

# 高强度 콘크리트 보-기둥接合部の 역학적 거동에 관한 研究

- 구부림 철근을 중심으로 -

## The Investigation of the Effects on Bent-up Bars within Beam-Column Joint Core with High-Strength Concrete

李 光 洙\* 吳 貞 根\*\* 申 成 雨\*\*\* 崔 문 식\*\*\*\*  
 Lee, Kwang Soo Oh, Jung Geon Shin, Sung Woo Choi, Moon Sik

### 요 약

건축구조물의 초고층화, 대형화 및 특수화 되어가는 현재의 실정에 고강도콘크리트의 사용은 필수적인 부분으로 대두되기 시작하였다. 그러나 이러한 필수적인 필요성에도 불구하고 ACI Building Code에서는 콘크리트의 강도가 420kg/cm<sup>2</sup>이하에 관한 구조설계기준만을 제안하고 있는 실정이므로 420kg/cm<sup>2</sup>을 넘는 고강도 콘크리트 사용시 이에 따른 정확한 규준식이 정립되어 있지 못한 실정이다. 따라서 본 연구는 고강도 콘크리트 보-기둥접합부 설계에 기본적인 자료를 제공하고자 하였으며, 시험체는 총 5개로서 선정된 주요변수는 콘크리트 압축강도( $f'_c=300\text{kg/cm}^2$ 과  $800\text{kg/cm}^2$ ), 하중재하방법(일방향 단조하중과 반복하중) 그리고 접합부내의 구부림철근 사용 유·무등으로 하였다.

이상과 같은 변수에 따른 실험결과로서, 반복하중을 수행한 시험체가 일방향단조하중을 수행한 시험체의 최대하중수행능력에 비해서 73%정도밖에 미치지 못하였으며 접합부내에 기준배근을 한 시험체에 비해서 접합부내의 사인장 대각균열 발생역제 및 접합면의 균열들이 접합부내 기둥으로 진전하는 것을 막을 수는 있었으나 접합부내를 과다하게(횡보장근+구부림철근) 보호함으로써 균열들이 분담되지 않고 보-기둥접합면에 집중되어 피해가 가중되는 현상을 보이게 되므로 고강도 콘크리트 보-기둥접합부 설계시 접합부내에 구부림철근의 사용은 적절하지 않은 것으로 보인다.

### Abstract

The purpose of this study was to investigate the effects of bent-up bar within beam-column joint core with High-Strength Concrete up to 800kg/cm<sup>2</sup>. To achieve these objectives, 5 specimens were designed and tested under monotonic loading and reversed cyclic loadings. The primary variables were the number of bent-up bars, compressive strength of concrete and loading patterns. The results showed that the load capacity of specimen subjected to monotonic loading had more large than that of specimn subjected to reversed cyclic loadings and the bent-up bar within joint core could prevented the crack at the joint face from propagating into the joint core but the failure was concentrated at the face of beam-column joint. Thus the study on flexural strength ratio should be accomplished before using bent-up bars within the joint core.

\* 한양대 대학원 박사과정  
 \*\* 신경건설 주택사업부  
 \*\*\* 정희원, 한양대 건축과 조교수  
 \*\*\*\* 정희원, 단국대학교 건축과 교수

## 1. 서론

근래에 가장 널리 사용되고 있는 건축재료중의 하나인 콘크리트는 무게에 대한 낮은 강도(Low Strength)와 약한 연성(Low Ductility)때문에 구조재료로서 많은 문제점을 내포하고 있는 실정이다. 또한 최근에 들어서면서 건축구조물들이 초고층화 및 대형화 그리고 특수화됨에 따라서 고강도 콘크리트의 사용은 급증하였다. 그러나 고강도 콘크리트를 사용하여 구축한 건축구조물의 설계에는 정확한 기준이나 제안이 없으며 또한 고강도 콘크리트를 사용한 보-기둥접합부에 관한 연구가 거의 없는 실정 이므로 본 연구는 콘크리트 압축강도 800kg/cm<sup>2</sup>의 고강도 철근 콘크리트 보-기둥접합부 시험체를 제작하여 지진과 같은 반복하중하에서 고강도 콘크리트 부재의 거동을 조사, 분석하였다.

1967년 미국 Potland Cement Association 실험실에서 Hanson과 Coner를 시작으로 지난 20여년동안 철근콘크리트 보-기둥접합부에 관하여 많은 연구가 수행되어져 왔으며<sup>1, 2, 3)</sup> 이들을 바탕으로 하여 1976년에 ACI-ASCE 352-76 Recommendations을 제시하였다<sup>4)</sup>. 그리고 이후 계속되는 연구결과들을 바탕으로 하여 1985년에 ACI-ASCE 352 Committee는 새로운 개정된 지침서를 제안하였다.<sup>5)</sup> 그러나 이러한 지침서들은 보통 강도 콘크리트(420kg/cm<sup>2</sup> 이하: ACI 363 정의)를 대상으로 이루어졌 다.<sup>6)</sup> 그러므로 이 제안에 따라 고강도 콘크리트를 사용한 보-기둥접합부의 내진거동에 관한 것은 많은 의문점을 내포하고 있다. 고강도 콘크리트를 사용한 보에 충분한 전단보강을 하였을 경우 고강도 콘크리트의 가장 큰 취약점인 급격한 취성파괴(Brittle Failure)를 보완할 수 있음을 보였으며,<sup>7)</sup> 고강도 콘크리트 보-기둥접합부내에 ACI-ASCE 352 Recommendation에 의한 횡보강간격의 제한에 따라 설계를 하여 실행한 연구에서는 현재의 횡보강간에 대한 제한이 고강도 콘크리트를 사용한 보-기둥접합부내(Joint Core)를 보호하는데 적절하다는 실험결과를 보여주었다. 그리고 본 연구에서는 보-기둥 접합부내를 보다 안전하게 보호하기 위한 방법으로서 접합부내에 사인장 대각근의 발생 및 진전을 억제하기 위한 것으로 접합부내를 지나는 보주철근을 대각으로 구부려 사용함으로써 이에 따른 영향을 조사·검토·분석하여 고강도 콘크리트를 사용한 구조물설계에 기본적인 자료를 제시하고자 하였다.

