

반복하중을 받는 고강도 철근콘크리트 보-기둥 접합부의 구부림철근 효과에 관한 연구

The Effects of Bent-up Bar on High Strength Reinforced Concrete
Beam-Column Joint Subjected to Cyclic Loads

○ 신 성 우***, 이 광 수**, 오 정 근*, 권 영 호*
SHIN, S. W. LEE, K. S. OH, J. K. KWON, Y. H.

ABSTRACT

The purpose of this study was to investigate the effect of Bent-up Bars in Beam-Column Joint with High-Strength Concrete up to 800 Kg/cm². 5 specimens were tested under reversed cyclic loadings. The primary variables were the number of the Bented Bars with Joint Core, compressive strength and loading patterns. The results showed that bent-up bars in beam-column joint prevented crack from extending into core but the failure was concentrated at the face of beam-column joint. Thus shear stress constant value(Γ) should be revised for High Strength Concrete Beam-Column Joint with Bent-up Bars.

1. 서론

건축구조물들의 대형화, 고층화에 따라 고강도콘크리트의 사용은 급증하고 있으나 고강도 콘크리트 보-기둥부재에 대한 연구가 거의 없는 실정으므로, 이에 따라 본 연구는 고강도 철근콘크리트 보-기둥 시험체를 제작하여 지진과 같은 반복하중하에서 고강도철근콘크리트부재의 거동을 조사 연구함으로써 초고층 건축물에 대한 합리적인 내진 설계를 위한 기본적 자료를 제시하고자 한다.

R/C 보-기둥 접합부에 관해 많은 연구가 수행되어 왔으며(1)(2)(3), 일반적으로 보-기둥 접합부의 경우 강한 기둥 약한 보(Strong Column - Weak Beam)로 설계하는 것이 보-기둥 접합부설계에 관한 기본적 개념이다. 여기에서 ACI위원회 352는 일정 수준이상의 접합부 휨 강성비($M_r \geq 1.4$)(2)(4) 이외에도 접합부 핵(Core)에 대한 휨 보강 방법도 제시하고 있으나 이러한 보고서는 콘크리트 강도가 420kg/cm² 이하의 범위에 대한 연구로서 콘크리트 강도가 높은 고강도 콘크리트의 경우에는 접합부 핵(Core)에 대한 보강방법등의 거동이 재료의 역학적 거동에 달라짐에 따라(부착, 전단 강도등) 재검토되어야 할 필요성이 있다. 이에 본 연구는 휨 강성비 M_r 이 1.4로서 일정한 경우에 압축강도 800kg/cm² 인 고강도 콘크리트를 사용한 R/C 보-기둥 접합부(Core) 내에서 보 주근의 구부림 형태에 따른 역학적 거동을 관찰함으로써 기존의 보 주근의 배근 형태와 비교자료를 제시하고자 한다.

2. 시험체 계획

2.1 보-기둥 시험체

시험체들은 R/C 라멘 골조 구조물에서 지진시 피해가 가장 심각한 부분인 저층부 외부 보-기둥접합부를 선택하여 제작하였으며, 시험체 설계는 ACI 318-83을 기준으로 하였으며, 시험체는 총 5 개로서 이의 전형적인 상세는 Fig. 1에, 그리고 그의 특성은 Table 1에

* 한양대 대학원
** 정회원 한양대 대학원
*** 정회원 한양대 조교수

자세하게 나타나 있다.

시험체를 구분하면 다음과 같다.

- 1) 보의 일정한 전단 Span 비 ($a/d = 4.2$)
- 2) 전단 보강 : 기둥접합면으로부터 첫번째 전단 보강근 ($d/8$), 이후로는 $d/4$ 로 일정 배근
- 3) 기둥의 Hoop 간격은 $d/4$ 로 일정 배근

- 4) 보 주근의 접합부내에서 구부림 방법

예를 들어 HJC3-R0-B1은 다음을 의미한다.

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

J : Beam-Column Joint

C : Cyclic Loads (M : Monotonic Load)

3 : Core내의 휨 보강근의 갯수 = 3개

R0 : 보 기둥의 휨 강성비 ($M_r = 1.4$)

B1 : 접합부내에 보 주근 구부림 방법

본 연구에서 주요변수는 보-기둥 접합부내, 즉 Core내에서의 보 주근 구부림 방법과 콘크리트 강도 그리고 하중 재하 방법으로서 이에 따른 각각의 효과를 조사하였다.

