



저작자표시-비영리-변경금지 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.



비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.



변경금지. 귀하는 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공할 수 없습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 [이용허락규약\(Legal Code\)](#)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

[Disclaimer](#)

工學碩士 學位論文

2HC 합성구조시스템의 성능평가
및 설계법 정립

Performance Evaluation and Design
Method of 2HC Composite Structural
System

2024년 2월

蔚山大學校大學院
建築學科
金起範

2HC 합성구조시스템의 성능평가
및 설계법 정립

Performance Evaluation and Design
Method of 2HC Composite Structural
System

지도교수 김 대 경

이 論文을 工學碩士學位 論文으로 提出함

2024年 2月

蔚山大學校大學院

建築學科

金起範

金起範의 工學碩士學位 論文을 認准함

審査委員 임명관 (인)

審査委員 김성용 (인)

審査委員 김대경 (인)

蔚山대학교 대학원

2024年 2月

국문초록

최근 건설시장에는 대규모 구조물의 수요가 늘어나고 있다. 이때 구조물의 평면이 다양성을 가지게 되고, 자연스럽게 구조물이 초고층화 및 장스팬화 되면서, 강구조분야에서 구조성능이 우수하고 경제성이 있는 다양한 합성구조시스템이 개발되고 있다. 그러나 기존 합성구조시스템은 대부분 'U'의 형상을 가지는 합성보로 제작 시 절곡 및 롤포밍과 같은 2차 가공이 요구되어 제작기간이 늘어나고, 절곡 및 롤포밍이 가능한 생산설비시설이 있는 특정 철골제작업체에서만 제작이 가능하다는 점과 기존 강구조의 접합부 상세가 아닌 복잡한 접합부 상세로 인한 시공성 저하 등의 단점이 있어 개선이 요구되는 실정이다. 본 연구에서는 기존의 U형 단면을 한 쌍의 기성 H형강으로 대체하여, 별도 2차 가공이 필요 없어 제작이 용이하고 국부좌굴에 대해 안전성을 가지고 기존 강구조의 접합부 상세를 적용하여 시공성 향상이 가능한 합성구조시스템을 개발하였고, 2HC 합성보, 합성보-기둥 접합부의 구조성능실험을 통해 2HC 합성구조시스템의 안전성에 대하여 평가하였다.

2HC 합성보의 휨 성능실험 시 변수는 2HC 합성보 하부연결판에 스티드볼트 유무를 고려하여, 실험체 단부의 슬립량을 비교 분석하였다. 단순보의 지지조건으로 단조가력을 하여 실험한 결과 두 실험체 모두 초기에는 선형거동을 하였고, 좌측 가력점 위치의 콘크리트 슬래브의 균열이 발생하기 시작하였고, 균열이 점점 심화되고, 최대하중에 도달한 이후 콘크리트 슬래브의 중앙부에서 파괴가 일어나 실험을 종료하였다. 2HC 합성보의 압축 및 인장 변형률을 검토한 결과 단면의 소성중립축은 콘크리트 슬래브 상부에서 약 150mm 지점에 형성된 것을 확인하였다. 최대실험휨강도는 현행기준을 통해 산정된 예상휨강도를 모두 상회하는 것으로 확인되어, 현행기준을 통해 산정된 예상휨강도로 강도평가가 가능한 것으로 확인되었다.

2HC 합성보-기둥 접합부에 반복가력을 하여 실험한 결과 두 실험체 모두 가력초기에 볼트의 미끄러짐 현상이 발생하였고, 회전각이 점점 증가할수록 브라켓의 하부플랜지의 국부좌굴 및 찢어짐 현상이 발생하는 파괴양상을 보였다. 실험 후 변형능력을 검토한 결과 정, 부 방향 모두 충분한 소성회전각을 확보하는 것으로 확인하였고, 정, 부방향 최대실험휨강도는 현행기준을 통해 산정된 예상휨

강도를 모두 상회하여, 현행기준을 통해 산정된 예상휨강도로 강도평가가 가능한 것으로 확인하였으며, 합성중간모멘트골조의 회전성능인 3.0%를 모두 상회하는 것으로 확인되었다.

Keyword : 2HC Composite Beam, 2HC Composite Beam-Column Connection, Flexural Test, Cyclic Test, KDS 41 30 20 :2022, Eurocode 4

<목 차>

국문초록	i
목 차	iii
표 목 차	v
그림목차	vi
기호목차	viii
I. 서 론	1
1.1 연구배경	1
1.2 연구목적	3
II. 문헌고찰	5
2.1 선행연구 분석	5
2.1.1 Kim et al (2018)	5
2.1.2 Choi et al (2020)	7
2.1.3 Lee et al (2004)	9
2.2 현행설계기준 분석	10
2.2.1 KDS 41 30 20	10
2.2.2 Eurocode 4	13
III. 2HC 합성보 휨 성능	16
3.1 실험계획	16
3.1.1 실험체 제원 및 제작	16
3.1.2 실험 방법	20
3.2 실험결과	22

3.2.1	재료 시험	22
3.2.2	하중-변위관계 및 파괴거동 확인	25
3.2.3	단면의 변형률 확인	31
3.2.4	하중-슬립관계 확인	34
3.2.5	설계강도 비교	35
3.3	소결	37
VI.	2HC 보-기둥 접합부 성능	38
4.1	실험계획	38
4.1.1	실험체 제원 및 제작	38
4.1.2	실험 방법	42
4.2	실험결과	45
4.2.1	재료 시험	45
4.2.2	모멘트-회전각관계 및 파괴거동 확인	49
4.2.3	변형 능력	55
4.2.4	설계강도 비교	56
4.3	소결	58
V.	결론	59
	참고문헌	60
	Abstract	62

<표 목차>

표 2.1 판폭두께비 제한.....	11
표 3.1 2HC 합성보 실험체 제원.....	16
표 3.2 콘크리트 압축강도 실험결과.....	22
표 3.3 강제 인장강도 실험결과.....	23
표 3.4 2HC 합성보 휨 성능실험 결과.....	29
표 3.5 예상휨강도와 최대휨강도 비교.....	36
표 4.1 2HC 합성보-기둥 접합부 실험체 제원.....	38
표 4.2 반복가력 하중.....	43
표 4.3 콘크리트 압축강도 실험결과.....	45
표 4.4 강제 인장강도 실험결과.....	46
표 4.5 철근 인장강도 실험결과.....	48
표 4.6 2HC 합성보-기둥 접합부 실험 결과.....	53
표 4.7 실험체 변형능력.....	55
표 4.8 예상휨강도와 최대휨강도 비교.....	57

<그림 목차>

그림 1.1 U형 합성보의 형상.....	2
그림 1.2 2HC 합성구조시스템의 형상.....	4
그림 2.2 AU합성보 실험체 상세도 (Kim et al(2018)).....	6
그림 2.2 HyFo 합성보 실험체 상세도 (Choi et al(2020)).....	8
그림 2.3 TSC 합성보 실험체 상세도 (Lee et al(2004)).....	9
그림 2.4 합성보의 소성응력분포.....	10
그림 2.5 합성물에 의한 소성휨모멘트 강도 변화.....	14
그림 3.1 2HC-WS 실험체 형상.....	17
그림 3.2 2HC-WOS 실험체 형상.....	18
그림 3.3 실험체 제작 검수.....	19
그림 3.4 실험체 게이지 설치 및 타설.....	19
그림 3.5 실험체 설치도.....	21
그림 3.6 실험체의 변형률 게이지 및 LVDT 설치 위치.....	21
그림 3.7 강제 인장강도 시험결과.....	24
그림 3.8 2HC-WS 실험체의 파괴양상.....	26
그림 3.9 2HC-WOS 실험체의 파괴양상.....	28
그림 3.10 항복점 산정방법.....	29
그림 3.11 하중-변위 관계.....	30
그림 3.12 하중-변형률 관계.....	32
그림 3.13 단면 변형률 분포.....	33
그림 3.14 하중-슬립 관계.....	34
그림 3.15 2HC 합성보의 소성응력분포.....	35
그림 4.1 2HC 합성보-기둥 접합부 실험체 형상-1.....	39
그림 4.2 2HC 합성보-기둥 접합부 실험체 형상-2.....	40
그림 4.3 실험체 제작 검수.....	41
그림 4.4 실험체 게이지 설치 및 타설.....	41
그림 4.5 실험체 설치도.....	42

그림 4.6 반복가력 하중.....	43
그림 4.7 실험체의 변형률 게이지 및 LVDT 설치 위치.....	44
그림 4.8 강제 인장강도 시험결과.....	47
그림 4.9 2HC-BCJ-01 실험체 파괴양상.....	50
그림 4.10 2HC-BCJ-02 실험체 파괴양상.....	52
그림 4.11 이력거동곡선(모멘트-회전각 관계).....	54
그림 4.12 2HC 합성시스템의 소성응력분포.....	56

<기호 목차>

a = 등가블록높이, mm

A_c = 유효폭 안에 있는 콘크리트 슬래브의 면적, mm²

A_s = 강재단면의 총 단면적, mm²

b = 단면 폭, mm

d_1 = 콘크리트 압축력의 중심으로부터 강재단면의 상단까지 거리

d_2 = 강재단면의 압축력 중심으로부터 강재단면의 상단까지 거리

d_3 = 인장중심으로부터 강재단면의 상단까지 거리

D = 단면 춤, mm

E = 콘크리트 탄성계수, MPa

E_s = 강재 탄성계수, MPa

f_{ck} = 콘크리트 압축강도, MPa

f_y = 강재 항복강도, MPa

f_{cd} = 콘크리트 실린더 압축강도, MPa

F_{cr} = 국부좌굴응력, MPa

L_e = 부재에 작용하는 휨모멘트가 0인 지점간 거리, mm

M_n = 예상휨모멘트, kN·m

M_y = 인장플랜지의 항복과 압축플랜지의 첫 항복에 대응하는 항복휨모멘트, kN·m

M_p = 합성단면의 소성응력분포로부터 구한 휨모멘트, kN·m

M_{Rd} = 부분합성 소성휨모멘트, kN·m

$M_{pl,a,Rd}$ = 강재단면 소성휨모멘트, kN·m

$M_{pl,Rd}$ = 완전합성 시 소성휨모멘트, kN·m

N_c = 콘크리트슬래브 작용 압축력, N

N_{cf} = 전단연결재로 충분히 합성된 콘크리트슬래브 작용 압축력, N

t = 단면의 두께, mm

T = 강재단면의 인장강도, kN

$\eta =$ 합성율(N_c/N_{cf})

$\lambda =$ 폭두께비

$\lambda_p =$ 콤팩트 단면 폭두께비 한계값

$\lambda_r =$ 비콤팩트 단면 폭두께비 한계값

$\lambda_{\max} =$ 최대폭두께비

I. 서론

1.1 연구배경

최근 건설시장에는 지식산업센터, 복합쇼핑몰, 물류창고 등 대규모 구조물의 수요가 늘어나고 있다. 이때, 건축주들의 니즈에 맞게 구조물의 평면이 다양성을 가지게 되고, 건설기술의 한계에 도전하는 구조물이 늘어나며 초고층화 및 장스팬화가 되어가고 있다. 구조물의 초고층화 및 장스팬화 될수록 하중의 과다로 인해 일반 강구조로 적용 시 압연 Rolled H-형강의 춤과 물량이 늘어나게 되고, 압연 Rolled H-형강은 단면 최대 춤이 900mm로 이를 넘어설 경우 Built-up 부재를 사용하여야 하므로 물량 증가로 인한 공사비 증가 및 시공성 저하 등의 제약을 가진다. 이로 인해 강재와 콘크리트로 구성되어 서로 상호보완적으로 작용하여 개별 재료의 특성을 극대화시킬 수 있는 특징을 가지고 있고, 우수한 구조성능으로 인한 물량절감과 시공성을 향상시킨 다양한 합성구조시스템이 개발되고 있다.

합성구조시스템 중 현재 건설시장에서는 우수한 시공성을 바탕으로 ‘TSC합성보’, ‘HyFo합성보’, ‘AU합성보’, ‘CG합성보’와 같은 U형 합성보가 주로 사용되고 있으나, 콘크리트 거푸집을 겸하는 U형 강판의 제작을 위해 절곡 또는 롤포밍 같은 2차 가공이 요구되어 제작기간이 늘어나고, 절곡 및 롤포밍을 위한 별도의 생산설비시설이 있는 특정 철골제작업체를 통해서만 제작이 가능한 문제점이 있다. 또한 원가절감을 위해 대부분 박판을 적용하고 있어, 부재 춤이 커질수록 국부좌굴에 취약하고, 강합성구조 설계기준(KDS 41 30 20 : 2022)에서 요구하는 판폭두께비를 만족하지 못하여, 공칭강도가 낮게 산정되고, 기존 강구조의 접합부 상세가 아닌 U형 단면에 맞게 개발된 복잡한 접합부 상세로 인한 시공성 저하 등의 단점이 있어 개선이 요구되는 실정이다.

이러한 단점들을 보완하고자 본 연구에서는 기존의 U형 단면을 한 쌍의 기성 H형강을 사용하여 대체하여, 국부좌굴에 대한 안전성을 가지며, 한 쌍의 기성 H형강이 하부연결판만 용접하므로 별도의 2차 가공이 필요 없어 제작이 용이하고, 기존 강구조의 접합부 상세를 적용하여 시공성 향상이 가능한 합성구조시스템을 개발하였다. 휨 성능 및 보-기둥 접합부 성능을 평가하기 위해 실험별로

각각 실물크기의 2개 실험체를 제작하고, 구조성능평가 실험을 진행하였다. 개발된 2HC 합성보 및 합성보-기둥 접합부의 성능을 검토하고, 실험결과를 통해 2HC 합성보 설계식과 비교 검증하였다.

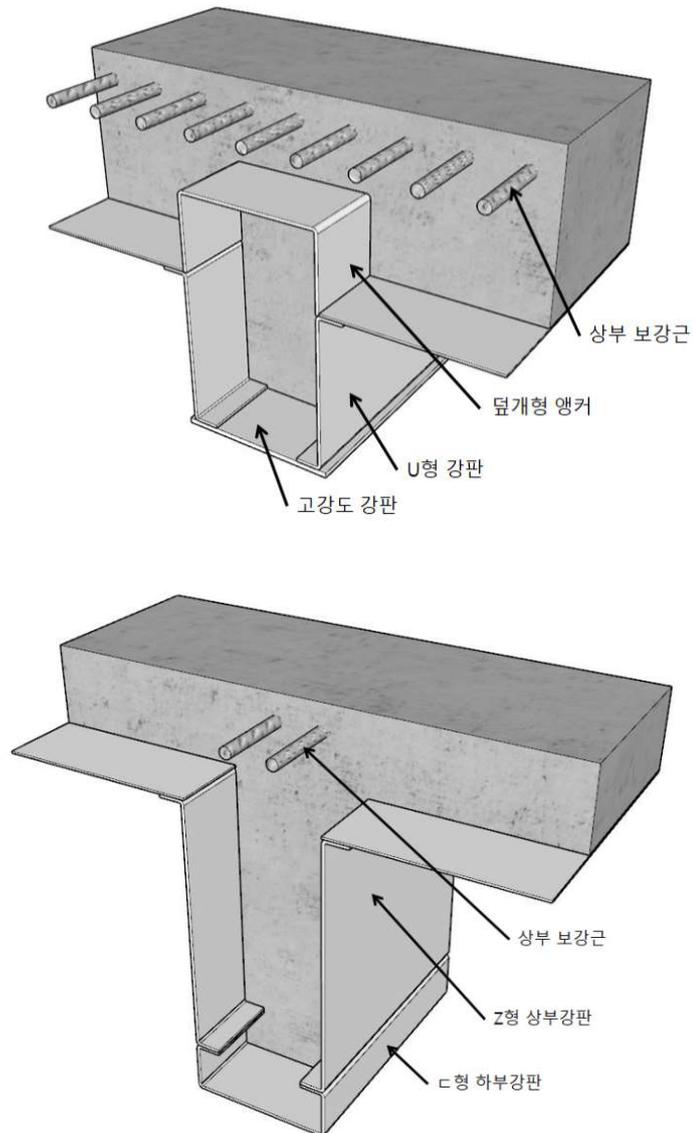
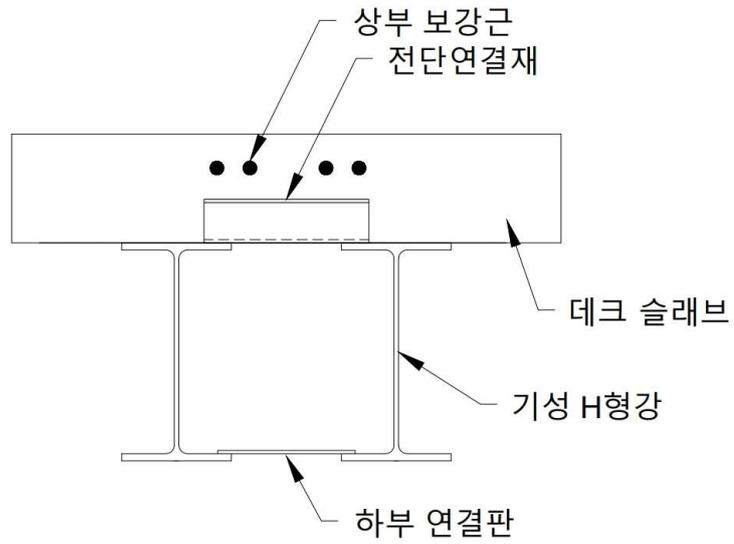


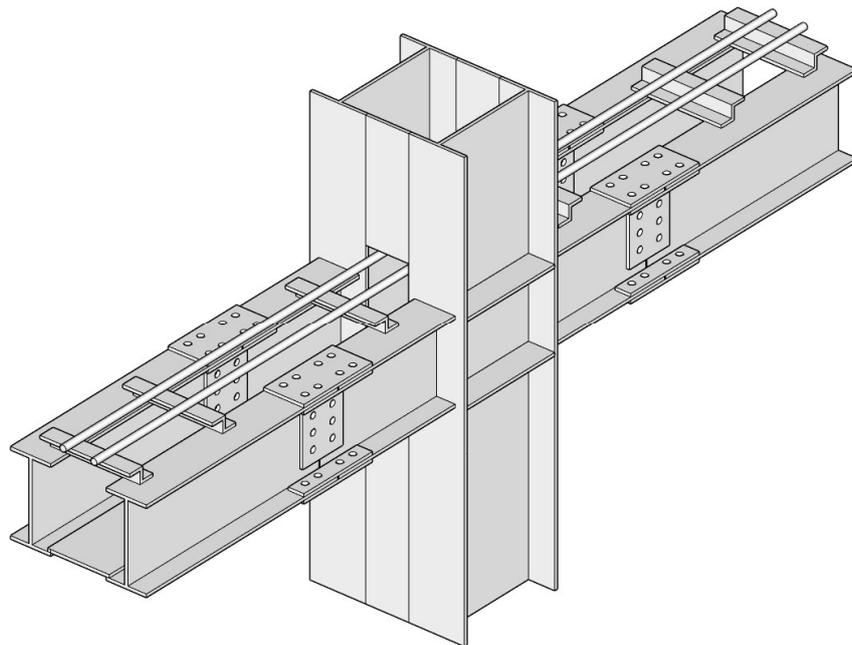
그림 1.1 U형 합성보의 형상

1.2 연구 목적

본 연구에서는 기존 U형 합성보의-기둥 접합부의 강접합 성능확보의 불분명성, 시공성 저하 및 제작기간 증대 등의 문제점을 해결하고자 박판을 절곡하여 U형 단면을 형성한 것이 아닌 그림 1.2과 같이 한 쌍의 기성 H형강을 이용하여 단면을 형성하고, 시공성 향상 및 강접합 성능확보가 가능한 일반 H형강의 접합부 상세를 가진 2HC 합성구조시스템을 개발하였다. 본 연구에서는 개발된 2HC 합성구조시스템의 현장 적용성을 검증하기 위해 실물 크기의 실험체에 대한 구조성능 평가를 수행한다. 2HC 합성보의 휨 성능실험과 2HC 합성보-기둥 접합부에 대한 구조성능실험을 통해 2HC 합성구조시스템의 구조성능을 확인하고, 소성응력분포법으로 산정한 합성단면 휨강도와 비교 분석한다. 또한 2HC 합성보의 하중-변위 관계 및 파괴양상과 2HC 합성보-기둥 접합부의 모멘트-회전각 관계 및 파괴양상을 확인하는 것을 목표로 한다.



