

보통과 중간 모멘트 골조 기둥의 내진거동 비교

한상환^{1)*}

¹⁾ 한양대학교

(2004년 4월 30일 원고접수, 2004년 12월 15일 심사완료)

Seismic Behavior of Columns in Ordinary and Intermediate Moment Frames

Sang-Whan Han^{1)*}

¹⁾ Dept. of Architectural Engineering, Hanyang University, Seoul, 133-791, Korea

(Received April 30, 2004, Accepted December 15, 2004)

ABSTRACT

Moment frames have been widely used in building construction. In current design codes, concrete moment frames are classified into ordinary, intermediate, and special moment resisting concrete frames (OMRCF, IMRCF, SMRCF)). The objective of this study is to investigate the seismic behavior of columns in ordinary moment resisting concrete frames (OMRCF) and intermediate moment resisting concrete frames (IMRCF). For this purpose 3 story OMRCF and IMRCF buildings were designed and detailed in compliance to ACI 318 (2002) and KCI (1999). In this study the buildings were assumed to be located in seismic zone 1 classified by UBC (1997). This study considered the columns in the 1st story since these columns shall resist the largest axial and lateral forces during an earthquake. Eight 2/3 scale column specimens were made for representing the upper part and lower part of exterior and interior columns of the OMRCF and the IMRCF. Quasi-static reversed cyclic loading was applied to each specimen with a constant or varying axial load. Test results show that seismic behaviors of columns are influenced by existence of lap splices, axial force levels, and lateral reinforcement at possible plastic hinging region. However, the effect of such variables strongly co-related to each other.

Keywords : seismic behavior, design, detail, columns, reinforcement

1. 서 론

모멘트골조는 다른 시스템들에 비하여 비탄성 영역에서의 거동이 안정되어 있어 현재까지 많이 사용되어 왔다. 하지만 모멘트골조가 안정된 비탄성거동을 하기 위하여 적절한 설계와 상세가 확보되어야 한다. 현행 기준에서는 내진설계에 사용할 수 있는 모멘트골조를 보통모멘트골조(ordinary moment resisting concrete frame, OMRCF), 중간모멘트골조(intermediate moment resisting concrete frame, IMRCF), 특별모멘트골조(special moment resisting concrete frame, SMRCF)로 분류하고 있다¹⁾. 이러한 골조의 선택은 건물이 위치할 지역의 지진위험도와 내진설계 범주에 따라 결정된다²⁾.

현 기준(ACI 318 (2002))에서는 세 개의 모멘트 골조중 SMRCF에 대하여 가장 엄격한 설계와 상세를 요구한다.

그리고 OMRCF의 경우에는 가장 적은 수준의 상세와 설계를 요구한다. 따라서 큰 지진 발생시 SMRCF는 OMRCF나 IMRCF에 비하여 안정적인 연성거동 능력을 예상할 수 있다. 이에 반하여 OMRCF는 세 개의 골조중 가장 낮은 수준의 연성거동능력을 보유한다고 할 수 있다. 이러한 점을 고려하여 현행 내진기준 (UBC (1997))에서는 설계 밀면전단력의 구성 요소인 반응수정계수를 SMRCF, IMRCF, OMRCF에 대하여 각각 8.5, 5.5, 3.5를 적용하고 있다.

따라서, 연성능력이 가장 우수한 SMRCF의 경우 가장 낮은 설계밀면전단력을 적용하고, OMRCF의 경우 가장 높은 설계 밀면전단력을 적용하여 설계하도록 하고 있다. 우리나라 콘크리트구조설계기준⁶⁾에서는 아직 모멘트골조에 대한 분류가 명확하지 않으나, 건축물하중기준 및 해설⁷⁾에서는 연성(중간)모멘트골조(IMRCF)와 보통모멘트골조(OMRCF)로 분류하고 있다. OMRCF 골조의 성능평가는 Han^{3,4)}에 의하여 수행된바 있다. 이 연구에서는 기존 3층의 OMRCF 골조의 최대항력을 찾아내고, 이를 기준에

* Corresponding author

E-mail : swhan@hanyang.ac.kr

©2005 by Korea Concrete Institute

서 요구하는 설계지진력과 비교하였다. 또한, 다양한 크기의 지진에 대하여 능력스펙트럼법을 이용하여 OMRCF 골조의 내진성능평가를 수행하였다.

본 연구에서는 OMRCF와 IMRCF의 구성요소인 기둥부재의 성능을 비교 평가하는 것이다. 이를 위하여 Han 등³⁾이 사용한 3층 골조를 각각 OMRCF와 IMRCF로 설계하였고, 골조에서 1층 기둥을 대상으로 그 거동을 비교와 평가를 하였다. 각 골조별로 1층의 내부와 외부 기둥을 상하부로 나누어 각각 4개의 실험체를 만들었다. 본 연구에서 고려하는 모든 실험체는 휨지배를 받는 기둥을 대상으로 한 것이다. OMRCF와 IMRCF 기둥의 대표적인 차이는 기둥단부의 횡보강근의 최대 간격이다. IMRCF 기둥의 소성힌지 영역에서 횡보강근 간격은 OMRCF에 비하여 1/2이 요구된다. 실험은 축력과 횡력을 모두 작용시켰다. 횡력은 유사정적 반복가력을 하였고, 변위제어로 실험을 진행하였다. 축력의 경우 외부기둥은 지진 발생시 전도 모멘트 영향으로 인하여 축력의 변화가 큰 점을 고려하여 횡하중에 따라 변하는 변동축력을 가하였고, 내부기둥의 경우 축력의 변화가 적어 고정축력을 작용시켰다.

