

중공철근으로 보강한 U-플랜지 트러스 복합보의 구조 내력에 관한 실험연구

Experimental Study on the Structural Capacity of the U-flanged Truss Hybrid Beam with Hollow Rebars

이 성 민*
Lee, Seong Min

오 명 호**
Oh, Myoung Ho

김 영 호***
Kim, Young Ho

Abstract

A typical low and medium-sized neighborhood living facility in reinforced concrete building secures a high floor and pursues an efficient module plan(long span). Accordingly, research on the development of new hybrid beams that can innovatively reduce labor costs such as on-site installation and assembly while securing strength and rigidity is ongoing. In order to verify the structural performance of the U-flanged truss composite beam with newly developed shape, Experiments with various variables are required. Based on the results, this study is to evaluate the strength of U-flanged truss hybrid beam through the flexural strength of the Korea Design Code and experimental values. It was evaluated that nominal flexural strength was 110% to 135% higher than the experimental value.

Keywords : U-flanged Truss Hybrid Beam, Flexural Capacity, Simple Beam Test, Reinforcement Amount

1. 서론

건축물에서는 전통적으로 철근 콘크리트 보, 철골보(H형강), PC 보와 같은 단일 구조형식이 사용되었다. 그러나, 최근 더 나은 구조성능 확보와 공장 선조립 제작을 통한 생산성 향상과 경제성을 높이고자 다양한 형식이 혼합된 하이브리드 구조형식으로 점차적으로 대체되고 있는 추세이다. 최근 Heo et al.(2004), Park et al.(2008), Chae et al.(2010), Lee et al.(2017) 등에 의해 연구가 수행되었다.¹⁾⁻⁴⁾

특히, Kim et al.(2017), Oh et al.(2017, 2020, 2021) 연구에서 철근 콘크리트 건축물인 중저층 규모의 근린

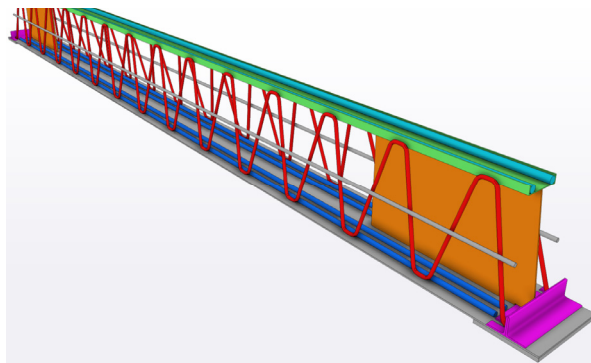
생활시설은 높은 층고 확보와 효율적인 평면모듈계획(장스팬)을 추구함에 따라 강도와 강성을 확보하면서 현장 설치 조립 등과 같은 노무비를 획기적으로 절감할 수 있는 새로운 하이브리드 복합보 개발연구가 진행되고 있다.^{5),6),7)} 본 연구에서는 현장 콘크리트 타설로 인한 거푸집 공정을 제거하고, 휨보강 철근 조립공정을 최소화하면서 시공단계 바닥판 하중을 지지할 수 있는 새로운 형태의 래티스형 강판 보에 대한 연구이다.⁸⁾

본 연구에서는 <Fig. 1>과 같이 위쪽으로 개방된 단면구조를 갖고 냉간성형된 U형태(이하, U형강)의 상현재 플랜지와 강판으로 된 하부 판 및 일정한 패턴으로 절곡한 측면 래티스를 이용하여 상부 U형 플랜지의 좌우측에 래티스를 하부 강판과 서로 연결 용접 접합하여 제작된 상현재 보강형 U-플랜지 트러스 복합보를 개발하였다. 특히 새로이 개발된 형상을 가진 U-플랜지 트러스 복합보의 구조 성능을 검증하기 위해서는 하부 인장저항관련 요소나 상부 압축저항 보강관련 요소 등과 대해 다양한 변수에서의 실험이 요구된다.

이번 연구에서는 시공단계의 압축좌굴 안전성을 확보하고자 상현재에 다양한 강관철근 또는 이형철근의 활

* 정회원, 국립목포대학교 건축공학과 대학원 박사과정
Member, Graduate, Dept. of Architectural Eng., Mokpo National University
** 정회원, 국립목포대학교 건축공학과 교수
Member, Professor, Dept. of Architectural Eng., Mokpo National University
*** 정회원, 교신저자, 국립목포대학교 건축공학과 교수
Member, Corresponding Author, Professor, Dept. of Architectural Eng., Mokpo National University

용에 따른 상현재의 압축거동의 유효성을 평가하고, 하현재로 하부강판과 철근을 직접부착 또는 이격부착을 하여 항복거동 이후에 충분한 소성 거동의 유무에 대해 실험을 통해 확인하였다. 그 결과를 바탕으로 하여 현행 국내 구조설계기준의 내력식과 비교를 통해 U-플랜지 트러스 복합보의 내력을 평가하고자 한다.