## 2. 시험체 계획

### 2.1 시험체의 일반적 사항

본 실험의 연구 대상으로는 철근 콘크리트 라멘 골조 구조물에서 지진과 같은 반복수평하중이 작용할 경우에 피해가 심각한 부분인 저층부 코너 접합부를 선정하였으며(ACI-ASCE Committee 352에 의한 분류), 대상 시험체의 디자인은 ACI 318-89를 기준으로 하였다. 그리고 제작된 시험체는 총 5개로서 이들의 전형적인 상세는 그림 1에 그리고 그의 특성은 표 1에 나타나 있다.

표 1. 시험체 특성

시험체명	f <sub>c</sub> (kg/cm <sup>2</sup> )	등가 f <sub>c</sub> (kg/cm <sup>2</sup> ) *	재하 방법 **	전 단 스펠비 (a/d)	Hoop 갯수 (core)	Mr (ΣMc) (ΣMb)	구부림 방향 (core)
NJC3-R0	328	308	C	4.5	3	1.4	0
HJM3-R0	851	800	M	4.5	3	1.4	0
HJC3-R0	851	800	C	4.5	3	1.4	0
HJC3-R0-B1	851	800	C	4.5	2	1.4	2
HJC3-R0-B2	851	800	C	4.5	1	1.4	1

\* 등가 f<sub>c</sub> = 0.94 × f<sub>c</sub>

\*\* C: Cyclic Loadings(M: Monotonic Loading)

사용된 시험체는 다음과 같은 특성을 갖는다.

- 1) 보의 일정한 전단 스펠비(a/d = 4.5)
- 2) 보의 전단 보강: 기둥의 접합면으로부터 첫번째 전단 보강간 = d<sub>b</sub>/8, 이후로는 d<sub>b</sub>/4로 일정 배간
- 3) 콘크리트 압축강도: 300kg/cm<sup>2</sup>과 800kg/cm<sup>2</sup>
- 4) 기둥의 Hoop간격: d<sub>c</sub>/4로 일정 배간
- 5) 보-기둥 접합부내의 횡보강간격: d<sub>c</sub>/4<sup>(8)</sup>
- 6) 접합부내 구부림철근

예를 들어 HJC3-R0-B1은 다음을 의미한다.

H: High Strength Concrete(N: Normal Strength Concrete)

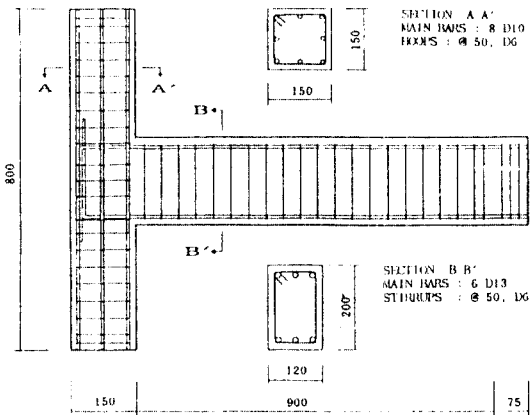
J: Beam-Column Joint

C: Cyclic Loadings(M: Monotonic Load)

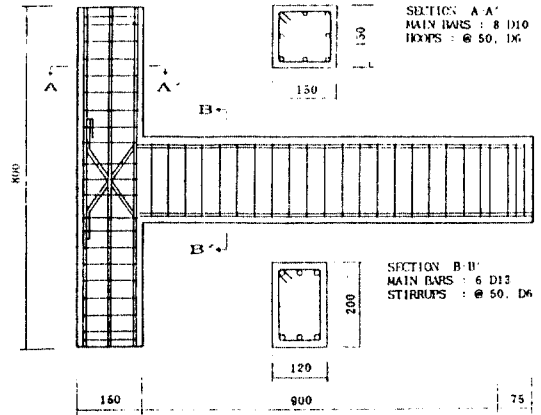
R0: 보-기둥의 횡강성비(M<sub>r</sub> = 1.4)

B1: 접합부내의 구부림철근: 2방향(B2: 1방향)

이상과 같은 시험체 선정 및 시험체명에 따른 주요변수로는 콘크리트의 압축강도(f<sub>c</sub>: 300과 800kg/cm<sup>2</sup>), 하중재하 방법(일방향 단조하중 및 반복하중) 그리고 접합부내의 보주철근 구부림방법으로서 각각 이들 변수에 따른 시험체



(a) 기준 배근 시험체



(b) 구부림철근 시험체

그림 1. 시험체 상세도

의 거동을 관찰하였다.

## 2.2 재료 및 배합

본 실험에서 사용한 재료들중 시멘트는 S사의 2종 수출용 포틀랜드 시멘트를 사용하였으며, 세골재로는 한강사, 조골재는 최대 크기 10mm의 화강암 쇄석을 각각 사용하였다. 고유동화제로서 나프탈린계 Super-20을 사용하였으며, 기동주근은 D10(SD40)를, 보조근으로는 D10, D13(SD40)를 그리고, 보와 기동에 보강근으로 D6 (SD40)의 철근을 사용하였다. 콘크리트의 비빔은 rpm 25의 강제식 Mixer를 사용하여 1 Batch에 시험체 1개와 강도시험용 공시체를 제작하였으며, 타설과 동시에 KS F 2402에 따른 슬럼프테스트를 실시하였다. 제작완료된 시험체 및 원통형 공시체는 2일간의 대기양생후 거푸집과 물을 탈형하여 실험 하루전까지 약 25°C 전후의 온도에서 수중양생을 시켰다.

## 2.3 콘크리트 강도시험

원통형 공시체는  $\phi 10 \times 20$ cm로 제작되었으며 각각 재령 28일에 대한 압축강도 및 항열인장강도 실험을 실행하였다. 사용기기는 100ton 용량의 U.T.M.으로 하였으며, 압축강도 실험시에는 편심을 최소화시키고 하중작용면에 고른 응력분포를 위하여 공시체의 상하부분을 유황으로 캡핑(Capping)하였다. 그리고 이들의 결과에 표준공시체 ( $\phi 15 \text{cm} \times 30 \text{cm}$ )에 대하여 KS F 2405에 따라 보정계수 0.97을 곱하였으며, 이는 표 2에 나타나 있다.

