

각형 강관과 철근 래티스로 구성된 층고절감형 합성거더의 휨 성능평가

김선희¹ · 최성모² · 염경수^{3*}

¹연구소장, ㈜액트파트너 기술연구소, ²교수, 서울시립대학교, 건축학부, ³기술대표, ㈜액트파트너

Evaluation of Flexural Performance of Composite Girder Consisting of Square Steel Pipes and Reinforced Lattice

Kim, Sun Hee¹, Choi, Sung Mo², Yom, Kyong Soo^{3*}

¹Manager, Ph.D, ACT Partner Corp. Institute of Technology, Seoul, 04799, Korea

²Professor, Dept. of Architectural Engineering, University of Seoul, Seoul, 02504, Korea

³Professional Engineer Architectural Structures/CTO, ACT Partner Corp., Seoul, 04799, Korea

Abstract - Developing a composite girder that can reduce floor height and reduce steel materials, a new-shaped composite girder using square steel pipes and re-bar lattice was developed. In order to evaluate the flexural performance of the developed girder, a total of 4 large-sized specimens were fabricated. The variables are the state of negative and positive moments depending on whether it is composed or not and the load direction. As a result, except for positive moment joint specimen, all other specimens showed higher strength than expected. In the process of manufacturing the specimen, slip phenomenon occurred due to insufficient friction surface treatment, so the measured flexural strength and displacement data were not smooth, and the test of a positive moment joint where the outermost distance from the neutral axis is the bolt region has an effect on the strength and behavior. If the joint plate surface treatment is supplemented, the performance is expected to be higher than results of this experiment.

Keywords - Reinforced lattice, Composite girder, Flexural performance, Connection, Square steel pipe

1. 서론

국내에서는 층고절감을 위한 합성보 시스템 개발에 대한 관심이 고조되고 있으며, 다양한 연구가 수행되고 있다. 층고절감은 복합적 원가절감 구현이 가능하여 Mullett(1992), Newman(1995) 등 여러 연구자들에 의해 공법이 개발되는 시초가 되었다. 춤이 깊은 데크 플레이트를 이용한 유럽의 슬림 플로어 시스템(slim floor system)과 반PC 슬래브를 이용한 미국의 플렉스 프레임(flex frame)이 대표적인 사례라 할 수 있다^[8]. 국내에서는 Fig. 1과 같이 TSC beam(T-type

steel composite beam, 2004)^[14], TU 합성보(2007), HyFo beam^[13], AU girder^[11] 등 U형 하부 강관을 사용한 신형상 합성보^[12]가 소개되고 있다. U형 하부 강관 합성보는 별도의 거푸집 공사가 불필요하고, 콘크리트와의 합성효과를 극대화할 수 있다는 장점이 있다. 또한 철골 보 대비 내화피복량을 절감 가능하다^{[2]-[5]}.

선행연구의 내용을 요약해 보면 층고절감의 경우는 단부의 부모멘트를 해결하기 위하여 별도의 보강이 필요하고 작아진 단면성능으로 소비 강재량이 증가하는 단점이 있었다. 즉, 한 가지 장점을 갖게 되면 다른 측면에서 단점이 발생하는 공통점이 있다. 그럼에도 층고감소를 위해 다양한 형태의 철골 합성보는 지속적인 연구가 진행되고 있으며 일부는 시공성을 개선하여 현장적용을 완료한 경우도 볼 수 있었다. 층고감소와 강제절감 또는 공기단축과 강제절감의 복합 효과를 얻을 수 있는 기술에 대한 시도가 필요하며, 연구의 결과가 현장에 직결되는 접근이 매우 필요한 현 시점이다. 그 이유는 부재 크기를 감소시키면 단면성능의 효율 저하로

Note.-Discussion open until February 28, 2022. This manuscript for this paper was submitted for review and possible publication on March 18, 2021; revised on July 15, 2021; approved on July 26, 2021.

Copyright © 2021 by Korean Society of Steel Construction

*Corresponding author.