<2HC 합성보>



<2HC 합성구조시스템 (보-기둥 접합부)>

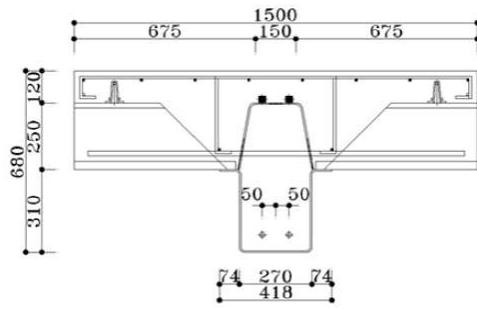
그림 1.2 2HC 합성구조시스템의 형상

II. 문헌 고찰

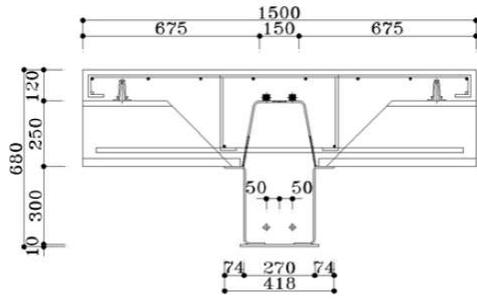
2.1 선행연구 분석

2.1.1 Kim et al (2018)

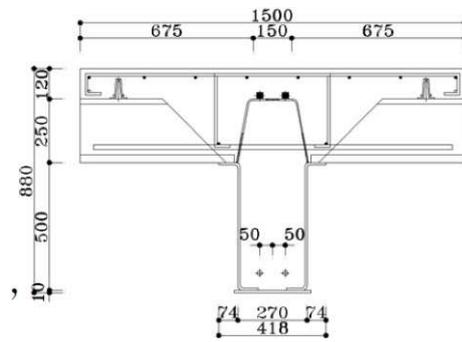
Kim은 기존 U형 합성보에서 콘크리트슬래브와 강재보의 합성효과를 유도하는 전단연결재인 스티드볼트 대신 그림 2.1과 같이 단면 상부에 A형 성형강관을 적용하였으며, 상부 데크슬래브를 Deep Deck용과 Truss Deck용으로 나누어 따른 휨 성능실험을 진행하였다. 해당 연구 실험결과는 실험체 대부분이 단면의 중앙부에서 콘크리트 슬래브가 압괴가 시작되고, 내력이 소폭저하 되었으나, 콘크리트 충전합성효과로 내력이 유지되며 지속적으로 변위가 발생하는 연성적인 거동을 보였다. 또한 최대휨강도 및 단면의 변형률이 유한요소해석과 유사한 값을 나타내었고, 실험최대휨강도에 근거한 계산값 대비 10% 이상 여유내력을 가지고 있는 것으로 확인되었다.



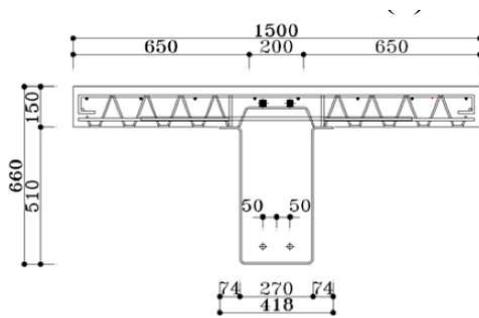
(a) CC-3UD-S



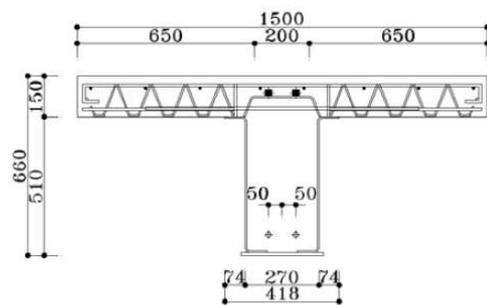
(b) CD-3BD-S



(c) CD-5BD-S



(d) CC-5UT-S

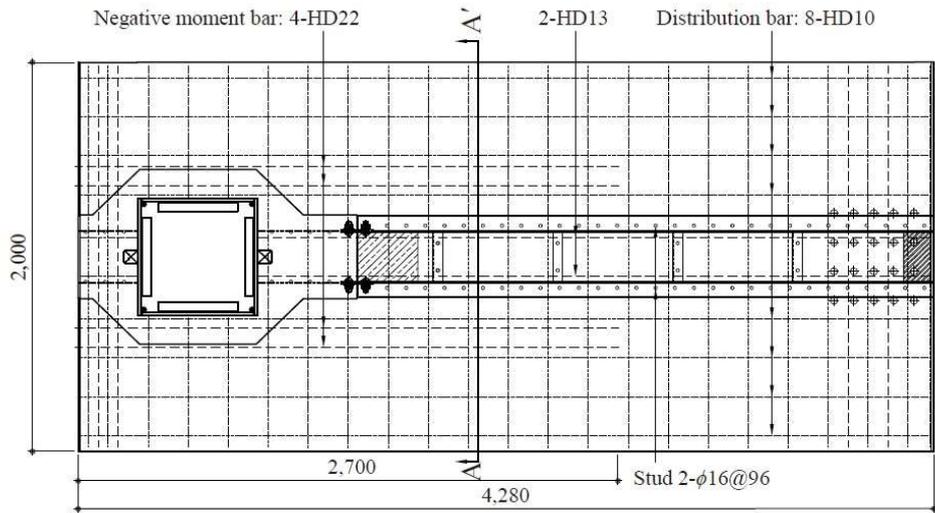


(e) CD-5BT-S

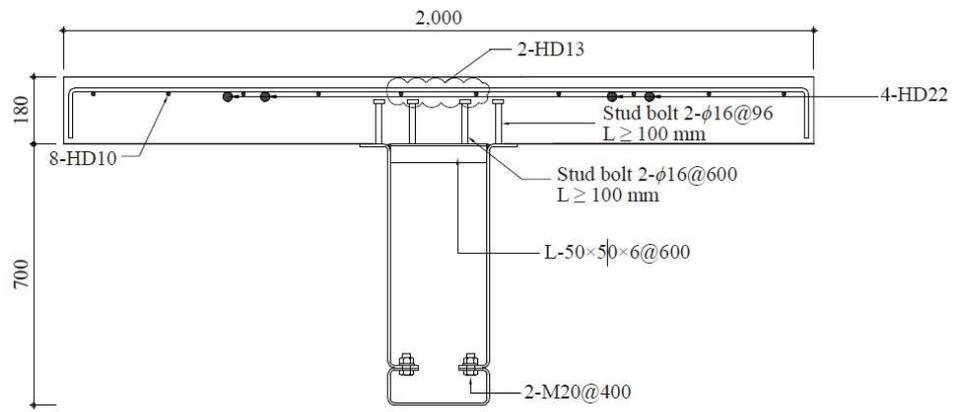
그림 2.1 AU합성보 실험체 상세도 (Kim et al(2018))

2.1.2 Choi et al (2020)

Choi은 용접 각형강관기둥과 HyFo 합성보 접합부의 기둥 용접부 상세 및 접합부 상세를 변수로 보-기둥 접합부의 내진성능실험을 실시하였다. 용접각형강관과 HyFo 합성보는 그림 2.2와 같이 각형강관기둥에 외다이아프램을 적용하였고, 해당 외다이아프램을 브라켓으로 활용하였다. 실험 시 용접 각형강관의 용접타입과 실험체 하부접합부의 볼트 체결 개수를 변수로 적용하였다. 연구의 실험결과 보-기둥 접합부의 부모멘트는 실험결과가 공칭강도 대비 130%로 확인되었다. 파괴양상은 실험의 변수인 기둥 용접타입에 따라 완전용입용접을 실시하였던 실험체는 외다이아프램에서 국부좌굴이 발생하였고, 부분용입용접을 실시하였던 실험체는 외다이아프램에서 국부좌굴이 발생하고, 기둥 용접부에서도 크랙이 발생하였다. 실험체 모두 층간변형각은 0.03rad에서 보 공칭휨모멘트의 80% 이상을 만족하여 합성중간모멘트골조의 내진성능을 확보하였다. 본 연구의 결과를 토대로 용접 각형강관기둥의 용접타입과 각형강관기둥과 외다이아프램의 용접타입이 보완되어야 한다고 판단하였다.



<Slab Detail>



A-A' Section

<HyFo Composite Beam Detail>

그림 2.2 HyFo 합성보 실험체 상세도 (choi et al(2020))

2.1.3 Lee et al (2004)

Lee는 그림 2.3과 같이 U형 합성보를 제작 시 하나의 강판을 U형태로 절곡하는 방식과 강판을 Z타입으로 절곡하고 하부에 돌기부분을 추가 절곡하여 2개의 강판을 용접하는 방식의 차이와 하부쉬어키를 철근(HD25)과 Z타입의 돌기부분으로 적용한 차이를 실험변수로 휨 성능실험을 실시하였다. 실험결과 하나의 강판을 'U'자 형태로 절곡한 실험체 내 하부 쉬어키의 종류와 배치간격에 의한 영향은 적은 것으로 확인되었고, Z타입의 2개의 강판을 용접하여 제작한 실험체의 내력 및 변형능력의 변화가 없어 돌기부분이 쉬어키의 역할을 하는 것으로 판단하였다. 또한 하나의 강판을 'U자' 형태로 절곡한 실험체는 항복 후 최대하중을 계속 유지하면서 거동하였고, Z타입의 2개의 강판을 용접하여 제작한 실험체는 최대하중 이후 하중이 약간 감소한 후 항복하중을 유지하며 거동했다는 차이점이 있었다. 이는 제작방법의 차이보단 'U'자 형태로 절곡한 실험체의 강판은 항복비가 작고 연신율이 컸고, Z타입의 2개의 강판을 용접하여 제작한 실험체는 항복비가 크고, 연신율이 작아 강재의 재료시험 결과 차이에 의한 영향으로 판단하였다. 따라서, 2가지 형태 모두 제작이 가능하다고 판단하였다.

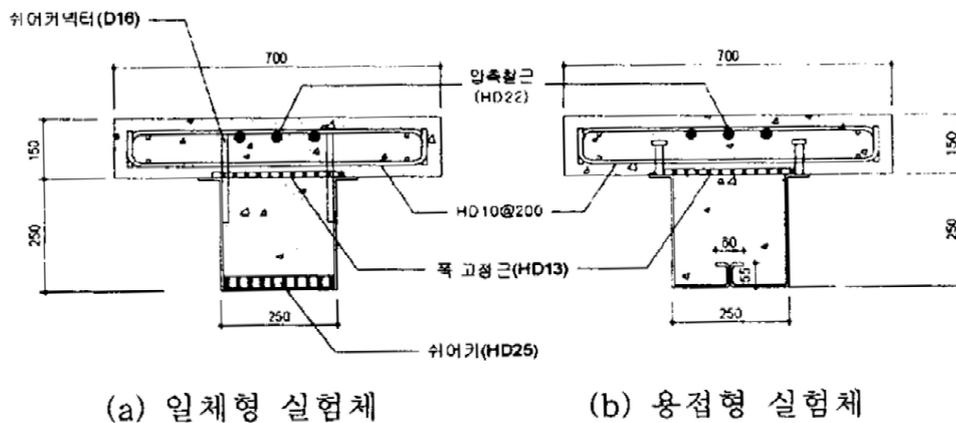


그림 2.3 TSC합성보 실험체 상세도 (Lee et al(2004))

2.2 현행설계기준 분석

2.2.1 KDS 41 30 20

현행설계기준에서 정의하는 합성부재는 압연 및 용접형강, 강관이 구조용 콘크리트와 함께 거동하도록 구성된 합성부재 및 콘크리트슬래브와 강재보가 전단연결재로 연결되어 보와 슬래브가 함께 휨에 저항하도록 구성된 강재보이며, 매입형합성보 및 충전형합성보에도 적용이 가능하다. 합성보의 휨 강도에 대한 현행 건축물 강합성구조 설계기준을 살펴보면, 합성단면의 공칭강도는 소성응력분포법 또는 변형률적합법에 따라 결정된다. 또한 합성단면의 공칭강도를 결정하는 과정에서 콘크리트의 인장강도는 무시한다.

2.2.1.1 소성응력분포법

소성응력분포법에서는 강재가 압축응력 또는 인장응력이 항복응력에 도달할 때 콘크리트는 축력 또는 휨으로 인한 압축으로 Fig. 2.4.와 같이 $0.85f_{ck}$ 의 응력에 도달한 것으로 가정하여 공칭강도를 계산한다.

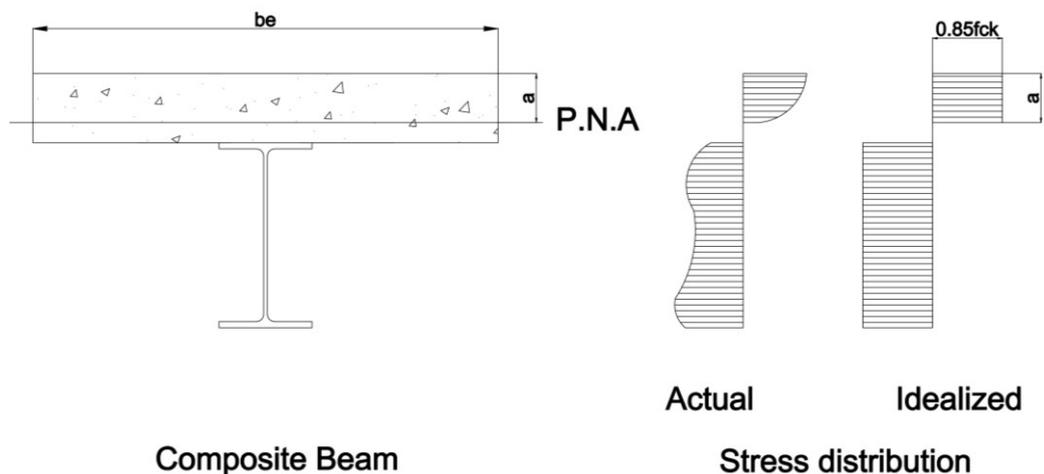


그림 2.4 합성보의 소성응력분포

2.2.1.2 재료강도 제한

현행설계기준에서는 철근콘크리트의 설계기준압축강도는 21 MPa 이상 사용하여야 하고, 70 MPa를 초과하여 사용할 수 없도록 제한을 두었다. 경량콘크리트의 경우에는 설계기준압축강도는 21 MPa 이상 사용해야 하며, 42 MPa를 초과하여 사용할 수 없도록 제한을 두었다.

2.2.1.3 합성부재의 판폭두께비 제한

힘을 받는 충전형 합성부재의 단면은 조밀, 비조밀, 세장 3가지로 분류한다. 충전형 합성단면의 강재의 압축요소 중 가장 큰 폭두께비가 λ_p 를 초과하지 않는다면 조밀단면으로 분류한다. 강재의 압축요소 중 가장 큰 폭두께비가 λ_p 를 초과하고 λ_r 를 초과하지 않는다면 비조밀단면으로 분류한다. 강재의 압축요소 중 가장 큰 폭두께비가 λ_r 를 초과하는 요소가 있으면 세장단면으로 분류한다. 최대허용 폭두께비는 표 2.1를 따른다.

표 2.1 판폭두께비 제한

구분	판폭 두께비	λ_p 조밀/비조밀	λ_r 비조밀/세장	λ_{max} 최대허용
각형강관 ¹⁾ 의 플랜지	b/t	$2.26\sqrt{\frac{E}{F_y}}$	$3.00\sqrt{\frac{E}{F_y}}$	$5.00\sqrt{\frac{E}{F_y}}$
각형강관 ¹⁾ 의 웨브	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	$\frac{0.09E}{F_y}$	$\frac{0.31E}{F_y}$	$\frac{0.31E}{F_y}$

주 1) 사각형 강관 및 두께가 일정한 용접사각형강관

2.2.1.4 충전형 합성부재의 휨강도

건축물 강합성 설계기준(KDS 41 30 20 :2022)에서는 국부좌굴의 영향을 고려하고자 판폭두께비에 따라 단면을 조밀단면, 비조밀단면, 세장단면으로 구분하고, 각 단면에 따라 아래 식 (2.1), (2.2)와 (2.3)으로 계산한다.

