

하이브리드 조립형 보강 기법을 적용한 철근콘크리트 보의 휨 성능 평가에 관한 실험적 연구

An Experimental Study on Flexural Performance of RC Beams Reinforced With Hybrid Prefabricated Retrofit Method

문 상 필*
Moon, Sang Pil

이 성 호**
Lee, Sung Ho

이 영 학***
Lee, Young Hak

김 민 숙****
Kim, Min Sook

Abstract

In this paper, the hybrid prefabricated retrofit method is suggested and examined. Six specimens were manufactured in order to evaluate their flexural performance of RC beams. Test parameters include the added beam depth, the thickness of bottom plate, the number of the steel plate with openings. The effects of these parameters on the flexural performance of reinforced concrete beams were examined. The load-deflection behavior and modes of cracks are presented from the test results. At the test result, the flexural capacity and the ductility of the hybrid prefabricated retrofit method was increased satbly. Also, comparing the flexural performance of RC beam and retrofitted RC beams, it was increased that the flexural strength is about 3.3 times, the ductility is about 2.55 times, and energy dissipation capacity is about 7.34 times.

Keywords : Hybrid prefabricated retrofit method, Flexural test, Flexural performance, Ductility evaluation

1. 서론

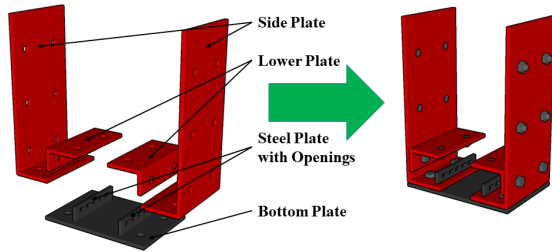
국내 건축물의 노후화로 인해 건축물의 내구성 및 구조능력이 저하되고 있으며, 최근 국내에서 발생하는 지진의 빈도가 높아지고 있어 건축물의 사용 연한 증가를 목적으로 구조성능 및 안정성을 향상시키기 위한 보강 공법에 대한 수요가 증가하고 있다. 보강 부위 중 수평 부재에 관한 보강 공법으로는 FRP 및 강판 부착공법, 단면증설공법을 주로 사용하고 있다. 부착공법은 시간 경과에 따라 부착재료의 열화 및 탈락 등의 문제가 발생할 수 있으며, 단면증설공법은 보강효과는 우수하나 용접 등의 현장 작업으로 인해 시공 기간이 다소 소요되

로 구조물의 사용 제한 등의 어려움이 있다¹⁻³⁾. 이러한 문제를 해결하기 위해 최근 많은 연구가 진행된 하이브리드 보의 개념을 적용하여 기존 수평부재 보강 공법을 개선하고자 하였다⁴⁻⁶⁾.

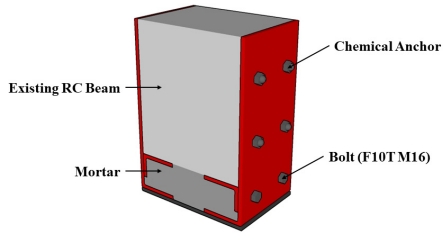
강재보 하부 플랜지에서 인장력을 받으며 콘크리트가 압축력을 부담하는 하이브리드 보의 개념을 적용시킨 하이브리드 조립형 보강 기법은 기존 보강 공법의 시공성을 개선함과 동시에 구조성능 향상 및 공기 단축이 가능하도록 <Fig. 1>과 같은 형상으로 개발하였으며, 유한요소해석을 수행하여 상세를 도출하였다⁷⁾. 하이브리드 조립형 보강 공법은 측판과 하부판, 유공형 보강재가 수직으로 가공된 바닥판으로 구성된다. 2개의 하부판과 측판을 캐미칼 앵커를 이용하여 콘크리트에 접합하고, 고력볼트를 이용하여 측판과 하부판을 접합시킨다. 측판 하부에 바닥판을 삽입한 후 고력볼트로 접합시켜 내부를 모르타르 채워 마무리하는 과정으로 기존 단면증설 공법에 비해 단순한 시공을 기대할 수 있다.

