

U형 반슬림플로어 합성보의 휨성능에 관한 실험연구

이재환¹ · 최인락^{2*} · 김대경³ · 정석재⁴

¹수석연구원, 쓰리디엔지니어링, ²부교수, 호서대학교, 건축토목공학부, ³조교수, 울산대학교, 건축공학과, ⁴대표, 쓰리디엔지니어링

Experimental Study on the Flexural Performance of U-shaped Composite Semi-Slim Floor Beams

Lee, Jae Hwan¹, Choi, In Rak^{2*}, Kim, Dae Kyung³, Jung, Suk Jae⁴

¹Principal Research Engineer, 3D Engineering, Hanam, 12925, Korea

²Associate Professor, Dev. of Architecture and Civil Engineering, Hoseo University, Asan, 31499, Korea

³Assistant Professor, Dev. of Architecture, Ulsan, 44610, Korea

⁴CEO, 3D Engineering, Hanam, 12925, Korea

Abstract - In this study, a composite semi-slim floor beam reinforced with T-bars at the ends and rebars in the middle is proposed to be used as a long-span flexural member in a parking lot. Four-point loading experiments were conducted to investigate the flexural performance of semi-slim floor composite beams. The parameters of experiment were the type of steel anchors and the presence of openings for the span of 6.4 m (floor plan 10 m-12 m×8.0 m) and 8.4 m (floor plan 16 m×5.5 m) beams. The flexural strength was evaluated according to the proposed flexural strength evaluation method and compared with the experimental results. As a result of the flexural experiment, regardless of the presence of stud anchor openings, crushing of the slab concrete or fracture of the steel beam sections did not occur until the maximum load of the specimens. Specimens with openings showed superior strength and deformation capacity. In addition, the flexural strength of the specimens can be estimated approximately using the plastic stress distribution method in the Steel Structure Design Code (KDS 41 31 00: 2019).

Keywords - Parking garages, Semi-slim floor, Composite beam, Bending experiment, Flexural capacity evaluation

1. 서론

최근 열악한 주차환경 개선을 위하여 1층 2단 주차에서 3층 4단 주차를 적용하여 동일 건축면적 기준으로 주차대수가 2배 이상 확보되는 공작물 주차장으로 증축하거나 신축하는 사례가 증가하고 있다. 공작물 주차장은 건축법상 높이 8 m 이하 철골조립식 주차장으로 별도의 건축허가 없이 축조신고만으로 건축이 가능한 이점이 있다. 2017년 주차장법이 개정되면서 일반형 주차장은 너비 2.5 m, 길이 5.0 m, 확장형 주차장은 너비 2.6

m, 길이 5.2 m로 증가되었다. 따라서 공작물 주차장의 경우 주차대수 확보를 위하여 기둥 간격이 증가하게 되었으며, 최대높이가 8 m로 제한되어 장경간에 대응 가능하고 층고절감이 가능한 구조부재가 필요하다.

H형강 상부에 합성슬래브를 시공한 노출형 합성보의 경우 휨성능과 시공성이 우수하지만 층고 제한이 있을 경우 장스팬에 적용하기 위해서는 H형강 단면적이 증가되어야 한다. 기존 U형 합성보의 경우에는 웨브와 플랜지를 동일한 강판을 냉간성형하여 일로 제작^[1]되므로, U형 강재와 콘크리트의 합성효과로 인한 강성은 우수하지만 단일강판두께를 사용하므로 단면효율이 저하될 수 있다. 또한, 층이 깊은 데크플레이트 적용할 경우 층고가 증가하게 된다. 기존 노출형 합성보나 U형 합성보의 경우 장경간 및 층고 제한으로 강재량과 보강 철근량이 대폭 증가하고 접합부 시공성이 저하되는 문제점이 있다. 따라서 구조적인 안전 확보와 시공성이 향상된 장경간 기둥 모듈에 대응 가능한 층고절감형 부

Note.-Discussion open until October 31, 2024. This manuscript for this paper was submitted for review and possible publication on September 04, 2023; revised on March 15, 2024; approved on March 20, 2024.

Copyright © 2024 by Korean Society of Steel Construction

*Corresponding author.

Tel. +82-41-540-5777 Fax. +82-41-540-5778

E-mail. irchoi@hoseo.edu

재 개발이 필요하다.

Kim *et al.*^[2]은 하부 강판과 양측 면에 γ , ϵ , Z 등의 형태로 강판이나 기성재의 형강을 용접 또는 볼트접합하여 구성한 TSC보를 제안하였다. TSC보는 기존 RC보를 강판으로 감싼 구조형상으로 철골구조와 철근콘크리트 구조의 장점을 조합하였으며, TSC보에 대한 설계이론과 구조성능 실험을 토대로 구조거동을 분석하였다. TSC보는 냉간성형으로 제작되는 얇은 강판에 콘크리트를 충전하여 강판의 국부좌굴에 대한 내력저하를 억제^[3]하였다. Bae *et al.*^[4]은 냉간성형한 한쌍의 절곡강판을 서로 맞대어 용접하여 T+U의 형태로 제작하여 상부 플랜지는 폭이 좁으며 하부 플랜지는 폭이 넓은 비대칭구조를 갖는 TU합성보를 제안하였다. TU합성보는 한쌍의 절곡강판 철골보와 철골보를 감싸는 콘크리트 및 합성슬래브로 구성하여 단면의 구조성능을 향상시켰으며, 휨성능 실험, 기동-보 내진성능실험 등을 수행하여 구조성능을 검증하였다. Kim *et al.*^[5]은 냉간성형한 두 개의 Z형 측판과 하부 강판의 경우 냉간성형한 ϵ 형 하부 강판 또는 판재를 절단한 평판을 사용하여 춤이 작은 신형상 고성능 하이브리드 합성보를 제안하고 휨성능을 검증하였다. Kim *et al.*^[6]은 개구부가 있는 A형의 성형강판을 하부 U형 단면 상부에 설치하여 구성하는 세미슬림플로어 방식의 AU합성보를 제안하고 휨실험과 유한요소 해석을 통하여 합성단계에서의 구조거동을 분석하였다. AU합성보는 콘크리트 슬래브 합성효과를 통하여 내력을 향상시켰으며, U형 단면에 A형 강판을 추가하여 시공중 단면의 횡비틀림 강성을 향상시켰다.