2. 실험계획

2.1 대상 건물의 설계

본 연구에서는 OMRCF와 IMRCF 기둥의 구조 성능을 평가하기 위하여 대상 건물을 전형적인 3층의 사무실 철근콘크리트 건물로 선정하였다. ACI 318¹⁾와 KCI⁶⁾에 따라 건물의 골조를 각각 OMRCF와 IMRCF로 설계하였다.

고려한 대상건물은 Han 등³⁾이 사용한 평면과 입면을 대상으로 하였으며 Fig. 1에 나타나 있다. 부재설계를 위한 구조해석은 SAP 2000 (2000)을 사용하였다. 대상건물의 콘크리트 설계강도는 23.5 MPa (240 kgf/cm²), 철근은 392.3 MPa (4000 kgf/cm²)을 사용하였다. 고정하중은 슬래브 자중을 포함하여 5.2 KPa (530 kgf/cm²) (슬래브 두께=150 mm)이고, 활하중은 2.4 KPa (250 kgf/cm²)을 사용하였다.

지진하중은 건물이 지진지역 1에 (z=0.075, UBC(1997)) 있다고 가정하였다. 설계하중에 대한 대상 구조물 해석결과는 건물이 주로 중력하중에 지배를 받는 것으로 나타났다. 기둥부재는 33 cm x 33 cm 단면으로 가정하였고, 보는 25 cm x 50 cm의 단면으로 가정하여 설계하중에 대하여 해석을 수행하였다. 이를 통하여 계산한 부재내력과 최소 철근규정을 이용하여 각 부재의 철근 양을 산정하여 배근하였다. 지진하중의 영향이 중력하중에 비하여 미미하므로 OMRCF와 IMRCF 골조 부재들의 단면과 주 철근이 동일하게 설계되었다.

따라서 본 연구에서는 각 OMRCF와 IMRCF 부재의 차이는 주철근의 양이 아닌 횡방향 보강근의 간격이 된다.

본 연구에서는 기둥단면이나 주철근 양의 차이로 인한 간섭없이 순수하게 횡보강근의 상체에 따른 OMRCF와 IMRCF 기둥의 거동변화를 보다 명확하게 비교 평가할 수 있다고 판단된다.

2.2 기둥 실험체

기둥 실험체는 Fig. 1(b)에 나타나 있는 골조의 1층을 대상으로 내부와 외부기둥을 상하부로 나누어 각 골조(OMRCF, IMRCF)당 4개씩 총 8개의 실험체를 2/3 축소하여 제작하였다. 기둥 실험체 계획에서 슬래브와 만나는 부분은 고정단이라 가정하고 횡력하에서 변곡점이 기둥의 중간에 생긴다고 가정하였다. Fig. 2에 보이는 실험체에서 하부기둥 실험체인 OEL, IEL, OIL, IIL의 밑면 (base)은 건물의 바닥이고, 상부기둥 실험체인 OEN, IEN, OIN, IIN의 밑면은 2층 슬래브가 된다고 할 수 있다.

설계하중을 이용한 해석결과 외부 기둥에는 모멘트 (M_u)와 축력(P_u)이 37 KN.m (3.7 tonf · m)와 644.3 KN (65.2 tonf), 내부 기둥은 모멘트(M_u)와 축력(P_u)이 47.1 KN.m (4.8 tonf · m)와 1235 KN (125.9 tonf)가 작용한다.

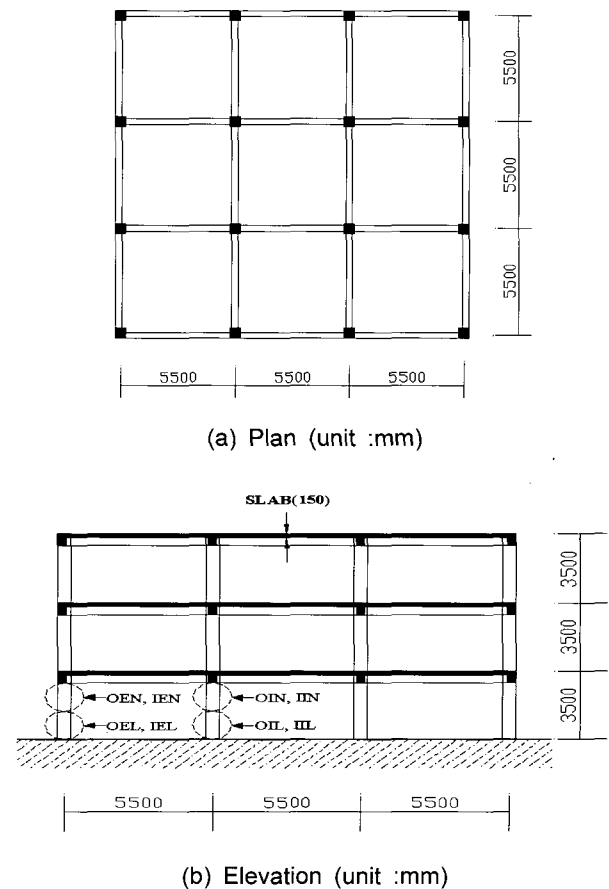


Fig. 1 Model building

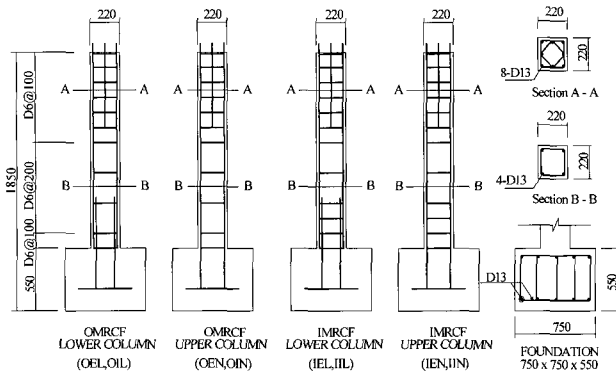


Fig. 2 Experimental specimen (unit: mm)

