

단부 하부 압축재와 상부 인장 철근으로 보강한 합성보의 실험 및 적용 사례 연구

Experimental and Application Examples of Composite Beams Strengthened by Lower End Compression Member and Upper Tension Reinforcement

오 중 근*
Oh, Jung-Keun

심 남 주**
Shim, Nam-Ju

Abstract

The BX composite beam is designed to have the same cross-section regardless of the size of the momentum, which is a disadvantage of the existing steel structure. Combination of the H-beam end compressive material and the H-section steel tensile reinforcement according to the moment size in a single span, It is possible to say that it is an excellent synthesis which increases the performance. When underground and overhead structures are constructed, it is possible to reduce the bending, increase lateral stiffness, reduce construction cost, and simplify joints. The seamability of the joining part is a simple steel composite beam because of the decrease of the beam damping at the center of the beam and the use of the end plate of the new end compressing material. In the case of structures with long span structure and high load, it is advantageous to reduce the material cost by designing large steel which is high in price at less than medium steel.

Keywords : BX composite beam, Moment size, H-beam, Tensile reinforcement, End plate

1. 서론

최근 건설 시장은 건축물의 고층화와 대형화에 따른 층고 절감 및 장스팬화, 경제성 제고 등의 건축적 요구와 함께 급변하는 원자재 가격과 장기적 상승세, 건설 현장의 환경 개선을 위한 노력 등으로 인해 다양한 공법들이 연구 개발되고 있다¹⁾. 이에 따라 근래에 여러 형태의 합성보 부재들이 개발되어 시공 현장에 적용되고 있다. H형강을 사용한 국내의 합성보 공법은 T형 강재가 보강된 일반 H형강 합성보(이하 T형 보강 합성보), 변단면 H형 강재를 용접 연결한 ES빔²⁾, H형강 단부에 철판 거푸집을 설치하여 단부 구간을 SRC화 하는 에코 거더³⁾ 등 다양한 종류의 합성보가 개발되었다. 이러한 T형 보강 합성보와 변단면 H형 강재의 ES빔은 브라켓 Lap

splice 타입인 경우 접합 시 볼트 수량 증가와 간섭이 발생하고, 하부 T형 보강재의 높이가 150mm 전후인 경우 볼팅 불가로 인하여 임팩트 체결 시 문제가 된다. 또한 개선 용접 타입 적용 시 용접량이 증가하여 비경제적이다.

H형강 보의 부모멘트 구간에 상부 인장 철근을 보강하면 단일 보 골조 공사비를 약 5~8% 절감할 수 있다. 그러나 ES빔의 경우 중립축 이동에 따른 압축 판 요소(웹)의 판 폭두께비 변화 및 국부 좌굴을 고려하여야 하고, 피복 두께 확보를 위해 데크의 트러스근 또는 골 방향으로만 인장 철근을 배근해야 한다. 이에 인접 철근의 간섭이나 철근의 정착 문제가 발생하거나 슬래브에 단차가 있을 경우 등으로 현장 시공에 어려움이 있다.

따라서 T형 보강 합성보의 시공성 개선을 위한 접합부 개발과 보 상부 인장 철근을 이용한 합성 거동 평가가 필요하다.

본 논문에서는 새로운 단부 접합 상세로 구성된 H-beam 하부의 단부 하부 압축재와 상부 인장 철근으로 보강한 합성보(이하 BX 합성보)를 제시하고,

* 교신저자, 정희원, 건국대학교 건축학과 교수, 공학박사
College of Architecture, Konkuk University
Tel: 02-450-4150 Fax: 02-444-6542
E-mail: jkoh@konkuk.ac.kr

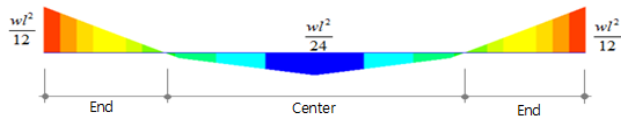
** 정희원, (주)하이브리크이앤씨 대표, 공학박사
Hybrix E&C, Precast Concrete Team

실험적 연구와 현장 적용 사례를 통하여 건축 현장의 기초 자료를 제공하는데 연구의 목적을 두고자 한다.

2. BX 합성보의 특성 분석

2.1 부재 특성

일반 강구조 설계 시 서비스 하중이 작용할 때 <Fig. 1>에 나타난 것과 같이 단부와 중앙부 모멘트 값에 의하여 단면 크기가 결정된다. 이러한 경우 T형 합성보 설계 시 중앙부의 단면 내력에 여유가 발생하게 되는 문제점이 있다.