표 2. 콘크리트 강도 실험결과

구분 공시체	크기 (cm)	압축강도 (kg/cm <sup>2</sup> )	인장강도 (kg/cm <sup>2</sup> )	인장/압축 (%)
No.1	$\phi 10 \times 20$	860	63.5	7.38
No.2	$\phi 10 \times 20$	845	58.0	6.86
No.3	$\phi 10 \times 20$	850	63.5	7.47
No.4	$\phi 10 \times 20$	845	63.5	7.52
No.5	$\phi 10 \times 20$	855	61.5	7.19
평균		851	62.0	7.29

## 3. 시험체 설치 및 진행

### 3.1 기기 설치

시험체의 설치상황 및 가력골조가 그림 2에 나타나 있으며 가력골조는 Steel Frame으로 구성되어 있다. 가력골조에 시험체를 설치하기 전에 라멘골조건물의 실제 상황을 유추하기 위하여 시험체 기동 상하부분에 반곡점 (Inflection point)인 것으로 철물 Hinge를 제작하여 시험체 제작시 미리 매립한 D19의 나선강봉에 조립하였다. 철근의 변형도를 측정하기 위하여 집합부내와 보부분에 약 30개 정도의 스트레인게이지를 매립 설치하였으며, 이들의 상세는 그림 3에 나타나 있다. 그리고 보 가력점 부분에 1/1000mm까지 측정할 수 있는 다이알게이지(10 0mm)를 평균값(처짐)을 얻기 위하여 각각 상·하 양쪽 부분에 2개씩 설치하였다. 가력기기는 기동 축하중 재하를 위하여 최대용량 200톤의 유압용잭을 그리고, 보 단부 반복가력을 위하여 최대용량 50톤의 유압용잭을 설치

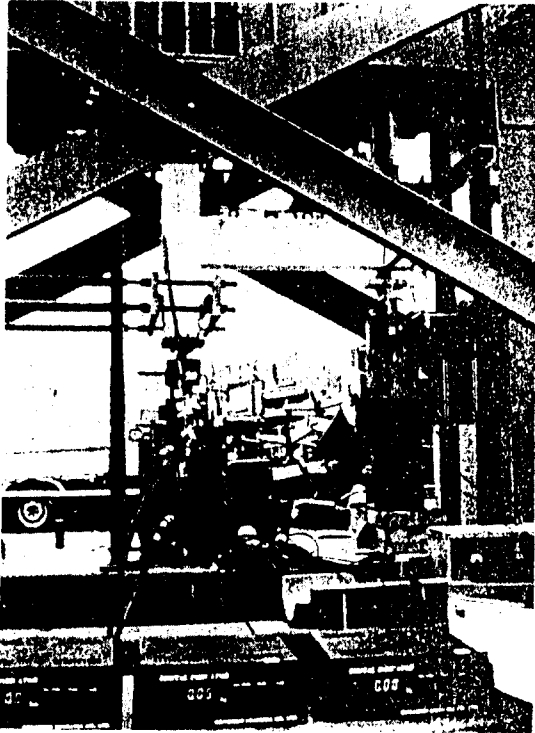


그림 2. 시험체 설치 상황

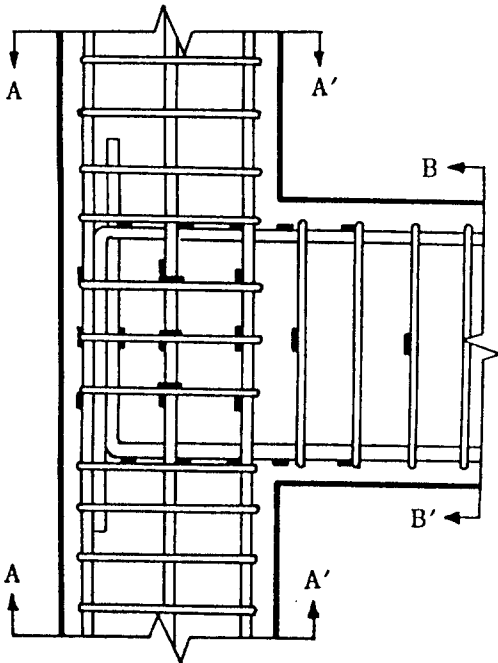


그림 3. Strain Gage 부착 위치도

사용하였으며, 보다 정확히 하중을 측정하기 위하여 200톤과 50톤의 로오드셀(Load Cell)을 200톤과 50톤의 디지털 인디케이터(Digital Indicator)를 각각 설치 사용하였다. 각각의 사용기기는 실험 당일전에 보정을 마쳤으며 시험체 설치후 각 계이지의 이상 유·무를 확인한 후 영점을 조정하였다.

### 3.2 실험 진행

가력관조에 시험체 조립을 완료한 후 기둥의 축하중은 평형축하중의 35% 정도로 각각의 시험체들에 실험종료까지 일정하게 재하하였으며, 심진지역에서의 경우 구조물의 항복변위( $\delta_y$ )를 훨씬 넘는 변형을 일으키게 되므로 최종변위연성비( $\delta/\delta_y$ )를 4로 하였으며, 보 단부에 실행한 반복하중의 양상은 그림 4와 같이 총 15Cycle로서 각각 변위연성비에 따라 3Cycle의 반복재하로 계획, 진행하였다. 가력시 발생하는 균열은 시험체 표면에 가력방향에 따라서 검정색과 붉은색으로 구별하여 표시하였다. 실험 진행 도중에 필요한 Data를 얻기 위하여 선택한 변위증가점에서 일시적으로 재하를 중지하였다.

