

HRC 복합보의 연결플레이트 보강법에 따른 구조성능실험

An Experimental Study on Structural Performance of HRC Composite Beam according to types of Connection Plate with Stud Bolts

이 수 권¹⁾ · 양 재 근²⁾ · 송 창 석³⁾ · 장 은 영⁴⁾ · 문 준 철⁵⁾
Lee, Soo Kueon Yang, Jae Guen Song, Chang Seok Jang, Eun Young Moon, Jun Chul

요약 : 최근에 국내의 건설현장에서는 공기단축과 시공성 향상을 위하여 구조분야에서 다양한 공법이 개발되고 있으며 HRC 공법도 그중 하나로서 주차장이나 사무소 건물에 적용이 가능하다. 이 공법은 구조적 효율성을 높이기 위하여 보의 중간에 겔버 조인트를 도입하고 있으며, 핀 접합부에는 공장에서 제작되는 HRC 복합보 내부에 스티드 볼트가 용접된 연결플레이트를 삽입하여 현장에서 철골보와 볼트접합이 가능하도록 하였다. 이 연구에서는 철골보와의 핀접합을 위해 HRC 복합보의 내부에 삽입된 연결플레이트와 콘크리트와의 일체성 확보를 검증하기 위하여 6개의 실험체에 대하여 연결플레이트의 길이와 높이, 플레이트에 용접되는 스티드 볼트의 수를 변수로 하여 실험을 실시하였다. 실험결과는 처짐과 철근의 변형도에 대하여 현행규준에 따라 비교하였다. 실험결과 주어진 하중의 범위 내에서 스티드 볼트가 용접된 연결플레이트와 철근콘크리트보는 일체성을 확보하고 있는 것으로 조사되었다.

ABSTRACT : Recently, for the purpose of reducing work terms and improving performance for construction work, various methods in structure field were developed. This included the HRC system which is applicable to a typical structure (e.g., parking and office building). The HRC system introduced the Gerber Joint to raise structural efficiency and used connection plate to bolt HRC composite beam to H beam in the construction field.

In this research, the experimental tests for six specimens, which were in the same field conditions, were conducted with several parameters such as the length and height of the connection plate and the number of stub bolts. The test result was compared with those made by current design codes for the deflection and strains of the main bar. Within the given load, the integration of concrete in beam and connection plate, welded with stud bolts, was verified.

핵심용어 : 겔버조인트, 연결플레이트, T형보, 스티드 볼트

KEYWORDS : Gerber joint, connection plate, T-beam, stud bolt

1. 서론

최근의 우리나라의 건설업계에서는 인건비 상승, 현장에서 숙련된 기능인력의 부족, 건축 자재 확보의 어려움 등으로 인하여 시공성 향상은 물론 공기단축과 비용절감을 위해 다양한 공법이 개발되고 있다.

이러한 시대의 흐름에 따라 개발된 HRC 공법(Hybrid Reinforced Concrete System with Gerber Joint)의 경우도 주차장과 같은 용도의 건축물에 토목의 교량에서 널리 사용되고 있는 겔버보의 개념에 철골과 개량된 PC보(이하 HRC 복합보)를 사용하여 구조적 효율성을 높이고, 철골과 철근콘크리트의 장점을 살리기 위해 개발된 공법이다.

1) 교신저자. 동양미래대학 건축과 교수, 공학박사, 구조기술사
(Tel: 02-2610-1807, Fax: 02-2610-1857, E-mail: sklee@dongyang.ac.kr)
2) 인하대학교 건축공학과 교수, 공학박사(jyang@inha.ac.kr)
3) (주)한주ST 대표(mjcs1@paran.com)
4) (주)한주ST 이사(pmjey@naver.com)
5) 한라건설(주) 기술개발부 이사(p08478@halla.co.kr)

본 논문에 대한 토의를 2011년 12월 31일까지 학회로 보내주시면 토의 회답을 게재하겠습니다.

HRC 복합보는 그림 1과 같이 철골보와의 볼트접합을 위해 스테드 볼트가 용접된 삽입 플레이트와 공장에서 타설된 PC로 이루어져 있으며, 공장에서 PC로 제작된 후 현장으로 운반되어 고력볼트를 사용하여 철골보와 핀접합된 후 현장 타설된 콘크리트 슬래브와 일체로 되어 T형보로 거동한다.

그림 2(a)와 같이 연속된 강접골조의 경우 단부는 완전고정에 가깝게 되어 단부의 휨모멘트가 중앙부에 비해 2배 정도로 커지게 되어 부재의 크기는 단부의 휨모멘트에 의해 결정

