# 고리후프형 띠근을 가진 RCS구조 접합부의 거동에 관한 실험적 연구

# Experimental Study on RCS Beam Column Joints With Hooked Cross ties


| 박 상 균* | 손 민 성* | 오 정 근** | 오 경 환*** | 문 정 호**** | 이 리 형***** |
|---|---|---|---|---|---|
| Park, Sang Kyun | Sohn, Min Seong | Oh, Jung Gen | Oh, Kyung Hwan | Moon, Jeong Ho | Lee, Li Hyoung |



## ABSTRACT

Recently, composite structural systems have been developed actively due to its structural advantages of combining different materials. The objective of this paper is to investigate the structural behavior of composite connection which consist of steel beams and reinforced concrete columns(RCS). Five 2/3 scale joint specimens with variables mainly consist of shear resisting details, were tested under reversal loads. The results showed that RCS beam-column joints maintain ductility, strength compared to other RCS joints and exhibited excellent energy dissipating capacity when subjected to inelastic deformations under reversal load.


## 1. 서론

건축물의 구조시스템은 합리화, 경제성, 안정성 및 사용성의 측면에서 크게 철근콘크리트 구조, 철골구조, 철골철근콘크리트 구조로 구분할 수 있다. 그러나, 최근 미국, 일본 등 선진국을 중심으로 구조적 성능과 함께 공기단축 및 인건비 절약을 위하여 새로운 구조 시스템의 개발이 활발하게 진행되고 있는 실정이다. 이 가운데 연구개발이 적극적으로 진행되고 있는 공법의 하나가 철근콘크리트기둥과 철골보로 된 복합구조(RCS구조)이다. 이 공법은 압축력에 효과적인 철근콘크리트와, 휨과 전단에 우수하며 경량인 철골을 기둥과 보에 각각 적용할 수 있기 때문에 구조적으로 매우 합리적인 공법이다. 또 철근배근, 가설재, 용접 등에 필요한 현장작업을 최소화할 수 있으며, 필요한 경우 철근콘크리트기둥을 프리캐스트화 함으로서 기계화 시공이 가능한 장점도 있다.

복합구조에 대한 국내외 개발동향 및 실적을 고찰해볼 때, 국내에 효과적으로 적용되기 위해서는 국내실정에 맞는 보-기둥 접합부를 개발하고, 구조실험 및 현장적용을 통하여 구조성능, 시공성 및 경제성을 평가하는 것이 무엇보다 중요한 과제이다. 따라서, 본 연구는 국내실정에 맞는 철근콘크리트기둥과 철골보 접합부의 상세를 개발하여 실제 적용에 앞서 보-기둥 접합부의 파괴거동 및 내력을 실험과 이론적인 검토를 통하여 분석하고 정확한 구조성능을 평가하는데 목적이 있다.


* 정회원, 한양대학교 건축공학과 석사과정
** 정회원, 삼성물산(주) 건설부문 기술연구소 과장
*** 정회원, 삼성물산(주) 건설부문 건축기술팀 과장
**** 정회원 한남대학교 건축공학부 교수, 공학박사
***** 정회원, 한양대학교 건축공학부 교수, 공학박사

## 2. 실험

실험에 사용된 실험체 일람표를 표 1에, 대표적인 실험체의 배근상세를 그림 1에 나타내었다.

실험체는 실물크기의 2/3로 축소하여 제작하였다. 모든 실험체는 접합부에서 기둥 띠근의 시공방법에 초점을 맞춰 고리형의 띠근을 사용하였으며, 기타 변수로 접합부내 철골보 웨브에 뚫은 구멍과 콘크리트 강도 등이 사용되었다. 그리고 기존방식으로 철골보 웨브를 관통하는 띠근을 배근한 실험체(LCS-1)를 계획하였다. 그리고, LCH-4를 제외한 각 실험체는 보 플랜지 상하단에 $t$=19$mm$의 강재 덧판을 부착하여 접합부의 파괴를 유도하였다. 실험에 사용된 재료는 콘크리트 $f_{ck}$=400kgf/cm$^2$, 270kgf/cm$^2$이며 철근은 SD40 ($f_y$=4,000kgf/cm$^3$), 철골은 SM490($f_y$=3,300kgf/cm$^2$)이다.