〈Fig. 1〉 The concept of U-flanged truss steel beam

2. 실험 계획

2.1 실험체 계획

U-플랜지 트러스 복합보의 성능을 평가하기 위해 총 7개의 실험체가 계획되었다. 복합보의 실험체 변수별 형상은 〈Fig. 2〉와 같다.

실험체의 기본 변수 구성은 상부 강관철근 또는 이형철근으로 보강한 상현재의 압축거동에 관한 유효성 평가와 항복거동 이후의 하부 강판에 이형철근으로 보강

한 하현재의 소성거동을 확인하고자 복합보의 휨 실험을 실시하였다.

실험체 일람은 〈Table 1〉에서 보는 바와 같이 복합보인 실험체 7개를 계획하였고, 상현재에 이형중공철근과 원형중공철근, 하현재의 하부 강판의 철근 보강유무에 따른 비교 실험을 실시하였다. 실험체 크기는 높이 (h)=520mm, 폭(b)=350mm, 전체길이(L)=5,850mm(지점간 길이 5,600mm)이다.

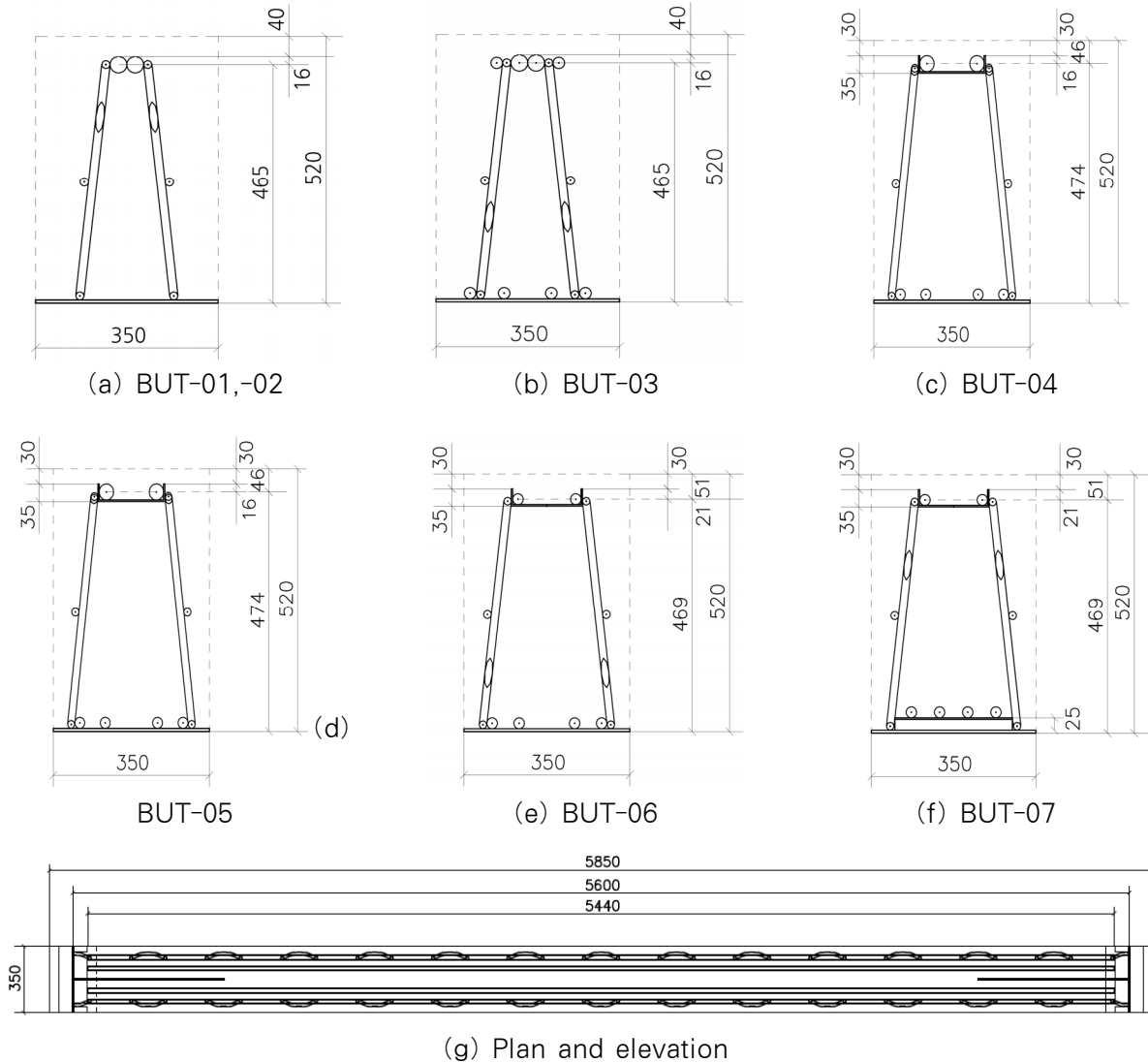
BUT-01 실험체는 지름 32mm의 이형중공철근 2개를 상현재로 설치하고 하현재는 6mm 철판을 사용하였으며 래티스는 16mm의 강봉을 2열로 400mm 간격으로 배치한 실험체이다. BUT-02 실험체는 다른 부위는 BUT-01 실험체와 동일하고 지름 32mm의 이형중공철근대신 원형중공철근을 상현재로 설치한 실험체이다. BUT-03 실험체는 하현재에 6mm 철판에 인장철근 4-D22을 용접한 일체형이며, 상현재로 32mm의 원형중공철근 2개와 이들 좌우 측면에 D22철근 2개를 용접 보강한 실험체이다.

