



## 중력하중을 받는 SRC기둥-합성보 접합부 실험

김영주<sup>1\*</sup> · 배재훈<sup>2</sup> · 안태상<sup>3</sup> · 장성훈<sup>4</sup>

<sup>1</sup>수석연구원, DRB동일, 건설기술연구소, <sup>2</sup>선임연구원, DRB동일, 건설기술연구소,  
<sup>3</sup>소장, DRB동일, 건설기술연구소, <sup>4</sup>팀장, 롯데건설, 기술연구원

### Test of SRC Column-to-Composite Beam Connection under Gravity Loading

Kim, Young Ju<sup>1\*</sup>, Bae, Jae Hoon<sup>2</sup>, Ahn, Tae Sang<sup>3</sup>, Jang, Seong Hoon<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Senior Researcher, Construction Engineering Center, DRB Holding Co., Ltd., Seoul, 150-903, Korea  
<sup>2</sup>Senior Researcher, Construction Engineering Center, DRB Holding Co., Ltd., Seoul, 150-903, Korea  
<sup>3</sup>Director, Construction Engineering Center, DRB Holding Co., Ltd., Seoul, 150-903, Korea  
<sup>4</sup>Chief Researcher, Research & development Institute, Lotte E&C, Seoul, 140-846, Korea

**Abstract** - In this paper, steel reinforced concrete(SRC) column and composite beam connections were statically tested under gravity loading. The composite beam consists of H-section and U-section members. Five full-scaled specimens were designed to investigate the effect of a number of parameters on behavior of connections such as H-section size, the presence of stud connector, the presence of stiffeners and top bars. In addition, structural performance of welded joint between the H-section and the U-section members is mainly discussed, with an emphasis on initial stiffness, strength, deformation capacity.

**Keywords** - Composite beam, Connection, Gravity load, Initial stiffness, Strength, Deformation capacity

#### 1. 서론

강재와 콘크리트로 구성된 합성보는 재료의 효율적 이용, 즉, 공장생산-현장조립 및 거푸집의 생략 등과 같은 경제적인 효율성과 공기단축에 의한 시공성의 이점에 의해서 강구조 건축물에 널리 적용되고 있다. 그러나 H형강과 상부플랜지의 슬래브로 구성된 기존의 합성보는 건축물 층높이 및 내화피복비용의 증가를 야기하는 단점이 존재해 왔다. 최근들어 이러한 단점을 극복하기 위한 다양한 층고절감형 합성보가 개발되고 있다<sup>[1],[2],[3],[4]</sup>. 즉, 비대칭형상의 단면을 제안하여 콘크리트와의 합성효과를 통해 층고를 절감할 뿐만 아

니라 강재물량절감 및 내화피복의 절감에 대한 효과가 우수하여 중고층 건축물의 적용에 대한 관심이 증가하고 있다. 그러나 이러한 비대칭형상 합성보의 경우, 단면의 효율성은 증대되는 반면에 보이음 또는 기둥-보 접합부 상세의 복잡성에 의한 시공성 저하와 시공현장에서 용접과 같은 작업으로 인한 공기증가 등의 문제점이 야기되고 있는 실정이다.

이러한 문제점을 해결하기 위해서, 기존에 개발된 합성보에 비해서 시공성을 개선한 합성보시스템을 Fig. 1과 같이 제안하였다<sup>[5]</sup>. 제안된 합성보는 두 개의 단면, 즉, 단부는 H형단면으로, 중앙부는 U형단면으로 구성되어 있으며, 보이음이나 기둥-보를 접합하는데 있어서 기존의 철골공사와 같은 방법으로 제작 및 시공이 되도록 한 것이 특징이다. 또한, 제안된 합성보는 U형단면 형상을 고려하여 강-콘크리트의 합성효과를 위한 전단연결재로 앵글이 사용되었다. 앵글전단연결재에 관한 내용은 다양한 문헌에 소개되어 있으며<sup>[6],[7],[8]</sup>, 제안된 합성보의 앵글전단연결재에 관한 전단성능 실험(Pushover test)의 결과는 Kim *et al.*<sup>[9]</sup>의 연구에 보고된바 있다.

Note.-Discussion open until April 30, 2015. This manuscript for this paper was submitted for review and possible publication on April 1, 2014; revised August 5, 2014; approved on August 21, 2014.

Copyright © 2014 by Korean Society of Steel Construction

\*Corresponding author.

Tel. +82-2-2168-9141 Fax. +82-2-2672-6423

E-mail. kim.young.ju@drbworld.com

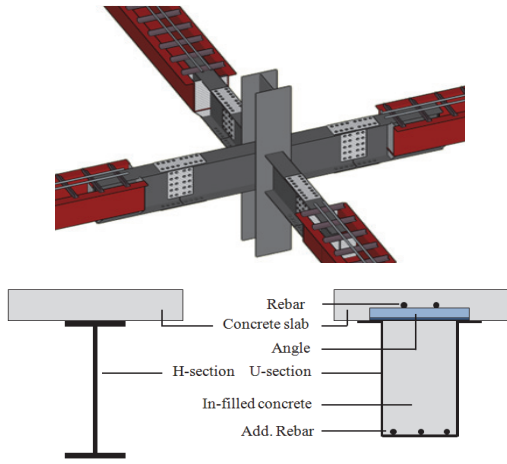


Fig. 1. Composite beam system

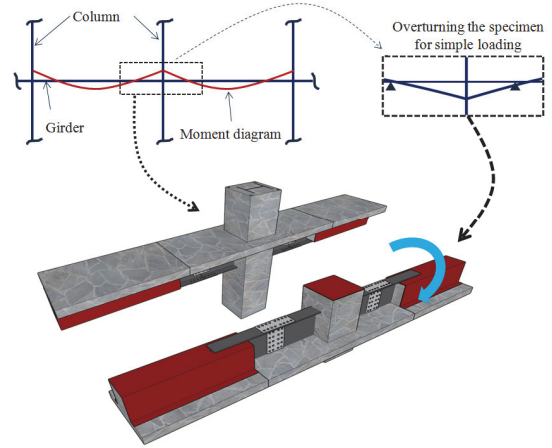


Fig. 2. 3D view of test specimen

제안된 합성보시스템은 기존에 개발된 합성보 접합부와는 달리 두 개의 단면이 조합된 것으로 접합부의 성능을 평가하는 것이 무엇보다도 중요하다. 특히, U자형 비대칭 철골 단면에서의 응력을 H형단면으로 원활히 전달하는 문제와 이렇게 전달받은 응력을 H형단면보다 H형단면 기둥부재에 잘 전달하는 문제 등이 주요이슈가 된다.

본 연구에서는 H형단면과 U형단면이 조합된 합성보와 철골철근콘크리트(SRC)기둥 접합부가 중력하중(부모멘트)을 받을 경우를 상정하여 단조가력실험을 실시하여, 접합부의 파괴모드 및 휨성능 등의 결과를 정리하고자 한다.

## 2. 실험 프로그램

중력하중을 받는 합성보와 SRC기둥 접합부의 구조성능을 평가하기 위해서 실물실험을 계획하였다. 모두 5개의 실험대형 실험체를 설계하였고, 실험체 일람은 Table 1에 나타내

었다.

