

## 철근 콘크리트 보통 모멘트 골조 기둥의 거동평가

한상환<sup>1)\*</sup> · 이리형<sup>1)</sup>

<sup>1)</sup>한양대학교 건축공학부

(2001년 9월 10일 원고접수, 2001년 12월 18일 심사완료)

### Seismic Behaviors of OMRCF Columns

Sang-Whan Han<sup>1)\*</sup> and Li-Hyung Lee<sup>1)</sup>

<sup>1)</sup> Dept. Architectural Engineering, Hanyang University, Seoul, 133-171, Korea

(Received September 10, 2001, Accepted December 18, 2001)

#### ABSTRACT

The objective of this study is to investigate the seismic behavior and evaluate structural performance of columns in Ordinary Moment Resting Concrete Frames (OMRCF). For this purpose 3 story OMRCF building was designed and detailed in compliance to ACI 318 (1999). Only gravity load is considered for the design. It is important to note that details strongly relate to the structural performance. The 1st story columns in the 3 story building are considered in this study since these columns shall resist the largest axial and lateral forces during an earthquake. Four test specimens were made for representing the upper part and lower part of exterior and interior columns. All specimens are two-third scale. Based on the test results this study estimates deformation, ductility, strength, and energy absorption capacities as well as plastic hinge length.

**Keywords :** deformation, ductility, strength, OMRCF, seismic design, details

## 1. 서 론

철근 콘크리트 구조물의 내진성능은 지진 발생시 비탄성 변형에 의한 에너지 흡수능력과 소산능력(energy absorption and dissipation)에 의존한다. 또한, 내진 설계에서는 최소한의 설계강도 뿐만 아니라 탄성영역을 넘어 비탄성 변형 능력을 보장할 수 있도록 하여야 한다. 기준에서는 단면 및 배근에 대한 최소 요구조건을 정하고 있다(ACI 318).

ACI 318 (1999)<sup>1)</sup>은 대상 지진지역에 따라 모멘트 골조를 보통모멘트골조, 중간모멘트골조, 특별모멘트골조로 구분하고 있다. 우리나라 기준 (1999)<sup>2)</sup>에서는 모멘트 골조에 대한 분류가 아직까지는 명확하지는 않지만 보통모멘트와 중간모멘트골조에 대한 언급은 있다.

모멘트골조는 휨, 전단, 압축력에 저항할 수 있는 기둥, 보, 접합부 부재로 이루어진 구조 시스템이다. 본 연구에서는 약진 지역에 적용하는 보통 모멘트 골조(OMRCF : ordinary moment resisting concrete frame)를 고려한다. OMRCF의 경우 ACI 318 (1999)의 1-18장의 요구사항을 만족하도록 설계하여야 한다. (우리나라 기준의 경우 1-19장을 만족시켜야 함)

보통 모멘트골조는 특수모멘트골조와 같이 골조 설계시 강한기둥-약한보(strong column-weak beam)에 대한 요구사항이 없다. 또한 요구되는 기둥, 보, 접합부 부재의 배근상세도 특수모멘트골조나 중간모멘트골조와 비교하면 매우 완화되어 있다. 따라서, 소성힌지가 지진 발생시 강도가 보부재에 비하여 상대적으로 낮은 기둥부재에서 발생할 가능성이 높다. 기둥부분의 소성힌지 발생은 지진 발생시 연약층 파괴로 이어져 구조물이 매우 취약적으로 거동할 수 있다.

본 연구에서는 OMRCF 기둥 부재의 성능을 평가하기 위하여 전형적인 3층 사무실 건물을 설계하였다. 이 건물에서 1층 기둥을 고려하였다. 1층 부분은 지진 발생시 높은 축력이 작용하는 곳으로 구조물의 전체 거동에 큰 영향을 미칠 수 있다. 실험체는 외부 기둥과 내부기둥을 상·하부로 나누어 모두 4개의 실험체를 제작하였다. 내부기둥은 지진 발생시 횡하중으로 인한 축력 변화가 작고, 외부기둥은 횡하중에 의한 축력의 변화가 크다는 차이점이 있다. 또한, 기둥 하부에서 주근은 철근이음(lap splice)이 생기게 되고, 상부에서는 철근이음이 생기지 않는다. 본 실험을 통하여 OMRCF 기둥의 변형능력, 연성능력, 이력형상, 소성힌지길이, 에너지소산능력 등을 평가한다.

## 2. 모멘트 골조

\* Corresponding author

Tel : 02-2290-1715 Fax : 02-2291-1716

E-mail : swan@hanyang.ac.kr

모멘트 골조는 보와 기둥을 강철로 접합하여 구성되어, 절점이 핀으로 이루어진 트러스 구조에 비해 각 부재와 접합부들이 축방향력, 전단력, 휨모멘트에 저항할 수 있는 건물의 구조형식이다. 모멘트 골조의 부재들은 연직하중을 지지하여 건물의 안전성을 제공하며, 횡하중을 휨강성에 따라 분배하는 역할을 한다. 따라서, ACI 318 (1999)과 UBC(1994)<sup>3)</sup>기준에서는 연직하중을 안정적으로 지지하면서, 횡하중에 대해서는 부재의 휨강성을 통해 저항하는 골조를 모멘트 저항 골조로 정의하고 있다.