Tel. +82-2-3452-1891 Fax. +82-2-6008-1891

E-mail. actpartner@daum.net

각형 강관과 철근 래티스로 구성된 층고절감형 합성거더의 휨 성능평가

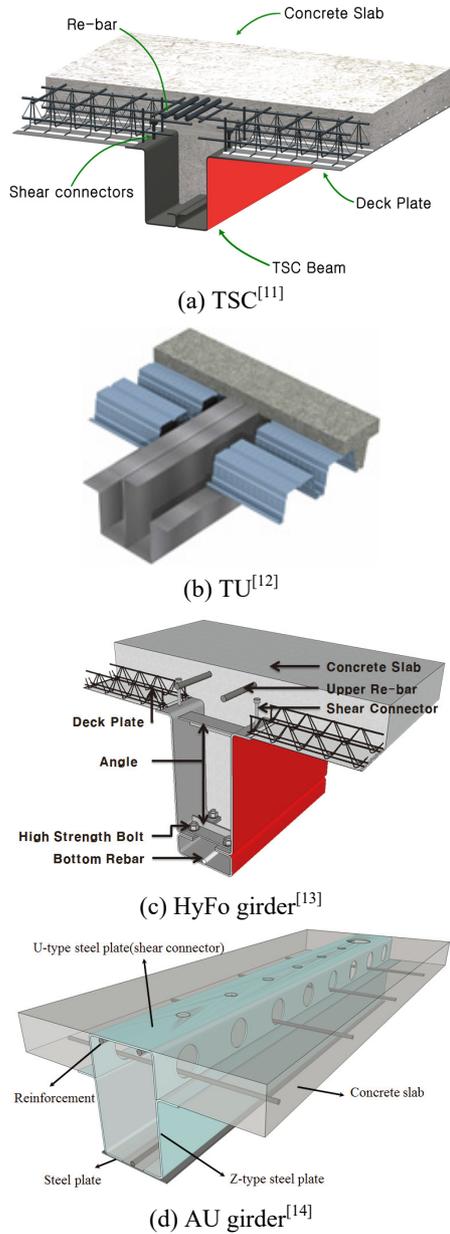


Fig. 1. Typical U-shaped composite girders

동등의 하중지지를 위해서 많은 강재를 소비하는 경향이 있기 때문이다. 즉, 층고감소와 강재절감은 서로 반비례하여 효과를 상쇄시키는 경우가 많아 연구에 어려움이 있기 때문이다. 또한 층고절감에 따른 영향을 살펴보면, 지하층의 경우 굴토량, 즉 토공사에 영향을 주게 된다. 지상의 경우 외벽 면적이 감소하고, 마감공사(키튼월) 면적이 축소되면서 전제 마감공사에 직접적인 영향을 주게 된다. 따라서, 합리적인 설계를 위한 합성 거더 개발은 필연적인 연구라 할 수 있다. Fig. 2(a)와 같이 일반적인 폐단면의 합성 거더(콘크리트 슬래브 포함)의 층고는 650 mm로 설계되고 있다.

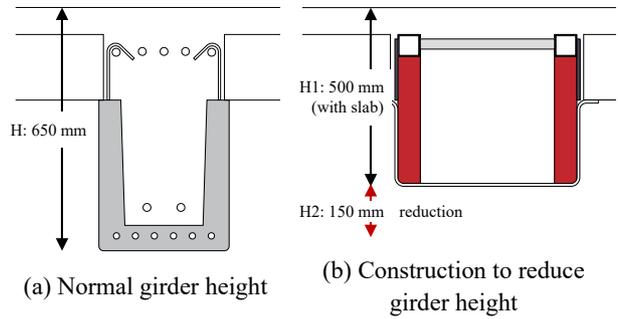


Fig. 2. Composite girder depth

본 연구는 전형적인 보 층을 Fig. 2(b)와 같이 절감 가능한 신 형상 합성거더를 개발하여 그에 대한 휨 성능을 정량적으로 분석하고자 한다.

2. 형상개발 및 시공성 검토

제안하고 있는 합성보는 기존 공법 대비 각형강관과 성형 강관이 철근 래티스로 결합되어 강성이 높아지므로 시공단계에 단면성능 활용이 극대화된다. 또한 보 층 감소가 가능하므로 토공사, 마감공사 비용을 절감할 수 있는 가능성을 가지고 있다. 형상에 대한 특징은 Fig. 3와 같이 U형 하부 강관에 각형강관으로 지지되는 상현재가 있고, U형 절곡된 양 날개와 각형강관 상현재를 연결하는 래티스가 존재한다.

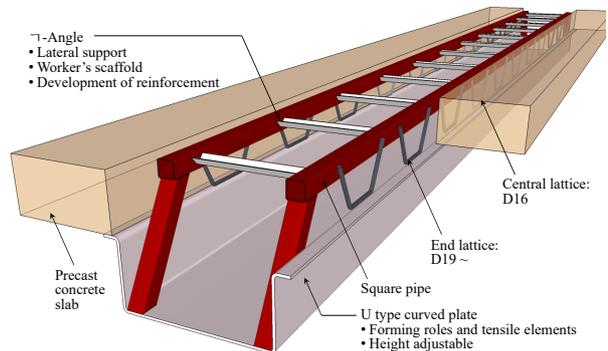


Fig. 3. MT girder concept

U형 절곡되는 날개부에는 PC 슬래브 또는 deep deck가 얹혀지면서 슬래브 콘크리트가 타설될 때 U형 강관 내부까지 자연스럽게 콘크리트가 충전된다. 즉 반(半)폐쇄형 합성 거더로 상부 각형 강관이 압축재로 기능하여 일반 합성 거더 대비 시공 단계에 단면을 매우 효율적으로 사용 가능하다. 또한 효율적인 단면 사용을 통해 강재량절감 및 층고절감이 가능하다. 즉, 각 부재의 특성에 맞는 합리적 강재 건축구조

시스템으로 경제적인 설계가 가능할 것으로 기대된다. 제안하는 공법의 합성보 거더를 MT 거더(multi tube girder)라고 명칭하고자 한다. 시공순서는 Fig. 4와 같이 기둥 브라켓과 거더 측판이 공장제작되고, 현장에서 거더가 볼트접합된다. 이후 데크 설치 및 콘크리트 타설 순으로 일체화된 시스템이 형성된다.