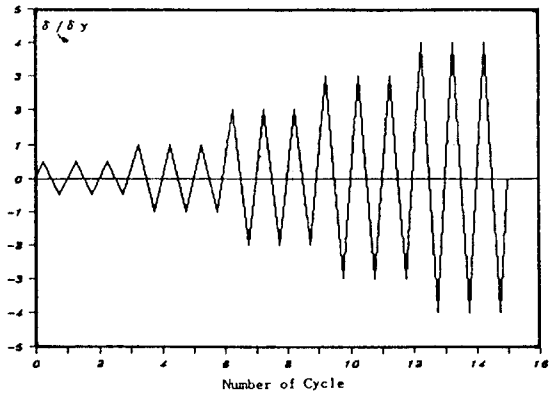


그림 4. Loading History

## 4. 결과 및 분석

### 4.1 일반적 파괴 양상

실험종료후 각 시험체들의 파괴양상이 그림 5에 나타나 있다. 실험진행 초기에서 모든 시험체들은 보-기둥접합부 부근에서 초기 휨 균열이 발생하기 시작하였으며, 일방향 단조하중(Monotonic Loading)을 받는 고강도 콘크리트 시험체(HJM3-R0)의 경우 계속 증가하는 하중으로 인하여 보 전반에 걸쳐 미세 균열들이 발생한 후 이 미세 균열들이 점점 선명하게 되었다. 이러한 균열들의 진전과 함께 접합부내에 사인장 대각 균열(Diagonal

Crack)이 발생하였으며, 이후 계속되는 재하로 보-기둥 접합면의 인장부가 열리기 시작함과 동시에 압축부의 마모와 함께 실험종료에 이르렀다. 이외의 반복하중을 받는 시험체들은 변위 연성비가 1.0인 2단계(4~6cycle) 진행과정에서 접합부내에 사인장 대각균열이 미세하게 나타나기 시작하였으나, 보-기둥접합부내에 구부림철근을 사용한 시험체들(HJC3-R0-B1, HJC-R0-B2)의 경우에는 접합부내에 사인장 대각균열이 발생하지 않았

다. 그러나 한쪽방향만을 구부림철근을 사용한 시험체인 HJC3-R0-B2의 경우 변위연성비가 계속 증가함에 따라 구부림철근을 사용하지 않은 방향으로 사인장 대각균열이 발생하였으며, 구부림철근을 사용한 시험체들은 접합면에 기준배근을 한 시험체에 비해 보-기둥 접합면에 보다 더 피해가 집중되는 현상을 보여주었다.

#### 4.1.1 하중재하 방법에 따른 영향

R/C 구조체가 일방향으로 단조 수평력을 받게 될 경우 보-기둥 접합면에서의 피해는 거의 휨에 의해 피해로 이루어지게 되나 지진과 같은 큰 반복 수평력을 받게 될 경우에는 휨에 의한 피해 및 하중반전에 의한 전단(Shear) 및 콘크리트와 철근사이의 부착강도(Bond Strength) 상실, 그리고 골재간의 맞물림(Aggregate Interlocking) 영향등이며, 최종파괴는 접합면에서의 휨-전단 균열에 의한 파괴양상에 도달하게 된다. 본 실험에서 수행한 시험체들(일방향 단조하중: HJM3-R0, 반복하중: HJC3-R0)의 피해상황에서 볼때 그림 5-1에서 볼 수 있듯이 일방향 단조하중을 재하한 시험체는 초기에 발생한 보-기둥 접합면에서의 균열이 최종적으로 인장축이 크게 열리고 압축부위의 콘크리트 마모와 함께 휨에 의한 최종파괴 양상을 보이고 있다. 반면에 반복하중을 수행한 시험체의 경우에는 보-기둥 접합면의 균열들이 하중반전으로 인하여 서로 교차하였으며, 최종적으로 접합면에서의 큰 균열이 발생하여 균열의 폭이 크게 열리게 되었다. 따라서 최종파괴는 그림에서와 같이 접합면의 집중적인 피해로 인해 콘크리트와 철근사이의 부착상실 그리고 골재간의 맞물림 상실등으로 인한 최종파괴양상으로 휨-전단파괴를 보이고 있다.

#### 4.1.2 콘크리트 압축강도의 영향

보-기둥의 휨강성비가 1.4로서 동일하고 접합부내의 횡보강근양도 각각 3개, 그리고 배근상태도 동일한 보통강도( $f'_c=300\text{kg/cm}^2$ ) 콘크리트 시험체(NJC3-R0)와 고강도( $f'_c=800\text{kg/cm}^2$ ) 콘크리트 시험체(HJC3-R0)의 파괴상황을 살펴 보면, 변위 연성비가 0.5인 1단계(1~3cycle)에서는 초기균열이 접합면으로부터  $d_b/8$  떨어진 부분에서 두 시험체에 거의 동일하게 발생하였으며, 균열진전상태도 거의 같게 진행하였다. 그러나 보통강도 콘크리트 시험체의 경우에는 변위연성비가 1.0인 2단계(4~6cycle)에서 접합부내에 균열이 발생하기 시작하였으나 고강도 콘크리트 시험체의 경우에는 변위 연성비가 2.0인 3단계(7~9cycle)에서 접합부내 균열이 발생하였다. 그리고

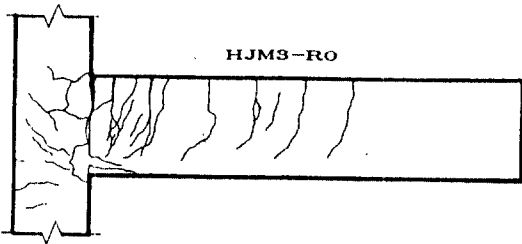
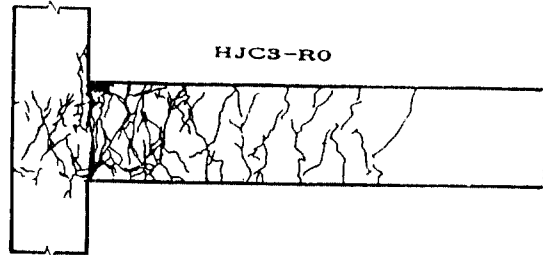