ACI 318(2002)에 따라 휨모멘트(M_u)와 최소 철근비로 인해 기둥주근은 4개의 D19 (지름 19.1 mm)로 배근하였고 (철근비는 1.01%), 실험체에서는 2/3 축소한 철근 D13 (지름 12.7 mm)을 사용하였다. 기둥상하부의 차이는 기둥상부는 단부에 철근이음(lap splice)이 없으나, 하부는 철근이음이 존재한다. 또한 내부 기둥과 외부기둥의 차이는 앞서도 언급한바와 같이 전도모멘트로 인한 축력의 변화와 축력의 크기이다. 철근이음은 ACI 318¹⁾에서 요구하는 최소길이를 적용하였다. 내부기둥은 전도모멘트의 영향이 적어 축력의 변동은 크지 않지만 슬래브 분담면적이 커서 중력하중으로 인한 축력이 크다. 이에 반하여 외부 기둥은 축력이 크기는 작지만 횡하중으로 인한 전도모멘트 영향이 커서 변동이 크다.

띠철근은 ACI 318(2002)의 11.3.1.2로부터 구한 콘크리트 단면의 전단강도(V_c)가 73.5 kN (7.5 tonf)로 해석으로 구한 전단력(V_u) 31.4 kN (3.2 tonf)보다 커서 기준에서 요구하는 최대간격으로 배근하였다. 기둥 전체 길이에 대하여 띠철근을 300 mm 간격으로 배근하고, 슬래브 하부와 기초 상부면으로 부터 첫 번째 띠철근은 기준의 요구에 따라 150 mm 내에 위치하도록 하였다. IMRCF 기둥의 경우 기준에서 요구하는 띠철근의 최대 간격 기준(ACI 318¹⁾의 21.12.4.2)에 따라 기둥 단부 구간은 150 mm 간격(OMRCF에서는 전 구간에 300 mm 간격이 요구됨)으로 배근하고, 나머지 구간에서는 OMRCF와 같이 300 mm로 배근하였다. 띠철근도 2/3 축소하여 원 실험체(prototype)에서 사용한 D10 (지름 9.53 mm) 철근대신 D6 (지름 6.35 mm)을 사용하였다. 각 실험체에 대한 상세는 Table 1과 Fig. 2에 나타나 있다.

23. 실험 및 측정

본 연구에서는 횡하중 작용 하에서 모든 기둥 실험체의 중앙부에서 변곡점이 발생한다고 가정하였다. 따라서 축소된 골조 기둥에서 기둥 순경간의 1/2 지점인 바닥판에서

Table 1 Characteristics of the column specimens

Type	Location	Specimen name	Loding plan	Lap splice
OMRCF (IMRCF)	Interior column	Lower part	Constant axial load ($P=0.28A_gf_{ck}$)	○
		Upper part		×
	Exterior column	Lower part	Varying axial load ($P=1.83V+167$)	○
		Upper part		×

(1) OMRCF(O), IMRCF(I)
 (2) Interior(I), Exterior(E)
 (1) (2) (3)
 (3) with lap splice(L),
 without lap splice(N)

100 cm 지점을 가력하였고, 실험이 종료될때까지 가력점을 고정하였다.

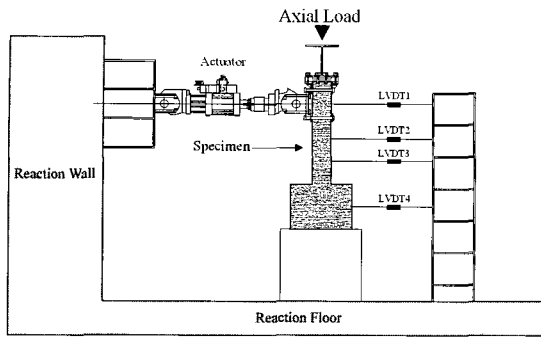
내부기둥의 경우, 횡력으로 인한 전도 모멘트의 영향이 적어 고정축력에 가까운 축력이 횡하중 발생시 작용하는데 반하여, 외부 기둥의 경우 전도모멘트의 영향이 커서 횡력의 크기에 따라 그 축력의 크기도 변한다. 탄성해석 결과에 따라 1층 내부 기둥 실험체는 변동이 적은 중력하중 333.4 kN (34 tonf)이 작용하고, 외부 기둥 실험체는 횡력에 따른 변동축력 ($P(\text{axial force})=1.83 V(\text{lateral force})+167.6 \text{ kN}$)이 작용하는 것으로 나타났다. 이 축력은 내부기둥 실험체의 경우 약 $0.30A_gf_{ck}$ 에 해당하는 것이고, 외부기둥의 경우 $0.07\sim 0.20A_gf_{ck}$ 에 해당하는 것이다. 여기서 A_g 는 기둥 전단면적이고, f_{ck} 는 콘크리트 설계기준압축강도이다.