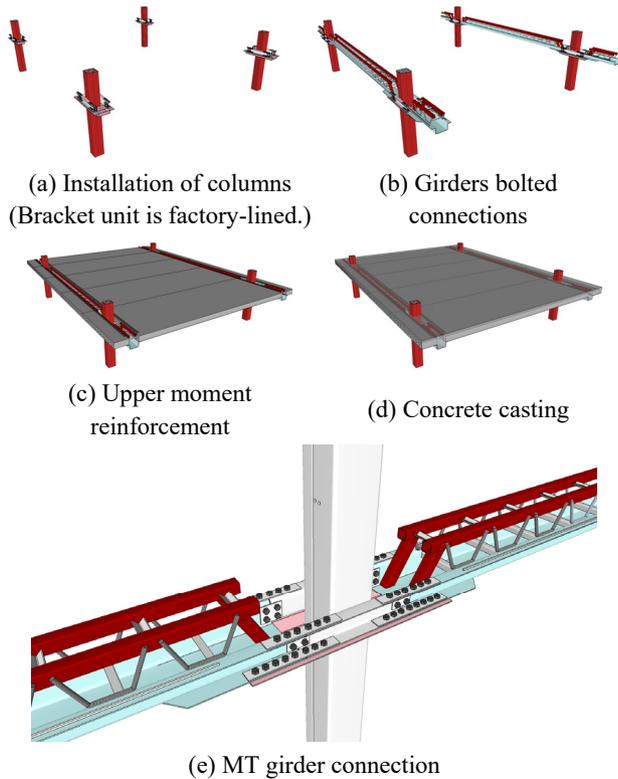
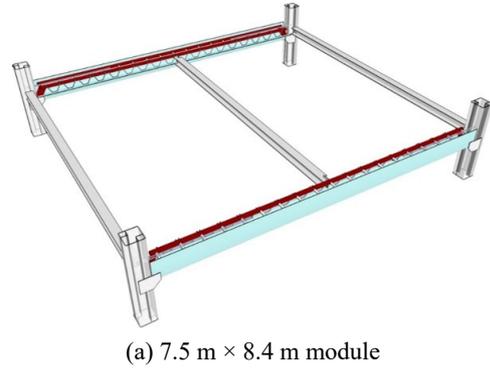


Fig. 4. Construction sequence

구조 실험 전 단계로 MT 거더의 단면 성능 산정법과 시공 단계에서 안전성 평가를 위해 mock-up test를 수행하였다. 모듈은 7.5 m × 8.4 m의 크기로 접합부 조건은 전단 접합이며, 데크플레이트(D-deck)를 설치 후 한 모듈(전체 슬래브의 50%)에 콘크리트를 타설하였다. 이때, 처짐량을 측정할 결과 중앙부에서 27.2 mm, 최대 30.9 mm 처짐이 발생되었다. 데크 처짐량은 12 mm로 폰딩효과가 작용되었다.

철근 콘크리트 합성보의 일반적인 극한곡률은 모멘트-곡률 관계에서 최대 모멘트에 도달한 후 모멘트가 최대 모멘트의 80%로 떨어지는 지점에서의 곡률, 항복곡률은 등가의 탄소성거동(equivalent elasto-plastic behavior)으로 가정하여 탄성영역에서의 최대 모멘트의 75%인 점에서의 곡률로 Pam *et al.*^[10] 등 연구자들이 정의하고 있다. 위와 같은 이유로 유효 휨 강성은 안전측 설계를 위해 단면 2차 모멘트를

75%로 저감하여 적용하였으며, 강관 내부에 콘크리트를 충전할 경우 시공단계에서 처짐 성능 보강이 가능할 것으로 예상된다.



(a) 7.5 m × 8.4 m module



(b) Test site

Fig. 5. Mock up test

합성 거더의 구조 안정성을 검토하고 실험체 크기를 결정하기 위해 8.1 m × 8.1 m 모듈로 부재 검토를 진행하였다. 보 춤 312 mm, 너비 450 mm, 강판 두께 6 mm를 갖는 단면을 기준으로 접합 조건은 시공단계, 콘크리트 타설 이후 모두 고정상태(fix-fix)로 검토하였다. 시공 시에는 콘크리트 타설 전으로 강재로만 검토를 진행되었고, 하중조합을 1.1D + 1.3L (mid term)로 소요 휨 강도를 산정하였다^{[1],[7],[9]}. 시공시 dead load는 슬래브 자중, 슬래브 콘크리트를 포함한 보의 자중을 더한 하중이다. 작업하중은 2.5 kN/m²로 계산되었다. 완공 시에는 콘크리트 포함하여 휨 강도를 산정하는데 하중조합을 1.2D + 1.6L로 검토하여 그 결과를 Fig. 6와 Table 1에 정리하였다. 설계모멘트 란의 괄호는 소요모멘트 대비 설계모멘트비로 합성 전후 모두 안전치를 확보하고 있었다.

검토부재의 재료강도는 강재의 경우 항복강도 355 MPa, 콘크리트 압축강도는 24 MPa이다. 시공시의 소요 휨 내력 대비 단부, 중앙부 설계 모멘트 내력이 약 4% - 9% 높게 검토되었으며, 완공 후에는 약 35% 설계 휨 모멘트가 높게 검토되어, 부재선정의 안정성을 확인하였다.

각형 강관과 철근 래티스로 구성된 층고절감형 합성거더의 휨 성능평가

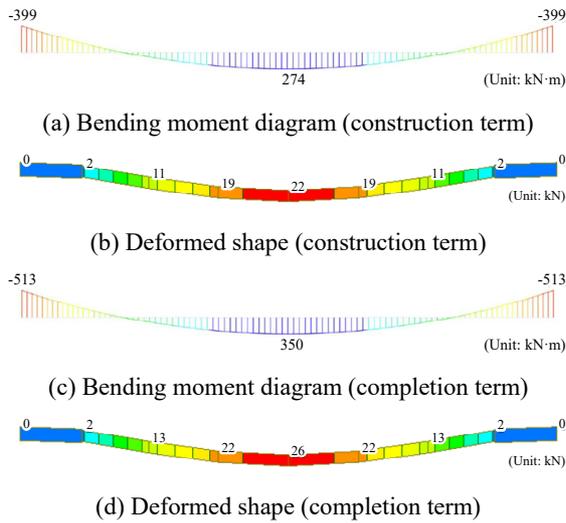


Fig. 6. Moment and deformation diagram

Table 1. Review of members capacity

Condition		Requited moment (kN·m)	Design moment (kN·m)	Deflection (mm)
Construction stage	End	-399	-415 (0.96)	
	Cen.	274	302 (0.91)	22
Completion stage	End	-513	-783 (0.65)	-
	Cen.	350	552 (0.63)	26