이때 전단연결재로 스티트 대신 앵글을 사용하였는데, 앵글의 사이즈는 L50x6t를 300간격으로 배치시키므로 완전 합성의 효과를 고려하였으며, 앵글내력은 합성보에 대한 Push-out 실험의 연구결과를<sup>[9]</sup> 참조 하였다. 앵글 하나 전단력은 아래의 식 (1)에 의해 산정하였다.

$$Q_{Pro} = \frac{\left\{ \frac{10h^{\frac{2}{3}} f_{ck}^{\frac{2}{3}}}{(0.0012l_w^2 - 0.057l_w + 1.9)^{\frac{2}{3}}} \right\}}{\gamma_v} \quad (1)$$

여기서,  $l_w$ : 용접의 길이(mm)  
 $h$ : 앵글의 높이  
 $f_{ck}$ : 콘크리트의 압축강도 (MPa)  
 $\gamma_v$ : 안전계수 (1.25)



Table 1. Specimen matrix

Specimen	SRC Column		H-section Beam	U-section Beam	Presence of stud connectors in beam web	Vertical reinforcement and top bar
	Steel	Concrete				
GC500N	H-400x400 x13x21	600x600 (12-D16)	H-500x200x10x16	U-460x400x6	No	-
GC500S					Yes	-
GCR500S			Yes		Yes	
GC600S			Yes		-	
GCR600S			Yes		Yes	

GC R 600 S  
 S: w/ stud, N: w/o stud  
 Depth of H-section beam  
 Reinforced by vertical stiffener 2, top bars and trapezoidal stiffeners

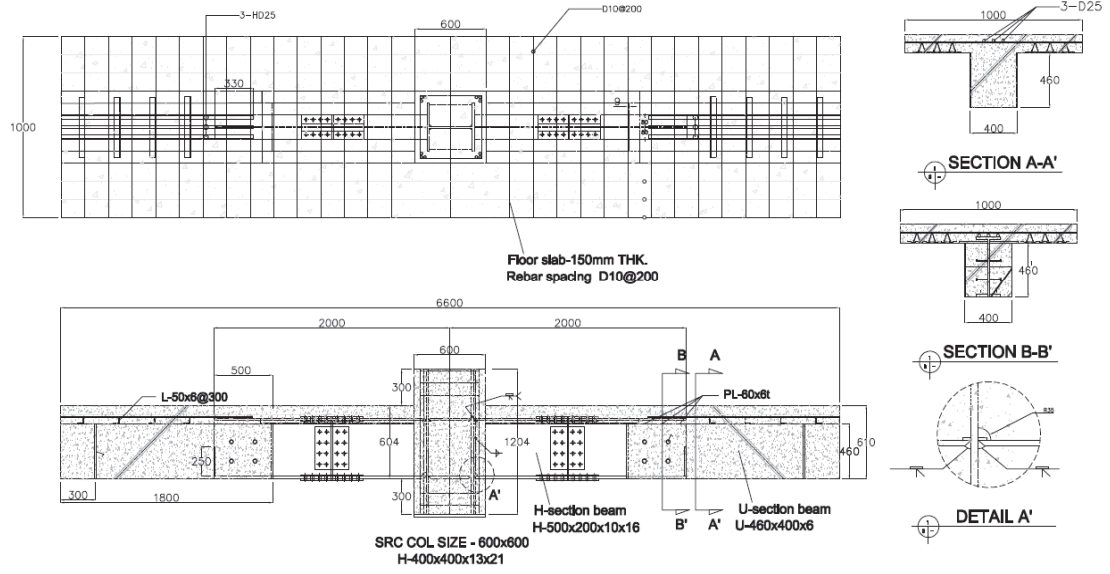


Fig. 3. Detail of Specimen GCR500S

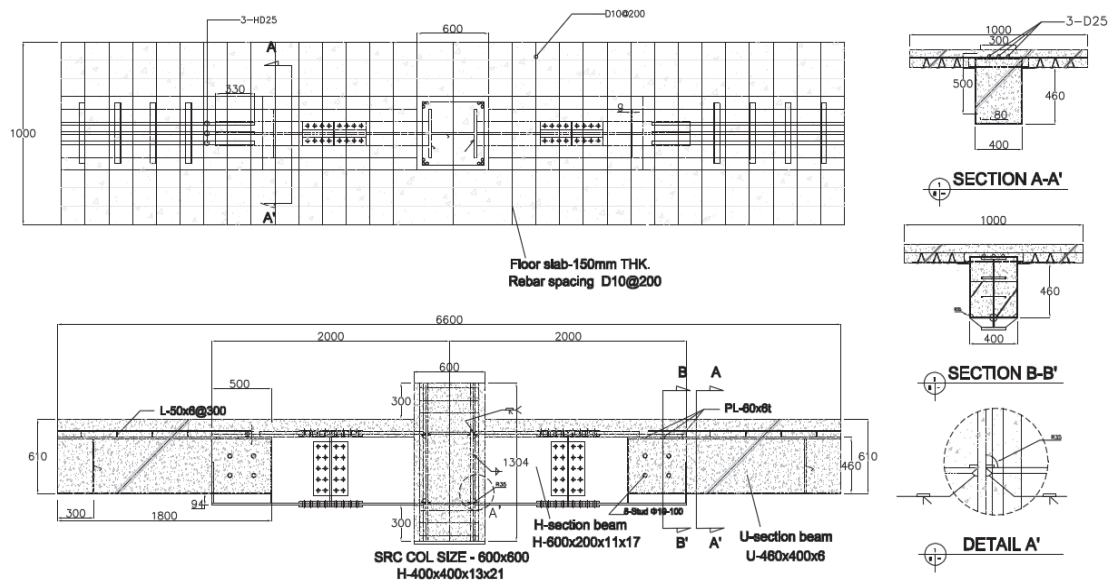


Fig. 4. Detail of Specimen GCR600S

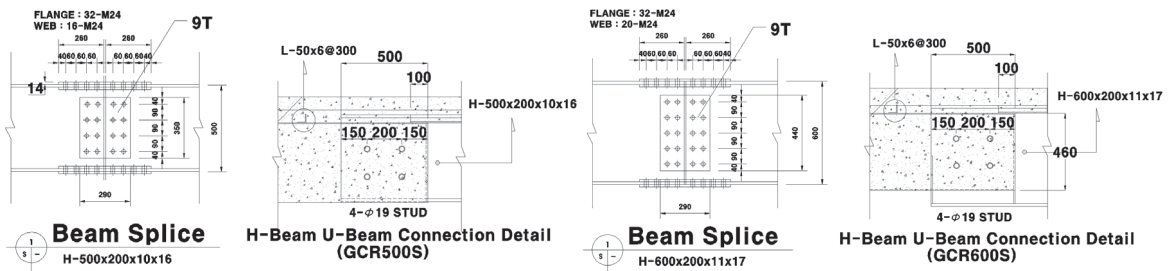


Fig. 5. Beam Splice and Connection Detail

Fig. 2는 실험체의 설계 개념 및 3D 형상을, Fig. 3~ Fig. 4는 대표되는 실험체의 상세를 나타낸 것이고, 실험체는 셋업 및 가력 등의 편의를 위하여 +형으로 계획하였다. 실험체의 총길이는 6,600mm, 단순가력을 위한 양단지점간 거리는 6,000mm, 기둥의 높이는 1,200mm이다.

합성기둥은 H형단면인 H-400x400x13x23 부재와 D16 수직철근 12대 및 D10의 횡보강근으로 구성되어 있으며, 콘크리트를 포함하여 단면은 폭이 600mm의 정사각형 형태이다. 보의 경우는 단부는 H형단면인 H-500x200x10x16 또는 H-600x200x11x17부재와 중앙부는 U-460(춤)x400(폭)x6(강판두께)부재로 계획되었다. 실험체의 보이음은 기존의 H형강 철골보이음 방법과 동일하게 계획하였다. 보이음 설계는 전강도 설계법을 사용하여 고력볼트의 개수를 산정하여 반영하였다. Fig. 2를 참조하면, 대상이 되는 실험체는 중력하중에 의해서 부모멘트를 받으므로, 실험체 가력 시 편리하도록 실험체가 뒤집혀서 셋업되도록 계획되었다.

실험의 변수는 H형단면의 크기, H형단면과 U형단면의 겹침부분의 스티드커넥터 유무, 수직스티프너 및 상부근의 유무 등이다. Fig. 3은 GCR500S 실험체의 상세를 나타낸 것이다. GCR500S는 H-500 부재와 U-460부재로 구성되어 있으며, 접합을 위한 두 부재간 겹침길이는 500mm이다. 이 실험체의 경우, 두 부재간 춤의 차이가 크지 않기 때문에 두 부재간 접합 시 U단면 하부플랜지의 상부면에 H형단면 부재를 올려놓은 후 양단을 모살용접을 실시하였다. 또한 겹침구간의 합성효과를 위해서 8개의  $\phi 19-100\text{mm}$ 의 스티드를 H형단면 웨브에 설치하였다. GC500N 실험체는 바로 이 스티드가 없는 실험체이다. Fig. 5는 실험체 접합부의 보강개념을 나타낸 것이다. Fig. 6의 상부그림을 참조하면, H-500 부재가 있는 3개의 실험체는 수평스티프너와 수직스티프너1은 기본적으로 설치되어 있다. GCR500S는 GC500S 실험체와 비교해 추가적으로 수직스티프너2와 상부근이 보강된 실험체이다.