하이브리드 조립형 보강 기법은 콘크리트에 하부판과 측판을 캐미칼 앵커로 조립하는 형상으로 보의 크기에 상관없이 자유로운 설계가 가능하다. 바닥판은 인장 및

* 주저자, 학생회원, 경희대학교 건축공학과, 석사과정
Architectural Engineering, Kyung Hee Univ.
** 정회원, 경희대학교 재정운영본부 특임교수
Financial Management Div., Kyung Hee Univ.
*** 정회원, 경희대학교 건축공학과 교수
Architectural Engineering, Kyung Hee Univ.
**** 교신저자, 정회원, 경희대학교 건축공학과 학술연구교수
Architectural Engineering, Kyung Hee Univ.
Tel: 031-201-2864 Fax: 031-204-8114
E-mail: kimminsook@khu.ac.kr



(a) Shape of steel plate



(b) Shape after retrofit

〈Fig. 1〉 Hybrid prefabricated retrofit method

전단 보강을 위한 유공형 보강재가 가공된 형태로 보강 부위에 철근 및 전단보강재 설치 등 추가 공정이 요구되지 않는다. 또한 바닥판의 유공형 보강재가 측판 하부에 삽입되고, 바닥판과 측판을 볼트로 접합한 후 모르타르를 채우므로 플레이트 간 효과적인 일체화가 이루어진다. 하이브리드 조립형 보강 기법의 시공 과정을 〈Fig. 2〉에 나타내었다.

본 연구에서는 선행 연구⁷⁾를 통해 개발된 하이브리드 조립형 보강 기법을 적용한 철근콘크리트 보의 휨 성능을 평가하는 것을 목표로 하였다. 이를 위해 신설보의 깊이, 바닥판의 두께, 인장보강재의 개수를 변수로 휨 실험을 수행하였으며, 휨 내력 및 연성능력, 에너지소산능력을 통해 휨 성능을 평가하였다.

2. 실험 계획

2.1 실험 개요

본 연구에서는 하이브리드 조립형 보강 기법을 적용한 철근콘크리트 보의 휨 성능을 평가하기 위해 총 6개의 시험체를 제작하여 휨 실험을 수행하였다. 휨 성능에 영향을 미칠 것으로 예상되는 신설보의 깊이, 바닥판의 두께, 인장보강재의 개수를 실험 변수로 설정하였다. 실험 변수로 고려된 신설보의 깊이는 100mm, 150mm이며, 바닥판의 두께는 5mm, 10mm, 인장보강재의 개수는



(a) Installation of lower plate



(b) Connecting of side plate and bottom plate

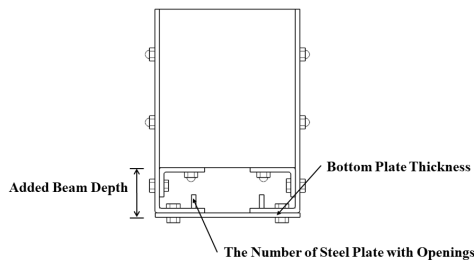


(c) Grouting of mortar

〈Fig. 2〉 Retrofit process of hybrid prefabricated retrofit method

0개, 2개, 4개로 변화시켰다. 각 변수에 해당하는 부분을 〈Fig. 3〉에 나타내었으며, 〈Table 1〉과 같이 실험 변수를 정리하였다.

철근 콘크리트 보의 크기는 폭 300mm, 높이 350mm, 길이 4,500mm로 모두 동일하며, 시험체 제작에 사용된 콘크리트의 압축강도는 24MPa를 사용하였다. 철근은 항복강도 400MPa를 갖는 이형철근을 사용하였으며, 인장 및 압축철근의 지름은 19mm로 상부에 2개, 하부에 4개를 배치하였다. 스티럽의 지름은 10mm로 200mm 간격으로 배근하여 전단판괴를 방지하였다. 보강을 위해 사용된 강판은 SS275($f_y = 275\text{MPa}$)를 적용하였으며, 측판의 두께는 3mm, 하부판의 두께는 5mm로 동일하게 제작하였다. 케미칼 앵커 및 볼트는 300mm 간격으로 동일하게 배치하였다. 시험체 제작을 위해 사용된 각 재료의 물성치는 〈Table 2〉에 정리하였으며, 〈Fig. 4〉와 같이 시험체 상세를 나타내었다.



〈Fig. 3〉 Variables for specimen

〈Table 1〉 Test specimens

No.	Specimens	Added beam depth (mm)	Bottom plate thickness (mm)	Steel plate with openings (EA)
1	RC	-	-	-
2	D1-T1-2	100	5	2
3	D2-T1-2	150	5	2
4	D1-T2-2	100	10	2
5	D1-T2-4	100	10	4
6	D1-T2-0	100	10	-

D1 - T1 - 2

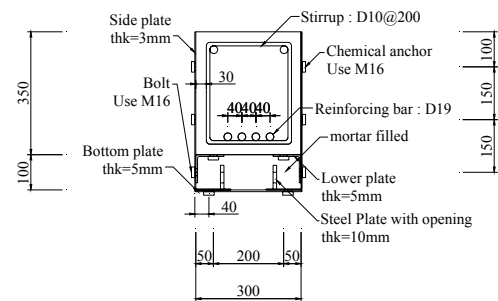
- The Number of Steel Plate with Openings
- Bottom Plate Thickness : T1→5mm, T2 →10mm
- Added Beam Depth : D1 →100mm, D2 →150mm

