [7], while its price as a raw material is much more expensive among usual construction materials. In addition, the steel construction industry is inevitably very sensitive about the trading markets due to large fluctuations in the final price of steel products [8-16]. Therefore, better structural design can be realized by optimizing the cross-sectional size of WFBs in a steel moment-resisting frame. In this study, a unique composite beam-column connection system with a prefabricated permanent steel form (PPSF) is developed to realize an efficient structural system considering the common design practice of the current composite construction. Fig. 1 shows the key concept and advantages of the proposed composite beam-column connection system with the PPSF method. In the proposed method, the serviceability and ultimate strength design can be done by utilizing the conventional WFBs at the mid-span region, where small strength and deformation capacity demands are typically expected. On the other hand, the steel-concrete composite section combined with high-strength reinforcing bars can be selectively adopted only within the beam-column connection regions by utilizing the prefabricated permanent steel form to actively correspond higher strength and ductility demands than those in the mid-span. In addition, asymmetric WFBs can also be introduced to save expensive steel materials. Fig. 2 shows an example of the actual field applications of the proposed system in South Korea. In the proposed method, the prefabricated permanent steel forms (PPSF) were welded to WFB in the steel fabrication factory. Therefore, by placing cast-in-place

(CIP) concrete on connection regions including reinforced concrete (RC) slabs altogether, it is possible to ensure proper structural integrity at the connection regions as a monolithic composite construction. High-strength reinforcing bars can be considered as the tension reinforcements of the steel-concrete composite section at the connection regions, and thus the size of WFBs can be reduced. The required size of the top flanges in WFBs is typically smaller than that of the bottom flanges, because the RC slab at the mid-span can provide enough compression resistances. Therefore, by adopting the asymmetric WFB, as shown in Fig. 1, much higher economic efficiency can be achieved. Numerous steel-concrete composite systems have been developed in existing studies [13,17-29]. Despite such research efforts, there is still a limited number of the studies on the beam-column connection of composite moment frames, which are the most important component in the seismic design. In this study, to evaluate the seismic performances of the proposed steel-concrete composite connection system, reversed cyclic loading tests were conducted, and the target performance is set to be accepted as the special composite moment frame specified in the current design codes.

○ **Experimental Program**

○ **Construction procedures**

As shown in Fig. 2, in the proposed system, a steel WFB with the prefabricated steel plate form is erected and installed on a construction site, and CIP concrete is then placed, which can integrate the pre-installed steel frame and reinforced concrete slab. Since the WFB possess enough strength and rigidity during the construction stage, no additional temporary falsework is required in the field. At the beam-column connection regions of the proposed system, high-strength reinforcing bars are provided in the RC slab to resist the negative bending moment with the top flange of WFB, and the WFB can resist the positive bending moment at the mid-span with the large concrete slab flange in compression. In other words, in the proposed method, since the permanent formwork is introduced partially within the beam-column connection regions, where the maximum bending moment is expected, the size of the steel WFB can be significantly reduced at the mid-span. The composite beam method proposed in this study was initially aimed to be applied together with the steel-concrete composite (SRC) column, and its applications can be flexibly extended to various types of columns, as shown in Fig. 3.

○ **Specimens**

A typical exterior beam-column connection was chosen from the actual design results of 15-story office building in Seoul, South Korea, to determine the dimensional details of test specimens. The structural design of the target building was made to meet the special composite moment-resisting frame specified in the ASCE-7 [30] and AISC [31] pre-qualified connection details.

The actual material properties obtained from the testing are shown in Table 1. As shown in Table 2, a total of three specimens were fabricated and tested in this study, and the steel-reinforced composite (SRC) columns were used for all the specimens, where the size of the SRC column section was 600x600 mm, and the size of the steel wide flange member inside the SRC columns was W-300x300x10x15. Figs. 4 and 5 show the dimensional details of the test specimens. In the case of the S1 specimen, W-500x200x10x16 was used to satisfy the design bending moment required at the mid-span of the beam member.

For the S2 and S3 specimens, the width of the top flanges was smaller than the bottom flange in half by utilizing the WFB with the asymmetric section, and its size was W-500x100x200x10x16. Though smaller asymmetric section was used in the S2 and S3 specimens, their positive moment strength is still almost the same with that of the S1 specimen, and thus the more efficient and economical

design is possible for the S2 and S3 specimens. The thickness of the steel plates for the permanent forms was 4.5 mm, and, as shown in Fig. 5, in the case of S1 and S2 specimens, the permanent steel forms were welded to the bottom flange of the WFB and additional steel channels are provided to prevent the any failure in formworks induced by the side pressure of concrete. On the other hand, in the case of S3 specimen, three 4.5 mm inner diaphragm plates were welded between the permanent steel form and WFB, wherein 200 mm diameter holes were introduced to ensure better composite actions and lateral pressure resistance induced by CIP concrete, and it can also make sure that the concrete can be poured tightly inside the permanent steel forms. The width and thickness of the reinforced concrete slab (i.e., the concrete flange after composite) were 1,600 mm and 150 mm, respectively, as shown in Fig. 5.

○ Test set-up and measurements

Reversed cyclic loading tests were conducted at the multi-purpose experiment station in Songdo, South Korea, and Fig. 6(a) shows the details of the testing set-up and apparatus. The special steel zigs were connected to the top and bottom of the test specimen and fixed to the high stiffness reaction wall with two hinges. The predefined cyclic loadings were applied to the beam under the displacement control using 1,000 kN capacity actuator attached to the high-stiffness steel reaction frame and strong floor. As shown in Fig. 7, the reversed cyclic loading protocol presented in ANSI/AISC 341 [33] was adopted in this study. The story drift ratios were calculated as the vertical displacement of the beam member measured at loading point divided by the distance from the center line of the composite column to the loading point. When the drift ratios are 0.375%, 0.5%, and 0.75%, the same loading cycle was applied six times, while four times were applied for 1.0% drift ratio, after which 2 times of the same loading cycle were repeated to consider the strength and stiffness degradation behaviors. As shown in Fig. 6(b), a total of nine LVDTs were installed to monitor the displacements of the test specimen. Where the story drift ratios were measured using the LVDT number 9 installed at the point of the loading application. The rotation angles of the composite column member were measured by LVDTs No. 3 and No. 4 located at 200 mm apart from the beam-column joints [34]. Two diagonal LVDTs (LVDT No. 1 and No. 2) were also placed to measure the panel zone shear deformations. Several strain gauges were attached to measure the strain behaviors of the reinforcing bars and top and bottom flanges at the section located at 300 mm from the column face, as shown in Fig. 6(b).

○ Experimental Results

○ Cyclic load-drift responses

In AISC seismic design provisions [33], it is stipulated to secure the minimum drift capacity of 0.04, 0.02 and 0.01 radians for the special composite moment frame (SMF, $R=8$), intermediate composite moment frame (IMF, $R=5$), and ordinary moment frame (OMF, $R=3$), based on the response modification factor (R) specified in ASCE-7 [30], respectively. In addition, during the cyclic loading test, the composite beam-column connection can complete at least one cycle at 4.0% drift ratio, and the lateral load shall not be smaller than 80% of the nominal strengths both in the positive and negative directions [31, 33].

Figs. 8(a) and 9(a) show the cyclic load-drift responses and key observations of the S1 specimen, respectively. The S1 specimen adopted the conventional WFB with the symmetrical cross section, and no diaphragm plate was inserted in the permanent steel form. The S1 specimen showed almost no significant strength reduction up to 4.0% drift ratio, and the seismic performances of the special composite moment-resisting frame were fully satisfied. As shown in Table 3, the test results showed that the peak moment strengths were quite similar in the negative and positive loading directions. As

shown in Fig. 9(a), the flexural cracks were initially observed at the top surface of the concrete flange at 0.375% drift ratio in the negative direction, and no stiffness degradation was observed after cracking in the concrete slab. Then the load increased again in a linear manner. Several vertical cracks were observed in the panel zone of the composite column at 0.5% drift ratio, but the overall cyclic response of the S1 specimen was not affected by those panel zone cracks. At 0.75% drift level, diagonal tension cracks were observed in the panel zone, and the top flange at the beam-column connection reached its yield strain. At 1.0% drift ratio, the bottom flange yielded in the positive loading direction, and the high-strength reinforcing bars placed at the concrete flange yielded at 1.5% drift ratio in the negative direction. The flexural strengths of the composite beam-column connection were higher than the estimated nominal strengths shown in Table 3 both in the positive and negative directions until 4.0% drift ratio, in which two loading cycles were fully completed. As shown in Fig. 9(a), the S1 specimen was finally failed at the first loading cycle of 5.0% drift ratio, at which the bottom plate of the permanent steel form was separated from the composite beam, and the concrete was crushed in the SRC column below the bottom flange of the composite beam.

Figs. 8(b) and 8(c) show the cyclic load-drift responses of the S2 and S3 specimens, respectively, and their crack patterns and key observations were also shown in Figs. 9(b) and 9(c), respectively. In the S2 and S3 specimens, as shown in Figs. 5(b) and 5(c), the WFBs with the asymmetric cross section were adopted, and the widths of the top flanges in the WFBs were half of the S1 specimen. Both the specimens were identical in all other conditions, but the inner diaphragm plates were provided in the permanent steel form only to the S3 specimen. For the S2 and S3 specimens, the flexural cracks were initially occurred at the top surfaces of the concrete flange at 0.375% drift ratio as observed in the S1 specimen, and no remarkable stiffness reduction was observed. As shown in Fig. 9(b), diagonal cracks were observed in the panel zone at 0.5% drift level in the positive loading direction. The high-strength reinforcing bars and top flange yielded at the 1.0% drift ratio in the negative direction, and the bottom flange also yielded at the same drift ratio in the positive direction. The yielding of the reinforcing bars and flanges was observed quite earlier than the S1 specimen. For the S2 specimen, at 2.0% drift ratio, the bottom plate of the permanent form began to separate from the bottom flange of the WFB. At 4.0% drift ratio, the S2 specimen showed enough strength and stiffness, which was clearly higher than the calculated nominal strengths both in the positive and negative directions, but the welding failure was occurred between the bottom flange and permanent steel form. Nonetheless, all the loading cycles were fully completed until 5.0% drift ratio. As shown in Fig. 9(c), for the S3 specimen, any separation and sign of failure were not observed in the permanent steel form until its ultimate state, and this is because the excellent composite performance was achieved by the inner diaphragms placed in the permanent steel form. The compressive crushing was observed in the composite column at 5.0% drift ratio though, the S3 specimen kept the stable cyclic responses without any strength degradation. Finally, the S3 specimen failed at 6.0% drift ratio. The S2 and S3 specimens showed the comparable or slightly improved flexural strengths, even though smaller top flanges were adopted compared to that of the S1 specimen. All the specimens tested in this study showed the excellent seismic performances, which fully satisfied all the requirements for the special composite moment-resisting frame specified in the current design code.

○ **Strain behaviors and energy dissipation performances**

Fig. 11 shows the strain behaviors measured from the strain gages attached to WFBs and reinforcing bars. Unfortunately, the strain gauges attached to the top flange and reinforcing bars of the S2 and S3 specimens did not measure the strains after 3.0% drift ratio due to unexpected damage. Thus, it cannot be confirmed experimentally whether the maximum strains of the top flange and reinforcing bars to reach the strain-hardening region or not. While, as expected, the top flanges and reinforcing

bars in all the specimens yielded in the negative direction, and their compressive strains in the positive direction were clearly lower than the yield strain due to the Bauschinger effect. The measured strains in the reinforcing bars placed at the beam-column connection were also higher when subjected to tension rather than compression, and this is due to the fact that flexural cracks were closed in compression, and thus the concrete and steel can resist together in compression [35]. It also appeared that the residual deformation due to the cracks in the concrete is quite large in high drift ratios when the direction of loading was reversed from the tension to compression. The Bauschinger effects were clearly observed from the strain behaviors of the bottom flanges in all the specimens. As described above, the maximum strains of the bottom flanges measured from the S2 and S3 specimens larger than that of the S1 specimen due to the relatively small size of the top flanges adopted in the S2 and S3 specimens. Fig. 12 shows the accumulative energy dissipations of the test specimens. All the specimens showed very similar cumulative energy dissipation behaviors up to 5.0% drift ratio. However, since S2 and S3 specimens showed the higher deformation capacity, higher cumulative energy dissipation was finally obtained in these specimens compared to the S1 specimen.

○ **Strength evaluations**

Fig. 13 shows the flexural strength estimation model of the steel-concrete composite section subjected to both the positive and negative bending moments [36].

○ **CONCLUSIONS**

In this study, the steel-concrete composite moment-resisting frame system with the prefabricated permanent steel form was newly developed to realize an efficient structural system by combining concrete and steel selectively in the beam-column connection region, where requires higher strength and deformation capacity than those required in the mid-span. In order to investigate the seismic performances of the proposed system, the full-scale reversed cyclic loading tests were carried out considering the various details of the WFB sections and permanent steel forms. On this basis, the following conclusions can be drawn:

- 1) It was confirmed that the PPSF method can facilitate the partial application of the composite section in the composite moment frame, and it also can provide the excellent constructability through the actual field applications.
- 2) From the full-scale cyclic loading tests, it can be thoroughly examined the seismic performances of the proposed composite moment frame method, and the composite beams with the PPSF showed the enough ultimate strengths up to 5.0% drift ratio. It was also confirmed that the proposed method can fully satisfy all the requirements to be accepted as a special composite moment frames specified in the current design codes.
- 3) The comparable strengths were obtained from the S2 and S3 specimens with relatively small top flange in the WFB compared to the S1 specimen. This indicates that the high-strength reinforcing bars and top flange could reach the strain-hardening region based on the larger rotational deformations occurred in the composite beam member of the S2 and S3 specimens compared to the S1 specimen. However, it could not be confirmed experimentally due to the unexpected malfunction in the strain gages attached in the reinforcing bars and top flanges.
- 4) The PPSF composite beam proposed in this study showed the excellent reserved strengths by 28% and 6% in the negative and positive bending moments, respectively, for the S1 specimen with the conventional symmetric WFB compared to the predicted strengths. While the S2 and S3 specimens utilizing the asymmetric WFB showed higher reserved strengths by 33% and 24% in the negative and positive directions, respectively.

5) All of the specimens showed the excellent energy dissipation performances, and better structural integrity and composite behaviors were secured when the inner diaphragm plates were provided in the permanent steel form.

○ ACKNOWLEDGEMENT

This work was supported by the National Research Foundation of Korea (NRF) grant funded by the Korea government (MSIT) (No. 2020R1F1A1048422). The authors also would like to acknowledge the support from the Korea Agency for Infrastructure Technology Advancement (KAIA) grant funded by the Ministry of Land, Infrastructure and Transport (Grant 20CTAP-C158215-01).

Table 1 – Material properties used in test specimens

Type		Yield strength, f_y or F_y (MPa)	Tensile strength, f_u or F_u (MPa)	Compressive strength, f_c' (MPa)
SM490 plate	10 mm	342.9	516.7	-
	15 mm	339.7	521.4	-
	16 mm	363.6	624.4	-
SS400 plate	10 mm	278.2	410.3	-
Reinforcing bar (Grade 500)	10 mm	548.5	661.9	-
	22 mm	522.6	731.1	-
Concrete (Grade 24)		-	-	26.7

Table 2 – Details of test specimens

Specimen name	S1 specimen	S2 specimen	S3 specimen
Steel (beam)*	W500x200x200x10x16	W500x100x200x10x16	
Steel (Column)	W300x300x10x15	W300x300x10x15	
Diaphragm**	X	X	○
Beam size (after composite)	600 mm x 500 mm		
Column size (after composite)	600 mm x 600 mm		
$A_{s,tot}$ (mm ²)	2322 (387.1x 6EA)		

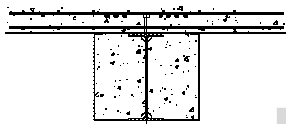
* W-hxbbxxtxtwxtf, where, h is the height of WFB, bb, bt, tw, and tf are the width and thickness of top and bottom flanges of WFB, respectively.