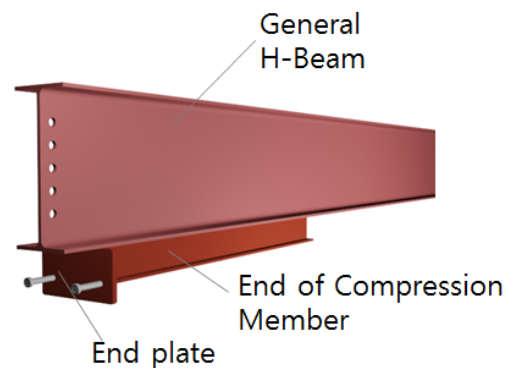
<Fig. 1> Moment diagram for the vertical load of girder

기존 철골 구조는 모멘트 크기와 관계없이 동일한 단면으로 설계해야 하는 단점이 있다. 반면 BX 합성보는 <Fig. 1>과 같이 단일 스패 내에서 모멘트 크기에 따라 H-Beam 단부 하부 압축재와 H형강 상부 인장 철근을 조합하여 부모멘트 구간의 휨 성능을 증대시킴으로써 다음과 같은 효과를 기대할 수 있다.

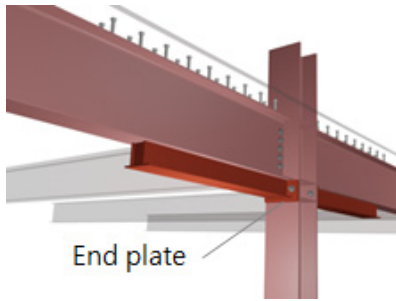
콘크리트와 철골의 재료적 장점을 활용함으로써 스패 10m 이상의 구조물 적용 시 보 춤을 낮게 할 수 있으며, 횡 강성의 증대로 공사비를 절감하고 접합부를 단순화 할 수 있다. 또한 일반 철골 구조 대비 강재량을 약 35%, 공사비를 약 20% 절감할 수 있으며 CO2 배출량도 저감할 수 있다. <Fig. 2~5>와 같이 보 중앙부의 보 춤이 감소하고, 새로운 단부 하부 압축재의 End plate 사용⁴⁾으로 접합부 시공이 단순한 철골 합성보라고 할 수 있다. 특히 12m 이상의 장스팬 및 고하중 구조물에 적용할 경우 Built-up 빔을 기성 제품인 Rolled H-beam으로 설계할 수 있고, 높이 700mm 이상의 대형 강을 600mm 이하의 중형 강으로 설계함으로써 자재비를 절감할 수 있는 장점이 있다.

BX 합성보는 보의 길이 방향을 따라 상부 인장 철근 구간, H형강 합성 구간, 단부 하부 압축재 구간, H형강 구간으로 구성된다. 상부 인장 철근은 철골 기둥 또는 철골을 매입한 철골 콘크리트 기둥에 현장 시공으로 직접 연결된다. H형강 합성 구간은 철근 콘크리트 슬래브와 휨 균열을 저감시키는 역할을 한다. 단부 하부 압축재는 적재 하중 전부 또는 일부에 대한 내력을 분담함으로써 단부의 강성을 증대시키고 중립축 하부 압축력에 저항한다. 또한 내진, 내풍 시 H형강(단부 하부 압축재 제외)에 의한 골조 해석 및 부재 설계가 이루어져 합리적인 설계와 설계 프로세스의 단순화가 가능하다.

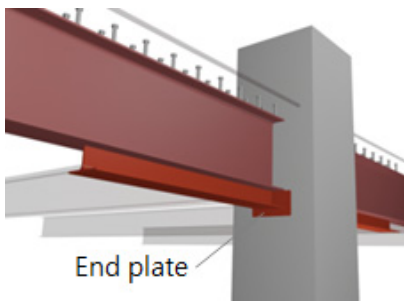
<Fig. 2~5>와 같이 단부 하부 압축재의 End plate는 단부 하부의 압축력을 철골 철근 콘크리트 기둥에 지압 전달을 하고 탐다운 공법 시 시공 오차를 최대한 줄일 수 있어 최적화 시공이 가능하다. <Fig. 4>와 같이 철골 철근 콘크리트 기둥과의 접합도 용이하다. 따라서 BX 합성보는 H형강을 활용하고 보 단부에 압축재만 설치하여 접합부 및 시공이 단순한 철골 합성보의 개념으로 요약할 수 있다. <Fig. 3>과 같이 철골 기둥과 H형강은 용접 강접합하고, 단부 하부 압축재의 End plate는 기둥 플랜지에 볼트 연결되며⁵⁾ 현장 용접 시 백업재 역할을 한다. 브라켓 접합 타입에서 H형강의 상부 플랜지와 웨브는 볼트 접합하고 <Fig. 5>와 같이 하부 플랜지와 단부 하부 압축재의 End plate는 볼트 접합을 적용하여 시공성을 향상시키면서 횡 강성 및 안전성을 확보하도록 하였다.