(1) 조밀단면

$$M_n = M_p \quad (2.1)$$

여기서, M_p 는 합성단면의 소성응력분포로부터 구한 휨모멘트를 나타낸다.

(2) 비조밀단면

$$M_n = M_p - (M_p - M_y) \left(\frac{\lambda - \lambda_p}{\lambda_r - \lambda_p} \right) \quad (2.2)$$

여기서, λ , λ_p 와 λ_r 은 KDS 41 30 20 : 2022의 표 4.1-2의 판폭(직경)두께비 제한값, M_y 는 인장플랜지의 항복과 압축플랜지의 첫 항복에 대응하는 항복모멘트이며, 이때, 첫 항복에서의 저항능력은 $0.7f_{ck}$ 의 최대콘크리트압축응력과 f_y 의 최대강재응력의 선형탄성응력분포로 가정하여 계산한다.

(3) 세장단면

$$M_n = M_y \quad (2.3)$$

$$F_{cr} = \frac{9E_s}{(b/t)^2} \quad (\text{사각형 단면}) \quad (2.4)$$

여기서, E_s 는 강재의 탄성계수이고, b 는 단면 폭, t 는 단면의 두께이다. M_y 는 인장플랜지의 항복과 압축플랜지의 첫 항복에 대응하는 항복모멘트이며, 압축플랜지응력은 식(2.4)로 구한 국부좌굴응력 F_{cr} 로 제한한다. 또한 콘크리트응력분포는 최대압축응력을 $0.7f_{ck}$ 로 한 선형탄성응력분포로 한다.

2.2.2 Eurocode 4

유로코드에서 정의하는 합성부재는 콘크리트와 구조용 강재 및 냉간성형 강재 등이 길이방향의 미끄럼(슬립)을 방지하기 위해 전단연결재로 상호 연결된 부재라고 설명하고 있다. 또한 국내 현행기준과 동일하게 소성응력분포이론을 통해 공칭강도를 산정하고 이때, 콘크리트의 인장강도는 무시한다.

2.2.2.1 재료강도 제한

유로코드에서는 콘크리트의 설계기준압축강도를 20 MPa 이상 사용해야 하고, 60 MPa를 초과하여 사용할 수 없도록 제한하였다. 경량콘크리트의 경우 또한 설계기준압축강도는 20 MPa 이상 사용해야 하며, 60 MPa를 초과하여 사용할 수 없도록 제한하였다.

2.2.2.2 합성부재의 단면 구분

유로코드에서는 강재단면을 구성하는 요소를 Class 1에서 Class 4까지로 분류한다. Class 1은 강도 감소 없이 소성해석 시 요구되는 회전능력을 소성한지에서 구현이 가능한 강재단면 말하고, Class 2는 소성모멘트에는 저항할 수 있으나 국부좌굴에 의한 회전능력이 한계를 가지는 단면, Class 3은 압축응력의 탄성분포가 항복강도에 도달하여 발생하는 항복모멘트강도에는 저항하나 국부좌굴로 인해 소성모멘트에는 저항할 수 없는 단면, Class 4는 단면 내 항복응력이 발생하기 전 국부좌굴이 발생하는 단면을 의미한다. 즉, 현행 국내기준과 비교해 봤을 때, Class 1,2는 조밀단면 Class 3 비조밀단면, Class 4는 세장단면으로 구분할 수 있다.

2.2.2.3 합성부재의 휨강도

합성단면의 휨강도는 강재단면의 분류와 콘크리트슬래브와 강재의 합성율에 의해 계산된다. 강재단면의 분류에서 Class 1과 2는 콘크리트슬래브와 강재단면 사이에 전단연결재의 강도를 기반으로 산정된 합성율에 따라 완전합성인지 부분합성인지를 나누어 설계휨강도를 계산한다. 합성단면의 합성율에 따른 소성모멘트의 변화를 그림 2.5와 같이 나타내고 있다. 이 때, 부분합성 소성모멘트의 강도는 식 (2.5)로 구하거나, 합성율($\eta = N_c/N_{c,f}$)을 콘크리트슬래브의 압축성능에 곱하여 압축성능을 감소시켜 구한다.

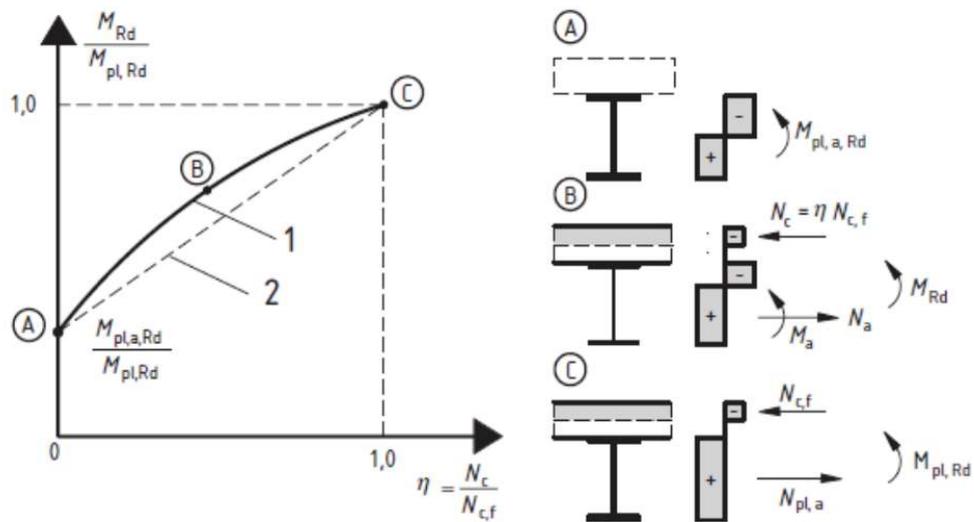


그림 2.5 합성률에 의한 소성휨모멘트 강도 변화

$$M_{Rd} = M_{pl,a,Rd} + (M_{pl,Rd} - M_{pl,a,Rd}) \frac{N_c}{N_{c,f}} \quad (2.5)$$

여기서, M_{Rd} 는 부분합성 소성모멘트, $M_{pl,a,Rd}$ 는 강재단면의 소성모멘트, $M_{pl,Rd}$ 는 완전합성 시 소성모멘트, N_c 는 콘크리트슬래브 작용 압축력, $N_{c,f}$ 는 전단연결재로 충분히 합성된 콘크리트슬래브 작용 압축력, f_{cd} 는 콘크리트 실린더 압축강도를 나타낸다.

또한 유로코드에서는 합성부재 합성률에 하한치를 최소 합성률을 확보하도록 식(2.6)과 같이 규정하고 있다.

$$\eta \geq 1 - \left(\frac{355}{f_y}\right)(0.3 - 0.015L_e), \eta \geq 0.4 \quad (2.6)$$

여기서, f_y 는 강재 항복강도, L_e 는 부재에 작용하는 휨모멘트가 0인 지점간 거리를 나타낸다.

Ⅲ. 2HC 합성보 휨성능

3.1 실험계획

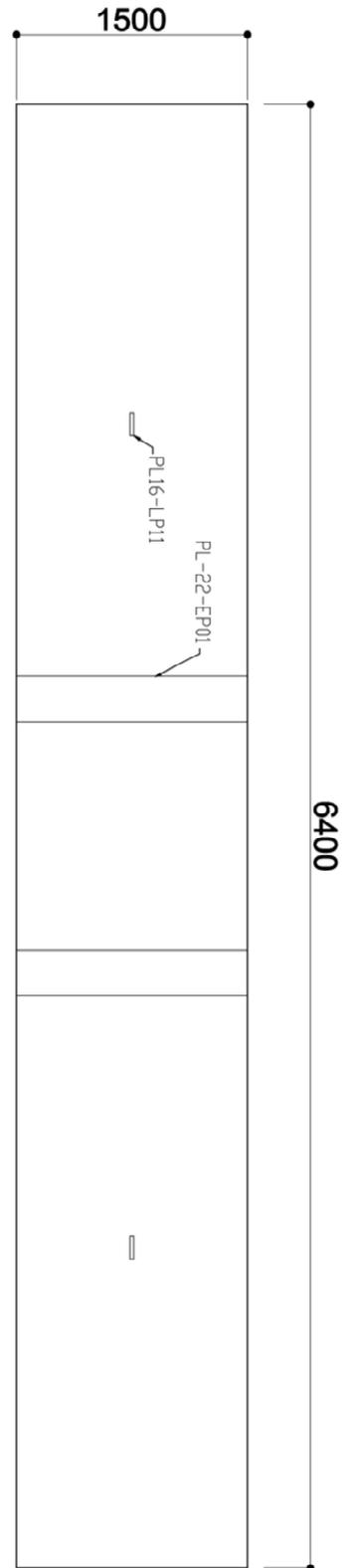
3.1.1 실험체 제원 및 제작

2HC 합성보의 구조성능을 살펴보기 위하여 총 2개의 실험체에 대하여 실험을 수행하였다. 실험체의 길이는 10m 경간에 적용을 가정하여, 양단고정일 때의 부재력의 변곡점을 예상하여, 정모멘트가 발생하는 범위인 6.4m로 계획하였다. 실험체는 한 쌍의 기성H형강(H-300×150×6.5×9)와 사이를 연결시켜주는 하부연결판(PL-250×9t)로 구성되어 있고, 콘크리트슬래브는 폭 1,500mm와 두께는 150mm로 계획하였다. 콘크리트 슬래브와 강재단면 사이 수평전단력은 전단연결재인 Z-bar(Z-80×50×6)가 부담하는 것으로 설계하여, Choi et al.의 기존 연구결과에 따라 Z-bar의 전단강도 평가식을 적용하여 완전합성거동을 하도록 전단연결재를 300mm 간격으로 설치하였고, 한 쌍의 H 형강 상부 플랜지에 3면 모살용접하여 구성하였다. 2HC 합성보 내 충전 되는 콘크리트 및 콘크리트 슬래브의 설계기준압축강도는 27MPa로 적용하였고, 모든 강재의 강종은 SM355를 적용하였다. 주요 실험변수로는 하부연결판에 스티드볼트 유무로써 이에 따른 내부 콘크리트와 강재의 합성효과를 검증하기 위함이다. 이때, 스티드볼트는 직경 19mm 스티드앵커를 300mm 간격으로 배치하였다.

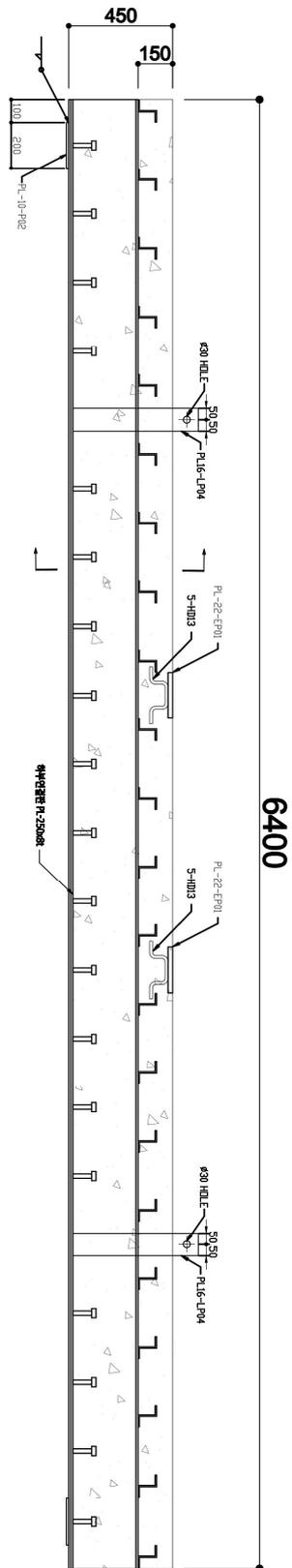
표 3.1 2HC 합성보 실험체 제원

Specimen	2HC Girder	Con'c Slab	Shear Connection	Stud Bolt
2HC-WS	H-300×150×6.5×9 PL-250×9t	1,500×150	Z-80×50×6t	Φ19@300
2HC-WOS	H-300×150×6.5×9 PL-250×9t	1,500×150	Z-80×50×6t	-

1) WS : with Stud Anchor, WOS : without Stud Anchor

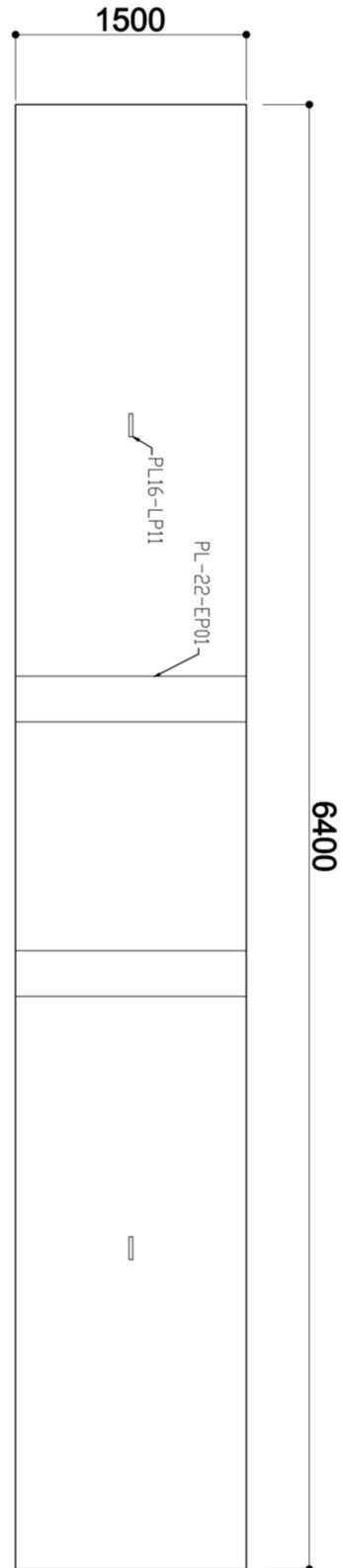


(a) PLAN

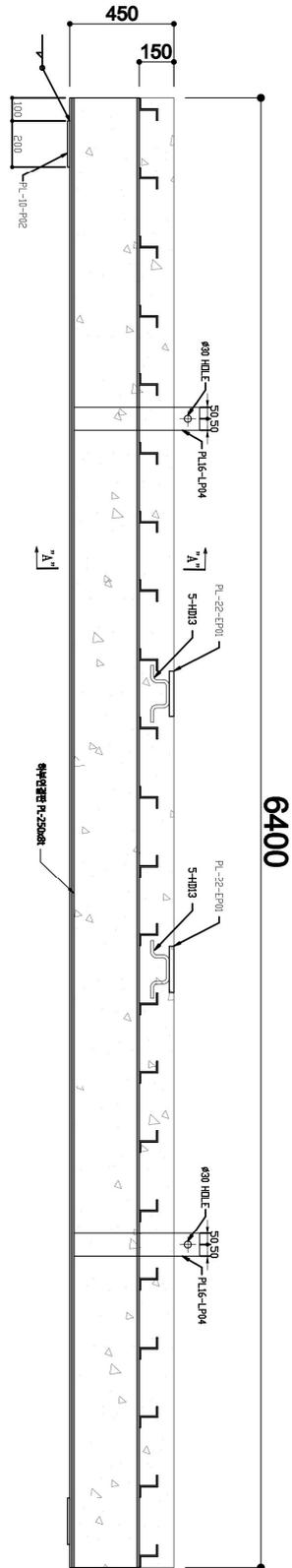


(b) ELEVATION

그림 3.1 2HC-WS 실험체 형상



(a) PLAN



(b) ELEVATION

그림 3.2 2HC-WOS 실험체 형상

2HC 합성보 제작 시 콘크리트 슬래브 타설 전 그림 3.3과 같이 실험체 검수를 통해 실험체의 가조립된 단면형태 및 치수, 용접상세확인, 스테드볼트 및 전단 연결재 설치 간격 등이 실험체 제작도면과 동일하게 제작되었는지 여부를 확인하였다. 그림 3.4는 실험체의 타설 전 강재의 변형률을 검측하기 위한 게이지 부착과정과 슬래브 및 내부 충전 콘크리트 타설 과정이다. 타설 시 콘크리트 내 공극이 남아있지 진동다짐기로 다져주었다.



그림 3.3 실험체 제작 검수

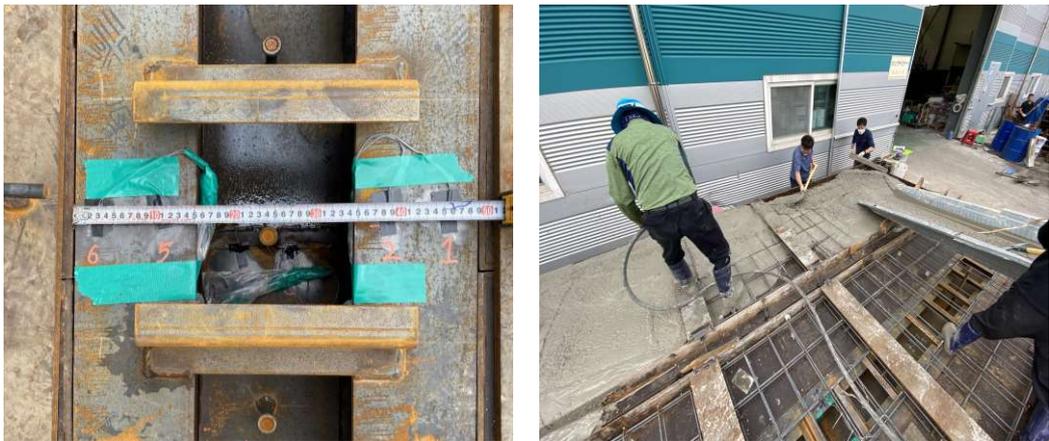


그림 3.4 실험체 게이지 설치 및 타설

3.1.2 실험방법

2개의 실험체는 그림 3.5과 같이 실험체의 양단부를 단순지지조건으로 설정하고, 실험체 중앙부에 2/5 위치와 3/5 위치에 2점 가력을 진행하였다. 하중재하 방법은 5,000kN 가력 액츄에이터를 통해 변위제어방식을 이용하여, 0.05mm/s의 속도로 단조가력을 실시하였다.