** Vertical diaphragm plates in PPSF shown in Fig. 5(c)

Table 3 – Comparisons of test results with analysis results

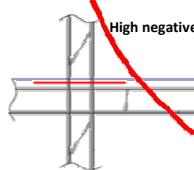
Specimen name	(1) $M_{N,test}$ (kN·m)	(2) $M_{P,test}$ (kN·m)	(3) $M_{N,cal}$ (kN·m)	(4) $M_{P,cal}$ (kN·m)	(1)/(3)	(2)/(4)
S1 specimen	-1513.4	1549.5	-1421.9	1212.4	1.06	1.28
S2 specimen	-1630.3	1569.4	-1226.6	1269.2	1.33	1.24
S3 specimen	-1692.6	1633.1	-1226.6	1269.2	1.38	1.29

Prefabricated Permanent Steel Form (PPSF)



- Effective composite section
- Stable before composite
- Reduction of story height

Utilizing High-Strength Reinforcing Bars



Asymmetric WFB section



Similar positive moment strength

- Economic design possible
 - Effective use of WFB
 - Higher strength than steel plate
 - High constructability
- Effective use of expensive steel plate
 - Maintain positive moment strength
 - Better constructability

Composite Moment Frame with PPSF

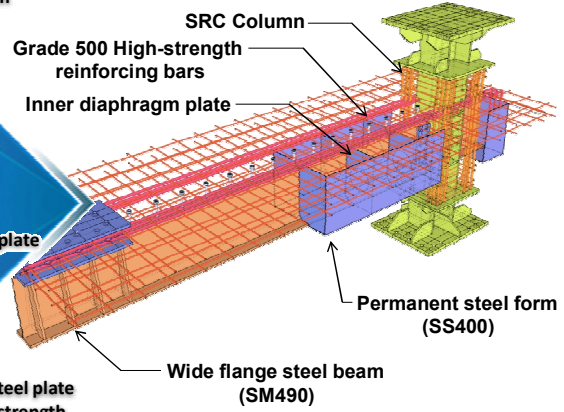


Fig. 1 – Key concept of proposed composite moment frame utilizing PPSF



(a) Prefabrication



(b) Erection and assembly



(c) slab decking with reinforcements



(d) Casting CIP concrete

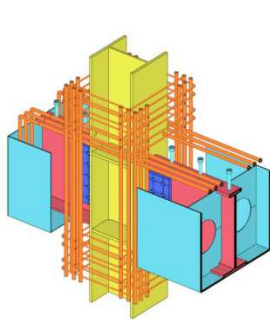


(d) Composite moment frame

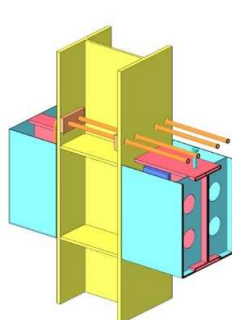


(e) Completion

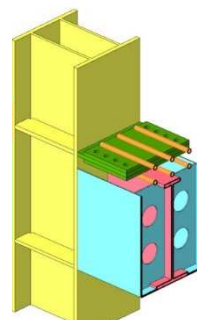
Fig. 2 – Field application of PPSF method in practice



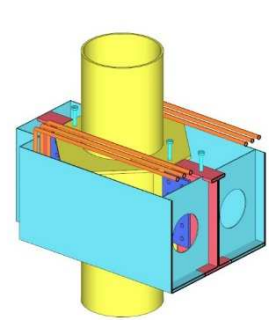
(a) SRC column



(a) Penetration



(b) Corner column



(d) CFT column

Fig. 3 – Adoptability of PPSF method for various frame system

(a) Elevation

(b) Plan

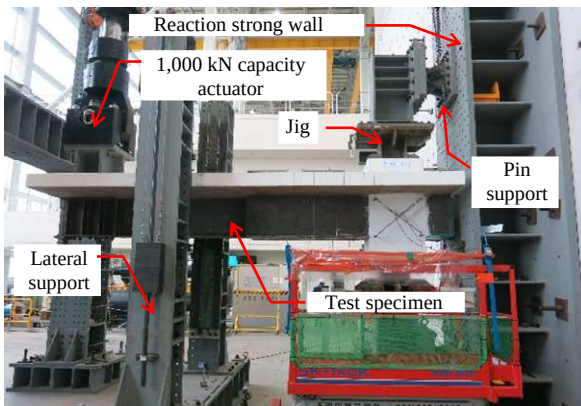
Fig. 4 – Dimensional details of test specimens

(a) S1 specimen

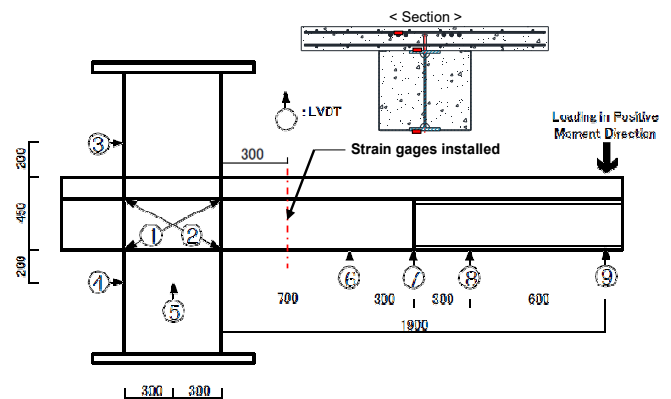
(b) S2 specimen

(c) S3 specimen

Fig. 5 – Section details of test specimens



(a) Actual testing set-up



(b) LVDTs and strain gages

Fig. 6 – Test set-up and instruments for measurements

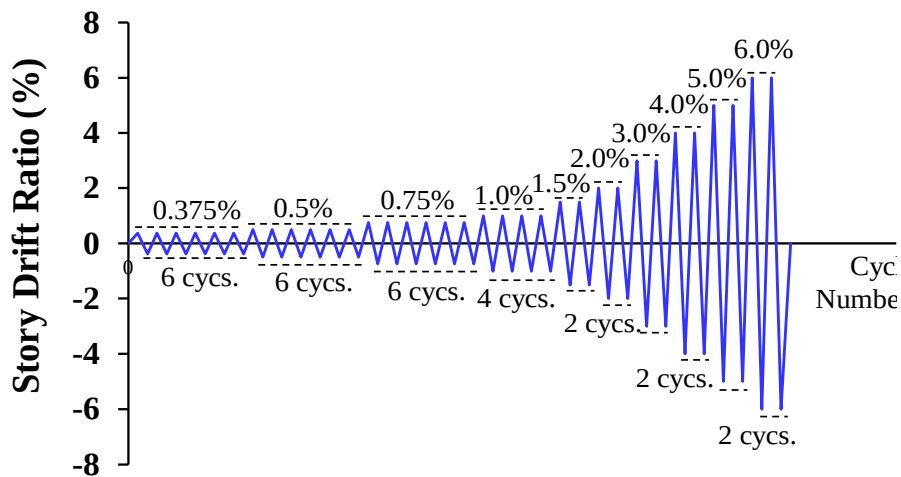
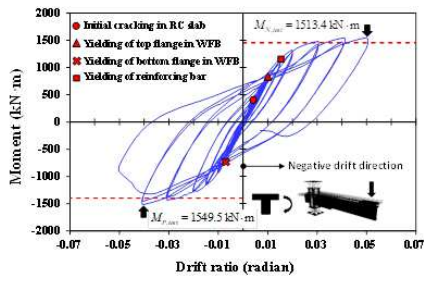
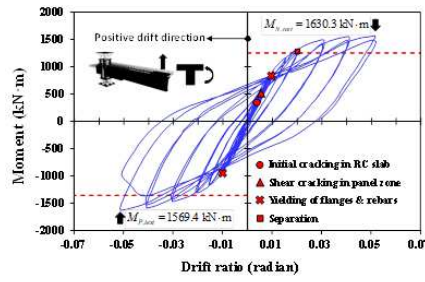


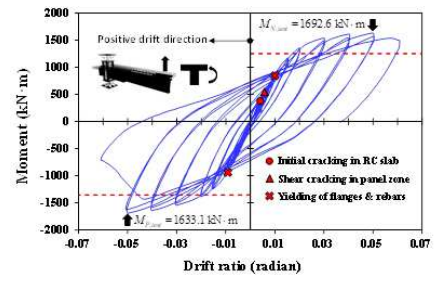
Fig. 7 – Cyclic loading protocol



(a) S1 specimen

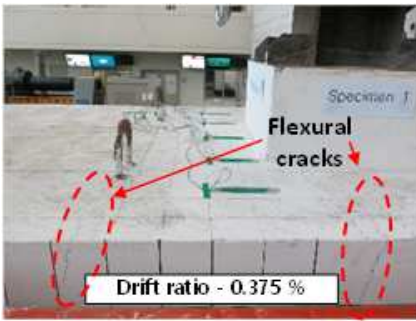


(a) S2 specimen

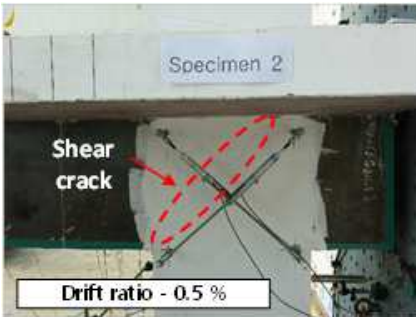
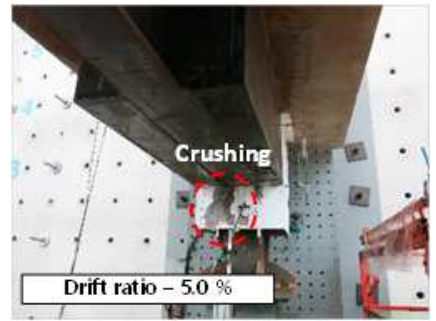
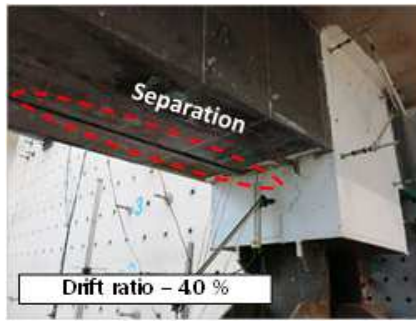


(c) S3 specimen

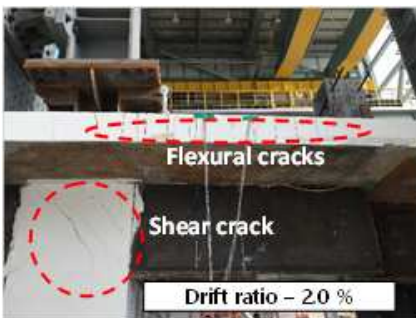
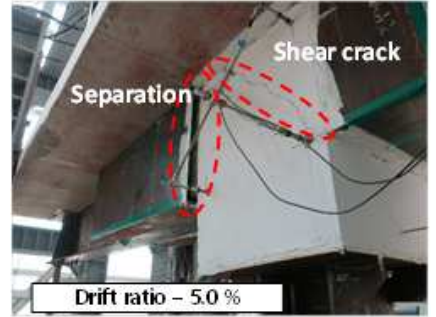
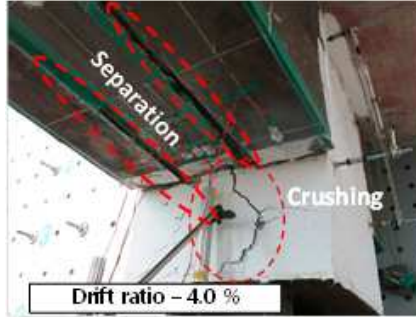
Fig. 8 – Cyclic responses of test specimens



(a) S1 specimen



(b) S2 specimen



(c) S3 specimen

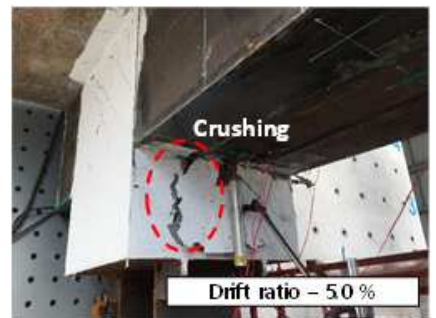
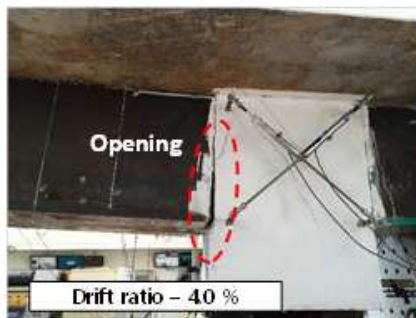
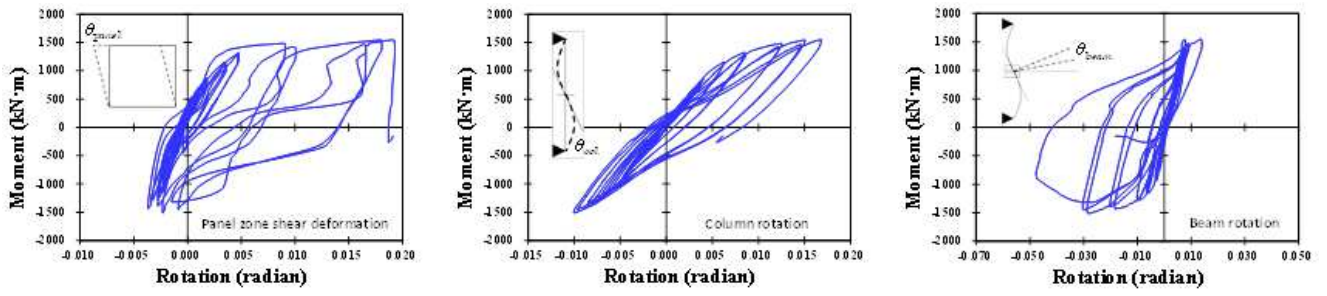
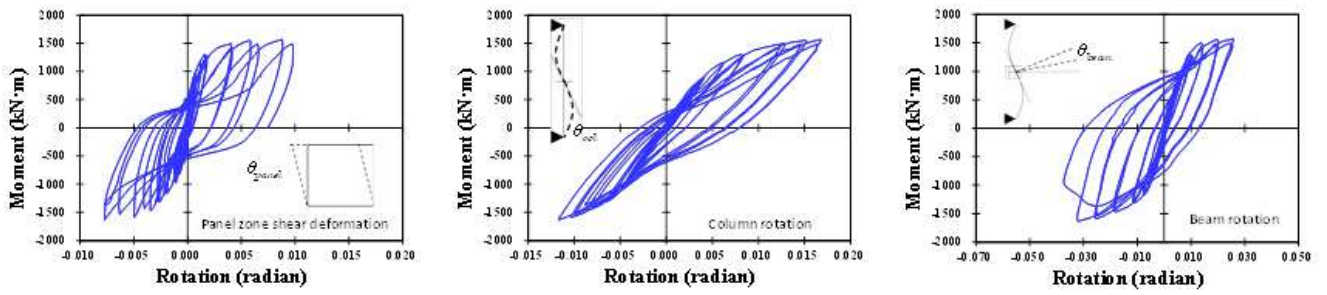


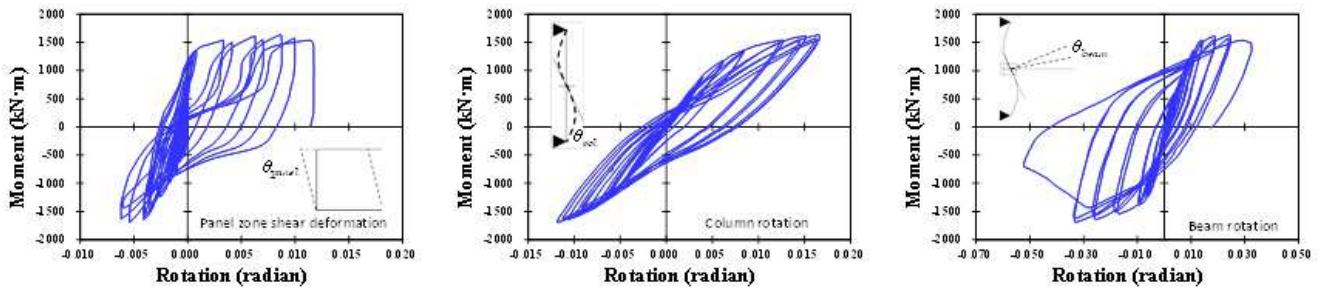
Fig. 9 – Damage and crack patterns at various drift levels



(a) S1 specimen

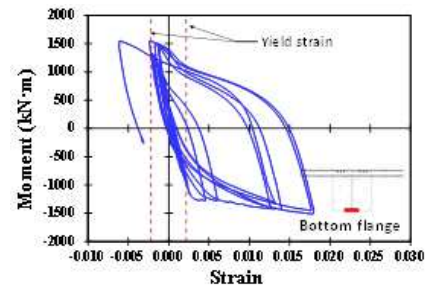
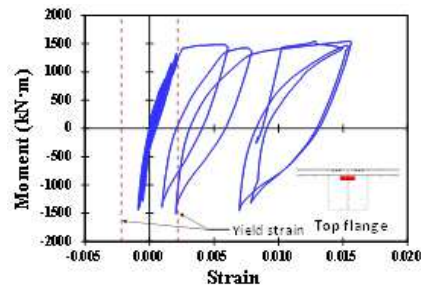
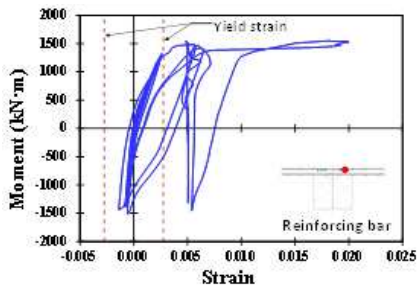