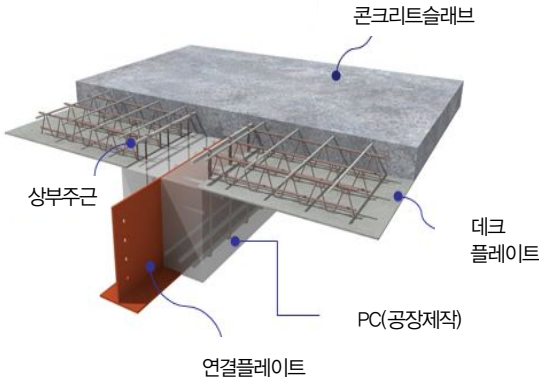


그림 1. HRC 복합보의 형상

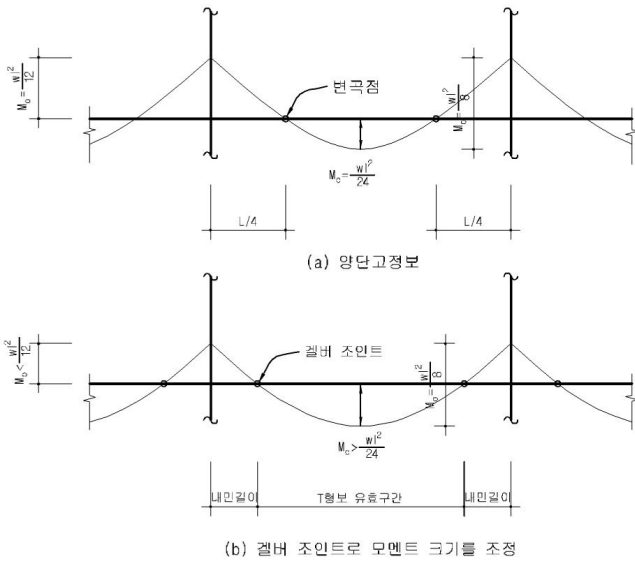


그림 2. 겹베조인트 개념을 도입한 모멘트 재분포

되므로, 중앙부는 비경제적인 설계가 된다. 이 때 정모멘트와 부모멘트는 대략 보길이의 1/4지점에서 바뀌게 되는데 겹베보에서는 겹베조인트에 의하여 변곡점이 정해지므로 이러한 변곡점의 위치를 그림 2(b)에서와 같이 단부 쪽으로 강제적으로 이동시키면 단부의 부모멘트는 줄어 들고 중앙부의 정모멘트는 커지게 되어 단부와 중앙부의 휨모멘트 크기의 차가 줄어들어 보다 경제적인 설계가 가능하다. HRC 공법은 공장에서 제작된 HRC 복합보에 이러한 겹베보의 개념을 도입한

것으로서 부모멘트가 작용하는 단부 부분은 H형강이, 정모멘트가 작용하는 중앙부는 HRC 복합보가 현장에서 타설된 콘크리트 슬래브와 일체를 이루어 T형보로 지지하는 방식이다. 이 공법을 적용하면 휨모멘트 분포의 최적화와 더불어 철골 구조와 철근콘크리트가 가지는 장점만을 이용함으로써 처짐 및 내력에 유리한 구조가 되어 기존의 공법보다 보부재의 춤을 100~250mm 정도 낮출 수 있어 층고절감은 물론이고, 철골 물량감소로 인한 공사비 절감으로 경제성을 극대화할 수 있다. 또한 HRC 복합보를 공장에서 PC로 제작하여 현장에 반입한 후 현장에서 철골조와 동일하게 고력볼트만을 사용하여 핀접합되므로 철골구조와 동등 수준의 품질 확보 및 공기단축이 가능하다.

HRC 복합보는 철근콘크리트 T형보의 웹 부분에 구조계산에 의해 산정된 스테드 볼트가 용접된 플레이트를 삽입하여 공장에서 제작되고, 현장에서는 T형보에 삽입된 플레이트와 H형강을 고력볼트로 핀접합 한 후 현장에서 슬래브 부분의 콘크리트를 타설하여 일체화시킨다. T형보 내부에 삽입된 연결플레이트는 단순지지된 T형보의 전단력을 지지하면서 동시에 H형강과 철근콘크리트 T형보를 힌지(hinge)로 접합하기 위한 용도이므로 H형강 웹의 두께와 동일한 것을 사용하는 것이 바람직하며 연결플레이트 단부의 콘크리트가 채워지지 않는 부분은 구조적 안정성을 높이기 위하여 하부에 플레이트를 용접하여 제작한다. 또한 연결플레이트와 콘크리트와의 일체성 확보를 위하여 플레이트에 구조계산에 의해 산정된 스테드 볼트를 일정한 간격으로 설치하고 스테더를 배근한다.

이 연구의 목적은 실험을 통하여 HRC 복합보가 가지는 구조적 거동과 하중지지능력을 평가하고, 철골보와 핀접합을 위해 콘크리트 내에 삽입되는 연결플레이트의 일체성을 검증하는 것이다.

2. 이론적 고찰

HRC 복합보에 대한 실험결과를 콘크리트설계기준에 따른 이론식과 비교·검토하기 위하여 그림 3과 같은 실험체 단면에 대하여 T형보가 공칭휨강도에 도달하기 위한 가력하중을 산정한 후 이 가력하중에 대해 처짐 및 연결플레이트에 용접되는 시어커넥터의 개수를 산정하면 다음과 같다.

2.1 T형보의 공칭휨강도

시험체의 단면상세는 그림 3(a)와 같고, 주인장철근은 9-D22, 상부 플랜지의 압축철근은 2-D19로 배근되어 있으며, 시험체에 대한 공칭강도는 콘크리트의 압축강도와 인장철

근의 항복강도를 각각 $f_{ck} = 24 \text{ MPa}$, $F_y = 400 \text{ MPa}$ 으로 가정하여 다음과 같이 산정하였다.

- 등가응력블록폭깊이

$$a = \frac{(A_s - A_s') F_y}{0.85 f_{ck} b} = 76.1 \text{ mm} < 150 \text{ mm}$$

이므로 중립축이 T형보의 플랜지에 위치한 것을 알 수 있다.

