

철근콘크리트 보통모멘트 골조의 슬래브-보-기둥 부재의 구조성능 평가

Structural Performance Evaluation of Slab-Beam-Column Subassembly in R/C Ordinary Moment Frame Building

유혁상^{*} 한상환^{**} 이리형^{***}
Yu, Hyuk Sang Han, Sang Whan Lee, Li Hyung

ABSTRACT

The purpose of this study is to investigate the performance of slab-beam-column subassembly in the Ordinary Moment Frame (OMF). For this purpose, 3-story building was designed according to UBC and ACI building code (ACI 318-99) and the subassemblies of in the first story were constructed.

The subassemblies were classified into interior and exterior. Each interior and exterior subassembly is modeled by the 2/3 scale experimental specimens. All the specimens have the transverse beam and the columns on the slab have the lap splice as the typical exterior and interior slab-beam-column subassembly.

The interior subassembly was tested under the constant axial force, while the exterior subassembly was tested under the fluctuating axial force.

Based on the results of the experiments, the performance of each subassembly is evaluated and the failure mode is investigated.

1. 서론

1.1 연구배경

철근콘크리트 건물에 대한 현재의 내진설계기준들은 구조부재의 비탄성거동에 기반을 두고 있다. 건물에 작용하는 지진에너지에 저항하며 이를 소산시키는 부재의 변형능력이 증진되도록 철근을 배근함으로써 요구강도를 저감시켜 건물의 설계에 사용하고 있다.

그러나, 우리나라의 경우 중·약진 지역에 속해 있어서 대부분의 건물들이 내진 설계기준의 적용을 받지 않고 설계되고 있으며, 중력하중만을 고려하여 설계를 하고 있다. 중력하중에 의해 설계된 건물들은 설계기준의 최소 휨설계요구 조건에 의해 지진에 대해 어느정도 저항능력을 보유하고는 있으나, 이에 대한 실험적 평가가 필요하다.

* 정회원, 한양대학교 대학원 석사과정
** 정회원, 한양대학교 건축공학부 조교수, 공학박사
*** 정회원, 한양대학교 건축공학부 교수, 공학박사

1.2 연구내용 및 목적

강진지역에 대한 모멘트 골조 설계시 강한기둥-약한보(strong column-weak beam)를 이루기 위해 강제적으로 보와 기둥의 강도 비를 조절하여 소성힌지(plastic hinge)가 보에서 발생하도록 ACI 318-99에서 규정하고 있다. 이에 비해, 강진지역을 제외한 중·약진 지역에 대해서는 연성능력을 향상시키기 위해 철근상세와 설계용 밀면 전단력의 크기만을 규정하고 있다. 따라서, 중·약진 지역 건물에 있어서 소성힌지의 발생은 지진력 발생시 강성이 상대적으로 적은 기둥부재에서 발생할 가능성이 높다. 이러한 모멘트 골조의 파괴 형태로는 취성적인 기둥붕괴형(Column sidesway failure mechanism), 복합적 붕괴형(Hybrid failure mechanism), 그리고 연성적인 보붕괴형(Beam sidesway failure mechanism)이 있다.

모멘트 골조는 휨, 전단, 압축력에 저항할 수 있는 부재와 접합부로 이루어진 골조로서 보통 모멘트 골조(OMF : Ordinary Moment Frame)의 경우 ACI 318-99의 1-18장의 요구사항을 적용하는 골조로 정의된다.

본 연구에서는 중·약진지역에 대해 요구되는 보통 모멘트 골조에 대해 ACI 318-99에 명시된 설계법에 의거하여 대상건물을 설계하고, 1층의 내외부 접합부에 대한 실험을 통해 구조성능을 평가하고자 한다.

2. 실험체 계획

2.1 대상건물 선정

본 연구에서는 ACI-318 에 의해 배근된 RC 슬래브-보-기둥 접합부에 대한 구조적인 성능을 평가하기 위해 연구대상 건물을 전형적인 3층의 사무실 건물을 대상으로 하였다. 대상건물에 대한 개요는 그림 1과 같다.