〈Table 2〉 Material properties

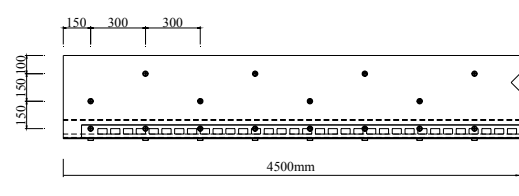
	Compressive strength (MPa)	Modulus of elasticity (MPa)
Concrete	24	24,500
	Yield strength (MPa)	Modulus of elasticity (MPa)
Rebar	400	200,000
Steel plate	275	200,000

2.2 실험 방법

시험체는 〈Fig. 5〉와 같이 설치하였다. 시험체의 양단에서 200mm 떨어진 지점에 롤러를 설치하고 지점 사이의 거리를 4,100mm로 하여 2점 가력 휨 실험을 수행하였다. 하중은 600mm 구간에서 5,000kN 용량의 유압식 만능시험기(UTM)를 사용하였으며, 가력속도는 항복 이전에는 2mm/min, 항복 이후에는 4mm/min의 속도로 재하하였다. 실험은 하중이 최대하중의 80%까지 저하되었을 때 종료하였다.

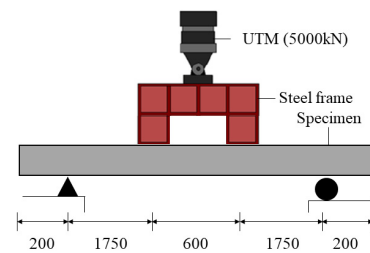


(a) Section



(b) Plan

〈Fig. 4〉 Details of specimens (mm)



(a) Schematic test setup



(b) Photograph of test setup

〈Fig. 5〉 Test setup for two-point loading

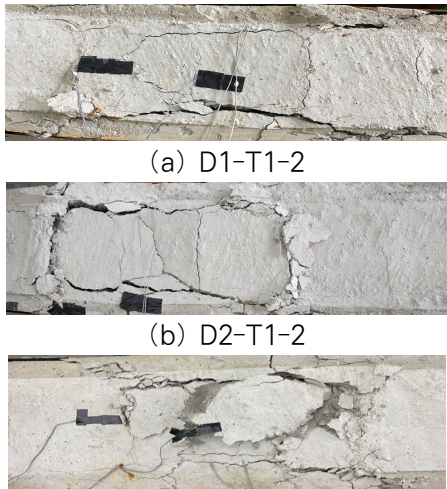
3. 실험 결과

3.1 파괴 및 균열 양상

〈Fig. 6〉과 같이 측판의 국부좌굴 및 바닥판의 균열은 발견할 수 없었으며, 양단에서 강재와 콘크리트의 미끌림현상이 발생하지 않은 것으로 보아 기존 부재와 보강 부위 간 거동이 일체화를 이룬 것으로 판단된다. 모든 시험체는 최대하중 이후 콘크리트 보 상부의 압괴로 인해 하중이 저하되면서 실험이 종료되었다. 특히 〈Fig. 7〉과 같이 신설보의 깊이 및 바닥판의 두께가 클수록 압괴 정도가 심한 것으로 나타났다.



(a) Side plate and bottom plate (b) Sliding between steel and concrete
 <Fig. 6> Test result of steel plate



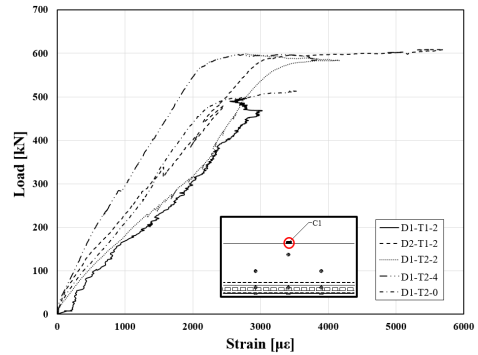
(a) D1-T1-2 (b) D2-T1-2 (c) D1-T2-2
 <Fig. 7> Concrete crushing

3.2 하중-변형률 관계

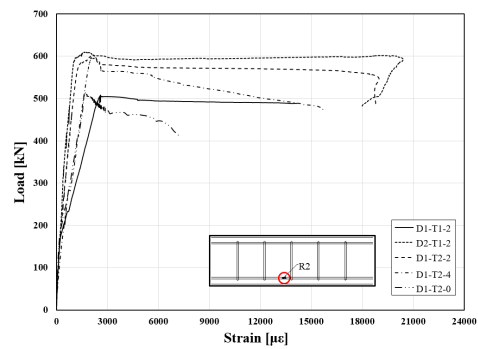
하이브리드 조립형 보강 기법을 적용한 철근콘크리트 보의 휨 거동을 분석하기 위해 콘크리트 상부와 인장철근, 보강 부위 최하단부에 위치한 바닥판에 변형률 게이지를 부착하였다.