3. 구조 휨 실험

3.1 실험계획

거더 휨 성능을 검증하기 위해 총 4개의 실대형 실험체를 제작하였다. 시공단계인 강재보 상태의 휨 내력과, 사용단계인 합성보의 휨 내력을 비교하기 위한 휨 부재 2개, 기둥-보 접합 타입으로 정모멘트·부모멘트 방향의 단조가력 실험체 2개를 제작했다. 기둥 형상과 크기(400×400×10), 거더 형상과 크기(480×400), 재료강도는 모두 공통사항으로 동일하게 적용되었다. 실험체 정보를 Table 2에 나열하였으며, 표의 M_p 값은 예상 모멘트 내력이다.

실험은 양단 단순지지된 상태에서 2점 가력하여 휨 성능 검증하였고, 접합부의 경우 거더를 지지하고 기둥의 중앙

부를 가력하여 단부의 정·부모멘트를 확인하였다. 실험체 도면과 상세도를 Fig. 7에 나열하였다. 상부 각형강관은 \square -75×75×4.5(mm)로 래티스 철근과 용접된다. 래티스 철근은 Fig. 8(a)와 같이 정삼각형에서 파생된 형상으로 U형 강판 날개부와 각형강관에 용접되어 콘크리트 타설 후 상당한 합성효과를 기대해 볼 수 있다.

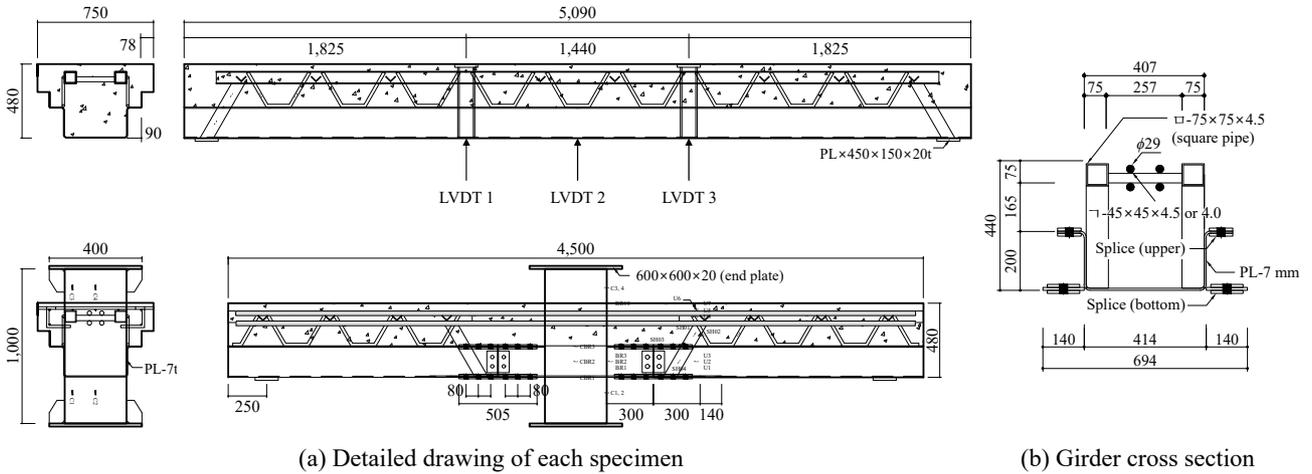
실험체에 적용된 재료는 Table 3와 같이 각 3회씩 시험을 수행하였고, 그 평균값을 정리하였다. 실험체 제작에 사용된 재료는 상부 각형강관은 SNRT 295E, U형 강판은 SM355

Table 2. Experiment list

Specimen	Type	M_p (kN·m)	Shape (mm)
SG	Steel-girder	459	Width: 407 Depth: 440 Span length: 5,090
CG	Composite-girder	978	Width: 750 Depth: 480 Span length: 5,090
CCP	Column to girder (positive, -)	697	· Column: 400×400×1,000
CCN	Column to girder (negative, +)	1,124	· Girder Width: 750 Depth: 480 Span length: 2,050

Table 3. Results of material test

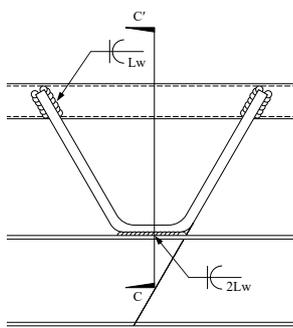
Case	Type	Material test (MPa)	Average strength (MPa)
Steel	SNRT295E	313	330
		370	
		308	
	SM355 (8 mm)	367	356
		339	
		363	
Re-bar	UHD25	647	638
		630	
		635	
	SHD19	651	651
		649	
		654	
Concrete	24	30	33
		34	
		35	



(a) Detailed drawing of each specimen

(b) Girder cross section

Fig. 7. Experiment detail



(a) Elevation



(b) Specimen

Fig. 8. Lattice detail

강종이다. 상부 기둥에 관통하는 철근은 UHD25, 래티스 철근은 SHD19을 사용하였다. 거더와 슬래브 타설된 콘크리트 압축강도는 24 MPa이다. 재료시험에 도출된 재료강도를 설계식에 반영하여 실험값과 비교하였다.