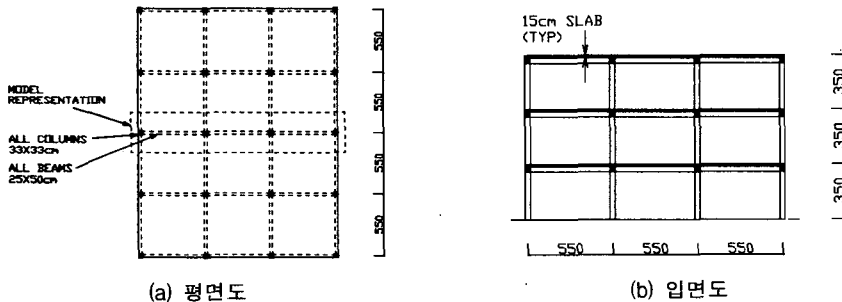


그림 1 대상건물

2.2 대상 실험체 설계 (ACI 318-99)

대상 실험체는 일반적으로 약한 기둥-강한 보(weak column-strong beam) 시스템에서 발생하는 복합적 파괴 형태(hybrid sideway)를 규명하기 위해 1층의 내·외부 접합부를 선택하였다. 계획된 접합부 실험체는 주방향보(longitudinal beam), 횡방향보(transverse beam), 상·하부 기둥과 슬래브로 구성되었다.

슬래브는 계수하중을 산정한후, 기준의 13.6 장에서 언급된 직접설계법을 이용하여 설계하였으며, 그결과 모든 철근의 배근은 최소철근의 규정을 따르게 되었다. 보에 작용하는 휨모멘트는 단부와 중앙부에 대해 기준의 8.9장에 따라 적재하중을 분배시켜 탄성해석을 통해 얻어진 모멘트와 8.3장에서 제시된 계수 모멘트법(moment coefficient method)을 이용하여 얻어진 모멘트 중 최대값으로 산정하였으며, 이에 따라 보의 주철근을 설계하였다. 보에 작용하는 전단력은 계산 결과 무근 콘크리트의 전단강도가 설계용 전단강도 이상을 확보하였기 때문에 11.5장에 의해 최소 전단 보강근을 배근하였다. 기둥은 단면에 배근될 주철근을 탄성해석결과에 의해 배근한 결과 최소 철근비

1%에 근접하게 되었고, 수직 띠철근은 7.10장에 의해 배근간격을 결정하였으며, 실험체의 상부기둥은 슬래브 상부에서 이음을 실시하였다. 접합부는 내부 실험체의 경우 전단 보강근을 배근하지 않았으나, 외부 실험체의 경우 11.5장에 의해 최소 전단 보강근을 배근하였다. ACI 318-99에 규정하는 보통 모멘트 골조의 각 부재에 대한 철근의 상세는 그림 2와 같다.

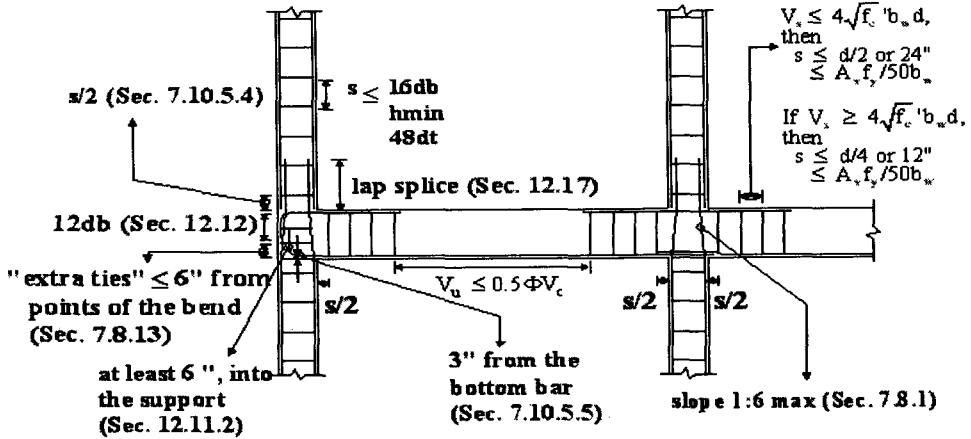


그림 2 규준에 의해 보통 모멘트 골조의 배근 지침

2.3 실험체 선정 및 배근 상세

중력 및 횡력이 고려된 내·외부 접합부 실험체는 대상 건물에 대해 2/3 축소되었으며, 변곡점의 위치인 층간 높이의 1/2 지점과 스팬의 중앙부를 기준으로 구획하여 제작하였다. 내·외부 실험체에 대한 실험체 일람 및 대상 실험체 구획을 표 1과 그림 3에 나타내었다.