ACI 318은 구조물의 설계를 위하여 사용할 모멘트골조에 대하여 UBC 기준의 지진구역(seismic zone) 또는 NHERP<sup>4)</sup>의 내진 성능 범주(Seismic Performance Category, SPC)를 이용하여 약(low), 중(moderate), 강(high) 지진구역으로 분류하고 각 지진구역별로 적용 가능한 철근 콘크리트 모멘트 골조를 제안하고 있다. ACI 318기준에서는 이러한 철근콘크리트 모멘트골조를 보통 모멘트골조(OMRCF), 중간 모멘트골조(IMRCF), 특별 모멘트골조(SMRCF)의 3가지로 분류하여 제시하고 있고, 각 골조별 요구 조건도 차이가 있다. (Table 1 참조)

보통 모멘트골조(OMRCF)는 지진을 고려한 특별한 설계나 배근상세를 갖지 않는 골조로서 ACI 318 (1999)의 1장 ~ 18장까지의 일반적인 요구조건들이 적용되는 골조이다. 각각의 모멘트 골조건물에 대한 설계방법의 차이는 Fig. 1에 나타나 있다. 보통 모멘트골조와 중간 모멘트골조(IMRCF)의 경우 강기둥-약보에 대한 요구조건이 없으므로 지진발생시 소성힌지가 기둥에서 발생할 수 있다. IMRCF의 경우 OMRCF보다 철근 상세가 강화되어 있어 큰 지진 발생시 OMRCF에 비하여 보다 나은 에너지 흡수 능력을 가지고 있다고 할 수 있다. 특히, ACI 318 (1999)에서는 중간 모멘트골조와 특수 모멘트골조에서 보통 모멘트골조에 비하여 더 요구되는 설계 및 상세에 관한 내용은 21장에 기술하고 있다.

각 골조별로 요구되는 기둥 최소 철근배근 형태는 ACI 318(1999) 기준에 제시되어 있다. OMRCF와 IMRCF 기둥의 철근이음은 기둥하단에 위치하도록 하고, SMRCF의 경우 지진 발생시 소성힌지가 발생하는 부분인 기둥하단이 아닌 기둥 중앙에 위치하도록 요구하고 있다<sup>5,6)</sup>.

OMRCF와 IMRCF 기둥을 비교하면 단부에 횡방향 철

Table 1 Types of moment frames according to seismic risk levels (Notes on ACI 318-99<sup>5)</sup>)

Seismic risk level	Seismic zone		ACI 318-99	
	UBC	NEHRP (1991,1994)	Type of moment frames	Required chapters
Low (ACI 318-99, 21.2.2)	Zone 0, 1	SPC* A&B	Ordinary moment frame	Chapters 1-18
Moderate (ACI 318-99, 21.2.3)	Zone 2	SPC C	Intermediate moment frame	Chapters 1-18 plus 21.10
High (ACI 318-99, 21.2.3)	Zone 3, 4	SPC D&E	Special moment frame	Chapters 1-17 plus 21.2-21.5

\*SPC : Seismic performance category

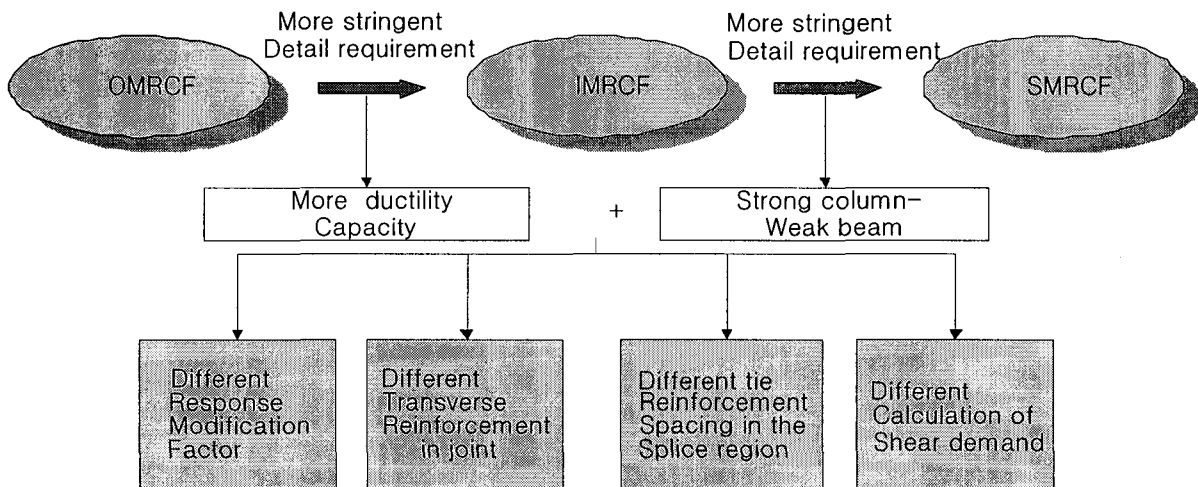


Fig. 1 Difference in OMRCF, IMRCF and SMRCF

근간격이 IMRCF 기둥에서 더 작게 배근 하도록 요구하고 있고, SMRCF의 경우에는 IMRCF보다 더 작은 횡방향 철근 간격을 요구하고 있음을 알 수 있다.

### 3. 실험계획

#### 3.1 대상건물 설계

본 연구에서는 ACI-318(1999)에 의해 배근된 RC 기둥 실험체에 대한 구조적인 성능을 평가하기 위해 연구대상 건물을 전형적인 3층의 사무실 건물을 선정하여 실험체 계획을 하였다. 실험을 추후 연구결과와의 직접적인 비교를 위하여 Mander(1995)<sup>7)</sup>의 대상건물과 실험계획을 최대한 유사하게 하였다.