- T형보의 공칭모멘트 M_n

$$M_n = A_s' f_y (d - d') + (A_s - A_s') f_y \left(d - \frac{a}{2} \right) = 594.4 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

- 공칭하중 P_n

앞에서 구한 공칭모멘트의 값을 실험조건과 동일하게 하기 위하여 스패인 4.0m이고 중앙부 집중하중을 받는 단순보의 휨모멘트 산정공식을 사용하면

$$P_n = \frac{4 \times M_n}{l} = \frac{4 \times 594.4}{4} = 594.4 \text{ kN}$$

으로 구할 수 있다. 따라서 이 실험에서는 실험체가 앞에서 구한 공칭강도에 도달할 때까지 콘크리트 내부에 삽입된 연결 플레이트가 콘크리트와 분리되지 않아야 HRC 공법이 구조적으로 제기능을 발휘할 수 있다.

2.2 T형보의 처짐

2.1절에서 구한 공칭하중을 실험체에 가력하였을 때 실험체 중앙부에 생기는 최대처짐을 콘크리트설계기준(한국콘크리트학회, 2008)에 따라 산정하면 다음과 같다.

- 유효단면 2차모멘트

$$I_e = \left(\frac{M_{cr}}{M_a} \right)^3 I_g + \left[1 - \left(\frac{M_{cr}}{M_a} \right)^3 \right] I_{cr} = \left(\frac{72.3}{607.5} \right)^3 \times 7,340 \times 10^6 + \left[1 - \left(\frac{72.3}{607.5} \right)^3 \right] \times 3,364 \times 10^6 = 3,371 \times 10^6 \text{ mm}^4$$

- 콘크리트 탄성계수

$$E_c = 8,500 \sqrt{f_{cu}} = 26,986 \text{ MPa}$$

- 처짐 산정

$$(\Delta_i)_{d+l} = \frac{5 \times 6500 \times 4 \times 4,000^3}{384 \times 26,986 \times 3,371 \times 10^6} + \frac{594.4 \times 10^3 \times 4,000^3}{48 \times 26,986 \times 3,371 \times 10^6} = 0.238 + 8.712 = 8.95 \text{ mm}$$

2.3 시어커넥터의 산정

HRC 복합보 내부에 삽입되는 연결플레이트와 콘크리트와의 일체성 확보를 위해 시어커넥터를 연결플레이트에 용접하며, 연결플레이트와 콘크리트 사이에 발생하는 전단력은 시어커넥터가 모두 부담하는 것으로 한다. 2.1절에서 구한 공칭하중이 작용할 때 필요한 시어커넥터의 개수를 강구조 설계기준(한국강구조학회, 2003)에 따라 산정하면 다음과 같다.

$\phi 16$ 의 스티드커넥터를 사용하는 경우 감소계수 $R_q = 1.0$ 이므로 콘크리트에 매입된 스티드커넥터 한 개의 허용내력 V_{sa} 는 다음과 같이 산정한다.

$$Q_n = 0.5 A_{sc} \sqrt{f_{ck} E_c} \leq A_{sc} F_u = 0.5 \times 199 \times \sqrt{24 \times 26,986} / 10^3 = 80.0 \text{ kN} \leq 199 \times 400 / 10^3 = 79.6 \text{ kN}$$

따라서 공칭하중이 작용할 때 필요한 스티드커넥터의 개수는

$$n_s = V / Q_n = (594.4 / 2) / 79.6 = 3.73 \text{ 개}$$

이다. 따라서 가장 불리한 시험체에 사용된 스티드커넥터의 개수는 20개이므로 연결플레이트는 충분히 안전하게 설계되어 있음을 알 수 있다.

3. 실험계획 및 방법

3.1 실험계획

일반적으로 T형보에 대한 구조적 거동은 기존에 이론적으로 충분히 검증되어 있으며, 연결플레이트의 삽입으로 인해 휨강도에 커다란 차이는 없을 것으로 판단되므로 시험체의 계획은 T형보의 휨강도보다는 연결플레이트와 철근콘크리트보와의 하중전달과정을 규명하는 것을 주요 목적으로 하였다. 실무적으로 겔버 조인트에 작용하는 전단력은 최대 200 kN 내외가 될 것으로 예측되므로 고력볼트 집합부는 F10T- M20의 양면

