

비내진 상세를 가진 저층 R·C조의 외부접합부 거동

Exterior Joint Behavior of Low-Rise Reinforced Concrete Frame with Non-Seismic Detail

김 영 문 * 기 찬 호 ** 장 준 호 ***
Kim, Young Moon Kee, Chan Ho Chang, Joon Ho
이 세 응 **** 김 상 대 *****
Lee, Se Woong Kim, Sang Dae

ABSTRACT

In this paper, elastic and inelastic behavior of exterior joint of moment-resisting R·C frame with non-seismic detail subjected to reversed cyclic lateral load such as earthquake excitations was investigated. 1/2-scale subassemblage exterior beam-column joint including slab was manufactured based on similitude law. Then, pseudo static test under the displacement control was performed. The results of 1)crack pattern and failure mode, 2)degradation stiffness and strength, energy dissipation capacity from load-displacement hysteresis curve, 3)strain of steel were analysed.

Key Words : exterior joint, non-seismic detail, pseudo static, stiffness, strength, energy dissipation, hysteresis curve.

1. 서론

지진 발생시 보·기둥(슬래브 포함) 접합부는 반복하중(Cyclic Loading)을 받기 때문에 접합부가 내진설계가 되어있지 않다면, 특히 모멘트 연성골조(Ductile Moment-Resisting R·C Frame)의 경우 접합부의 거동이 구조물 전체의 응답에 미치는 효과는 매우 크므로 중요하게 다루어야 한다. 그런데 우리나라에서는 1988년 이후부터 본격적으로 건축물의 내진설계기준이 마련되면서 내진설계가 시행되어 오고 있는 실정이며, 본 실험연구에서는 현존하는 모멘트 연성골조의 전형적인 저층 R·C조 건축물을 선정한 후 유사정적(Pseudo Static) 실험을 통해 슬래브를 포함한 보-기둥 접합부의 거동을 알아봄으로써 우리나라에서 내진설계가 시행되기 이전에 중력하중만에 의해 설계된 저층 R·C 건축물 접합부에 대한 내진성능 평가방안을 마련하는데 그 목적을 두고 있다.

* 정희원, 전북대학교 건축공학과, 교수

** 전북대학교 건축공학과, 석사과정

*** 정희원, 서남대학교 건축공학과, 조교수

**** 정희원, 쌍용건설 기술연구소, 구조기술사

***** 정희원, 고려대학교 건축공학과, 부교수

2. 시험체 계획 및 제작

2.1 시험체 계획

본 외부접합부 상세성능 실험의 시험체는 그림 1에 나타나 있는 바와 같이 내진설계가 고려되지 않은 현존하는 경찰서 청사로서 경찰서 청사 표준설계도(건설부공고 제17호 1987년 2월 28일 작성도면)를 대상으로 시험체는 R·C조 1층과 2층 사이에 위치한 슬래브를 포함한 보-기둥 외부접합부를 실험 크기의 1/2로 상사법칙에 따라 제작하였으며, 시험체 배근도는 그림 1에 나타나 있다.