고려한 대상건물은 Fig. 2에 나타나 있다. 이 건물은 OMRCF에 관한 설계 및 상세 조건이 만족하도록 OMRCF 부재 설계를 하였고, 이를 위한 구조해석은 SAP2000<sup>8)</sup>을 사용하였다. 대상건물의 콘크리트 설계강도는 240 kgf/cm<sup>2</sup>, 철근은 4000 kgf/cm<sup>2</sup>로 하였다. 고려된 중력하중은 슬래브 자중을 포함하여 고정하중은 530 kgf/cm<sup>2</sup>(슬래브 두께 = 15 cm)이고 적재하중은 250 kgf/cm<sup>2</sup>이다.

설계시 지진하중은 고려하지 않았다. 하지만, 지진하중(Zone 1, z=0.075, UBC(1994))을 고려한 경우와 비교하면 기둥부재의 단면이나 철근량에는 차이가 없었다.

#### 3.2 재료실험

실험체에 사용한 콘크리트의 압축강도 실험은 KS F 2404에 따라 직경 10 cm, 높이 20 cm의 실린더형 모듈드 공시체를 제작하여 수행하였다. 공시체는 콘크리트 타설시 12개씩 제작하여 본 실험체와 동일한 조건하에서 양생시켰으며 7일강도와 28일 강도에 대한 압축강도 시험을 수행하였다. 압축강도는 최소 3개이상의 공시체 시험의 평균값으로 결정하였다. 실험체에 사용된 콘크리트의 압축강도

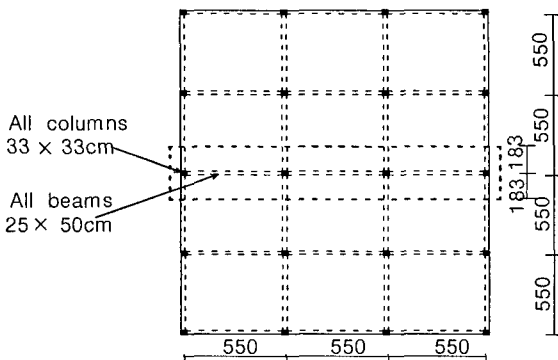


Fig. 2 General layout of the idealized prototype building

시험결과는 Table 2에 나타나 있다.

본 실험에 사용된 철근의 재료실험은 KS B 0801 라호 규정에 따라 철근의 인장시험편을 제작하여 KS B 0802의 금속재료 인장시험 방법에 따라 인장시험을 실시하였다. 철근의 인장강도 시험결과는 Table 3에 나타나 있다.

#### 3.3 기둥실험체

본 연구에서는 Fig. 3의 건물에서 가장 큰 축력과 휨력을 받는 부분인 1층을 대상으로 하였다. 외부기둥은 모멘트( $M_u$ )와 축력( $P_u$ )이 3.7 tf·m와 65.2 tf, 내부기둥은 모멘트( $M_u$ )와 축력( $P_u$ )이 4.8 tf·m와 125.9 tf로 ACI 318(1999)에 따라 설계하였다. 단면에 배근되는 주철근은 설계요구 휨모멘트( $M_u$ )와 최소 철근비에 따라 4개의 19 mm 철근(HD19)을 배근하였다(철근비로는 1.01 %).

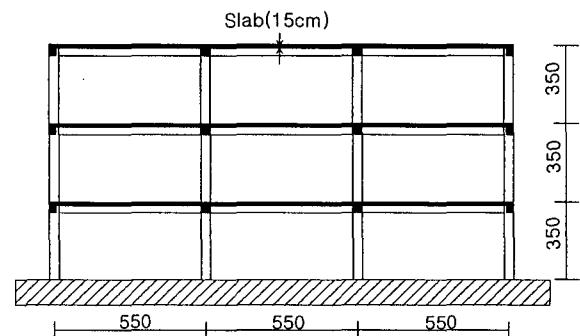
기둥에 작용하는 전단력( $V_u$ )은 최대 3.2 tf가 발생하였다. ACI 318-99의 11.3.1.2로부터 콘크리트 단면의 전단강도( $V_c$ )를 계산한 결과 7.5 tonf의 강도를 가지는 것으로 나타나 띠철근은 기준에서 요구하는 간격으로 배근하였다. 즉, 기둥 전체 길이에 대해 300 mm 간격으로 배근하고 기

Table 2 Concrete properties of the specimens

Design strength (kgf/cm <sup>2</sup> )	28 day strength (kgf/cm <sup>2</sup> )	Strain at ultimate strength $\epsilon_c$	Young's modulus ( $\times 10^5$ kgf/cm <sup>2</sup> )
240	246	0.003	2.39

Table 3 Reinforcing steel properties

Bar	Yielding strength (kgf/cm <sup>2</sup> )	Yielding strain ( $\times 10^{-6}$ )	Ultimate strength (kgf/cm <sup>2</sup> )	Young's modulus (tonf/cm <sup>2</sup> )	Ductility (%)
D6	3814	2206	6102	$1.82 \times 10^6$	14.36
D13	4046	2035	6057	$1.988 \times 10^6$	15.04



준에 따라 슬래브 하부와 기초 상부면에서 첫 번째 락철근은 150mm 내에 위치하도록 하였다. 기둥에 필요한 락철근의 이음길이(lap splice length)는 인장에 대한 이음길이를 기준으로 산정하였다. 또한, 이음의 위치는 기초면 바로 위에 위치하게 하였다.