2.2 사용재료 및 배합 설계

실험에 사용된 시멘트는 S 사의 2중 수축용 포틀랜드 시멘트를 사용하였으며, 세골재는 한강사, 조골재는 최대크기 10mm의 화강암 쇄석을 사용하였으며, 혼화제는 나프탈린계 Super-20을 사용하였고, 기둥철근은 SBD 40 10mm를, 보 주근으로 SBD 40 13mm, 그리고 보와 기둥에 각각 보강근으로는 SBD 24 6mm의 철근을 사용하였다. 콘크리트의 비빔은 rpm 25의 강제식 Mixer를 사용하여 1 Batch에 시험체 1개와 원통형 공시체 4개를 제작하였으며, 타설과 동시에 KSF 2402에 따른 Slump 시험을 하였다. 제작된 시험체는 2일간의 대기 양생후 탈형하여 실험 10일 전까지는 약 25 °C 정도의 온도에서 수증양생을 시켰다.

3. 시험체 설치 및 진행

3.1 기기 설치

시험체의 설치 상황은 Fig. 2에 있는 시험 가력골조에 건물의 실제 상황을 유추하기 위하여 시험체 기둥

상하부분에 반곡점(Inflexion Point)인 것으로 Hinge를 제작설치 하였다. 철근의 변형도를 측정하기 위하여 30개 정도의 전기 스트레인 게이지를 설치 하였으며, 이들의 상세는 Fig.1에 나타나 있다. 보가력점 보 가력점 부분에 1/1000mm까지 측정할 수 있는 Electric Dial Gauge (100mm)를 평균값을 구하기 위하여 상하 부분에 2개씩 설치 하였다. 그리고 사용 기기는 기동에 최대용량 200ton의 Hydraulic Jack과 보에 최대용량 50ton의 Hydraulic Jack을 설치 사용하였으며 정확한 하중의 측정을 위하여 200ton과 50ton의 Load Cell을 사용하고, UCAM 및 Strain Indicator 로서 각 Gauge의 이상 유무를 확인한 후 영점을 조정하였다.

Table 1. Properties of Test Specimens

Specimen	f'c Kg/cm ²	Loading Type	No. of Bent up Bars	Stirrup Spacing	Loop Spacing	Mr ΣMc/ΣMb
HJC3-R0	308	C	0	6	4	1.4
HJM3-R0	800	M	0	6	4	1.4
HJC3-R0	800	C	0	6	4	1.4
HJC3-R0-B1	800	C	2	5	4	1.4
HJC3-R0-B2	800	C	1	5	4	1.4

· 침압부내 침보장근 개수 = 3개
· l/d = 4.2 (일정)
· C = Cyclic Load, M = Monotonic Load

3.2 재하 방법 (Loading)

가력 끝조에 시험체를 설치한 후에 기동의 축 하중은 기동 최대상하중의 35% 정도로 각각의 시험체들에 일정하게 재하 하였으며 실험에 사용한 반복 하중의 양상은 Fig. 3에 나타나 있다. 재하는 정방향으로 일정 변위까지 가력한후, 하중을 풀어 나가면서 반대 반대 방향으로 같은 변위까지 재하하였다. 가력 하는 도중에 Data 를 얻기 위하여 선택한 증가점에서 일시적으로 하중을 멈추었다.