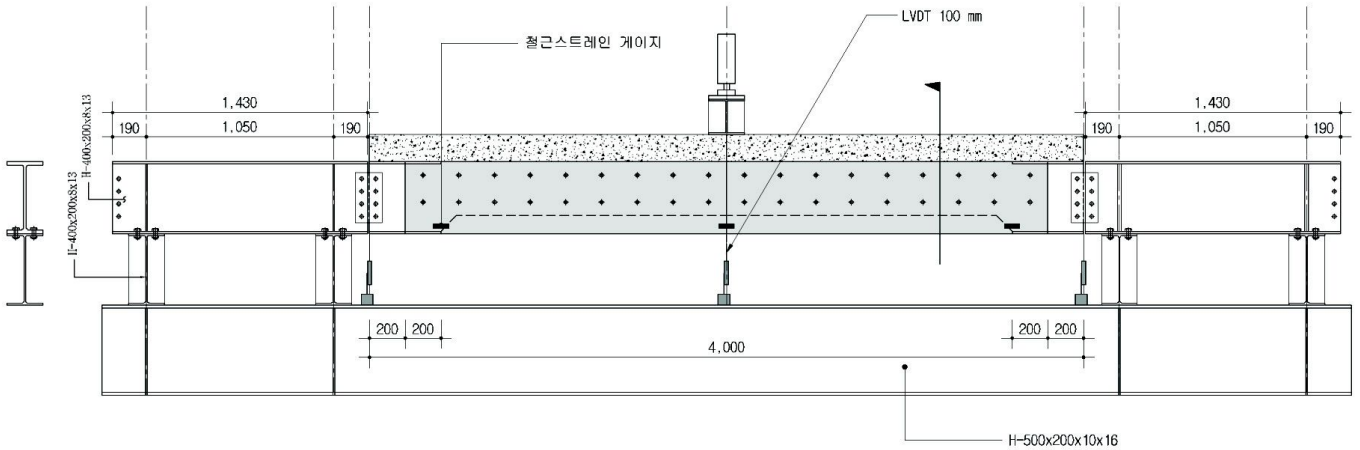


그림 4. 실험체의 가력장치

표 1. 실험체 일람표

시험체명	연결 플레이트	플레이트 높이(mm)	스터립 간격	플레이트 길이(m)	예상파괴하중(kN)		비 고
					휨인장	볼트전단	
HRC-CP-h300-N	연속	300	D10@300	4.0	586	600	
HRC-CP-h300-TF	연속	300	D10@300	4.0	586	600	
HRC-CP-h400-N	연속	400	D10@300	4.0	586	600	
HRC-DP-L1.1-s200-N	불연속	300	D10@200	1.1	586	600	
HRC-DP-L1.5-s200-N	불연속	300	D10@200	1.5	586	600	
HRC-DP-L1.1-s200-TF	불연속	300	D10@200	1.1	586	600	

1) HRC-CP-h300-s200-TF

- 상부 플레이트 보강
- 스터립 간격: 200 mm, 300 mm
- 삽입플레이트 높이 h: 300 mm, 400 mm, 길이 L: 1.1, 1.5 m
- CP:연속 플레이트, DP:불연속 플레이트

- 2) 주인장 하부철근은 전구간 9HD22인.
- 3) 파괴시 하중은 중앙부 1점 가력시의 값임.
- 4) 스티드 볼트 $\varnothing 16@200$ (양면)

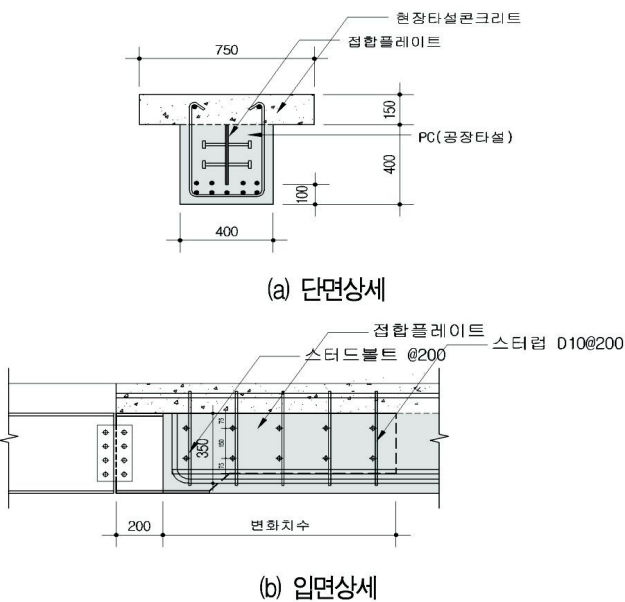


그림 3. 실험체 상세

접합으로 설계하였으며 휨철근의 경우는 실험실의 가력조건을 고려하여 9-HD22로 배근하여 휨에 의한 파괴가 생기기 전에 연결플레이트와의 접합부에서 파괴가 생기도록 계획하였다.

이 연구에서는 T형보의 경우 PC보 내부에 삽입된 플레이트의 영향에 따른 휨과 전단 및 처짐에 대한 구조성능을, 겹보 조인트의 경우는 웨브에 고력볼트를 사용한 핀접합의 거동과 연결 플레이트와 스티드 볼트를 통한 하중의 전달에 대해 분석한다. 이를 위해 시험체를 우선 연결플레이트의 연속, 불연속으로 구분한 후 연속플레이트의 경우에는 연결 플레이트의 높이와 접합부 부분의 상부 플랜지 보강 유무를 변수로 하였으며, 불연속플레이트의 경우는 플레이트의 콘크리트에 묻히는 길이가 하중전달에 미치는 영향을 조사하기 위해 철근콘크리트 보의 춤의 2배에 해당하는 1.1 m와 1.5 m로 하였으며 또한 상부 플랜지의 보강 유무로 하였다. 연결플레이트와 철근콘크리트 보와의 일체성 확보를 위해 스티드 볼트를 2열- $\varnothing 16$

@200으로 배치하였으며 이 때 연결플레이트에 용접되는 스테드 볼트는 용접성을 고려하여 서로 엇갈리게 하였다. 스테럽은 연속 플레이트의 경우에는 연결 플레이트의 전단강도에 대한 기여도를 고려하여 D10@300으로 하였으며 불연속플레이트 경우에는 전구간에 걸쳐 D10@200으로 하였다. 시험체의 상세와 계획에 대한 것은 각각 그림 4, 표 1과 같다.



그림 5. 공장에서 제작된 HRC 복합보

3.2 실험방법

실험체의 설치 및 가력장치는 그림 4와 같이 H형강을 내민 보로 설치한 후 공장에서 제작한 HRC 복합보를 실험실에서 조립한 후, 하중은 최대용량이 2,000 kN인 유압잭을 사용하여 보중앙에 집중하중으로 가력한다.

