

수직앵커형 중간철근으로 보강된 고강도 철근콘크리트 보-기둥 접합부의 소성힌지 확산

Spreading Beam Plastic Hinging Zone of the High-Strength R / C Beam-Column Joints Using the Vertically Anchored Intermediate Reinforcements

유영찬* 이원호** 이리형***
You, Young Chan Yi, Waon Ho Lee, Li Hyung

요 약

본 논문은 고강도 콘크리트($f'_c=700\text{kg}/\text{cm}^2$)를 사용한 보-기둥 접합부의 소성힌지 확산을 위하여 중간철근을 수직으로 앵커한 수직앵커형 중간철근으로 보 단부를 보강함으로써 보-기둥 접합부에 발생하는 소성힌지를 보 내측으로 1.0d 만큼 확산시키고자 하는 것이다. 실험의 주 변수로는 중간철근의 유무 및 앵커여부로 설정하여 중간철근의 보강형태에 따른 부재의 역학적 거동을 규명하도록 하였다. 실험결과로부터 보 단부의 1.0d 부분을 수직앵커형 중간철근으로 보강하면 소성힌지를 1.0d 부분으로 확산할 수 있었으며, 에너지 분산능력도 ACI318-89에 따라 설계한 관계적인 실험체에 비하여 약 1.6배정도 향상되었다.

Abstract

The purpose of this study is to spread beam plastic hinging zone of the high-strength($f'_c=700\text{kg}/\text{cm}^2$) reinforced concrete beam-column joints away from the column face by vertically anchored intermediate reinforcements. The newly proposed intermediate reinforcements which are vertically anchored by interlinking each intermediate rebars are tested to insure the ductile behavior of R / C beam-column joints. Main variable is the shape of intermediate reinforcements. From the test results, the newly proposed intermediate rebar detail can move and expand the beam plastic hinging zone about 1.0d from column face and can delay the strength decay of the high-strength R / C beam-column joint. Also energy dissipation capacity of specimen IV-1.0D10 which is reinforced by vertically anchored intermediate rebars about 1.0d is 1.6 times as high as the specimen CM-STAN which is designed by ACI318-89.

Keywords : beam-column joint, high-strength reinforced concrete, plastic hinge, intermediate reinforcement, energy dissipation capacity, cyclic loading, strength decay

* 정회원, 한국건설기술연구원 구조연구실 연구원
** 정회원, 광운대학교 건축공학과 조교수
*** 정회원, 한양대학교 건축공학과 교수

• 본 논문에 대한 토의를 1995년 10월 31일까지 학회로 보
내 주시면 1995년 12월호에 토의회답을 게재하겠습니다.

1. 서 론

보-기둥 접합면에 형성되는 소성힌지에 관한 현재까지의 설계개념은 보-기둥 접합면 주위의 보 부분에서 소성힌지가 형성되도록 하기 때문에 지진하중과 같은 반복하중이 작용할 경우에는 반복되는 휨·전단 균열에 의해 보 부재의 강성과 강도가 급격히 저하되므로 부재의 에너지 분산능력이 급격히 저하된다. 이에 따라 소성힌지를 보 내측으로 이동시키려는 일련의 연구가 많은 연구자들에 의해 수행되어져 왔다^(1, 14, 16). 한편, 이러한 연구들의 대부분은 중간철근(intermediate reinforcement)이나 절단된 주근을 보 단부로부터 일정범위까지 배치하여 기둥 접합면을 보강함으로써 기둥면에 발생할 소성힌지를 접합면으로부터 일정길이 만큼 이동시키고자 하는 것이다. 그러나 이러한 설계개념은 접합면을 탄성으로 보호하고 소성힌지를 보 내측으로 이동시킬 수는 있는 반면, 이동된 소성힌지에 국부파괴가 발생하거나 회전연성요구(rotational ductility demand)가 증대되어 보의 연성이 감소되는 단점을 지니고 있다. 또한 소성힌지 부분을 중간철근만으로 보강하여 소성힌지를 일부 확산시키려는 방법은 반복되는 휨·전단균열에 의해 절단된 중간철근 주위의 콘크리트가 손상을 입을 경우, 균열의 발생상황에 따라 콘크리트와 중간철근의 부착력이 저하되므로 중간철근의 보강길이를 정량화하기 힘들다.

따라서 본 연구에서는 이동된 소성힌지에서의 국부파괴 방지 및 중간철근 보강길이의 정량화를 위하여 수직앵커형 중간철근 배근상세를 제시하고 이를 실험을 통하여 입증함으로써 반복하중을 받는 철근콘크리트 보-기둥 접합부의 내진성능 향상 및 그 설계를 위한 기초자료를 제공하고자 한다. 세부적인 연구방법으로는 수직앵커형 중간철근의 단면적을 주근량의 20% 이내로 배근하여 휨모멘트 증가에 따라 보 단부에 유도되는 전단력의 증가를 최대한 억제하였으며, 중간철근의 보강길이를 1.0d 로 하여 기둥 접합면과 1.0d 부분에서 균등파괴가 발생하도록 유도하였다. 또한 보 춤의 $1/3$ 및 $2/3$ 지점에 배근된 중간철근을 상하로 연결하여 정착함으로써(수직 반원형 갈고리 정착) 중

간철근의 보강길이를 정량화하도록 하였다.