4. 실험 결과 및 분석

4.1 균열 및 파괴 상황

각 시험체의 최종 Cycle후의 피해 상황이 Fig. 4에 나타나 있다. 모든 시험체들의 균열은 보-기둥접합부

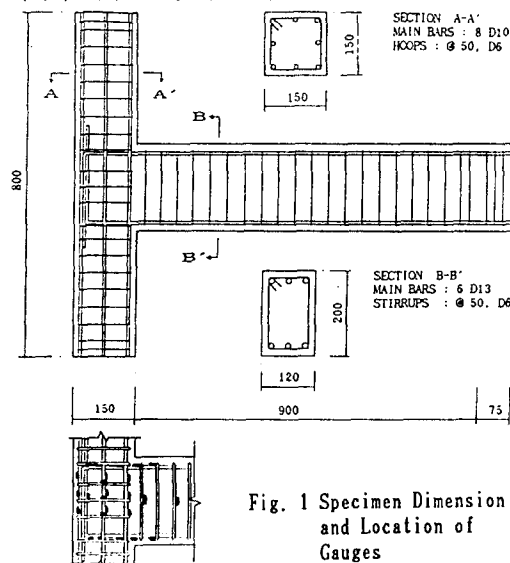


Fig. 1 Specimen Dimension and Location of Gauges

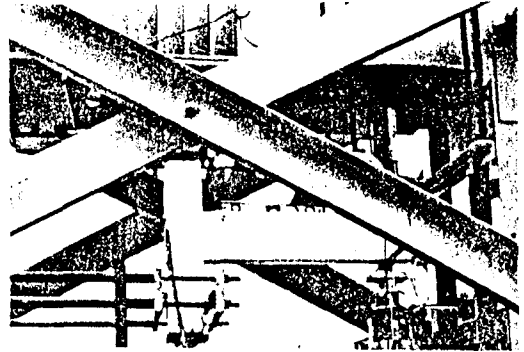


Fig. 2 Set up for Specimen

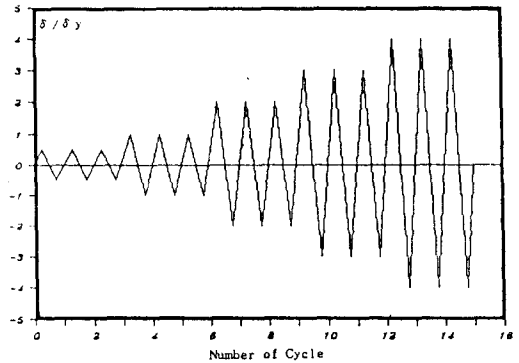


Fig. 3 Loading History

부근에서 휨 균열이 발생하기 시작하였으며, 일 방향 하중을 받는 시험체인 HJM3-R0는 보전반에 걸쳐 작은 균열이 발생한 후 접합부내로 역시 작은 균열이 진전 되었으며, 이후 보-기둥 접합면이 열리면서 최종파괴에 도달하였다. 이외의 반복하중을 받는 모든 시험체 들은 2단계(4~6 Cycle)에서 기둥부위에 대각 균열이 나타났으며 이후 3단계(7~9 Cycle)에서 표준 시험체