관첩합부 부분과 T형보 중앙부와 단부에 LVDT(1/100 mm)를 설치하여 하중 변위 곡선을 구하고, 스트레인 게이지는 인장응력을 받는 철근과 내부 플레이트의 스트레인 게이지를 부착한 후 TDS-302를 사용하여 변형률을 측정할 후 하중 변형률 곡선을 구한다. 그림 4에 나타난 바와 같이 인장철근의 스트레인 게이지는 연결플레이트의 양쪽 단부로부터 400 mm 떨어진 곳과 중앙부에 설치되었으며, 인장철근의 스트레인 게이지가 부착되는 동일한 위치에 스테럽과 연결플레이트에 게이지를 부착하여 거동의 일체성을 확인할 수 있도록 하였다.

연결플레이트의 상부와 하부에 각각 LVDT를 설치하여 실험체가 가력되는 동안에 연결플레이트의 변화가 생기는지 확인할 수 있도록 하였다.

이 외에 LVDT를 HRC 복합보 양단부의 철근용 스트레인 게이지 부착위치와 중앙부에 설치하여 처짐을 측정할 수 있도록 하였다. 모든 LVDT는 최대 변위 50 mm의 값을 측정할 수 있고 0.005 mm 단위로 측정이 되었다.

그림 5는 공장에서 제작된 HRC 복합보를 나타내고 있다.

4. 실험결과

4.1 재료실험결과

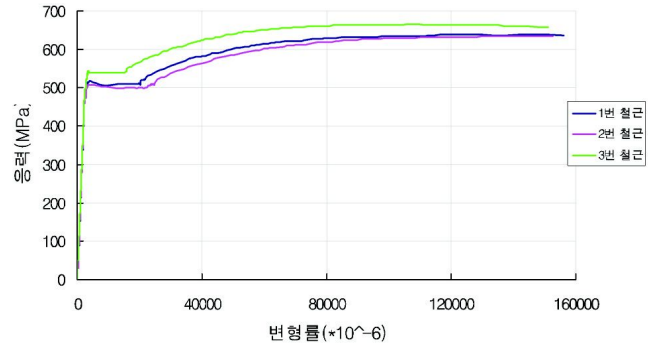


그림 6. 주인장철근의 응력-변형률 곡선

시험체에 사용된 콘크리트, 주인장철근 및 연결플레이트에 대한 재료 실험결과와 주인장철근의 응력-변형률 그래프는 그림 6과 같다. 콘크리트 공시체의 경우 설계 압축강도는 24 MPa이었지만 KS F 2405 콘크리트 압축강도시험 방법에 따른 결과 모든 공시체의 콘크리트 압축강도는 평균 34.3 MPa로써 설계 강도보다 상회하고 있는 것을 알 수 있다. 주인장철근의 경우도 $F_y = 400$ MPa의 항복강도를 가지고 있지만 재료실험결과에 의하면 $F_y = 520$ MPa의 값으로 항복강도보다 크게 나타났다. 연결 플레이트의 시험편에 대한 경우도 평균 $F_y = 306.3$ MPa로 나와 기준항복강도 $F_y = 235$ MPa보다 크게 나타났다.

4.2 실험결과 분석

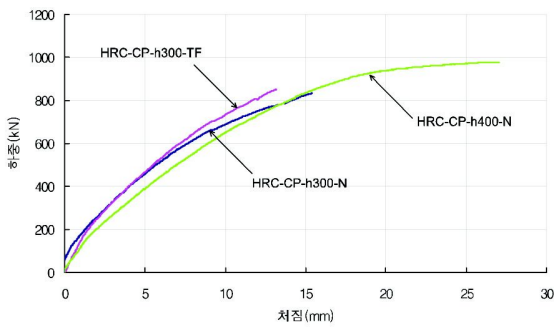
4.2.1 CP 계열 시험체

그림 7은 T형보 내부에 삽입된 연결플레이트가 연속인 실험체의 경우 작용하중에 대한 실험체의 처짐과 중앙부 최대 인장 변형률을 비교한 그래프이다. 연속플레이트의 경우 연결플레이트 웨브의 높이, 연결플레이트 상부 플랜지 보강 유무에 관계 없이 처짐이나 주인장철근의 변형률에 큰 차이가 없음을 알 수 있다. HRC-CP-h300-N, HRC-CP-h300-TF 시험체의 경우는 가력 장치의 용량이 1,000 kN 밖에 되지 않아 안전율을 고려하여 800 kN에서 제하하였다. 나머지 시험체는 최종 파괴 상태까지 가력하기 위하여 가력 장치의 용량을 2,000 kN으로 늘려서 실험하였다. 설계 예상 파괴하중은 콘크리트의 강도와 주인장철근의 강도가 각각 24 MPa, 400 MPa일 경우에 휨인장에 의한 하중이 594.4 kN이고, 고력볼트 전단에 의한 하중이 600 kN이기 때문에 두 시험체 모두 주인장철근이 완전히 항복하기 전에 예상 파괴하중을 넘어섰으므로 안전하다고 판단한다. 가력 장치의 용량을 2,000 kN으로 올려서 실험을 한