기둥실험체는 1층 내부기둥 상부, 하부와 외부기둥 상부, 하부 총 4개이다. 실험체는 모두 2/3 축소 모델로 제작하였다. 네 개의 실험체들의 변수는 락철근이음과 변동축력이다. 내부 기둥은 외부기둥에 비하여 축력의 변동이 작아 고정된 축력으로 고려할 수 있으나, 외부기둥은 축력이 전도모멘트의 영향으로 반복가력시 변동축력이 발생한다. 또한, 기둥상부는 락철근이음이 없으나, 하부는 기둥이음(slice)이 존재한다. 각 실험체에 대한 자세한 내용은 Table 4에 나타나있다.

축소 실험체에서 이음길이는 축소율(2/3)로 조정되었고, 락철근이 축소된 것에 대한 이음길이를 다시 산정하여 결정하지는 않았다. 실험체 제작에 사용된 락철근은 원 실험체(prototype)의 기둥주근 D19와 락철근 D10을 2/3 축소한 D13과 D6을 사용하였다. Fig. 4에는 상·하부 기둥실험체의 상세가 나타나있다.

Table 4 Characteristics of the column specimens

	Location		Specimen name	Loading plan	lap splice
	Interior column	Exterior column			
OMRCF	Lower part	OIL	Constant axial load ( $P=0.3A_gf_{ck}$ )	○	
		OIN			×
	Upper part	OEL	Varying axial load ( $P=1.83V+17.1tf$ )	○	
		OEN			×

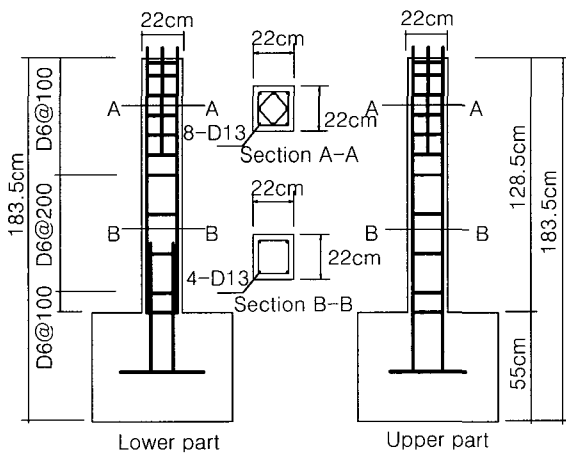


Fig. 3 Details in 2/3 scale column specimens

### 3.4 실험 및 측정

모든 기둥 실험체는 기둥 중앙부에서 변곡점이 발생한다고 가정하였다. 본 실험체에서는 변곡점이 기둥 순 경간의 1/2인 기초 상부 100cm 높이로 이를 가력점으로 설정하였다. 실제로는 변곡점이 횡하중의 영향이 커지면서 아래로 이동하지만 본 실험에서는 실험이 끝날 때까지 기둥 중앙에 위치하는 것으로 가정하여 가력점을 변경시키지 않았다. 내부 기둥실험체 OIL과 OIN은 최하부층의 내부기둥이 받는 일정한 중력하중 (constant axial force) 34 tonf가 작용하고 외부기둥실험체 OEL과 OEN은 횡하중에 의해 골조의 외부기둥에서 발생하는 변동축력 ( $P(axial force)=1.83 V(lateral force)+17.1 tonf$ )을 고려할 수 있도록 계획하였다. 이 변동 축력은 구조물의 탄성해석을 통하여 얻어진 것이다.

모든 실험체는 강도가 최대강도의 80%이하로 떨어질 때까지 가력하였다. 실험체 설치사항은 Fig. 5에 나타나 있다. 가력시 정가력의 하중과 변위를 (+)로 설정하고 부가력의 하중과 변위를 (-)로 설정하였다. 기둥의 양측면에 설치된 9개의 변위계(LVDT)로 곡률 및 수평변위를 측정하고, 기초판에 설치된 변위계로 기초와 실험체 접합면 사이에서 발생하는 상대 미끄러짐 변위를 측정하였다. 가력은 변형각에 의한 변위에 의해 제어되었으며, 변형각 0.25%부터 5%까지 동일 변위에 대해 2회씩 반복 점증 가력하였다.