<Fig. 8>은 콘크리트 상부 중앙에 위치한 C1 게이지에 대한 하중-변형률 관계를 나타낸다. 모든 시험체의 변형률은 비슷한 양상을 보였으며, 최대하중 인근에서 최대압축변형률인 0.003을 초과한 이후 콘크리트 상부의 압괴로 인해 게이지가 손상되었다.

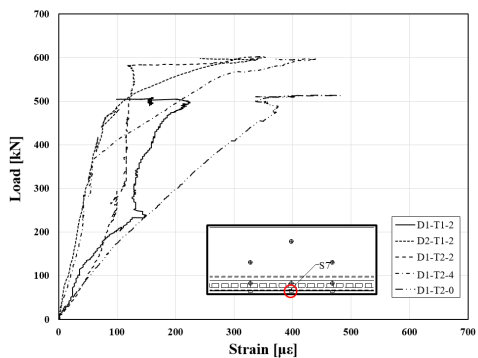
인장철근에 부착한 R2 게이지에 대한 하중-변형률 관계는 <Fig. 9>에 나타내었으며, 보강 부위 최하단부인 바닥판에 부착한 S7 게이지에 대한 하중-변형률 관계는 <Fig. 10>에 나타내었다. R2 게이지는 시험체에 따른 초기 선형 구간의 기울기 차이는 있었으나 모든 시험체가 비슷한 양상으로 변형률이 증가하였으며, 최대하중에서 철근의 항복변형률인 0.002에 도달하였다. 그러나 모든 시험체에서 S7 게이지의 변형률은 200~500 $\mu\epsilon$ 사이에



<Fig. 8> Load - Strain of concrete



<Fig. 9> Load - Strain of reinforced bar



<Fig. 10> Load - Strain of bottom plate

분포하였다. 이는 보강 부위와 기존 부재와의 강성 차이로 인해 보강 부위 최하단부의 변형이 상대적으로 적게 발생한 것으로 판단된다.

3.3 하중-처짐 관계

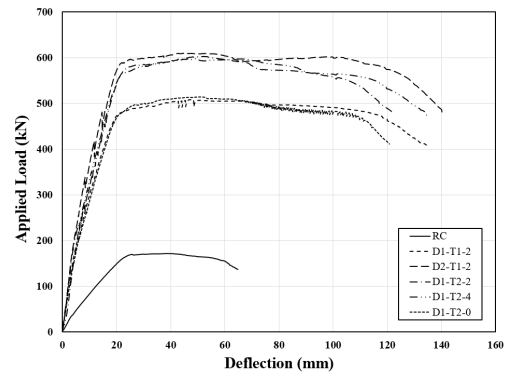
하이브리드 조립형 보강 기법을 적용한 철근콘크리트 보의 하중-처짐 관계를 정리하여 <Table 3>과 같이 나타내었다. P_n 은 국내 강구조 설계기준인 KDS 41 31 00⁸⁾에서 제시하고 있는 합성보의 공칭휨강도를 시험체에 적용하였을 때 산정된 공칭하중이고, P_y 는 시험체의

실험 시 항복하중, P_u 는 시험체의 실험 시 최대하중이다. δ_y 는 실험 시 항복하중 하에서 발생한 처짐, δ_u 는 실험 시 최대하중이 가해질 때의 처짐을 의미한다. 항복하중 P_y 는 초기강성을 연장시켜 최대하중에 도달하였을 때의 변위를 수직으로 내려 시험체의 하중-처짐 곡선과 만나는 점을 항복하중으로 하였다⁹⁾.