Fig. 4는 GCR600S 실험체의 상세를 나타낸 것인데, 이것은 단부가 H-500인 실험체와는 달리 H-600부재로 구성되어 U단면과의 춤의 차이가 크므로, U형단면 하부플랜지 중앙부를 절개하여 H형강 웨브를 삽입한 후 십자형 접합부를 형성한 실험체이다. Fig. 5의 GC600S 실험체의 경우, 수평스티프너와 수직스티프너1만 설치되어 있으나, GCR600S의 경우에는 추가적으로 수직스티프너2, 사다리꼴 스티프너 및 상부근으로 보강되어 있다. 수직스티프너2는 전단력을

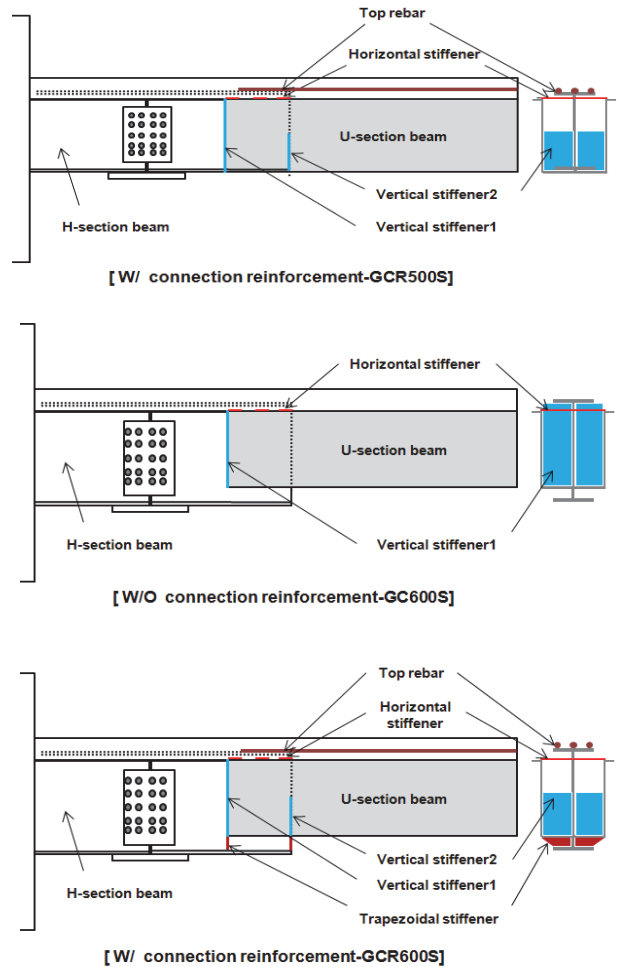


Fig. 6. Connection reinforcing concept between H-section and U-section members

전달 수 있도록 적절한 높이로 설계된다.

실험체에서 두 단면간의 모멘트는 U단면의 하부플랜지와 수평스티프너를 통해 전달되고, 전단력은 수직스티프너와 사다리꼴 스티프너를 통해 전달되도록 계획되었다.

Fig. 7은 하중가력 시 H형부재의 크기별로 예상되는 소성힌지 발생위치를 도시한 것이다. 그림에는 H형단면과 U형단면의 보유성능과 요구성능을 나타내었다. 요구성능을 고려하면 H형단면의 크기나 상부근의 유무에 상관없이 모두 기둥근처의 H형단면에서 소성힌지가 발생하는 것으로 예상되었다. 기둥면에 H형단면을 용접접합 시 Fig. 3-5에 나타낸 것과 같이 1/4원과 같은 스캘럽을 두어 완전용입용접을 실시하였다<sup>[10]</sup>.

Fig. 8은 실험체 셋업을 나타낸 것이다. 전술한 바와 같이 가력의 편의를 위하여 실험체를 뒤집은 후 단순보와 같이 양



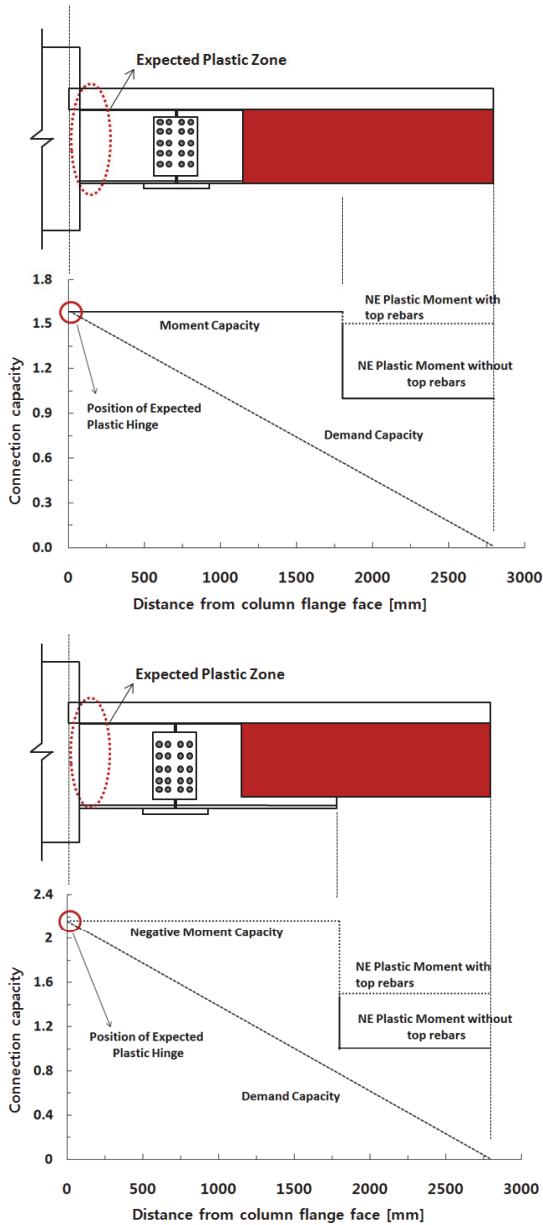


Fig. 7. Expected hinge of specimen



Fig. 8. Test setup

Table 2. Material test results

Specimen	$F_y$ [MPa]	$F_u$ [MPa]	Y.R	Elo. [%]
PL-21(Flange)	386	569	0.68	21
PL-13(Web)	420	583	0.72	17
PL-16(Flange)	404	527	0.77	25
PL-10(Web)	442	545	0.81	23
PL-17(Flange)	405	556	0.73	24
PL-11(Web)	409	542	0.75	17
PL-6(U-section)	488	552	0.88	22
PL-6(Angle)	400	454	0.88	39
D10(Rebar)	501	636	0.79	18
D25(Rebar)	464	614	0.75	20
Concrete	$f_{ck} = 28.5 \text{ MPa}$			

단지점에 실험체를 올려놓고 기둥부분을 가력하도록 하였다. 가력은 300kN급 UTM(Universal Testing Machine)으로 실시하였다. 실험체의 처짐과 변형도를 측정하기 위해서 변위계(LVDT)와 변형도 게이지(W.S.G)를 설치하였다.

Table 2는 실험체에 사용된 재료의 시험결과를 요약한 것이다. 강재의 경우 크기에 따른 시편을 제작하여 시험을 실시하였고, 콘크리트의 경우 28일 압축강도를 측정하였다. 강재시험결과에서 연신율의 경우 부분적으로 열등한 값을 나타낸 결과가 관찰되었는데, 이는 재료상의 문제이기 보다는 시편제작 시 절단면이 고르지 못한 가공에 기인한 것으로 판단되므로 시편제작 시 세심한 주의를 기울여야 할 것이다. 콘크리트는 압축강도 24MPa의 재료를 사용하였으나 시험결과 28일 압축강도는 28.5MPa로 기준강도를 상회하는 결과를 보였다.