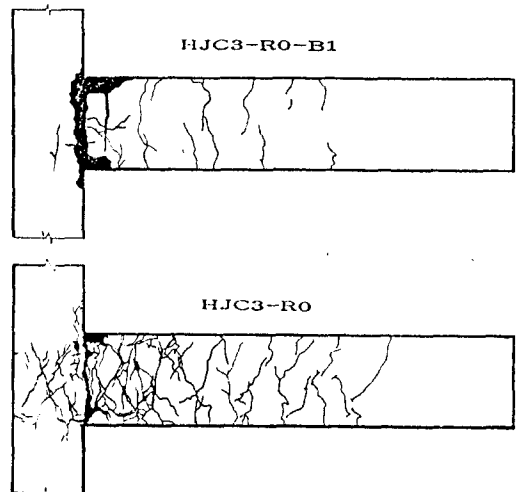


Fig. 4 Typical Crack Patterns of Specimens

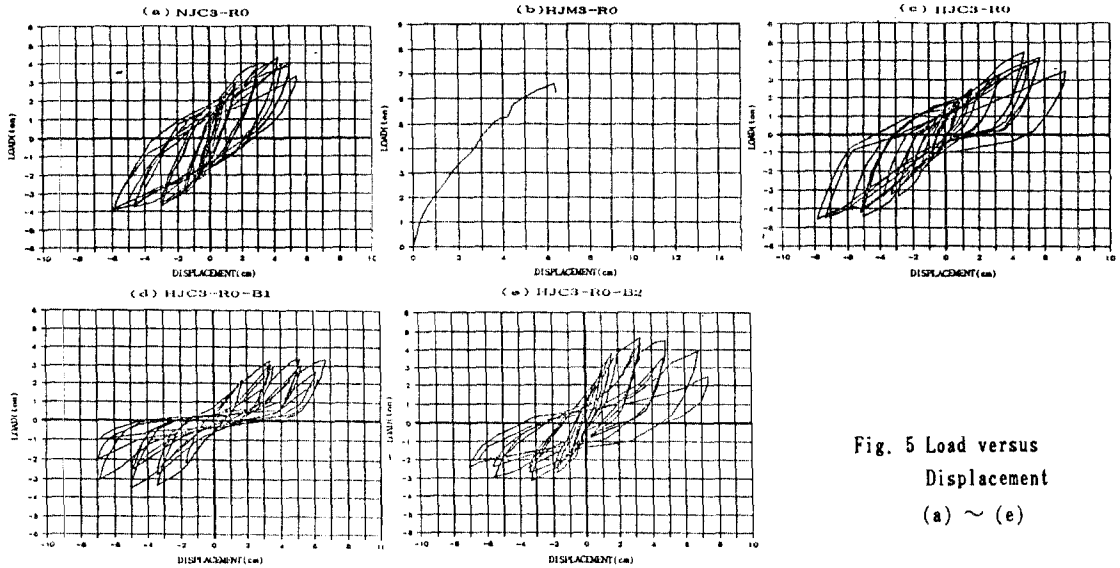


Fig. 5 Load versus Displacement
(a) ~ (e)

들의 결합부내(Core)에 대각 균열이 형성되었으며, 4 단계(10~12Cycle)에서 NJC3-R0 시험체는 미소균열만이 기동 부위로 진전 되었으나, 이외 2개의 시험체(HJC3-R0-B1, 혹은-B2)에서도 결합부내의 균열의 진전이 거의 없었으나 3단계(7~9 Cycle)에서 보-기동접합면 균열이 크게 열리기 시작하였으며, 4단계(10~12)이후에서는 보-기동 접합면에서 기동내측 주근 가까이에 이르기까지 심각한 피해양상을 보이고 있으며 5단계(13~15 Cycle) 이후에는 접합면에 미끄러짐 전단균열이 집중되었으나 최중재하에 이르기까지 보 및 기동에 균열의 진전은 거의 없었다.

4.1.1 압축 강도의 효과

시험체의 배근상태가 동일하고 휨 강성비(Mr)도 같은 보통강도 콘크리트시험체(NJC3-R0)와 고강도 콘크리트 시험체(HJC3-R0)는 보 전반에 걸쳐서 미세 균열 진전된후 보통강도 시험체는 접합면 부근전반에 넓게 최종 파괴가 발생하였으나, 고강도 시험체는 이후 보 기동접합면에 폭이 큰균열이 집중되기 시작하면서 접합면에 피해가 가증되는 현상을 보여 주고 있다.

4.1.2 결합부내 구부림 철근(Bent-up Bar)의 효과

시험체의 중구 파괴 양상의 비교가 Fig. 4에 나타나 있다. 그림에서 보듯이 일반적인 시험체(HJC3-R0)에서는 보 기동 접합면에서 초기 균열이 발생후후 접합부내로 미세한 균열이 진전되었으며 접합면에 집중적 피해를 나타냈으나 구부림 철근을 사용한 시험체(HJC3-R0-B1)의 경우 접합면에서의 균열이 접합부내로 진전하지는 않았으나, 접합면에서부터 접합부내 Type2 Joint의 위험 부분(기동의 내측 주 철근)까지 집중적 피해현상을 보여주고 있어 기동 핵(Core)의 보강(Bent-up Bar)에 따라 보 기동 접합부 피해가 접합면과 기동내측 주근 사이에 피해가 집중되고 있음을 알 수 있다.

4.2 하중 - 처짐 곡선

재하된 하중과 재하점에서의 하중-처짐곡선이 Fig. 5(a)~(e) 사이에 그려져 있다. 대체로 첫번째 반복 단계(1~3Cycle) 이후에 3~4 단계까지는 하중부담능

력은 증가되는 경향을 보여주고 있으나, 이후에는 각각 요인에 따라 다른 양상을 보여 주고 있다.