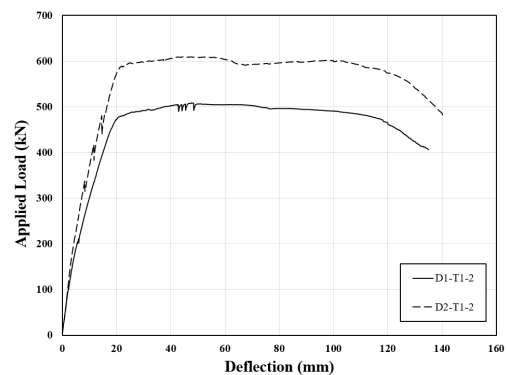
실험 결과, 공칭하중에 대한 실험 최대하중의 비 P_u/P_n 은 최소 0.92, 최대 1.24이며 평균 1.02로 나타났다. 실험 항복하중에 대한 실험 최대하중의 비 P_u/P_y 는 최소 1.25, 최대 1.41이며 평균 1.34로 나타났다. 이를 통해 하이브리드 조립형 보강 기법으로 보강된 철근콘크리트 보의 신설보의 깊이 및 바닥판의 두께, 인장보강재의 개수 등에 따라 부재의 내력이 안정적으로 증가한 것으로 판단된다.

하이브리드 조립형 보강 기법을 적용한 철근콘크리트 보의 휨 실험에 따른 하중-처짐 곡선을 <Fig. 11>과 같이 나타내었다. 신설보의 깊이 및 바닥판의 두께, 인장보강재의 유무에 따라 시험체의 강성이 증가하였으며, 모든 시험체는 최대하중 이후 충분한 연성 거동을 보이고 있다. 하이브리드 조립형 보강 기법을 적용한 철근콘크리트 보와 기존 철근콘크리트 보를 비교하였을 때 최대하중비는 최소 2.96, 최대 3.55로 평균 3.3배 증가하였다. 실험 종료 시 처짐비는 최소 1.86, 최대 2.16으로 평균 2.01배 증가하였다.

<Fig. 12>는 신설보 깊이 변화에 따른 하중-처짐 곡선을 나타낸다. 신설보의 깊이에 따른 시험체의 거동은 차이가 없으며, 신설보가 깊어짐에 따라 시험체의 강성이 증가하였다. 그러나 신설보 깊이가 150mm인 경우 초기 선형 구간에서 하중이 급격하게 저하되는 구간이 발생하는 것으로 보아 신설보의 깊이가 증가할수록 보강 부위의 모르타르가 파괴되어 휨 저항능력이 저하되



<Fig. 11> Load - Deflection curve



<Fig. 12> Load - Deflection of added beam depth는 것으로 판단된다.

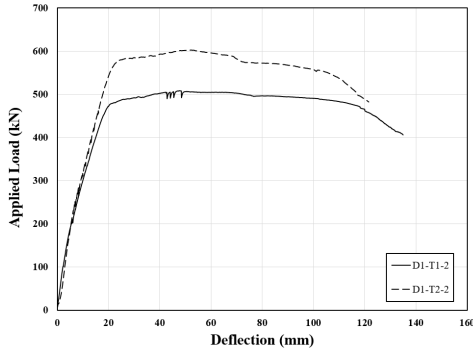
<Fig. 13>은 바닥판의 두께를 변수로 작성된 하중-처짐 곡선을 나타낸다. 바닥판의 두께가 증가함에 따라 시험체의 최대하중이 증가하였으나, 바닥판의 두께가 얇은 시험체에 비해 연성능력이 부족한 것으로 확인된다. 이는 바닥판의 두께 증가로 인해 인장력이 증가하고 부재의 휨 내력이 증가하여 최대하중이 증가하였으나, 인장력이 증가됨에 따라 소성중립축이 낮아져 비교적 취성적인 거동이 이루어진 것으로 판단된다.

<Fig. 14>는 인장보강재의 개수에 따른 하중-처짐 곡선을 나타낸다. 인장보강재의 유무에 따라 시험체의 강

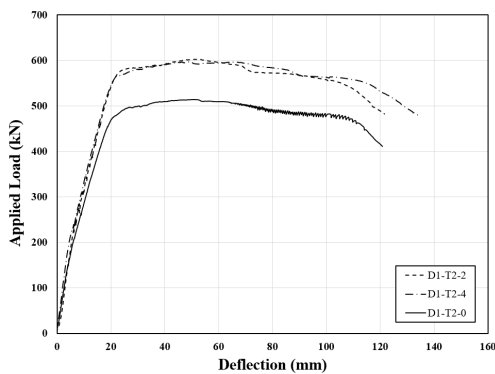
<Table 3> Flexural test result

No.	Specimens	P_n (kN)	P_y (kN)	P_u (kN)	P_u/P_n	P_u/P_y	δ_y (mm)	δ_u (mm)
1	RC	138.06	137.55	171.65	1.24	1.08	18.09	38.72
2	D1-T1-2	535.19	370.86	508.48	0.95	1.11	13.48	47.89
3	D2-T1-2	624.60	453.30	609.45	0.98	1.08	13.61	44.63
4	D1-T2-2	585.03	466.03	602.62	1.03	1.08	16.27	52.21
5	D1-T2-4	585.03	423.4	597.55	1.02	1.07	13.90	49.25
6	D1-T2-0	556.73	382.13	514.00	0.92	1.10	14.61	50.86

