

비내진 상세를 가진 1/3 축소 R.C. 외부 접합부의 반복 횡하중 실험

Cyclic-loading Tests of 1/3-Scale R.C. Exterior Beam-column Joints With Non-Seismic Detailing

이 한 선* 차 병 기** 고 동 우*** 임 동 운**
Lee, Han Seon Cha, Byung Gi Ko, Dong Woo Lim, Dong Un

ABSTRACT

The objective of this study is to clarify the seismic capacity and the characteristics in the hysteretic behavior of RC structures with nonseismic detailing. To do this, an exterior beam-column subassembly was selected from a 10-story RC building and 6 1/3-scale specimens were manufactured with 3 variables; (1) with and without slab, (2) upward and downward direction of anchorage for the bottom bar in beams, and (3) with and without hoop bars in the joint region.

The test results have shown that (1) the existence of slab increased the strength in positive and negative moment, 25% and 62%, respectively; (2) the Korean practice of anchorage (downward and $25 d_b$ anchorage length) caused the 8% reduction of strength and the early strength degradation when compared with the case of seismic details; and (3) the existence of hoop bars in the joint region does not show significant difference because the size of column is much larger than that of beam.

1. 서론

현재 국내에서 일반적으로 설계 및 시공되고 있는 대부분의 철근콘크리트 건축물은 비내진 상세를 사용하고 있기 때문에, 내진 상세를 가진 건물과는 다른 지진응답 및 피해양상을 나타낼 수 있다. 그러나, 지금까지 우리나라에서 사용하고 있는 철근콘크리트 구조의 접합부 비내진 상세에 대한 지진 거동 특성은 밝혀져 있지 않으며, 기존 비선형 해석 프로그램은 주로 내진상세 거동에 국한되어 적용되기 때문에 극심한 지진이 발생할 경우 이러한 해석 프로그램으로는 우리나라 철근콘크리트 건물의 지진응답과 성능을 예측할 수 없게 되어 있다.

따라서 본 연구는 국내에서 일반적으로 설계 및 시공되고 있는 비내진상세를 가진 10층 규모의 철근콘크리트 건축물의 외부 접합부에 대한 반복횡가력 실험을 통해 횡하중 작용 시 접합부의 종국하중, 전체 파괴모드, 연성, 변형능력, 및 국부 거동 등에 대한 메커니즘을 비교, 분석하여 접합부 상세에 따른 접합부의 거동 특성을 파악하고자 한다.

* 정회원, 고려대 건축공학과 부교수,
** 정회원, 고려대 건축공학과 석사과정,
*** 정회원, 고려대 건축공학과 박사과정

2. 실험체의 설계 및 제작

본 연구를 위하여 우리나라 건축공사표준시방서¹⁾에 따라 콘크리트 구조설계 기준·해설²⁾에 의해 3경간×5경간 10층 RC골조를 설계하였다. 그리고 여기서 3층 보의 외부 접합부를 선정해 1/3 축소 실험체를 제작하였다. 실험체는 슬래브의 유무(유: S, 무: B), 보하부 주근의 정착방향(상향: U, 하향: D), 접합부내 띠철근의 유무(유: H, 무: N)를 변수로 6개의 실험체가 제작되었으며 모델별 상세도는 그림 2와 같다.

