

# 고강도 철근 콘크리트 보-기둥 접합부의 연성평가

## Ductility Estimation of Exterior Beam-Column Joints using High-Strength Concrete

장극관\*  
Chang, Kuk Kwan

서대원\*\*  
Seo, Dae Won

황정현\*\*\*  
Hwang, Jung Hyun

### ABSTRACT

This paper presents a study in the ductility of reinforced concrete beam-column-slab joints. Three assemblies were designed 2/3 scale ( $f_c' = 240\text{kg/cm}^2$ ,  $f_c' = 700\text{kg/cm}^2$ ) and tested to investigate seismic behavior.

From the test results, 1) flexural cracks emerge to inside of beam deeply for high strength concrete member, 2) the high-strength specimens degraded in stiffness and strength, and unstable hysteretic behaviors were observed, owing to the brittleness of high-strength concrete beyond its range. 3) The confinement provided by the additional hoops to the column bar is probably the main reason for this improvement in behavior.

### 1. 서론

고층건물의 실용화 단계에서 고강도 콘크리트와 고장력철근을 사용한 철근 콘크리트 건물의 보-기둥 접합부는 보 부재의 휨항복시에 발생하는 전단응력과 보주근의 부착응력이 상당히 크기 때문에 접합부의 전단파괴와 접합부내의 주근 정착파괴등 구조상 바람직하지 않은 형상이 발생할 가능성이 있다. 또한 현재의 접합부 내진설계기준은 보통강도의 재료를 사용한 실험결과를 바탕으로 제정되었기 때문에 고강도 재료를 사용할 경우에 부재의 거동특성이 보통강도 콘크리트 경우와는 현저히 다를 수 있다. 따라서 고강도 재료를 사용한 철근 콘크리트조 건물에서 보-기둥 접합부의 내진성능, 특히 접합부의 전단거동특성을 분석하고 중진지역인 우리나라에서의 현실에 부합되는 합리적인 배근상세와 더불어 설계방안의 필요성이 요구되고 있다. 본 연구에서는 반복주기하중을 받는 고강도 철근 콘크리트 보-기둥-슬래브 접합부의 역학적 특성을 규명하고 일반강도 콘크리트와 고강도 콘크리트 실험체에 대한 반복주기하중 실험을 통한 권연현상을 관찰하여 콘크리트의 강도가 높아짐에 따른 접합부의 전단내력 및 연성능력증진에 대한 횡보강간의 영향을 조사하여 보-기둥 부분 구조체의 구조성능 개선을 위한 기초적인 자료를 제공하는데 목적이 있다.

\* 성희원, 서울산업대학교 건축공학과 교수


\*\* 서울산업대학교 건축공학과 석사과정

## 2. 실험

### 2.1 일반사항

부재의 반복주기하중을 받는 고강도 철근 콘크리트 보-기둥 접합부의 거동특성을 파악하기 위하여 실제 서울지역의 30층 모멘트연성 골조 구조물의 10층 외부 보-기둥 접합부를 대상으로 제작하였다. 실험체의 크기는 실제구조물의 2/3크기로 축소된 보와 기둥, 슬래브로 구성되었으며 일반강도 보-기둥 접합부, 고강도 콘크리트를 사용한 보-기둥 접합부를 제작하였다. 철근의 배근은 실제 구조도면 배근을 2/3로 축소하여 실제 구조물과 같은 효과를 낼 수 있도록 배근하였으며, 각 실험체의 형태 및 특징은 표 1에 나타나 있다.

표 1 실험체의 단면형상 및 배근상황

Specimens		Beam(200×300mm)		Column(250×250mm)		Slab	Connection	Compressive strength (kg/cm <sup>2</sup> )
		Top / Bottom	Stirrup	Longitudinal bar	Hoops		Hoops	
NBCBS		4-D16 / 3-D16	D10 @100	8-D19	D10 @150	φ6 @150	D10-1EA	240
HBCBS-1							D10-3EA	700
HBCBS-2								

### 2. 2 실험체의 설치 및 실험방법

실험체는 실험시에 변형상태에서 변곡점이 재현되도록 실험체 기둥의 양단에 힌지를 제작하여 설치하였다. 또한 접합부부위의 변형을 측정하기 위하여 기둥과 보의 동일한 위치에 스트레인 게이지(strain gage) 17개를 부착하였으며 슬래브에 8개의 스트레인 게이지를 부착하였다. 또한 보의 변곡점에 작용하는 하중을 조절하고, 보와 접합부의 변형을 측정하기 위하여 17개의 LVDT를 부착하였다. 실험체 기둥의 축하중은 먼저 선정된 기둥