## 4 실험결과 분석

### 4.1 하중-변형각 곡선을 통한 이력거동 평가

실험을 통해 측정된 하중-변형각의 관계를 각각의 실험

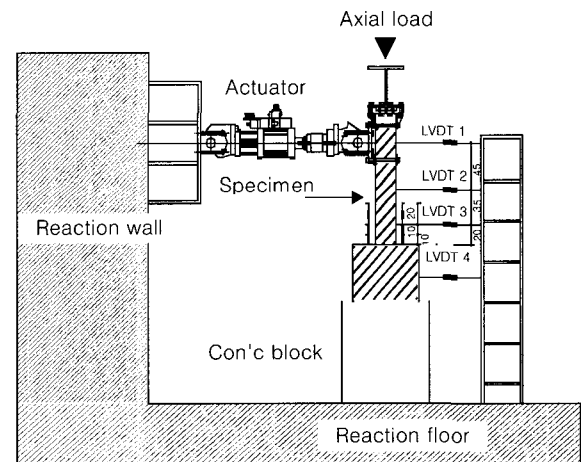
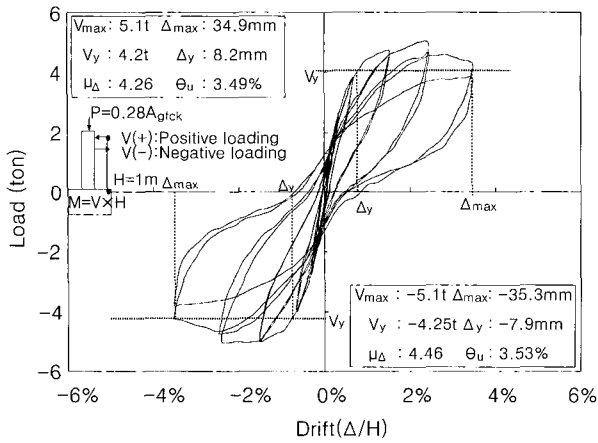
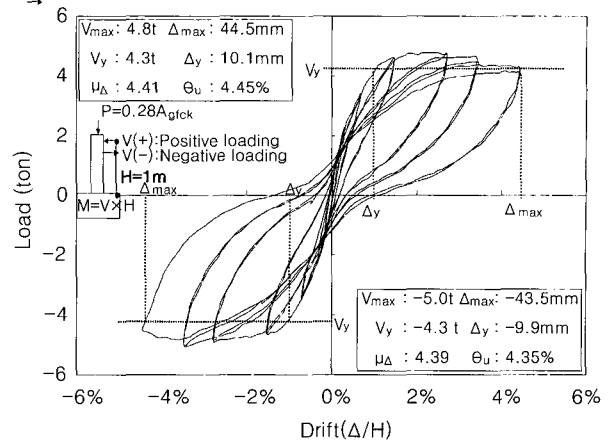


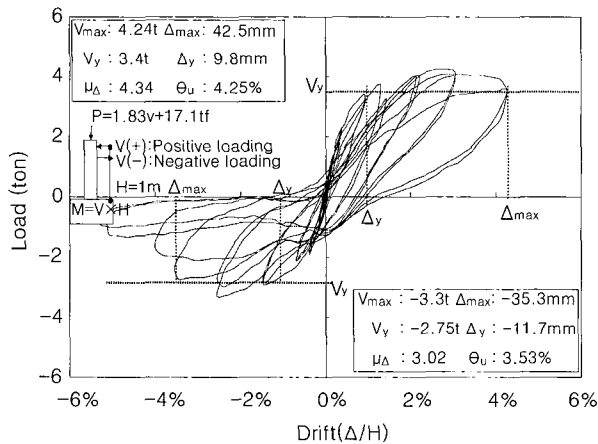
Fig. 4 Details of the transducers



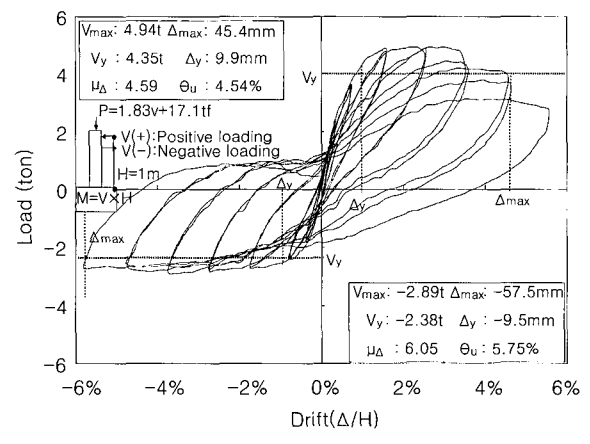
(a) OIL



(a) OIN



(a) OEL



(a) OEN

Fig. 5 Hysteretic curves of the specimens

체에 대하여 Fig. 5에 나타내었다. 이력곡선 상에서 철근이음이 존재하지 않는 상부기둥(OIN, OEN)은 철근이음이 있는 실험체(OIL, OEL)에 비하여 우수한 에너지 소산능력과 안전한 이력거동(stable hysteretic behavior)을 보유하고 있는 것으로 나타났다. 특히, 낮은 축력이 작용하는 OEL은 가장 좁은 이력곡선을 보여준다. 모든 실험체는 변형각  $\pm 0.5\%$ 까지 거의 탄성적인 거동을 보여준다.

철근이음이 없는 실험체는 동일 변형각에 대한 두 번째 사이클에서 강도의 저하가 거의 발생하지 않는다. 그러나, 철근이음이 있는 실험체는 변형각  $\pm 3\%$  이상에서 동일 사이클에서 강도저감이 나타나기 시작하였다. 특히, OEL (철근이음이 있는 외부 하부기둥) 실험체는 축력이 낮은 부가력시 두 번째 사이클에서 강도저감이 크게 나타났을 뿐만 아니라 변형각 증가에 따라 강도저감이 현저하게 나타났다.

Table 5는 각각의 실험에 대한 실험결과를 나타낸 표이다. 여기에서  $\Delta_{max}$ 와  $\theta_u$ 는 최대내력의 80%에 해당하는 강도에서 평가한 최대변위와 변형각을 나타내고, 항

복변위와 최대변위의 비를 변위 연성비( $\mu_\Delta$ ; displacement ductility ratio)로 정의한다<sup>9)</sup>. 항복변위( $\Delta_y$ )는 저감된 강성을 고려한 방법으로 최대내력의 75%에서 평가된 할선 강성(secant stiffness)으로부터 구하였다.