(b) S2 specimen

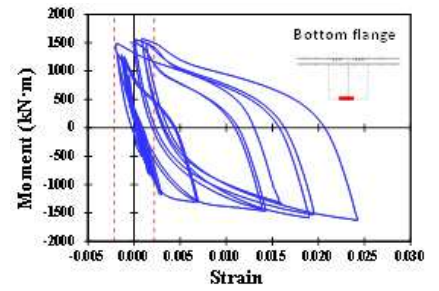
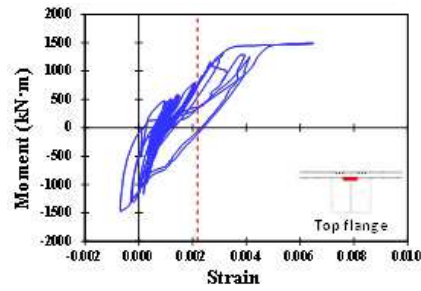
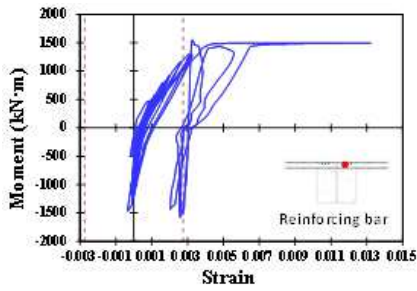


(c) S3 specimen

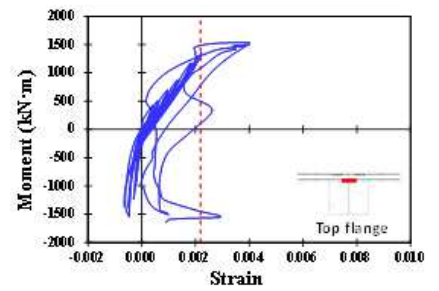
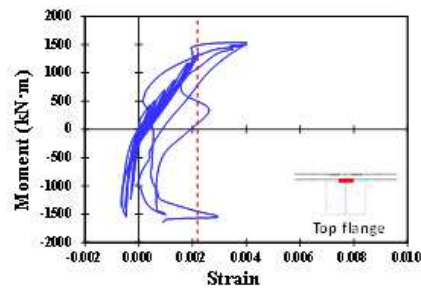
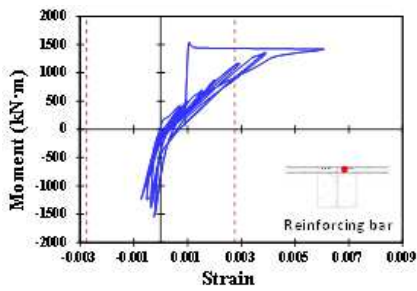
Fig. 10 – Detailed displacement responses of each component in moment frame



(a) S1 specimen



(b) S2 specimen



(c) S3 specimen

Fig. 11 – Detailed displacement responses of each component in moment frame

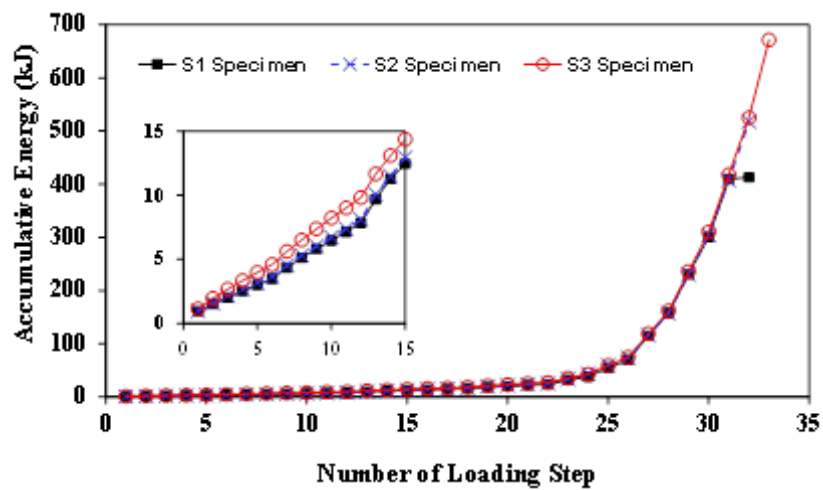


Fig. 12 – Estimated accumulative energy dissipations

○ 학회 논문 게재 1건

: 플레이트를 통해 인장력이 축직각방향으로 작용하는 CFT기둥에 대한 실험적 연구

Abstract - In order to overcome for the problem that the existing CFT column required complex beam-column joints, CFT column manufactured by combining triangular units and CFT column with a double web were developed. In the case of the CFT column manufactured as a triangular unit, the same effect as that of installing the stiffener can be expected since the corner of the triangular unit is located at the center of each face, and the CFT column with double web is expected to have excellent manufacturing and workability. In order to verify the resistance performance of the developed CFT column against the tensile force, a existing CFT and developed were manufactured and plates were installed on both sides to apply the tensile force. As a result of the experiment, the CFT column to which the triangular unit was combined showed a more uniform load distribution on the plate compared to the existing CFT column, but was brittle destroyed at both ends of the plate. Among them, the CFT column with the double web can secure both strength and ductility, indicating that it is structurally excellent.

Keywords - Square Shape Steel Tube, Tensile Load, Nonuniform Load, With-thickness ratio

○ 연구배경 및 목적

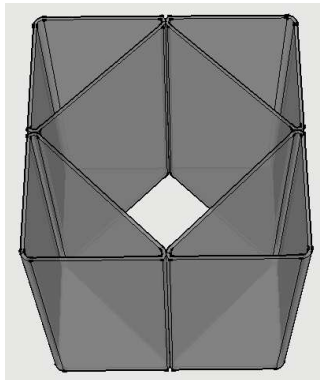
최근 도시의 사무실 및 상업용 건물은 한정된 부지의 효율적인 이용을 위하여 고층화되고 있으며 이러한 건축물의 고층화로 기둥과 보와 같은 주요 부재와 접합부는 지진에 의한 반복하중에 견딜 수 있도록 높은 연성을 확보하는 것은 매우 중요하다. 또한, 초고층 건축은 용도의 다양화, 복합화, 의장의 기대감으로부터 종래의 구조적 제약 조건을 극복하고 장스팬 구조 및 공간의 효과적 이용을 가능하게 하는 구조형식이 요구되고 있다.

일반적으로 사용되는 콘크리트 충전 각형강관(Concrete Filled Tube, CFT)은 인장강도가 높은 강관을 외부에 배치하여 모멘트에 효과적으로 저항하고, 압축력에 효과적으로 저항하는 콘크리트를 내부에 타설하는 합성기둥이다. 강관이 콘크리트를 구속하여 구속효과(confining effect)에 의한 압축력에 대한 저항능의 향상을 기대할 수 있고 콘크리트에 의해 강관의 국부좌굴을 방지하기 때문에 높은 강도와 연성을 확보할 수 있는 우수한 합성구조시스템이다. 건축구조기준(KBC 2016)에서는 CFT기둥은 구조성능 및 연성확보를 위해 기둥의 단면의 폭(B)에 대한 강관의 두께(t)의 비율인 판폭두께비(B/t)를 제한하고 있다. 판폭두께비의 제한으로 작은 모멘트와 큰 압축력이 작용하는 기둥에 필요이상의 두꺼운 강관을 사용해야하기 때문에 경제성을 확보하기 어렵다. 또한, 기둥과 보의 접합시 보에서 전달되는 하중을 기둥에 전달하기 위해서 다이아프램이 설치되기 때문에 CFT기둥의 제작성, 시공성 및 경제성을 저하시키는 원인이 된다(Choi 2009, Kim 2017 and Park 2005).

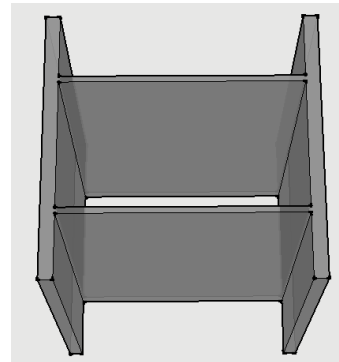
이러한 기존 CFT기둥의 문제점을 보완하기 위해서 Fig. 1(a)에 나타난 것과 같이 4개의 삼각유닛을 결합하여 제작하는 삼각유닛 각형강관기둥(이하 EZ기둥)과 Fig. 1(b)에 나타난 것과 같이 두 개의 웨브를 갖는 각형강관기둥(이하 DW기둥)을 제안하였다(Oh, 2020).

EZ기둥의 경우 삼각형 형태의 유닛을 4개 결합하여 제작하여 삼각형의 모서리가 맞대어 용접된 곳이 기둥면의 중앙에 위치하기 때문에 기둥면 중앙에 스티프너를 설치한 것과 같이 기둥면의 국부좌굴을 방지하는 역할을 한다. 따라서, EZ기둥을 설계시 판폭(B)의 길이를 원래 기둥의 폭의 절반으로 사용할 수 있기 때문에 제작에 사용되는 강판의 두께를 줄여 경제적인 설계가 가능하다. 또한, 보에서 전달되는 하중을 저항하기 위한 다이아프램의 설치가 필요 없기 때문에 제작성 및 시공성이 우수할 것으로 판단된다. 이 연구에서는 개발된 EZ기둥의 축직각 방향으로 작용하는 인장력에 대한 저항성능을 검증하기 위해서 개발 기둥에 플레이트를 설치하여 인장력을 가력하는 실험을 수행하였다. DW기둥의 경우 수평다이아프램의 설치가 용

이하기 때문에 보에서 전달되는 하중에 저항성능을 극대화할 수 있고 제작성과 시공성이 우수할 것으로 판단된다.



(a) Column Made of Triangular Units



(b) Column with Double Webs

Fig. 1 Concept of Steel Column

○ 실험계획

○ 실험체

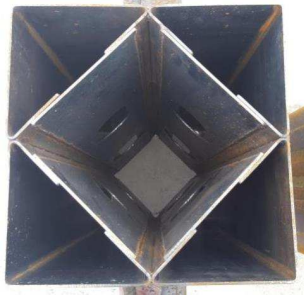
삼각유닛으로 구성된 강관기둥에 인장력이 집중하중의 형태로 작용할 경우 기둥에 대한 저항성능을 확인하기 위해서 기둥의 종류, 강판의 두께를 변수로 총 4개의 기둥을 제작하였다. 실험체의 이름과 변수를 정리하여 Table 1에 나타내었다.

삼각형 유닛으로 제작된 EZ계열의 실험체는 Fig. 2(a)와 같이 각각 4mm와 12mm 두께의 강판을 사용하여 제작하였으며, DW기둥은 9 mm 두께의 강판을 사용하여 제작하였다. 일반 각형강관인 HSS계열의 실험체의 경우 7mm 두께의 강판을 사용하여 제작하였다. Fig. 2(b)에 나타난 것과 같이 콘크리트를 타설하였고, 완성된 실험체는 Fig. 2(c)에 나타난 것과 같이 UT검사를 통해서 플레이트와 기둥의 용접부의 결함이 없음을 확인하였다.

모든 실험체 기둥 단면은 Fig. 3~6에 나타난 것과 같이 400mm × 400mm이며, 기둥의 높이는 1,200mm이다. 기둥의 양쪽에는 인장력의 도입을 위해서 길이 1,035mm의 플레이트를 용접하였다. EZ-4C 실험체와 HSS-7C 실험체에 사용된 플레이트의 폭과 두께는 각각 175mm와 12mm이며, EZ-12C와 DW9C 실험체에는 높은 인장력을 도입하기 위해서 폭과 두께가 각각 200mm 와 16mm의 강판을 사용하였다. 플레이트의 양끝단의 단부에서 400mm 떨어진 구간까지 고정용 지그에 의한 파괴를 방지하기 위해서 7mm의 강판을 상부와 하부로 용접하여 보강하였다.

Table 1. Detail of Specimens

Specimen	B (mm)	t (mm)	Bp (mm)	tp (mm)	fck (MPa)
EZ-4C	400	4	175	12	24
EZ-12C	400	12	200	16	24
DW-9C	400	9	200	16	24
HSS-7C	400	7	175	12	24



(a) Steel Tube Fabrication

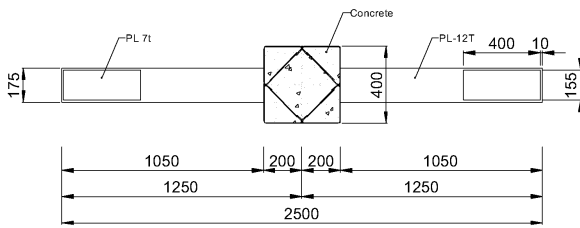


(b) Concrete Pouring

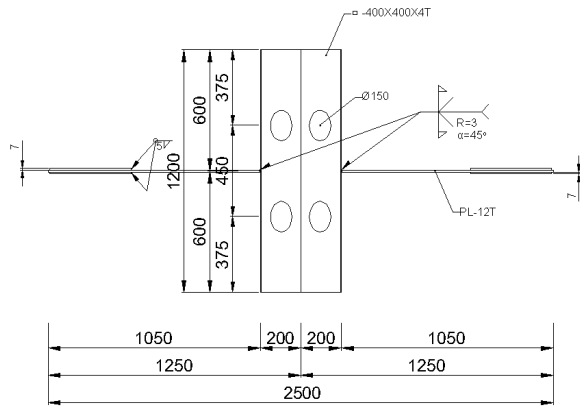


(c) Ultrasonic Flaw Detecting

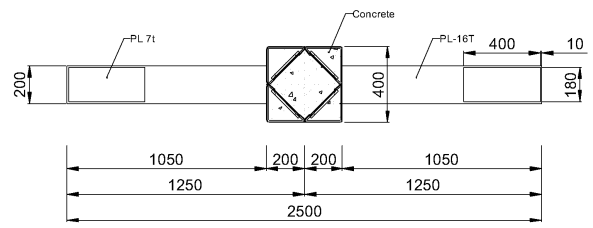
Fig. 2 Process of Fabricating the Specimens



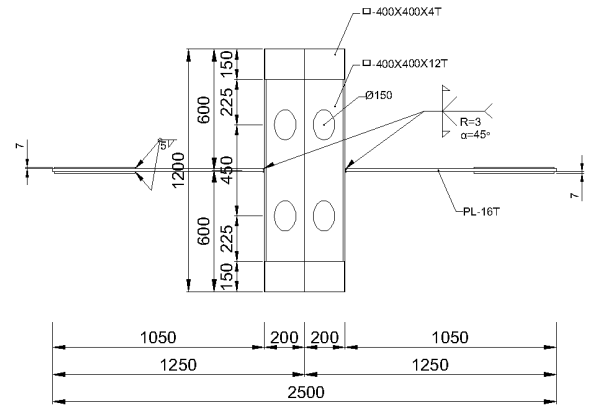
(a) Sectional Drawing



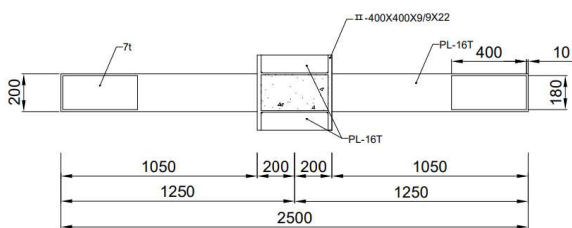
(b) Elevation Drawing
Fig. 3 EZ-4C Specimens



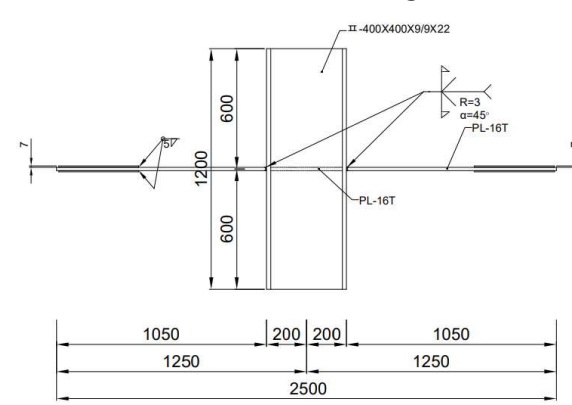
(a) Sectional Drawing



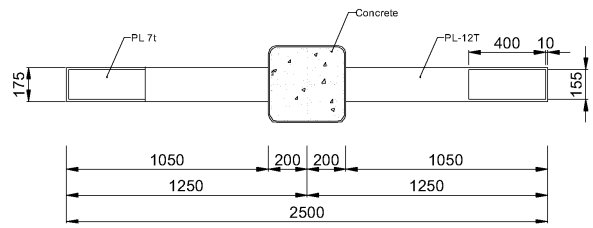
(b) Elevation Drawing
Fig. 4 EZ-12C Specimens



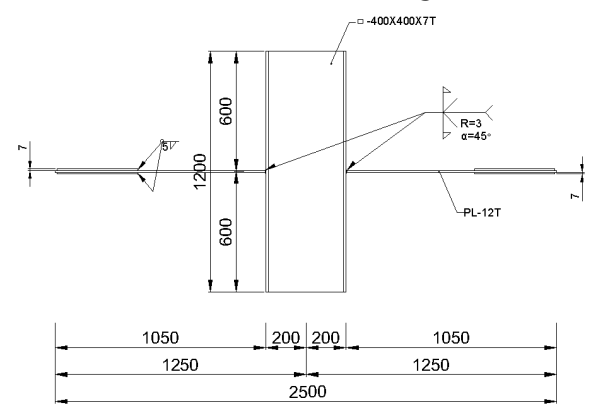
(a) Sectional Drawing



(b) Elevation Drawing
Fig. 5 DW-9C Specimens



(a) Sectional Drawing



(b) Elevation Drawing
Fig. 6 HSS-7C Specimens

○ 재료시험

모든 실험체는 SM355강재를 사용하여 제작하였으며, 강재의 두께에 따라서 3번의 재료실험을 수행하였고 평균값을 Table 2에 나타내었으며, 항복강도는 355.0~446.1 MPa이다. 실험체 제작에 사용된 콘크리트의 설계압축강도는 24 MPa이며, 재료실험결과 28일 압축강도는 31.4 MPa이다.