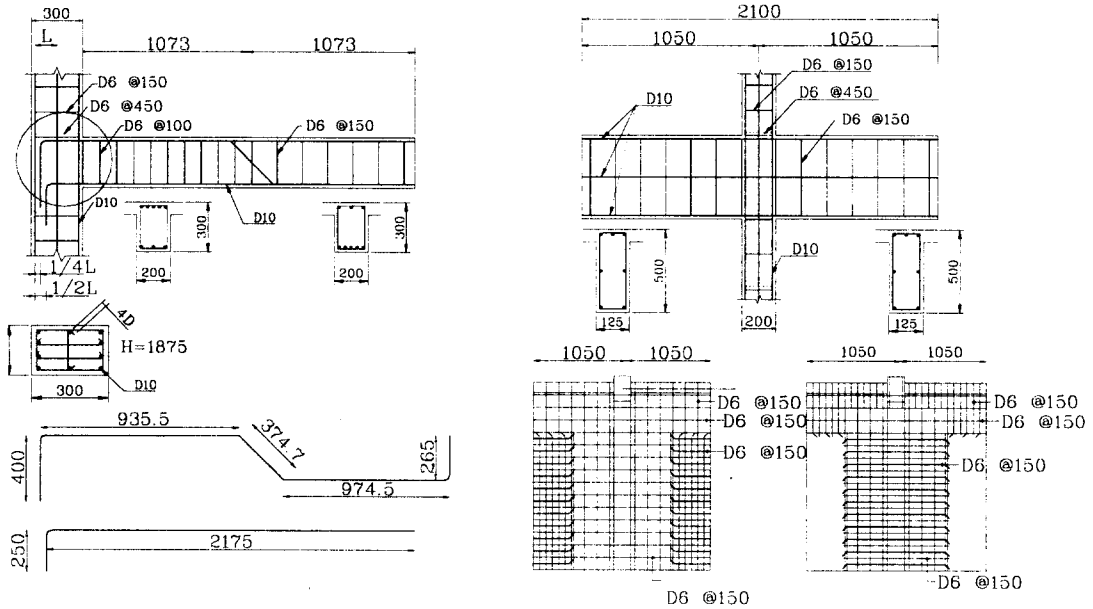


그림 1. 시험체 배근도

2.2 시험체 제작

시험체는 기존 건축물이 건설될 당시를 고려하여 설계기준 강도는 $210(\text{kg}/\text{cm}^2)$, 굽은 골재 최대지름은 상사법칙에 근거하여 13mm, 슬럼프는 12cm로 하였다. 콘크리트 타설시 KSF 2402에 따른 슬럼프 측정을 실시하고, 실험체의 강도측정을 위해 10개의 공시체를 $\phi 10 \times 20\text{cm}$ 크기의 실린더 몰드로 제작하였고, 24시간 대기양생 후 탈형하여 28일간 수중양생하였다. 주근에는 D10을, 전단·횡보강근에는 D6을 사용하였으며, 콘크리트 압축강도와 철근의 인장강도 테스트 결과는 각각 표 1과 표 2에 나타나 있다.

표 1 콘크리트 압축강도

압축강도(kg/cm ²)		높이(cm)	단면적(cm ²)	슬럼프(cm)
7일	28일			
215.4	286.6	20	78.5	12

표 2 철근 인장강도

종 류	항복응력(kg/cm ²)	최대응력(kg/cm ²)	신장률(%)
D6	4,986	5,857	8.4
D10	3,275	4,934	27

3. 실험장치 및 실험방법

3.1 실험장치

시험체에 가하는 기둥의 축하중은 30t 용량의 오일잭으로 가력하면서 크기를 load cell로 체크하였으며, 시험체의 가력은 ±100kN 용량의 유압식 actuator를 사용하였다. 최종설치 상황은 사진 1에 나타나 있으며, 시험체 주요부위에 대한 변형상태와 피해정도를 파악하기 위해 20개의 Wire Strain Gauge를 철근에 부착하여 변형도를 측정하였으며, base frame으로부터 힌지의 밀림과 시험체의 중간 높이에서의 변위를 측정하기 위해 5개의 dial gauge와 1개의 LVDT를 사용하였다