2. 실 험

2.1 일반 사항

본 실험의 주된 목적은 기존의 중간철근에 의한 소성힌지 이동에 따른 보-기둥 접합부의 이력거동 향상이라는 설계개념을 기본으로 하여 절단형 중간철근(매일길이 정착)의 단점을 보완한 폭크형 중간철근(수직 반원형 갈고리 정착)의 배근상세를 제시하고 이를 보-기둥 접합부의 실험을 통하여 입증하는 것이다. 이를 위하여 본 연구에서는 중간철근으로 보강하지 않은 표준 실험체(CM-STAN)와 기존연구에서 제안된 절단형 중간철근으로 보강한 실험체(IC-1.5D10) 및 폭크형 중간철근으로 보강한 실험체(IV-1.0D10) 등 총 3개의 실험체를 제작하여 실험을 실시하였다. 여기서 IC-1.5D10 실험체의 중간철근 보강길이는 기존연구 결과에 따라 1.5d(1.0d 휨 저항+0.5d 정착길이)로 하였으며 IV-1.0D10 실험체의 수직앵커형 중간철근 보강길이는 정착길이를 제외한 1.0d 로 하였다. 부재 모델링의 대상으로 한 건물은 중층(약 40층 정도) 규모의 철근콘크리트 연성 모멘트 골조(multistory moment resisting R/C space frame)의 전형적인 외부접합부를 나타내도록 계획하였으며 강진시 가장 손상을 입기 쉬운 저층부를 선택하였다. 실험체의 설계는 기존의 소성힌지 이동의 설계개념에 수반하여 소성힌지의 확산(균등 파괴)을 기하고 소성힌지 중심부의 전단내력을 증대시키고자 하였다. 이를 위하여 본 연구에서는 폭크형 중간철근을 이용하여 소성힌지 확산의 정량화를 실현하고자 하였으며 중간철근 보강으로 인한 접합면의 휨 내력 증가를 소성힌지부의 20% 이내로 제한함으로써 유도되는 전단력의 증가를 최대한 억제하도록 하였다.

2.2 실험체 설계

2.2.1 실험체 계획

본 실험의 실험체는 철근콘크리트 강도설계규

준(건설부)에 따라 설계되었으며 그 외 ACI 318-89의 내진설계를 위한 특별규정 및 ACI-ASCE Committee 352의 규정을 참고하여 설계되었다. 실험체는 총 3개로 기존의 횡보강근만으로 보강된 1개의 실험체(CM-STAN)와 절단된 중간철근으로 보강된 1개의 실험체(IC-1.5D10), 1.0d 부분을 수직앵커형 중간철근으로 보강한 1개의 실험체(IV-1.0D10) 등으로 구성되어 있으며 실험체의 단면크기는 3개의 실험체 모두 기둥의 경우 40 x 40 cm, 보의 경우는 20 x 35 cm로 하였다.

2.2.2 실험체 설계

실험체 설계는 반복되는 심한 비탄성 변형하에 서도 강도를 유지하도록 설계해야 한다는 ACI-ASCE Committee 352의 Type 2 Joint에 관한 요구를 만족하도록 설계되었다. 보의 전단스팬비(a/d)는 일반적인 4 를 선택하여 보 길이를 140cm로 고정하였으며 기둥은 실험실 상황을 고려하여 모멘트 반곡점을 포함한 260cm로 고정하였다. 기둥의 주근은 14개의 HD19, 보의 주근은 상·하단 모두 4개의 HD16($\rho=1.06\%$)로 일정하게 하였으며 보 및 기둥의 전단보강근은 HD6을 사용하였다.

CM-STAN 실험체는 ACI 규준에 따라 횡보강근만으로 소성힌지부를 보강한 실험체로 고강도 철근 및 콘크리트 보에 대한 ACI 규준의 적합성을 검토하고 그 외 실험체의 내진성능 향상 정도의 기준을 삼기 위한 실험체이다. IC-1.5D10 실험체는 기존의 중간철근에 의한 소성힌지부의 보강방법에 따라 설계한 실험체로 고강도 철근 및 콘크

리트를 사용한 보에 대한 절단형 중간철근 보강방법의 적합성을 검증하고 새로이 제안하는 폭크형 중간철근의 내진성능 향상 정도의 기준을 삼기 위한 실험체이다. 아울러 본 실험체를 통하여 절단형 중간철근 보강방법에 의한 소성힌지의 이동 및 확산여부도 검토하고자 한다.

이에 대하여 IV-1.0D10 실험체는 상·하단의 중간철근을 상호 연결하여 중간철근에 수직폭크를 부착한 실험체로 수직폭크형 중간철근에 의한 전단저항 및 그 유용성을 검증하고자 한 실험체이다. 각 실험체의 크기 및 배근상세는 Fig. 1과 같다.

2.2.3 실험체 제작

실험체 제작에 사용된 철근의 재질은 모두 SD40($f_y=4000 \text{ kg/cm}^2$)으로 보 및 기둥의 전단보강근(Hoop)의 구부림 각도는 내진설계 특별규정에 따라 135° 로 하였으며 정착길이는 $6d_b$ 로 하였다. 기둥에 사용된 전단보조근(cross-tie)은 한쪽은 135° , 다른 한쪽은 90° 로 가공하였고 정착길이는 모두 $6d_b$ 로 하였다.

실험체의 조립이 완료된 후에는 소정의 위치에 Wire Strain Gage(이하 W.S.G.로 표기)를 부착하였고 V.M. Tape로 방수처리하였다. 콘크리트는 최대골재직경 13mm, 슬럼프 21cm, 설계기준 강도 700 kg/cm^2 의 콘크리트를 Batch Plant에서 믹싱하여 타설하였다. 콘크리트 타설은 실험체를 바닥에 수평으로 눕은 후, 한번에 타설을 완료하였으며, 진동다짐기 및 강봉으로 충분히 다짐하였다. 콘크리트 타설과 동시에 슬럼프 테스트를

Table 1 Specimen list

Specimen	Width x Depth b x D(cm)	Flexural reinforcement A_s (cm^2)	Flexural reinforcement ratio ρ (%)	Intermediate reinforcement A_s (cm)	Intermediate reinforcement			Stirrup diameter & spacing(cm)
					hook	length	$\frac{A_s}{A_g}$	
CM-STAN	20 x 35	4-D16	1.06	-	-	-	-	$\phi 6$ -@65
IC-1.5D10	20 x 35	4-D16	1.06	2-D10	-	1.5d	0.18	$\phi 6$ @55
IV-1.0D10	20 x 35	4-D16	1.06	2-D10	Vertical	1.0d	0.18	$\phi 6$ @55

- f_y = Yield strength of flexural reinforcement (4000 kg/cm^2)
- f_{yi} = Yield strength of intermediate reinforcement (4000 kg/cm^2)
- f_{ys} = Yield strength of shear reinforcement (4000 kg/cm^2)
- f'_c = Compressive strength (700 kg/cm^2)
- Dimension of column section : 40 x 40 cm