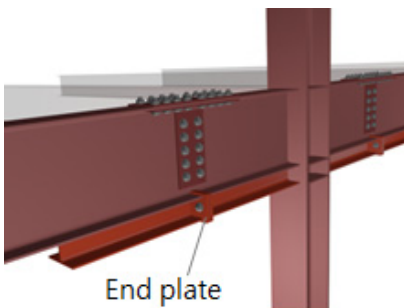
<Fig. 2> Composition of BX composite beams



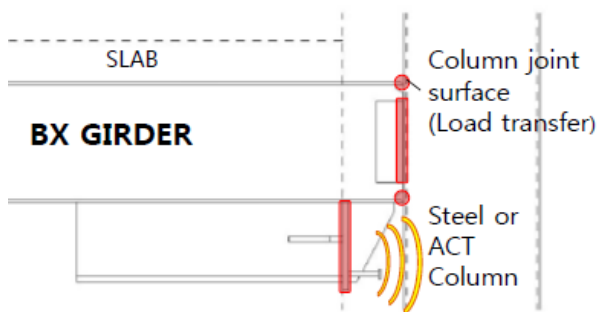
〈Fig. 3〉 Connection between steel columns and BX composite beams



〈Fig. 4〉 Connection between SRC columns and BX composite beams



〈Fig. 5〉 Bracket connections



〈Fig. 6〉 BX composite beams with Top-Down method

또한 <Fig. 6>과 같이 End plate는 탑다운 공법 시 현장 시공 오차에 대응할 수 있으며, 기존 시공에서 단점으로 지적되는 이음부의 용접량 감소와 다이어프램 구성이 용이하여 CFT 기둥의 현장 시공 효율과 품질을 향상시킬 수 있다.

2.2 BX 합성보의 설계 방법

BX 합성보는 철골보와 단부 하부 압축재에 전달되는 압축력을 End plate를 통해 지지점에 전달하므로 단면 내력이 증가되고 강재량, 층고, 용접량을 줄일 수 있어 공사비가 절감된다. 합성 단면 내에 압축력을 발생시키는 수직 방향 하중에서 철골보는 보의 자중, 슬래브 자중 및 마감 하중을 분담하고, 단부 하부 압축재는 활하중을 분담한다. 수평 방향 하중은 철골보가 분담한다.

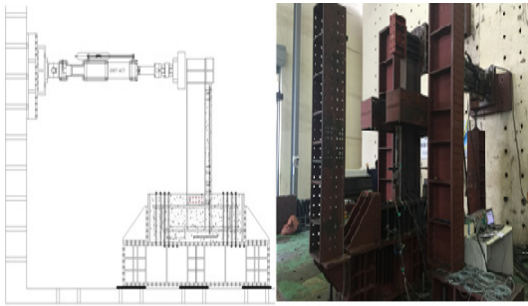
단부 하부 압축재가 철골보의 부모멘트 구간 내에 위치하고 소성 중립축이 압축재보다 상부에 위치하도록 하여 단부 압축재에 수직 방향 하중에 의한 압축력은 작용하고 인장력은 작용하지 않도록 설계한다. 슬래브에 상부 인장 철근을 배근하여 합성 단면으로 거동하도록 하거나 상부 철근의 직경 및 개수, 단부 압축재의 철판 두께 및 단면 높이를 조절하여 상기 소성 중립축이 단부 하부 압축재보다 상부에 위치하도록 한다.

3. BX 합성보의 실험

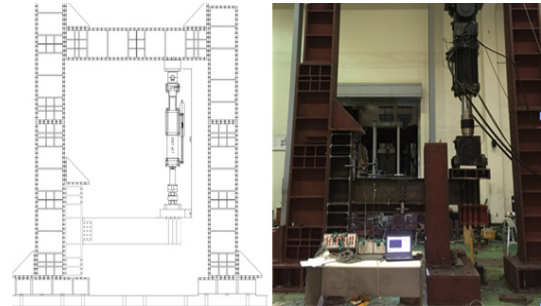
3.1 실험체 계획

본 연구를 위하여 단부 하부 압축재와 H형강을 이용한 합성보의 접합 상세에 변수를 두어 실험체를 제작하였다. BX 합성보의 구조 성능 실험을 위한 세팅 계획은 <Fig. 7, 8>과 같고, 횡하중을 가력하기 위해 충분한 강성을 갖는 반력 프레임을 이용하였다. 가력 장비는 200톤 용량의 엑츄에이터를 배치하였다.

실험 중 발생 변위를 측정하기 위하여 실험체 가력 중심에 변위계를 설치하였으며, 보의 거동을 계측할 수 있도록 별도의 변위계를 설치하였다. 실험체에 적용할 하중 이력은 8.25mm부터 변위를 증가시키면서 각 동일 변위에 초기 6~2회 가력하여 실험하였다.



