

# 콘크리트충전 각형강관기둥-보 핀접합부의 거동에 관한 실험적 연구

## Structural Behaviour of Beam-to-Concrete Filled Steel Tube Column Pin Connections

김 철 환<sup>1)</sup> · 이 은 태<sup>2)</sup> · 김 성 은<sup>3)</sup>

*Kim, Cheol-Hwan Lee, Eun-Taik Kim, Seong-Eun*

**요 약** : 콘크리트 충전각형강관 기둥-보 핀접합부를 대상으로 접합부의 회전강성, 전단내력 등 역학적 특성을 규명하기 위하여 실험을 수행하였다. 실험변수는 강관기둥의 폭-두께비 및 강관 내부의 수평 다이어프램, 슬래브 설치 유무이다. 기둥의 폭-두께비가 큰 시험체가 폭-두께비가 작은 시험체에 비하여 접합부의 회전강성이 낮으며, 변형도 접합부에 집중되어 발생한다.

**ABSTRACT** : In order to clarify the behavior of beam-to-concrete filled steel tube column under cyclic loading condition, experimental studies were carried out on shear connections. Test parameters of this study are the width-to-thickness ratio and the effect on beams with or without slab and diaphragm. Test results show that the moment-rotation relationships of connections without slab are in the range of AISC regulation of pinned connections and the rotation capacity of connection is dependent upon the width-to-thickness ratio of the column.

**핵심용어** : 핀접합부, 콘크리트 충전강관기둥, 합성보, 반복하중, 단조하중

**KEYWORDS** : Pin connection, Concrete filled steel tube column, Composite beam, Cyclic loading, Monotonic loading

### 1. 서론

고층 건축물에 적합한 구조형식<sup>1,2)</sup>의 하나로서 콘크리트 충전 강관구조가 제안되어 현장 적용을 위한 역학적 특성의 규명 및 시공성 향상을 위한 연구가 활발하게 진행되어왔다. 역학적 특성에 관한 연구는 충전강관 부재의 내력 및 변형 능력을

중심으로 기둥-보 접합부의 원활한 응력 전달을 위한 새로운 형식의 개발 등에 이르기까지 폭 넓게 진행<sup>3,4,5)</sup>되고 있다.

고층 건축물은 수평외력에 대하여 충분히 저항하여 거주환경을 향상시키기 위하여 기둥-보의 접합부를 강접합부로 구성하거나, 전단 코어를 설치하기도 한다. 그러나 콘크리트 충전 강관기둥과

1) 정회원, 상주대학교 조교수, 공학박사  
2) 정회원, 중앙대학교 전임강사, 공학박사  
3) 정회원, 계명대학교 교수, 공학박사

본 논문에 대한 토의를 2001년 2월 28일까지 학회로 보내 주시면 토의 회답을 게재하겠습니다.

보를 강접합부로 구성할 경우에는 보에 발생하는 응력을 지지·전달할 수 있는 수평 다이어프램을 강관 내부에 설치하여야 하므로, 시공 및 강관 제작에 따른 번잡함으로 경제성저하의 원인이 되고 있다. 따라서 시공의 편의성과 경제성을 확보하기 위하여 기둥-보 접합부를 핀접합부로 구성하는 방법이 도입되고 있으며, 이는 기본적으로 접합부에 모멘트 응력이 발생하지 않는 것으로 설계하고 있다.

그러나, 실 구조물에 있어서는 핀접합부로 설계할 경우에는 기둥의 플랜지 면과 핀접합부와의 편심거리에 의해 기둥의 플랜지 면에는 모멘트가 작용하게 되므로 기둥의 플랜지 면은 면외 변형이 발생하게 되고, 보 상부에 슬래브가 설치되는 경우에는 보와의 합성효과에 의해 완전한 핀 접합부를 형성하기 어려운 점이 있다.

본 연구에서는 기 보고<sup>6)</sup>된 강접합부의 역학적 성 실험에 이어, 강접합부를 위하여 수평 내부 다이어프램이 설치된 콘크리트 충전강관기둥에 H형 보가 핀접합으로 구성되는 경우를 대상으로 모델 실험을 수행하여 핀 접합부의 역학적 특성을 규명하는 것을 목적으로 하고 있다.