Table 2. Material Property

No.	Thickness (mm)	F_y (MPa)	F_u (MPa)	Used Part
1	4	355.0	516.0	EZ-Column
2	7	446.1	545.3	HSS-Column
3	9	373.8	524.2	DW-Column
4	12	349.5	527.1	EZ-Column and Plate
5	16	361.1	545.6	Plate

○ 계측 및 가력계획

실험체의 플레이트에는 Fig. 7에 나타낸 것과 같이 기둥의 표면에서 100mm와 200mm 떨어진 부분에 각각 3개씩의 변형률게이지를 설치하여 플레이트에서 발생하는 변형률을 측정하였다. EZ기둥의 실험체의 경우 플레이트와 접합된 부분에서 100mm 떨어진 곳에 기둥의 중앙부와 끝단에서 20mm씩 떨어진 곳과 1/4지점에 3개의 변형률게이지를 설치하여 기둥에서 발생하는 변형을 측정하였다.

실험은 Fig. 8에 나타낸 것과 같이 10 MN 용량의 UTM(Universal Testing Machine)을 사용하여 기둥의 양측에 용접된 플레이트에 인장력을 도입하여 수행하였다. 기둥의 면에서 500 mm 떨어진 곳에 철물을 용접하고 LVDT를 설치하여 인장력을 도입시 UTM의 고정 그립(grip)과 플레이트 사이에서 발생하는 미끄럼(slip)을 측정하였다(Choi, 2020).

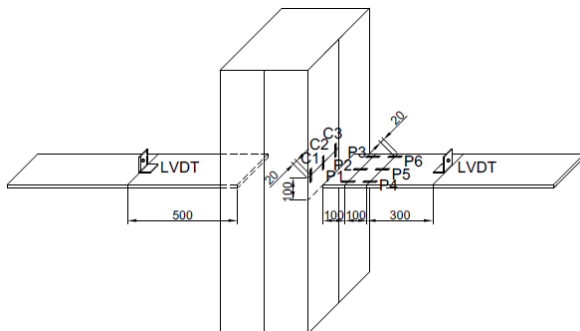


Fig. 7 Measuring Plan

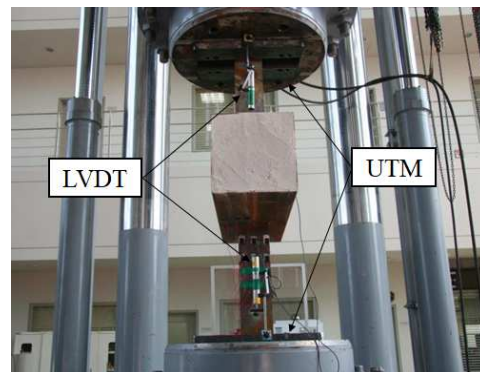


Fig. 8 Specimen Setup

○ 실험결과

○ 하중-변형 및 변형률 곡선

실험체들의 하중-변위 곡선을 Fig. 9에 정리하여 나타내었다. 삼각유닛을 결합하여 제작한 EZ-4C실험체의 경우 하중 52 kN까지 선형적으로 증가하였으며 이후 강성이 서서히 감소하다가 최대하중 271.2 kN에 도달한 이후 하중이 감소하여 최종적으로 5.5mm까지 변형이 발생하였다. Fig. 10(a)에 나타낸 것과 같이 최대하중에서 플레이트의 평균변형률은 항복변형률보다 작은 987μ 로 측정되었다. 기둥내부에 타설된 콘크리트의 영향으로 기둥에서는 거의 변형이 발생되지 않았다. 기둥과 플레이트의 접합부의 양단에서 Fig. 11(a)에 나타낸 것과 같이 파괴되었다.

12mm 두께의 강판을 사용하여 제작한 EZ-12C실험체의 경우 높은 강성을 가지고 1044.6 kN까지 선형적

으로 하중이 증가하였으며 강성이 점차 감소하다가 하중 1305.9 kN에서 플레이트에서 항복이 발생하였으며, 하중의 증가 없이 변형만 40 mm까지 증가하였다. 이후 하중이 점차 증가하다가 최대하중 1437.6 kN에서 Fig. 11(b)에 나타난 것과 같이 기둥과 플레이트의 접합부 양끝단 파괴되었다. Fig. 10(b)에 나타난 것과 같이 최대하중에서 플레이트의 변형률은 항복변형률보다 큰 것을 확인할 수 있다.

두 개의 웨브를 가진 DW-9C실험체의 경우 가장 높은 강성을 가지고 819.9 kN까지 선형적으로 하중이 증가하였으며 최대하중 1110.9 kN까지 강성이 점차 감소하며 하중이 증가하였다. 최대하중에 도달한 이후 Fig. 11(c)에 나타난 것과 같이 기둥과 플레이트의 접합부 양끝단에서 파괴가 발생하며 실험이 종료되었다.

7mm 두께의 강판을 사용하여 2심(two seam)용접으로 제작된 HSS-7C실험체는 하중 55 kN까지 선형적으로 증가하였다. 이후 기둥표면에서 변형이 발생하기 시작하여 감소된 강성을 가지고 하중이 선형적으로 증가하였으며, 최대하중에 도달하기 전에 강성이 점차 감소하면서 최종적으로 Fig. 11(d)와 같이 플레이트의 양끝단과 용접된 기둥면에서 강판이 찢어지면서 파괴되었다. 모든 실험체의 최대강도는 Table 3에 정리하여 나타내었다.

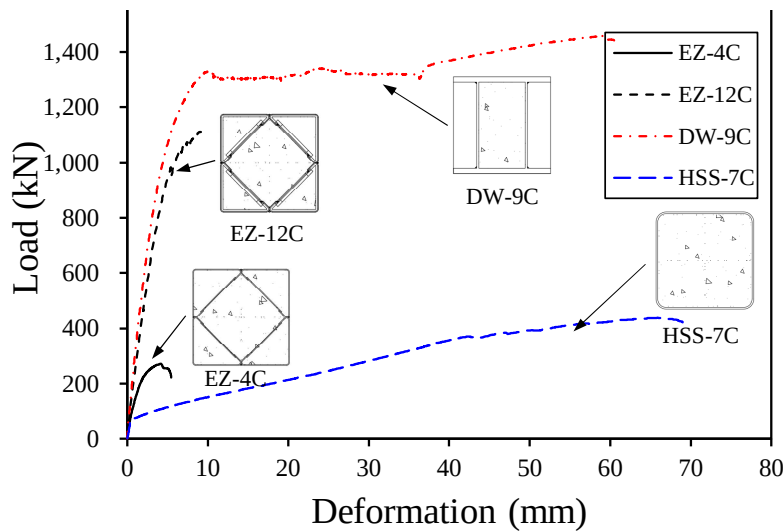
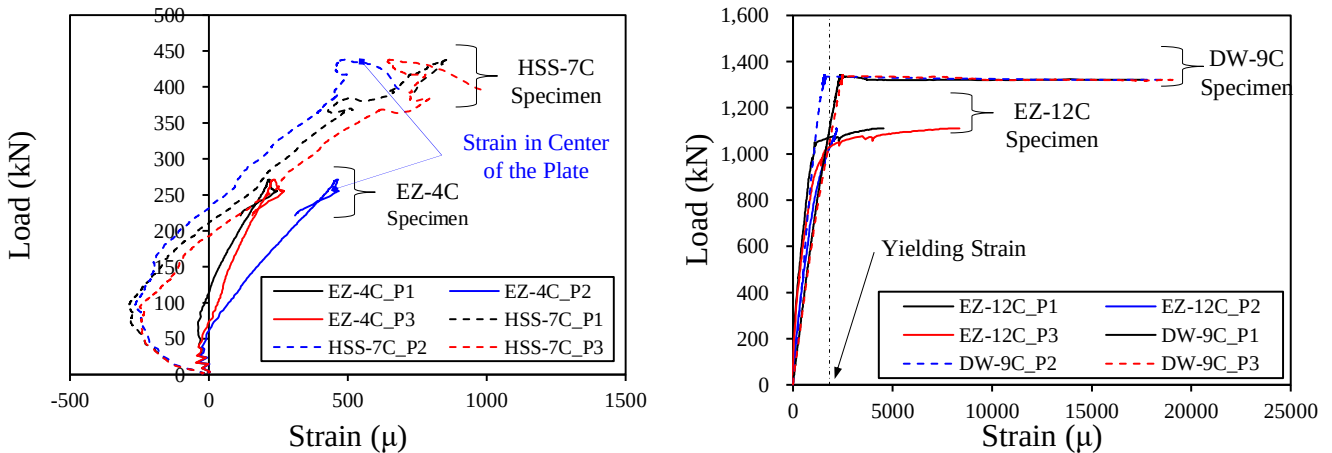


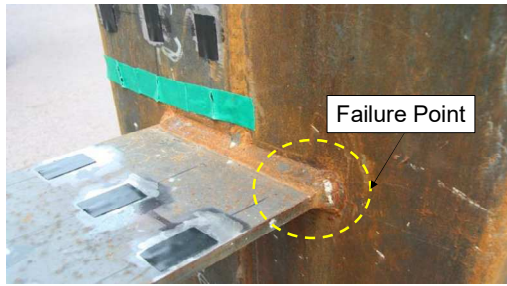
Fig. 9 Load-Deformation Relationship Curve



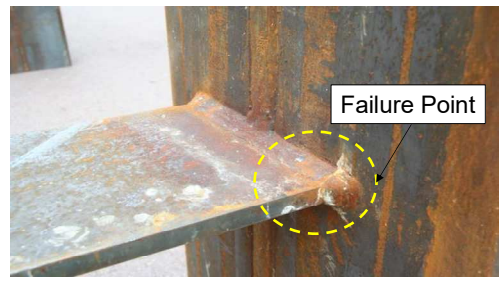
(a) Strain in Plate of EZ-4C and HSS-7C Specimen

(b) Strain in Plate of EZ-12C and DW-9C Specimen

Fig. 10 Strain Distribution in Plate



(a) EZ-4C Specimen



(b) EZ-12C Specimen



(c) DW-9C Specimen



(d) HSS-7C Specimen

Fig. 11 Final Failure Shape of Specimens

Table 3. Strength of Specimens

Specimen	B_{ep} (mm)	$P_{cal.}$ (kN)	P_{max} (kN)	$P_{max}/P_{cal.}$
EZ-4C	35	49.7	271.2	5.46
EZ-12C	120	503.3	1110.9	2.21
DW-9C	200	1,196	1,437.6	1.20
HSS-7C	30.6	95.6	438.3	4.58

- B_{ep} : Effective Width

- $P_{cal.}$: Expected Strength

- P_{max} : Experimental Strength

○ 실험결과 분석

KBC 2016에서 강관의 축에 직각으로 집중하중이 작용하는 기둥의 강도는 비균일하중분포로 인한 국부항복, 전단항복(휨림), 측벽강도 중에서 가장 작은 값을 사용하도록 제시하고 있다. 비균일하중분포로 인한 국부항복은 각관의 판폭두께비에 따라서 플레이트의 양단부에서 큰 변형이 발생하며 이후 단부에서부터 항복이 발생하며 파괴된다. 이러한 비균일하중분포로 인한 응력집중현상(stress concentration effect)이 고려된 국부항복강도는

$$R_{n,1} = [10F_y t / (B/t)] B_p \quad (1)$$

으로 산정할 수 있다(Chung 2005, Fukumoto 2005). 여기서, B 와 B_p 는 각각 기둥과 플레이트의 폭이며, F_y 와 F_{yp} 는 각각 기둥과 플레이트의 항복강도, t 와 t_p 는 각각 기둥과 플레이트의 두께이다. 이 강도는 플레이트의 항복강도인 $F_{yp} t_p B_p$ 를 초과할 수 없으며, 판폭두께비(B/t)가 10 이상인 경우 플레이트의 항복강도에 의해서 강도가 결정된다.

전단항복의 한계상태도 비균일한 하중분포가 고려된 유효폭인 B_{ep} 을 도입하여 아래와 같이 산정한다.

$$R_{n,2} = 0.6F_y t [2t_p + 2B_{ep}] \quad (2)$$

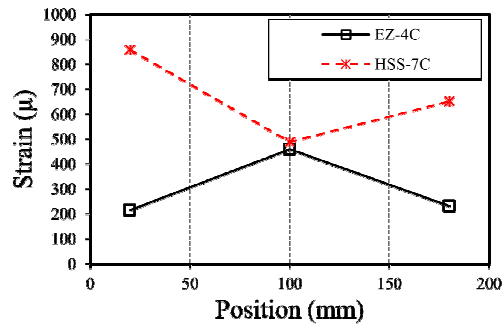
여기서, B_{ep} 는 $10B_p/(B/t)$ 으로 산정하고 B_p 이하로 산정할 수 있다.

기둥 측벽에서 발생하는 국부항복의 한계상태를 검토해야하며, 측벽 국부항복강도는

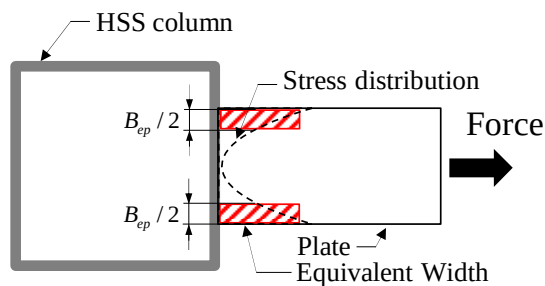
$$R_{n,3} = 2F_y t [5k + t_p] \quad (3)$$

으로 산정이 가능하다.

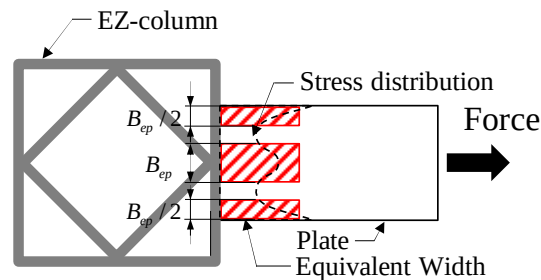
실험체의 플레이트에 설치된 게이지를 통해서 최대하중 시점에서 측정된 인장변형률을 Fig. 12(a)에 나타내었다. 플레이트의 일반적인 형태인 각형강관으로 제작된 HSS-7C 실험체에 설치된 플레이트 양단부에서는 비균일한 하중분포에 의해서 큰 변형률이 발생하고 중앙부에서는 상대적으로 작은 변형률이 발생하는 것을 확인할 수 있다. 하지만 삼각형 유닛으로 제작한 EZ계열의 실험체에서는 Fig. 12(a)에 나타낸 것과 같이 플레이트 중앙부에 설치한 게이지에서 큰 변형이 발생하는 것을 확인할 수 있다. 따라서, Fig. 12(c)에 나타낸 것과 같이 EZ계열의 실험체의 비균일하중분포로 인한 국부항복강도와 전단항복강도를 산정할 때 사용되는 유효폭(B_{ep})을 2배로 증가시켜 계산하였다. 계산된 강도는 실험체의 강도와 비교하여 Table 3에 나타내었으며, 모든 실험체에서 실험체의 최대내력이 계산된 강도보다 크게 측정되어 유효폭을 증가시켜서 강도를 산정해도 충분한 안정성을 확보할 수 있음을 확인하였다.