본 연구에서는 장경간 구조물에 적용하여 층고절감이 가능한 휨부재 개발을 위하여 단부는 T-bar, 중앙부는 철근 보강 형태로 제작하여 휨강도 및 처짐 성능을 향상시킨 개선된 U형 합성보(이하 TEPs보)를 제안하였다. TEPs보는 개정된 주차장법에 대응 가능한 공법으로 주차장 너비 증가 및 기동설치 최적화가 요구되는 주차시설의 통상적인 평면모듈에 적용이 가능하다. TEPs보의 구조 성능 검증을 위하여 주차장의 통상적인 평면모듈인 10 m-12 m×8.0 m, 16 m×5.5 m 두가지 모듈에 각각 대응되는 10 m급(정방향 모듈) 및 15 m급(장방향 모듈)에 대해 등분포 하중시 휨모멘트가 작용하는 양단 고정정보의 변곡점의 위치를 고려하여 6.4 m, 8.4 m 길이의 실험체에 대해 강재앵커 형상 및 개구부

유무를 변수로 하여 4점가력 휨실험을 수행하였다. TEPs보의 휨성능 평가를 위하여 휨강도 제안식에 따라 휨내력을 계산하여 실험결과와 비교하였다.

2. 실험 계획 및 방법

2.1 층고절감형 U형 합성보 개요

Fig. 1은 이 연구에서 제안한 층고절감형 U형 합성보 형상이다. 하부판 및 측판(비대칭 Z형 단면) 두께를 다르게 적용하여 휨강성 및 횡좌굴강도 향상과 단면 최적화를 기대할 수 있다. 강재 하부판은 미리 치올림(Camber)을 할 수 있으며 측판과 “3분절”로 용접한다. 슬래브 단차가 있는 경우 양측 측판 높이 조절을 통해 효과적으로 대처가 가능하다. 측판 상단 플랜지에 데크 플레이트를 설치하고 측판 웹 높이 조절을 통해 층고절감이 가능하다. 측판 상단에 Z형 단면 강재앵커를 설치하여 슬래브와 하나의 단일 부재로 거동하도록 하였으며 시공 시 변형방지 및 발판으로 이용가능하다. 단부 T-Bar 설치로 전단력 및 부모멘트에 대해 보강하였으며 필요시 단부와 중앙부에 철근 보강으로 내력향상이 가능하다.

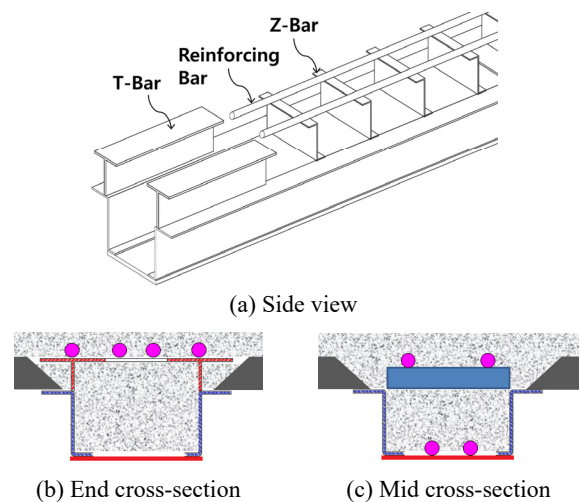


Fig. 1. TEPs beam details

2.2 실험계획

Table 1과 같이 10 m 모듈(실험체 길이 6.4 m), 15 m 모듈(실험체 길이 8.4 m) 실험체 각각 3개씩 총 6개의 휨

Table 1. Summary of test specimens

Specimens	Length (m)	Section size (mm)	Plate size (mm)	Slab size (mm)	Concrete strength	Steel anchor (mm)
FN-Z	6.4	Z-127×100/120×10	PL-440×18	230×1200	24MPa	Z-150×60×8
FN-Z(O)	6.4	Z-127×100/120×10	PL-440×18	230×1200		Z-150×60×8(Perforated)
FN-C	6.4	Z-127×100/120×10	PL-440×18	230×1200		C-150×60×8
FL-Z	8.4	Z-300×100/120×8	PL-330×10	250×1200		Z-150×60×8
FL-Z(O)	8.4	Z-300×100/120×8	PL-330×10	250×1200		Z-150×60×8(Perforated)
FL-C	8.4	Z-300×100/120×8	PL-330×10	250×1200		C-150×60×8

Note: 1) F : Flexural section, N : General module, L : Long span module

2) Z : Z-bar type steel anchor, Z(O) : Perforated Z-bar type steel anchor, C : C type Steel anchor(Channel)