하중가력 시 실험체의 처짐량을 계측하여, 하중-변위관계를 확인하기 위해 그림 3.6과 같이 수직변위계(LVDT 1~3)를 실험체 중앙부 및 하중재하점 하부에 설치하였다. 또한 실험체 중앙부의 상, 하부플랜지, 웨브 및 하부연결관에 변형률 게이지를 부착하여, 실험체의 중립축을 확인 시 사용될 강재의 압축 및 인장 변형을 계측하였다.

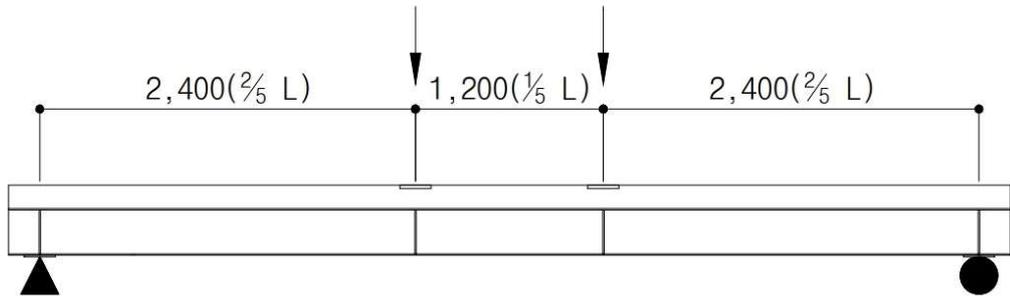
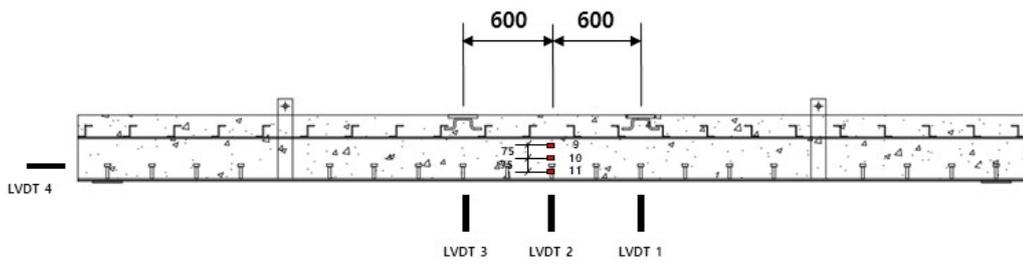
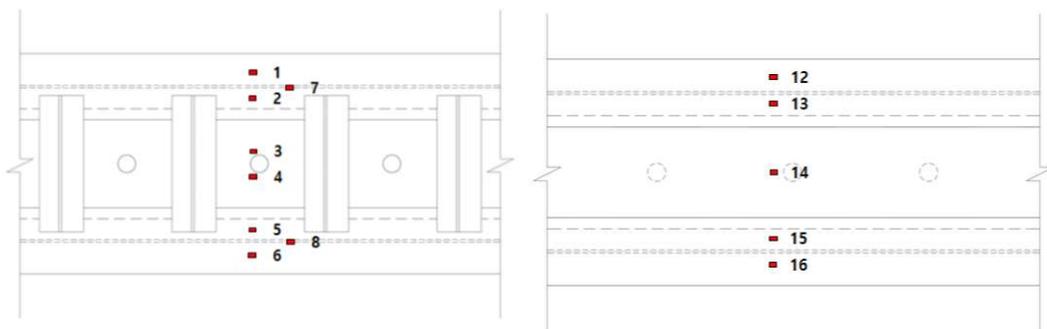


그림 3.5 실험체 설치도



(a) 측면



(b) 평면

(c) 배면

그림 3.6 실험체의 변형률 게이지 및 LVDT 설치 위치

3.2 실험결과

3.2.1 재료 시험

3.2.1.1 콘크리트

실험체의 슬래브와 2HC 합성보 내부에 충전 되는 콘크리트 강도는 27MPa를 적용하였다. 콘크리트 공시체는 KS F 2405 기준에 따라 압축강도시험을 통해 평균강도를 산정하였다. 콘크리트 공시체 별 강도는 표 3.2와 같다.

표 3.2 콘크리트 압축강도 시험결과

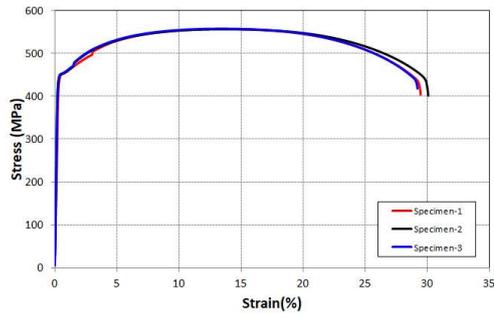
구 분	#1	#2	#3	AVERAGE
f_{ck} (MPa)	24.0	23.6	24.5	24.0
E_c (MPa)	25,811	25,687	25,963	25,820

3.2.1.2 강재

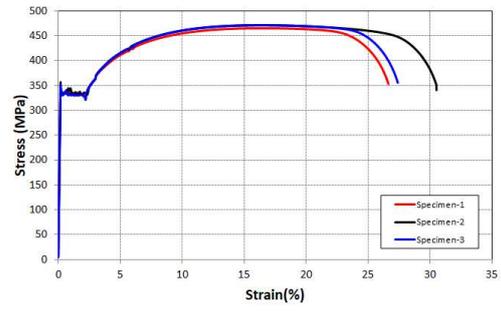
실험체의 강재의 강종은 모두 SM355를 적용하였고, 금속재료 인장시험편인 KS B 0801에 따라 모든 시편은 3개씩 제작하였고, 강재앵커인 Z-bar에 적용되는 6T 두께의 시편은 5호 정형시험편을, 그 외 다른 두께의 시편은 1A호 시험편으로 제작하였다. 금속재료 인장시험 방법인 KS B 0802에 따른 강재의 인장시험 결과를 표 3.3에 정리하였으며, 그림 3.7는 각 시편의 응력-변형률 관계를 나타낸다.

표 3.3 강재 인장강도 시험결과

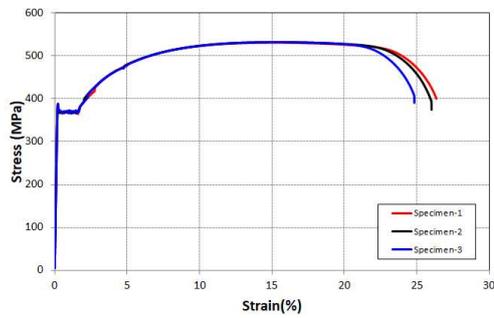
TYPE		THK.	Yield Strength (F_y , MPa)	Tensile Strength (F_u , MPa)	Elongation	Young's Modulus (E , GPa)
PLATE SM355 6T	#1	6.20	450	557	28.00	151
	#2	6.22	450	557	27.00	200
	#3	6.19	451	558	27.00	211
AVERAGE		6.21	450	557	27.33	187
PLATE SM355 9T	#1	9.83	332	466	28.00	195
	#2	9.83	332	472	27.00	189
	#3	9.84	331	472	27.00	185
AVERAGE		9.83	332	470	27.33	189
FLANGE SM355 9T	#1	8.79	367	532	26.00	213
	#2	8.79	369	533	26.00	208
	#3	8.42	373	533	25.00	208
AVERAGE		8.67	370	533	25.67	209
WEB SM355 6.5T	#1	6.18	396	546	25.00	211
	#2	6.19	405	547	25.00	211
	#3	6.22	394	545	26.00	214
AVERAGE		6.20	398	546	25.33	212



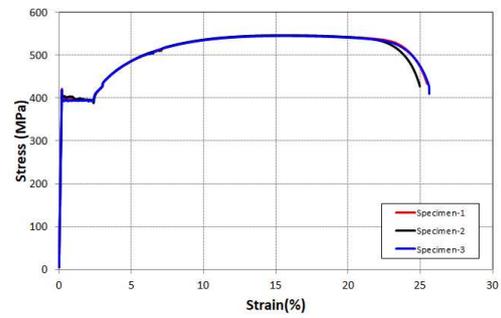
(a) PLATE-SM355-6T



(b) PLATE-SM355-9T



(c) FLANGE-SM355-9T



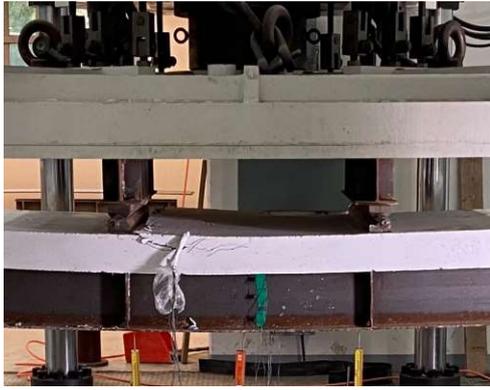
(d) WEB-SM355-6.5T

그림 3.7 강재 인장강도 시험결과

3.2.2 하중-변위관계 및 파괴거동 확인

3.2.2.1 2HC-WS

2HC-WS 실험체도 가력 초기에는 선형 거동을 하였으며, 489kN에서 쿵하는 소리가 발생하였으며, 약 852kN 일 때, 좌측 가력점 위치에서 콘크리트 슬래브의 상부에 균열이 발생하였다. 이후 최대하중인 약 893kN에 도달하였을 때, 좌측 가력점 위치의 상부 콘크리트 슬래브의 균열이 더 진행되었고, 같은 가력점 위치의 정면 콘크리트 슬래브에서도 균열이 발생하기 시작하였다. 최대하중에 도달한 후 더 이상 하중이 증가하지 않았고, 하중이 감소하면서, 약 773kN에서 콘크리트 슬래브의 중앙부가 파괴되고, 이후 약 636kN에서 더 이상 하중을 받지 못하여 실험을 종료하였다.



(a) 좌측 가력 위치 균열(앞) (하중 852kN)



(b) 좌측 가력 위치 균열(뒤) (하중 852kN)



(c) 중앙 콘크리트슬래브 탈락(하중 804kN)



(d) 실험종료 후 슬래브 균열(하중 636kN)

그림 3.8 2HC-WS 실험체의 파괴양상

3.2.2.2 2HC-WOS

2HC-WOS 실험체는 가력 초기에는 선형 거동을 하였으며, 716kN에서 우지 끄하는 소리가 발생하였으며, 약 750kN 일 때, 좌측 가력점 위치에서 콘크리트 슬래브의 균열이 발생하였다. 이후 약 868kN에서 좌측 가력점 위치의 정면 콘크리트 슬래브의 균열이 더 진행되었고, 같은 가력점 위치의 후면 콘크리트 슬래브에서도 균열이 발생하기 시작하였다. 최대하중인 약 880kN에 도달한 후 더 이상 하중이 증가하지 않았고, 하중이 감소하기 시작하였다. 이후 762kN에서 후면 콘크리트 슬래브의 중앙부가 파괴되면서 실험을 종료하였다.



(a) 좌측 가력 위치 균열(앞) (하중 868kN)



(b) 좌측 가력 위치 균열(뒤) (하중 868kN)



(c) 측면 후면 콘크리트 탈락(하중 762kN)



(d) 실험종류 후 슬래브 균열 (하중 672kN)

그림 3.9 2HC-WOS 실험체의 파괴양상

3.2.2.3 하중-변위관계

2HC-WS 실험체와 2HC-WOS 실험체의 하중-변위 곡선은 그림 3.11에 나타났다. 실험체의 초기강성은 그림 3.10과 같이 원점과 최대하중의 75%인 지점을 연결한 직선의 기울기로 계산하였고, 실험체의 항복점은 원점과 최대하중의 75%에 해당하는 점을 연결한 직선과 최대하중에서의 수평선이 만나는 점에서 수직으로 내렸을 때 하중-변위 곡선과 만나는 점으로 정의하였다.

표 3.4은 두 실험체의 초기강성, 항복하중, 최대하중, 항복하중 및 최대하중 시 변위를 나타낸다. 실험결과, 각 실험체의 최대하중은 892.8kN, 879.7kN으로 유사한 하중을 견디는 것을 확인하였다. 최대변위 또한 각각 62.3mm, 61.5mm로 유사한 변위가 발생하는 것을 확인하였다. 항복하중과 최대하중은 스티드앵커를 설치한 2HC-WS 실험체가 5%정도 높은 값을 나타냈지만 스티드앵커 설치 유무에 상관없이 유사한 값을 보이는 걸 확인하였다.

표 3.4 2HC 합성보 힘 성능실험 결과

Specimens	K_i (kN/mm)	P_y (kN)	P_{max} (kN)	δ_y (mm)	δ_{max} (mm)
2HC-WS	22.5	784.3	892.8	34.8	62.3
2HC-WOS	23.6	774.8	879.7	32.9	61.5

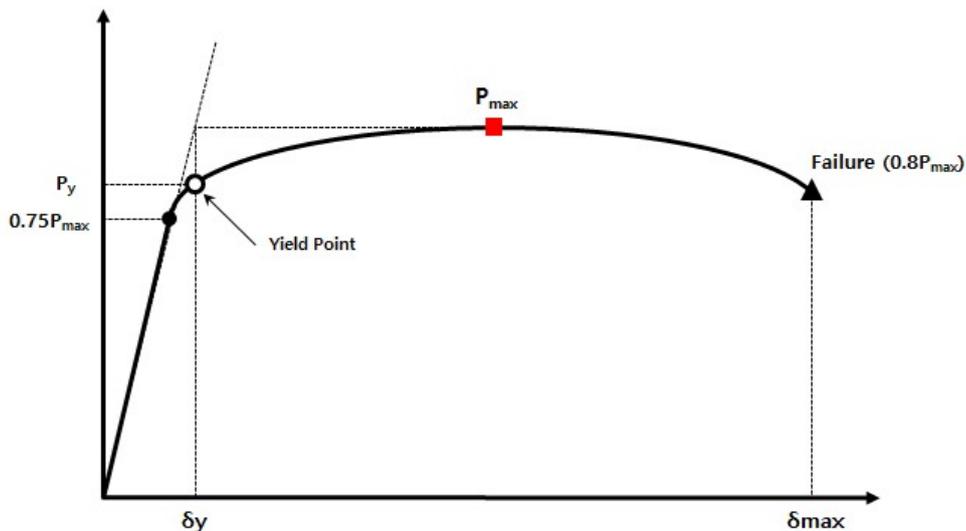
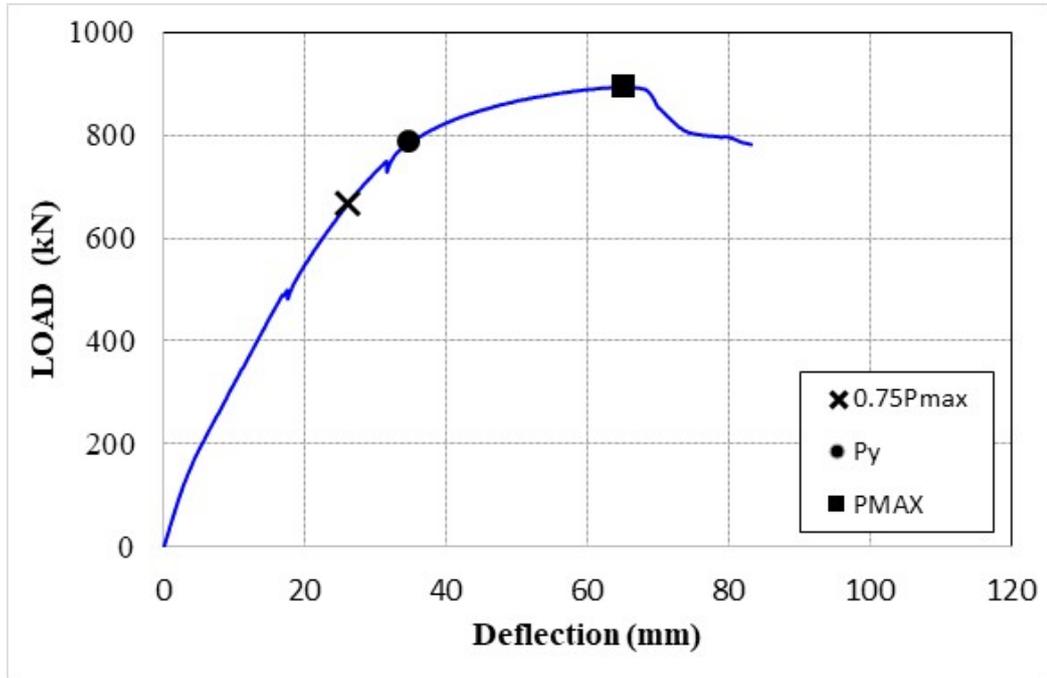
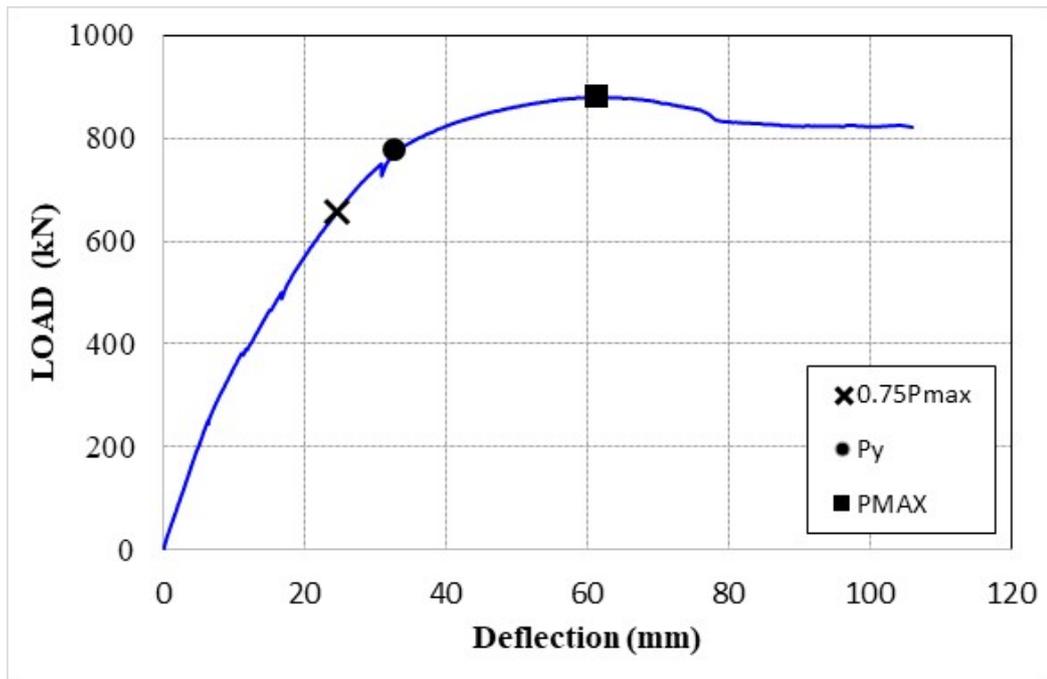