### 3. 실험 결과

실험체의 모멘트-회전각을 나타내기 위해서 Fig. 9-10에 관련내용을 도시하였다. Fig. 9는 모멘트와 회전각의 산정방법을 나타낸 것인데, 모멘트( $M$ )와 회전각( $\theta$ )은 각각  $PL/2$  및  $u/L$ 로 산정할 수 있다. 또한 Fig. 10에는 실험결과의 값들을 도시하여 나타내었다. 최대모멘트, 제하지점 또는 파괴지점을 각각 기호  $\circ$ ,  $\square$  또는  $\nabla$ 으로 표시하였다. 실험은 실험체가 파괴되어 내력이 저하하거나 변위가 증가하여 위험방지를 위해서 인위적으로 제하(Unloading)할 필요성이 있을 경우에 종료하였다.

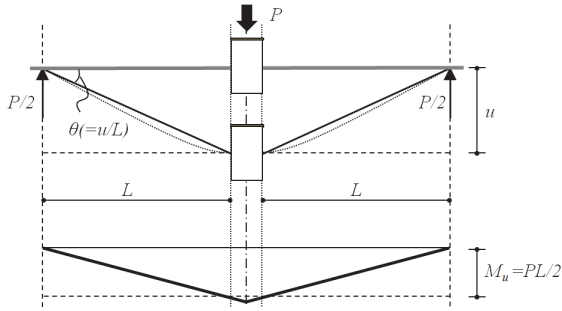


Fig. 9. Definition of maximum strength and rotation

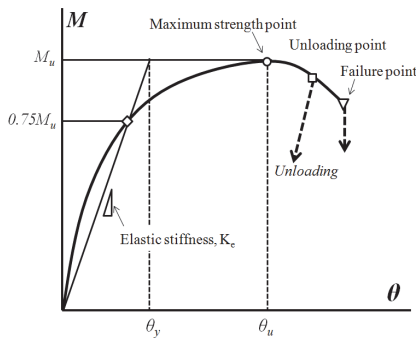


Fig. 10. Definition of structural characteristics

Fig. 10에는 실험체의 초기강성과 항복회전각을 구하는 방법도 또한 도시하였다. 실험체의 초기강성은 그래프에서 원점과 최대모멘트의 75%되는 점을 이은 직선의 기울기를 구하여 산정하고, 항복회전각은 초기강성을 갖는 직선을 연장하여 최대모멘트에 도달할 때의 회전각을 찾아서 수평축으로 투영한 값을 선택하여 구하도록 하고 있다.

Fig. 11은 실험체의 모멘트-회전각 관계를 도시한 것이며, Fig. 12는 실험체의 파괴모드를 요약하여 나타낸 것이다. GC500N 실험체는 가력초기에 기둥 주변의 슬래브에서 휨균열이 관찰되었고, 이후 실험체 중심에서 양단지점방향으로 균열이 확대되는 경향을 보였다. 단순지지된 단부부근으로 갈수록 균열성상은 전단력에 의한 영향에 의해 휨전단의 모드로 균열이 진전되었다. 또한 변위가 증가하면 할수록 압축력을 받는 단부 H형강 플랜지와 웨브가 국부좌굴하는 현상이 뚜렷하게 관찰되었다. 모멘트-회전각 그래프에서 초기에 다른 실험체에 비해서 강성이 저하한 이유는 보 브라켓이음부에서 고력볼트가 미끄러짐에 기인한 것이다. 실험을 중단하고 추가적으로 볼트를 조임하여 실험을 실시한 결과 미끄러짐이 현저히 감소하였다. 따라서 이후의 실험체는 모두 표준볼트장력 이상으로 고력볼트를 재조임하여 실험을

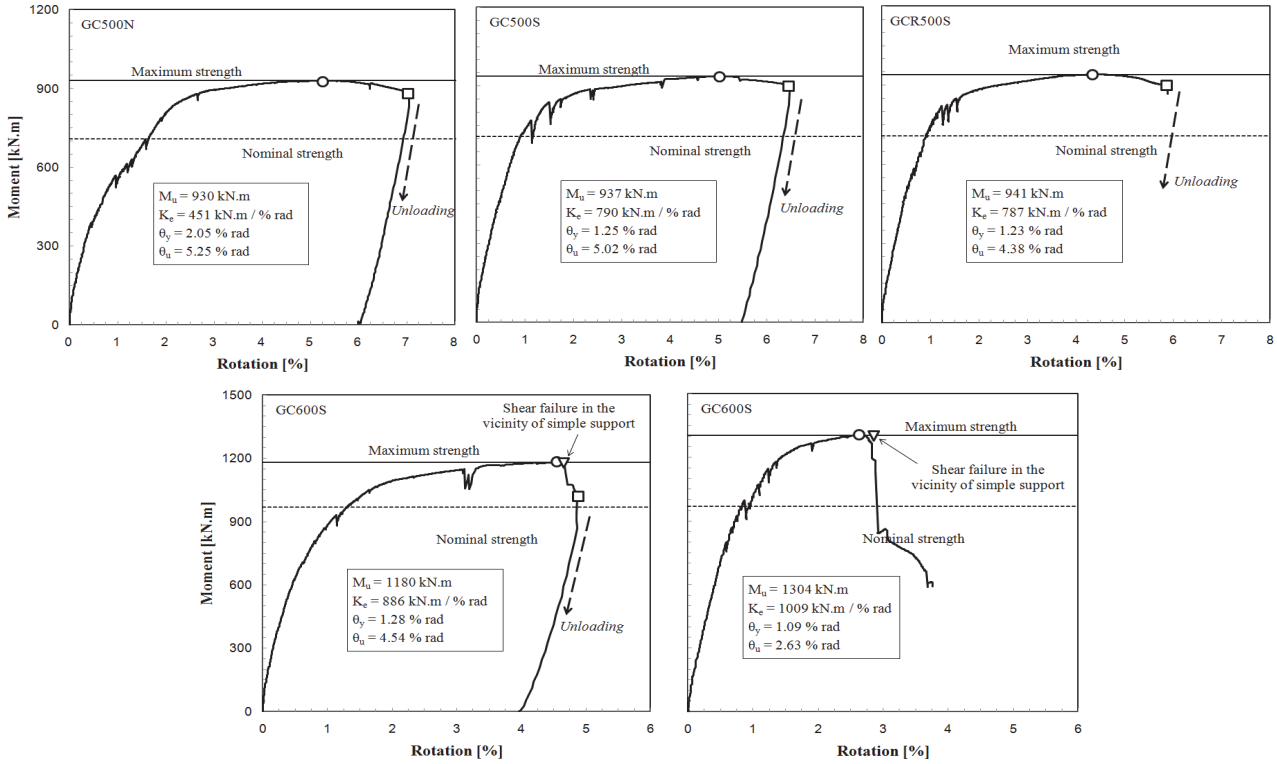


Fig. 11. Moment-rotation curve of each specimen

실시하였다. 7%의 회전각에 도달하자 H형강 플랜지의 국부 좌굴이 더욱 심화되었고, 슬래브의 균열도 확대되어 안전을 위해 약 7.05%의 회전각 시점에서 하중을 재하하여 실험을 종료하였다.

GC500S 실험체도 GC500N 실험체와 거의 유사한 파괴모드를 보였다. 단지 GC500S 실험체는 H형단면과 U단면이 겹치는 구간에 합성효과를 위해서 스티드를 추가한 점이 실험 변수이다. 가력초기에 콘크리트 슬래브에 휩균열부터 전단 균열이 폭넓게 발생하였고 최종적으로는 단부 H형강플랜지에서 국부좌굴현상이 관찰되었다. 특히 최종파괴모드에서는 기둥과 오른쪽 슬래브사이에서 매우 큰 균열확장모드가 관찰되기도 했다. 그러나 초기강성에 있어서는 고력볼트의 조임효과에 의해서 GC500N 실험체에 비해서 상당히 증가한 결과를 보였다. 실험결과는 스티드 유무에 의한 두 실험체간 최대내력 및 파괴모드 등의 뚜렷한 차이가 없음을 보여준다.