## 2. 실험계획

### 2.1 시험체

핀접합 시험체의 실험변수는 충전강관 기둥의 폭두께비 및 슬래브유무로 설정하였다.

실험변수에 있어서 폭두께비는 순수 각형강관 기둥의 한계 폭두께비<sup>7,8)</sup> 및 콘크리트 충전 각형강관 기둥인 경우의 한계 폭두께비를 대상으로 설정하였으며, 편심모멘트 영향에 의한 기둥 플랜지 면의 변형 및 내력을 확인함을 목적으로 하고 있다. 슬래브 유무는 연속 합성보 형식에 있어서 핀 접합부의 이력특성을 확인하기 위하여 설정하였으며, 사용된 슬래브는 그림 1과 같이 충고를 낮추기 위하여 제안된 새로운 형식의 슬림슬래브를 채

용하고 있으며, 이는 기존의 연구에 의하여 합성 효과가 확인<sup>1)</sup>되어 있다. 시험체 일람은 표 1에 나타난다. 표 1중에서 강접합부의 시험체는 기존의 실험결과로서 이는 핀접합부 시험체와 비교를 위하여 포함하고 있다.

표 1. 시험체 일람

| 시험체명  | 실험변수 |        |           |        |
|-------|------|--------|-----------|--------|
|       | 폭두께비 | 슬래브 유무 | 가력방법      | 접합부 형태 |
| P40BN | 40   | -      | monotonic | 핀접합    |
| P40BS |      | 유      | cyclic    |        |
| R40BN |      | -      | cyclic    | 강접합*   |
| R40BS |      | 유      | cyclic    |        |
| P60BN | 60   | -      | monotonic | 핀접합    |
| P60BS |      | 유      | cyclic    |        |
| P60NN |      | -      | monotonic |        |

\*는 기존의 연구결과(6)의 일부분임.

P40BS

S: 슬래브 유, N: 슬래브 무  
 B: 다이어프램 유, N: 다이어프램 무  
 40: 폭두께비=40, 60: 폭두께비=60  
 P: 핀접합, R: 강접합

### 2.2 사용재료

시험체 제작에 사용되는 재료는 기둥부재, 기둥 내부 다이어프램 및 핀접합부의 접합플레이트의 경우 SM490A 강재를, 보부재에 있어서는 SS400의 강재를 사용하고 있으며, 기둥내부에 충전하는 콘크리트의 경우에는 설계강도가 300 kgf/cm<sup>2</sup>, 슬래브에 사용하는 콘크리트는 240 kgf/cm<sup>2</sup>인 콘크리트를 사용한다. 핀접합부의 접합볼트로서는 F10T-M20을, 슬래브와 보의 일체화를 위한 전단연결장치로서는 스티드 커넥터  $\phi$  13을 사용하였으며, 완전 합성보로 설계하였다.

콘크리트의 공시체 시험결과 및 강재의 기계적 성질은 표 2, 3에 나타난다.

### 2.3 시험체 형상 및 실험방법

시험체의 형상은 그림 1에, 시험체 가력방법은

표 2. 공시체 시험결과

| 종류       | 설계강도 (kgf/cm <sup>2</sup> ) | 압축강도 (kgf/cm <sup>2</sup> ) | 인장강도 (kgf/cm <sup>2</sup> ) |
|----------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|
| 충전 콘크리트  | 300                         | 362, 382 (372)              | 51, 42 (47)                 |
| 슬래브 콘크리트 | 240                         | 279, 269, 261 (270)         | 31, 34 (32)                 |

( )는 실험결과와의 평균치

표 3. 강재의 기계적성질

| 강재 종류 | Grade | 항복강도 (kg/mm <sup>2</sup> ) | 인장강도 (kg/mm <sup>2</sup> ) | 연신율 (%)                 |                         |
|-------|-------|----------------------------|----------------------------|-------------------------|-------------------------|
| 다이어프램 |       | 35.8, 39.0, 37.7 (37.5)    | 52.4, 52.9, 52.9 (52.7)    | 43.2, 44.3, 42.6 (43.4) |                         |
|       |       | 각형강관 기둥 SM 490A            | 42.3, 42.3, 42.3 (42.3)    | 48.3, 48.6, 48.8 (48.6) | 35.6, 36.6, 36.4 (36.2) |
|       |       |                            | 전단접합용 플레이트                 | 49.7, 49.3, 47.9 (49.0) | 54.5, 54.5, 54.6 (54.5) |
| 보 플랜지 | SS400 | 27.1, 27.2, 26.1 (26.8)    | 44.1, 44.6, 43.8 (44.2)    | 43.5, 43.7, 42.4 (43.2) |                         |