#### 4.2 축력-모멘트 상관도에 의한 내력평가

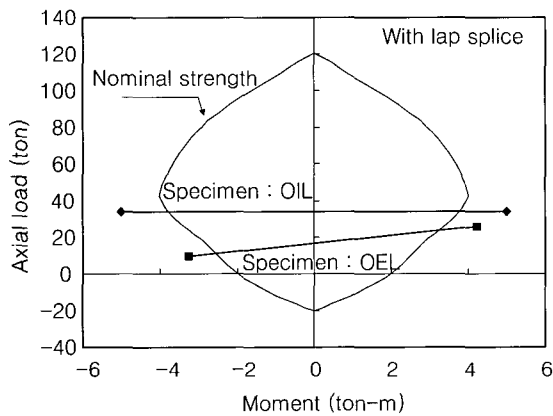
각 실험체에 작용된 축력과 재료실험에서 얻어진 결과를 적용하여 평가된 기둥의 축력-모멘트 상관도는 철근이음의 유무에 따라 Fig. 6에 나타내었다. 축력-모멘트 상관도에 의해 구한 각각의 기둥 실험체의 공칭강도와 실험결과를 통하여 구한 최대강도의 비를 비교하였다.

Table 5에서 각 기둥의 공칭강도와 최대강도의 비가 나타나 있는데, 이에 따르면 모든 실험체는 공칭설계강도 이상의 내력을 발휘하는 것으로 나타났다. 축력비가 적은 OEL, OEN의 부가력시 공칭강도 이후 최대강도 발현비율이 OIL, OIN에 비해 다소 낮은 것으로 나타났다. ACI 318-99에서 요구하는 최소 기둥이음 길이를 갖도록 설계

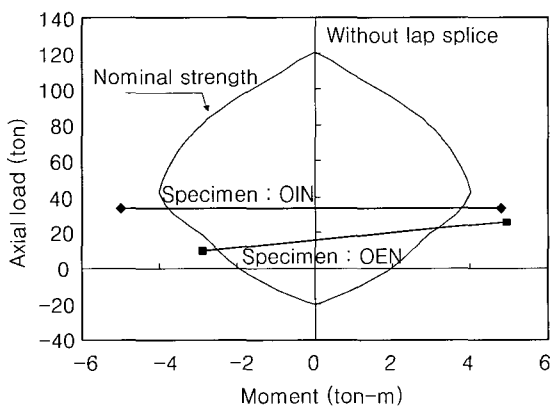
Table 5 Test result of specimens(OMRCF)

Specimen		$\frac{P_u}{A_g f_{ck}}$	$V_{max}(t)$	$\Delta_{max}(mm)$	$\mu_{\Delta}$	$\theta_u(\%)$	$M_{ACI}$	$\frac{M_{max}}{M_{ACI}}$	$V_{ACI}$	$V_p$	$\frac{V_p}{V_{ACI}}$
		(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)
OIL	+	0.28	5.1	34.9	4.26	3.49	3.75	1.33	7.58	3.86	0.51
	-		-5.1	-35.3	4.46	3.53	-3.75	1.33	7.58	3.86	0.51
OIN	+	0.28	4.8	44.5	4.41	4.45	3.75	1.28	7.58	3.86	0.51
	-		-5.0	-43.5	4.39	4.35	-3.75	1.33	7.58	3.86	0.51
OEL	+	0.2	4.24	42.5	4.34	4.25	3.4	1.25	7.1	3.32	0.47
	-	0.07	-3.3	-35.3	3.02	3.53	-2.6	1.25	6.46	2.65	0.41
OEN	+	0.2	4.94	45.4	4.59	4.54	3.4	1.45	7.1	3.32	0.47
	-	0.07	-2.89	-57.5	6.05	5.75	-2.6	1.11	6.46	2.65	0.41

- (1) = axial load ratio (2) = maximum shear force (3) = maximum displacement (4) = displacement ductility
- (5) = drift angle (6) = the moment capacity calculated using ACI 318-99 procedures
- (7) = the ratio of the maximum moment resistance of the specimen to  $M_{ACI}$
- (8) = the nominal shear strength according to ACI 318-99
- (9) = the shear or corresponding to flexural yielding with flexural strength  $M_{ACI}$  or  $2M_{ACI}/l$ , where  $l$  = the column clear height
- (10) = the ratio of  $V_p$  to  $V_{ACI}$



(a) With lap splice



(b) Without lap splice

Fig. 6 Interaction diagram

된 대상 실험체들이 철근이음과 변동축력에 관계없이 공칭 설계강도 이상의 최대강도를 발현함을 알 수 있다. (Table 5(7) 참조) 단, 이는 기둥이 휨 파괴가 발생하는 실험체에 대한 결과이다.

#### 4.4 변형 및 연성능력 평가

각 실험체별 변형 능력은 Fig. 7에 나타나 있다. 변형능력은 일정축력을 적용한 실험체의 경우 철근이음(lap-splice)이 있는 OIL 실험체에 비해 철근이음이 없는 OIN 실험체가 변형능력이 더 우수함을 알 수 있다. 변동축력으로 가력한 실험체중 철근이음이 있는 OEL 실험체의 경우 축력이 감소하는 부가력시 변형각 3%에서 급격한 내력저하를 보였다. 가장 큰 변형능력을 가진 실험체는 OEN이었고, 가장 작은 것은 OIL 이다. 따라서 변형능력 면에서는 축력이 낮은 외부기둥이 내부기둥에 비하여 다소 큰 변형능력을 보유하는 것으로 나타났다. 하지만 철근이음이 있는 기둥의 경우 부가력시 내부기둥과 유사한 것으로 나타났다.

이는 철근이음이 외부기둥의 변형능력에 큰 영향을 주고 있기 때문이라고 판단할 수 있다.