〈Fig. 7〉 Specimen setting plan (Specimen-2,5,6,7)



〈Fig. 8〉 Specimen setting plan (Specimen-1,3,4,8)

3.2 실험체 제작

거더의 부모멘트 구간 단면 하부에 CT형강을 용접하여 단면 성능을 향상시키는 경우 보와 기둥 접합부의 시공은 H형강의 웨브를 볼팅하고, 상하 플랜지 및 CT형강부는 개선 용접 형태로 구성한다. 전단면 브래킷 볼팅 타입의 접합 상세는 조립 시 볼트 및 플랜지 간 간섭으로 인해 겹침 이음 방식만으로는 적용이 불가능하다. 따라서 <Table 1, 2>와 같이 CT형강부와 기둥을 개선 용접 방식으로 접합한 실험체(Specimen-2), End plate와 TS 볼트 체결 방식의 실험체(Specimen-3), 연성 능력을 증대하기 위한 End plate와 강봉(또는 나사형 철근) 체결 방식의 실험체(Specimen-4)로 성능 실험을 수행하였다. Specimen-2의 경우 CT형강 웨브부 Scallop에 의한 단면 손실 영향을 평가하며, Specimen-3, 4의 경우 지진 등 수평력에 대한 성능 검증을 위하여 End plate 연결부의 TS 볼트와 강봉 체결 방식에 대한

각 변형률을 분석하여 그 결과를 바탕으로 응력-변형률 곡선, 항복 강도, 항복비, 소성 변형 능력 등 역학적 성능을 종합적으로 평가하였다.

거더의 부모멘트 구간 단면 상부 Deck 슬래브 유효 폭 내에 인장 철근을 배근하여 합성보로 설계하는 경우 데크 플레이트의 트러스 철근 골 방향으로 인장 철근을 배치하고 스톨드 볼트에 의한 합성을 및 중립축 변화를 고려하여야 한다. 따라서 유효폭 내에 배치된 인장 철근의 합성 효과를 검증하기 위한 성능 실험을 수행하여야 한다. <Table 1, 2>에 나타나 있는 Specimen-5는 상부 인장 철근 또는 T형 보의 거동에 의해 사이클을 반복 가력 시 중립축이 가력 방향에 따라 단면 상하부로 변화하는 양상을 평가한다. 실험체 계획을 최적화하기 위하여 T형 보 거동의 경우 압축 구간의 현장 슬래브 유효 폭을 최소화하여 800mm로 제한하여 제작하였다.

거더의 부모멘트 구간에 단면 하부 CT형강 및 단면 상부 인장 철근 배근을 적용하여 최적화된 단면

〈Table 1〉 Specimen types and plastic moment

Specimen types	H sections standard	CT sections standard, Reinforced specifications	Steel and reinforced material	Mp (-) (kN-m)	Mp (+) (kN-m)
Specimen-1	RH-606×201×12×20	-	SHN490	1,114.8	1,114.8
Specimen-2	RH-450×200×9×14	CT-146×201×9×14	SHN490	846.9	846.9
Specimen-3	RH-450×200×9×14	CT-146×201×9×14	SHN490	846.9	549.3
Specimen-4	RH-450×200×9×14	CT-146×201×9×14	SHN490	846.9	761.2
Specimen-5	RH-450×200×9×14	4-SHD22	SHN490	745.2	913.5
Specimen-6	RH-450×200×9×14	CT-146×201×9×14 4-SHD22	SHN490 SD500	1,210.9	1,168.3
Specimen-7	RH-450×200×9×14	CT-146×201×9×14 4-SHD22	SHN490 SD500	1,210.9	913.5
Specimen-8	RH-450×200×9×14	CT-146×201×9×14	SHN490	846.9	545.7

<Table 2> The neutral axis change position of the specimen by loading turn

Specimen types	H sections standard	CT sections standard, Reinforced specifications	Loading turn (+),mm	Loading turn (-),mm	Neutral axis mm
Specimen-1	RH-606×201×12×20	-	303	303	0
Specimen-2	RH-450×200×9×14	CT-146×201×9×14	440	440	0
Specimen-3	RH-450×200×9×14	CT-146×201×9×14	440	225	215
Specimen-4	RH-450×200×9×14	CT-146×201×9×14	440	404	36
Specimen-5	RH-450×200×9×14	4-SHD22	243	153	90
Specimen-6	RH-450×200×9×14	CT-146×201×9×14 4-SHD22	465	157	308
Specimen-7	RH-450×200×9×14	CT-146×201×9×14 4-SHD22	465	153	312
Specimen-8	RH-450×200×9×14	CT-146×201×9×14	440	299	141