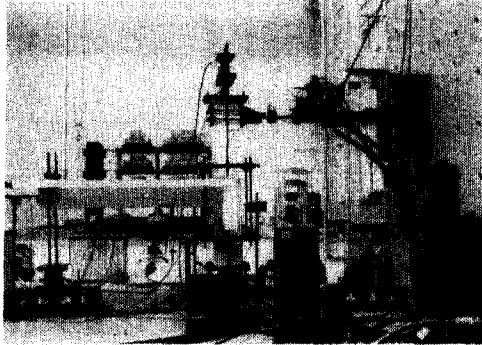


사진 1 시험체 설치

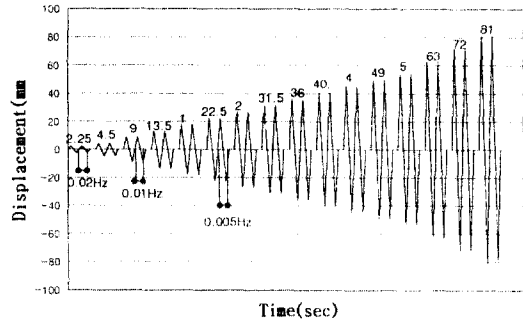


그림 2 Test Program

3.2 실험방법 및 데이터 취득·측정방법

상사법칙에 의거하여 축소율에 따라 기둥의 7.39ton인 축하중을 실험종료시까지 일정하게 유지하면서 재하하였고, 횡방향 가력은 그림 2에 나타난 바와 같이 변위제어방식으로 step당 초기항복변위(Δy)인 ±4.5mm(DRAIN 2D로 해석한 결과)씩 증가시켜 한 step당 2사이클(cycle)씩 가력하였는데, step당 약 5분정도의 균열 체크시간이 소요되었고, 초기 2step은 탄성범위내에서 가력하였으며 최종 16step(81mm)까지 수행하였다.

4. 실험결과 및 분석

4.1 시험체 균열 및 파괴상황

시험체의 최종 변위단계에서의 균열상황은 사진 2와 사진 3에 나타나 있으며, 각 부위별 균열 및 손상의 진행과정은 아래와 같다.

횡방향 변위 13.5mm에서는 길이방향 보와 교차보, 기둥의 접합면에서 초기균열이 발생했으며, 22.5mm 단계에서는 기둥의 중앙과 하부에서 균열이 발생하여 진전되었고, 슬래브의 윗면은 교차 쪽으로 경사진 균열이, 밑면은 교차 보와 평행한 방향으로 균열이 발생하였으며, 27mm 단계에서 기둥은 보와 슬래브 접합면에서 균열이 발생하였다.

변위가 증가할수록 기둥은 슬래브면에 대해 수직으로 다수의 균열발생과 폭, 길이가 진전되었으며, 길이방향 보는 접합부 주위의 균열증가와 진단 보강근이 배근된 위치에서 휨균열이 발생하여 진전되었고, 교차 보는 주로 상부와 하부의 접합면에서 균열이 심화되었고, 슬래브에서는 눈에 띄는 균열은

발견되지 않았다.

63mm 단계에서는 기둥 상부와 슬래브가 만나는 면과 교차 보의 상부 접합면에서 피복 콘크리트가 박리되어 철근이 노출되었으며, 길이방향 보의 옆면과 기둥이 만나는 면에서 피복 콘크리트의 박리되는 현상이 나타났다. 72mm 단계에서는 기둥과 길이방향 보의 밑면 접합면과 교차 보 윗면에서 피복 콘크리트의 박리가 발생했고, 기둥 수직균열 폭의 심화현상이 관찰되었다.

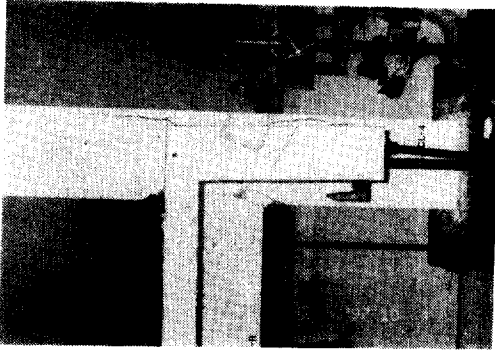


사진 2 최종 변위단계에서의 균열상황



사진 3 최종 변위단계에서의 균열상황

4.2 하중-변위곡선

시험체에 대한 하중-변위 이력곡선은 그림 3에 나타나 있으며, 이 곡선으로부터 강성, 강도와 에너지 소산량에 대해서 고찰해 보았다.