그림 3.10 항복점 산정방법



(a) 2HC-WS



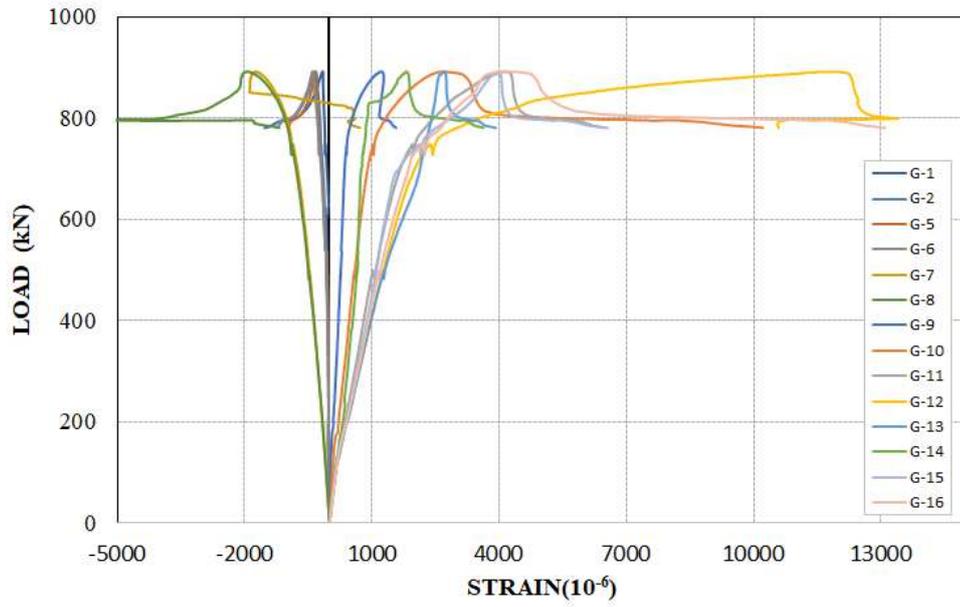
(b) 2HC-WOS

그림 3.11 하중-변위 관계

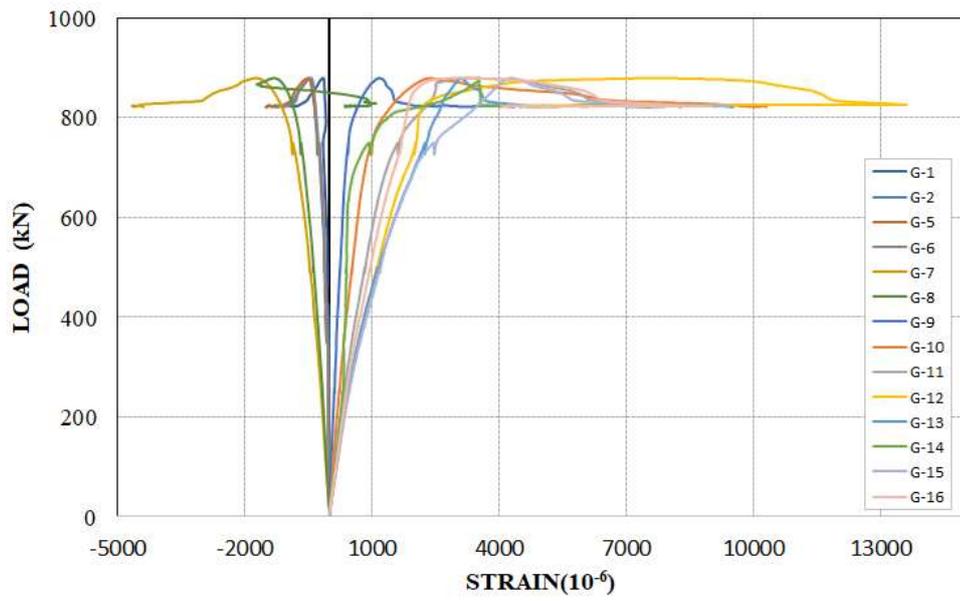
3.2.3 단면의 변형률 확인

두 실험체의 위치에 따른 압축 및 인장변형률의 분포를 확인하기 위하여, 강재에 게이지를 설치하여 변형률을 측정하였다. 그림 3.12는 두 실험체의 하중-변형률 관계를 나타낸다. G1~G2, G5~G6은 H형강의 상부플랜지, G3~G4는 하부연결판, G7~G8은 콘크리트슬래브 상부주철근, G9~G11은 H형강의 웨브, G12~G16은 H형강의 하부플랜지에 설치하였다. G1~G2, G5~G6, G7~G8은 압축영역, G3~G4, G9~G16까지는 인장영역에 분포되고 있다. 즉, 중립축의 위치는 콘크리트슬래브와 H형강 상부플랜지 사이에 위치하고 있는 것으로 확인되었고, 압축에 의한 변형보다 인장에 의한 변형이 더 크게 작용하는 것으로 나타났다. 이때, 실험변수인 하부연결판에 스티드볼트의 설치 유무에는 상관없이 두 실험체 모두 안정적인 항복변형률을 통해 실험체의 강재가 연성적으로 휨 거동을 하는 것으로 확인되었다.

그림 3.13는 가력하중의 단계별로 실험체의 게이지별 변형률을 나타내었다. 단면 내에 변형률 분포를 확인하여 압축변형률에서 인장변형률로 변하는 위치인 중립축이 콘크리트 슬래브 상부로부터 약 150mm에 위치하고 있는 걸 확인할 수 있었다. 중립축은 하중이 증가하여 종국 상태에 도달하게 되면 상부 슬래브 콘크리트의 파괴로 압축영역이 감소하여, 중립축이 상부슬래브 쪽으로 조금씩 올라가는 현상을 보이며, 실험결과 또한 중립축이 미세하게 올라가는 것을 확인하였다.

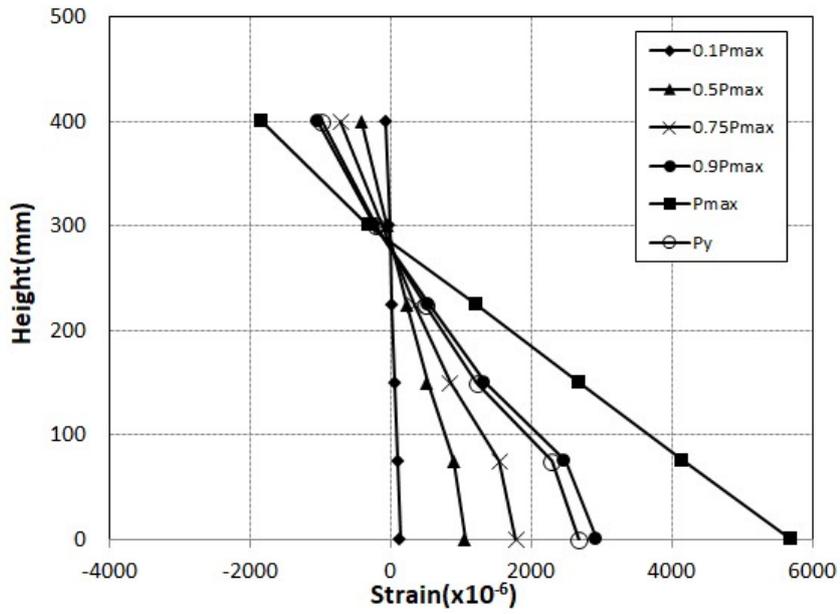


(a) 2HC-WS

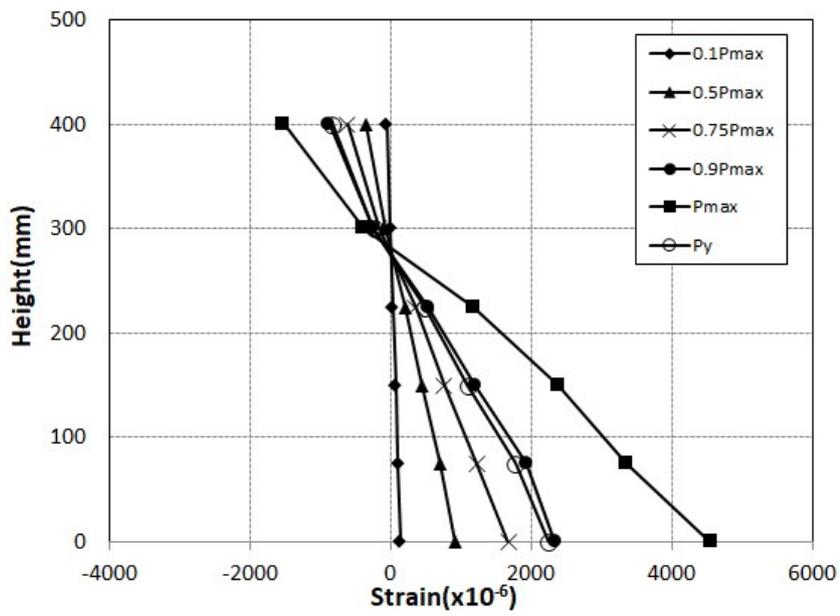


(b) 2HC-WOS

그림 3.12 하중-변형률 관계



(a) 2HC-WS

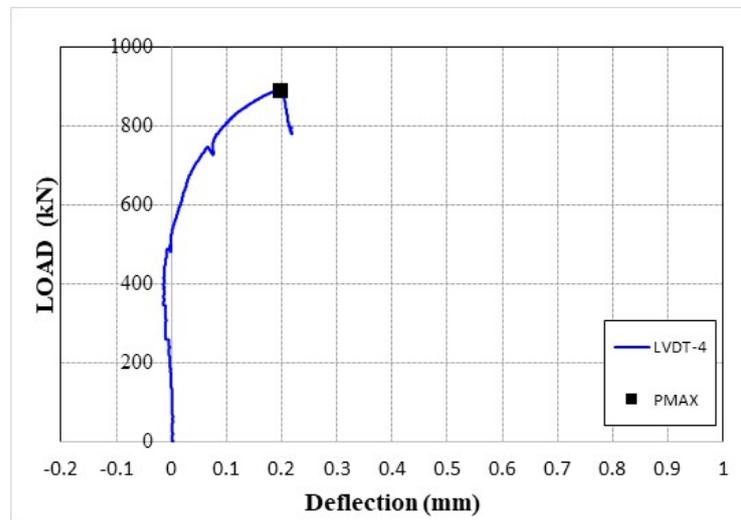


(b) 2HC-WOS

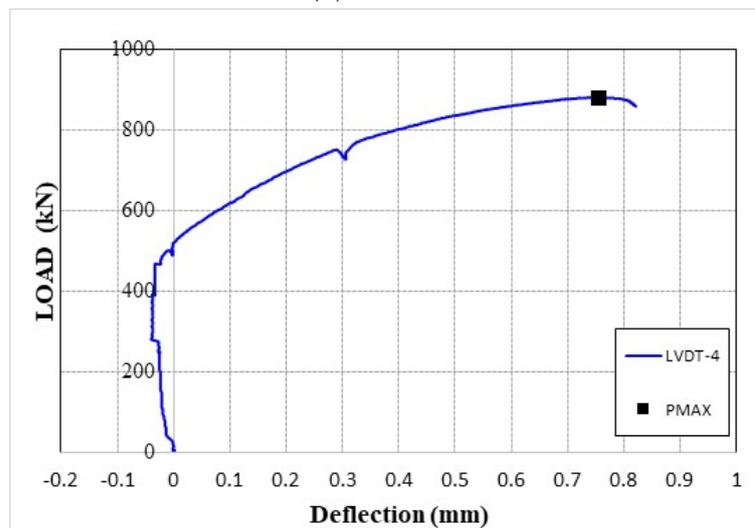
그림 3.13 단면 변형률 분포

3.2.4 하중-슬립 관계 확인

스터드 볼트의 유무에 따른 두 실험체의 슬립량을 확인하기 위하여, 실험체 단부에 수평 LVDT를 설치하여 슬립량을 측정하였다. 그림 3.14는 두 실험체의 하중-슬립량 관계를 나타낸다. 두 실험체 모두 하중이 증가함에 따라 단부의 슬립량이 증가하는 것으로 확인되었고, 2HC-WS 실험체는 최대하중에 도달하였을 때, 슬립량이 0.20mm로 확인되었고, 2HC-WOS 실험체는 0.75mm로 확인되었다. 즉, 2HC 합성보의 하부연결판에 스테드 볼트를 설치하지 않았을 때, 슬립량이 증가하는 것을 확인할 수 있었으나, 최종 슬립량은 두 실험체 모두 1mm 이하로 무시할 수 있는 정도의 변형이다.



(a) 2HC-WS



(b) 2HC-WOS

그림 3.14 하중-슬립 관계

3.2.5 설계강도 비교

KDS 41 30 20 : 2022의 소성응력분포법으로 공칭휨강도 산정과정은 다음과 같다. 그림 3.14는 2HC 합성보의 소성응력분포를 나타낸다. 식 (3.1), (3.2)을 사용하여 압축강도와 인장강도를 산정하고, 압축강도와 인장강도에 각각 소성중립축에서 압축강도와 인장강도 사이의 거리를 곱하여 식 (3.3)과 같이 예상휨강도를 산정한다.

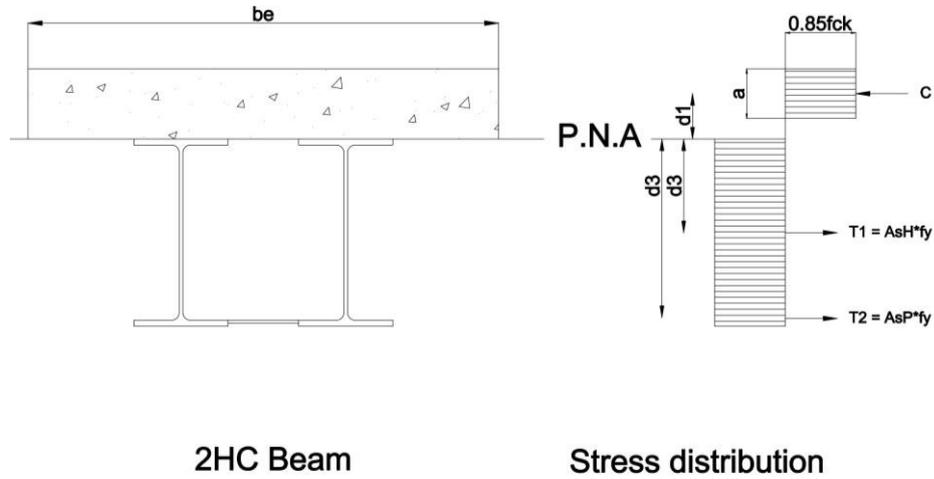


그림 3.15 2HC 합성보의 소성응력분포

$$C = \min(0.85f_{ck}A_c, A_s f_y) \quad (3.1)$$

$$T = A_s f_y \quad (3.2)$$

$$0.85f_{ck}ab = 2A_s f_y + A_{sp} f_{yp} \quad (3.3)$$

$$a = \frac{2A_s f_y + A_{sp} f_{yp}}{0.85f_{ck}b} = 137.3\text{mm} \quad (3.4)$$

$$d_1 = 150(\text{콘크리트슬래브 두께}) - a/2 = 81.3\text{mm} \quad (3.5)$$

$$d_2 = 0(\text{강재단면에 압축력이 없는 경우}) \quad (3.6)$$

$$d_{3-H} = 300(H\text{형강 춤})/2 = 150\text{mm} \quad (3.7)$$

$$d_{3-P} = 300(H\text{형강 춤}) - 9(\text{Flange 두께}) - 9(\text{Plate 두께})/2 = 286.5\text{mm} \quad (3.8)$$

$$M_n = C(d_1 + d_2) + T(d_3 - d_2) = 1046.1\text{kN}\cdot\text{m} \quad (3.9)$$

여기서, 식 3.1 ~ 3.9는 예상휨강도 산정과정으로 f_{ck} 는 콘크리트의 압축강도, A_c 는 유효폭 안에 있는 콘크리트 슬래브의 면적, A_s 는 강재단면의 총 단면적, f_y 는 강재의 항복강도로 콘크리트의 압축강도와 강재의 항복강도는 재료시험을 통한 계측값을 적용하였다. d_1 는 콘크리트의 압축력 C 의 중심으로부터 강재단면의 상단까지 거리, T 는 강재단면의 인장강도, d_2 는 강재단면의 압축력 중심으로부터 강재단면의 상단까지 거리(강재단면에 압축력이 없는 경우 $d_2 = 0$), d_3 는 인장중심으로부터 강재단면의 상단까지 거리를 나타낸다.

예상휨강도와 실험 최대휨강도의 비교결과는 표 3.5와 같다. 각 실험체의 실험 최대휨강도는 예상휨강도 대비 각각 1.06배와 1.05배로 나타나서 실험결과와 근사하게 일치하는 것으로 확인되었다.