4.2.1 압축강도의 효과

Fig.5(a)와 (d)는 NJC3-R0와 HJC3-R0의 각 Cycle에 대한 하중-처짐의 반복이력 성장들을 나타내고 있다. NJC3-R0는 압축 강도가 약 300Kg/cm² 정도로서 고강도인 HJC3-R0에 비해서 얼마간 낮은 하중 부담능력을 보여 주고 있으며 이는 Fig.6에 나타나 있다. 강성을 나타내는 하중-처짐곡선의 기울기는 강도가 높을수록 기울기가 작아지는 강성저하 현상을 보여주고 있는데 이는 Fig.5에서 보듯이 고강도일 경우 주근의 미끄러짐등에 의한 접합면에서의 집중파괴에 의한 편칭현상 등의 요인 때문 인것으로 보인다.

4.2.2 보 주근 구부림 철근(Bent-up Bar)의 효과

콘크리트내에 구부림 철근을 사용한 시험체의 경우(HJC3-R0-B1) 반복 Cycle이 진전됨에 따라서 주근 구부림이 없는 경우보다 매우 심각한 Pinching 현상을 보여주고 있으며, 한쪽 구부림 철근을 사용한 시험체(HJC3-R0-B2)의 경우에도 그래프의 상하 부분중 한쪽만의 편칭 현상을 보여주고 있는데, 이러한 편칭현상은 Type2 Joint 설계시 보주근 구부림이 없는 경우에 피해 양상이 일부 보와 기동으로 확산된것에 비하여, 보 주근 구부림 철근이 있는 경우에는 접합면에서 기동내측 주근부분인 위험단면에 걸쳐서 집중적인 피해를 보여주고 있기 때문에 간주되어 이를 방지하기 위한 대책이 강구되어야 할것으로 보여진다.

4.2.3 하중 재하 방법 효과

일 방향 재하를 실행한 시험체인 HJM3-R0의 경우에는 접합부 대각균열의 발생이 반복 하중을 가력한 시험체에 비해 큰 하중(일 방향 재하 : 3.65 ton, 반복 반복 하중 재하 : 2.90ton)하에서 발생하기 시작하였으며, 일 방향 재하의 경우 최대 하중은 6.25ton이였으며, 일 방향 하중의 경우는 4.55ton으로 일 방향 하중재하의 경우에 비해 반복 하중을 받는 시험체가 현저하게 하중 부담능력이 적게 나타났다. 이는 반복하중에 따른 피로 현상 이외에도 전단 변형과 주근의 부착 상실등

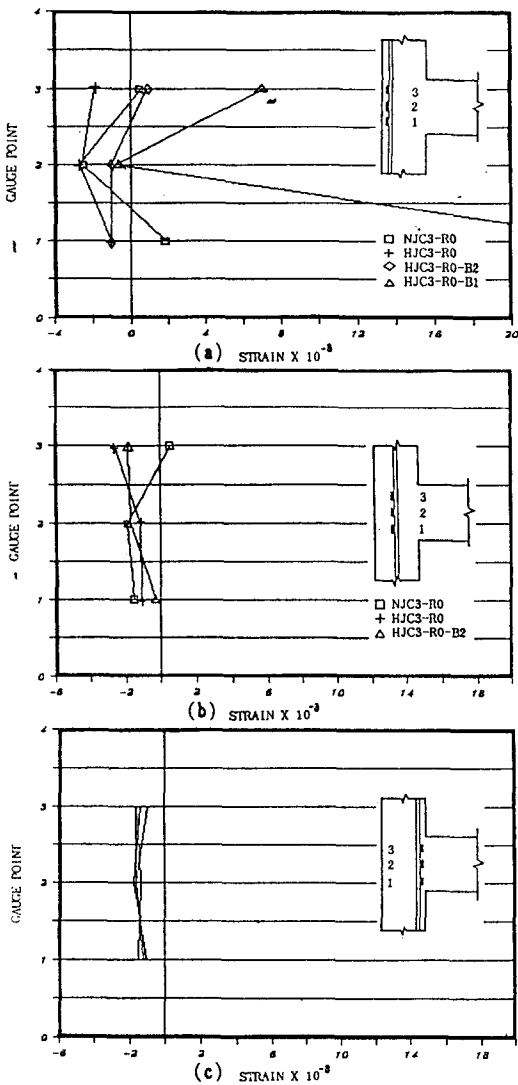


Fig.6 Comparison of Maximum Strain at Each Gauge Point of Column Longitudinal Reinforcement (a)~(c)

의 급진적 비탄성 변형에 의한 피해가 증진되어 부재의 파손으로 이어지기 때문인 것으로 보여진다.