표 1 실험체 일람

| 실험체명 | 접합부 상세 | $f_{ck}$ (kgf/cm$^2$) | 기타 | 공통사항 |
|---|---|---|---|---|
| LCS-1 | E-FBP | 400 | 접합부내 띠근이 철골보 웨브 관통 | 보: H-350x175x7x11 기둥: 48 x 48cm 기둥띠근: D13@70 FBP 및 직교보 사용 |
| LCH-1 | 띠근 (D10@110) 'ㄱ'자형앵글 (LCH 계열) | 400 | | |
| LCH-2 | | 400 | 철골보 웨브 $\phi$100 구멍 | |
| LCH-3 | | 270 | | |
| LCH-4 | | 400 | 강재보 휨 보강이 없음 | |

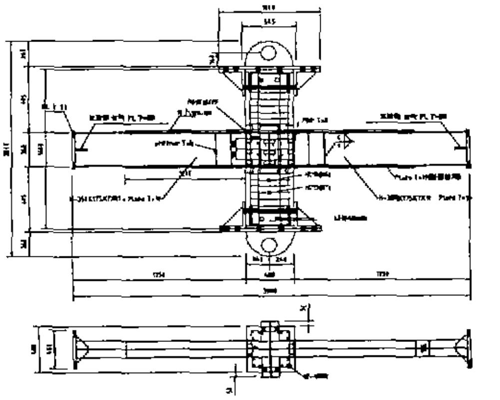

그림 1 실험체 형상 및 배근상세

철골보 웨브에 구멍을 뚫어 띠근을 배근하는 기존 방식을 개선하기 위하여 'ㄱ'자형 앵글을 철골보의 웨브에 용접 한 후, 고리형 후프를 앵글에 걸어 사용하는 본 실험체 상세의 경우 'ㄱ'자형 앵글이 고리후프보다 충분한 내력을 발휘하여야 그 구조적 성능을 신뢰할 수 있다. 본 실험에 앞서 고리후프형 철근이 충분한 내력을 발휘할 수 있는지를 검증하기 위하여 pull-out 실험을 실시하였다. 6개의 후프 pull-out 실험체를 제작하여 인장 실험한 결과 모두 고리후프가 항복강도에 도달한후에 앵글이 항복하여 'ㄱ'자형 앵글이 충분한 내력을 발휘하였음을 알 수 있었다. 대표적인 실험체에 대한 후프철근과 앵글의 하중-변형도 곡선을 그림 2에 나타내었다.

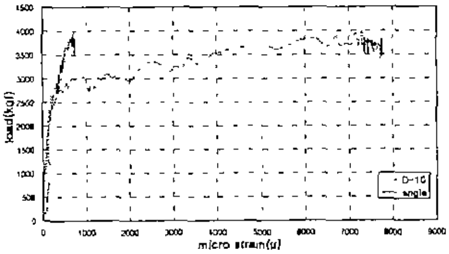


그림 2 후프철근과 앵글의 항복-변형도 곡선

실험체 설치상황은 그림 3에서 보는 바와 같이 반력벽에 300$tonf$ 오일잭을 프레임에 고정시키고 반대편 프레임에 실험체를 눕혀 기둥 하부를 힌지와 연결하고 상부 기둥은 반력벽에 부착된 힌지와 연결시켰다. 또한, 실험체 반복 가력시 기둥 상하의 힌지에 생기는 전단력에 의해 힌지가 움직이는 것을 방지하기 위해 콘크리트 블록을 바닥 슬래브와 고정시켜 힌지와 연결된 프레임을 지지하였다 실험체는 철골보 단부를 100tonf 액추에이터에 볼트로 연결하여 가력하였다. 가력 방법은 부재각(R)에 따라 단계별로 점증가력하였으며, 정ㆍ부의 반복가력으로 1/500로 가력하기 시작하여 최대 1/17까지 각각 2 싸이클씩 반복가력하면서 부재각에 따른 변위제어방식으로 가력하였다.

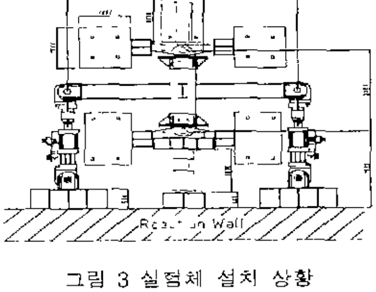

그림 3 실험체 설치 상황

### 3. 실험결과 및 분석

#### 3.1 하중-이력 거동의 비교

각 실험체의 내력 및 파괴형상을 표 2에 나타내었고, 그림 4는 각각의 실험체에 대한 하중-부재각 곡선이다. 접합부 파괴형으로 계획된 실험체는 모두 접합부의 전단파괴로 인하여 종국내력에 도달하였으나, 실험결과에 의하면 접합부의 전단파괴와 강재보에 의한 접합부의 지압파괴가 비슷한 비중으로 작용하여 종국내력에 도달했다.