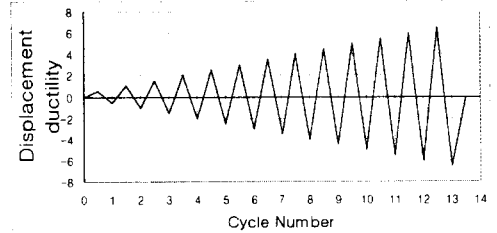


그림 1 적용하중의 이력형태

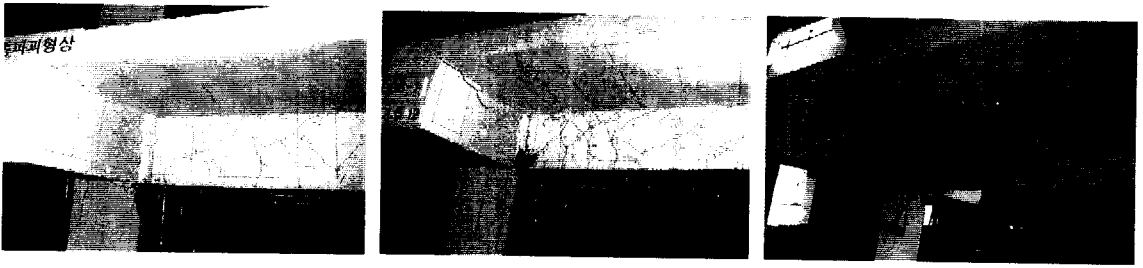
에 가해지는 축하중을 구하고 상사법칙의 축소율에 따라 오일잭을 사용하여  $0.15 f_c' A_c$ 에 해당하는 축력을 실험 종료시까지 일정하게 재하하였다. 반복하중을 위한 가력장치는 MTS 25ton 용량의 액츄에이터(Actuator)를 사용하였으며, 보의 변곡점에 변위제어에 의해 하중을 작용시켰다. 반복주기의 하중은 그림 1과 같다.

## 3 실험결과 및 분석

### 3. 1 균열 및 파괴상황

그림 2는 각 실험체의 최종 파괴양상을 보이고 있다. 일반강도 실험체 NBCBS는 1 cycle에서 슬래브 상부와 보 밑면에서 초기균열이 발생하였으며, 접합부의 전단 균열은 3 cycle에 발생하였다. 접합부 보강근이 같은 고강도 실험체 HBCBS-1은 접합부의 균열은 3 cycle에 발생, 11 cycle이후에 급격히 균열이 진전되었는데, 이는 고강도 콘크리트의 취성적인 성질에 기인한 것으로 판단된다. 보강근이 3개인 HBCBS-2는 초기균열은 1 cycle에 슬래브와 보 밑면에서 발생하였고, 이후 HBCBS-1과 유사한

균열이 생성되었으나, 최종 파괴형상은 HBCBS-1에 비해 양호하였다.



(a) NBCBS-1

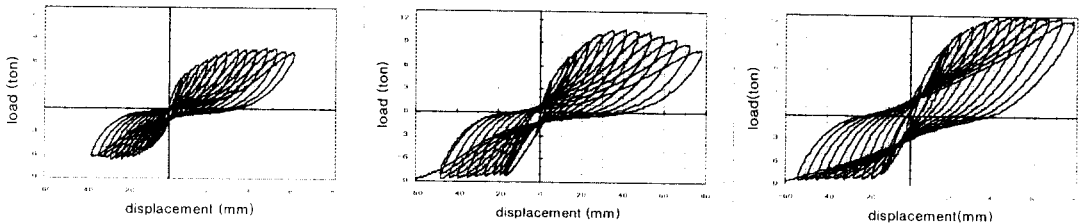
(b) HBCBS-1

(c) HBCBS-2

그림 2 실험체의 최종파괴형상

### 3. 2 하중-변위곡선

그림 3은 각 실험체의 하중-변위 곡선을 보여주고 있다. 각 cycle이 증가할수록 균열폭과 수의 증가로 강도의 저하현상을 나타내고 있다. 또한 +방향 가력시에 -방향보다 강도가 크게 나타나 비대칭곡선을 보이고 있는데, 이는 철근의 단면적이 상단부가 25% 더 크게 배근되었으며, 슬래브 및 슬래브근의 효과 때문으로 판단된다. 또한, 횡보강된 HBCBS-2의 경우 변위 연성비의 증가에 따라 내력을 일정하게 유지되고 있음을 알 수 있다.