BUT-04 실험체는 하현재는 BUT-03 실험체와 동일하며 상현재에 U형강을 사용하고 내측에 32mm 원형중공철근 2개를 설치한 실험체이다. BUT-05 는 BUT-04 와 동일하나 양단부에 전단 보강에 차이가 있는 실험체이다. BUT-06 실험체는 상현재에 U형강을 사용하고 내부에 D22 철근으로 2개 보강한 실험체이다. BUT-07 실험체는 BUT-06과 동일하나 하부판에 철근을 간격재를 두어 분리한 실험체이다.

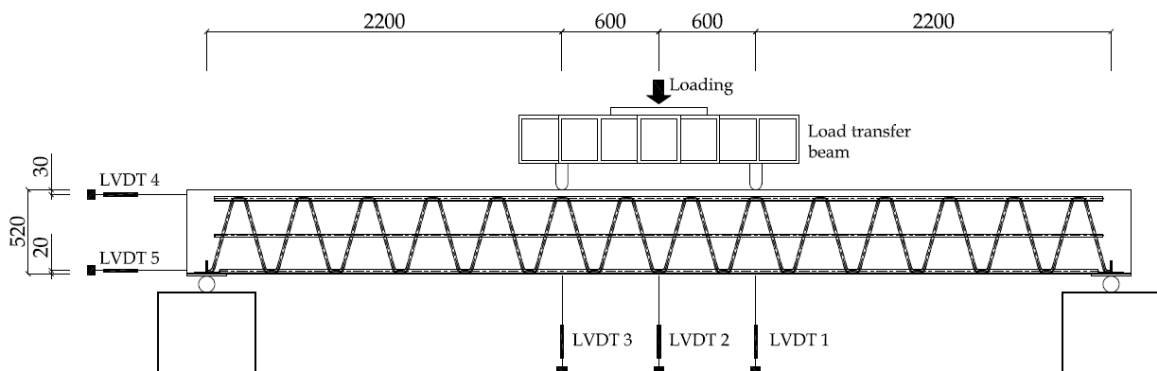
BUT-01~BUT-04 양단부 750mm 구간에 전단보강근(D10@250)을 설치하였고, BUT-04~BUT-07 양측 단

〈Table 1〉 Test specimens list

Specimens ID	Upper Chord	Upper Reinforcement	Lattice	Shear Reinforcement of end zone	Lower zone	
					Lower Plate	Additional Reinforce
BUT-01	2-32 SPR	×	2- ϕ 16@400	D10@250(4개)	PL-350×6t	-
BUT-02	2-32 SP	×	2- ϕ 16@400	D10@250(4개)	PL-350×6t	-
BUT-03	2-32 SP	2- ϕ 22	2- ϕ 16@400	D10@250(4개)	PL-350×6t	4-D22(Welding)
BUT-04	U-150×35×3t	2-32 SP	2- ϕ 16@400	D10@250(4개) PL750x6	PL-350×6t	4-D22(Welding)
BUT-05	U-150×35×3t	2-32 SP	2- ϕ 16@400	PL750x6	PL-350×6t	4-D22(Welding)
BUT-06	U-150×35×3t	2- ϕ 22	2- ϕ 16@400	PL750x6	PL-350×6t	4-D22(Welding)
BUT-07	U-150×35×3t	2- ϕ 22	2- ϕ 16@400	PL750x6	PL-350×6t	4-D22



〈Fig. 2〉 The details of U-flanged truss steel beam specimens



〈Fig. 3〉 The Experimental Section of U-flanged Truss Steel Beam

부에 전단보강판(두께 6mm, 길이 750mm)을 추가 설치하였다. BUT-04~BUT-06은 하부판에 인장철근 4-D22을 단속모살용접(@500)으로 부착하였다.