표 3.5 예상휨강도와 최대휨강도 비교

Specimens	M_{max} (kNm)	M_n (kNm)	M_{max}/M_n
2HC-WS	1,109.6	1,046.1	1.06
2HC-WOS	1,094.0	1,046.1	1.05

3.3 소결

위 절에서는 하부 연결판에 설치하는 강제앵커(스터드앵커)의 설치 유무를 변수로 2점 가력 휨 실험을 수행하여 2HC 합성보의 휨 성능에 대한 구조안전성을 확인하고, 현행기준을 통해 산정한 예상휨강도와 실험휨강도를 비교하였다. 휨 성능실험을 통한 주요 연구결과는 아래와 같다.

(1) 두 실험체 모두 가력 초기에는 선형 거동을 하였으며, 항복하중에 도달 후 완만하게 하중이 증가하였다. 항복하중 이후 최대하중까지 안정적인 연성거동을 보여주다 최대하중 이후 중앙부 콘크리트 슬래브의 파괴로 인해 내력이 저하되는 파괴 양상을 확인하였다.

(2) 두 실험체의 압축 및 인장변형률 분포를 검토하여, 중립축은 콘크리트슬래브와 H형강 상부플랜지 사이에 위치하는 걸 확인하였고, 두 실험체 거동이 스테드볼트의 설치 유무에 상관없이 모두 안정적으로 연성거동을 하는 것을 확인하였다.

(3) 2HC 실험체 하부 연결판의 스테드볼트의 유무에 따른 항복하중 및 최대하중은 약 1.5%의 차이를 보였고, 최대하중에서 2HC 합성보의 충전콘크리트의 단부 슬립량은 두 실험체 모두 1mm 미만으로 무시할 수 있는 수준으로 확인되었다.

(4) 예상휨강도 대비 두 실험체의 최대휨강도를 비교한 결과 각각 1.05배, 1.06배로 실험최대휨강도의 비교한 결과를 현행기준을 통해 산정된 설계식을 통해 강도 평가를 할 수 있는 것으로 확인되었다.

VI. 2HC 보-기둥 접합부 성능

4.1 실험계획

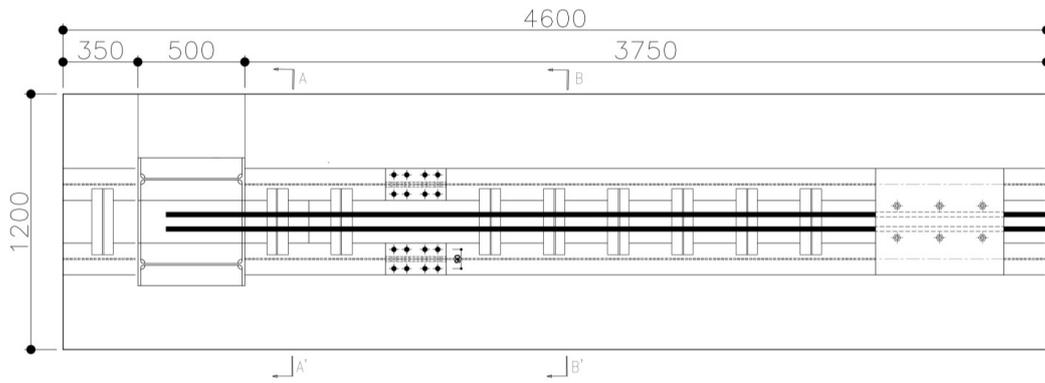
4.1.1 실험체 제원 및 제작

2HC 합성구조시스템의 보-기둥 접합부성능을 살펴보고, KDS 41 31 20 : 2022의 합성중간모멘트골조 적용 가능 유무를 확인하기 위하여 총 2개의 실험체에 대하여 실험을 수행하였다. 실험체 구성 중 2HC 기둥의 경우 한 쌍의 기성H형강(H-500×200×10×16)와 사이를 연결시켜주는 연결판(PL-200×16t)로 구성하고, 브라켓 및 2HC 보의 경우 한 쌍의 기성H형강(H-300×150×6.5×9)와 사이를 연결시켜주는 하부연결판(PL-200×9t)로 구성하였으며, 콘크리트슬래브는 폭 1,200mm와 두께는 150mm로 계획하였다. 이때, 콘크리트 슬래브 상부에 2-HD22 철근을 기둥을 관통하여 내부에 정착시켰다. 콘크리트 슬래브와 강재단면 사이 수평전단력은 전단연결재인 Z-bar(Z-80×50×6)가 부담하는 것으로 설계하여, Choi et al.의 기존 연구결과에 따라 Z-bar의 전단강도 평가식을 적용하여 완전합성거동을 하도록 전단연결재를 300mm 간격으로 설치하였고, 한 쌍의 H 형강 상부 플랜지에 3면 모살용접하여 구성하였다. 2HC 합성보 내 충전되는 콘크리트 및 콘크리트 슬래브의 설계기준압축강도는 27MPa로 적용하였고, 모든 강재의 강종은 SM355, 철근 항복강도는 500MPa(SD500)을 적용하였다.

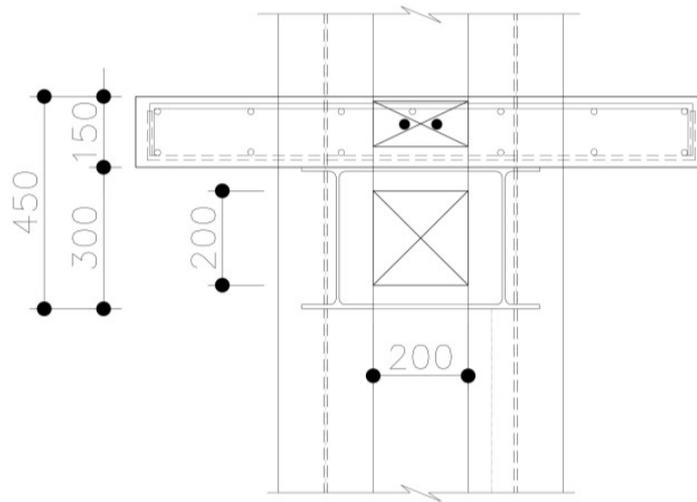
표 4.1 2HC 합성보-기둥 접합부 실험체 제원

Specimen	2HC Column	2HC Girder & Bracket	Con'c Slab	Rebar
2HC-BCJ-01	H-500×200×10×16 PL-200×16t	H-300×150×6.5×9 PL-200×9t	1,200×150	2-SHD22
2HC-BCJ-02	H-500×200×10×16 PL-200×16t	H-300×150×6.5×9 PL-200×9t	1,200×150	2-SHD22

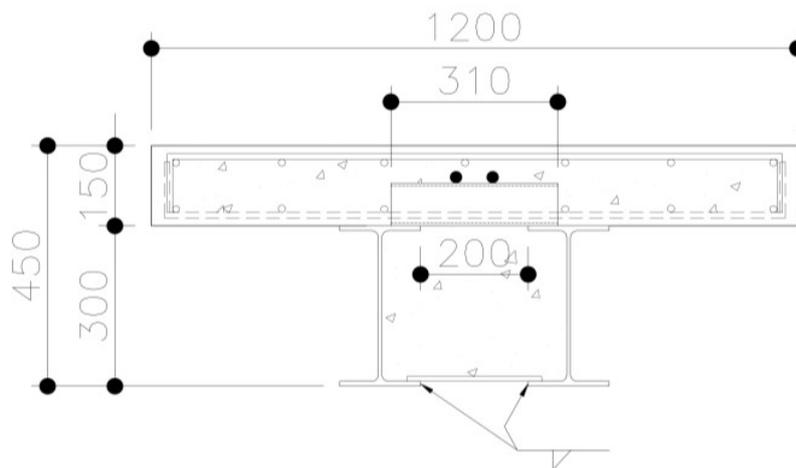
1) BCJ : Beam-Column Joint



(a) PLAN



(b) A-A' Section



(c) B-B' Section

그림 4.1 2HC 합성보-기둥 접합부 실험체 형상-1

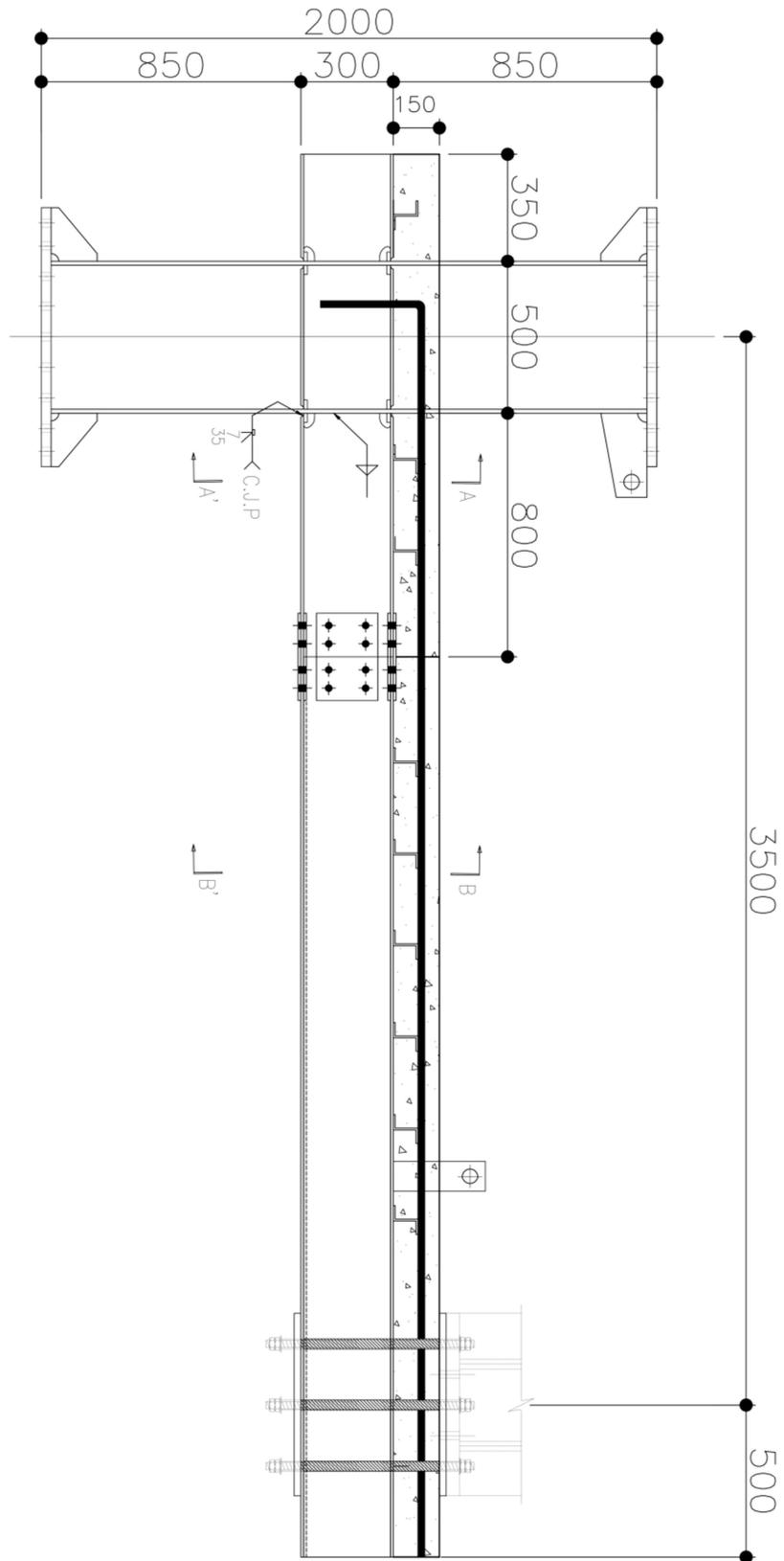


그림 4.2 2HC 합성보-기둥 접합부 실험체 형상-2

2HC 합성보-기둥 접합부 제작 시 콘크리트 슬래브 타설 전 그림 4.3과 같이 실험체 검수를 통해 실험체의 가조립된 단면형태 및 치수, 볼트 및 용접상세 확인, 스티드볼트 및 전단연결재 설치 간격 등이 실험체 제작도면과 동일하게 제작되었는지 여부를 확인하였다. 그림 4.4는 실험체의 타설 전 강재의 변형률을 검측하기 위한 게이지 부착과정과 슬래브 및 내부 충전 콘크리트 타설 과정이다. 타설 시 콘크리트 내 공극이 남아있지 진동다짐기로 다져주었다.



그림 4.3 실험체 제작 검수

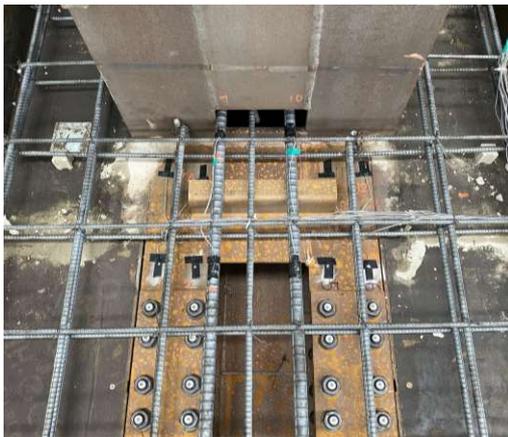


그림 4.4 실험체 게이지 설치 및 타설

4.1.2 실험방법

2개의 실험체는 그림 4.5과 같이 실험체를 2HC 기둥의 양단을 힌지로 구성하기 위해, 벽 반력판에 힌지와 2HC 기둥을 볼트체결로 고정시키고, 2HC 합성보의 횡좌굴을 방지하기 위해 보에 횡변위 지지대를 설치하였다. 기둥 중심에서 가력 지점 중심까지 거리는 3,500mm이며, 기둥 상하부의 지점 간 길이는 2,000mm이다. 실험체의 보 단부에 3,000kN의 액추에이터를 연결하여, 수직하중을 반복하여 재하 하는 반복가력 실험을 실시하였다. 반복가력은 층간변위비를 기준으로 0.375, 0.5, 0.75%는 각각 6회씩 반복하고, 1.0% 일 때는 4회, 1.5%, 2.0%, 3.0%, 4.0%, 5.0%, 6.0%는 각각 2회씩 적용하였다. 모든 사이클의 하중재하 속도는 0.01mm/s로 제어하였다.

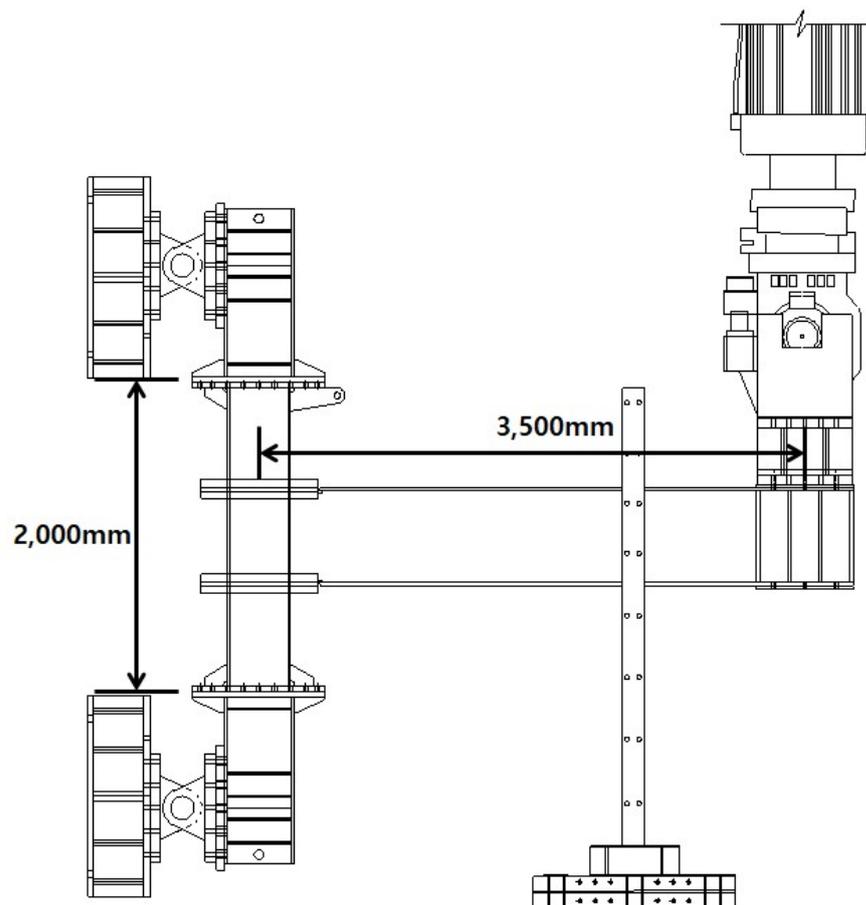


그림 4.5 실험체 설치도

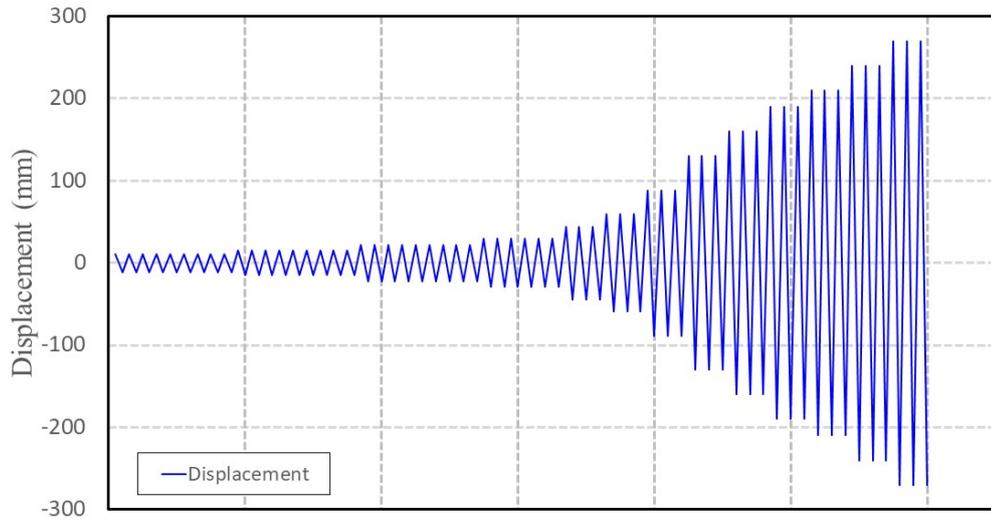
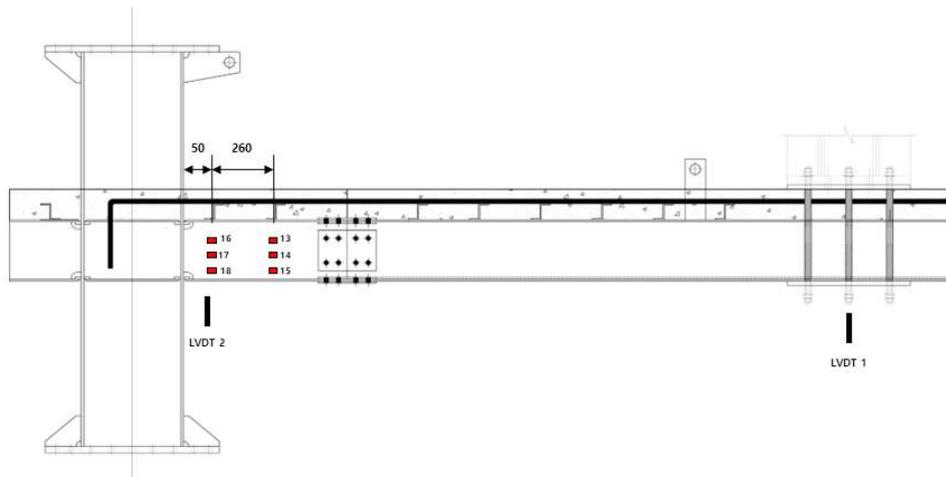