(a) Strain in Plate



(b) HSS Column



(c) EZ Column

Fig. 12 Comparison of Equivalent Widths of Plate Welded HSS Column and EZ Column

○ 결 론

기존의 CFT기둥의 단점을 보완하기 위해서 삼각유닛으로 구성된 EZ기둥과 DW기둥을 개발하였고 개발된 기둥의 인장력에 대한 저항성능을 검증하기 위해서 인장력을 가력하는 실험을 수행하였다. 실험결과를 기반으로 아래와 같은 결론을 도출하였다.

- 1) 실험결과를 기반으로 판단했을 때 KBC에서 제안하고 있는 비균일하중분포로 인한 국부항복강도는 실험체의 강도를 다소 과소평가하는 것을 확인하였다.
- 2) 제작된 모든 실험체는 비균일하중분포로 인한 국부항복, 전단항복(뿔림), 측벽강도 중에서 국부항복에 의해서 강도가 결정되었으며, 삼각형 유닛으로 제작한 실험체에서는 플레이트의 중앙부에서도 인장변형이 발생하여 유효폭을 향상시켜 강도를 증가시키는 것을 확인하였다.
- 3) DW실험체는 높은 강도와 강성을 확보할 수 있으며 플레이트가 완전히 항복하고 파괴될 때까지 충분한 연성을 확보할 수 있기 때문에 구조적으로 우수한 것으로 판단된다.
- 4) 삼각형 유닛을 결합하여 제작한 EZ계열실험체의 경우 사재의 기여분으로 내력은 증가하지만, 취성적인 파괴를 보이기 때문에 접합부로 사용하기 위해서는 추가적인 연구가 필요할 것으로 판단된다.

○ 감사의 글

본 연구는 국토교통부/국토교통과학기술진흥원의 지원으로 수행되었음(과제번호 20CTAP-C158218-01).

핵심성과 3	연구계획서 제시	
정의	개발 기술의 현장적용을 위한 설계·시공 지침서 개발	
목적	현장에서 발생할 수 있는 공정상의 문제점을 분석하여 개발기술의 설계·시공 지침 작성 및 시제품을 제작을 통한 현장적용 가능성 극대화	
성능목표	공정단계 비교·분석을 통한 개발기술의 시공성 향상 및 상세 설계·시공지침 작성을 통한 현장적용 가능성 증진	
성과달성 책임자 (소속기관)	오재열(세진알앤에스) 최현수(삼원중공업)	
소요기간	2021.07 ~ 2021.12(6개월, 2년차)	
성과달성 확인방법	- 전문가 활용을 통한 공정단계 비교·분석 평가 - 공법 상세방안(다양한 보와의 결합 상세, 가설계획 등)에 대한 특허 출원 또는 등록 건수 - 구조성능 및 내진성능에 관한 학술논문 게재 - 개발 합성구조 시스템의 설계·시공 상세 지침서 작성 및 시제품 제작	
성과달성에 따른 정량적 성과	특허 출원/등록	1건
	논문	1건
	저작	0건
	S/W	0건
	신기술	0건
	기타	설계·시공 지침서: 1건 시제품 제작: 1건

○ 핵심성과 3 요약: 특허출원 1건/ 설계·시공 지침서 1건/ 시제품 제작 2건

Copyright 1.2 2020-10-23



9200400024831011101000001656000000

특허출원서

【창조번호】 KP201435

【출원구분】 특허출원

【출원인】

【명칭】 (주)세진알앤에스

【특허고객번호】 1-2017-010235-3

【지분】 50.00/100

【출원인】

【명칭】 동신대학교산학협력단

【특허고객번호】 2-2006-020880-8

【지분】 25.00/100

【출원인】

【명칭】 삼원중공업 주식회사

【특허고객번호】 1-2017-010548-4

【지분】 25.00/100

【대리인】

【성명】 강귀용

【대리인번호】 9-2004-000248-3

【대리인】

【성명】 김수진

【대리인번호】 9-2000-000441-7

【발명의 국문명칭】 하중 전달 철물을 이용한 기계식 강관 이음재

【발명의 영문명칭】 Mechanical steel pipe jointing device using load-transmitting hardware

【발명자】

1 / 4



CFT Column(가칭)

제작, 시공, 설계 매뉴얼

2021. 12.

특허출원 1건:

하중 전달 철물을 이용한 기계식 강관 이음재

설계·시공·지침서 1건 :

CFT Column(가칭) 제작, 시공, 설계 매뉴얼

「시제품 제작」 성과 확인서			
□ 과제정보			
사업명	국토교통기술혁신연구사업	과제번호	20CTAP-C158215-01
과제명	지하대공간 구현시 역타공법이 가능한 삼각유닛 CFT기둥과 단순 패널의 모멘트 접합부 개발		
연구기관	동신대학교	연구책임자	양일승
□ 현장시험·검증 성과			
구분	기타(구조성능평가)		
시제품명	S-Panel 인장실험체		
제작일시	2020.07.20	제작업체	뉴코텍
목적	개발부재의 인장성능평가		
내용	역타시공시 시공과정에 방해되지 않으면서 보-기둥 모멘트 접합이 가능하도록 고안된 접합부의 인장성능평가		
활용계획	접합부 다이아프램의 인장성능평가		
증빙	물품검수확인서		
위 연구과제를 통해 발생된 성과와 증빙이 상기와 같음을 확인합니다.			
2020 년 7 월 24 일			
연구기관	책임자		
동신대학교	양일승		
국토교통부장관 귀하			

「시제품 제작」 성과 확인서			
□ 과제정보			
사업명	국토교통기술혁신연구사업	과제번호	20CTAP-C158215-01
과제명	지하대공간 구현시 역타공법이 가능한 삼각유닛 CFT기둥과 단순 패널의 모멘트 접합부 개발		
연구기관	동신대학교	연구책임자	양일승
□ 현장시험·검증 성과			
구분	기타(구조성능평가)		
시제품명	EZ-Column 인장실험체		
제작일시	2020.10.15	제작업체	썬유건
목적	개발부재의 인장성능평가		
내용	역타시공시 시공과정에 방해되지 않으면서 보-기둥 모멘트 접합이 가능하도록 고안된 접합부의 인장성능평가		
활용계획	철골 및 CFT기둥 접합부 다이아프램의 인장성능평가		
증빙	물품검수확인서		
위 연구과제를 통해 발생된 성과와 증빙이 상기와 같음을 확인합니다.			
2020 년 10 월 23 일			
연구기관	책임자		
동신대학교	양일승		
국토교통부장관 귀하			

시작품 제작 2건

▶ 특허출원 내용 요약

○ 특허출원 1건: 하중 전달 철물을 이용한 기계식 강관 이음재

○ 발명의 명칭

하중 전달 철물을 이용한 기계식 강관 이음장치{Mechanical steel pipe jointing device using load-transmitting hardware}

○ 기술분야

본 발명은 하중 전달 철물을 이용한 기계식 강관 이음장치에 관련되며, 보다 상세하게는 각형 강관과 강관을 연결하는 하중 전달 철물을 이용한 기계식 강관 이음장치에 관한 것이다.

○ 발명의 배경이 되는 기술

일반적으로, 각형강관은 기둥부재로 사용되어지며 그 내부로 콘크리트가 타설되는 것으로서, 강축과 약축을 가지고 있는 H형강과 비교하여 어느 방향으로나 일정한 강도를 가지고 있고, 배근작업과 거푸집 작업이 생략되는 구조를 제공한다. 각형강관은 구조물의 높이에 대응하여 여러 개가 대응하여 직립 설치됨에 따라 각형강관들 사이에 연결을 위한 이음재가 결합되는 구조로서, 구조적으로 상대적으로 짧은 공기에 건축물의 골조부분을 완성할 수 있는 장점을 갖는다. 이러한 각형강관들에는 수직 축력이 전달되며, 이음재가 수직 축력을 온전히 상하로 균일하게 전달하지 못하거나 결합구조가 진동이나 충격에 취약하여 어긋나는 문제점이 발생할 수 있다.

즉, 각형강관들의 이음에서 고정 구조와 축력 전달이 정확하고 견고하지 않으면, 직선의 수직구조가 틀어지거나 한쪽으로 치우치는 집중하중이 발생되고, 이음매에서 비틀림이나 굽힘 변형이 발생되어 구조 강도를 약화시키는 문제점이 있었다.

○ 선행기술문헌

○ 특허문헌

(특허문헌 1) 한국등록특허 제10-1089561호(2011.11.29.)

○ 발명의 내용

○ 해결하고자 하는 과제

이에 따라 본 발명은 상기한 문제점을 해결하기 위해 착안 된 것으로서, 기존의 각형강관들의 이음재보다 축 하중 전달의 결합 구조가 견고하고, 비틀림, 굽힘 및 진동에 의한 이음 구조의 이탈을 방지하는 하중 전달 철물을 이용한 기계식 강관 이음장치를 제공하는 것에 그 목적이 있다.

○ 과제의 해결 수단

본 발명은 제1 각형강관과 제2 각형강관을 연결하는 이음장치로서, 상기 제1 각형강관에 삽입되어 설치되는 제1 연결부; 상기 제2 각형강관에 삽입되어 설치되며, 상기 제1 연결부와 암수 결합되는 제2 연결부; 상기 제1 연결부와 제2 연결부의 내벽부에 일부와 타부가 삽입 설치되는 하중 전달키; 및 상기 제1 연결부와 제2 연결부 중 어느 하나에 마련되며, 상기 하중 전달키를 가압하여 상기 제1 연결부와 제2 연결부에 대해 결합위치를 정렬시키는 조임 볼트를 포함하며, 상기 제1 연결부에 마련되며 상기 하중 전달키가 삽입되는 제1 키홈부; 및 상기 제2 연결부에 마련되며 상기 하중 전달키가 삽입되는 제2 키홈부를 더 포함하며, 상기 조임 볼트가 조여짐에 따라 상기 제1 키홈부와 제2 키홈부 중 어느 하나에서 다른 하나로 상기 하중 전달키가 움직이면서 위치 조절되어 상기 제1 키홈부와 제2 키홈부를 연결하는 특징을 갖는다.

상기 제1 키홈부와 제2 키홈부는, 상기 조임 볼트에 대응한 어느 하나가 다른 하나보다 깊게 형성되며, 상기 제1 연결부와 제2 연결부의 사방 내벽부에 위치하되, 상기 조임 볼트는 복수개씩 상기 제1 연결부의 사방 외벽부에서 상기 제1 키홈부 측으로 나사 결합되어 상기 제1 키홈부 측에 삽입된 상기 하중 전달키에 접촉됨이 적절하다.

상기 제1 연결부는, 중공 사각형상의 제1 연결바디; 상기 제1 연결바디의 일단부에 형성된 제1 강관 삽입부; 상기 제1 연결 바디의 타단부에서 상기 제1 강관 삽입부와 반대로 형성된 제1 이음 삽입부; 및 상기 제1 강관 삽입부에서 내측으로 마련되며, 상기 제2 연결부에 대응하는 제1 끼움 홈을 형성하는 제1 이음 홈부를 포함할 수 있다.

상기 제2 연결부는, 중공 사각형상의 제2 연결바디; 상기 제2 연결바디의 일단부에 형성된 제2 강관 삽입부; 상기 제2 연결 바디의 타단부에서 상기 제2 강관 삽입부와 반대로 형성된 제2 이음 삽입부; 및 상기 제2 강관 삽입부에서 내측으로 마련되며, 상기 제1 연결부에 대응하는 제2 끼움 홈을 형성하는 제2 이음 홈부를 포함할 수 있다.

상기 제1 연결부는, 상기 제1 강관 삽입부의 기저부에서 외측과 내측으로 경사진 제1 경사면; 상기 제1 강관 삽입부의 단부에서 상기 제1 각형강관에 삽입이 용이하도록 외측에서 내측으로 경사진 제1 삽입 경사면; 및 상기 제1 이음 삽입부에서 상기 제2 연결부에 끼움이 용이하도록 내측에서 외측으로 경사진 제1 끼움 경사면을 더 포함할 수 있다.

상기 제2 연결부는, 상기 제2 강관 삽입부의 기저부에서 외측과 내측으로 경사진 제2 경사면; 상기 제2 강관 삽입부의 단부에서 상기 제2 각형강관에 삽입이 용이하도록 외측에서 내측으로 경사진 제2 삽입 경사면; 및 상기 제2 이음 삽입부에서 상기 제2 연결부에 끼움이 용이하도록 내측에서 외측으로 경사진 제2 끼움 경사면을 더 포함할 수 있다.

상기 제1 연결부와 제2 연결부는, 상기 제1 연결부의 제1 이음 삽입부가 제2 이음 홈부에 끼워지며, 상기 제2 연결부의 제2 이음 삽입부가 제1 이음 홈부에 끼워지되, 상기 제1 연결바디와 제2 연결바디에는 상기 제1 이음 삽입부와 제2 이음 삽입부에 대응한 제1 수직 면부와 제2 수직 면부가 형성됨이 적절하다.

○ 발명의 효과

이상의 구성 및 작용에 의하면, 본 발명은 기존의 각형강관들의 이음재보다 축 하중 전달의 결합 구조가 견고하고, 비틀림, 굽힘 및 진동에 의한 이음 구조의 이탈을 방지하는 기계식 강관 이음장치를 제공할 수 있는 효과가 있다.

○ 도면의 간단한 설명

도 1은 본 발명의 일실시예에 따른 하중 전달 철물을 이용한 기계식 강관 이음장치를 도시한 구성의 조립도.

도 2는 도 1의 조립구조에서 이음부에 대한 단면도.

○ 발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

이하, 첨부된 도면을 참조하여 본 발명의 바람직한 실시예를 상세히 설명한다.

도 1은 본 발명의 일실시예에 따른 하중 전달 철물을 이용한 기계식 강관 이음장치를 도시한 구성의 조립도이며, 도 2는 도 1의 이음부에서 단면도이다.

도 1과 도 2를 참조하면, 본 발명의 일실시예에 따른 하중 전달 철물을 이용한 기계식 강관 이음장치는, 제1 각형강관(100)에 삽입되어 설치되는 제1 연결부(110); 제2 각형강관(101)에 삽입되어 설치되며 제1 연결부(110)과 암수 결합되는 제2 연결부(120); 제1 연결부(110)과 제2 연결부(120)의 내벽부에 일부와 타부가 삽입 설치되는 하중 전달키(135); 및 제1 연결부(110)과 제2 연결부(120) 중 어느 하나에 마련되며, 하중 전달키(135)를 가압하여 제1 연결부(110)과 제2 연결부(120)에 대해 결합위치를 정렬시키는 조임 볼트(140)를 포함한다.

제1 각형강관(100)과 제2 각형강관(101)은 제1 연결부(110)과 제2 연결부(120)와 대응하여 암수 결합된다. 제1 연결부(110)과 제2 연결부(120)는 용접에 의해 제1 각형강관(100)과 제2 각형강관(101)에 고정된다.

제1 각형강관(100)과 제2 각형강관(101)은 모서리부가 둥근 각형 중공 관으로서, 제1 연결부(110)과 제2 연결부(120)의 모

서리부는 이에 대응한 형상으로 둥글게 형성된다.

이러한 본 발명의 일실시예에 따른 하중 전달 철물을 이용한 기계식 강관 이음장치는 제1 연결부(110)에 마련되며 하중 전달키(135)가 삽입되는 제1 키홈부(111); 및 제2 연결부(120)에 마련되며 하중 전달키(135)가 삽입되는 제2 키홈부(121)를 더 포함한다.

이에 따르면, 조임 볼트(140)가 조여짐에 따라 제1 키홈부(111)와 제2 키홈부(121) 중 어느 하나에서 다른 하나로 하중 전달키(135)가 움직이면서 위치 조절되어 제1 키홈부(111)와 제2 키홈부(121)를 연결하게 된다.

본 실시 예에서는, 제1 키홈부(111) 측에 배치된 하중 전달키(135)가 조임 볼트(140)에 의해 가압되어 제2 키홈부(121) 측으로 끼워져 고정된다. 이에 따라 제1 키홈부(111)와 제2 키홈부(121)는 사각 단면 형상의 하중 전달키(135)에 의해 키 구조로 결합된다.

제1 키홈부(111)와 제2 키홈부(121)는, 조임 볼트(140)에 대응한 어느 하나가 다른 하나보다 깊게 형성되며, 제1 연결부(110)와 제2 연결부(120)의 사방 내벽부에 위치하되, 조임 볼트(140)는 복수개씩 제1 연결부(110)의 사방 외벽부에서 제1 키홈부(111) 측으로 나사 결합되어 제1 키홈부(111) 측에 삽입된 하중 전달키(135)에 접촉됨이 적절하다.

본 실시 예에서는, 제1 키홈부(111)가 하중 전달키(135)에 대응하는 깊이로서, 제2 키홈부(121)보다 깊게 형성된다. 제2 키홈부(121)는 하중 전달키(135)의 일부가 묻힐 수 있는 깊이로서 형성된다.