2.2 가력방법 및 측정방법

U-플랜지 트러스 복합보의 구조성능을 평가하기 위해 양단을 단순지지하고 중앙부 2점 가력을 실시하였다. 실험체 하중재하는 변위제어 방식으로 48mm까지 0.04mm/s 속도로 진행하고, 이후 0.05mm/s으로 변경하여 재하하였다.

하중재하에 따른 수직방향의 변위를 측정하기 위해 <Fig. 3>에 나타난 바와 같이 실험체 하부에 변위계를 설치하여 계측하였다. 또한 하중 재하에 따른 실험체의 주요 부위의 변형률을 측정하기 위하여 변형률 게이지를 부착하였다.

실험에 사용된 가력장비는 MTS사의 3,000kN Universal Testing Machined 사용하였으며, 데이터 취득은 KYOWA사의 데이터 로거가 사용되었다. 또한 변위 측정 장비로는 KYOWA사의 LVDT(Displacement Transducer)가 사용되었으며, 각각 100mm, 500mm 및 1,000mm 용량의 LVDT가 사용되었다. 철근과 콘크리트의 변형률을 계측할 수 있는 변형률 게이지(Strain Gauge)는 일본 동경측기사 제품으로 철근용 변형률 게이지는 Gauge Length 5mm, Gauge Resistance 120Ω 전기저항식 변형률 게이지를 사용하였다. <Fig. 4>에 실험체의 셋팅 상황을 나타내었다.



<Fig. 4> Test Set-up

3. 실험결과 및 분석

3.1 금속 재료 인장 시험

실험체에 사용된 강재의 재료 성능을 확인하기 위해 인장시험을 실시하였다. 시험편은 상현재로 사용된 32mm 중공철근과 성형강판 3mm철판(SM325) 래티스로 사용된 16mm 환봉(SM275) 및 하현재로 사용한 6mm철판(SM325) 대하여 실시하였다. 시험편은 KS B 0801을 준용하여 각각 3개씩 제작하였고, KS B 0802에 따른 인장시험결과의 평균값을 <Table 2>에 나타내었다.

<Table 2> Material test results

	F_y [MPa]	F_u [MPa]	E [GPa]
PL-3t	347.2	422.1	213.42
PL-6t	345.01	485.5	202.31
$\phi 16$	312	449.0	188.93
$\phi 22$	463.0	594.0	184.67
$\phi 32$	800	860	210.00

3.2 콘크리트 압축강도 시험

콘크리트 공시체는 실험체 제작 시 현장에서 지름 100mm, 높이 200mm 몰드를 이용하여 3개 제작하였으며 사용된 콘크리트의 배합 강도는 27MPa이다. 응력-변형률 그래프를 확보하기 위하여 공시체 중앙부에 Strain Gauge를 부착하였다. 콘크리트 압축 강도 시험 결과 평균값은 33.09MPa으로 측정되었다.

3.3 파괴양상

BUT-01 실험체는 하중의 증가에 따라 변위가 증가하였으며, 82kN에서 실험체 중앙하부에 균열이 최초로 발생하였으며, 이후 변위의 증가에 따라 균열이 진전되었다. 182kN 하중에서 하현재 강판과 콘크리트 분리 소리가 감지되었으며 416kN 하중에서 보 상부에 균열이 진전되면서 보 측면에 상현재 위치를 따라 균열이 발생하면서 하중감소 경향이 보였으나 추가적인 하중 감소는 보이지 않았으며 최대하중 424kN에서 실험이 종료되었으며, 이때의 수직 변위는 183mm이다.

BUT-02 실험체는 BUT-01과 동일하나 상부 압축측

에 이형중공철근 대신 원형중공철근으로 대체하였다. 초기균열은 약 65kN에서 가력부 하부에서 발생하였으며 416kN 하중에서 상부과괴 후 하중감소 경향이 보였으나 이후 완만한 하중 증가를 보이며 최대하중 429kN이 계측되었으며, 이때의 변위는 180mm이다. 파괴 양상은 BUT-01과 동일하다.