4. 분석 및 고찰

4.1 파괴거동 및 최대 휨 모멘트

실험체의 최종 중극상태를 Fig. 9에 정리하였다. 강재부의 실험의 경우 항복 시작 위치는 래티스 철근의 국부변형과 함께 구조체 전체 항복 구간으로 이어져 갔다. 이후 상부 각형 강관과 U형 강관 날개 압축변형이 발생했다. 최대내력에 가까울수록 U형 강관 하부 인장 변형이 발생했고, 최대내력 이후 래티스 철근이 파괴되면서 실험체의 균형이 벗어나 안전상 실험을 중단하였다.

합성보 실험의 경우, 최종적으로 변위가 매우 연성적으로

거동하는 것을 확인할 수 있었다. 공칭 모멘트와 재료강도를 적용한 모멘트 내력까지 모두 만족하는 결과를 얻었지만 최대 내력 이후 좌측 가력점이 U형 강관 하부에 직접적인 영향을 주어 편심이 발생되었다.

접합부 실험체에 정모멘트를 가한 실험체(CCP)의 경우, 실험 초기부터 마찰음이 발생했으며, 실험이 종료시점까지 이어졌다. 결과적으로 볼트 슬립 현상으로 밝혀졌으며, 볼트 마찰접합의 이음판 면처리 부재 원인으로 하중전달에 결함이 발생한 것으로 원인이 좁혀졌다. 부모멘트를 가한 실험체의 경우 상당히 연성적인 거동을 보여주고 있으며, 상부 철근 항복 이후 U형 강관의 인장영역에 따른 변형이 육안으로 확인되었다. 최대 내력 이후 콘크리트 탈락이 일부 진행되었고 정모멘트 실험체와 같이 슬립 현상이 발생했지만, 예상 휨 강도보다 큰 내력이 확보되었다. Table 4에서는 예상 내력과 실험을 통해 얻은 최대 모멘트를 정리하였다. 정모멘트 실험체를 제외하고 모두 예상 내력 대비 상위한 결과가 도출되었다.

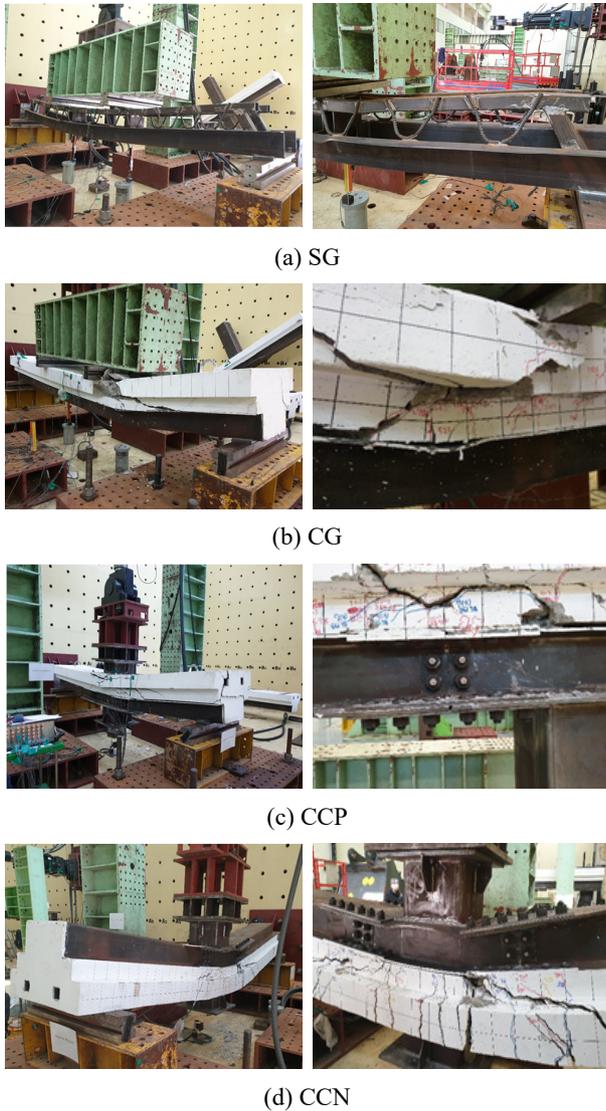


Fig. 9. Failure mode

Table 4. Expected moments and experimental results

Specimen	M_p (kN·m)	M_{p_test} (kN·m)	M_{p_test}/M_p
SG	459	502	1.09
CG	978	1,086	1.11
CCN	697	915	1.31
CCP	1,124	1,005	0.89

4.2 파괴원인 및 소성 중립축 검토

SG, CG 거더 하부에 설치한 LVDT 1 - LVDT 3의 변형을 살펴보면, Fig. 10(a)와 같이 SG 실험체의 경우 측정지점 모두 동일한 거동을 나타내고 있는 반면 CG 실험체의 경우 우

측으로 치우쳐서 변형량이 훨씬 큰 것으로 확인되어, 편심의 시작은 최대내력 이후에 발생한 것으로 추정된다. 즉, U형 강관 하부에서 먼저 항복이 발생했고, 상부 각형강관에 부착한 게이지를 확인해 보면 소성변형된 것으로 확인되었다.