그림 5-1. 재하방법에 따른 파괴양상 비교

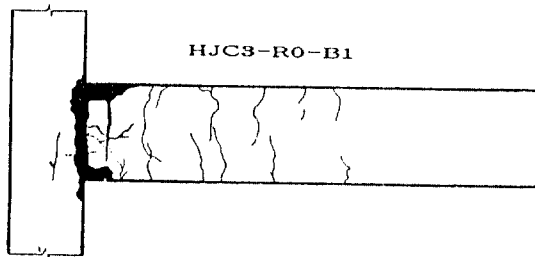
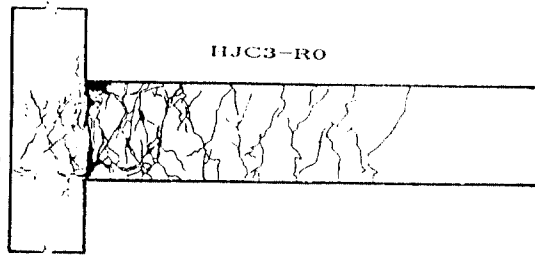


그림 5-2. 구부림철근에 따른 파괴양상 비교

그림 5. 최종파괴 양상비교

하중반전이 계속됨에 따라서 보통강도 콘크리트 시험체는 계속해서 작은 균열이 진전되었으며 접합면으로부터  $d_b/4$ 범위에 걸쳐서 최종파괴에 이르렀으나 고강도 콘크리트 시험체의 경우에는 이전에 발생하였던 균열의 진전이 보다 빠르게 진행하였으며 최종파괴는 접합면에서 큰 균열들과 함께 집중적인 파괴양상을 보여주었다. 이와 같이 고강도 콘크리트 시험체의 파괴양상은 단위 면적당 높은 하중수행능력을 갖고 있는 고강도 콘크리트 기둥 부분의 높은 축압(보통강도 콘크리트에 비해)에 의해 접합면의 균열이 접합부내로 거의 진전하지 못하였기 때문으로 여겨진다.

#### 4.1.3 접합부내 구부림철근에 의한 영향

본 연구의 주요변수인 접합부내 구부림철근(Bent-up Bar)에 따른 최종파괴양상이 그림 5-2에 나타나 있다. 접합부내에 기준배근을 한 고강도 콘크리트 시험체(HJC3-R0)와 접합부내에 상하 구부림 철근을 사용한 시험체(HJC3-R0-B1)에 대한 최종파괴양상비교로서 기준배근을 한 시험체의 경우 보-기둥 접합면에서 초기 휨균열이 발생한 후 보전반에 걸쳐 균열이 진전하였다. 이후 계속되는 하중반전과 변위연성비 증가에 따라서 접합부내 사인장 대각균열 발생과 함께 접합면의 균열들은 접합부내로 진전하였다. 그러나 HJC3-R0-B1 시험체의 경우 접합부내 사인장 대각균열 발생억제를 위한 목적으로 접합부내 구부림철근을 사용함으로써 접합부내를 안전하게 보호할 수 있었으나, 접합면에서부터 접합부내 Type 2 Joint의 위험부분(기둥의 보내측 주철근: ACI-ASCE Committee 352)까지 심한 피해현상을 보여주고 있어, 접합부내를 횡보간격  $d_c/4$ 와 구부림철근등으로 과다하게 보강함으로써 피해를 분산시키지 못하고 기준배근을 한 시험체에 비하여 피해가 더욱 가중되는 현상을 보여주었다.

### 4.2 하중-처짐 곡선

재하된 하중과 재하점(보단부)에서 측정된 처짐에 관한 하중-처짐 곡선이 그림 6(a)~(e) 사이에 나타나 있다. 일반적으로 변위연성비가 0.5인 1단계(1~3cycle)에서부터 변위연성비가 2.0과 3.0인 3~4단계까지는 하중수행능력이 증가하는 추세를 보여주고 있으나, 이후부터 실험종료 5단계에 이르기까지는 각 변수의 영향에 따른 하중수행능력의 다른 양상을 보이고 있다.

#### 4.2.1 하중재하방법에 따른 영향

동일한 콘크리트 압축강도( $f_c = 800\text{kg/cm}^2$ )와 동일한

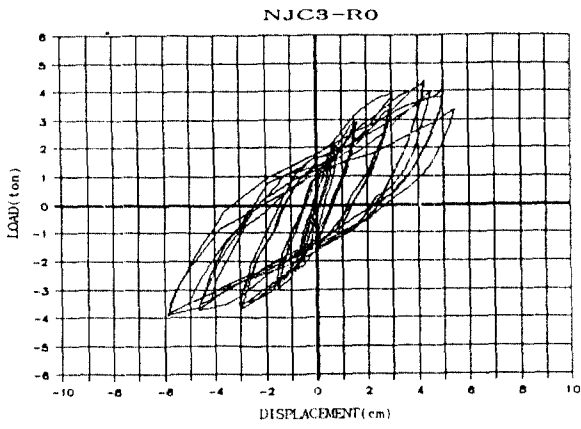
배근을 한 시험체에 있어서 일방향단조하중(Monotonic Loading) 재하를 실행한 시험체(HJM3-R0)는 접합부내 대각균열이 반복재하를 실행한 시험체(HJC3-R0)에 비해서 보다 더 큰 하중(일방향 단조하중: 3.65ton, 반복재하: 2.90ton)에서 발생하기 시작하였다. 실험종료까지의 최대 하중에 있어서도 일방향 재하의 경우는  $P_{max}$ 가 6.25ton으로 반복재하를 실행한 시험체의 4.55ton보다 약 28% 높은 하중 부담능력을 보여주고 있는데, 이는 일방향 단조하중에 비해서 반복하중에 의한 시험체의 피로현상 이외에도 휨 및 진단에 의한 변형과 큰 변위연성비에 의한 보 주근의 부차상실 등의 급진적 비탄성 변형에 의해 피해가 가중되어 최종적으로는 부재의 파손으로 이어지기 때문인 것으로 사료된다.