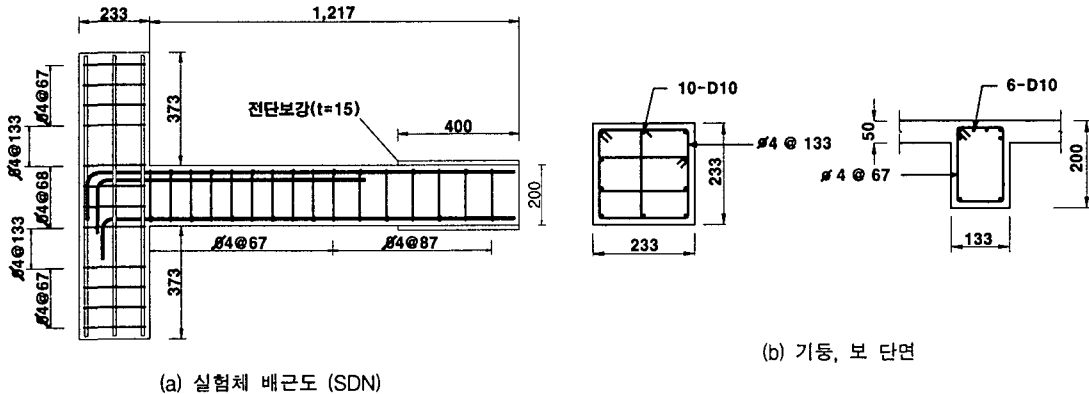


그림 1 실험체 단면 (단위: mm)

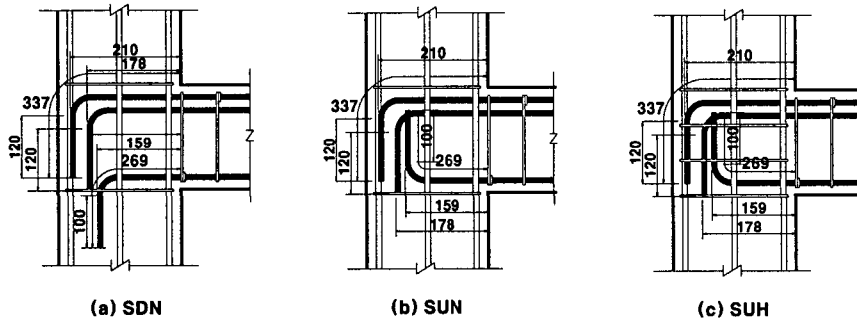


그림 2 접합부 상세와 실험 변수 (단위: mm)

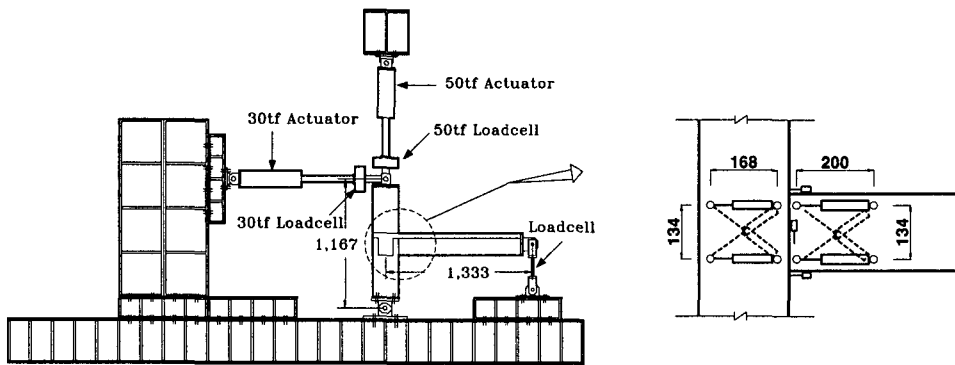
3. 실험내용

3.1 실험장치 및 기기

그림 3(a)에서 실험체 셀팅과 전체 계측 모습을 보여주고 있다. 기둥상부 부분에서 횡력과 축력을 가하였으며, 지진력에 대해 기둥의 중앙부에 변곡점이 있는 것으로 보고 기둥의 단부를 힌지로 하였고, 마찬가지로 보의 중앙부에 변곡점이 있는 것으로 보아 이곳에 힌지를 설치함과 동시에 반력을 측정하였다. 보의 소성힌지 영역과 접합부에는 그림 3(b)와 같이 변위 측정기를 설치하여 들뜸, 휨변형, 전단변형을 측정하였다. 실험은 설계시 적용한 축력을 축소율에 따른 상사성을 적용하여 42 tonf의 축력을 가한후, 변위제어 방식으로 그림 4와 같이 1mm에서 36mm까지 8단계로 횡력을 가하였다. 그러나 기둥의 횡변위가 발생함에 따라 실험체에 가해지는 축력의 수평방향 분력이 횡력에 추가되기 때문에 추후 식(1)과 그림 5와 같이 횡력을 보정하였다.