횡력과 고정축력 혹은 변동축력은 세개의 액츄에이터를 통하여 가력하였다 (Fig. 3). 횡력은 Fig. 4에 나타난 바와 같이 변위하중으로 유사정적반복가력 하였다. 각 변위하중당 두 사이클씩 반복하여 가력하였다. 모든 실험체는 강도가 최대강도의 80% 이하로 떨어질 때까지 가력하였다. 기둥의 양측면에 변위계(LVDT) 9개를 설치하여 곡률 및 수평변위를 측정하였다. 그리고 기초와 실험체 접합면 사이에서 발생하는 상대 미끄러짐 변위는 기초판에 변위계를 설치하여 측정하였고, 이는 추후 실험결과를 보정하는데 사용하였다.

3. 실험결과

3.1 균열과 파괴

모든 실험체의 첫 번째 휨 균열은 변형각 1%에 도달하기 전 기둥 단부에서 관측되었다. 이때의 하중은 약 25 kN 이었다. 그리고 변형각 3%에서 모든 실험체는 단부 콘크리트의 박리를 경험하였다. 철근이음이 있는 외부 하부 기둥실험체 (OEL, IEL)는 양의 방향 횡하중 가력시



Exterior columns : $P(\text{axial Load})=1.83 V(\text{lateral force})+167.6 \text{ KN}$
 Interior columns : $P=334\text{kN}$

Fig. 3 Test setting

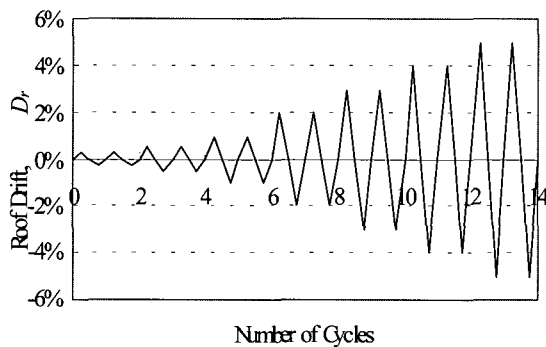


Fig. 4 Loading history

(축력이 증가하는 방향) 균열과 박리가 음의방향의 횡하중 가력시보다 더 많이 발생하였다. 철근이음이 없는 외부의 상부기둥실험체(OEN, IEN)는 비교적 적은 수의 수직 균열이 관측되었다. 횡방향의 휨 균열은 단부에 균일하게 분포하였다. 실험체 별로 최종 파괴 양상은 콘크리트 단부 파괴와 주철근 좌굴로 실험체 변수에 따라 큰 차이는 없었으나, 단부 콘크리트 파괴과정에서 철근이음이 있는 실험체의 경우 실험이 진행되며 이음철근을 따라 수직균열이 크게 발생하고 이는 콘크리트 박리로 이어졌다.

3.2 이력거동 (hysteretic behavior)

Figs. 5와 6은 기둥 실험체의 하중 이력곡선을 나타내 있다. Fig. 5(a)와 (b)에는 OMRCF 내부 상하부 기둥실험체인 OIN, OIL과 Fig. 5(c)와 (d)에는 외부 상하부 실험체 OEN, OEL의 이력거동이 나타나 있다. 또한 Fig. 6에는 IMRCF 기둥 IIN, IIL, IEN, IEL의 이력거동이 나타나 있다. 모든 실험체는 0.3%까지 거의 탄성적인 거동을 하였다.

Fig. 5(a)와 (b)에 나타난 것처럼 OMRCF 내부기둥(OIN, OIL)에서는 기둥 단부의 철근이음의 유무에 따라 강도는 유사한 것으로 나타났으나, 변형능력은 철근이음이

있는 경우가 적은 것으로 나타났다. 하지만 IMRCF 내부기둥(IIN, IIL)의 경우(Fig. 6(a)와 (b)) 철근유무와 관계없이 강도나 변형능력이 크게 변하지 않는 것으로 나타났다. 강도는 OMRCF나 IMRCF 내부기둥모두 유사한 것으로 나타났으나, 변형능력 면에서 철근이음 유무와 관계없이 OMRCF 내부기둥이 IMRCF 내부기둥에 비하여 떨어지는 것으로 나타났다. 동일한 변위하중하에서 두 번째 사이클에서 첫 번째 사이클에 대한 강도의 감소는 모든 실험체가 유사한 것으로 관측되었으나 편칭현상은 OMRCF 실험체가 IMRCF 실험체에 비하여 더 현저하게 나타났다. 따라서 내부기둥실험체의 경우 단부의 횡보강근 양이 강도에는 큰 영향을 미치지 않지만 변형과 편칭현상에 큰 영향을 미치는 것을 알 수 있다. Fig. 7 (a)는 내부기둥 실험체들의 이력곡선에서 포락선(envelop curve)을 추출하여 나타낸 것으로 그 특징을 명확하게 비교할 수 있다. 또한 이포락선에 나타난 것처럼 파괴시까지의 에너지 소산 능력도 IMRCF 내부기둥 실험체가 OMRCF 기둥 실험체에 비하여 큰 것으로 나타났다.