GCR500S 실험체는 앞의 GC500N과 GC500S 실험체들과 달리 추가로 수직스티프너2와 상단철근이 보강된 것이다. 이 실험체는 앞의 두 실험체와 파괴모드가 거의 유사한 것이 관찰되었다. 콘크리트 슬래브 균열이 확장된 후 최종적으로는 단부 H형강 플랜지와 웨브가 국부좌굴하는 파괴모드를

나타내었다. 앞의 두 실험체에 비해 내력이 매우 미미하게 증가하는 경향은 나타내지만 전체적으로 볼 때는 두 실험체가 동일한 성능을 발휘하였다고 할 수 있다. 그 이유는 H형단면과 U형단면이 겹치는 구간이 U형단면의 하부플랜지 상부에 H형단면의 하부플랜지가 놓은 후 용접되었기 때문에 그 자체의 용접만으로도 두 단면의 강성 및 강도전달이 명확하게 전달되어 수직스티프너2의 역할이 상대적으로 적게 발휘된 것으로 보인다.

GC600S 실험체는 단부 H형단면이 H-600시리즈로 제작되어 U형단면에 비해 춤이 다소 큰 실험체이다. 가력초기에는 이전 실험체와 마찬가지로 콘크리트 슬래브에 균열이 발생하기 시작하였고 단부방향으로 균열발생이 확장되었다. 가력하는 동안 회전각이 약 4.6%에 도달했을 때 Fig. 12에서 나타낸 바와 같이 좌측지지부의 바로 우측의 슬래브에서 전단균열이 관찰되면서 하중이 저하하기 시작하였고 이어지는 가력에 대해서 전단균열폭만 증가되어서 실험을 종료하였다. 그럼에도 불구하고 보단부 H형단면의 전소성모멘트를 상회하는 성능을 잘 발휘하였고, 중국적으로는 H형단면 플랜지에 국부좌굴이 발생하였다. 그러나 Fig. 12는 H형강 웨브에 용접된 U형단면의 플랜지가 면외방향으로 국부좌굴

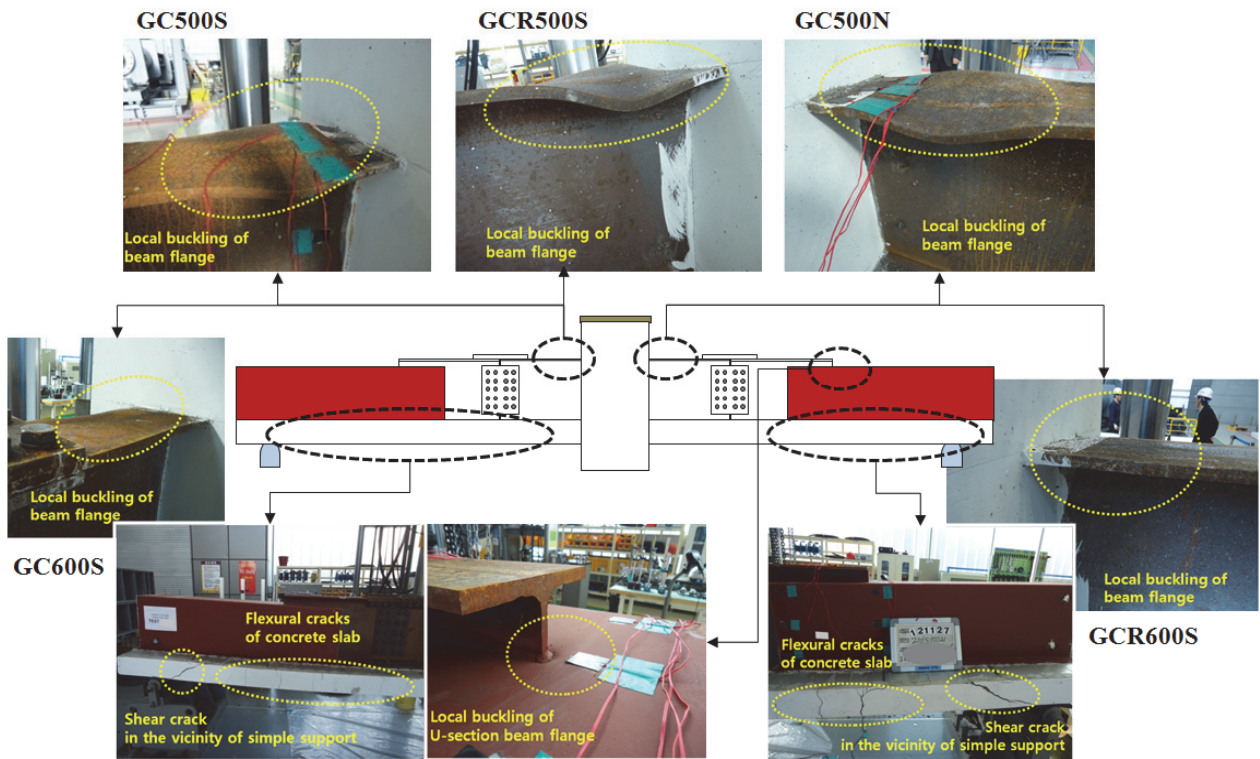


Fig. 12. Failure mode of each specimen

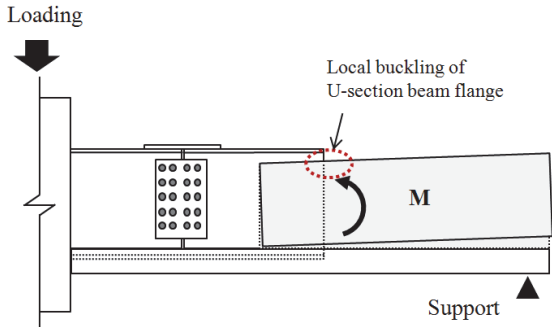


Fig. 13. Bending deformation of U-section beam(GC600S)

이 발생했음도 보여주고 있다. 이로 인해 변위가 더욱 증가하였을 때, Fig. 13과 같이 U형단면과 H형단면의 겹침부분에서 작은 각도이지만 꺾임현상이 관찰되었다. 따라서 H형단면과 U형단면이 만나는 접합부에 수직스티프너1만 설치되어있는 GC600S 실험체는 두 단면간의 접합부에서 내력과 강성전달의 성능이 부족한 것으로 판단된다. 반면에 추가로 수직스티프너2, 사다리꼴 스티프너 및 상부철근이 보강된 실험체인 GCR600S는 GC600S실험체에 비해서 내력 및 강성이 현저히 증가하는 결과를 관찰할 수 있었다. 물론, GC600S실험체의 파괴모드에서 관찰된 두 단면간 꺾임현상도 관찰되지 않았다. 가력하는 동안 이 실험체도 다른 실험체와 마찬가지로 단부 H형강이 국부좌굴하는 파괴모드가 관찰되었으나, 최종적으로는 GC600S실험체와 마찬가지로 우측지주의 바로 좌측의 슬래브에서 전단균열이 발생하였고 이때의 접합부회전각은 약 2.63%의 값을 나타내고 있었다.

## 4. 분석 및 고찰

### 4.1 내력 및 초기강성

Table 3은 실험결과를 요약하여 나타낸 것이며, Fig. 14는 모든 실험체의 모멘트-회전각 곡선을 한꺼번에 비교한 그래프이다. Table 3에서  $M_n$ 은 실험체의 공칭강도, 즉, H형단면의 전소성모멘트를 의미하는데, 이 값을 공칭강도로 사용하는 것은 Fig. 6에서 나타난 것과 같이 실험체의 소성힌지가 H형단면의 단부에서 발생되며, 부모멘트 가력 시 슬래브의 인장력을 무시한 것에 따른 것이다.  $M_u$ ,  $K_e$ ,  $\theta_y$  및  $\theta_u$ 는 각각 실험체의 최대내력, 초기강성, 항복회전각 및 최대내력에서의 회전각을 의미하며, 이에 대한 설명은 Fig. 8에 나타내었다.