그림 4.6 반복가력 하중

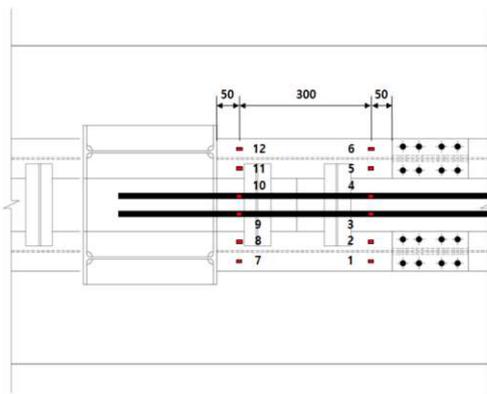
표 4.2 반복가력 하중

Cycle	Story Drift Angle (%)	Displacement (mm)
6 cycles	± 0.375	± 11.0625
6 cycles	± 0.5	± 14.75
6 cycles	± 0.75	± 22.125
4 cycles	± 1.0	± 29.5
2 cycles	± 1.5	± 44.25
2 cycles	± 2.0	± 59.0
2 cycles	± 3.0	± 88.5

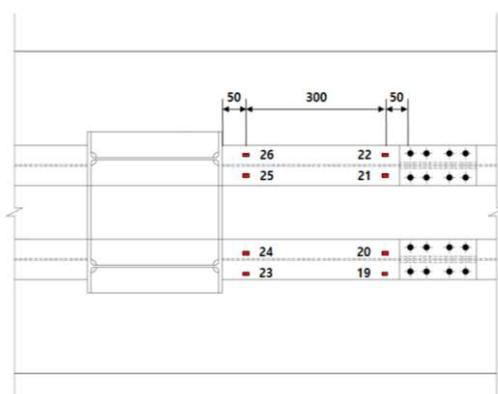
그림 4.7과 같이 하중가력 시 실험체 하중 가력부의 처짐량을 계측하여 모멘트-회전각관계 확인 시 회전각을 구하기 위해 실험체의 하중 가력부 보 하부 및 보-기둥 접합부 인근에 수직변위계(LVDT 1~2)를 설치하였고, 실험체의 보-기둥 접합부 인근의 상, 하부 플랜지, 웨브 및 단부보강근에 변형률 게이지를 부착하여, 강재의 압축 및 인장 변형을 계측하였다.



(a) 측면



(b) 평면



(c) 배면

그림 4.7 실험체의 변형률 게이지 및 LVDT 설치 위치

4.2 실험결과

4.2.1 재료 시험

4.2.1.1 콘크리트

실험체의 슬래브와 2HC 합성보, 합성기둥 내부에 충전 되는 콘크리트 강도는 27MPa를 적용하였다. 콘크리트 공시체는 KS F 2405 기준에 따라 압축강도시험을 통해 평균강도를 산정하였다. 콘크리트 공시체 별 강도는 표 4.3와 같다.

표 4.3 콘크리트 압축강도 시험결과

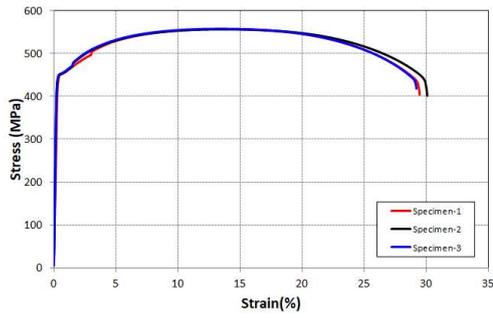
구 분	#1	#2	#3	AVERAGE
f_{ck} (MPa)	24.0	23.6	24.5	24.0
E_c (MPa)	25,811	25,687	25,963	25,820

4.2.1.2 강재

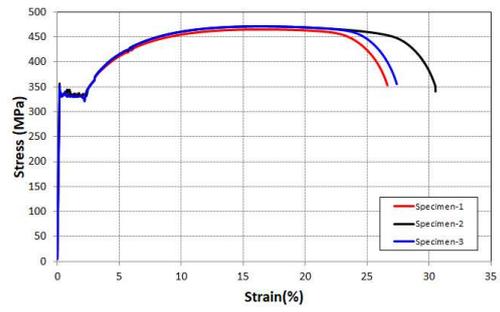
실험체의 강재의 강종은 모두 SM355를 적용하였고, 금속재료 인장시험편인 KS B 0801에 따라 모든 시편은 3개씩 제작하였고, 강재앵커인 Z-bar에 적용되는 6T 두께의 시편은 5호 정형시험편을, 그 외 다른 두께의 시편은 1A호 시편으로 제작하였다. 금속재료 인장시험 방법인 KS B 0802에 따른 강재의 인장시험 결과를 표 4.4에 정리하였으며, 그림 4.8은 각 시편의 응력-변형률 관계를 나타낸다.

표 4.4 강재 인장강도 시험 결과

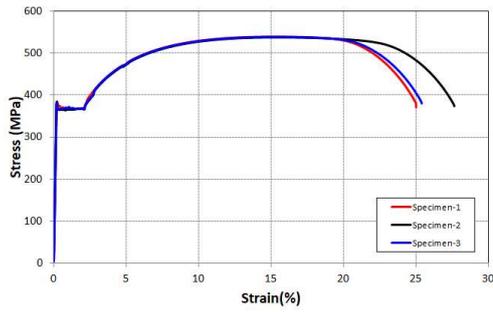
TYPE		THK.	Yield Strength (F_y , MPa)	Tensile Strength (F_u , MPa)	Elongation	Young's Modulus (E , GPa)
PLATE SM355 6T	#1	6.20	450	557	28.00	151
	#2	6.22	450	557	27.00	200
	#3	6.19	451	558	27.00	211
AVERAGE		6.21	450	557	27.33	187
PLATE SM355 9T	#1	9.83	332	466	28.00	195
	#2	9.83	332	472	27.00	189
	#3	9.84	331	472	27.00	185
AVERAGE		9.83	332	470	27.33	189
PLATE SM355 16T	#1	15.89	374	540	25.00	202
	#2	15.91	365	538	28.00	200
	#3	15.89	367	539	25.00	204
AVERAGE		15.90	369	539	26.00	202
FLANGE SM355 9T	#1	8.79	367	532	26.00	213
	#2	8.79	369	533	26.00	208
	#3	8.42	373	533	25.00	208
AVERAGE		8.67	370	533	25.67	210
FLANGE SM355 16T	#1	15.31	386	558	28.00	205
	#2	15.54	381	552	28.00	213
	#3	15.77	382	553	26.00	209
AVERAGE		15.54	383	554	27.33	209
WEB SM355 6.5T	#1	6.18	396	546	25.00	211
	#2	6.19	405	547	25.00	211
	#3	6.22	394	545	26.00	214
AVERAGE		6.20	398	546	25.33	212
WEB SM355 10T	#1	9.90	394	562	23.00	199
	#2	9.92	400	567	26.00	200
	#3	9.90	401	569	26.00	207
AVERAGE		9.91	398	566	25.00	202



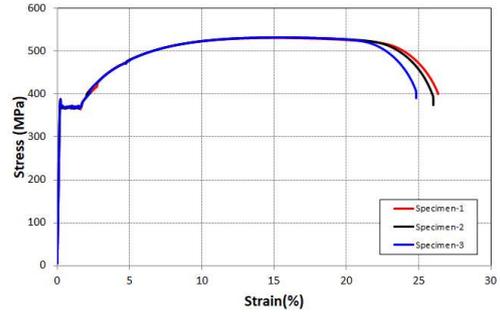
(a) PLATE-SM355-6T



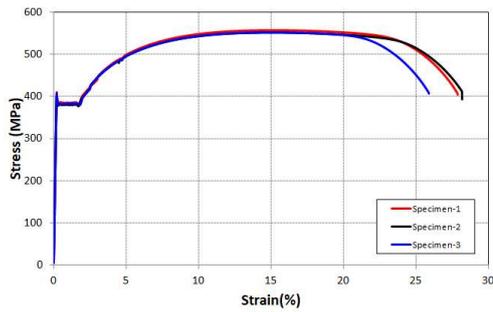
(b) PLATE-SM355-9T



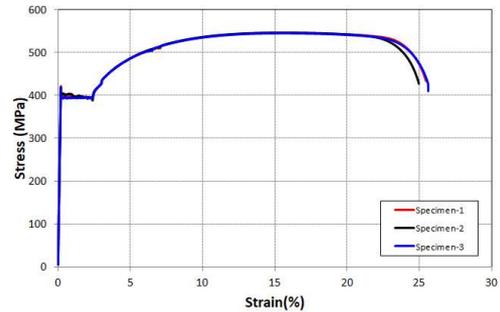
(c) PLATE-SM355-16T



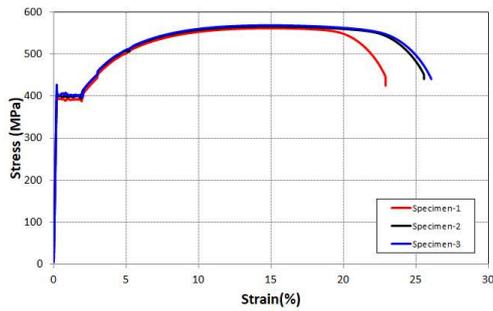
(d) Flange-SM355-9T



(e) Flange-SM355-16T



(f) Web-SM355-6.5T



(g) Web-SM355-10T

그림 4.8 강제 인장강도 시험 결과

4.2.1.3 철근

실험체의 콘크리트슬래브의 상부에 위치한 철근의 항복강도는 500MPa를 적용하였고, 철근의 인장시험편인 KS B 0801을 준용하여 시편을 3개씩 제작하였고, 철근의 인장시험 방법인 KS B 0802에 따른 인장시험 결과를 표 4.5에 정리하였다.

표 4.5 철근 인장강도 시험결과

TYPE		Yield Strength (F_y , MPa)	Tensile Strength (F_u , MPa)	Elongation	Young's Modulus (E , GPa)
SHD22 (SD500)	#1	578	742	16.00	179
	#2	579	742	16.00	178
	#3	576	742	15.00	186
AVERAGE		578	742	15.7	181

4.2.2 모멘트-회전각 관계 및 파괴거동 확인

4.2.2.1 2HC-BCJ-01

2HC-BCJ-01 실험체는 가력 초기 회전각 0.375%에서 콘크리트 슬래브에 미세균열이 확인되었고, 회전각 0.5%에서 콘크리트슬래브의 균열로 인한 내력 저하가 발생하였다. 회전각 1.0%에 도달하였을 때 강재에서 쿵하는 소리가 났고, 회전각 2%에서 볼트가 미끄러지는 소리가 발생하였다. 회전각이 3.0%에 도달하였을 때 2HC 보의 하부연결판이 벌어졌고, 회전각 4.0% 일 때 하부연결판의 벌어짐이 발생하였다. 회전각의 5.0%의 첫 번째 사이클에서는 기둥의 배부름 현상과 브라켓 좌측 하부 플랜지가 찢어지고, 우측 하부 플랜지에 국부좌굴이 발생하였으며, 5.0%의 두 번째 사이클에서는 브라켓의 하부 플랜지가 찢어지면서 하중을 더 이상 받지 못하여 실험을 종료하였다.



(a) 하부연결판 벌어짐



(b) 상부 콘크리트슬래브 균열



(c) 좌측 하부 플랜지 파단

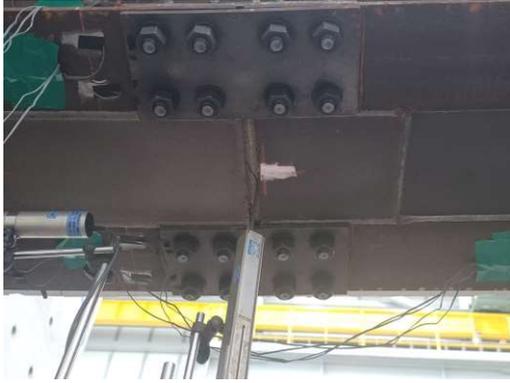


(d) 우측 하부 플랜지 국부좌굴

그림 4.9 2HC-BCJ-01 실험체 파괴양상

4.2.2.2 2HC-BCJ-02

2HC-BCJ-02 실험체도 가력 초기 회전각이 0.375%에 도달하였을 때 브라켓과 2HC 합성보 접합부의 볼트 미끄러짐이 관측되었고, 회전각 1.0%에서 콘크리트 슬래브의 미세균열이 시작되었다. 회전각 2.0%부터 볼트의 미끄러짐 현상이 반복적으로 발생하였고, 회전각 3.0%에 도달하였을 때 볼트의 미끄러짐 현상이 더욱 심화되어 하중이 감소하였다. 회전각이 4.0%에 도달하였을 때 2HC 합성보 하부연결관의 벌어졌고, 우측 하부플랜지에 국부좌굴이 확인되었다. 회전각의 첫 번째 사이클에서 우측 하부플랜지의 국부좌굴이 더 진행되었고, 좌측 하부 플랜지도 국부좌굴이 발생하였다. 회전각 5%의 두 번째 사이클에서 콘크리트슬래브의 일부가 탈락하며 좌측 웹과 하부 플랜지가 파단되었고, 양측 하부플랜지의 좌굴이 더 진행되어 실험을 종료하였다.



(a) 하부연결판 벌어짐



(b) 좌측 하부 플랜지 국부좌굴



(c) 좌측 하부 플랜지 파단



(d) 브라켓 웨브 벌어짐

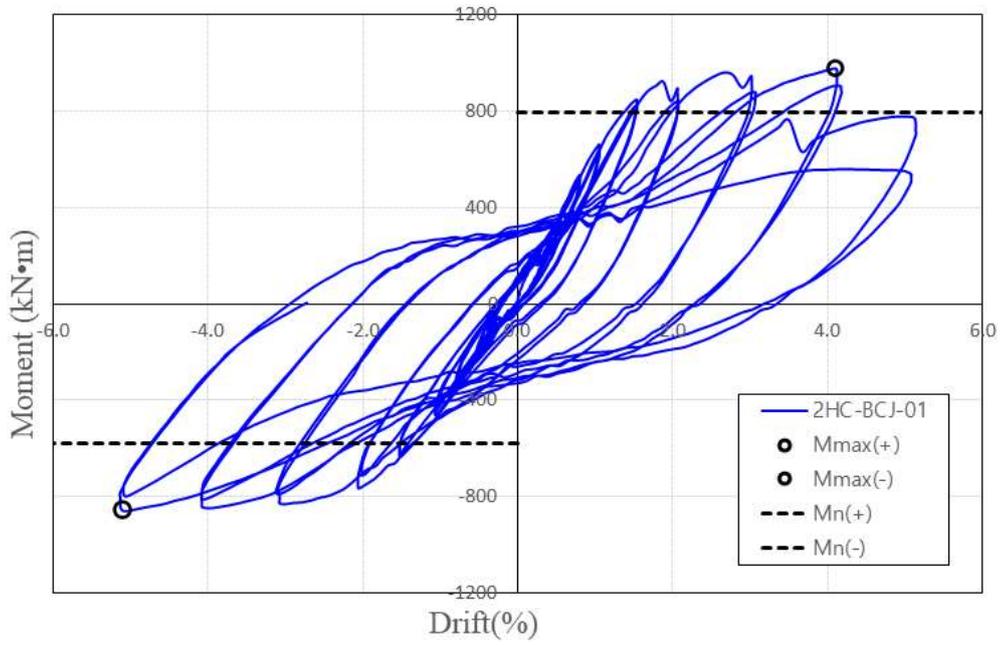
그림 4.10 2HC-BCJ-02 실험체 파괴양상

4.2.2.3 모멘트-회전각 관계

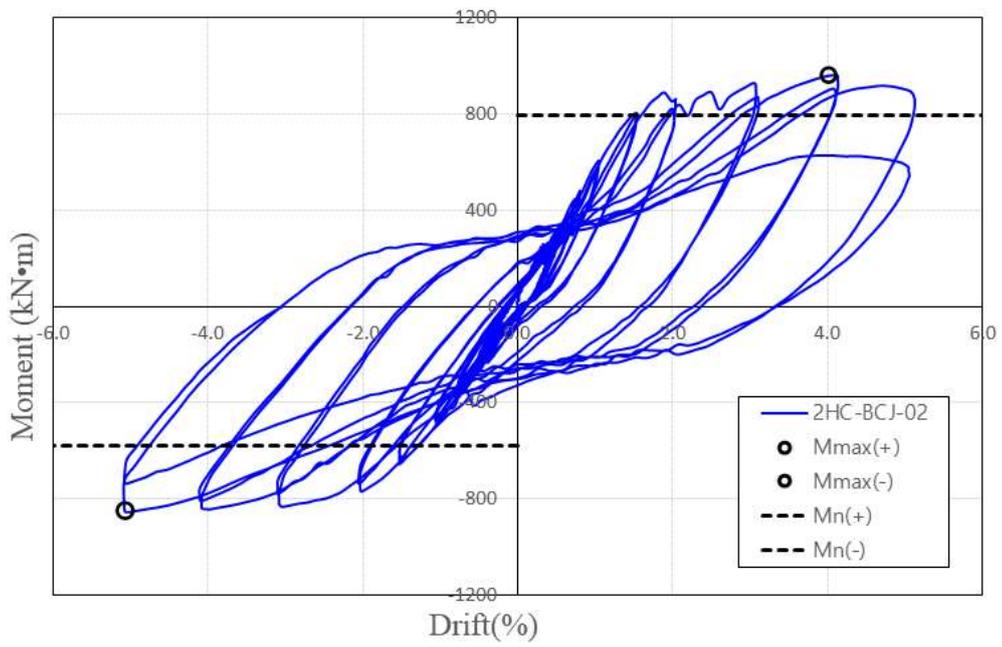
2HC-BCJ-01 실험체와 2HC-BCJ-02 실험체의 모멘트 곡선은 그림 4.11에 나타냈다. 표 4.6은 두 실험체의 정, 부방향 초기강성, 항복휨강도, 최대휨강도, 항복휨강도 및 최대휨강도 시 회전각을 나타낸다. 실험결과, 각 실험체의 정방향 최대휨강도는 880kN·m, 845kN·m, 부방향은 767kN·m, 768kN·m으로 유사한 하중을 견디는 것을 확인하였다. 최대회전각 또한 각각 정방향 5.14%, 5.13% 부방향 5.14%, 5.09%로 유사한 회전각이 발생하는 것을 확인하였다.