Fig. 5(c)와 (d)에는 OMRCF 외부기둥(OEN,OEL)의 이력거동이 나타나 있고, Fig. 6(c)와(d)에는 IMRCF 외부기둥(IEN, IEL)의 이력거동이 나타나 있다. 이 Figs. 5와 6에서 정 가력 방향은 변동축력이 커지는 방향이다. 모멘트 상관곡선을 통하여 양방향에 대하여 강도를 계산한 결과 축력이 큰 경우 높은 모멘트 강도를 보유하는 것으로 나타났다(Table 2). 이는 실험에서도 확인되었다 (Fig. 5(c)와 (d), Fig. 6(c)와 (d)).

변동축력이 가해진 철근이음이 없는 외부기둥의 경우 OMRCF와 IMRCF 외부기둥(OEN, IEN)실험체들이 유사한 거동을 하는 것으로 나타났다. 철근이음이 있는 OEL과 IEL의 경우도, 거동을 비교하면 유사한 거동을 하는 것으로 나타났으나, 부가력시 OEL 이 IEL에 비하여 두 번째 사이클에서 강도감소가 다소 큰 것으로 나타났다. 그리고 철근이음이 있는 실험체와 이음이 없는 실험체의 거동을 비교하면 OMRCF와 IMRCF 기둥 모두 변형능력면에서 이음이 있는 경우 변형능력이 적은 것으로 나타났다.

Fig. 7 (b)는 외부기둥의 이력곡선에서 포락선(envelop)를 추출하여 그린 것이다. 포락선을 비교하면 OMRCF와 IMRCF의 외부기둥들의 거동차이는 내부기둥들의 거동차이와 비교하였을 때 그 크기가 적은 것으로 나타났다. 이는 횡하중 작용시 내부기둥이 외부기둥에 비하여 큰 슬래브 분담면적으로 중력하중이 크게 작용하고 있으므로 단부 횡보강근 간격이 중력하중이 큰 내부기둥에서 구속효과에 더 큰 영향을 미친다고 할 수 있다. 이 구속효과는 결국 변형능력의 차이를 발생시키는 것으로 판단할 수 있다. OMRCF 내부기둥에서는 철근이음의 변형능력을 저하시킨 반면 단부 횡보강근양이 많은 IMRCF 내부 기둥에서는 영향을 주지 않는 것으로 나타났다.