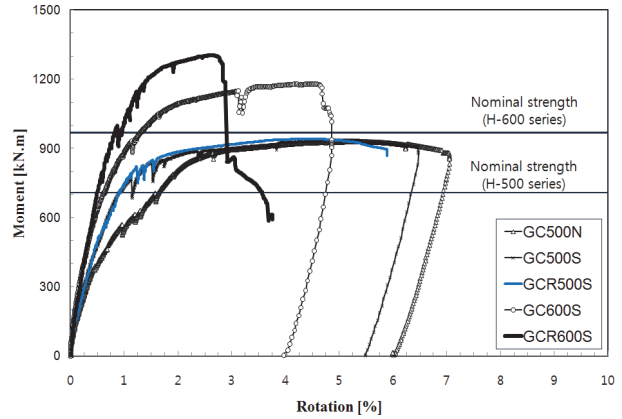


Fig. 14. Moment-rotation curves of all specimens

Table 3. Summary of test result

Specimen	$M_n$ [kN.m]	$M_u$ [kN.m]	$\theta_y$ [% rad]	$\theta_u$ [% rad]	$K_e$ [kN.m / %rad]	$M_u / M_n$
GC500N	707	930	2.05	5.25	451	1.32
GC500S	707	937	1.25	5.02	790	1.33
GCR500S	707	941	1.23	4.38	787	1.33
GC600S	968	1180	1.28	4.54	886	1.22
GCR600S	968	1304	1.09	2.63	1009	1.35

본 연구에서 실험체 계획 시 고려한 변수는 H형단면 크기, 스티드커넥터의 유무 및 접합부 보강유무 등이며, 이러한 변수에 대한 영향을 나타내면 다음과 같다.

#### 4.1.1 H형단면 크기의 영향

Fig. 15은 각 실험체별 최대내력과 초기강성을 막대그래프로 나타내었고, Fig. 16는 H형단면과 U형단면 접합부의 보강효과에 따른 내력 및 강성을 비교한 그래프를 도시한 것이다. 단부 H형단면이 H-600인 실험체는 H-500인 실험체에 비해서 평균적으로 최대내력이 약 1.33배로 증가하는 것으로 나타났으며, 이는 공칭강도의 비율인 1.37배와 유사한 값을 보였다. 이와 같이 최대내력의 비율이 실험값이나 이론값이 유사한 이유는 Fig. 6에서 예상된 바와 같이 H형단면 단부에서 소성힌지가 형성되었기 때문이다. 초기강성의 경우에는 H-600인 실험체가 H-500인 실험체에 비해서 약 1.2배 증가하는 결과를 보였다. 이 결과에는 GC500N실험체의 초기강성은 배제하였는데, 이는 이 실험체의 경우 보임부에서 과도한 슬립이 발생한데 따른 영향으로 판단되었기 때문이다.



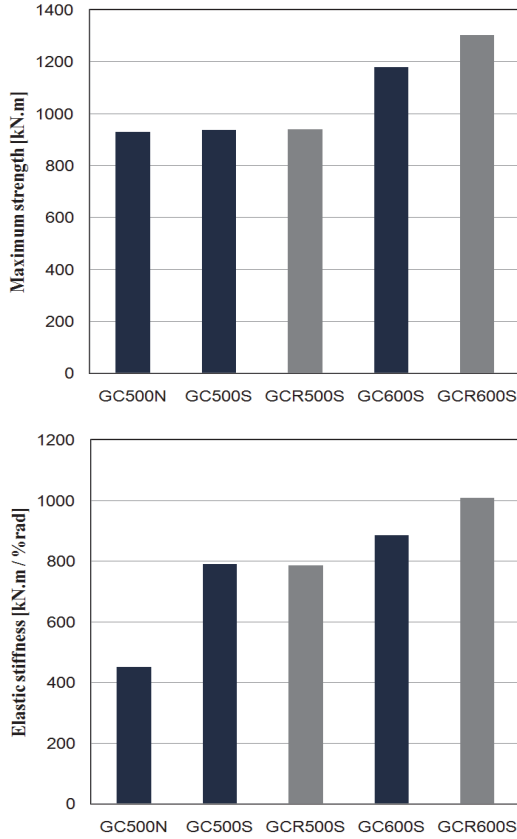


Fig. 15. Maximum strength and elastic stiffness

#### 4.1.2 스티드커넥터의 영향

제한된 접합부의 H형단면과 U형단면의 겹침구간에 설치한 스티드커넥터는 이 접합부에서의 강-콘크리트 합성효과를 증대시키기 위해서 설치된 것임을 전술하였다. GC500N 실험체와 GC500S 실험체의 내력은 각각 930kN.m와 937kN.m로 거의 차이가 없는 것으로 보아, 제한된 실험체의 결과이지만 이 스티드커넥터가 접합부의 내력에 미치는 영향은 미미한 것으로 판단된다.

#### 4.1.3 접합부 보강의 영향

Fig. 6과 같이, H형단면과 U형단면이 겹치는 접합부를 수직스티프너, 사다리꼴 스티프너 및 상부근으로 보강한 경우와 그렇지 않은 경우의 실험체 성능을 비교하고자 한다. Fig. 16는 접합부 보강유무에 따른 실험체의 최대내력과 초기강성을 나타낸 것이다. 단부 H형단면이 H-500인 경우는 보강유무에 상관없이 최대내력과 초기강성이 거의 유사한 것을 알 수 있다. 이는 접합부의 상세측면에서 U형단면 하부 플랜지의 상부에 H형단면 하부플랜지를 얹어놓고 용접하

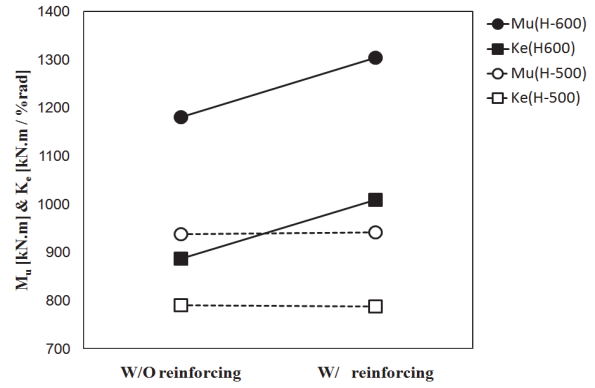


Fig. 16. Effects of test parameters

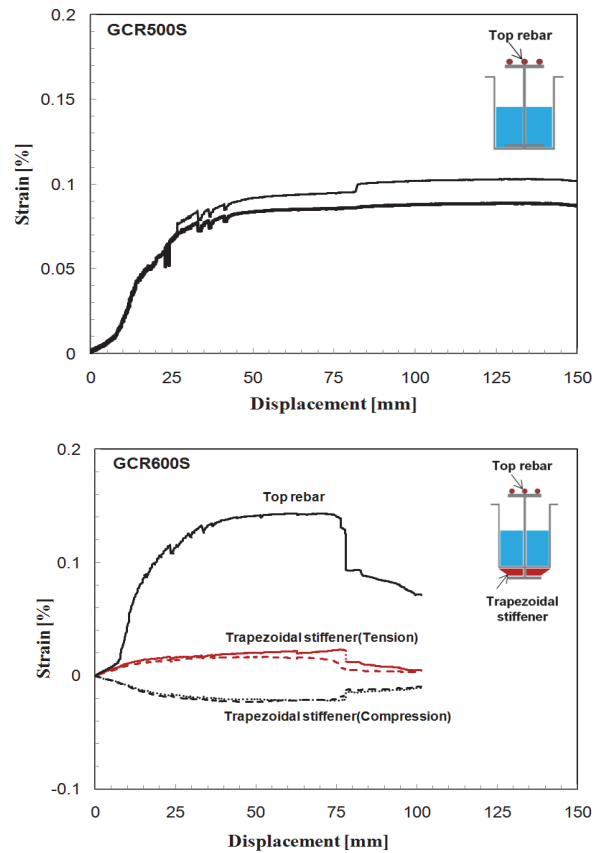


Fig. 17. Strain behavior of top rebar and trapezoidal stiffener

고, 또한 수직스티프너1만 있는 경우에도 모멘트와 전단력을 잘 전달하는 것으로 보이며, 추가적으로 전단력을 전달할 것으로 예상되는 수직스티프너2의 영향은 미미한 것으로 판단된다.

반면에 단부 H형단면이 H-600인 경우에는 Fig. 14를 참조하면 보강된 실험체의 내력과 강성이 보강되지 않은 실험체에 비해서 각각 11%와 14% 분포로 증가하였다. 이는 접합

부가 보강되지 않은 실험체는 U형단면의 하부플랜지가 H형 단면의 하부웨브에 십자형태로 용접되는데, 이러한 상세의 경우 Fig. 12과 같이 U형단면 하부플랜지가 면외방향으로 좌굴하게 되어 두 단면간 힘의 전달이 원활하지 않게 되는 반면에, 수직스티프너2와 사다리꼴 스티프너로 보강된 경우에는 힘을 명확히 전달하기 때문인 것으로 판단된다.