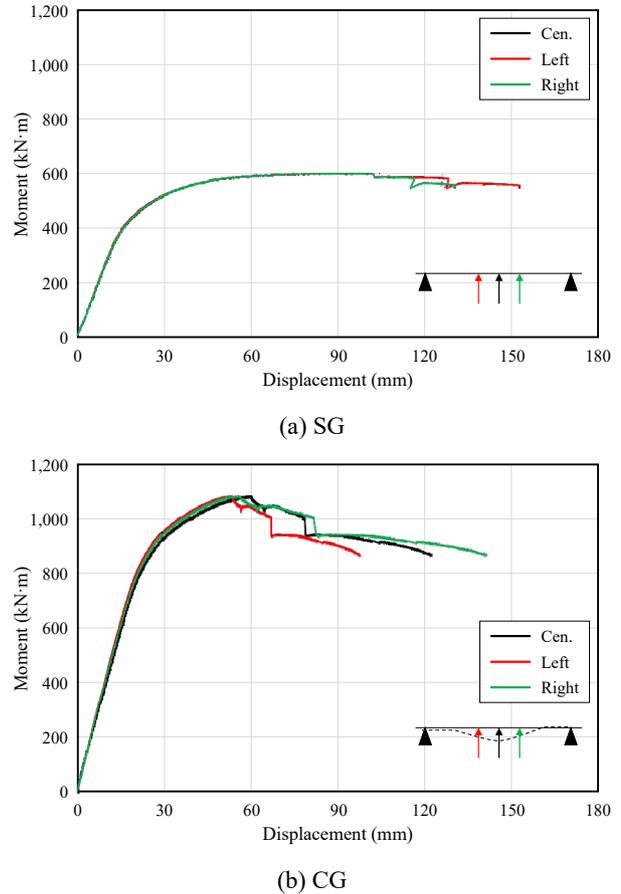


Fig. 10. Results measured at LVDT 1 - LVDT 3

CCP, CCN 접합부형 실험체는 볼트가 체결된 U형 강관과 각형강관에 부착된 변형률 게이지를 통해 분석을 진행하였다. 예상대로 정모멘트(CCP) 실험체의 경우 중립축 위치가 상부 각형강관 하단에 생성되어 변형률이 매우 극소했다. 그로 인해 중립축 위치로부터 최외단 위치가 볼트접합 구간이 된다. 따라서, 내력확보가 부모멘트 실험 대비 어려웠던 것으로 판단된다. 한편 부모멘트 실험체의 경우, 중립축 위치가 U형 강관 웹 구간으로 볼트에 대한 변형이 적었고, 그로 인해 항복 이후 소성화되는 과정에서 볼트에 대한 영향을 작게 받아 연성적인 거동이 가능한 것으로 분석된다. 중립축의 위치를 Fig. 11에 도식화하였다. 정·부모멘트에 대한 휨 강도는 소성응력분포법을 기반으로 소성중립축(PNA)을 산정하게 된다. 소성 중립축을 구할 때 콘크리트

의 인장강도는 무시하고 강재의 항복강도(F_y)는 강재 단면의 인장과 압축구간을 통해 균등하게 분포되는 것으로 가정하여 산정되었다.

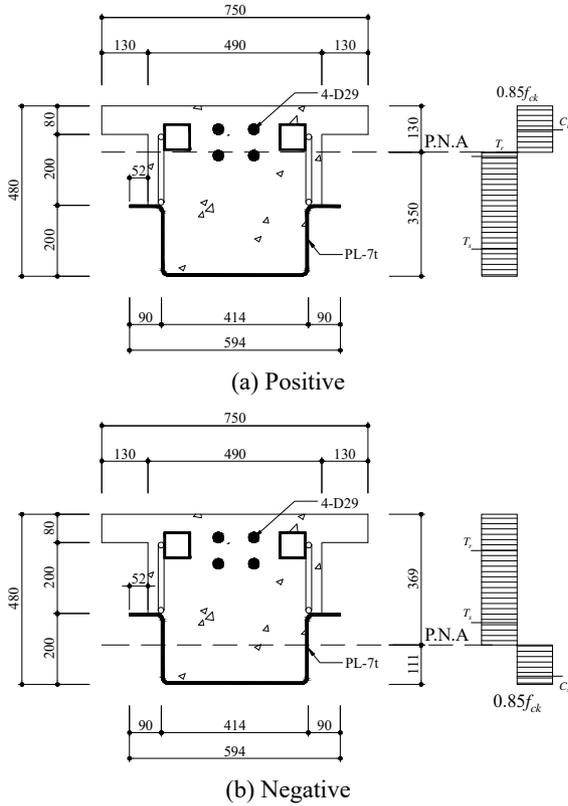


Fig. 11. Rotation of neutral axis

4.3 시공 전후(콘크리트 타설 전후) 내력 및 거동

SG와 CG 실험체는 형상과 재료강도가 모두 같은 조건에 콘크리트 충전 변수로 진행된 실험으로 모멘트 회전각 관계를 중첩하여 Fig. 12에 표현하였다.