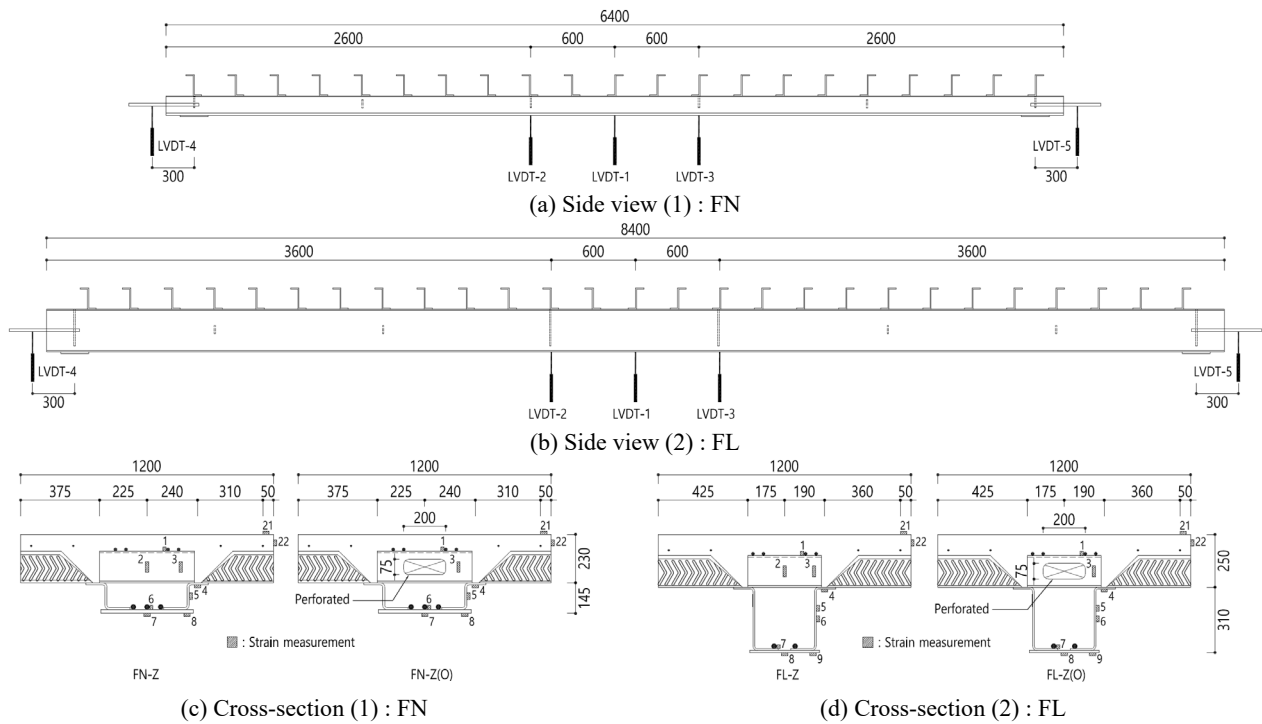


Fig. 2. Details of test specimens (unit : mm)

실험체를 구성하였다. 주요 실험변수는 강제앵커 형상 및 Z-bar 웹 천공에 따른 합성효과를 확인하기 위하여 Z-bar 웹에 200 mm×75 mm 크기 천공 유무이다.

Fig. 2는 합성보 실험체의 상세이다. 10 m 모듈 실험체는 보 춤 145 mm이고 하부강판 18 mm, 측판 10 mm 두께이며 하부철근 3-D25(SD500)를 배근하였다. 15 m 모듈 실험체는 보 춤 310 mm이고 하부강판 10 mm, 측판 8 mm 두께이며 하부철근 2-D25(SD500)를 배근하였다. 실험체의 합성거동을 위해 8 mm 두께의 강제앵커(Z-bar, 천공된 웹을 갖는 Z-bar, ㄷ형강)를 300 mm 간

격으로 설치하였다. TEPs보의 측판 상부 플랜지에 춤 150 mm의 춤이깊은 데크를 좌우측에 설치하였으며 슬래브 폭은 1,200 mm이다. 슬래브 상부에 4-D16(SD500) 철근과 온도철근 D10@200(SD500)으로 배근하였다. 모든 실험체에서 치올림은 하지 않았다.

실험체의 콘크리트 설계기준강도(f_{ck})는 24MPa, 강재는 SM355, 철근은 모두 SD500을 사용하였으며 Table 2에 재료시험 결과의 평균값을 나타냈다. KS F 2405에 따라 콘크리트 28일 재령의 공시체 3개의 평균 탄성계수는 13,928 MPa, 평균 압축강도는 24.8 MPa로

Table 2. Material properties of bending test specimens

Material	Thickness (mm)	Yield strength (MPa)	Ultimate stress (MPa)	Elongation (%)
SM355-8T	8.04	492.3	571.7	30.0
SM355-10T	10.0	481.3	550.0	32.0
SM355-18T	18.0	347.3	539.7	45.0
Rebar	D10	549.2	643.7	-
	D16	550.5	673.3	-
	D25	568.9	642.6	-
Concrete strength		$f_{ck} = 24.8$ MPa		

설계기준강도와 유사하게 나타났다. 공시체는 항온항습 챔버에서 기건양생하였다. 강재와 철근은 KS B 0801을 준용하여 두께 및 규격별 3개의 시편을 제작하여 시험을 수행하였다. 실험체에 사용된 강판두께는 8 mm, 10 mm, 18 mm 이며 철근 규격은 D10, D16, D25 이다. 8 mm, 10 mm, 18 mm 강판의 실측 두께는 각각 8.04 mm, 10.04 mm, 17.96 mm, 항복강도는 각각 492.3 MPa, 481.3 MPa, 347.3 MPa, 인장강도는 각각 571.7 MPa, 550.0 MPa, 539.7 MPa 이며 연신율은 각각 30.0%, 32.0%, 45.0% 이다. 직경 10 mm, 16 mm, 25 mm 철근의 항복강도는 각각 549.2 MPa, 550.5 MPa, 568.9 MPa 이며 인장강도는 각각 643.7 MPa, 673.3 MPa, 642.6 MPa 이다.