BUT-03는 하중의 증가에 따라 변위가 증가하였으며 최대하중은 약 693kN으로 계측되었다. 96kN에서 초기 균열이 발생하였으며, 이후 변위의 증가에 따라 균열이 진전되면서 실험체의 측면 U형강 위치를 따라 수평균열이 발생하면서 변위가 증가에 따라 하중이 감소하였다. 지속적인 하중 감소로 변위 99mm에서 실험을 종료하였다.

BUT-04는 167kN에서 초기균열이 발생하였으며, 이후 변위의 증가에 따라 균열이 진전되면서 실험체의 측면 U형강 위치를 따라 수평균열이 발생하면서 하중이 감소하였다. 최대하중은 약 702kN으로 수직변위 약 97mm에서 실험을 종료하였다.

BUT-05는 89kN에서 초기균열이 발생하였으며, BUT-04와 같이 실험체의 측면 U형강과 나란하게 균열이 발생하면서 변위의 증가에 따라 하중이 감소하였다. 최대하중은 약 671kN, 수직변위 106mm에서 실험을 종료하였다.

BUT-06는 98kN에서 초기 균열이 발생하였으며, 실험체의 측면 U형강 위치를 따라 수평균열이 발생하면서 하중이 감소하였다. 최대하중은 약 683kN, 변위 약 74mm에서 종료하였다.

BUT-07는 108kN에서 초기 균열이 발생하였으며, 실험체의 측면 U형강 위치를 따라 수평균열이 발생하면서 하중이 감소하였다. 최대하중은 약 648kN, 변위 약 64mm에서 종료하였다.

3.4 하중-변위관계곡선 분석

〈Fig. 5〉과 〈Table 3〉에 하중-변위 곡선과 실험결과를 나타내었다. 〈Table 3〉에서 P_{max} 는 실험체에서 측정된 최대값을 나타내고, $\delta_{P_{max}}$ 는 P_{max} 에서 특정된 변위값을 나타낸다. 이를 이용하여 측정된 최대모멘트는 M_{test} 로 나타내었다.

〈Fig. 5〉에서 보는 바와 같이, 상현재로 이형중공철근

을 사용한 실험체 (BUT-01)와 원형중공철근을 사용한 실험체(BUT-02)의 하중-변위 곡선은 초기강성과 최대 하중에 큰 차이가 없었다. 하부강관 항복이후 약간의 하중증가와 함께 지속적인 변위가 발생하였다.

상현재로 중공철근과 이형철근을 사용한 (BUT-03)와 중공철근을 U형강으로 대체하고 이형철근 사용한 실험체(BUT-06)의 하중-변위 곡선에서 내력은 유사하나 최대하중 이후에 발생한 변위는 확연한 차이를 보이고 있음을 알 수 있다. BUT-06의 경우 콘크리트 내부에 설치한 U형강의 영향으로 최대하중 도달과 함께 U형강과 나란하게 실험체 측면에서 수평균열이 크게 발달하여 콘크리트 압축응력을 지속적으로 유지하지 못하는 취성적 파괴 경향이라 판단된다.