Fig. 8은 ACI 318에서 요구하는 전단강도와 모멘트 상관도상의 휨강도를 전단강도에 상응하는 값으로 치환한 값의 비에 따른 연성능력을 평가한 것이다<sup>9)</sup>. 본 실험체(OMRCF)의 경우는 전단력비 ( $V_p/V_{ACI}$ )가 0.5이하의 비율

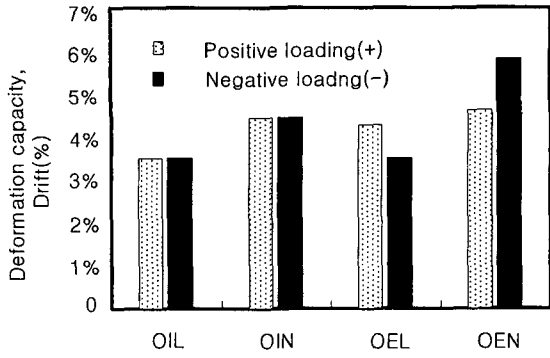


Fig. 7 Deformation capacity

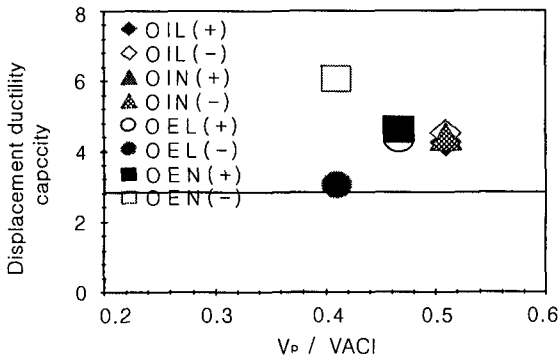


Fig. 8 Displacement ductility capacity

보임(Table 5 (10) 참조)으로 모든 실험체가 휨파괴에 의해 지배됨을 알 수 있다.

변위 연성비에 대한 비교 결과는 변형능력에 대한 비교 결과와 유사한 결과를 보여주고 있다. 내부실험체는 철근 이음의 유무에 상관없이 두 실험에서 모두 4.0 이상의 변위-연성비를 나타내고 있으나, 외부실험체의 경우는 철근 이음이 없는 기둥상부실험체는 내부실험체 이상의 연성능력을 나타내고 있지만, 철근이음이 있는 기둥하부실험체의 축력이 감소하는 부가력시 3.0의 변위-연성비를 나타내고 있다.

#### 4.5 에너지 소산능력 평가

본 연구에서는 각 실험체별 에너지 소산능력을 평가하였다. Fig. 9(a)에는 하중의 사이클별 에너지 소산량이 나타나 있다. 철근 이음이 있는 OIL 실험체가 이력 곡선 상에서 OIN에 비해 핀칭 현상이 두드러짐에도 불구하고 에너지 소산능력이 거의 유사하게 나온 것은 최대내력까지의 강도가 OIL 실험체가 크고, 이것이 핀칭에 의한 영향을 보상하기 때문인 것으로 판단된다. 그러나, 축력이 상대적으로 작은 OEL 실험체의 에너지 소산능력이 낮은 것은 부가력시 핀칭과 강도의 저하 때문이다.

Fig. 9(b)는 각 실험체의 누적 에너지 소산량을 나타낸

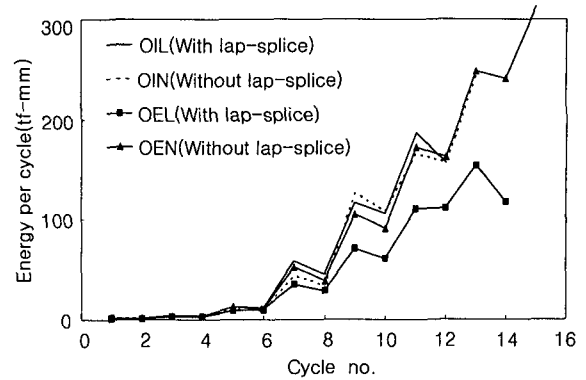


Fig. 9 (a) Energy dissipation at each cycle

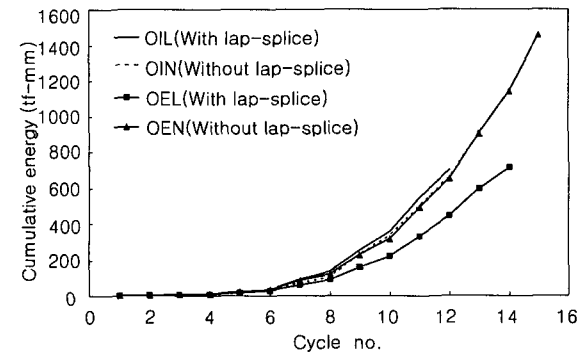


Fig. 9 (b) Cumulative energy dissipation

것이다. 변형각 2%까지는 모든 실험체는 유사하게 에너지를 소산하고 있으나, 변형각 3%에서 철근이음이 있고 변동축력이 작용하는 OEL 실험체는 기타 실험체의 70%의 수준을 보였다. 또한, 최대 변형에서 비교한 에너지 소산능력에서 OEL 실험체는 동일한 축력 조건인 OEN의 69%수준으로 축력비가 상대적으로 낮은 외부기둥에서 철근이음이 존재할 경우 에너지 소산능력이 저하되는 것으로 나타났다.

## 5. 결 론

본 연구에서는 보통 모멘트 골조(OMRCF)의 기둥의 내진성능을 평가하였다. 이를 위하여 현행기준(ACI 318-99) 최소요구조건에 맞게 설계한 4개의 기둥실험체를 제작하여 실험하였다. 본 연구를 통하여 얻은 결론은 다음과 같다.