$$\text{수정 횡하중}(P) = P_2 + P_1 \times \sin \theta = P_2 + P_1 \times \sin \left(\frac{\Delta}{1,030} \right) \quad (1)$$

여기서 P: 보정횡하중, P₁: 축하중, P₂: 횡하중



(a) 전체 계측

(b) 국부 계측

그림 3 실험체 셀링 (단위: mm)

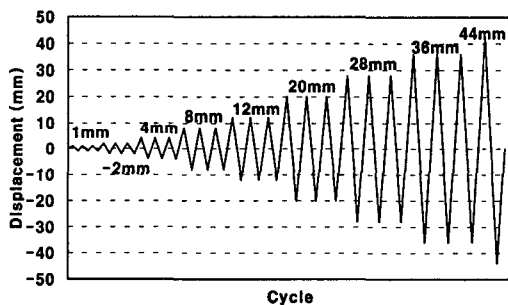


그림 4 가력 CYCLE

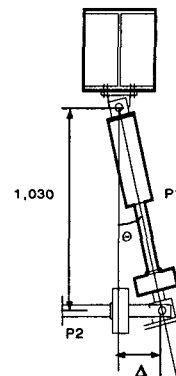
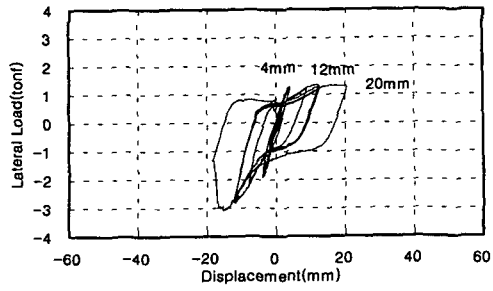


그림 5 횡하중 수정 (단위 : mm)

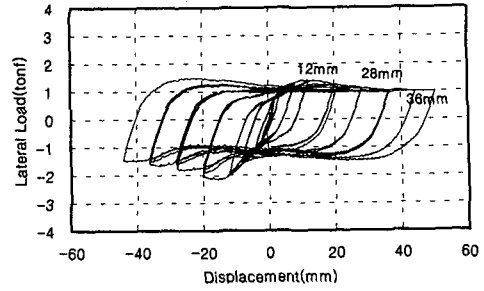
3.2 실험결과

그림 6은 실험체별 최상부 변위와 횡하중과의 이력곡선을 보여주는데, 최대하중을 넘어선 후 P-Δ 효과에 의해 강도 감소효과가 (+)가력방향에서 분명히 나타나는 것을 볼 수 있다. 보의 설계모멘트는 정모멘트 1.06 t-m, 부모멘트 1.92 t-m이다. 그림 7에서 보듯이 최대모멘트는 슬래브가 있는 실험체의 경우 정모멘트일때와 부모멘트일 때 각각 25%, 62% 더 크게 나타났으며 정착방향으로 보았을 때 보하부 철근은 상부로 구부러지는 것이 하부로 구부러지는 것보다 강도가 8% 크게 나타났다. 그림 8은 항복강도를 최대강도의 85%로 가정했을 때 연성비를 기둥의 횡변위각을 통해 보여주고 있는데 슬래브가 있는 실험체의 경우 연성비가 6.05~6.8인 반면, 슬래브가 없는 실험체의 경우 4.62~5.78로 나타났다.