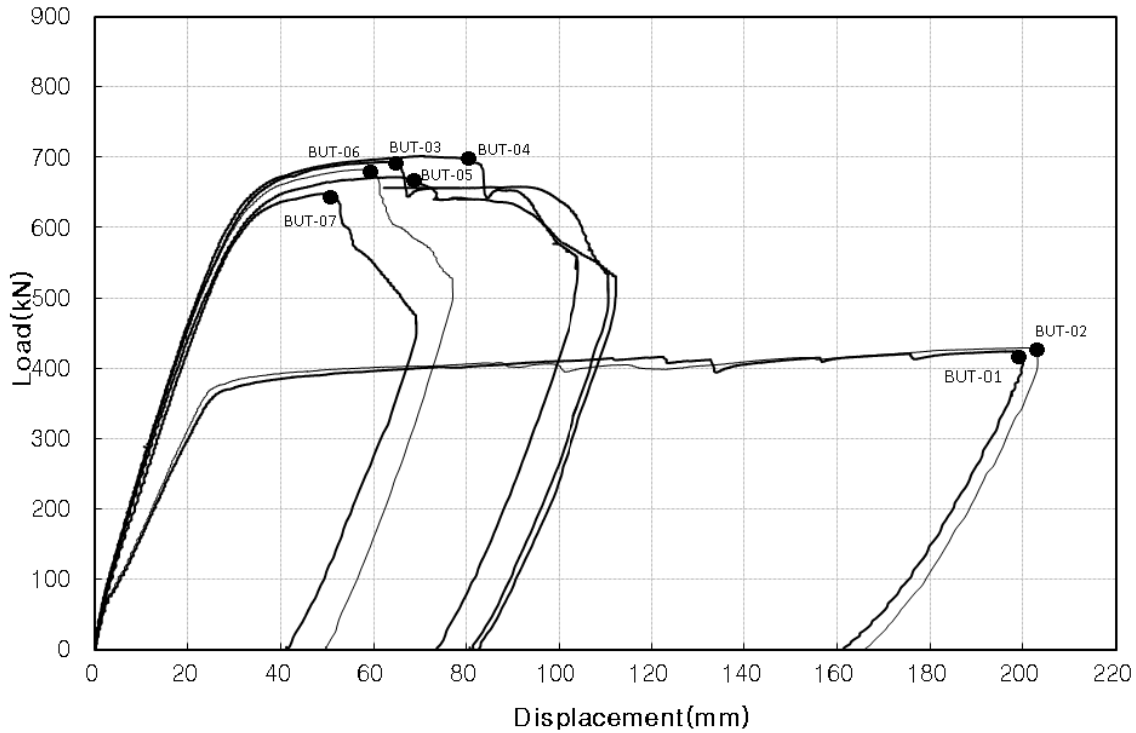
상현재로 U형강과 중공철근을 사용한 실험체 (BUT-04, -05)와 중공철근을 U형강과 이형철근을 사용한 실험체(BUT-06)의 하중-변위 곡선은 초기강성과 최대하중이 유사한 결과를 보이고 있다. 다만, BUT-06의 경우 최대하중 도달 시 U형강과 나란하게 실험체 측면에서 수평균열이 크게 발달하여 변위의 감소가 일어남을 알 수 있다.

상현재로 중공철근과 이형철근을 사용하며 하현재로 4-D22을 하부강관에 용접 부착한 실험체(BUT-06)와 동일한 단면으로 4-D22을 하부강판에서 이격한 실험체 (BUT-07)의 하중-변위 곡선에서 초기강성은 유사하나 최대하중은 각각 683.22kN, 648.7kN으로, BUT-07이 5% 낮게 나타났다. 이는 하부강판에서 일정거리(25mm)가 이격된 인장철근의 중심까지 거리인 유효 춤이 BUT-06에 비해 상대적으로 작기에 이러한 결과를 보였다.

3.5 기준식과의 내력 비교

국내 구조설계기준(KDS 41 30 00 : 2016, KDS 14 20 20 : 2022)에서 복근보의 공칭휨강도(M_n)는 극한상태에서 콘크리트 압축 단부의 변형률은 0.0033, 인장철근의 응력은 f_y 에 도달하는 것으로 가정하며, 이 때 압축철근의 변형률(ϵ_s')는 다음과 같이 산정한다.

$$\epsilon_s' = \left(\frac{c-d'}{c} \right) (0.0033) \quad (1)$$



〈Fig. 5〉 The load-displacement curve of specimen

〈Table 3〉 The Test Results

Specimens ID	BUT-1	BUT-2	BUT-3	BUT-4	BUT-5	BUT-6	BUT-7	
Test	P_{max} [kN]	424.12	429.27	693.73	702.07	671.88	683.22	648.7
	$\delta_{P_{max}}$ [mm]	197.22	203.22	63.64	70.64	65.04	59.25	49.95
	M_{test} [kN-m]	466.53	472.20	763.10	772.28	739.07	751.54	713.57
KDS ⁴⁾⁵⁾	M_n [kN-m]	349.31	349.31	666.68	667.37	667.37	664.80	646.76
	M_{test}/M_n	1.34	1.35	1.14	1.16	1.11	1.13	1.10

여기서, d' : 압축외단에서 압축철근 중심까지의 거리(mm), c : 압축연단에서 중립축까지 거리(mm)

압축철근이 항복하는 경우에는 복근보의 공칭 휨강도는 다음과 같이 산정할 수 있다.

$$C_c = 0.85f_{ck}ab \quad (2)$$

$$C_s = A'_s f_y \quad (3)$$

$$M_n = C_s \left(d - \frac{a}{2} \right) + C_c (d - d') \quad (4)$$

압축철근이 항복하지 않는 경우에는 중립축을 재산정한 후 복근보의 공칭 휨강도는 다음과 같이 산정할 수 있다.