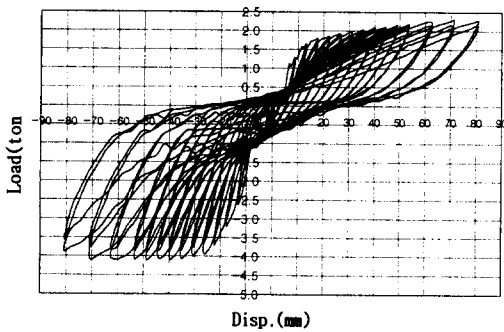


그림 3 하중-변위 이력곡선

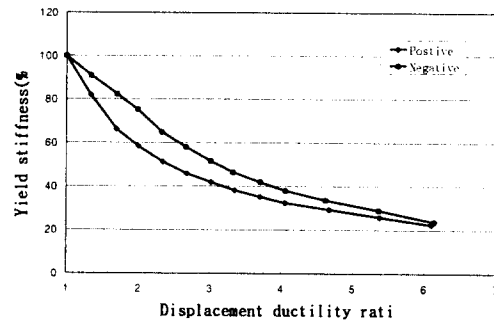


그림 4 변위연성비와 강성과의 관계

4.2.1 강성 및 강도의 비교

실험체의 하중-변위 이력곡선에서 각 cycle마다 최대강도와 최대변위로부터 이력곡선으로부터 강성을 계산하고, 변위연성비와 강성에 대한 관계는 그림 4에, 변위연성비와 강도의 관계는 그림 5에 나타나 있다. 그림 4에서 보는 바와 같이 시험체가 초기항복을 지나면서 접합부에서의 균열과 철근의 항복현상으로 인해 변위연성비 2에서 인장측은 40%, 압축측은 25%정도 저하된 강성을 보이고 있으며,

그림 5에서 최대강도는 인장측과 압축측에서 변위연성비 5를 지나서도 상승되는 경향을 보이며, 마지막 단계에서 약간 하락하는 곡선의 형태를 취하고 있다.

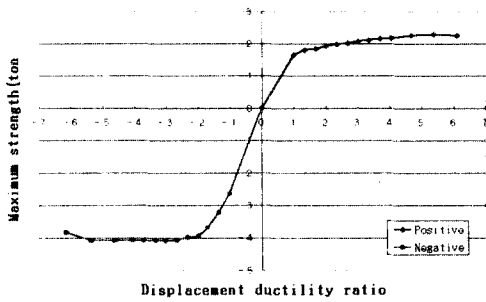


그림 5 변위연성비와 강도와의 관계

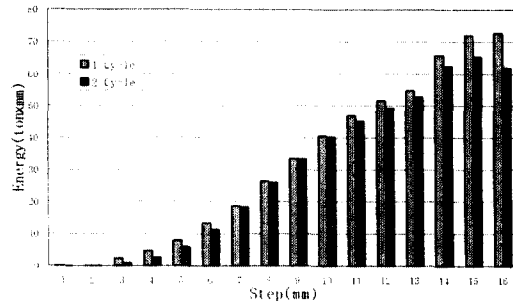


그림 6 에너지 소산량

4.2.2 에너지 소산량

에너지 소산능력에 대한 평가를 위해 시험체의 하중-변위 이력곡선 상의 인장측 면적으로부터 계산한 에너지 소산량은 그림 6에 나타나 있다. 이 그림으로부터 4Step까지는 탄성거동을 나타냄으로써 에너지 소산량이 적은 반면, 그 이후부터 전차적으로 에너지 소산량이 증가하였으며, 대체로 첫째 사이클의 에너지 소산량이 둘째 사이클보다 13.7%정도 크게 나타났음을 알 수 있었다.

4.5 철근 변형률

Wire Strain Gauge의 부착위치는 그림 7에 나타나 있다.

철근의 항복시기는 주근의 항복 변형률은 $f_y/E_s \cong 3000 \text{ (kg/cm}^2\text{)}/2100000 \text{ (kg/cm}^2\text{)} \cong 0.0014$ 로, 전단보강근과 횡보강근의 항복 변형률은 $f_y/E_s \cong 5000 \text{ (kg/cm}^2\text{)}/2100000 \text{ (kg/cm}^2\text{)} \cong 0.0024$ 로 추정해보면 대부분의 주근과 보강근은 탄성 범위내의 변형을 나타내고 있는 반면 11, 12번 Gauge가 탄성의 범위를 훨씬 넘어서는 변형량을 나타내고 있는데, 이는 파괴모드에서와 같이 길이방향 보의 밀면과 기둥이 만나는 접합부에서의 손상이 가장 심하다는 것과 일치되는 것이다.