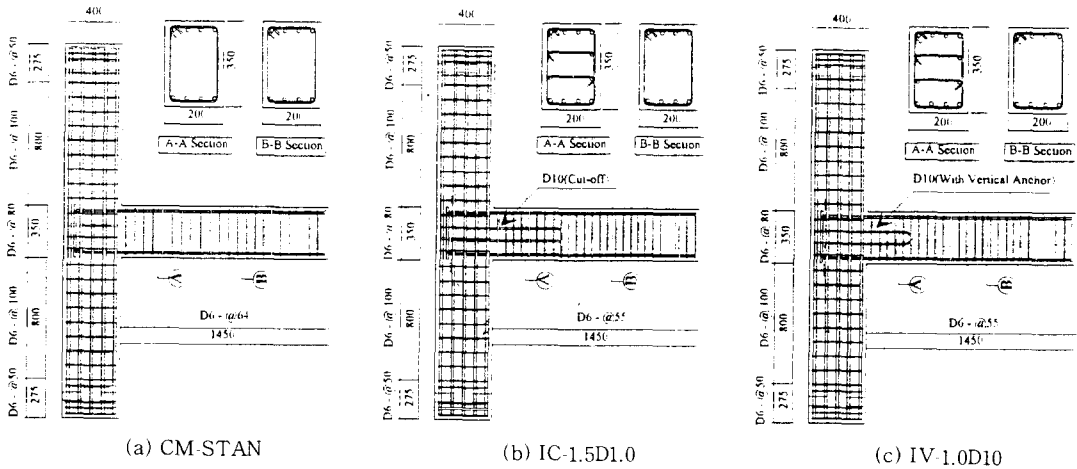


Fig. 1 Details and dimension of test specimens

실시하였고 실험체별 압축강도 시험용 공시체를 제작하였다. 콘크리트 양생은 양생물드판 위에서 실시하였으며 영하의 기온을 고려하여 저온의 증기양생을 실시하였다.

2.3 재료 시험

본 실험에 사용된 철근 및 콘크리트의 재료적 특성 및 강도를 알아보기 위하여 각각 KSB0801, KSB0802 및 KSF2404 규정에 따라 다음과 같은 재료시험을 실시하였으며 그 결과는 각각 Table 2, Table 3과 같다.

Table 2 Tensile test of the reinforcements

Type	Elastic modulus (t/cm ²)	Yield strength (t/cm ²)	Yield strain (x 10 ⁻⁶)	Tensile strength (t/cm ²)	Elongation (%)
HD19	2117	4.12	1946	6.70	21.0
HD16	1987	4.09	2058	6.45	19.8
HD10	1928	3.87	2007	5.75	21.4
HD6	1807	4.38	2420	5.70	15.3

Table 3 Compressive test of the concrete

Type	Compressive strength(kg/cm ²)				Height (cm)	Area (cm ²)	Elastic modulus (t/cm ²)	Slump (cm)
	3 day	7 day	14 day	28 day				
fc=700 kg/cm ²	590	610	620	710	20.2	78.6	217	21.4

2.4 실험방법

2.4.1 실험체의 설치 및 가력방법

본 실험은 한국기계연구소 대덕 선박분소 구조 실험동내에서 반력슬래브(reaction floor) 및 반력벽(reaction wall)으로 구성된 입체실험을 위한 실험공간을 이용하여 실시되었다. 실험체는 Fig. 2에서 보는 바와 같이 기둥 양 단부에서 회전이 가능한 힌지를 부착하여 수직방향으로 세워져 설치하였으며 일정축력의 가력을 위해서 실험체의 하부에 300t 용량의 복동식 오일잭(oil jack)을 설치하였다. 보의 반복하중은 보 단부에 미리 매립해 놓은 P.V.C. 파이프를 통하여 반력 프레임(reaction frame)에 부착된 50t 용량의 액츄에이터(actuator)를 보에 연결하여 가력하였다.

2.4.2 데이터의 습득 및 측정방법

실험으로부터 얻고자 하는 주된 데이터는 지진과 같은 반복하중이 보-기둥 접합부에 작용할 때 작용된 하중에 대한 보 단부의 변위, 소성힌지부의 휨변형과 전단변형, 콘크리트와 철근의 변형도 등이다. 보 단부에 작용한 하중은 액츄에이터(actuator)의 헤드(head) 부분에 부착되어 있는 로드셀(load cell)에 의하여 측정하였으며 소성힌지부의 휨변형 및 전단변형과 실험체별 소성힌지부의 확장범위를 알아보기 위하여 보-기둥 접합면으

로부터 0.5d, 1.0d, 2.0d 부분에 Fig. 2와 같이 변위계를 설치하여 측정하였다.

2.4.3 변위이력 (loading history)

첫번째 사이클에서는 보-기둥 접합부의 보 주근에 부착한 W.S.G.의 변형도가 철근의 재료시험에 의해 구한 항복변형도에 이를 때까지 가력하여 초기항복변위 (δ_y)를 설정하였다. 그 후 3 사이클에서는 $2\delta_y$ (연성비 2)를 한계변위로 설정하여 가력하였으며, 6 사이클에서는 $4\delta_y$ (연성비 4)를 한계변위로, 9사이클 이후에서는 $6\delta_y$ (연성비 6)를 한계변위로 일정하게 가력하여 점증변위법과 일정변위법을 병행하여 가력하였다. 각 사이클에서의 일정변위 가력시에는 3회의 사이클로 가력하여 일정변위시의 강성 및 강도저하 특성을 파악하고자 하였으며 각 사이클에서의 최대하중이 실험체 항복하중의 75% 이하로 떨어졌을 때 실험을 종료하였다. 본 실험에 사용된 하중이력을 도표로 나타내면 Fig. 3과 같다.