Fig. 19은 GCR500S실험체와 GCR600S실험체에 보강된 상부근과 사다리꼴 스티프너의 변형도를 도시한 것이다. 그래프를 참조하면 GCR500S실험체와 GCR600S실험체 상부근의 최대변형도가 각각 0.1%와 0.15%의 값을 나타내었는데, 이는 응력-변형도 관계에서 항복변형도를 0.2%로 가정할 경우, 각각 항복강도의 약 50%와 75%의 응력이 작용한 것으로 추측할 수 있으며, 이 결과로부터 상부근이 일부의 부모멘트를 잘 전달하는 것으로 판단된다. Fig. 15의 하부에는 GCR600S실험체의 사다리꼴 스티프너의 변형도를 나타

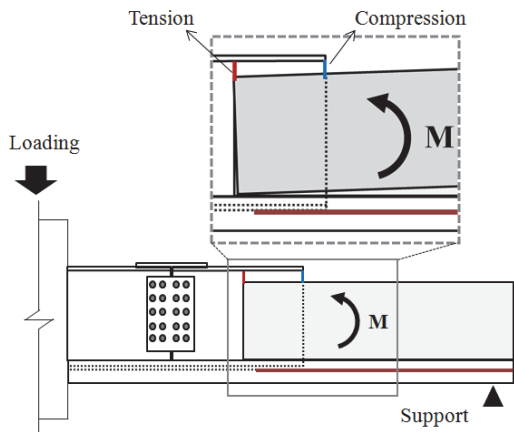


Fig. 18. Deformation of trapezoidal stiffeners

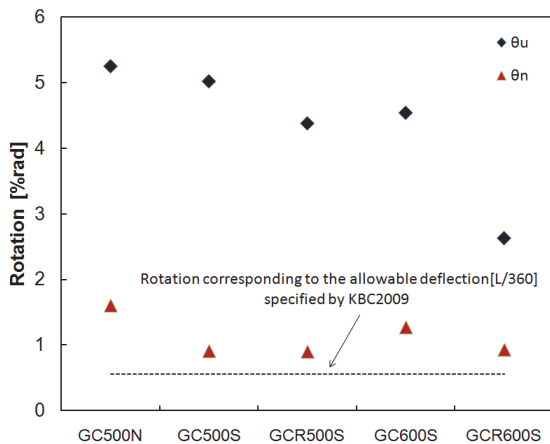


Fig. 19. Connection rotation

내었는데, 인장변형도와 압축변형도의 값을 보이는 것은 Fig. 16과 같이 접합부가 모멘트를 받는 경우 사다리꼴 스티프너의 변형모드에 의해서 좌측은 인장을, 우측은 압축력을 받는 것을 나타낸다. 이러한 결과로부터 H형단면과 U형단면 간 층의 차이가 큰 GCR600S실험체와 같은 경우에는 수직스티프너, 사다리꼴 스티프너 및 상부근의 보강이 접합부의 성능에 미치는 영향이 크다고 판단된다.

끝으로 Table 3과 Fig. 12의 결과를 참조하면 실험체의 공칭강도에 대한 최대내력의 비율이 1.22~1.35의 분포를 나타낸 것을 알 수 있는데, H형단면과 U형단면간 힘을 명확하게 전달하기 위해서는 수직스티프너, 사다리꼴 스티프너 및 상부근의 보강이 반드시 요구된다고 판단된다.

#### 4.2 변형능력

Fig. 19는 각 실험체별 회전각을 나타낸 것이며,  $\theta_n$ 은 실험체의 모멘트-회전각관계 그래프에서 공칭내력에 상응하는 회전각을 의미하며, 하부의 수평점선은 국내기준<sup>[11]</sup>에서 규정하고 있는 활하중이 작용하는 힘부재의 허용처짐한계 ( $L/360$ )에 상응하는 회전각을 의미한다. 접합부의 최대회전각은 2.63%rad~5.25%rad의 분포를 나타내고 있으며, 실험체 변수별 큰 상관관계는 없는 것으로 보인다.

GCR600S실험체의 경우 단순지지부 부근에서 슬래브의 전단균열에 의해서 최대회전각이 가장 열등한 것으로 나타났음에도 불구하고 KBC2009에 규정된 허용처짐한계에 상응하는 회전각인 0.56%rad를 고려하면 비교적 회전성능을 발휘한 것으로 판단된다. 또한 그래프는 각 실험체의 최대회전각이 이론적인 공칭내력에 상응하는 회전각과 비교해서도 변형능력을 잘 발휘한 것을 보여준다.

#### 4.3 변형도 분포

Fig. 20은 모든 실험체의 하부플랜지에 부착한 변형도계 이지로부터 얻은 변형도분포를 실험체의 처짐변위에 따라서 도시하였다. 그래프는 기둥 단부의 H형단면의 하부플랜지의 변형도가 H형단면이 끝나는 부분의 근처에 있는 U형단면 하부플랜지의 변형도에 비해서 매우 큰 값을 보이고 있음을 보여준다. H형단면의 변형도 값은 실험체의 변위가 증가하는 동안 초기에는 서서히 증가하는데, 특정변위에 도달한 후에는 매우 급격하게 증가하는 경향을 관찰할 수 있다. 이는 변위가 작은 경우에는 탄성적으로 거동한다고 플랜지가 항

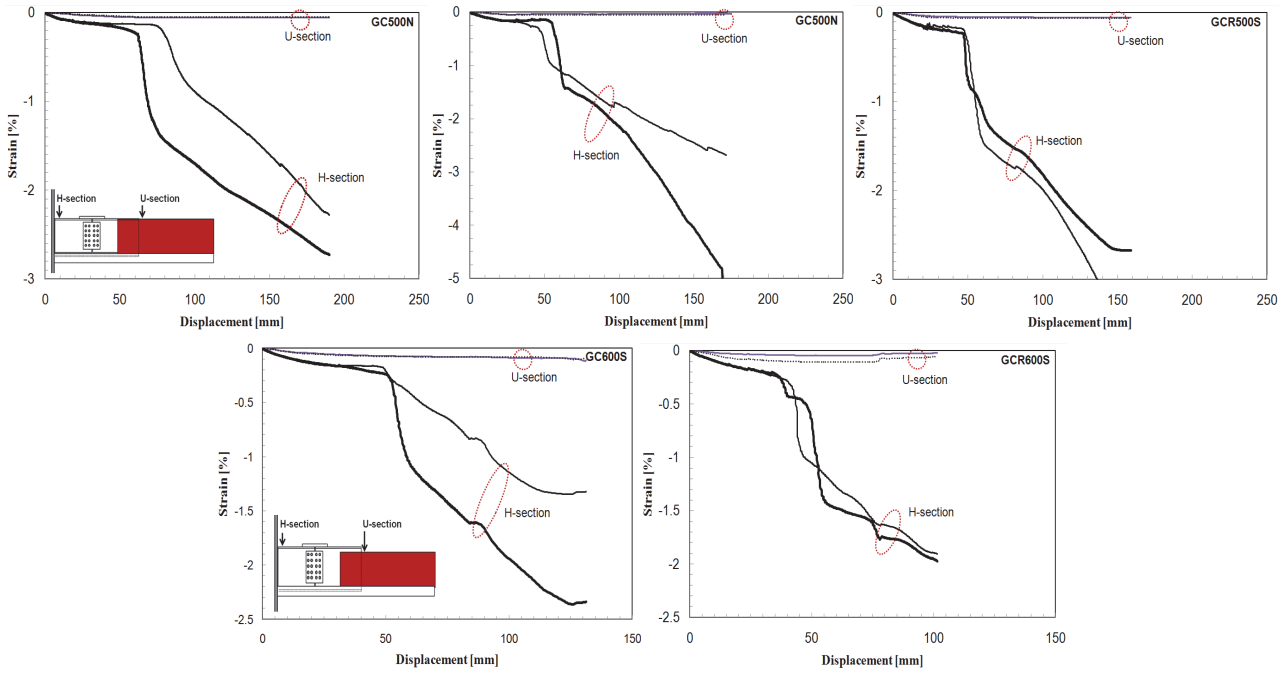


Fig. 20. Strain profile of beam flange of each specimen

복한 이후에는 소성변형에 의해 매우 큰 값을 나타내는 것이다. 그러나 U형단면에서의 변형도는 변위가 매우 증가함에 도 불구하고 대부분의 실험체에서 탄성범위를 초과하지 않은 것을 알 수 있다. 그 중에서 GC600S 실험체의 변형도가 상대적으로 가장 큰 분포를 보였는데, 이는 전술한 바와 같이 U형단면 하부플랜지가 면외방향으로 국부좌굴의 거동을 보였기 때문이며, 그럼에도 불구하고 그 변형이 미미하여 큰 소성변형도 분포는 관찰되지 않았다. 따라서 변형도 분포를 통해서도 모든 실험체가 H형단면의 단부에서 소성현상이 생성되었다는 사실을 알 수 있다.