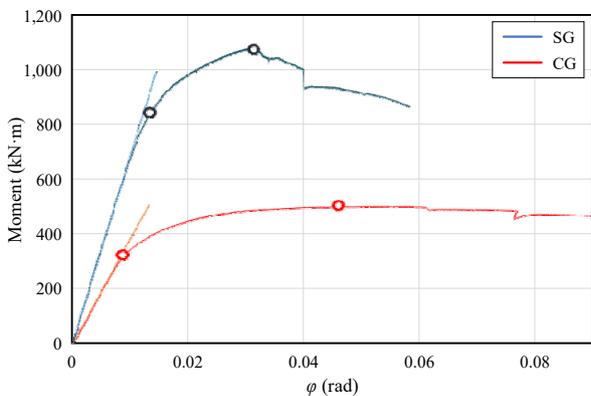


Fig. 12. Moment rotation angle relationship of SG and CG

SG, CG 모두 예상 휨 강도 대비 약 1.1배 높게 평가되었다. 철골 보인 SG는 항복시점의 회전각이 약 0.01로 최대내력 이후 상당히 연성적인 거동을 보이며, 종곡시점의 회전각이 0.09이므로 약 9배에 가까운 높은 연성비를 갖는 것이 특징이다. CG 실험의 연성비는 약 4배 수준이며, 일반철골 대비 낮은 연성비를 갖고 있지만, 실험 경계조건에 있어 편심의 영향을 받지 않았다면, 그 이상의 연성거동이 발휘되었을거라 기대된다. 콘크리트 충전 여부에 따라 내력은 2.2배 차이를 갖고 있으며, 초기 강성 역시 약 2배 차이를 보이고 있다. 콘크리트 타설 전의 내력과 거동을 확인하기 위한 실험조건으로 철골보의 내력과 강성은 사용단계의 합성정보보다 약 절반 수준의 내력과 강성이 확보되며, 합리적인 부재설계가 가능할 것으로 판단된다.

Table 5. Comparison of composite effect

Specimen	M_p (kN·m)	M_{p_test} (kN·m)	M_y (kN·m)	K_i (kN/mm)	φ_{pick}
SG	459	502	351	28	0.032
CG	978	1,086	880	54	0.039
CG/SG	2.131	2.163	2.507	1.929	1.219

4.4 부모멘트와 정모멘트의 내력 및 거동

두 실험체(CCN, CCP) 모두 기둥-보 형태에서 단조가력된 실험이며, 기둥과 보 볼트접합된 형태로 실험과정에서 마찰에 대한 슬립 현상이 발생했다. 모멘트 회전각 관계는 Fig. 13과 Table 6에 정리하였다.

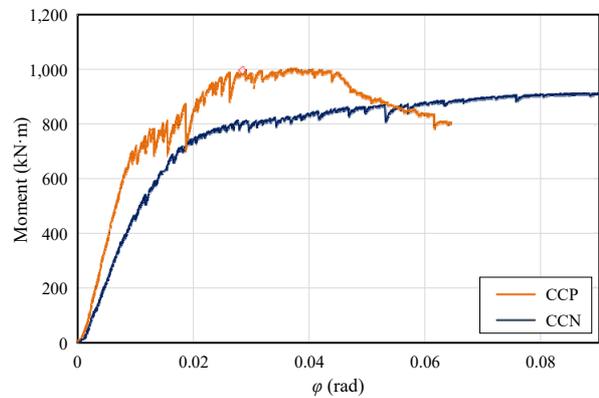


Fig. 13. Moment rotation angle relationship of CCP and CCN

Table 6. Comparison of positive and negative moment (CCP and CCN)

Specimen	M_p (kN·m)	M_{p_test} (kN·m)	M_y (kN·m)	K_i (kN/mm)	ϕ_{pick}
CCP	1,124	1,005	782	46	0.028
CCN	697	915	709	39	0.087
CCP/CCN	1.613	1.098	1.103	1.179	3.107

강성과 내력 측면에서 볼트 인장(positive)인 경우가 볼트 압축(negative)인 경우에 비해 최대모멘트 내력이 약 1.1배 유리한 것으로 평가되었으나, 연성적인 측면에서는 하부 압축(negative)인 경우 약 3배 이상 크게 측정되었다. 볼트 슬립 현상이 발생하는 위치가 중립축과 비교적 가까운 negative 실험의 경우 하중전이에 크게 영향을 받지 않아 예상 내력보다 1.3배 크게 나타났으며, 최대 내력 이후 거동이 매우 완만하여 약 $5(0.018/0.088 = 4.88)$ 배 이상의 연성비를 갖는 것으로 평가되고 있다.

5. 결론

보 층이 슬래브 포함 500 mm로 각형강관과 철근 래티스로 구성된 합성보를 제작하여, 휨 및 모멘트 내력실험을 수행하였고, 아래와 같은 결론을 도출하였다.

- (1) 제안하는 합성거더는 무(無)다이어프램과 무용접 실험가능한 형상으로 휨 강도 평가시 설계 내력 대비 상위한 결과를 얻었으며, 항복 이후 최대내력에 도달하는 거동이 완만한 거동을 보여 연성적인 변위 양상을 나타냈다.
- (2) MT 거더는 볼트접합으로 이뤄져 있으며 실험체 제작과정에서 마찰면 처리 부족으로 슬립 현상이 발생되어 측정된 휨 변위 데이터가 매끄럽지는 않지만 전체 거동에 크게 영향을 미치고 있지 않으므로 강합성 공법을 기반으로 하는 접합부 거동 분석자료로 충분히 응용 가능한 것으로 판단된다.
- (3) 예상 모멘트 내력 대비 1.3배, 항복시점 대비 최대 내력시점의 변위비가 약 5배로 완만한 거동특징을 나타낸 상부 인장, 하부 압축실험(negative) 결과의 원인은 중립축 위치가 볼트 접합부에 포함되어 슬립에 대

한 영향을 받지 않아 우수한 내력과 거동이 발휘된 것으로 분석되었다.