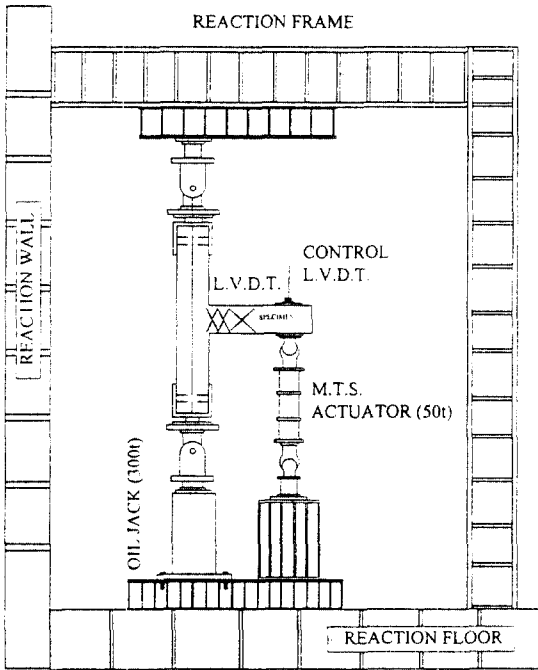


Fig. 2 Test set-up

Fig. 3 각 사이클에서 최대변위와 항복변위의 비율

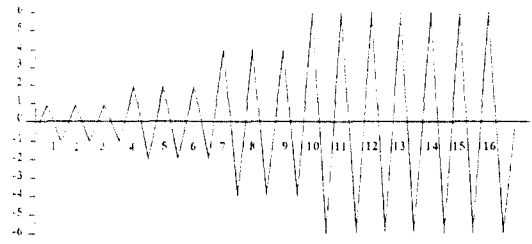


Fig. 3 Loading history

3. 실험결과 및 분석

3.1 실험체별 균열 및 파괴상황

1) CM-STAN 실험체

CM-STAN 실험체는 ACI318-89에 따라 전단보강근만으로 보강된 실험체로 중간철근에 의한 보강방법의 유용성을 검증하기 위하여 기준으로 선택된 실험체이다. 실험체의 초기 휨균열은 약 3.4t에서 발생하였으며 주근이 항복변형에 이르렀을 때의 변위(항복변위: δ_y)는 0.99cm, 항복하중은 약 7.33t이었다. 한계변위가 $2\delta_y$ 인 3사이클에서는 휨·전단균열이 다량으로 발생되면서 기둥면으로부터 1m 부분까지 균열이 발생하였으며 한계변위가 $4\delta_y$ 인 6사이클에서는 단부로부터 약 3cm 떨어진 부분에 발생한 균열이 폭 약 5mm 정도로 벌어지면서 파괴가 집중되기 시작했다. 8사이클에서는 피복 콘크리트의 박리로 인하여 전단보강근이 일부 노출되었고 보-기둥 접합면도 약 4~5mm 정도로 벌어지기 시작했다. 한계변위가 $6\delta_y$ 인 9사이클에서는 접합면으로부터 2~3cm 부분에 발생한 균열이 급진전되어 균열폭이 약 0.8mm 정도에 이르렀으며 보 하단부의 피복 콘크리트가 약 10cm 정도 탈락되었다. 11사이클에서는 보 하단부 및 상단부의 피복 콘크리트가 다량으로 탈락되면서 내력이 저하하기 시작하였으며 기둥면으로부터 약 15cm 떨어진 부분에 X 형태의 전단균열이 명확히 나타났다. 13사이클에서는 3번째 전단균열이 파단되었고 이로 인하여 내력이 급격히 저하되면서 15사이클에서는 전단보강근의 135°훅크가 풀리면서 최종파괴에 이르렀다.

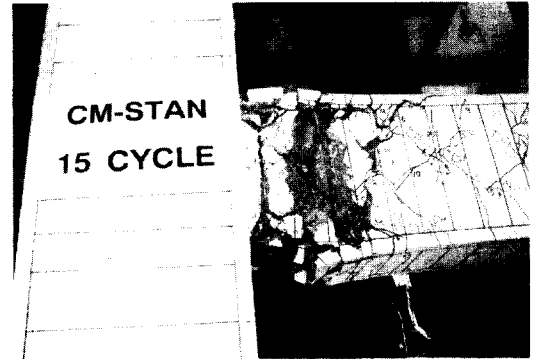
2) IC-1.5D10 실험체

IC-1.5D10 실험체는 기존의 절단된 중간철근에 의한 보강방법이 보강도 콘크리트 보의 변형능력 향상에 미치는 영향을 조사하기 위한 실험체이다. 중간철근으로는 D10이 사용되었으며 기동면으로부터 1.5d 부분까지 보강하였다. 실험체의 초기 휨균열은 3.8t에서 발생하였으며 한계변위가 2 δ_y 인 3사이클에서는 휨균열이 절단균열로 진전되기 시작하면서 기존의 균열사이에서 새로운 균열이 발생하였다. 한계변위가 4 δ_y 인 6사이클에서는 기동면에서 약 2.5cm 떨어진 부분에 발생한 균열이 1.5mm 정도로 확장되기 시작하였으며, 7사이클에서는 기존균열의 진전과 함께 약 10~20cm 떨어진 부분의 균열폭이 3mm 정도로 진전되면서 박리되기 시작하였다. 9사이클 이후에는 보 하단부의 탈락이 시작되면서 15~20cm 부분에 균열이 다량으로 발생되었고 주 균열은 약 4~5mm 정도로 확대되었다. 11사이클에서는 보 하단부의 보석리 부분의 피복이 탈락되면서 콘크리트 피복이 전반적으로 탈락되어 철근이 노출되었고 주로 15cm 부분의 X형태 균열에서 파괴가 집중되었다. 13사이클 이후는 0.5d 부분에 파괴가 집중되면서 보 내측 및 외측으로 파괴가 확산되었으나 중간철근이 좌굴되면서 내력이 급격히 저하되는 양상을 나타내었고 15사이클에서는 이전 사이클에서와 유사한 파괴양상을 보이면서 최종파괴에 이르렀다.