#### 4.2.2 콘크리트 압축강도에 따른 영향

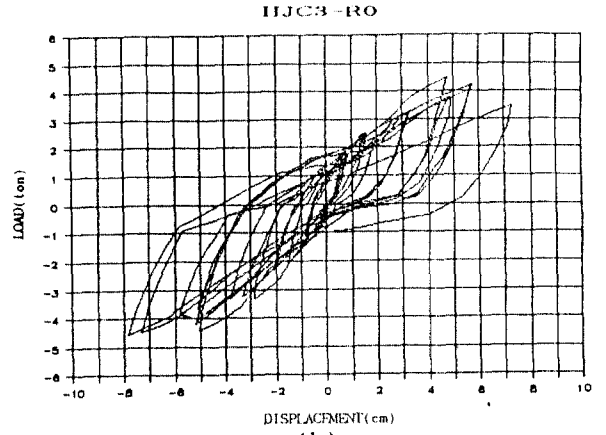
그림 6(b)와 (c)는 보통강도 콘크리트 시험체( $f_c = 300\text{kg/cm}^2$ )인 NJC3-R0와 고강도 콘크리트 시험체( $f_c = 800\text{kg/cm}^2$ )인 HJC3-R0에 대한 하중-처짐 곡선의 반복이력성상을 보여주고 있다. 시험체의 강성(Stiffness)을 나타내는 하중-처짐 곡선의 기울기가 고강도콘크리트 시험체의 경우 작아지는 강성저하 현상을 보여주고 있는데 이러한 것은 그림 5에 나타났듯이 보통강도 콘크리트 시험체의 경우에 파괴양상이 접합면으로부터  $d_b/4$ 에 걸쳐서 최종파괴에 이르렀으나, 고강도 콘크리트 시험체의 경우에는 접합면의 집중적인 파괴양상과 이에 따라 주근의 미끄러짐(Slippage) 등으로 인한 핀칭현상의 요인으로 보여진다.

#### 4.2.3 접합부내 구부림철근의 효과

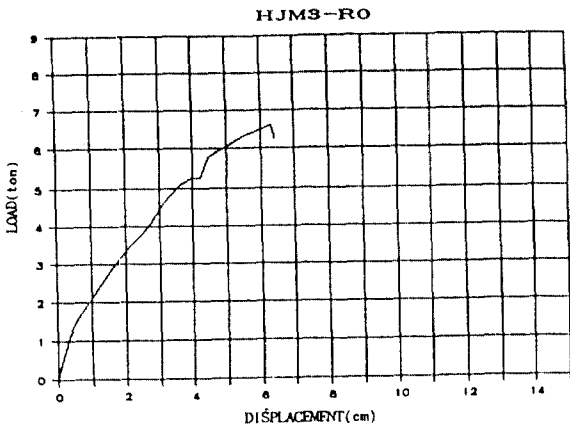
보-기둥접합부내에 상하구부림철근을 사용한 HJC3-R0-B1시험체의 경우 반복 Cycle이 진행함에 따라 기준배근을 한 HJC3-R0시험체와 비교해볼 때 매우 심각한 핀칭(Pinching)현상을 보여주고 있으며, 한쪽만 구부림 철근을 사용한 HJC3-R0-B2시험체의 경우에도 그래프 상하부분 중 아래부분만이 핀칭현상을 보여주고 있는데 이는 상하 구부림 철근을 사용한 시험체의 이력곡선과 기준배근을 한 시험체의 이력곡선을 합한것과 비슷하게 나타나 있다. 이렇게 접합부내 구부림철근을 사용한 시험체의 핀칭현상은 Type 2 Joint 설계시 접합부내에 보주근 구부림이 없는 경우에 비해서 접합면에서 기둥내측 주근부분인 위험단면에 걸쳐서 진단에 의해 지배되는 집중적인 피해를 보여주고 있으므로 이를 방지하기 위한 대책이 강구되어야 할 것으로 보여진다.



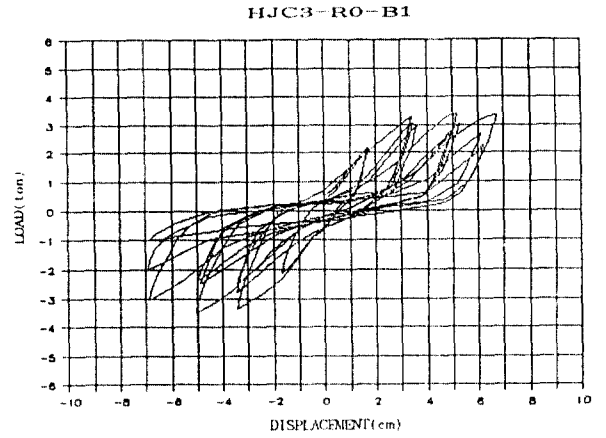
(a)



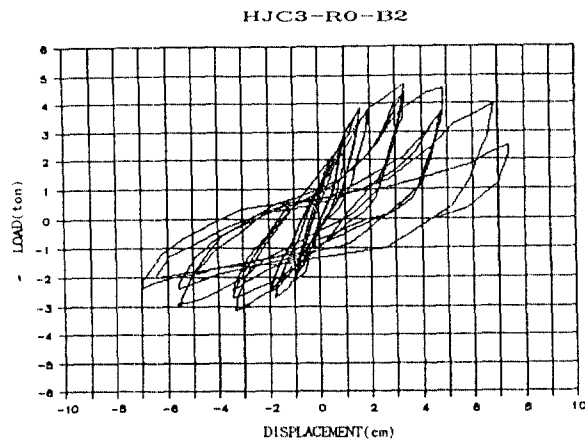
(b)



(c)



(d)

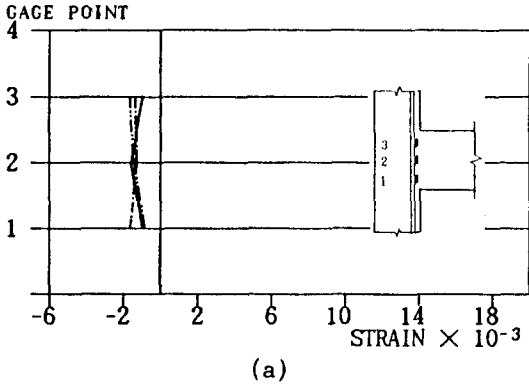


(e)