각 실험체의 기둥 단면은 22cm×22cm로 하였으며, 4-HD13 철근으로 주근을 배근하였고, 상부기둥의 경우 기둥이음을 실시하여 제작하였다. 보는 16cm×32cm 단면으로 하였고, 기둥과 만나는 부위인 보단부의 상부는 내부 접합부 부재(OSUB2)의 경우는 3-HD13 철근으로, 보단부의 하부는 2-HD13 철근으로 주근을 배근하였으며, 외부 접합부 부재(OSUB1)의 경우는 상하부근 모두를 2-HD13 철근으로 주근을 배근하였다. 보 단부의 하부근은 접합부 부분에서 횡력에 의한 모멘트의 역전을 고려하여 인장에 대한 철근이음을 고려하였다. 각 실험체의 배근상세는 표 2와 그림 4에 나타내었다.

표 1 실험체 일람

배근기준 (ACI 318)	위치	실험체명	축력 계획	Longitudinal Beam
OMF	외부	OSUB1	변동축력	1개
	내부	OSUB2	일정축력	2개

표 2 실험체 계획

실험체	구성요소	단면크기	철근	
			상부	하부
OSUB1	보	16×32	HD 13-2EA	HD 13-2EA
	기둥	22×22	HD 13-4EA	
	슬래브	192×112	#4(10×10) 용접철망 2단배근	
OSUB2	보	16×32	상부 HD 13-3EA	하부 HD 13-2EA
	기둥 및 슬래브는 OSUB1과 동일함			

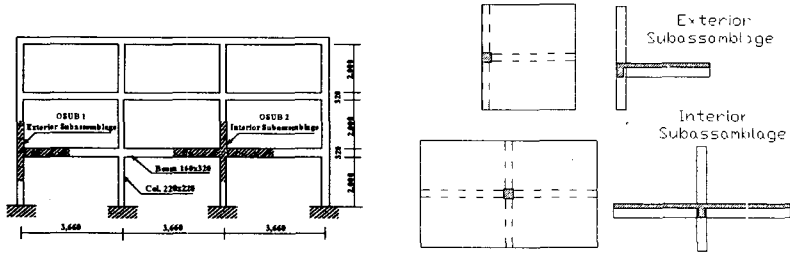
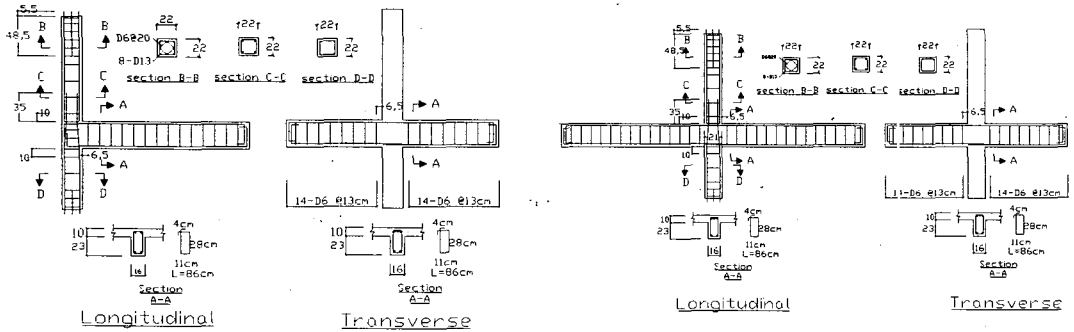


그림 3 대상 실험체 구획



(b) OSUB1 (Exterior Subassamblage)

(a) OSUB2 (Interior Subassamblage)