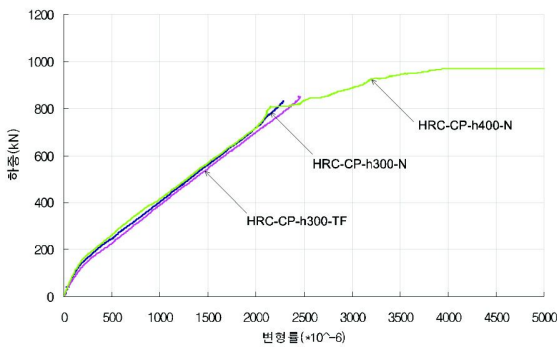
HRC-CP-h400-N의 경우 최대하중은 900 kN이었고, 이때 압축을 받는 T형보의 상단에서 콘크리트의 완전 압괴가 생기고, 주인장철근의 변형률은 0.02이었다. 또한 최대하중이 작용한 경우에도 고력볼트 접합부에서 고력볼트의 전단이나 슬립에 의한 변형은 관찰되지 않았다. CP 계열 시험체의 경우 중앙

표 2. 공칭하중에서의 CP계열 시험체

시험체 명	최대 처짐(mm)		철근 변형률
	실험값	이론값	
HRC-CP-h300-N	7.52	8.95	0.0016
HRC-CP-h300-TF	7.04	8.95	0.0017
HRC-CP-h400-N	8.80	8.95	0.0016



(a) 하중-처짐 곡선



(b) 하중-변형률 곡선

그림 7. CP 계열 시험체의 비교

부 최대처짐은 모두 이론값보다 작게 나오고 있는데 이는 연속 플레이트가 보의 강성에 기여했기 때문이고, 또한 주인장철근의 변형률도 아직 항복에 이르지 않고 있는데 이 또한 연속플레이트가 보의 내력에 기여하고 있기 때문이다. CP 계열 시험체 모두 최대하중을 가력할 때까지 연결플레이트와 콘크리트의 분리현상은 보이지 않고 있어 콘크리트와 연결플레이트는 일체화된 것으로 판단된다.

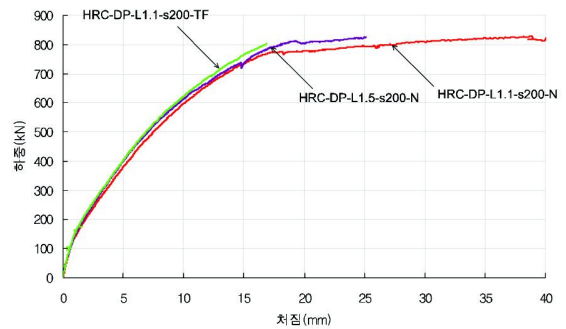
4.2.2 DP 계열 시험체

표 3과 그림 8에 나타난 바와 같이 불연속 연결플레이트가 삽입된 시험체의 경우도 모든 시험체가 처짐과 변형률이 유

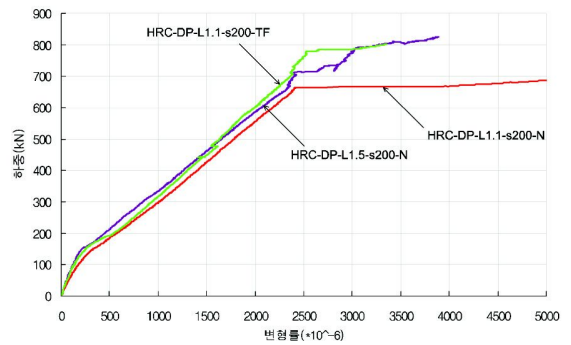
사한 것으로 나타났다. 예상된 바와 같이 CP 계열의 시험체보다 처짐과 변형률이 모두 크게 나왔으며, 중앙부 최대처짐의 경우 이론값보다 실험값이 약간 크게 나왔으나 오차는 허용범위 이내인 것으로 판단된다. CP 계열과 달리 주인장철근

표 3. 공칭하중에서 DP 계열의 시험체

시험체 명	최대 처짐(mm)		철근 변형률
	실험값	이론값	
HRC-DP-L1.1-s200-N	9.95	8.95	0.0022
HRC-DP-L1.5-s200-N	9.46	8.95	0.0020
HRC-DP-L1.1-s200-TF	9.22	8.95	0.0020



(a) 하중-처짐 곡선



(b) 하중-변형률 곡선

그림 8. DP 계열 시험체의 비교

의 변형률의 경우 철근이 항복한 이후 연결플레이트의 기여가 없기 때문에 일반적인 철근콘크리트 보에서와 같은 소성흐름을 보이고 있음을 알 수 있다.

4.2.3 연결플레이트 길이에 따른 비교

그림 9는 T형보에 삽입되는 연결플레이트 길이를 변수로 하고 나머지 조건들은 동일하게 한 실험결과이다. 그림 9(a)에 나타난 바와 같이 연결플레이트 상부 플랜지 보강이 되지 않은 N 계열 시험체의 경우 연결플레이트의 길이가 각각 1.1 m, 1.5 m인 경우 거의 동일한 하중-처짐 양상을 보이고 있어 불연속인 경우 연결플레이트의 길이가 처짐에 미치는 영향은 크지 않은 것을 알 수 있다. 그러나 연결플레이트가 연속인 경우

와 불연속인 경우로 구분하여 비교하면 공칭하중이 작용할 때 처짐의 차이가 최대 2 mm 이내로 나타나고 있어 연속된 연결 플레이트의 경우는 연결플레이트가 보의 휨강성에 어느 정도는 기여하고 있는 것으로 나타났다. 그림 9(b)의 하중-변형률의 경우도 하중-처짐에서와 같이 불연속 플레이트의 경우 플레이트의 길이에 따른 차이는 크지 않으나 연결플레이트가 연속인 경우가 불연속인 경우보다 항복하중이 비교적 크게 나와 하중-처짐의 경우보다 연속된 연결플레이트가 보의 휨내력에 주는 영향이 크기 때문인 것으로 판단된다.