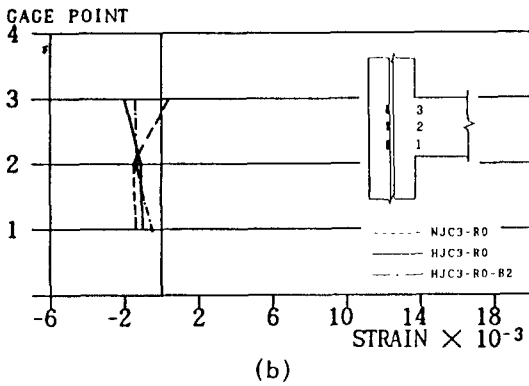
그림 6(a)~(e) 시험체별 하중-처짐 곡선

### 4.3 기둥주근의 변형을

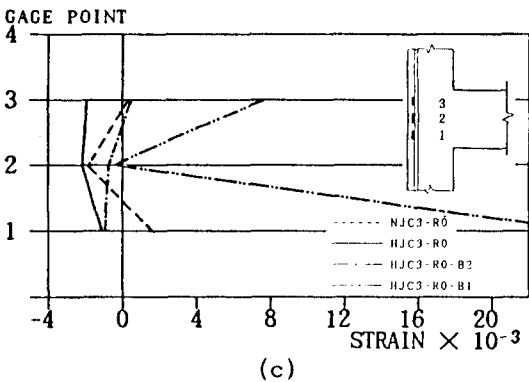
반복하중을 받는 철근콘크리트 보-기둥 접합부의 피해가 접합부내 기둥주근에 어떠한 영향을 미치는가를 조사하기 위하여 Foil Type Strain Gage를 각각 내측, 중간측 그리고 외측주근에 3개씩 부착하여 변형율을 측정하였다. 그림 7(a)~(c)에 나타난 바와 같이 보내측 주근에 대한 변형율 그림 6(c)와 중간측 주근에 대한 변형율



(a)



(b)



(c)

그림 7(a)~(c) 기둥주근에 대한 변형율

그림 6(b)에서는 항복변형율은 넘어선 것이 없었으나, 그림 6(a)의 경우 상하구부림 철근을 사용한 시험체인 HJC3-R0-B1의 경우 기둥외측 중간을 제외한 상하부분이 항복변형을 하였음을 보여주고 있다. 이러한 현상은 접합부내에 상하구부림철근을 사용한 경우에 접합부내에서 보의 구부림 정착부분이 기둥외측 주근과 함께 거동하지 않은 것으로 보여진다.

### 4.4 보-전단 보강근의 변형율

보-기둥 접합면에서의 피해상황과 보의 전단변형을 조사하기 위하여 보-기둥 경계지역인 첫번째 스티럽(Stirrup)의 중간부위의 변형율을 측정하였으며, 이에 대한 결과가 그림 8에 나타나 있다. 그림에서 보듯이 접합부내에 상하 구부림 철근을 사용한 시험체(HJC3-R0-B1)만이 변위연성비 2.0인 3단계(7~9cycle) 이후 큰 변형율을 보여주고 있다. 이러한 것은 앞서 언급한 전단에 의한 지배적인 거동과 가중된 피해발생 때문인 것으로 보여진다.

### CYCLE GROUP

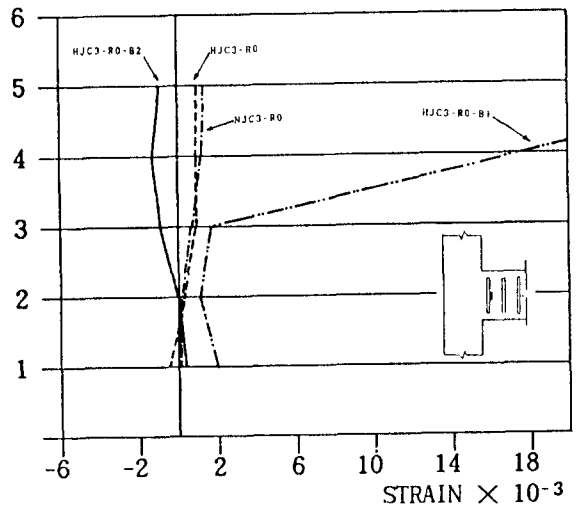


그림 8. 보-전단 보강근의 변형율

### 5. 에너지 소산능력에 대한 고찰

에너지 소산능력(Energy Dissipation Capacity)은 구조체가 지니고 있는 고유한 에너지 흡수능력을 파악하여 구조체가 외력으로 인해 큰 변형을 수반할 때 비탄성변형에 저항하는 능력을 평가하는데 적용이 되며, 이는 시험체가 수행한 하중-처짐곡선으로 이루어진 내부면적에



의하여 평가되어질 수 있다. 그림 9는 각각의 시험체가 수행한 에너지 소산능력을 변위연성비별로 하여 나타내고 있으며 에너지 소산능력은 보-기동접합면에 위치한 보주근의 항복시 내부면적으로 나누어 부차원화 시켰다. 그림 9에서 보듯이 변위연성비가 증가함에 따라 기준배근을 한 고강도 철근콘크리트 시험체 HJC3-R0와 상하 구부림철근을 사용한 HJC3-R0-B1시험체 그리고 한쪽방향만을 구부림철근을 사용한 시험체 HJC3-R0-B2의 최종적인 에너지 소산능력은 각각 19.368, 20.388, 21.868로서 거의 비슷하나 기준배근을 한 보통강도 콘크리트 시험체 NJC3-R0시험체의 최종 에너지 소산능력 27.503과 비교하여 낮은 값을 보이고 있다. 이러한 낮은 에너지 소산능력을 나타내고 있는 현상은 접합부내에 구부림철근을 사용한 시험체의 경우에 반복하중 Cycle의 진전에 따라 접합면에서의 보주근의 부작상실 및 구부림철근을 사용한 방향의 전단능력의 저하등에 의한 요인으로 하중-처짐곡선의 원점이 심하게 오프라드는 편칭현상 때문인 것으로 사료된다.