이러한 제1 키홈부(111)와 제2 키홈부(121)는 모서리부를 제외한 제1 연결부(110)와 제2 연결부(120)의 내벽부 중앙부를 따라 배치된다.

한편, 제1 연결부(110)는 중공 사각형상의 제1 연결바디(112), 제1 연결바디(112)의 일단부에 형성된 제1 강관 삽입부(113), 제1 연결바디(112)의 타단부에서 제1 강관 삽입부(113)와 반대로 형성된 제1 이음 삽입부(114), 및 제1 강관 삽입부(113)에서 내측으로 마련되며 제2 연결부(120)에 대응하는 제1 끼움 홈(115)을 형성하는 제1 이음 홈부(116)를 포함하는 것이다.

이러한 제1 연결부(110)는, 제1 강관 삽입부(113)의 기저부에서 외측과 내측으로 경사진 제1 경사면(117), 제1 강관 삽입부(113)의 단부에서 제1 각형강관(100)에 삽입이 용이하도록 외측에서 내측으로 경사진 제1 삽입 경사면(118), 및 제1 이음 삽입부(114)에서 제2 연결부(120)에 끼움이 용이하도록 내측에서 외측으로 경사진 제1 끼움 경사면(119)을 더 포함할 수 있다.

제2 연결부(120)는, 중공 사각형상의 제2 연결바디(122), 제2 연결바디(122)의 일단부에 형성된 제2 강관 삽입부(123), 제2 연결바디(122)의 타단부에서 제2 강관 삽입부(123)와 반대로 형성된 제2 이음 삽입부(124), 및 제2 강관 삽입부(123)에서 내측으로 마련되며, 제1 연결부(110)에 대응하는 제2 끼움 홈(125)을 형성하는 제2 이음 홈부(126)를 포함하는 것이다.

이러한 제2 연결부(120)는, 제2 강관 삽입부(123)의 기저부에서 외측과 내측으로 경사진 제2 경사면(126), 제2 강관 삽입부(123)의 단부에서 제2 각형강관(101)에 삽입이 용이하도록 외측에서 내측으로 경사진 제2 삽입 경사면(127), 및 제2 이음 삽입부(124)에서 제2 연결부(120)에 끼움이 용이하도록 내측에서 외측으로 경사진 제2 끼움 경사면(128)을 더 포함할 수 있다.

상기와 같은 본 실시 예에 따른 제1 연결부(110)와 제2 연결부(120)는, 제1 연결부(110)의 제1 이음 삽입부(114)가 제2 이음 홈부(126)에 끼워지며, 제2 연결부(120)의 제2 이음 삽입부(124)가 제1 이음 홈부(116)에 끼워지는 구조로서, 대응한 내벽부가 맞닿으면서 상호 암수 결합되며, 상기의 하중 전달키(135)에 의해 상호 분리가 차단된다.

제1 연결바디(112)와 제2 연결바디(122)에는 제1 이음 삽입부(114)와 제2 이음 삽입부(124)에 대응한 제1 수직 면부(131)와 제2 수직 면부(140)가 형성됨이 적절하다.

이러한 제1 수직 면부(131)와 제2 수직 면부(140)는 제1 연결부(110)와 제2 연결부(120)의 암수 결합 구조에서, 위치적으로 대응하는 제1 이음 삽입부(114)와 제2 이음 삽입부(124)가 제2 끼움 홈(125)부와 제1 끼움 홈(115)부에 암수 결합되는 구조를 축 하중 방향으로 지지하는 역할을 하게 된다.

제1 이음 삽입부(114)와 제2 끼움 홈(125)부 및 제2 이음 삽입부(124)와 제1 끼움 홈(115)부는 상하 대응하는 암수 형상으로 마련되며, 제1 수직 면부(131)와 제2 수직 면부(140)에 대응한 암수 결합 구조를 갖는다.

한편 본 명세서에 개시된 기술에 관한 설명은 단지 구조적 내지 기능적 설명을 위한 실시예에 불과하므로, 개시된 기술의 권리범위는 본문에 설명된 실시예에 의하여 제한되는 것으로 해석되어서는 아니 된다.

즉, 실시예는 다양한 변경이 가능하고 여러 가지 형태를 가질 수 있으므로 개시된 기술의 권리범위는 기술적 사상을 실현할 수 있는 균등물들을 포함하는 것으로 이해되어야 한다. 또한, 개시된 기술에서 제시된 목적 또는 효과는 특정 실시예가 이를 전부 포함하여야 한다거나 그러한 효과만을 포함하여야 한다는 의미는 아니므로, 개시된 기술의 권리범위는 이에 의하여 제한되는 것으로 이해되어서는 아니 될 것이다.

또한, 본 발명에서 서술되는 용어의 의미는 다음과 같이 이해되어야 할 것이다. “제1”, “제2” 등의 용어는 하나의 구성요소를 다른 구성요소로부터 구별하기 위한 것으로, 이들 용어들에 의해 권리범위가 한정되어서는 아니 된다. 예를 들어, 제

1 구성요소는 제2 구성요소로 명명될 수 있고, 유사하게 제2 구성요소로 제1구성요소로 명명될 수 있다.

나아가 어떤 구성요소가 다른 구성요소에 “연결되어”있다고 언급된 때에는, 그 다른 구성요소에 직접적으로 연결될 수도 있지만, 중간에 다른 구성요소가 존재할 수도 있다고 이해되어야 할 것이다. 반면에, 어떤 구성요소가 존재하지 않는 것으로 이해되어야 할 것이다. 한편, 구성요소들 간의 관계를 설명하는 다른 표현들, 즉 “~사이에”와 “~사이에”또는 “~에 이웃하는” 과 “~에 직접 이웃하는” 등도 마찬가지로 해석되어야 한다.

단수의 표현은 문맥상 명백하게 다르게 뜻하지 않은 한 복수의 표현을 포함하는 것으로 이해되어야 하고, “포함하다” 또는 “가지다” 등의 용어는 실시된 특징, 숫자, 단계, 동작, 구성요소, 부분품 또는 이들을 조합한 것이 존재함을 지정하려는 것이며, 하나 또는 그 이상의 다른 특징이나 숫자, 단계, 동작, 구성요소, 부분품 또는 이들을 조합한 것들의 존재 또는 부가 가능성을 미리 배제하지 않는 것으로 이해되어야 한다.

이상과 같이 본 발명은 비록 한정된 실시예와 도면에 의해 설명되었으나, 본 발명은 상기의 실시예에 한정되는 것은 아니며, 이는 본 발명이 속하는 분야에서 통상의 지식을 가진 자라면 이러한 기재로부터 다양한 수정 및 변형이 가능하다. 따라서, 본 발명 사상은 아래에 기재된 특허청구범위에 의해서만 파악되어야 하고, 이의 균등 또는 등가적 변형 모두는 본 발명 사상의 범주에 속한다고 할 것이다.

○ 부호의 설명

100: 제1 각형강관	101: 제2 각형강관
110: 제1 연결부	111: 제1 키홈부
112: 제1 연결바디	113: 제1 강관 삽입부
114: 제1 이음 삽입부	115: 제1 끼움 홈
116: 제1 이음 홈부	117: 제1 경사면
118: 제1 삽입 경사면	119: 제1 끼움 경사면
120: 제2 연결부	121: 제2 키홈부
122: 제2 연결바디	123: 제2 강관 삽입부
124: 제2 이음 삽입부	125: 제2 끼움 홈
126: 제2 이음 홈부	126: 제2 경사면
127: 제2 삽입 경사면	128: 제2 끼움 경사면
131: 제1 수직 면부	132: 제2 수직 면부
135: 하중 전달키	140: 조임 볼트

○ 특허청구범위○

○ 청구항 1

제1 각형강관과 제2 각형강관을 연결하는 이음장치로서,
상기 제1 각형강관에 삽입되어 설치되는 제1 연결부;
상기 제2 각형강관에 삽입되어 설치되되, 상기 제1 연결부와 암수 결합되는 제2 연결부;
상기 제1 연결부와 제2 연결부의 내벽부에 일부와 타부가 삽입 설치되는 하중 전달키; 및
상기 제1 연결부와 제2 연결부 중 어느 하나에 마련되며, 상기 하중 전달키를 가압하여 상기 제1 연결부와 제2 연결부에 대해 결합위치를 정렬시키는 조임 볼트를 포함하며,
상기 제1 연결부에 마련되며 상기 하중 전달키가 삽입되는 제1 키홈부; 및
상기 제2 연결부에 마련되며 상기 하중 전달키가 삽입되는 제2 키홈부를 더 포함하며,
상기 조임 볼트가 조여짐에 따라 상기 제1 키홈부와 제2 키홈부 중 어느 하나에서 다른 하나로 상기 하중 전달키가 움직이면서 위치 조절되어 상기 제1 키홈부와 제2 키홈부를 연결하는 것을 특징으로 하는 하중 전달 철물을 이용한 기계식 강관 이음장치.

○ 청구항 2

제 1 항에 있어서,
상기 제1 키홈부와 제2 키홈부는, 상기 조임 볼트에 대응한 어느 하나가 다른 하나보다 깊게 형성되며, 상기 제1 연결부와 제2 연결부의 사방 내벽부에 위치하되,
상기 조임 볼트는 복수개씩 상기 제1 연결부의 사방 외벽부에서 상기 제1 키홈부 측으로 나사 결합되어 상기 제1 키홈부 측에 삽입된 상기 하중 전달키에 접촉되는 것을 특징으로 하는 하중 전달 철물을 이용한 기계식 강관 이음장치.

○ 청구항 3

제 1 항에 있어서,
상기 제1 연결부는,
중공 사각형상의 제1 연결바디;
상기 제1 연결바디의 일단부에 형성된 제1 강관 삽입부;
상기 제1 연결 바디의 타단부에서 상기 제1 강관 삽입부와 반대로 형성된 제1 이음 삽입부; 및
상기 제1 강관 삽입부에서 내측으로 마련되며, 상기 제2 연결부에 대응하는 제1 끼움 홈을 형성하는 제1 이음 홈부를 포함하며,
상기 제2 연결부는,
중공 사각형상의 제2 연결바디;
상기 제2 연결바디의 일단부에 형성된 제2 강관 삽입부;
상기 제2 연결 바디의 타단부에서 상기 제2 강관 삽입부와 반대로 형성된 제2 이음 삽입부; 및
상기 제2 강관 삽입부에서 내측으로 마련되며, 상기 제1 연결부에 대응하는 제2 끼움 홈을 형성하는 제2 이음 홈부를 포함하는 것을 특징으로 하는 하중 전달 철물을 이용한 기계식 강관 이음장치.

○ 청구항 4

제 3 항에 있어서,
상기 제1 연결부는,
상기 제1 강관 삽입부의 기저부에서 외측과 내측으로 경사진 제1 경사면;
상기 제1 강관 삽입부의 단부에서 상기 제1 각형강관에 삽입이 용이하도록 외측에서 내측으로 경사진 제1 삽입 경사면; 및
상기 제1 이음 삽입부에서 상기 제2 연결부에 끼움이 용이하도록 내측에서 외측으로 경사진 제1 끼움 경사면을 더 포함하며,
상기 제2 연결부는,
상기 제2 강관 삽입부의 기저부에서 외측과 내측으로 경사진 제2 경사면;
상기 제2 강관 삽입부의 단부에서 상기 제2 각형강관에 삽입이 용이하도록 외측에서 내측으로 경사진 제2 삽입 경사면; 및
상기 제2 이음 삽입부에서 상기 제2 연결부에 끼움이 용이하도록 내측에서 외측으로 경사진 제2 끼움 경사면을 더 포함하는 것을 특징으로 하는 하중 전달 철물을 이용한 기계식 강관 이음장치.

○ 청구항 5

제 4 항에 있어서,
상기 제1 연결부와 제2 연결부는,
상기 제1 연결부의 제1 이음 삽입부가 제2 이음 홈부에 끼워지며, 상기 제2 연결부의 제2 이음 삽입부가 제1 이음 홈부에 끼워지되,
상기 제1 연결바디와 제2 연결바디에는 상기 제1 이음 삽입부와 제2 이음 삽입부에 대응한 제1 수직 면부와 제2 수직 면부가 형성된 것을 특징으로 하는 하중 전달 철물을 이용한 기계식 강관 이음장치.

○ 요약서

○ 요약

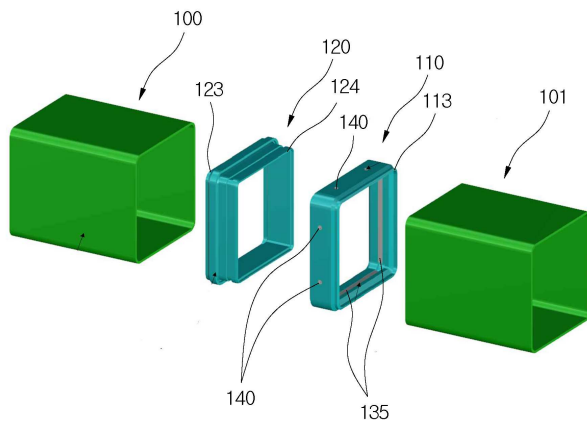
본 발명은 제1 각형강관에 삽입되어 설치되는 제1 연결부; 제2 각형강관에 삽입되어 설치되되, 제1 연결부와 암수 결합되는 제2 연결부; 제1 연결부와 제2 연결부의 내벽부에 일부와 타부가 삽입 설치되는 하중 전달키; 및 제1 연결부와 제2 연결부 중 어느 하나에 마련되며, 하중 전달키를 가압하여 제1 연결부와 제2 연결부에 대해 결합위치를 정렬시키는 조임 볼트를 포함하는 것으로서, 기존의 각형강관들의 이음재보다 축 하중 전달의 결합 구조가 견고하고, 비틀림, 굽힘 및 진동에 의한 이음 구조의 이탈을 방지하는 장점이 있다.

○ 대표도

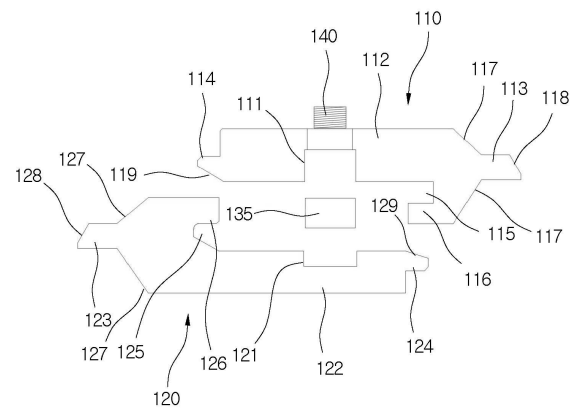
도 1

○ 도면

○ 도 1



○ 도 2



○ 과제정보

- 1) 과제고유번호:20CTAP-C158218-01
- 2) 부처명:국토교통부/국토교통과학기술진흥원
- 3) 연구사업명:국토교통기술촉진연구사업
- 4) 연구과제명:지하대공간 구현시 역타공법이 가능한 삼각유닛 CFT기둥과 단순 패널의 모멘트 접합부 개발
- 5) 수행기관명: 동신대학교산학협력단(주관), 세진알앤에스(공동), 삼원중공업(공동)
- 6) 연구기간: 2020. 04. 01 - 2021. 12. 31(21개월)

(2) 정량적 연구개발성과

구분		성과 목표		달성도		비고
		1차년도	2차년도	정량적 성과	%	
국외논문 게재	SCI	1		1편	100	1. JOBE(Journal of Building Engineering) 저널 게재 완료 * 연구개발계획서상 미계획사항, 1차년도 연차평가 이후에 평가의견 반영으로 목표치 추가)
	비SCI					
	계	1				
국내논문 게재	SCI			3편	100	1. 한국강구조학회 논문집 1편 게재 완료 2. 한국복합신소재구조학회 논문집 1편 게재 완료 3. 대한건축학회연합화논문집 1편 게재 완료
	비SCI	1	2			
	계	1	2			
특허출원	국내	2	1	4건	100	1. 특허 4건 출원 완료
	국외					
	계	2	1			
특허등록	국내	1		1건	100	1. 특허 1건 등록 완료
	국외					
	계	1				
인력양성	석사			3명	100	1. 석사 인력 양성 완료 2. 학사 인력 양성 완료
	박사					
	계					
기타	시제품		1	6건	100	구소성능실험 1. 압축 성능실험 2. 인장 성능실험 3. 접합부 내진성능 평가
	구조성능 실험	1	1	3건	100	
	설계/시공매뉴얼		1	1건	100	
	설계/시공지침서		1	1건	100	

(3) 세부 정량적 연구개발성과

- 해당사항 없음

[과학적 성과]