그림 4 실험체 배근상세

3. 가력계획 및 측정계획

내·외부 접합부 실험체 모두 슬래브에서 100cm 위치인 상부기둥에서 가력되었으며, 하부 기둥은 힌지로 처리하였다. 내부접합부 부재(OSUB2)는 일정한 중력하중 즉 $P(\text{constant axial force})=24\text{tonf}$ 를 작용하고 외부접합부 부재(OSUB1)는 횡하중에 의해 골조의 외부기둥에서 발생하는 변동 축력 (fluctuating level of axial force)을 고려하여 $P(\text{axial force})=1.32V(\text{lateral force})+10.3\text{tonf}$ 가 되도록 계획되었다. 또한, 모든 실험체는 실제 바닥판 하중을 재현하기 위해 미리 제작된 콘크리트 블록을 슬래브위에 상재 시킨후 실험하였다. 가력은 동일 변위에 대해 2회씩 반복 가력하였으며 변위 이력은 그림 5와 같다. 가력시 정가력의 하중과 변위를 (+)로 설정하고 부가력의 하중과 변위를 (-)로 설정하였다. 상·하부 기둥 및 주방향보(longitudinal)에 각각 2쌍의 LVDT를 설치하여 각 구성요소들의 곡률 및 휨변위를 측정하였다. 실험체의 가력상황을 그림 6에 나타내었다.

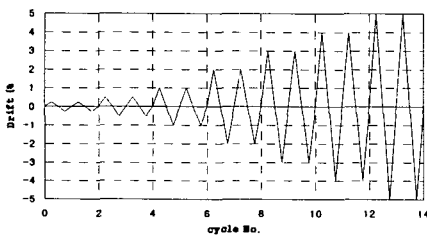


그림 5 실험체에 적용된 변위이력

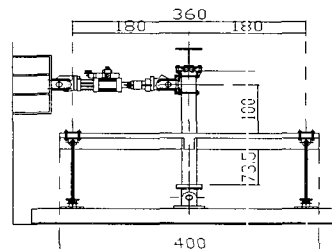


그림 6 실험체 가력상황도

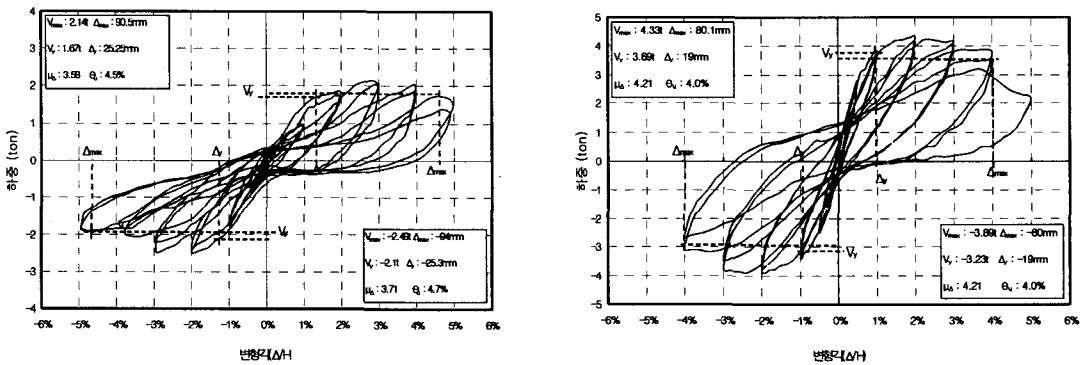
4. 실험결과 및 분석

4.1 균열 및 파괴상황

실험체의 초기 휨균열은 모든 실험체가 변형각 5%에서 발생하였으며, 내부접합부 부재(OSUB2)는 상부기둥에서 외부접합부 부재(OSUB1)는 보에서 처음 관측되었다. 외부접합부 부재(OSUB1)의 경우는 변위각이 증가함에 따라 정가력시에는 균열이 길이방향보(longitudinal beam)하부에 넓게 분포하면서 발생하였으며, 부가력시에는 상·하부 기둥에 휨균열이 발생하였고, 변형각 2%부터는 횡방향보(transverse beam)와 슬래브 사이에 균열이 발생하였다. 내부접합부 부재(OSUB2)의 경우는 균열이 OSUB1과 달리 상·하부 기둥에서 발생하였고, 변형각 2%부터는 횡방향보(transverse beam)와 슬래브가 만나는 부위에서 균열이 발생하였으며, 힘의 방향이 바뀔때 따라 상·하부에서 관측되었다. 최종 파괴시 하부기둥과 접합면에서 콘크리트가 발생하였으며, 상부기둥의 경우 하부기둥과 반대위치에서 콘크리트의 압괴로 인한 탈락이 관측되었으며, 보하부에는 상당히 미세한 균열만 관측되었다.