Fig. 3는 실험체 설치 전경을 보여준다. TEPs보 휨실험은 대우건설기술연구소 구조실험동에서 2,000 kN의 액츄에이터를 사용하여 수행하였다. 하중가력은 변위였

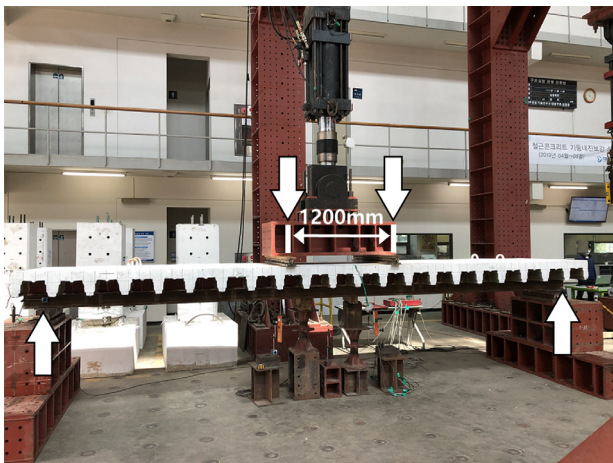


Fig. 3. Test Set-up for bending tests

으며, 실험체의 양단부는 단순지지로 설정하였다. 가력점 사이 간격은 1200 mm이며 실험체 중앙에서 600 mm 떨어진 지점에서 2점 가력하여, 중앙부의 순수 휨모멘트 구간을 중심으로 관측하였다. 양측 가력점 하부와 실험체 중앙부, 단부에 수직 변위계를 설치하여 하중가력에 따른 실험체의 처짐량과 회전각을 계측하였으며, 강재의 국부적인 변형을 분석하기 위하여 보길이 1/2 지점에 Fig. 2(c), (d)와 같이 변형률 게이지를 부착하였다.

3. 실험결과

3.1 하중-변위 관계

실험체의 항복점은 Fig. 5와 같이 하중-변위 곡선에서 원점과 최대하중의 75%에 해당하는 점을 연결한 직선과 최대하중에서의 수평선이 만나는 점에서의 수직선이 실험체의 모멘트-곡률 곡선과 만나는 점으로 정의^[7]하였고, 항복점에서의 하중과 변위를 각각 항복하중(P_y)과 항복변위(δ_y)로 정의하였다. 실험체의 초기강성(K_i)은 원점과 최대하중의 75%에 해당하는 점을 연결한 직선의 기울기로 산정하였다.

Table 3. Experimental results of beam specimens

Specimen	K_i (kN/mm)	P_y (kN)	δ_y (mm)	P_{max} (kN)	δ_{max} (mm)
FN-Z	21.3	778.6	39.6	873.8	52.5
FN-Z(O)	24.6	1025	45.2	1143	59.4
FN-C	23.7	885.6	41.0	993.6	55.4
FL-Z	19.3	971.2	53.0	1073	72.5
FL-Z(O)	19.3	1023	56.3	1136	80.9
FL-C	18.5	951.8	54.5	1055	74.8