P_n : Nominal load, P_y : Test yield load, P_u : Test ultimate load, δ_y : Yield displacement, δ_u : Ultimate displacement



〈Fig. 13〉 Load - Deflection of bottom plate thickness



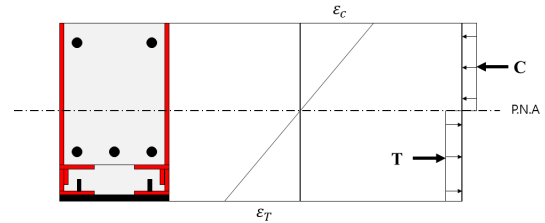
〈Fig. 14〉 Load-Deflection of the number of steel plate with openings

성이 증가하였으며, 동일한 면적의 인장보강재를 삽입하여도 인장보강재의 개수에 따라 연성능력이 증가하였다. 또한 인장보강재가 없는 경우 최대하중 이후 신설보에 주입되는 모르타르의 구속이 이루어지지 않아 연성거동이 불안정한 것을 확인하였다.

4. 휨 성능 분석

4.1 휨 강도 평가

보강 공법의 강도 산정은 성능평가를 통한 검증 또는 설계기준에 따른 산정식을 통해 평가한다. 따라서 본 연구에서 개발한 하이브리드 조립형 보강 기법을 적용한 철근콘크리트 보는 국내 강구조 설계기준인 KDS 41 31 00에 따라 소성응력분포법을 이용하여 휨 강도를 평가하였다. 합성 단면의 공칭휨강도는 〈Fig. 15〉와 같이 소성중립축을 중심으로 나누어지는 압축영역 중심과 인장영역 중심 간의 거리에 압축력 또는 인장력을 곱하여 산정한다. 이는 식 (1)~(4)를 통해 공칭휨강도를 산정한다.



〈Fig. 15〉 Hybrid prefabricated retrofit method with P.N.A

$$C = C_c + C_s + C_{sp} \quad (1)$$

$$T = T_s + T_{sp} + T_l + T_b + T_{bo} \quad (2)$$

$$jd = l_t - l_c \quad (3)$$

$$M_n = C \times jd \text{ or } T \times jd \quad (4)$$

여기서, C_c 는 콘크리트의 압축력, C_s 는 압축철근의 압축력, C_{sp} 는 측판의 압축력, T_s 는 인장철근의 인장력, T_{sp} 는 측판의 인장력, T_l 는 하부판의 인장력, T_b 는 바닥판의 인장력, T_{bo} 는 인장보강재의 인장력, l_t 는 부재 상단에서부터 인장영역 중심까지의 거리, l_c 는 부재 상단에서부터 압축영역 중심까지의 거리를 의미한다.

하이브리드 조립형 보강 기법을 적용한 철근콘크리트 보의 휨 강도를 분석하여 〈Table 4〉에 나타내었다. M_n 은 국내설계기준에 따른 공칭휨강도이며, M_{test} 는 시험체의 실험 최대하중 시 휨모멘트를 의미한다.

철근콘크리트 보와 비교하였을 때 휨 강도비는 최소 2.96, 최대 3.55로 평균 3.3배의 휨 강도가 증가하였다. 또한 국내설계기준에 따른 공칭휨강도에 대한 시험체의 휨 강도비 M_{test} / M_n 은 최소 0.92, 최대1.03으로 평균

〈Table 4〉 Analysis of flexural test results

No.	Specimens	M_n (kN-m)	M_{test} (kN-m)	M_{test} / M_n
1	RC	120.80	150.19	1.24
2	D1-T1-2	468.29	444.92	0.95
3	D2-T1-2	546.53	533.27	0.98
4	D1-T2-2	511.90	527.29	1.03
5	D1-T2-4	511.90	522.86	1.02
6	D1-T2-0	487.14	449.75	0.92

M_n : Nominal flexural strength

M_{test} : Test flexural strength

0.98로 나타났다. 이는 설계기준에 따른 산정식을 통해 강도를 산정할 때 기존 부재와 보강 부위가 일체화되었다는 가정 하에 산정되기 때문인 것으로 판단된다. 따라서 하이브리드 조립형 보강 기법으로 보강된 철근콘크리트 보의 휨 강도 산정 시 적절한 안전율을 고려하여 보수적인 설계를 한다면 KDS 41 31 00에서 제시하고 있는 합성 단면의 휨 강도 산정식을 통해 휨 강도를 산정할 수 있을 것으로 판단된다.