설계를 구현하고 상하부를 보강함으로써 합성보 거동으로 인해 일반적인 H형강 보에 비해 중립축이 효율적으로 변화하여 횡력에 대한 휨 저항 성능을 다음과 같이 확인하였다. <Table 1, 2>와 같이 Specimen-6, Specimen-8의 경우 CT형강부의 접합부에 대한 변형 능력이 전제되어야 하고, CT형강부와 기둥 접합부의 일반적인 개선 용접이나 브라켓 볼팅 접합부의 일반적인 개선 용접 또는 브라켓 볼팅 접합 방식으로는 현장 조립 시 용접량 증가에 따른 공사 기간 및 공사비 증가, 볼팅 체결 시 간섭 문제 등이 발생한다. 따라서 Specimen-6은 H형강 상하부 플랜지를 개선 용접하고 CT형강부는 End plate 방식에 강봉을 체결하여 실험체를 제작하였다. Specimen-8은 브라켓 형태의 Lap spliced와 End plate 방식으로 복합화한 실험체를 제작하였다. <Table 1, 2>에 나타나 있는 Specimen-7은 보와 기둥 접합부 변형 능력이 최소로 요구되는 저층부 구조물에 있어서 전단벽 시스템 및 건물 골조 방식의 구조물 또는 지하층의 탐다운 공법에 적용하기 위한 접합 상세로 계획하였다. 중립축 하부 압축 단면 구간에 CT형강부의 End plate를 SRC 기둥 콘크리트에 지압을 전달하는 방식을 적용하여 시공성을 개선하였다. 따라서 각 실험체에 대하여 합성 거동에 의한 내력 증대 효과 및 접합부 변형 능력을 평가하고, 실험 결과를 바탕으로 응력-변형률 곡선, 항복 강도, 항복비, 소성 변형 능력 등 역학적 성능을 종합적으로 평가한다.

소성 모멘트 M_p 는 식 (1)과 같다⁶⁾.

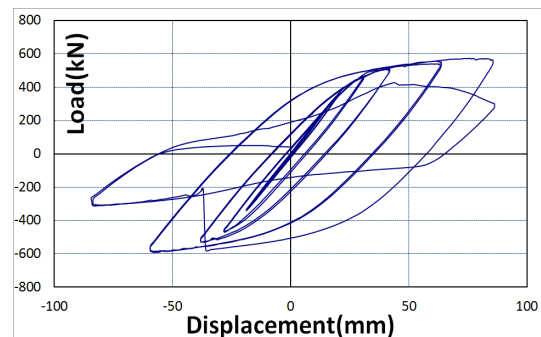
$$M_p = F_y Z \tag{1}$$

여기서, F_y = 강재의 항복 강도(N/mm²)

Z = 보 단면의 소성 단면 계수(mm²)

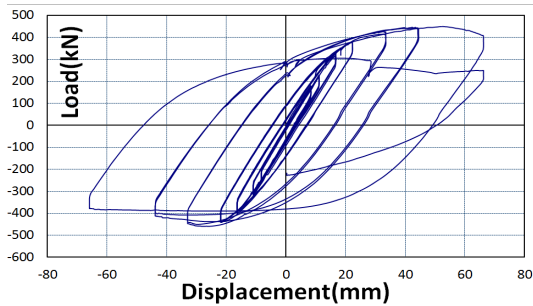
3.3 실험 결과

H형강을 사용하여 제작한 Specimen-1은 <Fig. 9>와 같이 44mm 변형에서 H형강에 좌굴이 발생하였다. 최대 하중 -591.01kN 발생 시 -57.4mm 변형 이후 H형강 용접 부위 30mm 지점에서 균열이 발생하면서 하중이 급격히 감소하였다.



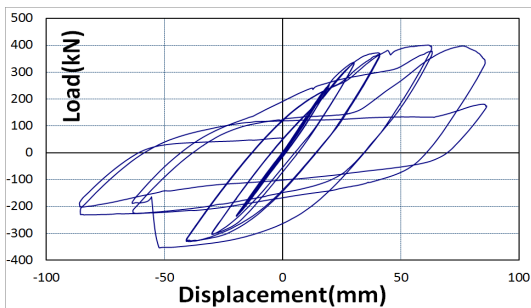
<Fig. 9> Reference specimen-1 load-displacement curve

H형강과 단부 CT형강을 용접하여 제작한 Specimen-2는 <Fig. 10>과 같이 33mm 변형에서 H형강에 좌굴이 발생하였다. 최대 하중 -459.42kN 발생 시 -40.77mm 변형 이후 H형강 용접 부위 30mm 지점에서 균열이 발생하면서 하중이 급격히 감소하였다.



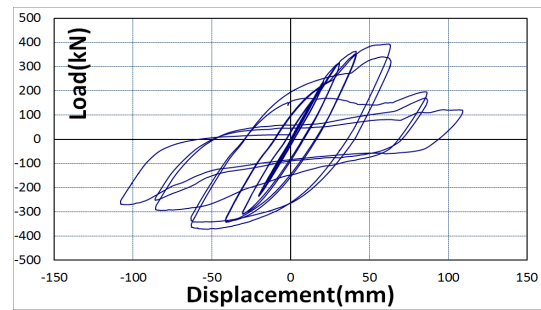
<Fig. 10> Specimen-2 load-displacement curve

H형강과 단부 CT형강을 볼팅하여 제작한 Specimen-3은 <Fig. 11>과 같이 -33mm 변형에서 CT형강 볼팅 접합 부위가 벌어지기 시작하였다. 최대 하중 400.79kN 발생 시 61.71mm 변형 이후 H형강과 CT형강 사이 용접 부위 20mm 지점에서 균열이 발생하면서 하중이 급격히 감소하였다.