☐ 논문(국내외 전문 학술지) 게재

번호	논문명	학술지명	주저자명	호	국명	발행기관	SCIE 여부 (SCIE/비SCIE)	게재일	등록번호 (ISSN)	기여율
1	Steel-Concrete Composite Beam-Column Connections Utilizing Prefabricated Permanent Steel Form	JOBE (Journal of Building Engineering)	1. Deuck hang Lee 2. Hyun jin Ju 3. Se-Jung Lee 4. Jae-Yuel Oh 5. Il-Seung Yang	Vol. 46, No.1	Netherland s	ELSEVIER	SCIE	June 16, 2021	23527102	100
2	플레이트를 통해 인장력이 축적각 방향으로 작용하는 CFT기동에 대한 실험적 연구	한국강구조학회 논문집	1.오재열 2.이세정 3.전진우 4.최성모 5.양일승	제 33 권 제 6 호 (제 175호)	대한민국	한국강구조학회	비SCIE	2021.12	1226-363X	100
3	인장력을 받는 강관접합부의 거동에 대한 실험적 연구	한국복합신소재구조학회 논문집	1.오재열 2.이세정 3.최현수 4.최성모 5.양일승	제 11 권 제 6 호 (제 175호)	대한민국	한국복합신소재구조학회	비SCIE	2021.12	2093-5145 (Print) 2288-0232 (Online)	100
4	단순한 형태를 가진 합성기동의 보-기동 접합부의 내진성능 평가를 위한 실험적 연구	대한건축학회 연례논문집	1.오재열 2.이세정 3.전진우 4.김진원 5.양일승	24권 1호(통권 107호)	대한민국	대한건축학회	비SCIE	2022.02	1229-5752	100

☐ 국내 및 국제 학술회의 발표

번호	회의 명칭	발표 내용	발표자	발표 일시	장소	국명
1	한국복합신소재구조학회 학술발표대회	파형강관을 이용한 중공슬래브의 휨성능에 관한 실험적 연구	Poster	2020.07.09~10	제주 오리엔탈호텔	대한민국
2.	11th International Symposium on Steel Structures	Experimental Study for the Partial Penetrated Welding Simple Panel of Beam-Column Joint	Poster	2021.11.3~6	제주 라마다프라자호텔	대한민국

☐ 기술 요약 정보

- 해당사항 없음

☐ 보고서 원문

- 해당사항 없음

☐ 생명자원(생물자원, 생명정보)/화합물

- 해당사항 없음

[기술적 성과]

☐ 지식재산권(특허, 실용신안, 의장, 디자인, 상표, 규격, 신품종, 프로그램)

번호	구분	지식재산권 등 명칭 (건별 각각 기재)	국명	출원			등록			기여율	활용 여부
				출원인	출원일	출원번호	등록인	등록일	등록번호		
1	특허출원	모멘트 접합이 가능한 삼각형 기둥의 결합구조	대한민국	1.삼원중 공업주식 회사 2. 동신대 학 교산학협 력단 3. (주)세진알 엔에스	2020.10.2 3	제10-202 0-013865 7호				100	x
2	특허출원	4면 부분 용입용접으로 제작한 보-기둥 강관 접합 패널	대한민국	1.(주)세진 알엔에스 2. 동신대 학 교산학협 력단 3. 삼원중공 업주식회 사	2020.10.2 3	제10-202 0-013865 8호				100	x
3	특허출원	하중 전달 철물을 이용한 기계식 강관 이음재	대한민국	1.(주)세진 알엔에스 2. 동신대 학 교산학협 력단 3. 삼원중공 업주식회 사	2020.10.2 3	제10-202 0-013865 9호				100	x
4	특허출원	시공단계를 고려한 강-콘크리트 합성보	대한민국	(주)세진알 엔에스	2021.05.0 7	제10-202 1-005926 4호				100	x
5	특허등록	단부모멘트 및 휨 저항력이 보강된 보와 기둥의 EZ 결합구조	대한민국	(주)세진알 엔에스 (주)세진에 스씨엠	2018.03.2 8	제10-201 8-003615 3호	(주)세진알 엔에스 (주)세진에 스씨엠	2020.02.1 3	제 10-20790 008호	100	x

○ 지식재산권 활용 유형

- 해당사항 없음

☐ 저작권(소프트웨어, 서적 등)

- 해당사항 없음

☐ 신기술 지정

- 해당사항 없음

☐ 기술 및 제품 인증

- 해당사항 없음

☐ 표준화

○ 국내표준

- 해당사항 없음

○ 국제표준

- 해당사항 없음

[경제적 성과]

☐ 시제품 제작

번호	시제품명	출시/제작일	제작업체명	설치장소	이용분야	사업화 소요 기간	인증기관 (해당 시)	인증일 (해당 시)
1	S-Panel 인장실험체	2020.07.20	뉴코텍	POSCO 강구조실험동	구조성능 평가	-	-	2020.07.24
2	EZ-Column 압축실험체	2020.07.28	유한철강	POSCO 강구조실험동	구조성능 평가	-	-	2020.08.03
3	표형기둥 단주 압축 편심실험체	2020.10.06	(주)도성산업	POSCO 강구조실험동	구조성능 평가	-	-	2020.10.23
4	EZ-Column 인장실험체	2020.10.15	(주)유건	POSCO 강구조실험동	구조성능 평가	-	-	2020.10.23
5	표형기둥 인장실험체	2020.10.16	(주)도성산업	POSCO 강구조실험동	구조성능 평가	-	-	2020.10.23
6	EZ-Col 접합부 실험체	2021.04.26	(주)도성산업	POSCO 강구조실험동	구조성능 평가	-	-	2021.05.18

☐ 현장적용

- 해당사항 없음

☐ 기술 실시(이전)

- 해당사항 없음

☐ 사업화 투자실적

- 해당사항 없음

☐ 사업화 현황

- 해당사항 없음

☐ 매출 실적(누적)

- 해당사항 없음

☐ 사업화 계획 및 무역 수지 개선 효과

- 해당사항 없음

☐ 고용 창출

번호	사업화명	사업화 업체명	고용창출 인원(명)		합계(명)
			2020년	2021년	
1	국토교통기술촉진연구사업	(주)세진알엔에스	2	1	3
합계			2	1	3

☐ 고용 효과

구분			고용 효과(명)
고용 효과	개발 전	연구인력	1
		생산인력	0
	개발 후	연구인력	3
		생산인력	1

☐ 비용 절감(누적)

- 해당사항 없음

☐ 경제적 파급 효과

- 해당사항 없음

☐ 산업 지원(기술지도)

- 해당사항 없음

☐ 기술 무역

- 해당사항 없음

[사회적 성과]

☐ 법령 반영

- 해당사항 없음

☐ 정책활용 내용

- 해당사항 없음

☐ 설계 기준/설명서(시방서)/지침/안내서에 반영

번호	구 분 (설계 기준/설명서/지침/안내서)	활용 구분 (신규/개선)	설계 기준/설명서/ 지침/안내서 명칭	반영일	반영 내용
1	제작/시공지침서	신규	CFT Column(가칭) 제작, 시공, 설 계 매뉴얼	2021.12.31	개발 제품의 제작 및 설치
2	설계 매뉴얼	신규	구조설계 시트 작성	2021.12.31	개발 제품의 구조설계 프로세스

☐ 신진연구자 채용

- 해당사항 없음

☐ 전문 연구 인력 양성

- 해당사항 없음

☐ 산업 기술 인력 양성

- 해당사항 없음

☐ 다른 국가연구개발사업에의 활용

- 해당사항 없음

☐ 국제화 협력성과

- 해당사항 없음

☐ 홍보 실적

- 해당사항 없음

☐ 포상 및 수상 실적

- 해당사항 없음

[인프라 성과]

☐ 연구시설·장비

- 해당사항 없음

[그 밖의 성과](해당 시 작성)

(4) 계획하지 않은 성과 및 관련 분야 기여사항(해당 시 작성)

2) 목표 달성 수준

연구 개발 목표	달 성 내 용	달성도(%)
○ 선행연구 문헌조사 및 기존 합성 구조 시스템의 한계점 분석	○ 콘크리트 충전강관기둥이 활발하게 사용되고 있는 국내 및 해외 사례를 근간으로 기존 합성 구조 시스템의 한계점을 분석함.(선행연구)	100%
○ 다양한 변수에 대한 유한요소해석을 수행하여 합성기둥 및 합성접합부의 최적형상 도출(개발 기술의 지식재산권 확보)	○ 충전강관 기둥과 보부재의 논다이어프램 형상을 실현하기 위하여 삼각 유닛으로 조합된 기둥부재와 일반 합성보의 접합 편의성을 부여하고자 접합부 단순모델을 구현하여 유한요소해석의 변수 해석을 통해 도출된 응력흐름을 파악하여 최적 단면 형상을 개발하여 지식재산권을 획득함.(특허등록 1건/특허출원 4건)	100%
○ 실험 및 해석적 연구를 통한 개발 합성구조 시스템의 구조성능 검증(저명 학술지에 논문게재)	○ 개발 제품의 구조성능 검증을 위한 시작품 제작을 통해 압축/인장 실험을 진행하였으며, 이를 토대로 저명 학술지에 논문을 게재하고, 이에 대한 홍보 및 전문가 의견을 반영하기 위하여 국내 학술발표대회에 참여하여 이를 검증함.(SCI급 1건 게재, 국내 논문집 2건 게재(1건은 심사중: 2022년 1월 게재 예정, 국내학술발표대회 2건 참가))	100%
○ 콘크리트와 합성 전의 시공단계에서 구조성능 검증	○ 개발 제품의 구조성능 검증을 위한 시작품 제작을 통해 강관과 콘크리트의 합성 전 시공단계 시 하중 전달 메커니즘을 규명하고 성능 시험을 통해 이를 검증함.(시작품 제작 2건)	100%
○ 콘크리트와 합성 후의 사용성 및 구조안전성 검증	○ 개발 제품의 구조성능 검증을 위한 시작품 제작을 통해 강관과 콘크리트의 합성 후 내진성능을 평가하여 구조 안전성을 검증함.(시작품 제작 3건)	100%
○ 시작품제작을 통하여 제작성 및 경제성 분석	○ 시작품 제작 시 경제적인 단면을 구현하고, 용접 및 접합의 편의성을 제공하고 여러 제조사와의 협의 및 제작 의뢰를 통해 제작 단가를 분석함.(시작품 제작 6건)	100%
○ 이론적, 해석적, 실험적 연구를 통한 성능검증 결과를 바탕으로 설계법 도출, 설계 및 시공지침 개발, 시작품 제작(저명 학술지에 논문게재)	○ 이론 및 해석 그리고 실물대 실험을 통해 검증된 데이터를 기반으로 제작/시공지침서 및 설계 매뉴얼(구조설계시트)를 작성하여 예상내력의 예측과 실제 거동을 분석함.(SCI급 1건 게재, 국내 논문집 2건 게재(1건은 심사중: 2022년 1월 게재 예정, 국내학술발표대회 2건 참가))	100%

4. 목표 미달 시 원인분석(해당 시 작성)

1) 목표 미달 원인(사유) 자체분석 내용

- 해당사항 없음

2) 자체 보완활동

- 해당사항 없음

3) 연구개발 과정의 성실성

- 해당사항 없음

5. 연구개발성과의 관련 분야에 대한 기여 정도

○ 기술적 측면

- 합성강관 기둥의 신형상 모델 제시를 통한 구조관련 종사자들의 개발 의욕 증진
- 기둥-보 접합부 다이어그램의 설치 간소화에 따른 제작 속도 및 시공속도의 향상
- 신형상 합성강관 기둥의 구조설계법 제시를 통한 구조설계의 단순화
- 강관과 콘크리트 합성 후 내진성능 평가에 따른 접합부 신뢰성 확보
- 각 부재 특성의 합리적인 조합을 통한 내진 구조시스템 기술력 확보

○ 사회·경제적 측면

- 기둥-보 접합부의 다이어그램의 설치 간소화에 따른 경제성 창출
- 강관 단면 감소 및 제작 속도의 개선을 통한 제작 및 설치에 따른 직접비용의 감소
- 용접 개소 저감을 통해 검사 시간 및 위험요소 제거하여 부대 비용 절감
- 내진 기술 개발에 따른 개발 기술의 대외 홍보를 통한 기업 수익성 창출
- 강재 사용 감소로 인한 제조 원가 절감 및 발주처 수익성 창출

○ 정책적 측면

- 다이어그램 설치 간소화에 따른 제작 및 시공 시 발생하는 CO2 배출량의 절감
 - 다이어그램 설치 간소화에 따른 시공 편의성 제공
 - 구조설계법 제시를 통한 현행 코드 개선 및 접합부 설계의 단순화
-

6. 연구개발성과 관리 및 활용 계획

본 연구를 통하여 도출할 수 있는 최종성과물의 활용방안은 그림 6.1에 나타난 바와 같이 원천기술 확보, 설계/시공 상세지침 개발, 개발기술의 홍보 및 마케팅 등으로 요약하여 나타낼 수 있다.

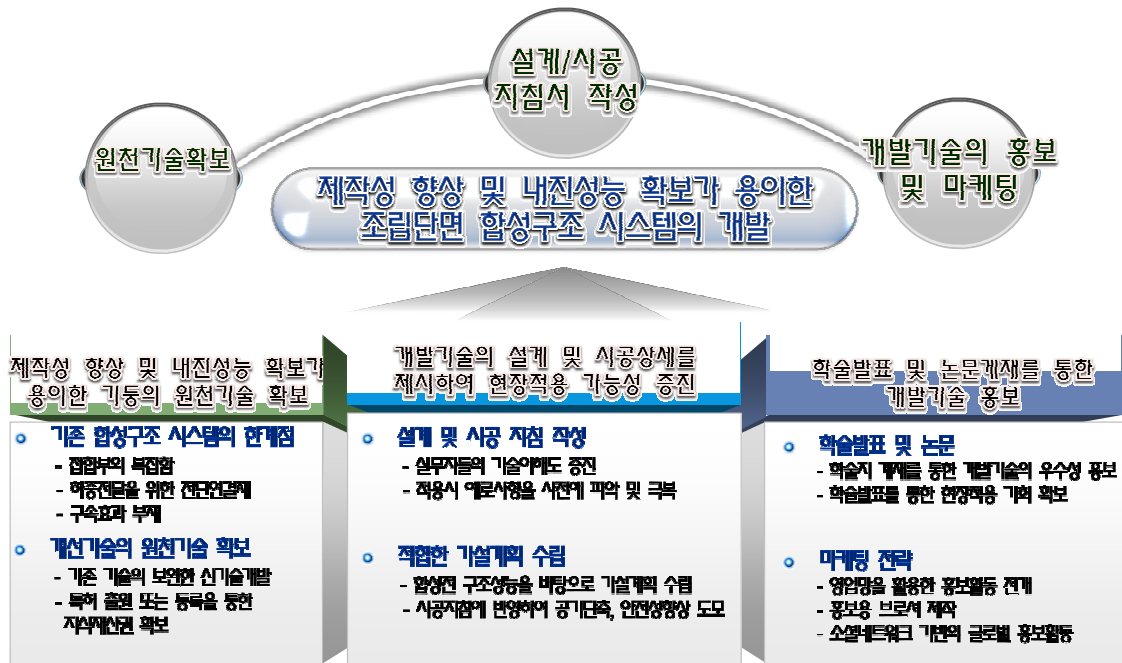


그림 6.1 기술개발 성과물의 활용방안

□ 제작성 및 구조성능이 우수한 합성구조 시스템의 원천기술 확보

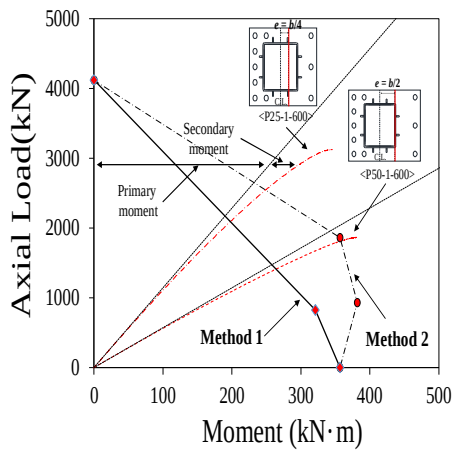
- 기존 합성구조 시스템이 가지고 있는 구조적, 경제적, 시공적 측면의 문제점을 파악하여, 이에 대한 개선방안을 ‘제작성 향상 및 구조성능 확보가 용이한 조립단면 충전 각형강관기동 및 접합부’개발에 적용함으로써 제작성, 내진성능, 구조성능과 시공성 및 경제성 향상 등을 확보할 수 있도록 함. 또한, 개발기술의 특허 출원 및 등록을 통해 개발기술에 대한 원천기술을 확보함.