4.2 연성 평가

연성이란 구조물이나 부재가 항복강도를 넘는 외력에 대해 파괴되지 않고 변형하는 물질의 성질을 의미한다. 따라서 본 연구에서는 하이브리드 조립형 보강 기법을 적용한 철근콘크리트 보의 연성능력을 평가하였다.

일반적으로 보와 같은 휨 부재의 경우 최대하중 발생 이후 하중이 최대하중의 70~80%까지 저하되었을 때 급격한 하중 감소가 없는 경우 연성능력을 평가한다. 연성은 최대하중 이후의 최대변위와 항복변위의 비로 나타낼 수 있다. 본 연구에서는 최대하중의 80%까지 하중이 저하되었을 때의 변위 $\delta_{0.8P_u}$ 와 실험 항복하중 발생 시 변위 δ_y 로 나누어 연성을 산정하였으며, 이를 <Table 5>에 정리하였다.

신설보 깊이 변화에 따른 연성능력은 최소 10.01, 최대 10.30으로 차이가 없는 것으로 나타났다. 바닥판의 두께에 따른 연성능력은 최소 7.47, 최대 10.01로 바닥판의 두께가 증가함에 따라 연성능력이 저하되는 것을 확인하였다. 또한 인장보강재의 개수가 증가할수록 연성능력이 다소 증가하는 것을 확인하였다.

<Table 5> Analysis of ductility capacity

No.	Specimens	$\delta_{0.8P_u}$ (mm)	δ_y (mm)	$\delta_{0.8P_u} / \delta_y$
1	RC	64.78	18.09	3.58
2	D1-T1-2	134.88	13.48	10.01
3	D2-T1-2	140.13	13.61	10.30
4	D1-T2-2	121.52	16.27	7.47
5	D1-T2-4	134.43	13.90	9.67
6	D1-T2-0	120.75	14.61	8.26

$\delta_{0.8P_u}$: Displacement at 80% of the ultimate load after the ultimate load, δ_y : Yield displacement

하이브리드 조립형 보강 기법을 적용한 철근콘크리트 보의 연성능력은 최소 7.47, 최대 10.30이며, 평균 9.14로 철근콘크리트 보와 비교하였을 때 약 2.55배 높게 산정되었다. 따라서 하이브리드 조립형 보강 기법을 이용하여 기존 부재를 보강할 경우 높은 연성능력을 발휘할 수 있을 것으로 판단된다.

4.3 에너지소산능력

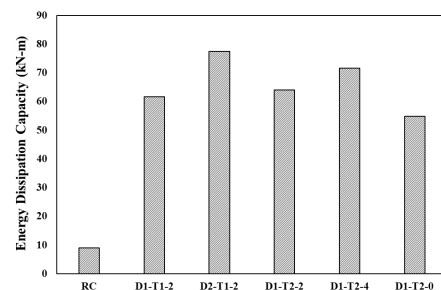
에너지소산능력은 구조물 및 부재에 가해지는 에너지를 흡수할 수 있는 능력으로 부재의 연성 평가 요소 중 하나이다. 에너지소산능력은 시험체의 하중-변위 곡선으로 둘러싸인 면적의 합으로 평가하였다.

하이브리드 조립형 보강 기법을 적용한 철근콘크리트 보의 에너지소산능력을 평가하여 <Fig. 16>과 같이 정리하였다. 본 연구에서 수행한 시험체의 에너지소산능력은 최소 54.87kN-m, 최대 77.44kN-m로 평균 65.9kN-m로 산정하였다. 철근콘크리트 보에 비해 약 7.34배 높은 에너지소산능력을 보였다.

에너지소산능력을 분석한 결과, 신설보 깊이가 증가함에 따라 61.61kN-m, 77.44kN-m로 나타났으며, 바닥판의 두께 증가 시 61.61kN-m, 64.02kN-m로 나타났다. 인장보강재의 개수에 따른 에너지소산능력은 54.87kN-m, 64.02kN-m, 71.55kN-m로 나타났다. 신설보의 깊이, 인장보강재의 개수에 따라 증가하였고, 바닥판 두께에 따른 차이는 미미한 것으로 확인하였다.

5. 결론

본 연구에서는 구조성능 향상 및 시공성이 개선된 하이브리드 조립형 보강 기법을 적용한 철근콘크리트 보에 관하여 휨 실험을 수행하였다. 또한 실험 결과를 토



<Fig. 16> Analysis of energy dissipation capacity

대로 휨 강도 및 연성능력, 에너지소산능력을 평가하였다. 연구를 통해 얻은 주요 결론은 다음과 같다.