( )는 실험결과와의 평균치

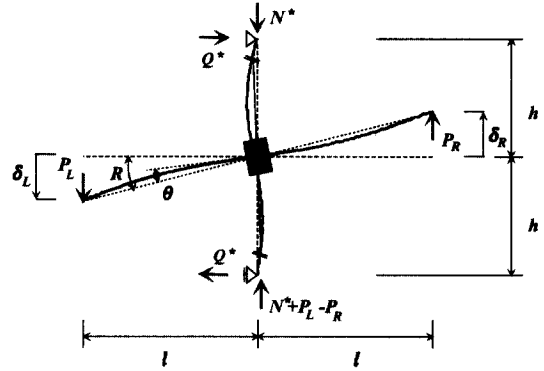


그림 2. 시험체 가력방법(강접합 및 합성보)

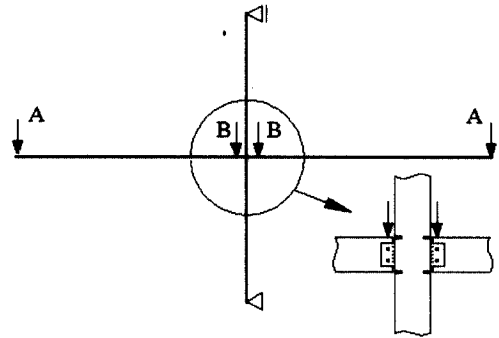


그림 3. 시험체 가력방법(핀접합)

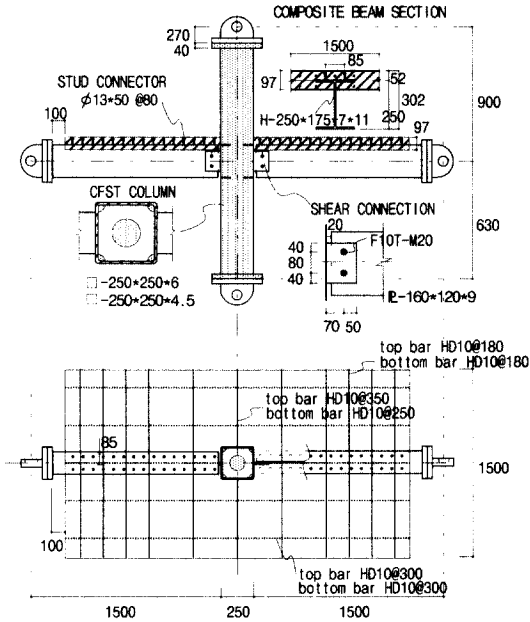


그림 1. 시험체 형상

그림 2, 그림 3에 나타난다. 시험체중 강접합부 시험체 및 슬래브를 설치한 핀접합부 시험체는 수평하중에 대한 회전강성 및 접합부의 내력을 확인하기 위하여 그림 2와 같이 기둥에 일정축력( $N^* = 0.3n$  :  $n$ =종국 축내력)을 도입한 후 보 단부의 역대칭 휨모멘트 실험을 수행하며, 슬래브를 설치하지 않은 핀접합부 시험체는 1차적으로 접합부의 회전강성을 확인하기 위하여 그림 3 중의 A와 같은 방법으로 일방향 가력실험을 수행한 후 2차적으로 그림 3 중의 B와 같은 방법으로 접합위치에 일방향 가력 실험을 수행하였다. 특히, 슬래브를 설치하지 아니한 시험체의 회전강성 실험은 아래의 변형각까지 변위제어로서 수행하며, 아래 식은 등분포하중하에서 단순보의 중앙부가 항복점에 도달할 경우의 보단부 처짐각을 나타내고 있으며, 따라서 핀접합부의 최대 처짐각의 범위라 할 수 있다.