- (4) 이음판 면처리가 보완된다면, 실험결과 이상의 성능 발휘가 가능할 것이라 예상되며, MT 거더는 강합성 구조로 경제적이고 합리적인 적용이 가능할 것으로 기대된다.
- (5) 시공 전 상태를 예측할 수 있는 SG(순수철골) 실험결과를 보면 콘크리트 충전한 합성 실험체(CG) 대비 약 1/2 수준의 내력과 강성을 발휘하고 있었다. 즉 시공 단계의 받을 수 있는 내력과 강성을 통해 보다 합리적인 단면설계가 가능할 것으로 기대된다.

감사의 글

본 연구는 한국연구재단 이공분야기초연구사업 신진연구지원사업(NRF-2018R1C1B3009109) 연구수행자 조연과 지원으로 이뤄졌습니다.

참고문헌(References)

- [1] Architectural Institute of Korea (2004) *Concrete Filled Tube (CFT) Steel Structures*, Kimoondang, Korea (in Korean).
- [2] 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, Vol.24, No.5, pp.521-534 (in Korean).
- [3] Kim, S.H., Yom, K.S., and Choi, S.M. (2014) Seismic Performance of Built-up Concrete Filled Square Composite Column to Beam Connection with Through Diaphragm, *Journal of Korean Society of Steel Construction*, KSSC, Vol.26, No.5, pp.431-439 (in Korean).
- [4] Kim S.H., Yom, K.S., and Choi, S.M. (2014) Seismic Evaluation of Welded-Formed Square Column-Beam Connection for External Diaphragm Stress Path, *Journal of Korean Society of Steel Construction*, KSSC, Vol.26, No.4, pp.311-322 (in Korean).
- [5] Kim, Y.J., Bae, J.H., Ahn, T.S., and Choi, J.G. (2015) Flexural Capacity of the Composite Beam Using Angle as a Shear Connector, *Journal of Korean Society of Steel Construction*, KSSC, Vol.27, No.1, pp.63-75 (in

- Korean).
- [6] Architectural Institute of Korea (2016) *Korean Building Code (KBC 2016) and Commentary*, Kimoondang, Korea (in Korean).
- [7] KSSC (2016) *KBC 2016 Design of Steel Structural*, Goomiseogwan, Korea (in Korean).
- [8] Salmon, C.G., Johnson, J.E., and Malhas, F.A. (2009) *Steel Structures: Design and Behavior* (5th Ed.), Prentice Hall, USA.
- [9] KSSC (2016) *Design Manual of Composite Structures*, Goomiseogwan, Korea (in Korean).
- [10] Pam, H.J., Kwan, A.K.H., and Ho, J.C.M. (2001) Post-Peak Behavior and Flexural Ductility of Doubly Reinforced Normal- and High-Strength Concrete Beams, *Structural Engineering and Mechanics*, Techno-Press, Vol.12, No.5, pp.459-474.
- [11] Kim, D.B., Kim, Y.H., Oh, M.H., and Kim, M.H. (2017) Experimental Study on the Flexural Capacity of the Concrete Filled Composite Beam with Exposed Top Flange, *Journal of Korean Society of Hazard Mitigation*, KOSHAM, Vol.17, No.4, pp.1-9 (in Korean).
- [12] Lee, C.H., Ahn, J.K., Kim, D.K., Park, J.-H., and Lee, S.H. (2017) Seismic Performance Evaluation of Concrete-Filled U-Shaped Mega Composite Beams, *Journal of Korean Society of Steel Construction*, KSSC, Vol.29, No.2, pp.111-122 (in Korean).
- [13] Cho, S., and Kim, S. (2016) An Experimental Study on Bending Performance of HyFo Composite Beam, *Journal of Korean Society of Hazard Mitigation*, KOSHAM, Vol.16, No.6, pp.9-19 (in Korean).
- [14] Choi, S.-K., and Kim, S.-B. (2008) Structural Performance and Heat Characteristics of the TSC Composite Beam in Fire, *Journal of the Architectural Institute of Korea - Structure & Construction*, AIK, Vol.24, No.1, pp.27-35 (in Korean).

기 호(Notation)

M_p	재료시험 평균값이 반영된 휨 모멘트
M_{p_test}	실험에 의해 나온 휨 모멘트
M_y	항복 모멘트
K_i	초기강성(kN/mm)
φ_{pick}	최대 모멘트 시점의 변위각(rad)

요 약: 층고 절감과 동시에 강재 절감이 가능한 합성 거더 개발을 목적으로 각형강관과 철근 래티스를 활용한 신(新)형상의 합성 거더를 개발하였다. 개발된 거더의 휨 성능평가를 위하여 실험체를 총 4개 제작하였다. 변수로는 합성 여부와 하중 방향에 따른 부 모멘트·정모멘트 상태이다. 결과적으로 정모멘트 접합부 실험체를 제외한 나머지 실험체의 경우 예상된 내력보다 상위한 결과를 갖고 있었다. 실험체 제작과정에서 마찰면 처리 부족으로 슬립현상이 발생하여 측정된 휨 내력 및 변위 데이터가 매끄럽지 않았고, 정모멘트 접합부는 중립축으로부터 최외단거리가 볼트 영역으로 그로 인해 내력과 거동에 영향을 미치게 되었다. 이음판 면처리가 보완된다면, 실험결과 이상의 성능 발휘가 가능할 것이라 예상되며, 제안된 층고절감형 거더는 강합성 구조로 경제적이고 합리적인 적용이 가능할 것으로 기대된다.

핵심용어: 철근 래티스, 합성 거더, 휨 성능, 접합부, 각형강관