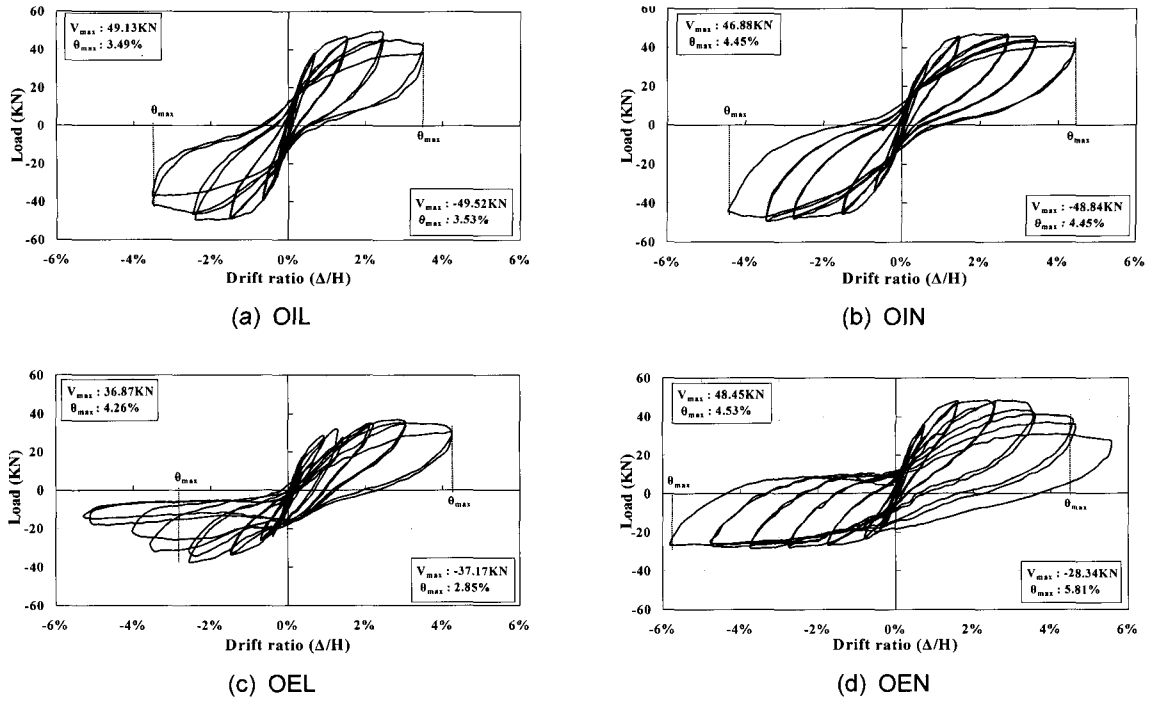


Fig. 5 Hysteretic curves for OMRFC columns

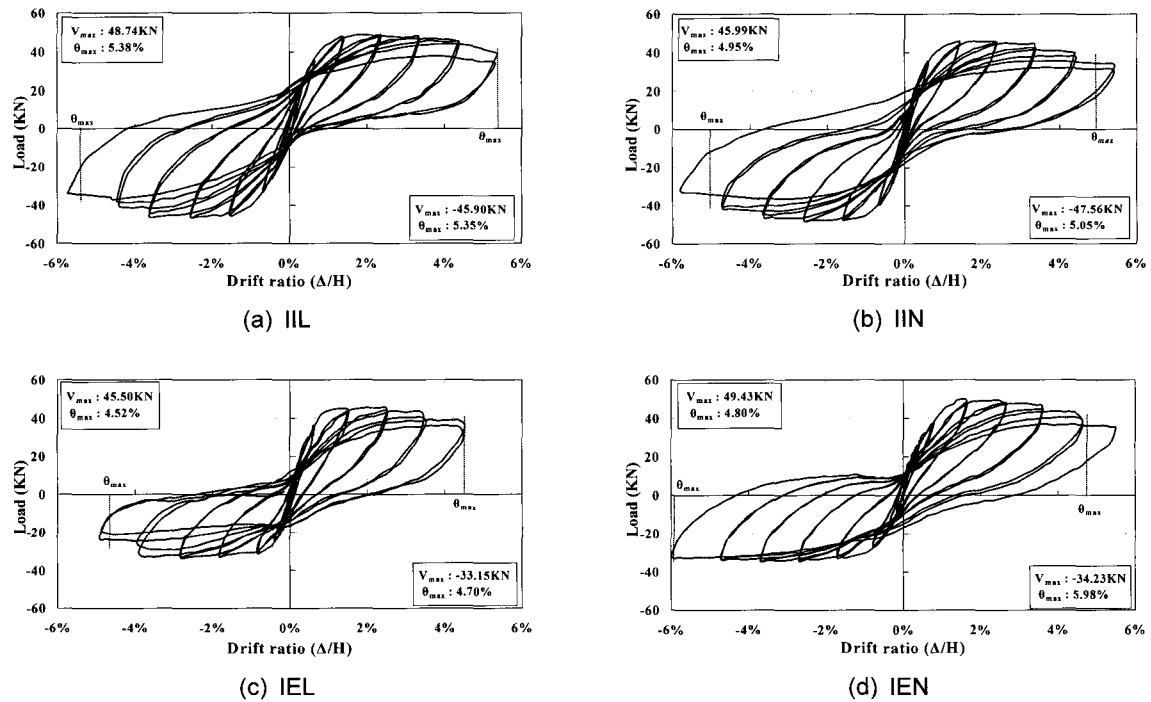
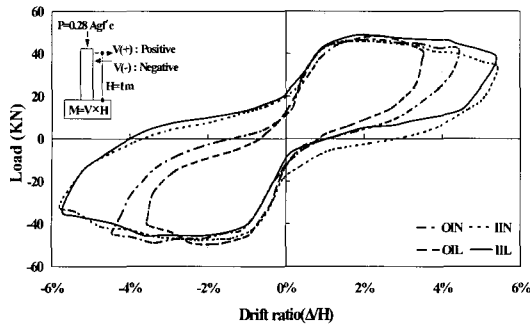
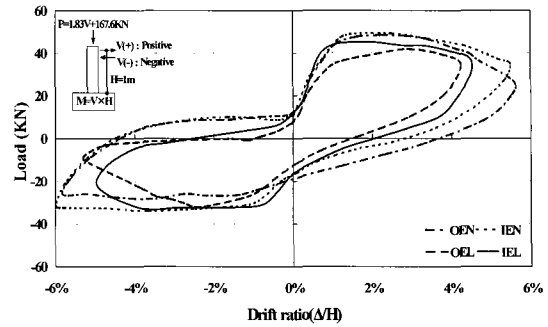


Fig. 6 Hysteretic curves for IMRCF columns



(a) Envelope curve of interior columns



(b) Envelope curve of exterior columns

Fig. 7 Envelope curve

3.3 최대강도

Table 2에는 실험에서 얻은 각 실험체별 모멘트 최대강도(M_{max})가 나타나 있다. 이 Table 2에는 각 실험체에 대하여 ACI 318(2002)에 따라 실험체에 적용된 축력과 재료실험에서 얻어진 재료 강도를 이용하여 구한 공칭모멘트강도 (M_{ACI})도 나타나 있다.

최대강도와 모멘트강도의 비는 Fig. 8에 나타내었다. ACI 318(2002)의해 설계 및 철근 상세조건을 만족하는 OMRCF와 IMRCF 기둥 실험체는 철근이음의 유무와 단부 횡보강철근 간격과 관계없이 모두 공칭강도 이상의 내력을 보유하고 있는 것으로 나타났다. 이 그림에 나타난 바와 같이 일정축력이 작용하는 내부 기둥 실험체들은 가력방향에 관계없이 유사한 강도비 (M_{max}/M_{ACI})를 나타낸 반면, 변동축력이 작용하는 경유 강도비의 변화(fluctuation)가 큰 것으로 나타났다.

3.4 변형능력

본 연구에서는 기둥 실험체의 변형 능력을 평가하기 위하여 최대변형각(θ_u)를 사용하였는데, 이는 횡하중 가력지점에서의 최대변위(Δ_{max})를 기둥높이 (h)로 나눈 값이다. 최대변위는 강도가 최대강도의 20% 감소할 때의 변위로 정의하였다. Table 2와 Fig. 9에는 실험을 통하여 얻은 최대변형각이 나타나 있다.