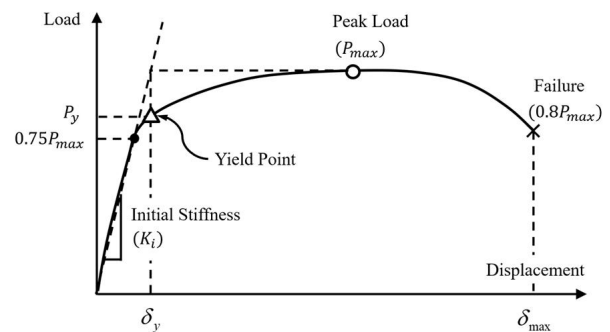


Fig. 4. Definition of yield point and initial stiffness

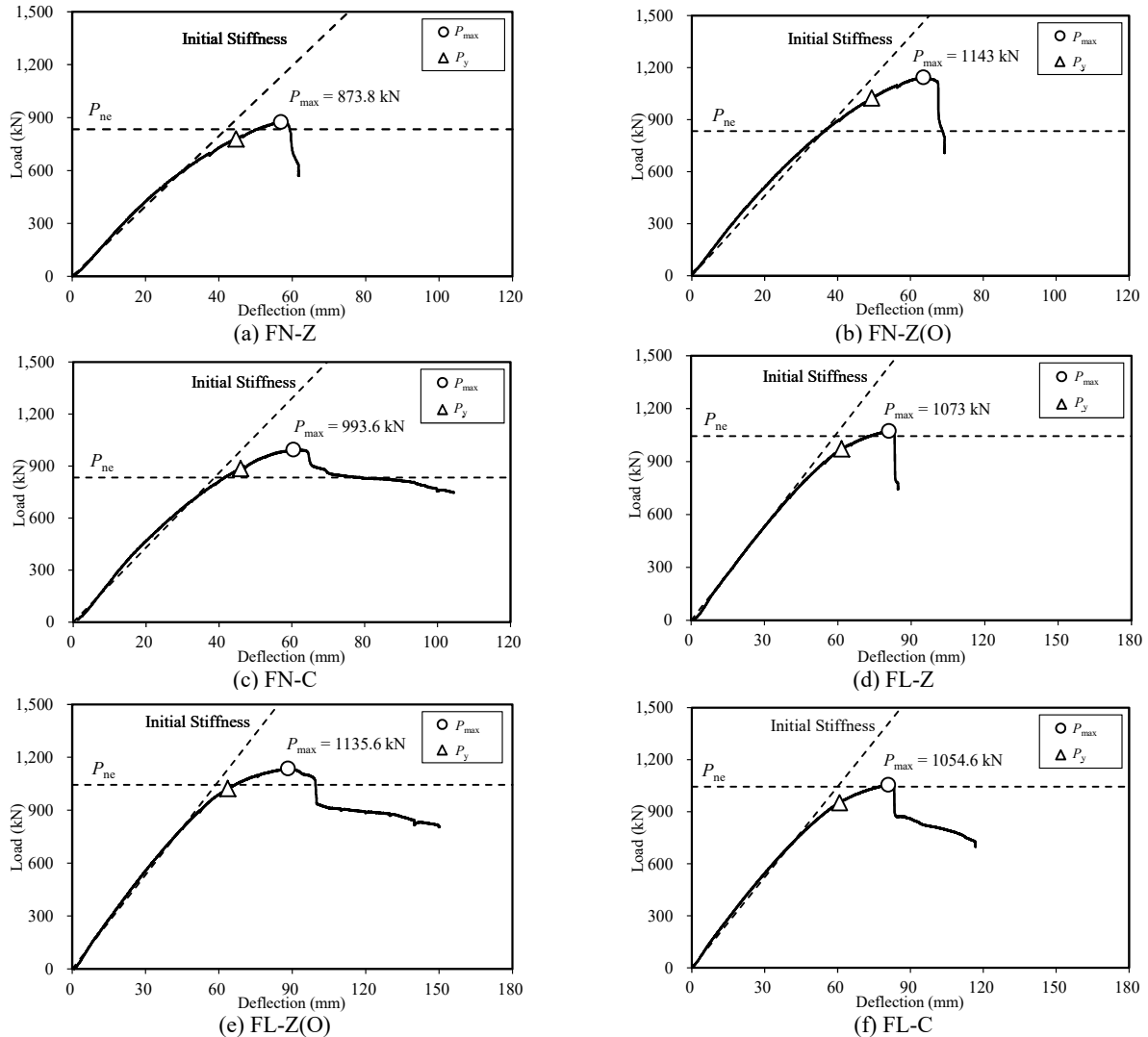


Fig. 5. Load – displacement curve of beam specimens

각 실험체 별 초기 강성(K_i) 및 항복하중(P_y), 최대하중(P_{max}), 항복하중 시 변위(δ_y), 최대하중 시 변위(δ_{max})를 Table 3에 정리하였으며, 하중-변위 그래프와 Table 2의 재료시험 결과를 반영하여 산정한 강도(P_{ne})를 Fig. 5에 나타내었다. 실험결과, 초기강성은 FN 실험체 21.3 kN/mm–24.6 kN/mm, 평균 23.2 kN/mm, FL 실험체 18.5 kN/mm–19.3 kN/mm, 평균 19.0 kN/mm 이며, 최대하중과 항복하중 비는 FN 실험체 1.12, FL 실험체 1.11의 유사한 내력비를 나타내었다. 항복하중 시 변위는 FN 실험체 39.6 mm–45.2 mm의 분포로 평균 41.9 mm, FL 실험체 53.0 mm–56.3 mm의 분포로 평균 54.6 mm이며, 최대하중 시 변위와 항복하중 시 변위 비는 FN 실험체 1.31–1.35, FL 실험체 1.37–1.44로 단면 형

상에 따라 변형성능에 차이를 나타내었다. 최대하중(P_{max})에 대해 FN 실험체는 FN-Z 대비 FN-Z(O) 1.31배, FN-C 1.14배 이며, FL 실험체는 FL-Z 대비 FL-Z(O) 1.06배, FL-C 0.98배로 강제앵커에 따라 휨성능에 차이를 보였다.

3.2 파괴거동

Z-bar 강제앵커가 설치된 정방향 모듈 10 m급 휨 실험체 FN-Z 실험체는 가력 초기 선형으로 거동하였으며, 약 580 kN 정도에서 양측 가력점에서 미세균열이 시작되었고 하중증가에 따라 미세균열이 증가되었다. 약 730 kN에서 좌측 가력점 콘크리트 슬래브 후면에서 균열이 발생하였으며 이후 슬래브 정면에서도 균열이

발생하였다. 약 820 kN에서 데크플레이트와 콘크리트 슬래브가 벌어지는 현상과 동시에 균열이 증가하였다. 최대하중 873 kN에 도달 이후 콘크리트가 탈락 및 압괴로 인해 하중이 저하되었다. 개구부가 있는 Z-bar를 강재앵커로 설치된 정방향 모듈 10 m급 휨실험체 FN-Z(O) 실험체는 FN-Z 실험체와 유사하게 가력 초기 선형적인 거동을 하였으며 약 640 kN에서 초기 균열이 발생하였고 이후 하중이 증가하면서 가력점 전·후면에서 미세균열이 발생하였다. 약 830 kN에서 콘크리트 슬래브 상부에서 균열이 발생하였고 최대하중 1,143.2 kN에 도달함과 동시에 콘크리트가 탈락하고 가력점에서 압괴가 발생하여 하중이 저하되었다. ㄷ형강 강재앵커가 설치된 정방향 모듈 10 m급 휨실험체 FN-C 실험체는 가력 초기 선형적인 거동을 보였으며 약 650 kN에서 우측 가력점 콘크리트 슬래브 후면에서 초기균열이 발생하였으며 이후 양측 전후면에서 미세균열이 발생하였다. 약 896 kN에서 데크플레이트와 콘크리트 사이가 벌어졌고 하중증가에 따라 균열이 심화되었다. 최대하중 993.6 kN에 도달함과 동시에 콘크리트가 탈락하고 압괴가 발생하여 하중이 저하되었다.

Z-bar 강재앵커가 설치된 장방향 모듈 15 m급 휨실험체 FL-Z 실험체는 정방향 모듈 실험체와 유사하게 가력 초기 선형적인 거동을 보였으며 약 940 kN에서

가력점 부근에서 초기균열이 발생하였다. 약 1,000 kN에서 전·후면에서 균열이 증가하였고 하중이 증가함에 따라 데크플레이트와 콘크리트 사이가 벌어지는 현상이 나타났다. 최대하중 1,073 kN에서 콘크리트가 탈락하고 가력점 압괴가 발생하여 하중이 저하되었다. 개구부가 있는 Z-bar가 설치된 장방향 모듈 15 m급 휨실험체 FL-Z(O) 실험체는 가력 초기에 선형적인 거동을 보였으며 약 900 kN에서 우측 가력점 부근에서 초기균열이 발생하였으며 이후 양측 가력점 부근에서 균열이 증가하였다. 약 1,070 kN에서 콘크리트가 탈락하는 현상을 보였고 최대하중 1,135 kN에 도달한 이후 연성적인 거동을 보였으며 가력점 압괴가 발생하여 하중이 저하되었다. ㄷ형강강재앵커가 설치된 장방향 모듈 15 m급 휨실험체 FL-C 실험체는 가력 초기 선형적인 거동을 보였으며 약 640 kN에서 좌측 가력점 부근에서 초기균열이 발생하였고 하중이 증가함에 따라 양측 가력점의 전후면으로 미세균열이 발생하였다. 약 910 kN에서 균열이 심화되며 최대하중 1,054 kN에 도달 후 좌측 가력점 콘크리트 슬래브 후면에서 콘크리트가 탈락하고 데크플레이트와 콘크리트 사이가 벌어지는 현상이 발생하였다. 최대하중 도달 이후 연성적인 거동을 보였으며 가력점 압괴가 발생하여 하중이 저하되었다. Fig. 6에 실험체별 파괴형상을 나타내었다.