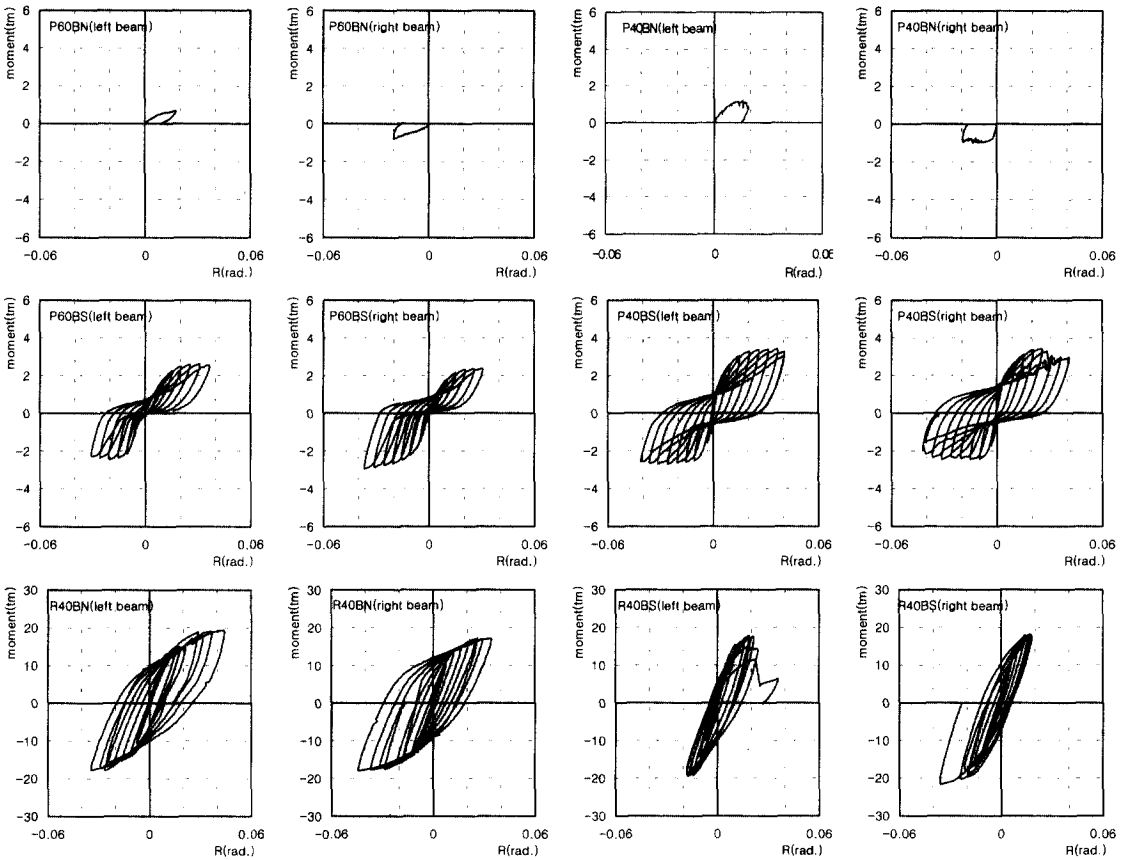


그림 4. 단부모멘트-회전각 관계

$$\theta_y = \frac{\sigma_y Z_e l}{3E_s I_s} = 0.019 \text{ rad.} \quad (1)$$

단,  $\theta_y$  : 보단부 처짐각,  $\sigma_y$  : 강재의 항복 응력도,  $Z_e$  : 보의 단면계수,  $l$  : 보의 스패ん길이,  $E_s$  : 강재의 영계수,  $I_s$  : 보의 단면2차 모멘트를 나타낸다.