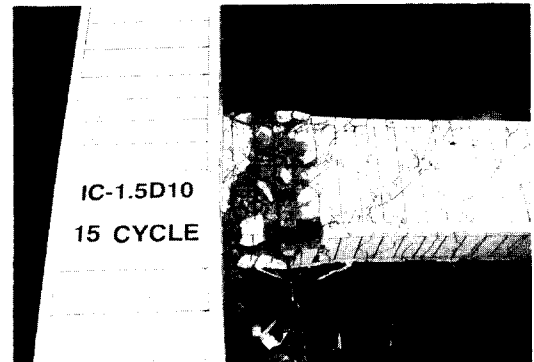
3) IV-1.0D10 실험체

IV-1.0D10 실험체는 D10의 중간철근을 수직방향으로 앵커하여 기동면으로부터 1.0d 부분까지를 보강한 실험체이다. 실험체의 초기 휨균열은 3.6t에서 발생하였으며 한계변위가 2 δ_y 인 3사이클에서는 기동면으로부터 10cm 떨어진 부분의 균열이 약 0.5mm 정도로 확장되었으며 1.0d 부분에도 경사균열이 길게 발생하였다. 6사이클에서는 기동면에서부터 15cm, 18cm, 30cm 떨어진 부분의 균열이 주 균열로 진전되었고 이때의 균열폭은 각각 1.5mm, 2.0mm, 2.0mm를 나타내었다. 9사이클에서는 7cm 부분, 15cm 부분과 30cm 부분의 경사균열이 박리되었고 이때의 균열폭은 1.0d 부분에서 약 4~5mm에 이르렀다. 12사이클부터는 3개의 주 균열을 중심으로 하여 본격적인 탈락이 발

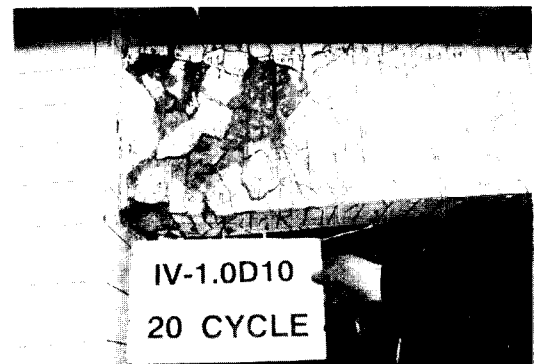
생하면서 내력이 서서히 저하되기 시작했다. 16사이클에서는 콘크리트 피복의 일부가 서서히 탈락되면서 내력이 저하되었으나 대부분의 콘크리트 피복은 탈락되지 않은 채 유지되었고 1.0d 부분내코아 콘크리트의 균등한 파괴로 인하여 최종파괴에 이르렀다.



(a) CM-STAN



(b) IC-1.5D10



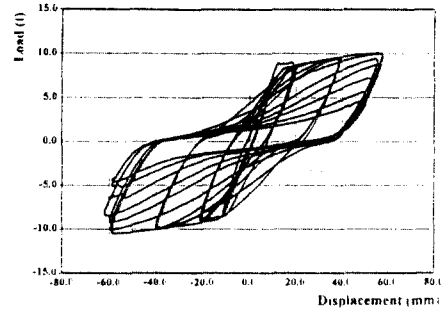
(c) IV-1.0D10

Fig. 4 Failure mode of specimens

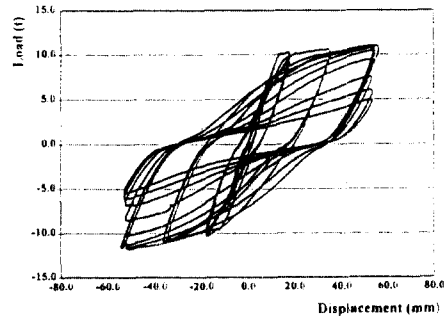
이상과 같은 각 실험체의 균열발생 상황 및 최종 파괴 모습을 나타내면 Fig. 4와 같다. 그림에서 보는 바와 같이 CM-STAN 실험체는 약 0.5d 부분이 집중적으로 파괴된 반면에 IC-1.5D10 실험체는 보 내측으로 파괴영역이 약간 확산은 되었으나 큰 차이를 나타내지 못하고 있다. 이에 대하여 수직앵커형 중간철근으로 보강한 IV-1.0D10 실험체는 1.0d 부분까지 파괴영역이 확산되면서 균등파괴가 이루어짐을 알 수 있다.

3.2 하중-변위 곡선

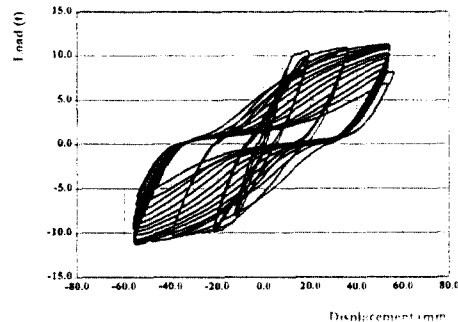
각 실험체에 대한 하중-변위 곡선을 나타내면 Fig. 5와 같다. 그림에서 보는 바와 같이 CM-STAN 실험체는 한계 변위가 $6\delta_y$ 인 9사이클 이후 내력의 감소 현상을 나타내다가 10사이클부터 급격한 내력의 저하를 나타내고 있음을 알 수 있다. 이는 3.1절에서 기술한 바와 같이 0.5d 부분에 형성된 X형태의 전단균열에 파괴가 집중됨에 따라 내력이 저하된 것으로 사료되며 특히 13사이클에서는 전단보강근의 파단이 발생함에 따라 급격히 내력이 저하되는 현상을 나타내었다. 이에 대하여 절단된 중간철근으로 보강된 IC-1.5D10 실험체는 11사이클까지 중간철근에 의한 보강효과가 나타나 지속적인 하중지지 현상을 나타내고 있으나 12사이클 이후에는 중간철근이 좌굴됨에 따라 급격한 내력의 저하를 나타내고 있다. 따라서 일반강도의 콘크리트를 사용한 철근콘크리트 보의 내진 성능 향상에 유용하다고 입증된 절단형 중간철근은 고강도 철근콘크리트 보의 경우에는 적용이 다소 힘들다고 판단된다. 이에 대하여 1.0d 부분을 D10의 수직앵커형 중간철근으로 보강한 IV-1.0D10 실험체의 경우는 8사이클 이후부터 중간철근