Fig. 6. Failure modes of beam specimens

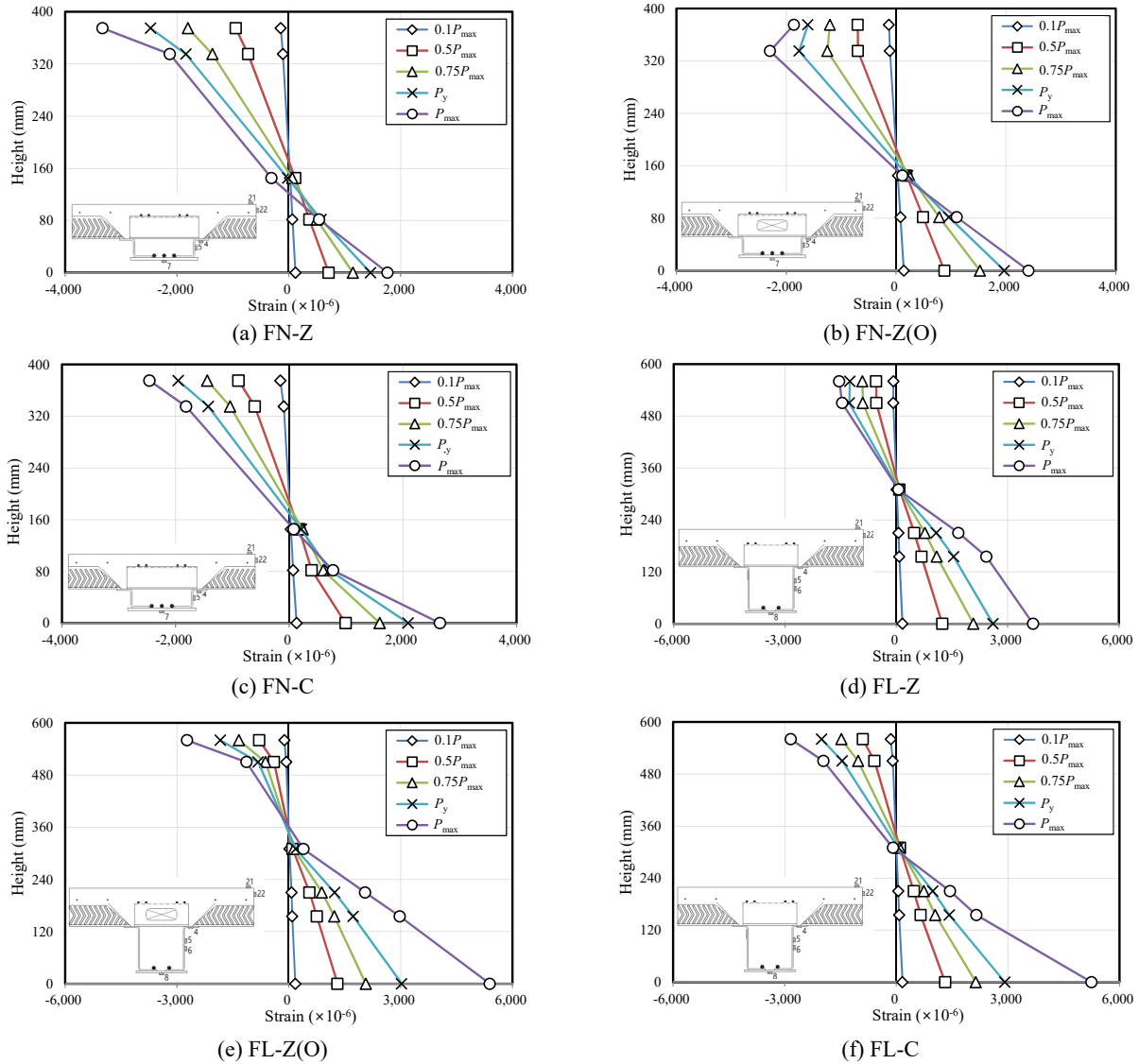


Fig. 7. Strain distribution of beam specimens

3.3 변형률 분포

실험체 단면의 중립축의 위치를 파악하기 위해 콘크리트 슬래브와 강제앵커와 측판, 하부판에 부착한 게이지로부터 측정한 값을 각 하중단계별로 나타내었다. 각 실험체별 단면의 변형률 분포도를 Fig. 7에 나타내었다.

모든 실험체에서 최대하중까지 전반적으로 선형적인 거동을 보였으며 10 m급 실험체인 FN-Z 실험체의 중립축은 강제 웹, FN-Z(O), FN-C 실험체 중립축은 강제 상부 플랜지에 위치하는 것으로 확인하였으며, 15 m급 실험체인 FL-Z, FL-C 중립축의 위치가 하부 인장측으로부터 약 300 mm 높이에 위치하는 것으로 확인하였으며 FL-Z(O) 실험체의 중립축은 콘크리트 슬래

브 내에 위치하는 것으로 확인하였다.