기존형 실험체인 LCS-1은 부재각 1/25에서 최대내력에 도달하였고 1/17에서 전단 및 지압파괴에 의해 최종파괴에 도달하였다. LCH-1의 경우 LCS-1과 거의 동일하게 안정적인 거동을 보여 고리후프의 고리가 충분한 내력을 발휘하고 있음을 알 수 있었다. LCH-2와 LCH-3는 상대적으로 핀칭현상이 좀 더 크게 나타났는데 이는 접합부 내 철골 웨브 단면적의 감소와 콘크리트 강도의 저하가 거의 비슷한 비중으로 접합부내의 전단강도를 결정짓는다고 할 수 있다. LCH-4는 강재의 휨파괴에 의하여 최대내력에 도달하였다.

#### 3.2 연성비에 따른 내력평가

모든 실험체가 연성비 1.0까지는 동일한 강도비대 연성비의 양상을 보였다. 특히 보선행항복형 실험체인 LCH-4가 강도비면에서는 다른 실험체들과 비슷한 양상을 보이나 연성비면에서는 확연한 증가를 보임을 알 수 있는데 이는 접합부 콘크리트의 전단이나 지압파괴에 의한 취성적인 영향보다는 철골보의 연성적인 휨파괴의 영향이 타 실험체에 비해서 크게 나타남으로써 인한 당연한 결과로 볼 수 있다. 그러나 다른 고리후프형 실험체는 강도비나 연성비면에서 대동소이한 양상을 보이고 있으며 이는 고리후프형실험에 적용된 변수들(콘크리트강도, 충전용 웨브 구멍등)이 강도비나 연성비에 크게 영향을 미치지 않음을 알 수 있다. LCS-1의 경우 항복강도가 약간 낮음으로 강도비면에서는 약간 우수한 것으로 나타났다.

#### 3.3 역학적 기구별 응력분담

대표적 실험체인 LCH-1의 역학적 기구별 응력분담을 게이지의 스트레인 값으로 그림 6에 나타내었다. 부재각이 커질수록 내부압축 스트러트의 변형도보다 외부압축 스트러트와 띠근의 변형도가 크게 발생했으며, 철골보 웨브의 변형도가 크게 증가하여 실험체의 내력이 커질수록 웨브의 전담력 분담비율이 높아짐을 알 수 있다.