Table 2에 나타난 것처럼 OMRCF 기둥의 경우 3.5% 이상 IMRCF 기둥의 경우 4.5%이상의 변형 능력을 확보하고 있는 것으로 나타났다. 가장 큰 변위를 보유한 실험체는 IMRCF의 철근이음이 없는 외부기둥의 상부 실험체 (IEN)로 부가력 방향 (축력이 작어지는 방향)에서 약 6%의 변형능력을 보유하고 있는 것으로 나타났고, 가장 작은 변위는 OMRCF 내부기둥의 철근이 음이 있는 하부실험체(OIL)에서 3.49% 이었다. 고정축력이 작용하는 내부기둥의 경우

Table 2 Test results

Specimens V_{max}			(1)	M_{max} (2)	M_{ACI} (3)	$\frac{M_{max}}{M_{ACI}}$ (4)	θ_u (%) (5)
OMRCF	OIL	+	49.13	49.13	38.06	1.29	3.49
		-	-49.52	-49.52	-38.06	1.30	3.53
	OIN	+	46.88	46.88	38.06	1.23	4.45
		-	-48.84	-48.84	-38.06	1.28	4.45
	OEL	+	36.87	36.87	32.37	1.14	4.26
		-	-37.17	-37.17	-25.70	1.45	2.85
OEN	+	48.45	48.45	32.37	1.50	4.53	
	-	-28.34	-28.34	-25.70	1.10	5.81	
IMRCF	IIL	+	48.74	48.74	38.06	1.28	5.38
		-	-45.90	-45.90	-38.06	1.21	5.35
	IIN	+	45.99	45.99	38.06	1.21	4.95
		-	-47.56	-47.56	-38.06	1.25	5.05
	IEL	+	45.50	45.50	32.37	1.41	4.52
		-	-33.15	-33.15	-25.70	1.29	4.70
	IEN	+	49.43	49.43	32.37	1.53	4.80
		-	-39.54	-39.54	-25.70	1.54	5.98

(1) : maximum shear force (KN), (2) : maximum moment resistance of the specimen (KN · m)

(3) : the moment capacity calculated using ACI 318-99 procedures, (4) : the ratio of the maximum moment resistance (M_{max}) of the specimen to M_{ACI} , (5) : drift angle

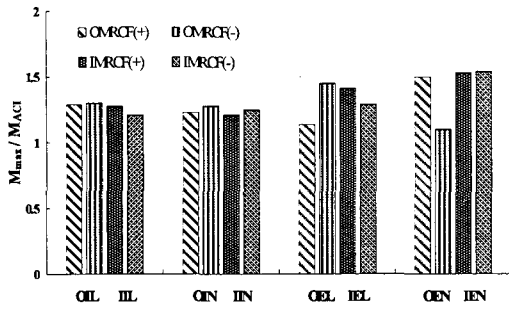


Fig. 8 Strength ratio

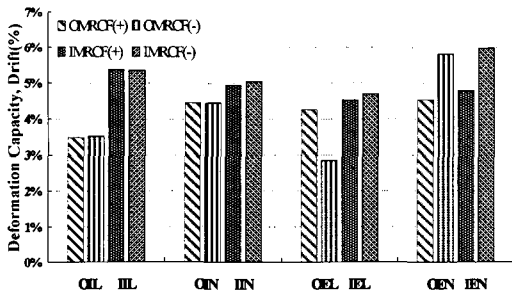


Fig. 9 Deformation capacities

(OIL, IIL, OIN, IIN) IMRCF 기둥이 OMRCF 기둥에 비하여 그 최대 변형각이 큰 것으로 나타났다. 철근이음 있는 IMRCF 기둥 실험체인 IIL이 철근이음 없는 OMRCF 기둥실험체인 OIN 보다 최대변형각이 큰 것으로 나타났다. 철근이음 없는 상부기둥 실험체 (OIN, IIN)에서는 최대 변형능력이 상대적으로 크지 않은 것으로 나타났다. 철근이음 있는 하부기둥 실험체 (OIL, IIL)에서는 OMRCF 기둥실험체가 IMRCF 기둥 실험체에 비하여 적은 변형능력을 가지고 있는 것으로 나타났고 이 차이는 OIN과 IIN의 차이보다도 더 큰 것이다. 특히 IMRCF에서는 철근이음의 유무에 관계없이 변형능력에는 큰 차이가 없는데 반하여 OMRCF에서는 철근이음 유무에 따라 변형능력이 차이가 나는 것으로 나타났다.

또한 OMRCF 내부기둥에서는 철근이음있는 OIL 실험체의 변형능력이 OIN 실험체보다 적은 것으로 나타나 단부 횡보강근 간격이 넓은 OMRCF 내부기둥에서 철근이음의 유무가 변형능력에 영향을 주는 것을 알 수 있었다. 변동축력이 작용하는 외부실험체의 철근이음 없는 상부기둥 실험체 (OEN, IEN)가 철근이음 있는 하부기둥 실험체 (OEL, IEL)에 비하여 큰 변형능력을 가지고 있다. 하지만 OEL과 IEL, OEN과 IEN의 비교하면 OMRCF 기둥실험체와 IMRCF 기둥실험체의 변형능력은 큰 차이가 없는 것으로 나타났다.

따라서 외부기둥의 경우 변형능력면에서는 횡보강근 역할이 내부 기둥에서처럼 크지 않은 것으로 나타났고, 이에 반하여 철근이음의 유무는 OMRCF와 IMRCF 외부기둥의 변형능력에 큰 영향을 미치는 것으로 나타났다.