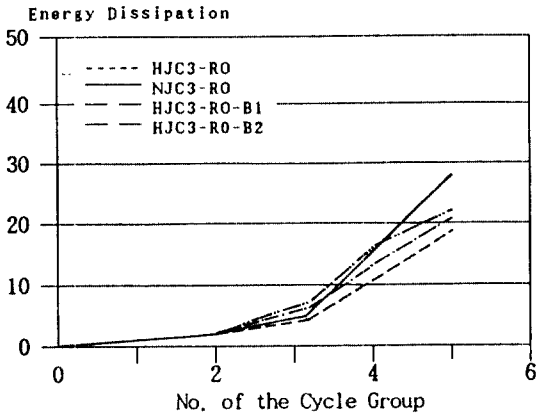


그림 9. 각 시험체별 에너지 소산 능력

### 6. 접합면에서의 전단응력상수( $\Gamma$ ) 고찰

보-기동 접합부를 ACI-ASCE 352 Type 2(c)로 설계하였을 때, 보-기동 접합면에서의 전단응력상수( $\Gamma$ )에 대한 부재설계시의 이론값, 실험값 그리고 ACI-ASCE 352의 한계값이 표 3에 나타나 있다. 이 표에서 보듯이 보통강도 콘크리트 시험체의 경우에는 이론값에 대한 실험값이 1.627배로 나타났으며, 이는 시험체의 크기가 일반구조물의 크기에 비해 작은것에 의한 영향으로 보여진다. 고강도 콘크리트 시험체들을 보통강도 콘크리트 시험체의 결과에 비교해 볼 때, 접합부내 횡보강근이

3개인 시험체(HJC3-R0)의 경우는 1.345로 매우 낮게 나타났으며, 또한 접합부내에 상하 구부림 철근을 사용한 시험체(HJC3-R0-B1)의 경우는 1.036 그리고 일방향 구부림철근을 사용한 시험체(HJC3-R0-B2)는 1.345로 각각 보통강도 콘크리트 시험체의 그것에 비해 낮게 머물고 있음을 알 수 있다.

표 3. 접합면에서의 전단응력상수 비교

시험체	전단응력상수( $\Gamma$ )			
	ACI 352 Type2(c)	이론값	실험값	실험값/이론값
NJC3-R0	12	14.040	20.714	1.627
HJM3-R0	-	10.865	21.232	1.952
HJC3-R0	12	10.865	14.640	1.345
HJC3-R0-B1	12	10.865	11.260	1.036
HJC3-R0-B2	12	10.865	14.640	1.345

### 7. 결론

본 연구는 보통강도 콘크리트( $f'c=300\text{kg/cm}^2: 4430\text{psi}$ )와 고강도 콘크리트( $f'c=800\text{kg/cm}^2: 11430\text{psi}$ )를 사용한 보-기동 접합부의 실험결과를 분석, 고찰하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 고강도 철근콘크리트 보-기동접합부가 일방향 단조하중을 받을 경우의 최대하중보다 반복하중을 받는 시험체의 최대하중은 약 73%정도의 낮은 하중수행능력을 갖는다.
- 2) 보-기동접합부가 일방향 단조하중을 받을 경우 접합면에서 거의 휨에 의한 파괴를 수반하게되나 반복하중을 받을 경우 접합면에서의 휨-전단에 의한 최종파괴를 보이게 된다.
- 3) 고강도 철근콘크리트 보-기동 접합부가 일방향 단조하중을 받을 경우에 비해 반복하중을 받을 경우 현저히 낮은 하중 수행능력을 보이며, 또한 그 피해 상황이 보다 심각함을 보여주고 있다.
- 4) 보-기동 접합부내에 횡보강근이 3개인 경우 보통강도 콘크리트부재에 비해 고강도 콘크리트부재가 접합면에서의 피해가 보다 더 집중적이며 에너지 소산능력에서도 매우 낮은 값에 머물고 있으므로 이에 대한 보완 대책이 필요하다고 사료된다.
- 5) 보-기동접합부내에 구부림철근으로 보강하였을 경우 접합부내(Joint Core)의 사인장 대각균열 발생억제 및 접합면의 피해가 접합부내로 진전하는 것을 막을수는 있으나 피해가 집중되어 시험체의 시동이 매우 불안정하

므로 고강도 콘크리트의 경우 바람직하지 못하다고 사료된다.

6) 접합부내에 구부림철근으로 보강할 경우 접합부내에 횡보강근 간격을  $d_c/4$ 보다 넓은 간격과 보-기둥의 휨강성비 변화에 따른 실험이 필요할 것으로 사료된다.

### 감사의 글

본 연구는 1988년부터 1991년까지 한국학술진흥재단의 연구비 지원에 의해 수행되었으며, 실험을 위한 제반시설을 제공하여준 (주)대우건설기술연구소에 감사를 포함합니다.

### 참 고 문 헌

1. Bertero, V.V. : Popov, E.P., Forzani, B. "Seismic Behavior of Lightweight Concrete Beam-Column subassemblages", Jr. of ACI, Jan./Feb., 1980
2. Ehsani, M.R. : Wight, J.K., "Exterior Reinforced Con-

- crete Beam-to-Column Connections subjected to Earthquake Type Loading", Jr. of ACI, July/Aug. 1985
3. ACI Committee 315. "Seismic Details for Ductile Frame", Jr. of ACI, May 1970
4. ACI 318-89, "Building Code Requirements for Reinforced Concrete and Commentary", ACI, MI., 1989
5. ACI-ASCE 352 "Recommendations for design of Beam-Column Joints in Monolithic Reinforced Concrete Structures", ACI 352R-85
6. Shin, Sung Woo, "Flexural Behavior including Ductility of Ultra-High Strength Concrete Members", Ph. D. University of Illinois at Chicago. 1986
7. ACI Committee 363, "State-of-the Art Report on High-Strength Concrete", ACI Report No. ACI 363R-84, Detroit, July-Aug. 1984. pp.48
8. T. Paulay, R. Park, and M.J.M. Priestley, : Reinforced Concrete Beam-Column Joints under Seismic Actions", ACI Journal, Nov. 1978, pp.585-593

(접수일자 : 1991. 5. 14)