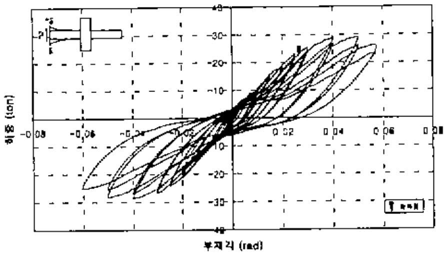


그림 4(a) LCS-1 하중-부재각 곡선

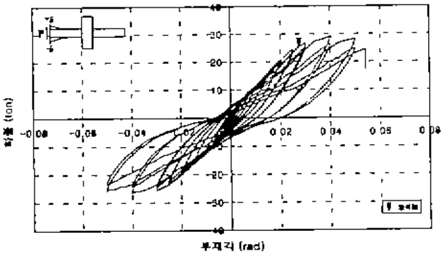


그림 4(b) LCH-1 하중-부재각 곡선

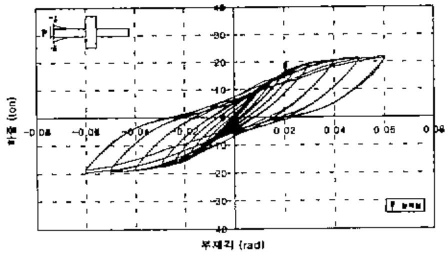


그림 4(c) LCH-4 하중-부재각 곡선

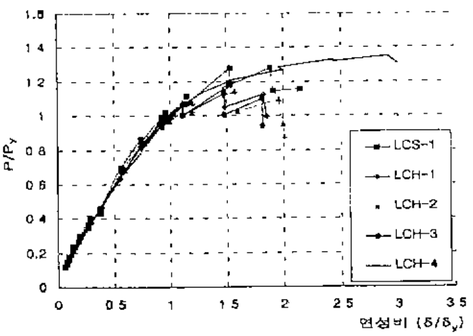


그림 5 연성비에 따른 강도비의 변화

표2 실험결과

| 실험체 이름 | 실험값(tf) 정 | 실험값(tf) 부 | 계산값(tf) ASCE 제안식 (1) | 일본 SRC 규준식 (2) | 수정된 일본SRC 규준식 (3) | Sakaguchi 제안식 (4) | 실험값/계산값 실험값/(1) 정 | 실험값/(1) 부 | 실험값/(2) 정 | 실험값/(2) 부 | 실험값/(3) 정 | 실험값/(3) 부 | 실험값/(4) 정 | 실험값/(4) 부 | 파괴형식 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| LCS-1 | 29 | 28.5 | 23.6 | 24.41 | 21.18 | 35.02 | 1.23 | 1.21 | 1.19 | 1.17 | 1.37 | 1.36 | 0.83 | 0.81 | 전단 |
| LCH-1 | 28.92 | 26.34 | 24.2 | 24.26 | 21.37 | 37.31 | 1.2 | 1.09 | 1.19 | 1.09 | 1 35 | 1.23 | 0.78 | 0.71 | 전단 |
| LCH-2 | 27 16 | 25.31 | 23.9 | 22 45 | 19.88 | 29.13 | 1.14 | 1.06 | 1.21 | 1.13 | 1.37 | 1.27 | 0.93 | 0 87 | 전단 |
| LCH-3 | 24.46 | 23.41 | 21.1 | 23.15 | 20.17 | 29.62 | 1.16 | 1.11 | 1.07 | 1.01 | 1.21 | 1 16 | 0.83 | 0.79 | 전단 |
| LCH-4 | 21 87 | 19.53 | 17.5 | | | | 1.25 | 1.12 | 1.25 | 1.12 | 1.25 | 1.12 | 1.25 | 1 12 | 보 휨 |

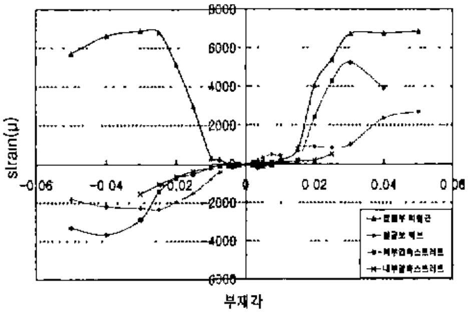


그림 6 역학적 기구별 응력분담(LCH-1)

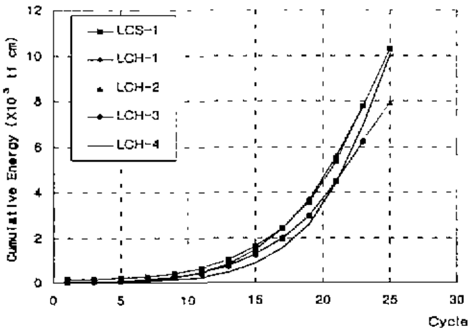


그림 7 누적된 에너지 소산량

4. 결론

(1) 콘크리트 기둥과 강재보로 이루어진 RCS 복합구조의 보-기둥 접합부에서 접합부 상세는 접합부 강도 및 연성능력 등의 거동에 직접적인 영향을 미치는 것으로 나타났다

(2) 고리후프형 실험체에서 후프연결용 고리는 최종 파괴시까지 충분한 역할을 하는 것으로 나타났다.

(3) 연성비면에서 연성비 1.0까지는 모든 실험체가 동일한 강도비대 연성비의 양상을 보였고, 최종적으로는 고리후프형이 기존형과 동일한 강도비대 연성비의 성능을 보였다

(4) 실험체의 내력은 ASCE식이 전반적인 내력흐름을 잘 예측할 수 있었으나, 실험체의 내력을 다소 과소평가 하는 것으로 나타났다.

감사의 글

이 연구는 한양대학교 초대형구조시스템연구센터와 삼성물산(주)건설부문의 연구비 지원으로 수행된 결과의 일부이며, 이에 감사의 뜻을 표합니다.

참고문헌

1. ASCE Structural Division Task Committee on Design Criteria for Composite Structures in Steel and Concrete (ASCE Guidelines) "Guidelines for Design of Joints Between Steel Beams and Reinforced Concrete Columns," J. Struc Engrg., ASCE (to be published). 1993.
2 건축학회 학술지 발표논문
3. 한양대학교 초대형구조시스템연구센터, "LC Frame을 이용한 복합화 공법의 개발 및 성능평가", 2000