4. 휨내력 평가

TEPs보의 휨성능 실험결과에 대한 휨강도는 건축물 강구조 설계기준(KDS 41 31 00: 2019)^[8]의 소성응력분포법에 따라 평가하였다. 휨내력 평가시 콘크리트의 유효 압축응력 $0.85f_{ck}$ 는 압축구간에 균등하게 분포하는 것으로 가정하였으며, 인장강도는 무시하였다. 강제 항복강도 F_y 는 강제단면 구간에 균등하게 분포하는 것으로 가정하였다(Fig. 8 참조). 상부 콘크리트 슬래브와

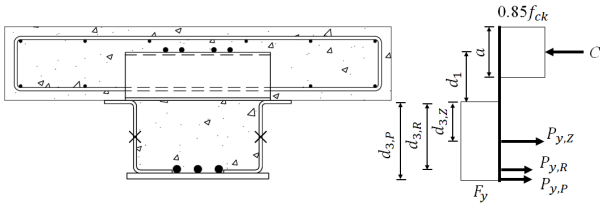


Fig. 8. Stress distribution in TEPs composite beam section

강재 단면 사이에 강재앵커를 설치하여 완전합성거동이 되도록 설계하였다. 휨강도 산정시 강재보는 횡-비틀림 좌굴이 발생하지 않는 것으로 가정하였으며 휨강도는 식 (1)와 같이 산정하였다.

$$M_n = C(d_1 + d_2) + P_y(d_3 - d_2) \quad (1)$$

여기서, M_n = 휨강도(kN·m)

$C = (0.85f'_c A_c, F_y A_s)$ 중 최소값

A_c = 유효폭 내의 콘크리트 단면적(mm^2)

F_y = 강재의 항복강도(MPa)

P_y = 강재단면의 인장강도, $P_{y,z}$ = Z형 단면의

인장강도, $P_{y,p}$ = 하부강판의 인장강도(N)

d_1 = 콘크리트의 압축력 C 의 중심으로부터

강재단면의 상단까지 거리(mm)

d_2 = 강재단면의 압축력 중심으로부터 강재단면의 상단까지 거리, 강재단면에 압축력이 작용하지 않는 경우 $d_2 = 0$ (mm)

d_3 = P_y 가 작용하는 강재단면의 중심으로부터

강재단면의 상단까지 거리, $d_{3,H}$ = H형강 단면

중심까지의 거리, $d_{3,P}$ = 하부강판 중심까지의

거리(mm)

Table 4. Comparison of calculated bending moment strength with test results

Specimens	M_n (kN·m)	M_{ne} (kN·m)	M_{max} (kN·m)	$\frac{M_{max}}{M_n}$	$\frac{M_{max}}{M_{ne}}$
FN-Z	885.29	1000.8	1048.6	1.18	1.05
FN-Z(O)	885.29	1000.8	1371.8	1.55	1.37
FN-C	885.29	1000.8	1192.3	1.35	1.19
FL-Z	1510.2	1774.8	1824.1	1.21	1.03
FL-Z(O)	1510.2	1774.8	1930.5	1.28	1.09
FL-C	1510.2	1774.8	1792.8	1.19	1.01

식 (1)에 공칭 재료 강도와 Table 2의 재료시험 결과를 반영하여 소성응력분포법으로 각각 산정한 휨강도 M_n 과 M_{ne} 를 실험체의 최대휨모멘트(M_{max})와 비교하여 Table 4에 나타내었다. 여기서, 최대휨모멘트는 가

력하중에 의한 실험체의 중앙 경간에서 작용하는 휨모멘트로 계산하여 나타내었으며, 설계휨강도는 자중으로 인해 발생하는 휨모멘트를 추가하여 산정하였다.

TEPs보의 최대휨모멘트에 대한 공칭 재료 강도를 반영한 휨강도 비(M_{test}/M_n)는 FN 실험체 1.18–1.55, FL 실험체 1.19–1.28, 최대휨모멘트에 대한 재료시험 결과를 반영한 휨강도 비 (M_{test}/M_{ne})는 FN 실험체 1.05–1.37, FL 실험체 1.01–1.09로 TEPs보의 설계휨강도는 건축물 강합성구조 설계기준의 소성응력분포로 가정하여 휨강도를 안전측으로 평가할 수 있음을 확인하였다. 또한 강재앵커로 Z-bar, ㄷ형강, 웹브에 개구부가 있는 Z-bar를 적용하여도 휨강도를 충분히 발휘할 수 있음을 알 수 있다.

5. 결론

본 연구에서는 일반 주차장의 층고절감형 장스팬 휨부재에 적용하기 위하여 단부는 T-bar, 중앙부는 철근보강 형태를 갖는 U형 합성보(이하 TEPs보)를 제안하였다. TEPs보의 구조 성능을 평가를 위하여 일반 주차장의 통상적인 평면모듈인 10 m–12 m×8.0 m, 16 m×5.5 m 두가지 모듈에 대응되는 10 m급 모듈(FN, 실험체 길이 6.4 m), 15 m급 모듈(FL, 실험체 길이 8.4 m) 실험체에 대해 강재앵커 형상 및 개구부 유무를 변수로 하여 휨성능 평가 실험을 수행하였다. 연구 결과를 요약하면 다음과 같다.

- (1) 휨실험 결과 강재앵커 형상 및 개구부 유무에 상관없이 유사한 초기강성도를 보였으며 가력 초기 실험체 모두 선형적으로 거동하였다. 항복하중과 최대하중에 대해 10 m급 모듈인 FN 실험체의 경우 개구부가 없는 Z-bar 강재앵커를 설치한 FN-Z 실험체 대비 강재앵커 웹브에 개구부가 있는 FN-Z(O) 실험체와 ㄷ형강 강재앵커를 설치한 FN-C 실험체 각각 31%, 14% 정도 높은 값을 보여 강재앵커 형상 및 개구부 유무에 따라 차이를 보였으며, 15 m급 모듈인 FL 실험체의 경우에는 FL-Z 실험체 대비 FL-Z(O) 실험체는 5% 높은 값을, FL-C 실험체는 2% 낮은 값을 보여 차이는 크지 않았다.