1) 휨 실험 결과, 공칭하중에 대한 실험 최대하중의 비는 평균 1.02로 나타났으며, 신설보의 깊이 및 바닥판의 두께가 증가함에 따라 최대하중이 증가하였다. 인장보강재의 유무에 따라 최대하중이 증가하였으며, 인장보강재의 개수가 늘어남에 따라 최대하중의 차이는 없으나 최대처짐이 증가하였다.

2) 신설보의 깊이 및 바닥판의 두께를 변수로 시험체의 파괴 및 균열 양상을 비교한 결과, 모든 시험체는 콘크리트 보 상부의 압괴로 인해 파괴되었으며, 신설보의 깊이 및 바닥판의 두께가 두꺼울수록 압괴로 인한 콘크리트의 탈락 및 균열 면적이 증가한 것으로 나타났다.

3) KDS 41 31 00에 따라 합성 단면의 공칭휨강도를 소성응력분포법을 이용하여 산정하였다. 공칭휨강도에 대한 시험체의 휨 강도비는 평균 0.98로 적절한 안전율을 고려하여 설계한다면 국내설계기준에서 제시하고 있는 휨 강도 평가식을 적용할 수 있을 것으로 판단된다.

4) 하이브리드 조립형 보강 기법을 적용한 철근콘크리트 보의 실험 결과, 바닥판 두께 변화가 연성능력에 영향을 주었으며, 신설보의 깊이 및 인장보강재의 개수가 에너지소산능력에 영향을 미치는 주요 인자인 것을 확인하였다. 기존 철근콘크리트와 구조 성능을 비교한 결과, 휨 강도는 평균 3.3배, 변형능력은 평균 2.55배, 에너지소산능력은 평균 7.34배가 증가하여 충분한 연성능력을 확보할 수 있는 것으로 판단된다.

감사의 글

이 성과는 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(No. 2019R1A2C1090033).

References

1. Al-Salloum, Y., Siddiqui, N. A., Elsanadedy, H. M., Abadel, A. A., & Aqel, M., "Textile-Reinforced Mortar versus FRP as Strengthening Material for Seismically Deficient RC Beam-Column Joints", *Journal of Composites for Construction*, Vol.15,

- No.6, pp.920~933, 2011, doi: 10.1061/(ASCE)CC.1943-5614.0000222
2. Lee, K. I., Yoon, H. S., & Yang, K. H., "Compressive and Adhesive Strengths of Mortars using Re-emulsification Type Polymer and Ultra-Rapid-Hardening Cement", *Journal of the Korea Institute of Building Construction*, Vol.18, No.4, pp.329~335, 2018, doi: 10.5345/JKIBC.2018.18.4.329
3. Choi, H. B., & Ko, D. W., "Evaluation of Flexural Capacity of RC Jacketed Concrete Beam", *Korean Society for Advanced Composite Structures*, Vol.9, No.3, pp.64~72, 2018, doi: 10.11004/kosacs.2018.9.3.064
4. Cho, S., & Kim, S., "An Experimental Study on Bending Performance of HyFo Composite Beam", *Journal of the Korean Society of Hazard Mitigation*, Vol.16, No.6, pp.9~19, 2016, doi: 10.9798/KOSHAM.2016.16.6.9
5. Jun, S. C., Han, K. H., Lee, C. H., & Kim, J. W., "Flexural Testing of Asymmetric Hybrid Composite Beams Fabricated from High-strength Steels", *Journal of Korean Society of Steel Construction*, Vol.29, No.3, pp.217~228, 2017, doi: 10.7781/kjoss.2017.29.3.217
6. Hadi, M. N. S., & Yuan, J. S., "Experimental investigation of composite beams reinforced with GFRP I-beam and steel bars", *Construction and Building Materials*, Vol.144, pp.462~474, 2017, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2017.03.217
7. Moon, S. P., Lee, S. H., Lee, Y. H., & Kim, M. S., "Analytical Study on Hybrid Prefabricated Retrofit Method for Reinforced Concrete Beams", *Journal of Korean Association for Spatial Structures*,

Vol.20, No.3, pp.71~79, 2020, doi:
10.9712/KASS.2020.20.3.71

8. KDS 41 31 00, Korean Design Standard, Korea Construction Standard Center, 2019.
9. Sheikh, S. A., & Houry, S. S., "A Performance-Based Approach for the Design of Confining in Tie Columns", ACI Structural Journal, Vol.94, No.4, pp.421~431, 1997

- Received : October 06, 2020
- Revised : October 27, 2020
- Accepted : November 05, 2020