(a) CM-STAN



(b) IC-1.5D10



(c) IV-1.0D10

Fig. 5 Load-displacement curve

Table 4 Test results

Specimen	Yield load $P_y(t)$		Maximum Load $P_m(t)$		Yield displacement $\Delta_y(cm)$		Maximum displacement $\Delta_m(cm)$		Cycle(n)			Dissipated energy (t · cm)
	+	-	+	-	+	-	+	-	$P_n > 0.75P_y$		Total	
									+	-		
CM-STAN	7.33	8.30	10.07	10.45	0.99	1.09	5.80	6.14	14	13	15	565.5
IC-1.5D10	7.31	6.94	10.84	11.62	0.91	0.87	5.60	5.28	15	15	16	677.4
IV-1.0D10	8.37	7.95	11.25	10.92	0.95	1.21	5.62	5.59	20	19	20	898.8

에 의해 소성흔지가 이동되는 1.0d 부분과 기존의 배근방법에 의한 소성흔지의 형성위치인 0.5d 부분으로 파괴가 분산됨에 따라 지속적인 하중지지 능력을 나타내고 있으며 이에 따라 하중-변위 곡선에서도 완만한 내력감소현상을 나타내고 있다. 따라서 계획한 바와 같이 보-기둥 접합면에 발생하는 소성흔지를 1.0d 부분으로 이동 및 확산시킬 수 있었다.

3.3 에너지 분산능력

부재의 변형능력이나 내진성능을 판단하는 기준으로는 접선강성, 각 사이클에서의 최대하중, 파괴사이클 등 여러 가지가 있으나 본 실험에서는 비교적 객관적이라 할 수 있는 실험체의 에너지 분산면적으로써 비교하여 나타내었다. 부재의 에너지 분산능력을 비교해 보면 Table 4와 같다. Table 4에서 보는 바와 같이 절단된 중간철근으로 보강된 IC-1.5D10 실험체는 기준 실험체인 CM-STAN에 비하여 항복하중의 75%이상인 사이클 수가 15 사이클로 증가됨에 따라 에너지 분산능력이 20% 정도 증가되었다. 이에 대하여 수직혹크형 중간철근으로 보강된 IV-1.0D10 실험체는 소성흔지의 확산작용 및 수직혹크형 중간철근의 거동으로 인하여 항복하중의 75%이상인 사이클 수가 20 사이클로 증가함에 따라 에너지 분산능력이 60% 정도 증가되었다. 따라서 수직혹크형 중간철근 보강방법은 1.0d 부분을 보강할 경우 내진성능의 향상을 기대할 수 있다고 사료된다.

3.4 사이클별 최대강도의 변화

Fig. 6에 한계변위의 증가에 따른 각 실험체의 하중지지 능력을 상호 비교하기 위하여 사이클별 최대하중의 변화를 도표로 나타내었다. 그림에서 보는 바와 같이 중간철근으로 보강한 IC-1.5D10 실험체와 IV-1.0D10 실험체는 보 축의 $1/3$ 및 $2/3$ 지점에 배근된 중간철근에 의한 휨내력의 증가로 인하여 CM-STAN 실험체에 비하여 사이클별 최대하중이 약 20% 정도 증가된 것을 알 수 있다. 한편 CM-STAN 실험체 및 IC-1.5D10 실험체는

각각 9, 10사이클 이후 서서히 내력이 저하되다가 12사이클 이후에는 급격한 내력저하 현상을 나타내고 있는 반면에 수직형 중간철근으로 보강한 IV-1.0D10 실험체는 12사이클까진 계속적으로 내력을 유지하며 그 후 완만한 내력저하 현상을 나타내고 있다. 즉 IC-1.5D10 실험체는 주로 각 사이클별 최대하중의 증가로 인하여 에너지 분산능력이 증가되었으나 IV-1.0D10 실험체의 경우는 각 사이클별 최대하중의 증가 이외에도 부재의 하중지지능력의 향상으로 인하여 에너지 분산능력이 향상된 것으로 판단된다.

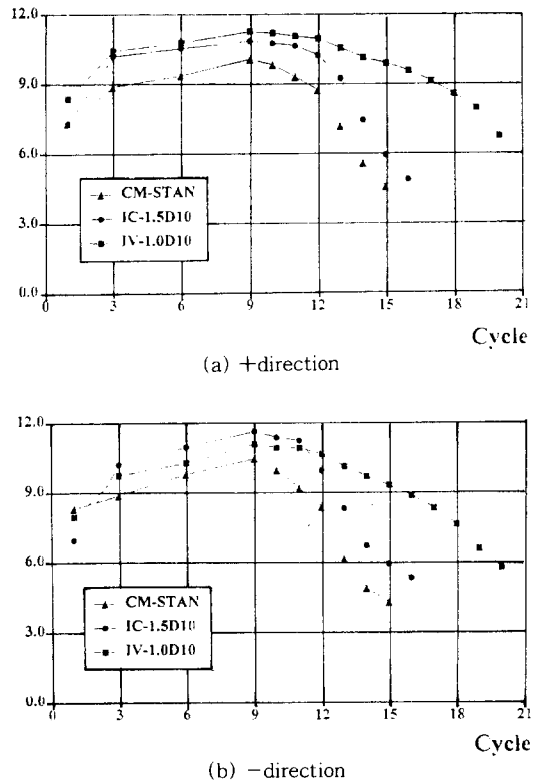


Fig. 6 Variation of maximum load at each cycle

3.5 사이클별 최대 전단변형도의 변화

전단변형도의 측정은 Fig. 2에서 보는 바와 같이 6개의 LVDT를 이용하여 측정하였다. 전체 전단변형도는 2개의 성분으로 구분하였고 그 각각의 식은 다음과 같다(Fig. 7 참조)