### 3. 실험결과 및 고찰

#### 3.1 단부모멘트-회전각관계

각 시험체의 단부모멘트-회전각 관계는 그림 4에 나타낸다. 편접합부 시험체중 슬래브를 설치하

지 않은 경우에는 일방향으로 단순 가력한 실험결과를, 슬래브를 설치한 편접합부 및 강접합부 시험체의 경우에는 반복하중에 의한 실험결과를 나타낸다. 실험결과에서 알 수 있듯이 편접합부 시험체의 경우에는 보중양부 항복시의 단부회전각(식(1)참조)에 도달하기 이전에 내력의 열화를 나타내며 회전강성도 크게 낮게 나타나고 있다. 그러나 슬래브를 설치한 편 접합부 시험체의 경우에는 슬래브를 설치하지 않은 시험체에 비하여 슬래브 설치에 의한 합성효과가 크게 나타나 강성 및 내력이 높게 나타나고 있으며, 특히 합성보의 고유한 이력 특성인 역S자 이력 거동을 나타내고 있다. 한편 강접합부 시험체인 경우에는 단부 회전각이 단순보 항복시의 단부회전각인 0.019rad.

이후에도 강성의 저하가 거의 일어나지 않고 지속적인 내력의 상승을 나타내고 있다.

핀접합부의 단부모멘트-회전각 관계를 시험체 별로 비교한 것은 그림 5에 나타난다. 그림 중에 굵은 실선과 점선은 등분포 하중을 받는 보단의 모멘트-회전각의 관계를 나타내는 beam line<sup>9)</sup>과 AISC에 의한 강접합부(완전고정단 모멘트의 90% 이상), 반강접합부(완전고정단 모멘트의 20%~90%) 및 핀접합부(완전고정단 모멘트의 20%이하)의 범위를 나타내고 있다. 슬래브가 설치되지 않은 시험체인 P60BN시험체의 경우 단부모멘트-회전각 관계가 회전강성 및 최대내력 모두 핀접합부의 범위에 속하고 있으며, P40BN시험체의 경우에는 회전강성은 핀접합부와 반강접합부의 경계치에 머물고 있다. 한편, 상부에 슬래브를 설치한 P40BS, P60BS시험체의 경우에는 전술한 바와 같이 슬래브를 설치하지 않은 P40BN, P60BN 시험체에 비하여 회전강성 및 내력이 2배 전후로 높으며, 반강접부의 범위에 속하고 있다.

또한 대상으로 하는 시험체에 있어서 접합되는 각형강관의 폭두께비가 클수록(기둥 강관의 두께가 얇을수록) 회전능력은 크게 나타나고 있다. 이는 폭두께비가 클수록, 즉 강관의 두께가 얇을수록 기둥의 플랜지면이 면외로 저항하는 능력이 작으므로 보의 회전과 함께 기둥의 플랜지면도 면외로 변형이 일어나기 때문으로 사료된다.

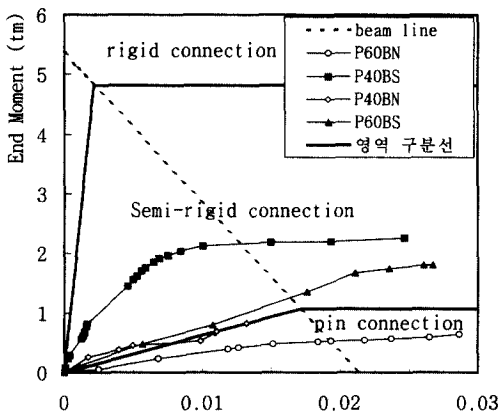


그림 5. 단부모멘트-회전각 관계비교

### 3.2 핀접합부의 전단내력

핀접합부의 전단내력 시험결과는 표4에 나타난다. 핀접합부 시험체중 폭두께비가 40인 P40BN 시험체는 폭두께비가 60인 P60BN, P60NN 시험체에 비하여 높은 전단 내력을 나타내고 있으며, 볼트의 단기허용 전단내력의 1.5배이상 상회하고 있다.

표 4. 접합부의 전단 내력

| 시험체명  | Qa(ton) | Qmax(ton) | Qmax/Qa |
|-------|---------|-----------|---------|
| P40BN | 14.13   | 26.98     | 1.91    |
| P60BN |         | 22.21     | 1.57    |
| P60NN |         | 21.46     | 1.52    |

Qa : 단기허용전단내력  
Qmax : 최대 전단내력

그림 6은 볼트 접합부의 전단하중 및 접합부의 미끄럼 변위관계를 나타낸다. 그림 중의 수평 파선은 볼트 접합부의 단기허용내력을 나타낸다. 그림에서 나타난 것과 같이 P40BN시험체인 경우에는 단기허용내력에 도달할 때까지 미끄럼 변위는 거의 일어나지 않고 있으나, P60BN, P60NN시험체인 경우에는 단기 허용내력에 도달하기 이전에 미끄럼 변위가 발생하고 있다. 특히, 충전강관 내부에 다이어프램이 설치되지 않은 P60NN시험체의 경우에는 변위가 크게 발생하고 있다. 이는 내부에 다이어프램이 설치되지 않아 기둥의 플랜지면이 면외로 변형이 발생하기 때문으로 판단된다.