표 4.6 2HC 합성보-기둥 접합부 실험 결과

Specimens	Direction	K_i (kN·m/%)	M_y (kN·m)	M_{max} (kN·m)	θ_y (%)	θ_{max} (%)
2HC-BCJ-01	Positive	520	888	977	1.69	5.14
	Negative	419	-767	-862	-2.05	-5.14
2HC-BCJ-02	Positive	519	845	962	1.71	5.13
	Negative	389	-768	-854	-2.02	-5.09



(a) 2HC-BCJ-01



(b) 2HC-BCJ-02

그림 4.11 이력거동곡선(모멘트-회전각관계)

4.2.3 변형 능력

본 연구에서 2HC 합성보-기둥 접합부는 KDS 41 30 20 : 2022의 합성중간모멘트골조의 접합부 변형성능을 만족하기 위해 3.0%의 변형능력이 확보되어야 한다. 이때, 회전각은 가력점의 수직변위를 2HC기둥의 중심선에서 가력점까지의 거리로 나누어 구할 수 있다.

$$\theta = \delta/d \quad (4.1)$$

여기서, θ 는 실험체의 회전각, δ 는 가력점 위치의 수직변위 d 는 2HC기둥의 중심선에서 가력점까지의 거리를 나타낸다.

표 4.7은 두 실험체의 정, 부 방향의 항복휨강도에서의 회전각, 최대휨강도에서의 회전각, 최대휨강도의 80%로 저하 시 회전각을 나타내었다. 두 실험체 각각 최대휨강도 일 때 회전각이 4.11%, 4.02%로 합성중간모멘트골조의 변형능력을 만족하였다. 실험체 각각 최대휨강도의 80% 저하 시 회전각에서 항복휨강도 시 회전각을 뺀 값을 소성회전각을 정의하여 검토한 결과 두 실험체 모두 정방향 3.45%, 3.09%의 소성회전각을 부방향 3.42%, 3.07%의 소성회전각을 보였다.

표 4.7 실험체 변형능력

Specimens	Direction	θ_{M_y} (%)	$\theta_{M_{max}}$ (%)	$\theta_{0.8M_{max}}$ (%)	$\theta_{0.8M_{max}} - \theta_{M_y}$ (%)
2HC-BCJ-01	Positive	1.69	4.11	5.14	3.45
	Negative	-2.05	-5.09	-5.14	3.09
2HC-BCJ-02	Positive	1.71	4.02	5.13	3.42
	Negative	-2.02	-5.05	-5.09	3.07

4.2.4 설계강도 비교

KDS 41 30 20 : 2022의 소성응력분포법으로 예상휨강도 산정과정은 다음과 같다. 그림 4.12는 2HC 합성보의 부모멘트에 대한 소성응력분포를 나타낸다. 식 (4.1), (4.2)을 사용하여 압축강도와 인장강도를 산정하고, 압축강도와 인장강도에 각각 소성중립축에서 압축강도와 인장강도 사이의 거리를 곱하여 식 (4.6)과 같이 예상휨강도를 산정한다. 또한 정방향 예상휨강도에 대한 소성응력분포는 3.2.5 설계강도 비교 항을 참조하여 실험체 제원에 맞게 산정하였다.

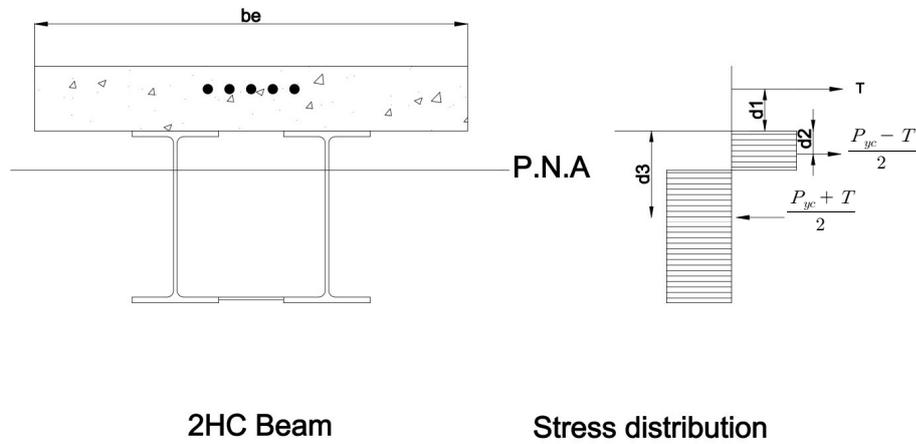


그림 4.12 2HC 합성시스템의 소성응력분포

$$P_{yc} = F_y A_s = 3456.5 \text{ kN} \quad (4.1)$$

$$T = \min(F_{yr} A_r, \sum Q_n) = 894.5 \text{ kN} \quad (4.2)$$

$$d_1 = 150 - 46.5(\text{피복두께}) - 22/2 = 92.5 \text{ mm} \quad (4.3)$$

$$d_2 = 8.07 \text{ mm}(\text{강재단면의 인장력 중심으로부터 강재단면 상단까지 거리}) \quad (4.4)$$

$$d_{3-H} = 300(H\text{형강춤})/2 = 150 \text{ mm} \quad (4.5)$$

$$M_n = T(d_1 + d_2) + P_{yc}(d_3 - d_2) = 580.6 \text{ kN} \quad (4.6)$$

여기서, 식 4.1 ~ 4.6은 부방향 예상휨강도 산정과정이고, f_{yr} 는 슬래브 철근의 항복강도, A_r 는 유효폭 안에 있고, 적절하게 정착된 강재보에 평행한 슬래브 철근 단면적, $\sum Q_n$ 는 부모멘트가 최대가 되는 위치와 모멘트가 0인 위치 사이

에 있는 강재앵커의 공칭강도의 합, A_s 는 강재단면의 총 단면적, F_y 는 강재의 항복강도, d_1 는 길이방향 슬래브 철근의 중심으로부터 강재단면의 상단까지 거리, P_{yc} 는 강재단면의 압축강도, d_2 는 강재단면의 인장력 중심으로부터 강재단면의 상단까지 거리, d_3 는 강재 압축중심으로부터 강재단면의 상단까지 거리를 나타낸다. 이때, 슬래브 철근의 항복강도와 강재의 항복강도는 재료시험을 통한 계측값을 적용하였다.

예상휨강도와 실험 최대휨강도의 비교결과는 표 4.8와 같다. 각 실험체의 실험 최대휨강도는 예상휨강도 대비 정 방향에서 각각 1.23배와 1.21배로 나타났고, 부 방향에서 각각 1.48배와 1.47배로 예상휨강도보다 더 높은 성능을 발휘하였다.

표 4.8 예상휨강도와 최대휨강도 비교

Specimens	M_{max} (kN·m)		M_n (kN·m)		M_{max}/M_n	
	Postive	Negative	Postive	Negative	Postive	Negative
2HC-BCJ-01	977	-863	793	581	1.23	1.48
2HC-BCJ-02	962	-854	793	581	1.21	1.47

4.3 소결

위 절에서는 2개의 2HC 합성보-기동 접합부 실험체를 제작하여 반복가력실험을 수행하여 2HC 합성구조시스템의 접합부 성능 및 현행기준의 합성중간모멘트골조의 회전성능 만족여부 및 예상휨강도와 실험휨강도를 비교하였다. 구조실험을 통한 주요 연구결과는 다음과 같다.

(1) 두 실험체 모두 초기 회전각에서 볼트의 미끄러짐 현상이 발생하고, 회전각이 3% 이상 진행되었을 때 2HC 보의 하부연결판의 벌어짐과 브라켓의 좌, 우측의 하부플랜지의 균열 및 국부좌굴이 발생하였다. 회전각이 5.0% 이상 진행되었을 때 브라켓 좌, 우측의 하부플랜지의 찢어짐과 국부좌굴이 심화되는 파괴양상이 관측되었다.

(2) 두 실험체 모두 2HC 합성보 최대휨강도의 80% 일 때, 회전각은 각각 정 방향 5.14%, 5.13%, 부 방향 5.14%, 5.09%으로 확인되어, 현행기준에서 요구하는 합성중간모멘트골조의 회전성능인 3.0%을 만족하는 것으로 확인되었다.

(3) 두 실험체의 소성회전각을 정의하여 검토한 결과 실험체 각각 정 방향 3.45%, 3.42%, 부 방향 3.09%, 3.07%으로 검토되어, 충분한 소성회전각을 확보한 것으로 확인되었다.

(4) 실험체 1의 정, 부 방향의 실험최대휨강도는 예상휨강도 대비 각각 1.23배, 1.48배로 확인되었고, 실험체 2의 정, 부 방향의 실험최대휨강도는 예상휨강도 대비 각각 1.21배, 1.47배로 확인되어 두 실험체 모두 현행기준을 통해 산정된 예상휨강도를 통해 강도 평가를 할 수 있는 것으로 확인되었다.

V. 결 론

본 연구에서는 대규모 구조물의 수요가 늘어나 구조물의 고하중, 장스팬의 구조물에 적용을 위해 개발된 2HC 합성보, 합성구조시스템의 구조성능을 검증하기 위해 단조가력 실험, 반복가력 실험을 수행하였고, 실험결과를 현행기준을 통해 산정한 예상휨강도와 비교 분석하였고, 합성중간모멘트골조의 요구 회전성능의 만족여부를 확인하였다. 주요 실험결과 및 해석결과는 다음과 같이 요약할 수 있다.

(1) 2HC 합성보 휨 성능실험 시 실험변수인 하부연결판의 스티드볼트의 유무에 상관없이 두 실험체는 모두 가력초기 선형거동을 하였고, 항복하중 이후 하중이 완만하게 증가하였다. 항복하중 이후 최대하중까지 안정적인 연성거동이 관측되었고, 최대하중 이후 내력이 저하되는 양상을 보였다.

(2) 2HC 합성보-기둥 접합부의 반복가력 실험 시 두 실험체 모두 초기 회전각에서는 볼트의 미끄러짐이 관측되었고, 회전각이 3.0% 일 때, 2HC 보의 하부연결판이 벌어지고, 브라켓의 좌, 우측 하부플랜지에 균열 및 국부좌굴이 관측되었다. 회전각이 5.0%에서 브라켓의 좌, 우측 하부플랜지에 찢어짐이 발생하고, 국부좌굴이 심화되는 파괴거동을 확인하였다.

(3) 2HC 합성보 휨 성능실험을 통해 확인된 두 실험체의 최대휨강도는 예상휨강도 대비 각각 1.05배, 1.06배로 확인되었고, 2HC 합성시스템의 반복가력 실험을 통해 확인된 두 실험체의 정 방향 최대휨강도는 정 방향 예상휨강도 대비 각각 1.23배, 1.21배, 부 방향 예상휨강도 대비 각각 1.48배, 1.47배로 확인되어, 현행기준을 통해 산정한 예상휨강도를 통해 강도평가가 이루어져도 가능하다고 판단되었다.

(4) 2HC 합성보-기둥 접합부의 정, 부방향의 회전성능을 확인한 결과 두 실험체의 정, 부방향 모두 2HC 합성보의 최대휨강도의 80%에서 회전각이 5.0% 이상의 회전성능이 확보되어, 현행기준의 합성중간모멘트골조 요구성능인 3.0%를 초과하여 연성적인 거동을 하는 것으로 확인되었다.

참고문헌

1. Kim, S. B., Kang, M. J., Cho, S. H., Kim, S. S. (2015) An Experimental Study on Bending and Seismic Performance of New Concept Hybrid Composite Beam, Journal of Korean Society of Hazard Mitigation, Vol.15, No.4, pp.1-12 (in Korean).
2. Kim, S. B., Lee, E. T., Kim, J. R., and Kim, S. S. (2016) Experimental study on bending behavior and seismic performance of hybrid composite beam with new shape. International Journal of Steel Structures, 16, pp. 477-488 (in Korean).
3. Kim, Y. J., Bae, J. H., An, T. S., Baek, J. H., Song, D. B. (2014) Introduction of BESTOBEAM System with Construction Convenience, Journal of Korean Structural Engineers Association, Vol.21 Issue 3, pp.43-49 (in Korean).
4. Kim, Y. H., Kim, D. B., Kim, D. J., and Kim, M. H. (2018) Safety Evaluation of Semi-Slim AU Composite Beam During Construction, Journal of Korean Association for Spatial Structures, Vol.18, No.3, pp. 57-66 (in Korean).
5. Choi, Y. H., Kim, S. B., Baek, K. Y., 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 Korean Society of Steel Construction, Vol.32, No.1, pp.43-53 (in Korean).
6. Lee, J. W., Kim, D. H., Kim, S. B., Lee, C. N., Kim, S. S., Kim, K. S. (2004) An Experimental Study on the Structural Behavior for TSC composite beams with various manufacturing methods, Journal of the Architectural Institute of Korea, JAIK, Vol.24, No.1, pp.67-70 (in Korean).

7. KCSC (2022) KDS 41 31 20 Korean Building Code for Composite steel and concrete Structures, Goyang-si, Korea Construction Standard Center.
8. BS EN 1992.2004, Eurocode 2. Design of concrete structures, British Standards, 2004.
9. BS EN 1993.2005, Eurocode 3. Design of steel structures, British Standards, 2005.
10. BS EN 1994.2004, Eurocode 4. Design of Composite steel and concrete structures, British Standards, 2004.
11. Oh, M. U., Choi, I. R., Kim, G. B., Jung, S. J., Lee, J. H. (2022) Structural Performance Tests for 2HC Composite Structural System, Journal of Korean Society of Steel Construction, Vol.34, No.6, pp.309-318 (in Korean).
12. Choi, I. R., Kim, Y. H., Jung, S. J., Lee, J. H. (2019) Push-out Test for U-Tube Flange H-Beam with Z-Bar Anchors, Journal of Korean Society of Steel Construction, Vol.31, No.6, pp.423-434 (in Korean).
13. KSA (2022), KS F 2405 Test method for compressive strength of concrete, Korean Agency for Technology and Standards (in Korean).
14. KSA (2022), KS B 0801 Test Pieces for Tensile Metallic Materials, Korean Agency for Technology and Standards (in Korean).
15. AISC (2016) Specification for Structural Steel Buildings (ANSI/AISC 360-16); American Institute of Steel Construction: Chicago, IL, USA.
16. Lim, Y. W. and You, Y. C. (2017) Seismic Evaluation of Exposed Column-base Plate Weak-axis Connections Using L-shaped Hooked Anchor Bolts, Journal of Korean Society of Steel Construction, KSSC, Vol.29, No.4, pp. 269-280 (in Korean).

Abstract

In the current construction market, there is a growing demand for large-scale structures. The need for composite structural systems with exceptional performance and cost-effectiveness has become increasingly crucial in the field of steel structures as buildings continue to grow taller and feature longer spans. However, many existing composite structural systems necessitate secondary processes such as bending or roll forming during the manufacturing of U-shaped composite beams. This leads to extended production times and restricts manufacturing to facilities equipped for such processes.

In this study, the proposal is to replace the conventional U-shaped cross-section with a pair of H-shaped steels. This results in a 2HC composite structure system that is not only easy to manufacture but also ensures safety against local buckling without requiring additional forming processing. The safety and performance of the 2HC composite structure system were evaluated through structural tests on the 2HC composite beam and the composite beam-column connection.

The variables examined in the bending performance test of 2HC composite beams included the presence or absence of stud bolts on the lower connection plate. The experiments, conducted with monotonic force as a support condition for simple beams, initially exhibited linear behavior. Cracks in the concrete slabs at the loading point began to emerge, gradually intensifying until the experiment reached its maximum load. Ultimately, collapse occurred in the center of the concrete slab, concluding the experiment. Evaluation of compression and tensile strain confirmed the formation of the neutral axis about 150mm from the top of the concrete slab. The maximum experimental flexural strength

surpassed the nominal strength calculated by the current standard, demonstrating the reliability of the 2HC composite beam.

In the experiment on the 2HC composite beam-column joint, both specimens exhibited bolt slippage at the onset of the loading force. With increasing rotation angles, local buckling and tearing of the lower flange of the bracket occurred. Post-experiment analysis of deformation ability revealed sufficient plastic rotation angles in both positive and negative directions. The maximum experimental bending strength in both directions exceeded the nominal bending strengths specified by current standards. This confirmed that the rotational performance of the composite intermediate moment frame achieved a remarkable 3.0%.

Keyword : Composite Beam, Beam-Column Connection, Flexural Test, Cyclic Test, KDS 41 30 20 : 2022, Eurocode 4