□ 개발기술의 설계 및 시공상세 제시를 통한 현장적용 가능성 증진

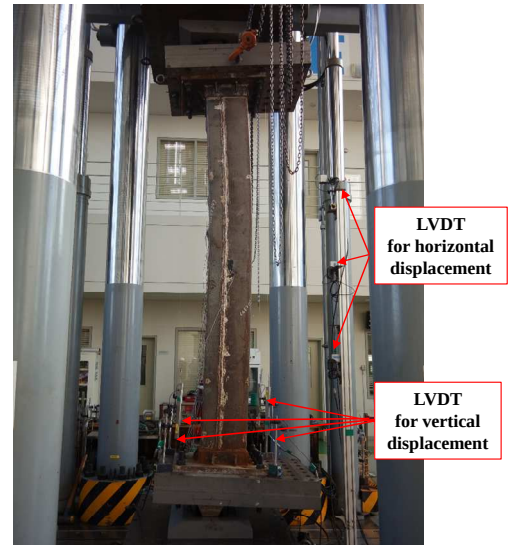
- ‘제작성 향상 및 구조성능 확보가 용이한 조립단면 충전 각형강관기동 및 접합부’에 대한 설계·시공 지침을 작성하여 실무자들의 이해도를 높이고, 이에 대한 홍보를 통해 개발기술의 현장적용 가능성을 증진시킬 수 있을 것임.
- 그림 6.2에 나타난 것과 같이 해석 및 실험적 연구를 통하여 시공단계 구조성능을 검증함으로써 개발기술에 적합한 강도산정법 및 설계법을 수립하고, 이를 시공 지침에 반영함으로써 공기단축, 작업자의 안전성 향상 등을 도모할 것임.

□ 학술발표 및 마케팅을 통한 개발기술 홍보

- 개발 합성구조 시스템에 대한 실험 및 해석적 연구결과를 국내외 저명 학술지 게재 및 학술발표대회 발표 등을 통하여 개발 기술의 우수성 및 장점에 대하여 적극 홍보함으로써 개발기술의 현장적용 기회를 확보할 수 있도록 지속적인 노력을 할 것임.
- 기존 판매 및 영업망을 적극 활용하여 개발 시스템의 홍보활동을 전개할 것이며, 글로벌 마케팅을 위한 영문 브로셔를 제작하여 국내뿐만 아니라 국외 현장에도 진출할 노력을 기울일 것임. 또한, 소셜네트워크 기반의 글로벌 홍보활동을 전개하여 개발기술에 대한 국내외 홍보활동에도 적극적으로 노력을 기울일 것임.



(a) 해석적 연구



(b) 실험적 연구

그림 6.2 구조성능 검증을 위한 연구

7. 참고 문헌

1. Architectural institute of Korea (2016), Korea Building Code and commentary-structural. (in Korean)
Architectural Institute of Korea (2019), Korean Building Code Kimoondang Publishing. (in Korean)
2. Choi Y. H., (2012) "Limitations on the Width-to- Thickness Ratio of Rectangular Concrete-Filled Tubular (CFT) Columns," Journal of Korea society of steel construction, KSSC, Vol. 24, No. 4, pp. 451-458. (<https://doi.org/10.7781/kjoss.2012.24.4.451>)
3. Franca, L. F. P. (2011), "A Bit-rock Interaction Model for Rotary Percussive Drilling," International Journal of Rock Mechanics and Mining Science, Meccanica, Vol. 48, No. 5, pp. 827-835. (<https://doi.org/10.1016/j.ijrmms.2011.05.007>)
4. Kim S. H., Yom K. S., Choi S. M. (2014), "Seismic Evaluation of Welded-formed square Column-Beam Connection for External Diaphragm Stress Path," Journal of Korea society of steel construction. (<https://doi.org/10.7781/kjoss.2014.26.4.311>)
5. Lee, S. H., Jung, H. M., Kim, D. J., Kim, J. H., and Choi, S. M. (2008), "Structural Characteristic Welded Built up Square CFT Column to Beam Connection with External Diaphragm," Journal of Korean Society of Steel Construction, KSSC, Vol. 20, No. 6, pp. 711-722. (<https://doi.org/10.12989/scs.2010.10.3.261>)
6. Park, I. J., and Yoo, J. H. (2010), "Aseismic Design Concept for Underground Space Based on Site Response Analysis," Journal of Korean Tunnelling and Underground Space Association, Vol. 12, No. 3 pp. 257-264.
7. Chung, J., Seo, S., Matsui, C., and Choi, S. (2005) "Hysteresis Behavior of Square Tube Columns to H-Beam Connections with Vertical Stiffeners," Advances in Structural Engineering, Sage, Vol.8, No.6, pp.561-572. (<https://doi.org/10.1260/136943305776318383>)
8. Choi, S., Lee, S., Hong, S., and Kim, J. (2009), "Structural Capacities of Tension Side for CFT Square Column-to-Beam Connections with Combined-Cross Diaphragm," Advances in Structural Engineering, Vol. 11, No. 2, pp. 209-227. (<https://doi.org/10.7781/kjoss.2012.24.4.451>)
9. Elremaily, A., and Aziznamini, A. (2001), "Experimental Behavior of Steel Beam to CFT Column Connections," Journal of Constructional Steel Research, Vol. 57, No. 10, pp. 1099-1119. ([https://doi.org/10.1016/S0143-974X\(01\)00025-6](https://doi.org/10.1016/S0143-974X(01)00025-6))
10. Fukumoto, T., and Morita, K. (2005) "Elastoplastic Behavior of Panel Zone in Steel Beam-to-Concrete Filled Steel Tube Column Moment Connections," Journal of Structural Engineering, American Society of Civil Engineers, Vol.131, No.12, pp.1841-1853.
11. Kim. K., Lee. H., Kim. Y., Kim. T., and Kim, J (2017) "Structural Strength of Beam-to-CFT Connections with Vertical Diaphragm," Journal of Korea society of steel construction, KSSC, Vol. 29, No. 3, pp. 237-247. (<https://doi.org/10.12989/scs.2010.10.3.261>)
12. Oh, J. Y., Lee, S. J., Choi, H. S., Choi, S. M., and Yang, I. S. (2020), "Behavior of Square Steel Pipe Joints under Tensile Force," Journal of the Korean Society for Advanced Composite Structures, Vol. 11, No. 6, pp. 78-85. (<https://doi.org/10.11004/kosacs.2020.11.6.078>)
13. Choi, Y. H., Kim, S. B., Baek, K. Y., and Kim, S. S. (2020), "Seismic Performance Evaluation of the Connection Between the CFT Column with Built-up Square Shape Steel Tube (D-Column) and the HyFo Composite Beam," Journal of the Korean Society of Steel Construction, Vol. 32, No. 1, pp. 43-53. (<http://dx.doi.org/10.7781/kjoss.2020.32.1.043>)

14. Kim, S.B., Kim, S.S., Lee, W.R., Kim, J.Y., Lee, S.B., Ryu, D.S., and Kim, D.H. (2012) Study on the Flexible Strength of U-Shape Hybrid Composite Beam, Journal of Korean Society of Steel Construction, KSSC, 24(5), pp.521–534 (<http://dx.doi.org/10.7781/kjoss.2012.24.5.521>)
15. Choi, S., Lee, S., Hong, S., and Kim, J. (2009), Structural Capacities of Tension Side for CFT Square Column-to-Beam Connections with Combined-Cross Diaphragm, Advances in Structural Engineering, 11(2), pp. 209–227. (<https://doi.org/10.7781/kjoss.2012.24.4.451>)
16. Kim. K., Lee. H., Kim. Y., Kim. T., and Kim, J (2017) Structural Strength of Beam-to-CFT Connections with Vertical Diaphragm, Journal of Korea society of steel construction, KSSC, 29(3), pp. 237–247. (<https://doi.org/10.12989/scs.2010.10.3.261>)
17. Oh, J. Y., Lee, S. J., Choi, H. S., Choi, S. M., and Yang, I. S. (2020), Behavior of Square Steel Pipe Joints under Tensile Force, Journal of the Korean Society for Advanced Composite Structures, 11(6), pp. 78–85. (<https://doi.org/10.11004/kosacs.2020.11.6.078>)
18. Choi, Y. H., Kim, S. B., Baek, K. Y., and Kim, S. S. (2020), Seismic Performance Evaluation of the Connection Between the CFT Column with Built-up Square Shape Steel Tube (D-Column) and the HyFo Composite Beam, Journal of the Korean Society of Steel Construction, 32(1), pp. 43–53. (<http://dx.doi.org/10.7781/kjoss.2020.32.1.043>)
19. AISC (2016). Seismic Provisions for Structural Steel Buildings. American Institute of Steel Construction, Chicago, Illinois, U.S.A.
20. C.G. Salmon, J.E. Johnson, Steel Structures Design and Behavior, 4th ed., Harper Collins, USA, 1996.
21. W. T. Segui, Steel Design, 6th ed., Cengage Learning, USA, 2017
22. D.L. Mullett, Composite floor system, Blackwell science Ltd, USA, 1998.
23. Q. Wang, Q. Shi, H. Tian, Experimental Study on Shear Capacity of SRC Joints with Different Arrangement and Sizes of Cross-Shaped Steel in Column, SteelandCompositeStructures,21(2),2016,267–287.
24. J.Y. Oh, D.H. Lee, K.S. Kim, Accordion Effect in Prestressed Steel Beams with Corrugated Webs, Thin-WalledStructures,57(1),2012,49–61.
25. J.Y. Oh, D.H. Lee, J.M. Lee, K.S. Kim, S.B. Kim, Experimental Study on Reinforced Concrete Column Incased in Prefabricated Permanent Thin-Walled Steel Form, AdvancesinMaterialScienceandEngineering,2016,ArticleID3806549,1–11.
26. H. Jiang, Q. Li, W. Jian, D.Y. Zhang, Study on Seismic Performance of Connection Joint between Prefabricated Prestressed Concrete Beams and High Strength Reinforcement-Confined Concrete Column, SteelandCompositeStructures,21(2),2016,343–356.
27. Y.H. Choi, K.S. Kim, S.M. Choi, Simplified P-M Interaction Curve for Square Steel Tube Filled with High-Strength Concrete, Thin-WalledStructures,46(1),2008,506–515.

28. S.J. Han, D.H. Lee, J.Y. Oh, S.H. Choi, K.S. Kim, Flexural Responses of Prestressed Hybrid Wide Flange Composite Girders, *International Journal of Concrete Structures and Materials*, 12(5), 2018, 581–596.
29. H. Ju, S.J. Lee, S.M. Choi, J.R. Kim, D.H. Lee, Applicability of Hybrid Built-Up Wide Flange Steel Beams, *Metals*, 10(5), 2020.
30. W.H. Kang, S.J. Hicks, B. Uy, A. Fussell, Design Resistance Evaluation for Steel and Steel–Concrete Composite Members, *Journal of Constructional Steel Research*, 147(1), 2018, 523–548.
31. S.J. Lee, D.H. Lee, K.S. Kim, J.Y. Oh, M.K. Park, I.S. Yang, Seismic Performances of RC Columns Reinforced with Screw Ribbed Reinforcements Connected by Mechanical Splice, *Computers and Concrete*, 12(2), 2013, 131–149.
32. D.H. Lee, J.Y. Oh, K.S. Kim, H. Kang, H.J. Kim, H.Y. Kim, Structural Performance of Prestressed Composite Girders with Corrugated Steel Plate Webs, *Journal of Constructional Steel Research*, 104(1), 2015, 9–21.
33. D.J. Lee, J.K. Yoon, T.H.K. Kang, Combined half precast concrete slab and post-tensioned slab topping system for basement parking structures, *Journal of Structural Integrity and Maintenance*, 1(1), 2016, 1–9.
34. D.H. Lee, T.H.-K. Kang, H. Ju, S.W. Moon, I.S. Yang, Seismic Performance of RC Column–Foundation Connections with Combo-Type Mechanical Splices, *ACI Structural Journal*, 116(5), 2019, 1–14.
35. S.A. Wagh, U.P. Waghe, Comparative Study of R.C.C and Steel Concrete Composite Structures, *International Journal of Engineering Research and Applications*, 4(4), 2014, 369–376.
36. J.M. Adam, E. Gimenez, P.A. Calderon, F.J. Pallares, S. Ivorra, Experimental Study of Beam–Column Joints in Axially Loaded RC Columns Strengthened by Steel Angles and Strips, *Steel and Composite Structures*, 8(4), 2008, 329–342.
37. A. Agibayeva, D. Lee, H. Ju, D. Zhang, J.R. Kim, Application of Steel–Concrete Composite Pile Foundation System as Energy Storage Medium, *Structural Engineering and Mechanics*, 77(6), 2021, 753–763.
38. D.B. Bae, K.M. Lee, Behavior of Preflex Beam in Manufacturing Process, *KSCE Journal of Civil Engineering*, 8(1), 2007, 111–115.
39. R.G. Driver, H.H. Abbas, R. Sause, Shear Behavior of Corrugated Web Bridge Girders, *Journal of Structural Division, ASCE*, 132(2), 2006, 195–203.
40. T.S. Eom, H.J. Hwang, H.G. Park, C.N. Lee, H.S. Kim, Flexural Test for Steel–Concrete Composite Members Using Prefabricated Steel Angles, *Journal of Structural Engineering, ASCE*, 140(4), 2014, 1–12.
41. H.J. Hwang, T.S. Eom, H.G. Park, S.H. Lee, H.S. Kim, Cyclic Loading Test for Beam–Column Connections of Concrete–Filled U–Shaped Steel Beams and Concrete–Encased Steel Angle Columns,

42. J.H. Hwang, D.H. Lee, J.Y. Oh, S.H. Choi, K.S. Kim, S.Y. Seo, Seismic Performances of Centrifugally-Formed Hollow-Core Precast Columns with Multi-Interlocking Spirals, *Steel and Composite Structures*, 20(6), 2016, 1259–1274.
43. K.S. Kim, D.H. Lee, S.M. Choi, Y.H. Choi, S.H. Jung, Flexural Behavior of Prestressed Composite Beams with Corrugated Web: Part I. Development and Analysis, *Composites Part B: Engineering*, 42(6), 2011, 1603–1616.
44. K.S. Kim, D.H. Lee, Flexural Behavior of Prestressed Composite Beams with Corrugated Web: Part II. Experiments and Verification, *Composites Part B: Engineering*, 42(6), 2011, 1617–1629.
45. J.Y. Oh, D.H. Lee, S.H. Cho, H. Kang, H.C. Cho, K.S. Kim, Flexural Behavior of Prestressed Steel-Concrete Composite Members with Discontinuous Webs, *Advances in Materials Science and Engineering*, Article ID 278293, 2015, 1–13.
46. J. Shayanfar, H.A. Bengar, A Practical Model for Simulating Nonlinear Behaviour of FRP Strengthened RC Beam-Column Joints, *Steel and Composite Structures*, 27(1), 2018, 49–74.
47. B. Uy, M.A. Bradford, Ductility of Profiled Composite Beams. Part I: Experimental Study, *Journal of Structural Engineering, ASCE*, 121(5), 2015, 883–889.
48. B. Uy, M.A. Bradford, Ductility of Profiled Composite Beams. Part II: Analytical Study, *Journal of Structural Engineering, ASCE*, 121(5), 2015, 876–8882.
49. ASCE, Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures, ASCE/SEI Standard 7–10, 2010.
50. AISC, Prequalified Connections for Special and Intermediate Steel Moment Frames for Seismic Applications, ANSI/AISC 358–16, Chicago, USA, 2016.
51. AWS (American Welding Society) Structural Welding Code—Reinforcing Steel, AWS D1.4M–2005, Miami, FL, 2005.
52. AISC, Seismic provisions for structural steel buildings, ANSI/ AISC 341–05, Chicago, USA, 2005.
53. C. Han, Q. Li, X. Wang, W. Jian, W. Li, Research on Rotation Capacity of the New Precast Concrete Assemble Beam-Column Joints, *Steel and Composite Structures*, 22(3), 2016, 613–625.
54. ACI Committee 318, Building Code Requirements for Structural Concrete and Commentary (ACI 318R–19), American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, USA, 2019.
55. H. Ju, D.H. Lee, H.C. Cho, K.S. Kim, S. Yoon, S.Y. Seo, Application of hydrophilic silanol-based chemical grout for strengthening damaged reinforced concrete flexural members, *Materials*, 7(6), 2014, 4823–4844.

< 별첨 >

별첨 자료

1. 총 연구개발기간 성과점검기준표 및 증빙자료
2. 세부 정량적 연구개발성과 증빙자료(총 연구개발기간 성과점검기준표 실적 증빙자료에 기 포함되어 있는 증빙자료 제외)

[뒷면지]

주 의

1. 이 보고서는 국토교통부에서 시행한 국토교통과학기술 연구개발사업 ‘국토교통기술촉진연구사업’ 연구개발과제 최종보고서이다.
2. 이 연구개발내용을 대외적으로 발표할 때에는 반드시 국토교통부(국토교통과학기술진흥원)에서 시행한 국토교통과학기술 연구개발사업의 결과임을 밝혀야 한다.
3. 국가과학기술 기밀 유지에 필요한 내용은 대외적으로 발표 또는 공개하여서는 안 된다.