최대 전단내력에 있어서는 기둥의 폭두께비가 40인 시험체가 폭두께비 60인 시험체에 비하여 20%전후로 높게 나타나고 있으며, 모든 시험체가 단기 허용전단 내력에 비하여 50%이상 높은 내력을 나타내고 있다.

### 3.3 시험체 파괴형상

실험종료후 시험체 파괴형상은 그림 7에 나타난다. 강관의 폭두께비가 40인 P40BN시험체의 경

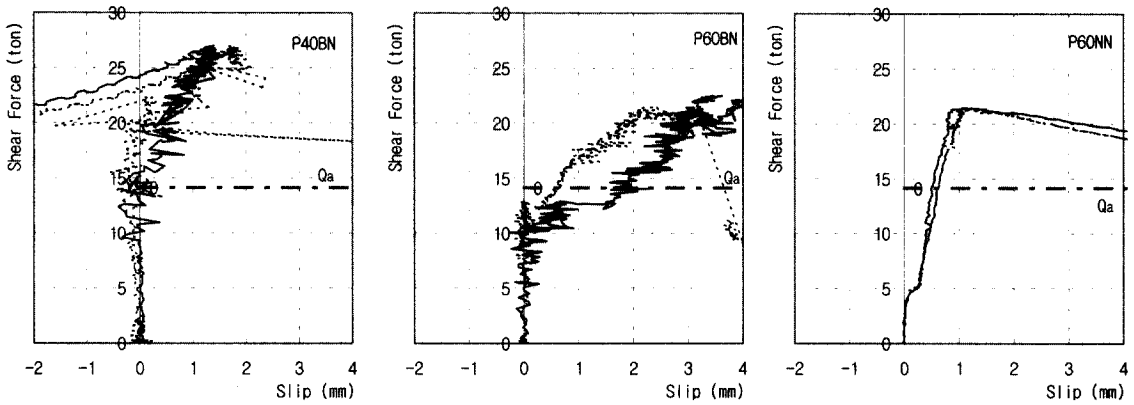
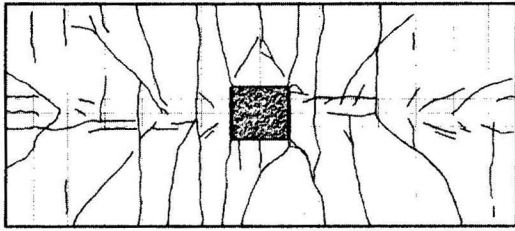


그림 6. 접합부 전단력-미끄럼 관계

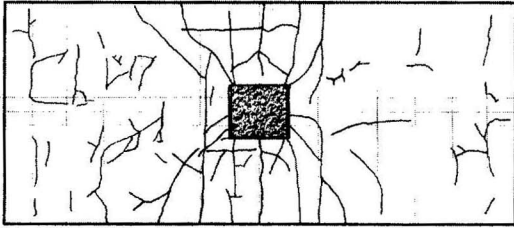
그림 7. 시험체 파괴 형상

우에는 강관의 면의 변형이 폭두께비가 60인 시험체에 비하여 적게 나타나고 있으며, 실험 종료 시까지 강관이 찢어지는 현상은 나타나고 있지 않다. 그러나 폭두께비가 60인 시험체의 경우에는 면의 변형이 크게 나타날 뿐만 아니라 특히, 수평 다이어프램이 설치된 P60BN 시험체의 경우에는 강관의 과도한 면의 변형과 더불어 찢어지는 현상이 발생하고 있다. 이는 전단접합 플레이트 상하에 설치된 수평 다이어프램으로 인하여 강관의 면의 변형이 전단접합 플레이트 부근에 집중되어 일어나는 현상으로 판단된다.