4.2 하중-변형 곡선

실험체에 작용한 하중과 변위의 관계를 하중-변형각(%)의 형식으로 그림 7에 나타내었다. 모든 실험체는 변형각(drift) 2%에서 최대내력을 나타내었으며, 최대내력 이후 최대변위 까지 급격한 내력저하 없이 연성적인 거동을 보였다. 정·부가력시 발생한 최대내력에 있어서 실험체 OSUB1은 부가력시 최대 내력이 발생하였으며, 실험체 OSUB2 보다 50~60% 감소된 내력을 보였다. 또한, 표 3에서는 최대내력의 80%에 해당하는 강도에서 평가한 최대변위⁶⁾와 최대내력의 75%에서 평가된 활선강성(secant stiffness)에 의한 항복변위를 통해 구한 변위 연성비⁶⁾(displacement ductility ratio)와 변형각(drift)을 보여준다. 모든 실험체는 변위연성비 3이상의 양호한 연성능력을 가진 것으로 나타났으며, 실험체 OSUB1은 실험체 OSUB2보다 최대변형율은 크게 나타났으나, 변위연성비는 더 작게 나타났다.



(a) OSUB1 (Exterior Subassembly)

(b) OSUB2 (Interior Subassembly)

그림 7 하중-변위각 (Load- Drift) 곡선

표 3. 실험체의 변형능력 지표

실험체명		항복하중 V_y (tonf)	최대하중 V_{max} (tonf)	항복변위 Δ_y (mm)	최대변위 Δ_{max} (mm)	변위연성비 μ_d	최대변위각 θ_u (%)
OSUB1	+(정가력)	1.67	2.14	25.25	90.5	3.58	4.5
	-(부가력)	-2.1	-2.49	-25.3	-94	3.71	4.7
OSUB2	+(정가력)	3.69	4.33	19	80.1	4.21	4.0
	-(부가력)	-3.23	-3.89	-19	-80	4.08	4.0

5. 결론

보통 모멘트 골조(OMF)의 보-기둥-슬래브 부재 실험체에 대한 실험결과를 통해 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- 1) 최대하중의 80%를 최대변위로 평가한 변형능력에서 내·외부 접합부 실험체 모두 3.5%이상의 변형 능력을 보여주었다.
- 2) 변위 연성비에 대해 외부접합부 부재(OSUB1)는 3.58, 내부접합부 부재(OSUB2)는 4.08의 결과를 보여 보통 모멘트 골조의 접합부의 연성능력은 3이상으로 하는 것이 타당한 것으로 판단된다.
- 3) 에너지소산능력의 평가에서 외부접합부 부재(OSUB1)의 수준이 내부접합부 부재(OSUB2)의 52% 수준으로 외부 접합부의 경우 에너지 소산 능력이 떨어짐을 알수 있었다.
- 4) 각 부재의 구성요소의 소성변형은 내부접합부 부재(OSUB2)이 경우, 기둥에 의해 지배된 반면, 외부접합부 부재(OSUB1)의 경우는 보에 의해 지배되었다. 따라서, 보통 모멘트골조(OMF) 건물의 전체적 파괴 거동은 복합적인 보기둥 붕괴(Hybrid Failure Mechanism)인 취성적 파괴를 보일것으로 예상된다.

참고 문헌

- 1) ICBO, Uniform Building Code, International Conference on Building Officials, Whittier, California, 1988, 1994, 1997
- 2) Bracci, J.M., Reinhorn, A.M., and Mander, J.B., "Seismic Resistance of Reinforced Concrete Frame Structures Designed only for Gravity Loads: Part I - Design and Properties of a One-Third Scale Model Structure.", Technical Report NCEER-92-0027, 1992.
- 3) Aycardi, L.E., Mander, J.B., and Reinhorn, A.M., "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/Buffalo, 1992.
- 4) Bracci, J.M., Reinhorn, A.M., and Mander, J.B., "Seismic Resistance of Reinforced Concrete Frame Structures Designed only for Gravity Loads : Part III - Experimental Performance and Analytical Study of Structural Model", Technical Report NCEER-92-0027, 1992.
- 5) ACI Committee 318, Building code requirements for reinforced concrete, ACI, 1999.
- 6) T.paulay, M.J.N Priestley, "Seismic Design of Reinforced Concrete and Masonry Buildings", A Wiley Interscience Publication, 1991
- 7) 극한강도설계법에 의한 철근콘크리트 구조설계기준 및 해설, 건설교통부, 1990