HRC-CP-h300-N 시험체 역시 하중을 더 받을 수 있을 것으로 예측되었으나 소기의 실험결과를 얻은 후에 최종 파괴까지 가력은 하지 않았다. HRC-DP-L1.5-s200-N 시험체의 중앙부 최대 변형률이 0.0024를 넘어선 부근에서 급격한 변형률의 증가를 보이는 것은 볼트 접합부에서의 미끄러짐 현상으로 인한 것으로 판단되며 이는 하중-처짐 곡선과 비틀림

현상을 나타내는 곡선에서도 확인이 되었다. 공칭하중에서의 연결플레이트 길이에 대한 중앙부 처짐과 변형률은 표 4에 정리되어 있다.

4.2.4 연결플레이트의 춤과 상부플랜지 보강에 따른 비교

그림 10은 연속된 연결플레이트가 삽입된 경우 다른 조건은 동일하게 하고 연결플레이트의 춤을 300 mm와 400 mm의 변수로 하여 비교한 그래프이다. 그림에 나타난 바와 같이 두 시험체 모두 처짐과 변형률에 차이가 거의 없는 것으로 나타나 연결플레이트의 춤은 시험체의 거동에 큰 영향을 주지 않는 것으로 나타났다. 따라서 연결플레이트의 춤은 콘크리트보의 춤에 따른 시공성을 고려하여 결정할 수 있다.

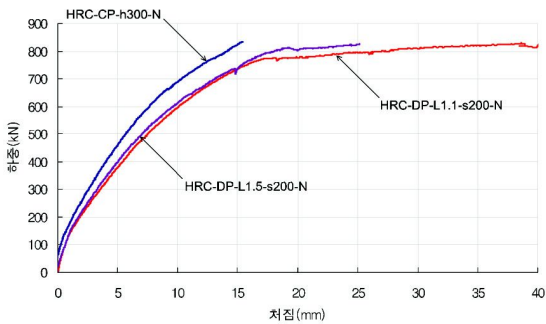
보상부 데크플레이트의 설치시 시공성을 고려하여 연결플레이트 상부에 설치되는 플랜지의 보강유무에 의한 차이는 없는 것으로 조사되었다.

표 4. 연결플레이트 길이에 따른 중앙부 최대처짐(N)

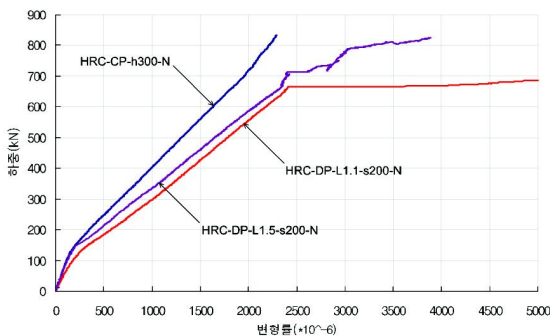
시험체 명	최대처짐		변형률
	실험값 (mm)	이론값 (mm)	
HRC-CP-h300-N	7.52	8.95	0.0016
HRC-DP-L1.1-s200-N	9.95	8.95	0.0022
HRC-DP-L1.5-s200-N	9.46	8.95	0.0020

표 5. 연결플레이트 춤에 따른 비교

시험체 명	최대처짐		변형률
	실험값 (mm)	이론값 (mm)	
HRC-CP-h300-N	7.52	8.95	0.0016
HRC-CP-h400-N	8.80	8.95	0.0016

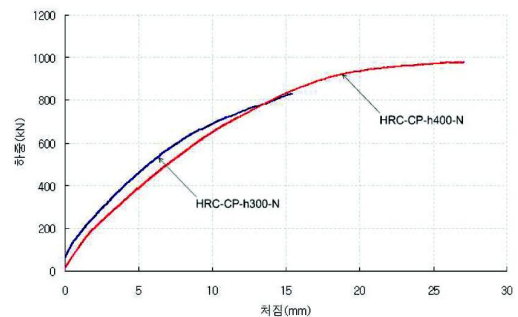


(a) 하중-처짐 곡선

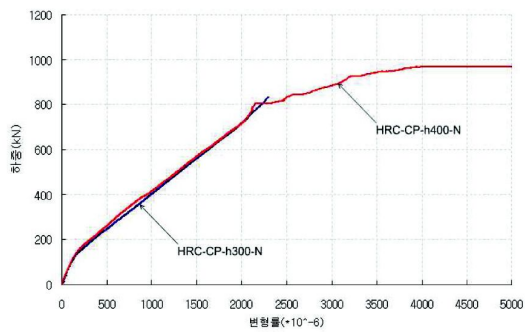


(b) 하중-변형률 곡선

그림 9. 연결플레이트의 길이에 따른 비교(N)



(a) 하중-처짐 곡선



(b) 하중-변형률 곡선

그림 10. 연결플레이트의 춤에 따른 비교

4.2.5 연결플레이트와 콘크리트의 부착

공장에서 콘크리트 타설 전에 미리 매입된 연결플레이트와 콘크리트와의 접합부 부분은 HRC 복합보의 핵심이 되는 사항으로서 겔버조인트 내부의 단순지지된 T형보가 공칭강도에 도달할 때까지 연결플레이트와 콘크리트와 접합부 부분에 균열이나 분리현상이 발생되어서는 안된다.