4.3 기동 주근의 변형율

보-기동접합면의 피해상황이 기동에 미치는 영향을 조사하기 위하여 Fig. 6(a)~(c)에 보여지는 바와 같이 기동 주근의 변형율을 측정하였으며, 이는 기동의 축주근이 (a)에, 중간 주근이 (b)에, 그리고 보 접합면 경계 지역인 내측 주근에 대한 것이 (c)에 각각 그려져 있다. Fig. 6(a)에 따르면 상하 양쪽 구부림 철근을 사용한 시험체의 경우(HJC3-R0-B1) 기동 외측주근 중간을 제외한 상하 부근이 항복하였었다. 그러나 다른 3개의 시험체(NJC3-R0, HJC3-R0, HJC3-R0-B2)에서는 어느 기동주근의 항복도 발생하지 않았다. 이는 구부림철근을 사용한 경우에 접합부 핵에서 보의 구부

부림 주근 정착부분이 기동의축주근과 함께 거동하지 않은것 때문으로 보인다.

4.4 보 전단 보강근의 변형율

보 기동 접합부에서 보 기동접합면에서의 피해상황과 보에 미치는 영향을 조사하기 위하여 접합면 보측 경계 지역인 첫번째 스티럽 중간부위의 변형을 측정하였으며 이는 Fig. 7에 그려져 있다. 스티럽의 항복은 고강도로서 상하주근이 구부려져 있는 HJC3-R0-B1의 경우만 발생하였는데 이는 앞에서 언급한 접합면에서의 가중된 피해 발생때문인 것으로 보여진다.

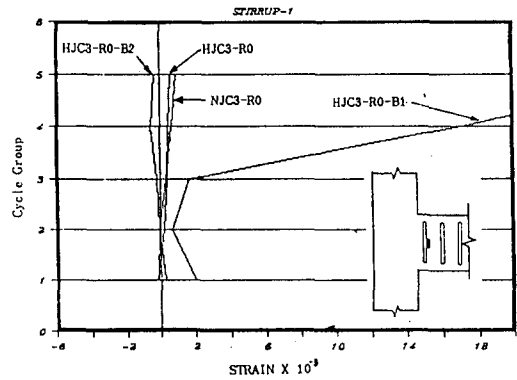


Fig. 7 Maximum Strain of Stirrup at Each Cycle Group

4.5 최대 하중

그림(8)에는 각하중 단계(Cycle Graph)에서의 최대 하중이 시험체별로 나타나 있다. 주근의 구부림이 한 쪽인 경우 그리고 고강도 일수록 (HJC3-R0-B2) 전 범위에 걸쳐서 하중부담능력이 크게 되고 있음을 알 수 있다. 이러한 경향은 보주근 접합부핵에서 상하 구부림 철근사용시험체는 집중적인 피해가 접합면에서 발생함으로써 강성저하를 일으켰기 때문으로 보인다.

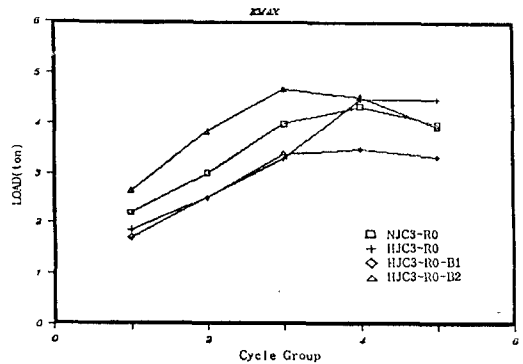


Fig. 8 Comparison of maximum Load at Each Cycle Group

5. 접합면에서의 전단응력 고찰

보-기동 접합부가 ACI 352 Type 2로 설계되었을때 접합면에서의 전단응력에 대한 부재 설계시의 이론값 그리고 시험 결과값과 ACI 352의 한계값이 표 2에 나타나 있다. 보통 강도의 경우(NJC3-R0)에는 이론값에

Table 2. Shear Properties Test Specimens

Specimen	Γ			
	ACI 352 Type2(b)	Theoretical Calculation	Test Result	Test Theo.Cal.
NJC3-R0	15	14.04	20.714	1.027
HJM3-R0	--	10.685	21.232	1.952
HJC3-R0	15	10.865	14.640	1.345
HJC3-R0-B1	15	10.865	11.260	1.036
HJC3-R0-B2	15	10.865	14.640	1.345