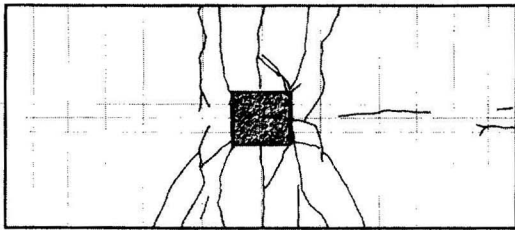
슬래브가 설치된 시험체의 실험종료후의 파괴형상은 그림 8에 나타난다. 강접합부 시험체인 R40BS 시험체인 경우에는 슬래브의 단부에서 접합부위까지 고른 크랙 발생 양상을 나타내고 있으나, 편접합부 시험체인 경우에는 폭두께비가 40인 P40BS 시험체인 경우에는 슬래브 전역에 걸쳐 크랙 발생 현상을 나타내고 있다. 그러나 폭두께비 60인 P60BS 시험체인 경우에는 슬래브의 크랙 발생이 보의 접합부 주위에서만 발생하고 있다. 이는 폭두께비가 60인 시험체가 40인 시험체에 비하여 접합부의 회전강성이 작아 보의 변형이 집중되고



R40BS



P40BS



P60BS

그림 8. 시험체 파괴형상(슬래브)

있기 때문이다.

#### 4. 결론

본 연구에서는 콘크리트 충전 각형강관-H형보 접합부를 대상으로 역학적 특성을 규명하기 위한 실험을 수행하였으며, 얻어진 결론은 아래와 같다.

- 1) 슬래브가 없는 실험체의 경우에는 핀접합부의 모멘트-회전각 관계가 AISC에서 규정하고 있는 핀접합부 범위에 속하고 있다.
- 2) 핀접합 시험체중 H형보위에 슬래브를 설치한 경우 연속슬래브와의 합성효과로 접합부의 회전강성 및 내력이 핀접합부의 범위를 벗어나고 있다.
- 3) 핀접합부 시험체중 기둥의 폭두께비가 큰 경

우 폭두께비가 작은 시험체에 비하여 접합부의 회전강성이 낮으며, 변형도 접합부에 집중되어 일어나고 있다.

- 4) 충전강관의 한계 폭두께비에 해당하는 시험체중 수평 다이어프램이 설치된 전단 접합부 시험체의 경우 변형이 전단 접합부에 집중하여 발생한다.
- 5) 다이어프램이 없는 핀접합부의 경우 가력개시점 부터 각형강관의 면외변형이 발생하고 있으나, 다이어프램을 설치한 시험체와 거의 대등한 전단내력을 나타내고 있다.

#### 참고 문헌

- (1) 대한주택공사, 철골조 초고층아파트 시스템 개발연구(I, II, III), 1995. 5, 1996. 5, 1996. 12
- (2) 삼성건설, 합성강관 기둥의 구조특성에 관한 연구, 1993.12 대한건축학회, 강구조계산규준 및 해설, 1983. 12
- (3) 김철환, 정하선, 콘크리트 충전 각형강관 기둥의 역학적 특성에 관한 연구, 대한건축학회 논문집, 제13권, 제5호, pp.259-270, 1997. 5
- (4) 강현식, 김동규 외, 충전 콘크리트 원형강관 기둥-보 접합부의 단순모델에 의한 실험적 연구, 대한건축학회 논문집, 제12권 제4호, pp.167-175, 1996. 4
- (5) 강창훈, 문태섭 외, 중심압축을 받는 콘크리트 충전 각형강관기둥의 거동, 대한건축학회 논문집, 제12권, 제8호, pp. 203-212, 1996. 8
- (6) 김철환, 이은택, 콘크리트 충전 각형강관기둥-보 강접합부의 거동에 관한 연구, 한국강구조학회 논문집, 제10권, 제4호, pp.741-748, 1998. 12
- (7) 日本建築學會, 鋼管コンクリート構造計算規準・同解説, 1981
- (8) 대한건축학회, 강구조계산규준 및 해설, 1983
- (9) AISC, Load & Resistance Factor Design
- (10) Charles G. Salmon, John E. Johnson, "Steel Structures (design and behavior)", Harper & Row

(접수일자 : 2000년 5월 22일)