1) 실험체의 최대강도는 모두 기준 식을 이용하여 계산한 강도를 상회하는 것으로 나타났다. 따라서 외부기둥이나 내부기둥, 철근이음이 있는 경우와 없는 경우 모두 강도면에서는 만족한 것으로 평가할 수 있다. OMRCF 기둥의 철근이음길이, 띠철근 간격은 강도면에서 만족스러운 것으로 평가되었다.

2) 모든 실험체의 최대변형각은 3.5%를 상회하는 것으

로 나타났다. 변형능력은 철근이음이 없는 경우가 더 큰 것으로 나타났다. 철근이음이 없는 외부기둥이 축력을 많이 받는 경우 내부 기둥에 비하여 더 우수한 능력을 가지는 것으로 나타났다. 하지만 철근이음이 있는 경우에는 내부와 외부 기둥이 모두 유사한 변형능력을 가지는 것으로 나타났다. 따라서 철근이음은 기둥의 변형능력에 큰 영향을 미치고 있음을 알 수 있었으며, 그 영향은 외부기둥이 내부 기둥에 비하여 더 크게 받고 있는 것으로 평가되었다. 따라서 철근이음 있는 OMRCF기둥의 변형능력을 보다 우수하게 하기 위해서는 축력을 작게 받는 외부기둥의 철근 이음부에 강화된 상세가 필요하다.

3) 연성능력면에서는 변형능력과 유사한 결론을 얻었다. 모든 실험체의 연성능력은 3.0 이상으로 나타났다. 낮은 축력을 받는 기둥이 큰 연성능력을 가질 것이라는 예상과 달리 철근이음이 있는 경우는 외부기둥 실험체의 연성비가 더 작게 나타났다. 이는 외부기둥의 경우 철근이음의 영향이 매우 큰 것임을 나타낸 것이라 할 수 있다.

4) 에너지 소산량에서는 철근이음이 있는 외부기둥 실험체를 제외하면 모두 유사한 것으로 나타났다. OEL은 OEN에 비하여 70 %의 에너지 소산능력을 가진 것으로 평가되었다. 따라서, 변형 및 변위를 통한 결과에서 지적된 것처럼 OMRCF 외부기둥의 경우 철근이음의 영향이 큰 것임을 평가할 수 있다. 따라서, 다른 기둥 실험체와 유사한 능력을 갖추기 위하여 철근 이음부에 강화된 배근 상세가 필요하다고 판단할 수 있다.

### 감사의 글

본 연구는 한양대학교 초대형 구조시스템 연구센터의 지원하에 이루어진 것으로 이에 감사를 표한다. 또한 National Taiwan University of Science and Technology 의 S. J. Hwang 교수의 조언에 감사한다.

### 참고문헌

1. American Concrete Institute, "Building Code Requirements for Reinforced Concrete," ACI 318-99, Detroit, Michigan, 1999.
2. 콘크리트 구조설계기준, 한국콘크리트학회·대한건축학회, 1999.
3. Uniform Building Code (UBC), International Conference on Building Officials, Whittier, California. 1994, pp.2~34.
4. Building Seismic Safety Council, "NEHRP Recommended Provisions for Seismic Regulations for New Buildings," Part 1, FEMA, Washington, D. C., 1994, p.11.
5. Portland Cement Association, "Notes on ACI 318-99 Building Code Requirements for Structural Concrete," Skokie, Illinois, 1999, pp.15~19.
6. Alan Williams, "Seismic Design of Buildings and Bridges," Engineering Press, Austin, Texas, 1998, pp.274~283.
7. Bracci, J. M., Reinhorn, A. M and Mander, J.B., "Seismic Resistance of Reinforced Concrete Frame Structures Designed only for Gravity Loads in Low Seismicity Zones: Part II-Experimental Performance of Subassemblages," Technical Report NCEER-92-0028, National Center for Earthquake Engineering Research, Sunny/Bufalo, 1992.
8. Computers and Structures Inc., "SAP 2000," Berkeley, California, 1997.
9. Lynn, A., Moehle, J., Mahin, S. A and Holmes, W. T., "Seismic Evaluation of Existing RC Building Columns," *Earthquake Spectra*, Vol. 12, No. 4, 1996, pp.715~739.

### 요 약

본 연구의 목적은 중력하중만으로 설계된 철근 콘크리트 보통 모멘트 골조 기둥의 구조적인 거동과 내진성능을 평가하는데 있다. 이러한 목적으로 전형적인 3층의 사무실 건물을 기준(ACI 318 (1999))에 따라 설계하였다. 건물의 부재들은 ACI 318 (1999)에서 요구하는 최소철근량을 만족하도록 배근하였다.

철근 콘크리트 골조의 내진특성은 비탄성 변형시 발생하는 에너지 흡수능력과 소산능력에 따라 결정된다고 할 수 있다. 특히 이러한 특성은 배근상세와 직접적인 연관이 있다. 지진 발생시 높은 축력과 횡력이 작용하는 1층의 기둥을 본 연구의 실험 모델로 하였다. 외부기둥과 내부기둥을 상·하부로 나누어 모두 4개의 실험체를 제작하였으며, 모든 실험체는 2/3 축소 모델로 제작하였다. 실험결과를 통하여 변형 및 연성능력, 내력, 에너지 소산능력, 등가소성힌지 길이를 평가하였다.

**핵심용어** : 변형, 연성, 강도, OMRCF, 내진설계, 상세