- (2) 항복하중 시 변위와 최대하중 시 변위는 10 m 급 모듈인 FN 실험체의 경우 Z-bar 강재앵커를 설치한 FN-Z 실험체 대비 강재앵커 웹에 개구부가 있는 FN-Z(O) 실험체는 각각 14%, 13% 정도 높은 값을 보였으며 15 m급 모듈 FL 실험체의 경우에는 FL-Z 실험체 대비 FL-Z(O) 실험체는 각각 6%, 12% 정도 높은 값을 보여 강재앵커에 개구부를 설치함에 따라 항복하중시 변위와 최대하중시 변위 모두 증가하는 것으로 나타났다.
- (3) 최대하중에 도달할 때까지 콘크리트 슬래브의 압괴나 강재 파단은 발생하지 않았으며 초기균열은 10 m급 모듈인 FN 실험체 경우 최대하중에 대해 56%–66% 범위에서 나타났고, 15 m급 모듈인 FL 실험체의 경우 Z-bar 강재앵커를 설치한 FL-Z, FL-Z(O) 실험체는 각각 88%, 79%에서 나타났지만 Γ 형강을 설치한 FL-C 실험체는 61%로 나타나 강재앵커 타입에 따라 다른 결과를 보였다.
- (4) 재하 하중이 증가함에 따라 단면의 변형률이 선형적으로 분포하는 것을 확인하였다. 10 m급 모듈인 FN-Z 실험체의 중립축은 강재 웹, FN-Z(O), FN-C 실험체 중립축은 강재 상부 플랜지에 위치하며, 15 m급 모듈인 FL-Z, FL-C 실험체의 중립축은 강재 웹, FL-Z(O) 실험체 중립축은 콘크리트 슬래브 안에 위치하는 것으로 나타나 강재앵커 개구부 유무에 따라 중립축 위치가 차이를 확인하였다.
- (5) TEPs보의 휨강도는 건축물 강구조 설계기준 (KDS 41 31 00: 2019)의 소성응력분포법에 따라 산정할 수 있으며, 실험 결과 TEPs보 휨강도 제안식에 따른 소성휨성능 대비 FN 실험체 18%–55%, FL 실험체 19%–28% 큰 값을 나타냈다.

감사의 글

본 연구는 2020년도 호서대학교의 재원으로 학술연구비 지원을 받아 수행된 연구(20200847) 이에 감사드립니다.

참고문헌(References)

- [1] Lee, C.H., So, H.J., Park, C.H., Lee, C.N., Lee, S.H., and Oh, H.N. (2016) Flexural Behavior and Design of Concrete-Filled U-Shape Hybrid Composite Beams Fabricated from 570MPa High-Strength Steel, *Journal of Korean Society of Steel Construction*, KSSC, Vol.28, No.2, pp.109-120 (in Korean).
- [2] Kim, S.M., and Kim, K.S. (2003) A Study on the Strength Evaluation for T-Type Composite Beam, *Journal of Korean Society of Steel Construction*, KSSC, Vol.15, No.4, pp.467-474 (in Korean).
- [3] 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).
- [4] Bae, K.-W., Hea, B.-W., Ryu, G.-J., Park, W., and Lee, W.-Y. (2010) Development of T+U-Shaped Roll Forming Steel-Plate Composite Beam, *Magazine of the Korean Society of Steel Construction*, KSSC, Vol.22, No.3, pp.20-26 (in Korean).
- [5] Kim, S.B., Cho, S.H., Oh, K.S., Jeon, Y.H., Choi, Y.H., and Kim, S.S. (2016) Bending Performance Evaluation of Hybrid Composite Beam with Low Depth and New Shape, *Journal of Korean Society of Steel Construction*, KSSC, Vol.28, No.3, pp.151-162 (in Korean).
- [6] Kim, D.-B., Lee, M.-H., Lee, Y.-S., Kim, D.-J., and Kim, M.-H. (2018) The Flexible Capacity Evaluation about Composite-Stage of Semi Slim AU Composite Beam for Saving Story Height, *Journal of the Korean Society for Advanced Composite Structures*, KOSACS, Vol.9, No.1, pp.17-25 (in Korean).
- [7] Park, R. (1988) State-of-the-Art Report: Ductility Evaluation from Laboratory and Analytical Testing, *Proceedings of the 9th World Conference on Earthquake Engineering*, International Association for Earthquake Engineering, Japan, Vol.8, pp.605-616.
- [8] MOLIT (Ministry of Land, Infrastructure and Transport, Korea) (2019) *Building Steel Structural Design Standards*, KDS 41 31 00, MOLIT, Korea (in Korean).

요 약: 이 연구에서는 공작물주차장의 장스팬 휨부재에 적용하기 위한 단부는 T-bar, 중앙부는 철근으로 보강되는 반슬림플로어 합성보를 제안하였다. 반슬림플로어 합성보의 휨성능을 검증하기 위하여 공작물주차장의 평면모듈인 10 m-12 m×8.0 m, 16 m×5.5 m 두가지 모듈에 각각 대응되는 6.4 m, 8.4 m스팬의 실험체에 대해 강제앵커 형상 및 개구부 유무를 변수로 하여 4점 가력 휨실험을 수행하였고, 실험결과를 휨강도 제안식에 따라 휨내력을 계산하여 비교하였다. 실험결과 강제앵커 형상 및 개구부 유무에 상관없이 유사한 초기강성도로 최대하중에 도달할 때까지 콘크리트 슬래브의 압괴나 강재보의 파단은 발생하지 않았으며, 강제앵커 Z-bar 웹 개구부 유무에 대해 개구부가 있는 경우 우수한 강도와 변형능력을 보였다. 실험체의 휨강도 대비 최대 휨강도는 6.4 m스팬의 실험체 경우 1.18배-1.55배, 8.4 m스팬의 실험체 경우 1.19배-1.28배 큰 값을 보여 건축물 강구조 설계기준(KDS 41 31 00: 2019)의 소성응력분포 법에 의해 안전측으로 평가할 수 있는 것을 확인하였다.

핵심용어: 공작물주차장, 반슬림플로어 합성보, 휨실험, 휨강도 평가