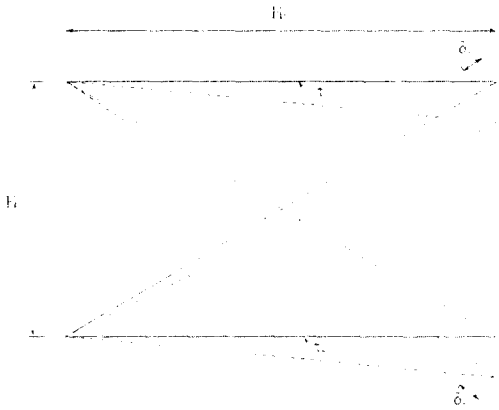


Fig. 7 Shear deformation measurement

$$\gamma_1 = [\sqrt{(D + \delta_1)^2 - H_h^2} - H_v] / H_h \quad (1)$$

$$\gamma_2 = [H_v - \sqrt{(D + \delta_2)^2 - H_h^2}] / H_h \quad (2)$$

여기서, γ_1 : 전체 전단변형도의 첫번째 성분

γ_2 : 전체 전단변형도의 두번째 성분

D : LVDT 측정영역의 대각선 길이

H_h : LVDT의 수평 측정길이

H_v : LVDT의 수직 측정길이

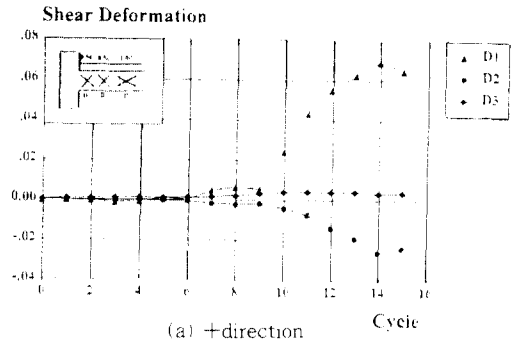
δ_1 : LVDT에 의한 길이변화

δ_2 : LVDT에 의한 길이변화

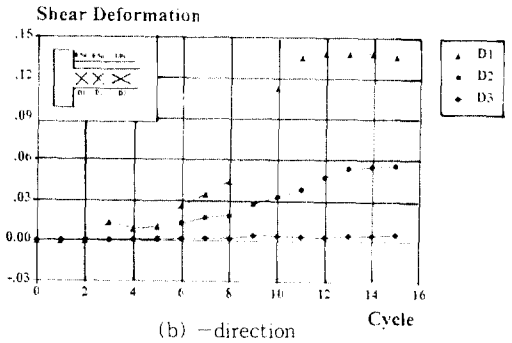
따라서 전체 평균 전단변형도는 식(3)과 같이 구할 수 있다.

$$\gamma = (\gamma_1 + \gamma_2) / 2 \quad (3)$$

식(3)에 따라 계산한 전단변형도의 최대값을 각 사이클별로 나타내면 Fig. 8~Fig. 10과 같다. 그림에서 보는 바와 같이 CM-STAN 실험체의 경우는 D1(0.5d) 구역의 전단변형도가 D2(1.0d) 및 D3(2.0d) 구역의 전단변형도에 비하여 각각 약 2배, 4~6배 큰 값을 나타내고 있으며 IC-1.5D10 실험체의 경우도 CM-STAN 실험체와 서로 유사한 경향을 나타내고 있음을 알 수 있다. 이에 대하여 IV-1.0D10 실험체의 경우는 D2(1.0d) 구역의 전단변형도가 오히려 D1(0.5d) 구역의 전단변형도보다 큰 경향을 나타내고 있다. 또한 D1 구역의 경

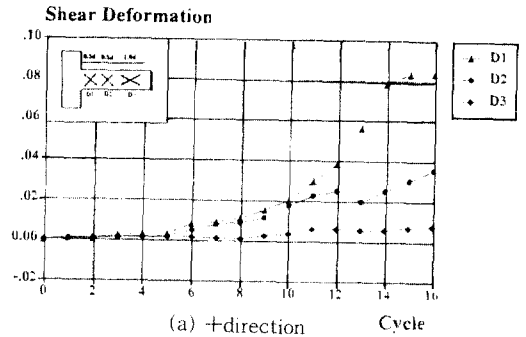


(a) +direction

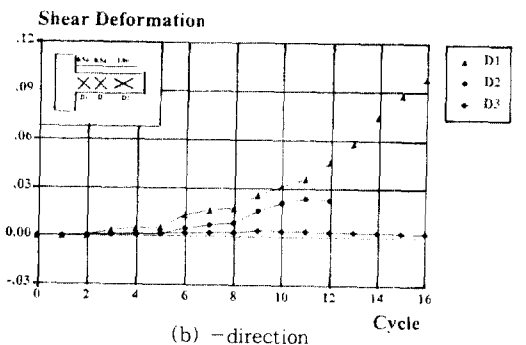


(b) -direction

Fig. 8 Variation of maximum shear deformation at each cycle(CM-STAN)



(a) +direction



(b) -direction

Fig. 9 Variation of maximum shear deformation at each cycle(IC-1.5D10)

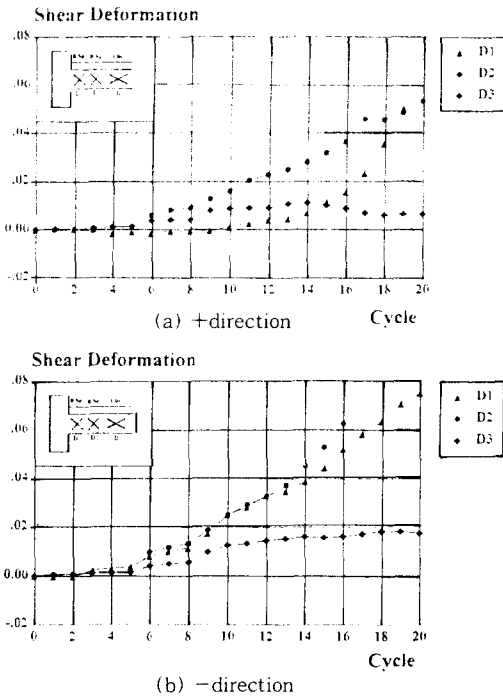


Fig. 10 Variation of maximum shear deformation at each cycle(IV-1.0D10)

우 전단변형도의 절대값도 CM-STAN 실험체 및 IC-1.5D10 실험체에 비하여 약 60% 정도 감소되는 경향을 나타내고 있다. 이는 IC-1.5D10 실험체의 경우, 9~10 사이클 이후 중간철근이 좌굴함에 따라 중간철근의 다우웰 작용 및 콘크리트 구속효과가 급격히 저하된 반면, IV-1.0D10 실험체의 경우는 최종파괴시까지 중간철근의 지속적인 다우웰 작용 및 코아콘크리트의 구속 효과에 의해 전단저항 능력(shear resistance capacity)이 향상되어 소성힌지가 1.0d 범위로 확산되면서 회전연성요구(rotational ductility demand)가 감소한 결과에 기인하는 것이라 판단된다.