$$C_c = 0.85f_{ck}ab \quad (5)$$

$$C_s = (E_s \epsilon'_s) A'_s \quad (6)$$

$$M_n = C_s \left(d - \frac{a}{2} \right) + C_c (d - d') \quad (7)$$

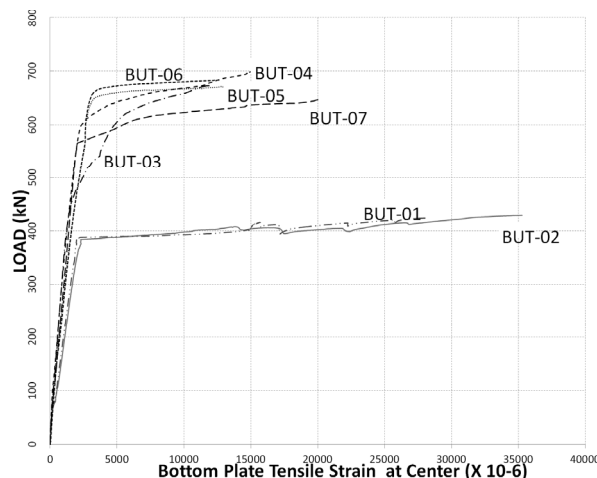
식(4), (6)에 의한 실험체의 공칭휨강도(M_n)는 〈Table 3〉에 나타내었다. 이때 콘크리트 설계기준압축강도(f_{ck})와 강관 및 철근의 설계기준항복강도(f_y)는 재료실험에서 구한 평균값을 이용하여 산정하였다.

〈Table 3〉에서 보는 바와 같이, 모든 실험체의 공칭휨강도(M_n)은 〈Table 2〉 재료시험강도를 반영하여 철근콘크리트구조설계기준에 의한 휨 내력을 산정하였다. 재료실험 강도를 반영한 공칭휨강도와 실험 값과 비교한 결과, 실험 값이 110% ~ 135% 정도를 상회하는 평균을 얻었다.

따라서 철근콘크리트구조설계기준을 통한 U-플랜지 트러스 복합보의 휨강도 평가는 구조적 안전성을 충분히 확보한 평가 방법임을 확인할 수 있었다. 다만, U-플랜지 트러스 복합보의 강도평가는 콘크리트 단면에서 최하단에 인장저항 요소인 강관을 부착하되 이를 일정 간격으로 래티스 형태로 콘크리트 단면 내로 매립 고정되어 있으므로 하부 판의 인장저항이나 인장변형률 증가에 구조적 역할을 할 것으로 생각된다.

U-플랜지 트러스 복합보를 현행 구조설계기준(KDS)의 철근콘크리트 휨부재 평가에 준하여 평가함에 있어서 하부 인장재의 변형률 정도에 따라 연성 확보여부 중요한 항목이기에 <Fig. 6>에 실험체 중앙부에서 하부 강관의 인장 변형률을 나타내었다.

그림에서 보는 바와 같이, 상부 상현재를 보강하지 않은 실험체(BUT-01, -02)의 경우 항복변형률 도달 이후에서 꾸준하게 인장변형률 증가로 충분한 연성 거동을 보이고 있으나, 상부 상현재인 강관철근이나 U형강에 압축부를 추가로 보강한 실험체(BUT-04~BUT-06)는 항복변형률 도달한 이후 인장철근(4-D22)을 배근하였지만 이전 실험체 대비 충분하지는 못하지만 인장변형률 $12,000 \times 10^{-6}(\text{mm/mm})$ 이상으로 측정되었다. 콘크리트 단면에서 최하단에 강관을 부착한 경우, 국내 구조설계기준에서는 인장철근이 항복하는 것으로 가정하여 설계하기에 이를 보다 변형률 관점으로 연성도를 확보한 추가적인 U-플랜지 트러스 복합보의 내력 평가와 상세 개발이 필요하다.



<Fig. 6> The Bottom Plate Tensile Strain

4. 결론

새로이 개발된 형상을 가진 U-플랜지 트러스 복합보의 구조 성능을 검증하기 위해서는 하부 인장저항관련 요소나 상부 압축저항 보강관련 요소에 대해 다양한 변수에서의 실험을 실시하였고, 그 결과를 바탕으로 하여 기존의 내력식과의 비교를 통해 U-플랜지 트러스 복합보의 내력을 평가하였다. 이러한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) 상현재로 중공철근을 사용한 실험체 (BUT-01, -02)의 하중-변위 곡선은 초기강성과 최대하중에 큰 차이가 없었고 하부강관 항복이후 점진적 하중증가와 함께 충분한 인장변형률을 가지면서 연성거동을 보였다.