Γ = Constant for Eq.(4.5) in Ref.(5) for Joint
 $= \sqrt{v/bjhc}/f'c$

대한 실험값이 1.627배에 달하고 있어 안전축임을 알 수 있으나, 고강도 콘크리트의 경우 보주근 구부림에 관계없이 실험 결과와의 비교값이 1.036에서 1.345에 머물고 있어 ACI 352에서 제시하는 한계값에 대한 안정성이 저하되고 있음을 알 수 있다. 더욱이 상하 주근을 모두 구부린 경우에는 1.036 정도여서 안전성을 위하여 ACI 352의 한계값이 상향조정되어야 할 것으로 보인다.

6. 결론

본 연구의 목적은 지진과 같은 반복 하중이 구조물에 작용할때 고강도 콘크리트 보 기둥 접합부에서 구부림 철근효과를 실험 및 이론해석을 통하여 기존 주근 부재설계식의 검토 및 새로운 합리적인 구조 설계를 제안하는데 그 목적이 있으며 이들의 결과는 다음과 같이 요약 될수 있다.

- 1) 고강도 콘크리트의 경우 보 기둥접합부 핵내에 보주근의 구부림 철근을 사용한 경우 접합면에서의 균열이 접합부내(Core)로 확산되는 것을 억제할수는 있으나 접합부내 기둥내측 주근까지 이르는 심각한 피해를 보여 고강도 콘크리트 접합부 설계식에 적합하지 못하다.
- 2) 구부림 철근을 사용하지 않은 경우 보통강도 콘크리트 시험체는 접합면에서 보 위험 단면 부근에 걸쳐 최종파괴에 도달했으나, 고강도 시험체는 접합면에 폭이 큰 균열이 집중되어 피해가 심각하므로 이에 대한 대책 강구가 필요하다.
- 3) 하중-처짐 곡선에서 강성을 나타내는 곡선의 기울기가 구부림철근을 사용한 경우 Cycle이 진행됨에

따라 기울기가 작아지는 현상을 보여주고 있는데, 이는 접합면에서 기둥내측까지의 집중적인 피해에 의한 심각한 편칭현상등의 요인으로 여겨진다.

- 4) 최대하중 부담능력은 주근을 일방향으로만 구부린 경우 그리고고강도 일수록 크게 나타나고 있다.
- 5) 고강도 콘크리트를 보 기둥 접합부에 사용할 경우에는 접합부의 설계를 ACI352 추천에 따라 설계를 하더라도 안전하지 못하여 추천하한값이 상향조정되어야 할것으로 보인다.

감사의 글

본 연구는 한국과학재단 목적기초연구의 지원에 의해 수행되었음을 감사히 생각합니다. 또한 본 연구의 실험에 필요한 장소 및 실험장치를 제공하여 주시고, 그리고 여러모로 조언을 해주신 (주)대우 건설기술연구원 구소의 소장님 이하 직원 여러분들께 감사드립니다.

7. 참고 문헌

- 1) Bertero, V.V.; Popov, E.P., Forzani, B. "Seismic Behavior of Light Weight Concrete Beam-Column subassemblages", Jr. of ACI, Jan./Feb., 1980.
- 2) Ehsani, M.R.; Wight, J.K., "Exterior Reinforced Concrete Beam-to-Column Connections Subjected to Earthquake Type Loading", Jr. of ACI, July/Aug. 1985.
- 3) ACI Committee 315, "Seismic Details 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) 권 영호, 이 광수, 오 정근, 신 성우, "전단보강이 있는 고강도 철근 콘크리트 부재의 전단강도에 관한 연구", 대한건축학회 추계학술발표회, 1989.10.
- 7) 신 성우, "나선보강된 고강도 콘크리트 기둥의 연성에 관한 연구", 대한건축학회 논문집 제5권 제6호, 1989.10. pp 327~334
- 8) 이 광수, 오 정근, 권 영호, 신 성우, "반복 하중을 받는 고강도 철근 콘크리트 보-기둥 접합부 횡 보 강근의 효과에 관한 연구", 대한건축학회 춘계학술발표회, 1990.4.