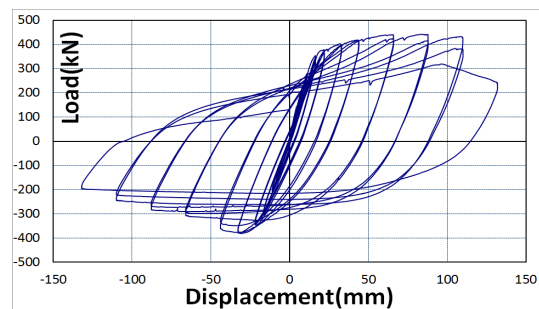
<Fig. 11> Specimen-3 load-displacement curve

H형강과 단부 CT형강을 강봉 체결하여 제작한 Specimen-4는 <Fig. 12>와 같이 -33mm 변형에서 CT형강 강봉 체결 접합 부위가 벌어지기 시작하였다. 최대 하중 394.15kN 발생 시 61.45mm 변형 이후 H형강 용접 부위 30mm 지점에서 좌굴과 균열이 발생하면서 하중이 급격히 감소하였다.



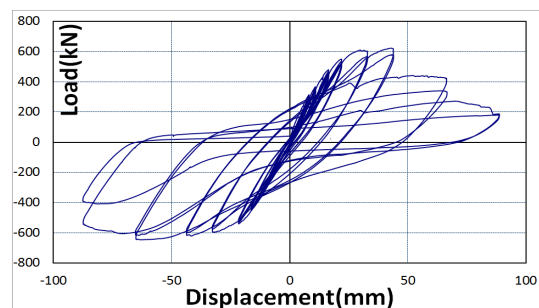
<Fig. 12> Specimen-4 load-displacement curve

H형강과 상부 인장 이형 철근을 배근하여 제작한 Specimen-5는 <Fig. 13>과 같이 -8.25mm 변형에서 콘크리트면 기초 하부 400mm 위치에 초기 균열이 발생하였다. 최대 하중 442.96kN 발생 시 84.07mm 변형 이후 H형강에서 좌굴이 발생하면서 하중이 점차 감소하였다.



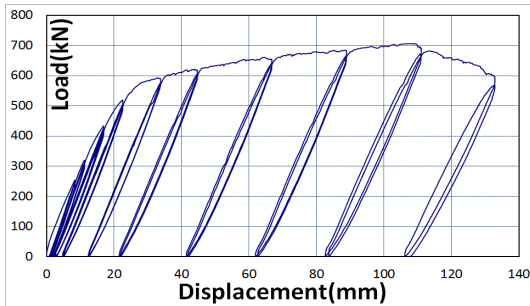
<Fig. 13> Specimen-5 load-displacement curve

H형강과 CT형강을 볼팅하고 상부 인장 이형 철근을 배근하여 제작한 Specimen-6은 <Fig. 14>와 같이 -8.25mm 변형에서 콘크리트면 기초 하부 400mm 위치에 초기 균열이 발생하였다. 최대 하중 -645.41kN 발생 시 -62.92mm 변형 이후 기초의 균열이 증가하면서 하중이 감소하였다.



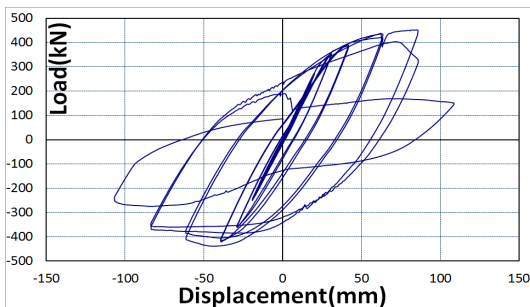
<Fig. 14> Specimen-6 load-displacement curve

H형강, CT형강, 상부 인장 이형 철근을 배근하여 제작한 Specimen-7은 <Fig. 15>와 같이 8.25mm 변형에서 콘크리트면 기초 하부 400mm 위치에 초기 균열이 발생하였다. 최대 하중 706.77kN 발생 시 107.34mm 변형 이후 CT형강의 좌굴 발생과 콘크리트면의 균열 증가로 하중이 감소하였다.



<Fig. 15> Specimen-7 load-displacement curve

H형강과 CT형강으로 제작한 브라켓 타입의 Specimen-8은 <Fig. 16>과 같이 -33mm 변형에서 브라켓 CT형강 강봉 연결부가 벌어지기 시작하였다.



<Fig. 16> Specimen-8 load-displacement curve

최대 하중 452.34kN 발생 시 82.88mm 변형 이후 H형강 용접 부위 20mm 지점에서 좌굴과 균열이 발생하면서 하중이 급격히 감소하였다.