## 5. 결론

본 연구에서는 중력하중을 받는 H형단면과 U형단면이 조합된 합성보와 SRC 기둥 접합부에 대한 거동을 실험적으로 조사하였다. 모두 5개의 실험체를 제작하였으며, 가력의 편의를 위하여 실험체를 뒤집은 후 정적가력실험을 실시하였고 다음과 같은 결과를 얻을 수 있었다.

(1) 본 연구에서 제시하고 있는 기둥-보 접합부는 최대내력에 있어서 실험변수에 상관없이 모두 공칭내력을 상회하

는 안정적인 거동을 하였으며, 공칭내력에 대한 최대내력의 분포는 1.22~1.35의 분포를 보였다. 강재의 재료 값을 반영한 내력의 분포는 0.92값을 나타낸 GC600S 실험체를 제외하면 1.06~1.08의 분포를 보였다. 따라서 접합부의 보강플레이트가 내력에 미치는 역할이 크다고 할 수 있다.

- (2) 모든 실험체는 실험체 계획 시 소성현상의 발생이 예상된 기둥 부근의 H형단면의 플랜지에서 국부좌굴이 발생하였고, 일부 실험체에서는 종국적으로 단순지지부 부근의 슬래브에서 전단균열이 발생하는 파괴모드가 관찰되기도 하였다.
- (3) 실험체의 구조성능에 미치는 수평스티프너, 사다리꼴 스티프너 및 상부근 등의 보강효과는 매우 큰 결과를 나타내었으며, 특히, H형단면과 U형단면의 차이가 크거나 같은 경우에는 이러한 보강재가 반드시 요구된다고 할 수 있다.
- (4) 실험결과 평가된 최대회전각은 실험체별로 차이가 있으나 중력하중(부모멘트)을 받을 경우를 상정할시에 국내 기준에 의한 처짐제한에 의한 회전각 및 이론적인 공칭내력에 상응하는 회전각과 비교하면 제안된 접합상세는 사용성 상태에서는 우수한 변형능력을 확보한 것으로 판단된다.

## 참고문헌(References)

- [1] 양일승, 오영호, 이만재(2012) 드라이빙핀전용 전단연결재를 이용한 합성보의 탄소성 거동, 한국강구조학회논문집, 한국강구조학회, 제24권, 제1호, pp.73-80.  
Yang, I.S., Oh, Y.H., and Lee, M.J. (2012) Elasto-Plastic Behaviors of Composite Beam Using Shear Connectors Installed in Driving Pins, *Journal of Korean Society of Steel Construction*, KSSC, Vol.24, No.1, pp.73-80 (in Korean).
- [2] 김성배, 김상섭, 유덕수(2013) 신형상 U형 하이브리드 합성보와 기둥 접합부의 내진성능에 관한 연구, 한국강구조학회논문집, 한국강구조학회, 제25권, 제1호, pp.47-59.  
Kim, S.B., Kim, S.S., and Ryu, D.S. (2013) Study on the Cyclic Seismic Testing of U-Shape Hybrid Composite Beam-to-Composite Column Connections, *Journal of Korean Society of Steel Construction*, KSSC, Vol.25, No.1, pp.47-59 (in Korean).
- [3] 채홍석, 류재용, 정경수, 문영민, 최성모(2010) 단부 보강한 합성보(에코거더)시스템의 구조성능에 관한 실험적 연구, 한국강구조학회논문집, 한국강구조학회, 제22권, 제6호, pp.533-541.  
Chae, H.S., Ryoo, J.Y., Chung, K.S., Moon, Y.M., and Choi, S.M. (2010) Experimental Study on Structural Performance of End-Reinforced Steel-Beam System (Eco-Girder), *Journal of Korean Society of Steel Construction*, KSSC, Vol.22, No.6, pp.533-541 (in Korean).
- [4] 황현중, 엄태성, 박홍근, 이창남, 김형섭(2013) TSC 합성보-PSRC 합성기둥 접합부에 대한 주기하중 실험, 한국강구조학회논문집, 한국강구조학회, 제25권, 제6호, pp.601-612.  
Hwang, H.J., Eom, T.S., Park, H.K., Lee, C.N., and Kim, H.S. (2013) Cyclic Loading Test for TSC Beam - PSRC Column Connections, *Journal of Korean Society of Steel Construction*, KSSC, Vol.25, No.6, pp.601-612 (in Korean).
- [5] 김영주, 배재훈, 안태상(2013) 시공개선형 합성보 (BESTOBEAM) 시스템 소개, 한국강구조학회지, 한국강구조학회, 제25권, 제4호, pp.44-49.  
Kim, Y.-J., Bae, J.-H., and Ahn, T.-S. (2013) Introduction of BESTOBEAM System with Construction Convenience, *Magazine of the Korean Society of Steel Construction*, KSSC, Vol.25, No.4, pp.44-49 (in Korean).
- [6] Ciutina, A.L., and Stratan, A. (2008) Cyclic Performances of Shear Connectors, *Proceedings of International Conference on Composite Construction in Steel and Concrete IV*, Engineering Conferences International/Structural Engineering Institute (American Society of Civil Engineers), USA, pp.52-64.
- [7] European Committee for Standardization (2004) *Eurocode 4: Design of Composite Steel and Concrete Structures, Part 1-1: General Rules and Rules for Building* (prEN 1994-1-1: 2004), Final Draft, Belgium.
- [8] Johnson, R.P. (1994) *Composite Structures of Steel and Concrete, Volume I: Beams, Slabs, Columns, and Frames for Buildings*, Blackwell Scientific Publications, UK.
- [9] 김영주, 배재훈, 안태상, 장동운(2014) 합성보에 적용된 앵글 전단연결재의 Push-out 실험, 한국강구조학회논문집, 한국강구조학회, 제26권, 제3호, pp.155-167.  
Kim, Y.J., Bae, J.H., Ahn, T.S., and Jang, D.W. (2014) Push-out Test on Welded Angle Shear Connectors Used in Composite Beams, *Journal of Korean Society of Steel Construction*, KSSC, Vol.26, No.3, pp.155-167 (in Korean).
- [10] 한국강구조학회(2009) 건축강구조 표준접합상세지침, 구미서관.  
KSSC (2012) *Detailed Guidelines of Standard Connection in Steel Structures*, Goomiseogwan, Korea (in Korean).
- [11] 대한건축학회(2009) 건축구조기준 (KBC 2009) 및 해설, 기문당.  
Architectural Institute of Korea (2009) *Korea Building Code (KBC 2009) and Commentary*, Kimoondang, Korea (in Korean).

---

**요 약 :** 본 논문에서는 중력하중을 받는 SRC기둥과 합성보 접합부의 정적실험을 수행하였다. 합성보는 H형단면과 U형단면으로 구성되어 있다. 모두 5개의 실험체를 설계하여 실험변수, 즉, H형단면 크기, 스티드커브의 유무, 스티프너와 상부근의 유무 등이 접합부의 거동에 미치는 영향을 조사하였다. 또한 H형단면과 U형단면의 용접접합부의 구조성능을 초기강성, 내력 및 변형능력을 중심으로 기술하였다.

**핵심용어 :** 합성보, 접합부, 중력하중, 초기강성, 내력, 변형능력

---