4. 결 론

본 연구에서는 OMRCF와 IMRCF 기둥의 구조 성능을 비교·평가하기 위하여 현행기준 ACI 318¹⁾의 최소요구조건에 맞게 각각의 기둥 실험체를 설계, 제작하여 실험하였다. 본 연구를 통하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) ACI 318(2002) 기준에 따라 설계한 OMRCF와 IMRCF의 모든 실험체는 공칭 설계강도를 상회하는 최대강도를 발휘하였다. 따라서, OMRCF와 IMRCF 기둥은 본 연구의 변수인 철근이음, 고정 및 변동 축력, 단부 횡보강철근 간격과 상관 없이 기준에서 요구하는 강도를 보유하는 것으로 평가되었다.
- 2) OMRCF 내부기둥 (OIN, OIL)에서는 철근이음의 유무에 따라 강도는 크게 변하지 않지만 변형능력은 철근이음 있는 경우가 작은 것으로 나타났다. 하지만 IMRCF 내부기둥 (IIN, IIL)의 경우 철근이음 유무와 관계없이 강도나 변형능력이 크게 변하지 않는 것으로 나타났다. 또한 IMRCF 내부기둥이 OMRCF 내부기둥에 비하여 그 변형능력이 커진 것으로 나타났다. 이는 IMRCF 내부기둥의 경우 횡보강철근 간격의 강화가 그 성능을 향상시킨 것이라 할 수 있고, 소성현저 영역에서 철근이음 있는 부분에 좁은 횡보강근 간격으로 인한 보강효과를 발휘하는 것으로 나타났다.
- 3) 변동축력이 가해진 OMRCF와 IMRCF 외부기둥의 경우 서로 유사한 거동을 하는 것으로 나타났다. 하지만 철근이음 있는 OEL과 IEL의 경우도 각각에 대응하는 철근이음 없는 실험체 (OIN, IEN)에 비하여 사이클별 큰 강도감소와 적은 변형능력으로 인하여 저조한 이력특성이 나타났다. 하지만 OMRCF와 IMRCF의 상대 외부기둥 실험체간의 거동차이는 내부기둥간의 거동차이에 비하여 적은 것으로 나타났다. 이는 내부기둥이 외부기둥에 비하여 횡하중 작용시 더 큰 중력하중을 받고 있다는 점을 고려하면, 단부 횡보강근 간격이 중력하중이 적은 외부기둥에서 적은 영향을 준 것으로 판단할 수 있다.
- 4) 전체적으로 내부기둥의 경우 IMRCF가 OMRCF에 비하여 변형성능 면에서 우수한 성능을 보였다. 외부기둥의 경우 IMRCF기둥의 단부보강으로 인한 변형능력의 향상의 매우 적었다. 또한 본 연구의 휨지배를 받는 실험체들의 경우 OMRCF 기둥과 IMRCF 기둥은 각각 최소 3.5%와 4.5% 이상의 변형능력을 가지고 있는 것으로 나타났다.

참고문헌

1. American Concrete Institute (ACI), "Building Code and Commentary ACI 318-02," ACI, Detroit, Michigan, 2002.
2. Portland Cement Association (PCA), "Notes on ACI 318-02 Building Code Requirements for Structural Concrete," PCA, Skokie, Illinois, 1999, 2002.
3. Han, S. W., Kwon, O. S., Lee, L.H., and Foutch, D. A., "Seismic Performance Evaluation of Ordinary Moment Resisting Concrete Frames," SRS No.633, UILU-ENG-2001-2004, ISSN 0422-1744, July, 2002,
4. Han, S. W., Kwon, O. S., Lee, L.H., "Evaluation of the seismic performance of a three-story ordinary moment resisting concrete frame," *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, Vol.33, Wiley and Sons, 2004, p. 669~685
5. Computers and Structures Inc. (CSI), "SAP 2000," Computers and Structures Inc., Berkeley, California, 1996.
6. 한국콘크리트학회, "콘크리트구조설계기준", 한국콘크리트학회, 1999.
7. 대한건축학회, "건축물 하중기준 및 해설", 대한건축학회, 2000.

요 약

모멘트골조는 건물 골조로 많이 사용되어 왔다. 현행 설계기준에서는 콘크리트모멘트 골조를 보통, 중간 특수 모멘트저항 콘크리트 골조 (OMRCF, IMRCF, SMRCF)로 분류하고 있다. 본 연구의 목적은 OMRCF와 IMRCF 기둥의 내진성능을 비교 평가하는 것이다. 이 목적을 위하여 3층 사무소 용도의 OMRCF와 IMRCF를 ACI 318 (2002)와 KCI (1999)을 따라 설계하였다. 이 연구에서 건물들은 모두 UBC (1997)에서 분류한 지진지역 1에 위치하는 것으로 가정하였다.

이 연구에서는 1층의 기둥을 고려하였는데 이는 1층이 지진 발생시 가장 큰 횡력과 축력을 부담하기 때문이다. 8개의 2/3 축소모델 실험체를 제작하였다. 각 실험체는 각각 OMRCF 와 IMRCF 내부와 외부의 기둥 상부 하부를 모델링한 것이다. 유사정적가력을 하였고 축력은 외부기둥실험체에는 변동축력을 내부기둥실험체에는 고정축력을 가력하였다. 본 연구결과에 따르면 겹침이음여부, 축력의크기, 기둥단부의 횡보강근은 기둥의 내진거동에 영향을 주는 것으로 나타났다. 하지만 이러한 변수들은 서로 관련되어 있는 것으로 나타났다.

핵심용어 : 내진거동, 설계, 상세, 기둥, 철근