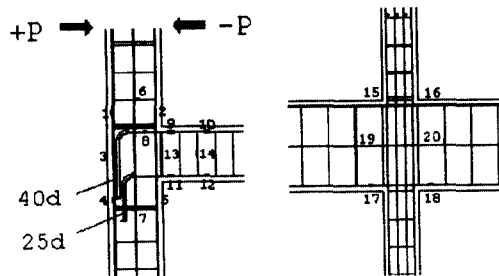


그림 7 W.S.G 부착위치

5. 결 론

본 실험의 결과분석으로부터 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- 1) 보-기둥 접합부에 횡보강근으로 구속되지 않은 비내진 상세를 가진 본 시험체의 경우 변위연성비가 5.3정도임을 알 수 있었다.
- 2) 변위연성비와 강성과의 관계그래프에서 인장측보다는 압축측에서 강성저하현상이 적게 나타났으며, 강도와와의 관계에서는 인장측, 압축측이 비슷한 양상을 나타냈고, 같은 변위단계에서 2cycle씩 수행한 결과 에너지 소산량은 첫 번째 cycle에서의 에너지 소산량이 13.7%정도 더 증가되었다.
- 3) 접합부의 파괴는 길이방향 보의 밑면과 기둥 접합부에서의 콘크리트 박리와 철근변형률에서도 알 수 있었던 바와 같이 주로 접합면에서 집중적으로 나타났다.
- 4) 본 외부접합부 시험체의 실험결과 '약한 기둥-강한 보'보다는 '강한 기둥-약한 보'의 파괴 기구임을 의미하고 있다.

감 사 의 글

본 연구는 1996년도 건설교통부에서 지원한 "우리나라 중저층 철근콘크리트 건축물의 지진피해 예측 및 보수보강법 연구"의 일부분으로 수행된 연구로서 관계자 분들께 감사 드립니다.

참 고 문 헌

1. L.E. Aycardi, J.B. Mander and A.M. Reinhorn "Seismic Resistance of Reinforced Concrete Frame Structures Designd only for Gravity Load : Part II-Experimental Performance of Subassemblage", Tehnical Report NCEER-92-0028, National Center for Earthquake Engineering Research State University of New York at Buffalo
2. J.M. Bracci, A.M. Reinhorn and J.B. Mander "Seismic Resistance of Reinforced Concrete Frame Structures Designd Only for Gravity Loads: Part I -Design and Properties of a One-Third Scale Model Structure", Technical Report NCEER-92-0027, National Center for Earthquake Engineering Reseach State University of New York at Buffalo
3. F.A. NOOR and L.F. BOSWELL "SMALL SCALE MODELLING OF CONCRETE STRUCTURES" ELSEVIER APPLIED SCIENCE LONDON and NEW YORK
4. El Monstafa M. Higazy, Amr S. Elnashai, Mihran S. Agbabiarn "Behavior of Beam-Column Connections under Axial Column Tension" Journal of Structual Engineering, ASCE, Vol. 122, No. 5, May, 1996, pp 501-511
5. M. R. Ehsani and J. K. Wight "Exterior Reinforced Concrete Beam-to-Column Connections Subjected to Earthquake-type Loading" ACI Journal, July-August, 1985, pp 492-499
6. Ahmad J. Durrani and Hikmat E. Zerbe "Seismic Resistance of R/C Exterior Connections with Floor Slab" ASCE, Vol. 113, No. 8, August, 1987, pp 1850-1864
7. 이한선, 우성우 "내진상세를 가진 2경간 2층 철근콘크리트 골조의 반복횡하중 실험" 한국콘크리트학회 논문집, 제 8권 제 6호, 1996. 12.