지진 등 수평력에 대한 성능 검증을 위하여 End plate 연결부의 TS 볼트 체결 방식에 대한 변형률을 평가한 결과, <Table 4>과 같이 실험을 통해 얻은 최대 하중 시 변위 값이 End plate 방식의 Specimen-3은 -61.71mm로 Specimen-2보다 약 1.5배 높게 나왔다. 따라서 단부 압축재 접합 시 용접 접합보다 TS 볼트 체결 방식을 한 Specimen-3, 4가 지진 등 수평력에 더 유리한 것으로 판단되었다. BX 합성보의 부모멘트 구간 인장 철근 및 스티드 볼트에 의한 합성 효과를 검증하기 위한 성능 실험 결과, <Table 3>의 Specimen-5와 같이 모멘트 값이 831kN-m로 이론값 745kN-m보다 1.12배 높게 나왔다. 최대 하중 시 최대 변위는 <Table 4>의 Specimen-5가 Specimen-2보다 높게 나와 충분한 연성 능력을 나타내어 현장 적용에 문제가 없는 것으로 판단된다. 상부 인장 철근과 하부 압축재의 용접이 End plate 방식인 Specimen-6과 콘크리트 End plate 방식의 Specimen-7은 각 실험체가 이론값을 상회하는 충분한 내력 비를 나타내었다. Specimen-8의 브라켓 End plate 방식은 최대 하중 시 변위가 82.38mm로 Specimen-1보다 높게 나와 현장에 적용할 경우 철골 이음부 물량 및 볼트량의 감소로 원가를 절감할 수 있다고 판단된다. 모든 실험체가 이론값을 상회하는 충분한 내력 비를 나타냈으며, 초기 강성과 연성을 변형 성능 등에서 현장 적용에 적합한 실험 결과를 나타낸 것으로 판단된다.

<Table 3> Structural performance test results

Specimen name	Moment (kN-m)		Moment ratio (Test/Theory)	Ductility ratio	Displacement angle (θ , rad)	
	(+),(-)	Theory				Test
Specimen-3	(+)	549.3	775.0	1.41	2.58	0.03
	(-)	846.9	880.0	1.04	2.68	0.03
Specimen-5	(+)	914.0	974.0	1.07	5.46	0.05
	(-)	745.0	831.0	1.12	3.56	0.03
Specimen-7	(-)	1,211	1,555	1.28	4.17	0.06
Specimen-8	(+)	680.0	995.1	1.46	2.31	0.04
	(-)	846.9	964.8	1.14	2.47	0.04

<Table 4> Structural performance test results

Specimen name	Maximum load (kN)	Displacement (mm)
Specimen-1	-591.01	-57.40
Specimen-2	-459.42	-40.77
Specimen-3	400.79	61.71
Specimen-4	394.15	61.45
Specimen-5	442.96	84.07
Specimen-6	-645.41	-62.92
Specimen-7	706.77	107.34
Specimen-8	452.34	82.38

4. 물류 창고 적용 사례 분석

부산 용동 지구에 위치한 M 물류 창고는 지하 1층 및 지상 6층, 연면적 45,000m²의 냉온 및 냉동 창고로, 냉동 창고는 10.5×10.6m, 냉온 창고는 9.0×15.0m의 모듈로 계획되었다. 구조 시스템으로는 SRC 기둥에 BX 합성보와 PC 합성보가 혼용되었다. BX 합성보와 PC 합성보를 함께 사용함으로써 보 춤을 감소시키고, 물류 창고의 용도에 맞게 처짐 및 진동에 유리하며, 내화 피복이 필요 없어 친환경적이다. 최근 국내에서 많이 건축되고 있는 물류 창고의 10.5×10.6m 모듈의 경제성을 <Table 5>와 같이 검토하였다. 적재 하중은 20.0kN/m²를 고려하였으며 대표적으로 적용하고 있는 철골 구조와 비교하였다. 이때 동일하게 적용된 SRC 기둥과 데크 플레이트 슬래브를 제외한 철골보, BX 철골 합성보, 철골빔, PX 합성보를 대상으로 비교하였다. 검토 결과, BX 합성보를 사용한 구조물의 공사비는 일반 철골 구조 대비 81.3%인 m²당 140,923원으로 경제성이 우수한 것으로 나타났다. <Fig. 17>은 실제 물류 창고 사진으로 Specimen-7의 SRC 기둥과 단부 하부 압축재의 End plate 접합부 방식을 보여주고 있다. 상부에 인장 철근을 사용함으로써 합성 효과를 크게 하여 철골 물량을 감소시키고, 단부 압축재의 강접합으로 중앙부 단면 물량을 추가로 감소시킬 수 있는 효율적인 공법이라고 판단되었다. 냉동 물류 창고는 고하중이므로 일반 철골 구조로는 해결할 수 없으나 BX 합성보는 고하중, 보 춤, 경제성에 대응할 수 있는 시스템임을 확인하였다.