(a) NBCBS

(b) HBCBS-1

(c) HBCBS-2

그림 3 실험체의 하중-변위 곡선

### 3. 3 강도, 강성, 연성

그림 4는 각 실험체의 강도의 저하를 나타내고 있다. 일반강도 콘크리트를 사용한 NBCBS는 초기강도가 고강도 실험체에 비해 작았으나 반복주기 하중의 증가에 비교적 안정된 모습을 나타내었다. 고강도 실험체 HBCBS-1은 NBCBS 실험체에 비하여 30%정도의 강도증가를 보였으나, 10 cycle이후 강도가 크게 떨어졌다. 접합부에 3개의 보강근을 사용하여 횡구속한 HBCBS-2 실험체는 HBCBS-1 실험체에 비하여 안정된 모습을 나타내었으며, 그림 3의 하중-변형도 곡선을 참고하여 볼 때 접합부가 안전하게 보호되고 있음을 확인할 수 있다. 강성의 저하는 부재에서 발생한 균열의 크기와 관계가 있다. 동일한 배근의 NBCBS와 HBCBS-1을 비교하면 콘크리트 압축강도가 증가하면서 강성의 저하가 큰 것으로 나타났다. 횡보강한 HBCBS-2는 완만한 하향곡선을 나타내고 있어, 더 큰 변위연성능력을 가지는 것을 알 수 있었다. 그림 5는 각 실험체의 강성을 비교하고 있다. 부재의 연성은 부재 항복시의 처짐을 기준으로 하여 부재의 최대하중시의 처짐과 부재의 최종처짐을 비율적으로 나타내어 평가한다. 콘크리트의 압축강도가 증가할수록 부재의 연성능력은 떨어졌음을 NBCBS와 HBCBS-1의 비교를 통해

알 수 있다. 3개의 보강근으로 횡구속한 HBCBS-2는 연성능력이 HBCBS-1에 비하여 향상되었으며, 이는 횡보강근이 코아콘크리트를 구속하여 보호하였음을 알 수 있다.

### 3. 4 에너지 소산능력

에너지 소산능력은 요구되는 강도를 유지하면서 흡입된 지진에너지를 분산시킬 수 있는 능력을 예측하고 상호 비교하기 위한 것으로서, 이는 구조물의 설계에 참고자료로 이용될 수 있다. 그림 6은 각 실험체의 누적된 에너지 소산량을 나타내었다. 그림6에서와 같이 콘크리트 강도에 따른 차이는 적게 나타났으나, 횡보강근의 증가에 따라 HBCBS-1과 HBCBS-2의 차이는 크게 나타났다.

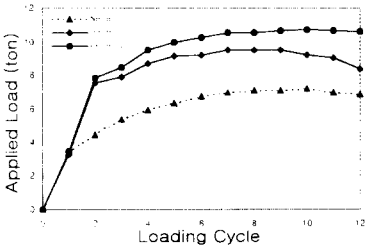


그림 4 실험체의 최대내력 비교

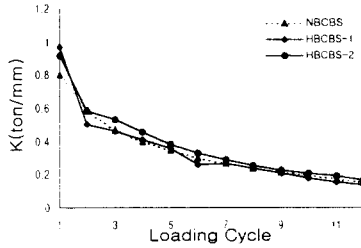


그림 5 실험체의 강성비교

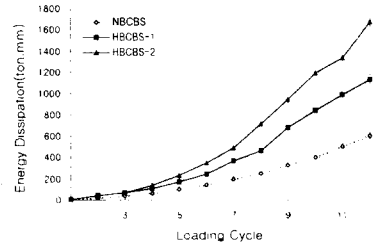


그림 6 에너지 소산능력 비교

## 4. 결론

이상과 같은 반복주기하중을 받는 외부 보-기둥-슬래브 접합부의 실험을 수행한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다. 1) 동일한 배근하에서 고강도 콘크리트가 사용된 실험체는 일반강도 실험체에 비해 초기 강도 및 강성의 증가를 보였으나 연성능력 감소를 보였다. 따라서 구조물의 내진성능은 떨어지는 것으로 사료된다. 2) 횡보강근의 증가는 부재의 연성능력을 증진시키고 접합부의 파괴를 지연시키며 따라서 내력이 증가되었다.

## 감사의 글

본 연구는 한양대학교 초대형 구조시스템 연구센터의 지원하에 수행중인 “고강도 철근콘크리트 보-기둥 접합부의 전단거동 및 배근상세” 연구의 한 부분으로 센터의 지원에 감사를 표합니다.

## 참고 문헌

- 1) Glenn M. Marquis, "Effect of High-Strength Concrete on The Seismic Response of Concrete Frames", M. Eng. Thesis, Department of Civil Engineering and Applied Mechanics, McGill University, Montreal, Quebec, 1997.
- 2) Gilson N. Guinmaraes, Michael. E. Kreger, Jamens O. Jirsa, "Reinforcement Concrete Frame Connection Constructed Using High-Strength Materials, Report No.89-1, Phill M. Ferguson Structural Engineering Laboratory, The University of Texas at Austin, August, 1989
- 3) ACI-ASCE Committee 352, " Recommendation for design of beam-column joints for seismic resistance"(SP-123), ACI, Detroit, March, 1991.