실험결과 불연속 연결플레이트의 경우 연결플레이트의 길이에 관계없이 콘크리트 타설 시점에서 시험체가 최종 파괴에 이를 때까지 접합부 부분에 균열이나 분리현상은 발견되지 않아 접합부 부분은 충분히 안전한 것으로 조사되었다. 또한 연결플레이트의 높이를 300mm와 400mm로 하여 비교한 결과에도 큰 차이가 없는 것으로 조사되어 시공성을 고려하여 연결플레이트의 높이를 300mm로 하는 것이 바람직한 것으로 판단된다. 불연속 연결플레이트의 경우도 길이가 1.1m나 1.5m 모두 안전한 것으로 조사되었으나 접합부의 안전에 대한 중요성을 고려하여 연결플레이트의 길이는 1.5m 정도로 하는 것이 바람직하다.

HRC-CP-h400-N 시험체의 경우 최대가력하중 980 kN에서 단부 쪽의 윗부분에서 연결플레이트가 분리되는 균열이 발생하였으나 작용하중이 980 kN인 경우는 HRC 복합보의 주인장철근이 완전 항복한 상태 이후이므로 접합부는 안전한 것으로 판단된다.

연속플레이트의 경우는 불연속플레이트보다 접합성능도 우수하고 T형보의 휨 및 전단내력에 기여하고 있는 것으로 조사되었으나 시공성을 고려하여 적용하는 것이 바람직하다.

5. 결론

HRC 복합보의 구조성능 평가를 위해 연결플레이트의 연속 및 불연속, 길이 및 높이, 연결플레이트의 상부 플랜지 보강 유무를 변수로 한 실험결과에서 다음과 같은 결론을 도출하였다.

- (1) 시험체 제작과정과 시험체의 세팅 및 실험 완료까지 시험체와 삽입플레이트의 부착에 대한 균열과 같은 문제점은 발생하지 않았으며, 처짐은 연결플레이트가 연속, 불연속 모두 허용오차 범위에 있는 것으로 조사되었다.
- (2) 콘크리트와 연결플레이트의 일체화를 위해 사용되는 스톨트 볼트의 개수는 이론적으로 4개 정도 밖에 필요하지 않으나 시공성과 안전성을 고려하여 그림 3과 같이 각면에 10개씩 지그재그로 배치한다.
- (3) 연결플레이트의 상부 플랜지 보강의 유, 무에 관계없이 연결플레이트가 불연속인 경우는 연결플레이트의 길이가 HRC 복합보의 처짐과 부재내력에 큰 영향을 주고 있지 않는 것으로 나타났으나 연결플레이트가 연속인 경

우는 연속플레이트가 HRC 복합보에 구조적으로 기여하고 있음을 알 수 있다.

- (4) 실험결과 연결플레이트의 높이는 실험체의 구조적 거동에 큰 영향을 미치지 않은 것으로 나타났으며 시공성과 콘크리트보의 춤을 고려하여 300mm 정도로 하는 것이 바람직하다. 불연속 연결플레이트의 경우 길이로 인한 일체화에는 차이가 없으나 접합부의 안전에 대한 중요성을 고려하여 연결플레이트의 길이는 1.5m 정도로 하는 것이 바람직하며 품질확보를 위해서는 PC 제작 시 연결플레이트의 정확한 위치 확보가 요구된다.
- (5) 불연속 연결플레이트가 사용된 경우에도 연결플레이트의 길이에 관계없이 콘크리트 타설 시점에서 시험체가 최종파괴에 이를 때까지 접합부 부분에 균열이나 분리현상은 발견되지 않아 연결플레이트와 콘크리트는 충분히 일체로 거동하는 것으로 조사되었다.
- (6) 연속플레이트의 경우는 불연속플레이트보다 접합성능도 우수하고 T형보의 휨 및 전단내력에 기여하고 있는 것으로 조사되었으나 시공성을 고려하여 적용하는 것이 바람직하다.
- (7) 철골보와 시험체간의 단순접합부는 허용지지력이 300 kN으로 설계하였으나 모든 시험체가 설계강도를 지나 최대하중에 도달할 까지도 접합부에 변형이 생기지 않고 안전한 것으로 나타났다.

참 고 문 헌

건설교통부(2003) 건축공사 표준시방서, 기문당.
 김상식, 윤성기(2009) 강구조설계, 문운당.
 김상식(2008) 철근콘크리트 구조설계, 문운당.
 대한건축학회(2009) 건축구조기준 및 해설, 기문당.
 한국강구조학회(2003) 허용응력설계법에 의한 강구조계산기준, 구미서관.
 한국강구조학회(2009) 하중저항계수설계법에 의한 강구조계산기준, 구미서관.
 한국콘크리트학회(2008) 2007년도 철근콘크리트 구조계산기준 및 해설, 기문당.
 강병수, 김성은, 최현식(2002) 단부 철근콘크리트-중앙부 철골로 구성된 복합보의 거동에 관한 실험적 연구, 한국강구조학회 논문집, 한국강구조학회, 제14권, 제3호, pp.413-421.
 김철환, 채원탁(2002) RC-S 복합보의 역학적 특성에 관한 실험적 연구, 한국강구조학회 논문집, 한국강구조학회, 제14권, 제5호, pp.675-682.

(접수일자 : 2011. 3. 25 / 심사일 2011. 3. 28 / 심사완료일 2011. 6. 9)