4. 결 론

이상의 실험결과를 분석하여 얻은 결론을 기술하면 다음과 같다.

- 1) 보 단부의 1.0d 부분을 수직형 중간철근으로 보강하면 소성힌지를 보 단부의 1.0d 부분까

지 이동 및 확산시킬 수 있다.

- 2) 중간철근을 수직 및 수평으로 정착하면 중간철근에 의한 소성힌지의 이동 및 확산효과에 의해 관례적인 보강방법에 따라 설계된 실험체보다 에너지 분산능력이 약 1.6배 정도 증가된다.
- 3) 부재의 에너지 분산능력은 수직앵커형 중간철근으로 보강한 IV-1.0D10 실험체가 가장 우수한 것으로 나타났다.
- 4) 기존연구에서 제안된 절단형 중간철근에 의한 보강방법은 관례적인 보강방법에 따라 설계된 실험체보다 에너지 분산능력은 약 1.2배 증가되나 고강도 콘크리트 보에서는 그 효과가 둔화되는 것으로 나타났다.

감사의 글

본 연구는 1992년도 한국과학재단에서 지원한 "고강도 철근콘크리트 초고층 건축물의 건설기술 개발에 관한 연구(KOSEF 92-92-00-12)"의 일환으로 수행된 연구로서 관계 제위께 깊은 감사드립니다. 또한 시형체의 제작에 도움을 주신 (주)금융건설과 콘크리트의 타설 및 양생에 도움을 주신 (주)청구의 관계제위께도 깊은 감사드립니다.

참 고 문 헌

1. 김윤일, 천영수, 최창식, 서수연, 이리형, "반복하중을 받는 철근콘크리트 보의 전단보강 및 소성힌지 이동," 대한건축학회 논문집, 제 9권 제 2호(통권 제 18집), 1989. 10.
2. 김윤일, 최창식, 천영수, 서수연, 이리형, "반복하중을 받는 철근콘크리트 보의 소성힌지 이동에 관한 실험적 연구," 한국콘크리트학회 논문집, 제 1권 제 1집(통권 제 1호), 1989. 11., pp 77~82
3. 유영찬, 김윤일, 이리형, "반복하중을 받는 철근콘크리트 보의 휨 변형능력에 관한 실험적 연구," 대한건축학회 논문집, 1988. 6.
4. 이광수, 오정근, 권영호, 신성우, "고강도 콘크리트 보-기둥 접합부내 횡보강근의 내진성능에 관한 실험적 연구," 대한건축학회 논문집, 제 7권 제 3호, 통권 35호, 1991. 6.
5. 하기주, 김진근, 양주경, 정란, "고강도 철근콘크

- 리트 보·기둥 접합부의 이력거동 특성에 관한 연구,” 대한건축학회 논문집, 제 8권 제 9호, 통권 47호, 1992. 9
6. Abdel-Fattah, B.A., and Wight, J.K., “Study of Moving Beam Plastic Hinging Zones for Earthquake Resisting Design of R/C Buildings,” Journal of the ACI, Jan-Feb., 1987, pp. 31~39.
 7. Al-Haddad, M.S., and Wight, J.K., “Relocating Beam Plastic Hinging Zones for Earthquake Resisting Design of Reinforced Concrete Buildings,” ACI Structural Journal, March-April, 1988, pp.123~133.
 8. Bertero, V.V., Bresler, B., and Liao, H.M., “Stiffness Degradation of Reinforced Concrete Members Subjected to Cyclic Flexural Moments,” Earthquake Engineering Research Center, University of California, Berkeley, Report No. EERC 69-12, Dec., 1969.
 9. Brown, R. H., and Jirsa, J.O., “Reinforced Concrete Beams Under Load Reversal,” Journal of the ACI, Vol. 68, May, 1971, pp.380~390.
 10. Bahjat A.A., and Wight, G.K., “Experimental Study of Moving Beam Plastic Hinging Zones for Earthquake Design of R/C Building,” Report No. UMCE 85-11, Department of Civil Engineering, The University of Michigan, Dec., 1985.
 11. Fenwick, R.C., and Irvine, H.M., “Reinforced Concrete Beam-Column Joints for Seismic Loading,” Bulletin of the New Zealand National Society for Earthquake Engineering, Vol. 10, No. 3, September 1977.
 12. Gosain, N.K., Brown, R.H., and Jirsa, J.O., “Shear Requirement for Load Reversal on R/C Members,” Journal of Structural Division, ASCE, Vol.103, No. ST7, July, 1977, pp.1461~1476
 13. Hwang, T.H., and Scribner, C.F., “R/C Member Cyclic Response During Various Loadings,” Journal of Structural Engineering, ASCE, Vol.110, No. 3, Mar., 1984, pp.477~489
 14. Mohammed, S.A., and Wight, J.K., “Feasibility and Consequence of Moving Beam Plastic Hinging Zones for Earthquake Resistant Design of R/C Buildings,” Report No. UMCE 86-1, Department of Civil Engineering, The University of Michigan, 48109, July, 1986.
 15. Darwin, D., and Nmai, C.K., “Lightly Reinforced Concrete Beams Under Load Reversals,” Journal of the ACI, Vol. 83, No. 9, Sep., 1986, pp.777~783.
 16. Scribner, C.F., and Wight, J.F., “Delaying Shear Strength Decay in Reinforced Concrete Flexural Member Under Large Load Reversals,” Report No. UMEE 78R2, Department of Civil Engineering, The University of Michigan, May 1978.
 17. Scribner, C.F., and Wight, J.K., “Strength Decay in Reinforced Concrete Beams Under Load Reversals,” Journal of Structural Division, ASCE, Vol. 106, No. ST4, Apr., 1980, pp.861~875
 18. Wight, J.K., and Sozen, M.A., “Strength Decay of R/C Column Under Shear Reversal,” Journal of Structural Division, ASCE, Vol. 101, No. ST5, May., 1975, pp.1053~1065

(접수일자 : 1995. 7. 21)