(2) 상현재인 강관철근이나 U형강에 압축부를 추가로 보강한 실험체(BUT-04~BUT-06)는 충분한 내력은 보유하고 있으나 전반적으로 U형강과 나란하게 실험체 측면에서 수평균열이 크게 발달하여 콘크리트 압축응력을 지속적으로 유지하지 못하는 취성적 파괴 양상이 보였다.

(3) 하부강관에 철근(4-D22)을 용접 부착한 실험체 (BUT-06)와 동일한 단면으로 4-D22을 하부강관에서 이격한 실험체(BUT-07)의 경우, 하중-변위 곡선에서 초기강성은 유사하나 유효 춤이 작기에 최대하중은 5% 낮게 나타났다.

(4) 재료시험강도를 반영하여 철근콘크리트구조설계기준에 의한 휨 내력을 산정하였다. 재료시험 강도를 반영한 공칭휨강도와 실험값과 비교한 결과, 실험값이 110% ~ 135% 정도를 상회하는 평가를 얻었다.

따라서 콘크리트구조설계기준(KDS 14 20 20 : 2022)을 반영한 U-플랜지 트러스 복합보의 설계휨강도 평가는 충분한 구조적 안전성을 확보한 것으로 평가 확인되었다. 그리고 U-플랜지 복합보의 내력 평가는 최하단에 인장저항 요소인 강관을 부착하되 이를 일정간격으로 래티스 형태를 콘크리트 단면 내로 매립 고정되어 있기에 하부 강관과 래티스 간의 힘의 작용을 고려한 휨 강도 평가 연구가 추가로 필요하다.

감사의 글

이 성과는 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임. (No.2020R1F1A1048488).

References

1. Heo, B.W., Bae, K.W., & Moon, T.S. "Flexural Capacity of the Encased(Slim Floor) Composite Beam with Deep Deck Plate", *Journal of Korean Society of Steel Construction*, Vol.16(2), pp.236-245, 2004.
2. Chae, H.S., Ryoo, J., Chung, K.S., Moon, Y. M., & Cho, S.M. "Experimental Study on Structural Performance of End- Reinforced Steel-Beam System(Eco-Girder)", *Journal of Korean Society of Steel Construction*, Vol.22(6), pp.533-541, 2010.
3. Park, K.S., Heo, B.W., Kwak, M.G., & Bae, K.W. "Experimental Study of the Flexural Behavior of Encased Composite Beams for Residential Buildings", *Journal of the Architectural Institute of Korea Structure and Construction*, Vol.24(12), pp.91-98, 2008.
4. Lee, M.H., Oh, M.H., Kim, Y.H., Jeong, S.C. & Kim, M.H. "Experimental Study on the Shear Capacity of Slim AU Composite Beam", *Journal of Korean Association for Spatial Structures*, Vol.17(3), pp.99-105, 2017, doi: 10.9712/KASS.2017.17.3.099
5. Kim, D.B., Kim, Y.H., Oh, M.H. & Kim, M.H. "Experimental Study on the Flexural Capacity of the Concrete-Filled Composite Beam with Exposed Top Flange", *J. Korean Soc. Hazard Mitig.*, Vol.17(4), pp.1-9, 2017, doi: 10.9798/KOSHAM.2017.17.4.1
6. Oh, M.H., and Kim, Y.H. "Experimental Study on the Structural Capacity of the U-Flanged Truss Steel Beam with Reinforced End by Steel Plates", *Journal of Korean Association for Spatial Structures*, Vol.20(2), pp.31-38, 2020, doi: 10.9712/KASS.2020.20.2.31
7. Oh, M.H., Kim, Y.H., Kang, J.Y., & Kim, M.H. "Experimental Study on the Structural Capacity of the U-Flanged Truss Steel Beam", *Journal of Korean Association for Spatial Structures*, Vol.18(4), pp.113-121, 2018, doi: 10.9712/KASS.2018.18.4.113
8. Oh, M.H., Park, S.J., Kang, J.Y., & Kim, Y.H. "Experimental Study on the Flexural Capacity of the U-Flanged Truss Hybrid Beam according to Reinforcement Amount", *Journal of Korean Association for Spatial Structures*, Vol.21(2), pp.33-40, 2021, doi: <https://doi.org/10.9712/KASS.2021.21.2.33>
9. Trentadue, F., Quaranta, G., Marano, G. C. and Monti, G., "Simplified Lateral-Torsional Buckling Analysis in Special Truss-Reinforced Composite Steel-Concrete Beams", *Journal of Structural Engineering*, Vol.137(12), pp.1419-1427, 2011.

- Received : August 16, 2022
- Revised : September 1, 2022
- Accepted : September 6, 2022