<Fig. 17> A study on the construction of BX composite beams

<Table 5> Economical comparison

Division	Steel girder	BX girder
Plan		
G1 (1ea)	RH-700×300×13×24 (SM490)	PX-450×950 (PC-450×750)
G2 (1ea)	BH-1,000×350×19×40 (SM490)	RH-900×300×16×28 (SM490), End, 6-D25 LL-200×300×10×30
B1 (2ea)	RH-692×300×13×20 (SM490)	PX-450×950 (PC-450×750)
B0	RH-248×124×5×8 (SS400)	-
Maintenance	Increase in fire resistance (113.6m ²)	Decrease in fire resistance (30.2m ²)
Girder weight	1.7~3.8ton	3.1~8.5ton
Cost	Steel 9.7ton×1,500,000 won/ton=14,655,000	Steel 3.08ton×1,500,000 won/ton=4,620,000
	PC : 0	PC: 9.94m ³ ×818,000 won/m ³ =8,130,900 (Steels included)
	Field reinforcement: 0	0.31ton×1,100,000 won/ton=341,000
	Stud 380ea×900 won/ea=342,000	Stud 140ea×900 won/ea=126,000
	Fire: 113.6m ² ×25,000 won/m ² =2,840,000	Fire: 30.2m ² ×25,000 won/m ² =755,000
Install 9.77ton×150,000 won/ton=1,465,500	Install 28.5ton×60,000 won/ton=1,711,800	
19,302,500 (173,428won/m ²)	15,684,720 (140,923won/m ²)	
Compare	100%	81.3%

5. 결론

1) 지진 등 수평력에 대한 성능 검증을 위하여 End plate 연결부의 TS 볼트 체결 방식에 대한 변형률을 평가한 결과, 실험을 통해 얻은 최대 하중 시 변위 값이 End plate 방식의 Specimen-3은 -61.71mm로 Specimen-2보다 약 1.5배 높게 나타났다. 따라서 단부 압축재 접합 시 용접 접합보다 TS 볼트 체결 방식을 한 Specimen-3, 4가 지진 등 수평력에 유리한 것으로 판단된다.

2) BX 합성보의 부모멘트 구간 인장 철근 및 스퀘어 볼트에 의한 합성 효과를 검증하기 위한 성능 실험 결과, Specimen-5와 같이 실험을 통해 얻은 모멘트 값이 831kN-m로 이론값 745kN-m보다 1.12배 높게 나타났고, 최대 하중 시 최대 변위는 Specimen-5가 Specimen-2보다 높게 나타나 충분한 연성 능력이 있어 현장 적용에 문제가 없는 것으로 판단된다.

3) 상부 인장 철근과 하부 압축재의 용접이 End plate 방식인 Specimen-6과 콘크리트 End plate 방식의 Specimen-7은 각 실험체가 이론값을 상회하는 충분한 내력 비를 나타내었다. Specimen-8의 브래킷 End plate 방식은 최대 하중 시 변위가 82.38mm로 Specimen-1보다 높게 나타나 현장에 적용할 경우 철골 이음부 몰량 및 볼트량의 감소로 원가를 절감할 수 있다고 판단된다.

4) 모든 실험체가 이론값을 상회하는 충분한 내력 비를 나타냈으며 초기 강성과 연성을 변형 성능 등에서 현장 적용에 적합한 실험 결과를 나타낸 것으로 판단된다.

5) 20.0kN/m²의 고하중 물류 창고에 적용한 결과, 일반 철골 구조 대비 81.3%로 경제성이 우수하고, 보 춤도 100mm 절감할 수 있음을 확인하였다.

본 실험과 현장 적용 사례 분석을 통하여 BX 합성보는 현장 적용의 기초 자료로 활용 가능할 것으로 판단된다.

감사의 글

본 논문을 위한 현대제철(주)와 (주)하이브릭스이엔씨의 연구비 지원에 감사드립니다.

References

1. Kim, G. Y., Choi, C. S., Cho, Y. S., Shim, N. J., & Kim, J. H. (2009). Structural Behavior of Partially Encased Composite Beam In Prestressed Concrete Using T-shaped Steel. Proceedings of the Architectural Institute of Korea, Republic of Korea, Vol.29, No.1, pp.299~302
2. Woo, J. Y., Hong, S. W., & Doh, S. B., "Special Issue : The Construction Method of ES(Economic Steel) Beam Used Steel Beam with Both Members of Different Depth", Magazine and Journal of Korean Society of Steel Construction, Vol.24, No.2, pp.6~14, 2012
3. Ryoo, J. Y., Chae, H. S., & Choi, S. M. (2011). Economic evaluation of composite beams (Eco-girder) Characterized by end-reinforcement with steel plates and concrete. Proceedings of the Architectural Institute of Korea, Republic of Korea, Vol.31, No.1, pp.33~34
4. Murray, T. M., & Sumner, E. A., "Design Guide 4: Extended End-Plate Moment Connections Seismic and Wind Applications", 2nd ed., American Institute of Steel Construction, pp.19~24, 2003.
5. The Korean Structural Engineers Association, "H-Shape Steel Connection Design Manual (based on the latest KBC)", Goomibook Inc., pp.634~635, 2016.
6. Seo, S. J. (2016). A Study on Connection Details of Composite Beam composed of H-shaped Steel and Bottom T-shaped structural steel and Top Tensile Reinforcement (Master's thesis). Konkuk University, Republic of Korea.

- Received : November 18, 2018
- Revised : December 26, 2018
- Accepted : January 08, 2019