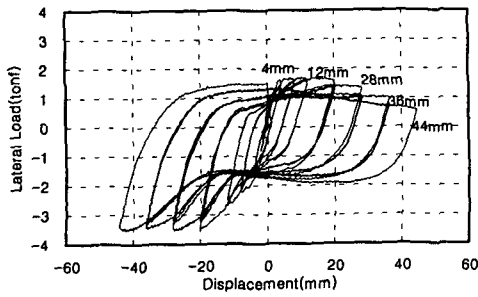
그림 9는 SUH 실험체의 들뜸에 의한 회전각과 모멘트의 관계와 보의 소성힌지 영역에서 휨과 들뜸에 의한 회전각과 모멘트의 관계를 나타낸 것이다. 이 실험체의 경우 12mm 변위일 때 소성힌지에 발생한 회전각의 49%가 들뜸에 의해 발생한 것으로 나타났다. 표 1은 최대강도가 나타나는 12mm 변위일 때 실험체별 들뜸만에 의한 회전각과 소성힌지 영역에서 휨과 들뜸에 의한 전체 회전각에 대한 비율을 나타내고 있다. 이를 살펴보면 보 하부철근을 아래로 정착시킬 경우가 들뜸에 의한 회전각이 상대적으로 더 크다는 것을 알 수 있다.



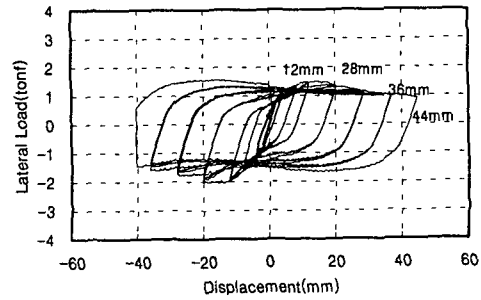
(a) SDN 실험체



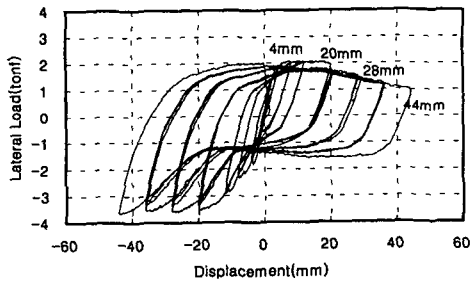
(d) BDN 실험체



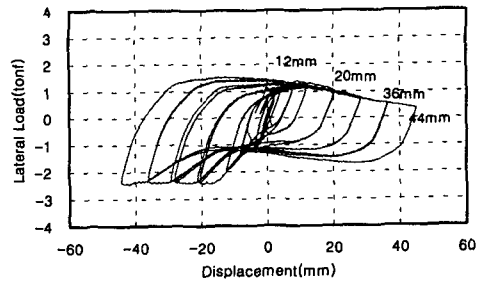
(b) SUN 실험체



(e) BUN 실험체



(c) SUH 실험체



(f) BUH 실험체

그림 6 횡하중과 최상부 변위 이력곡선

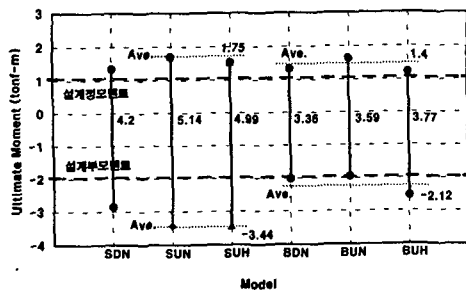


그림 7 강도 비교

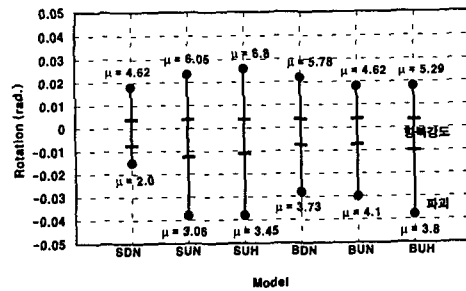
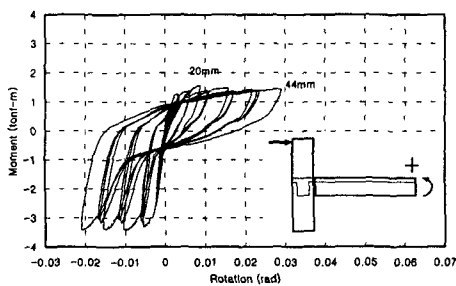


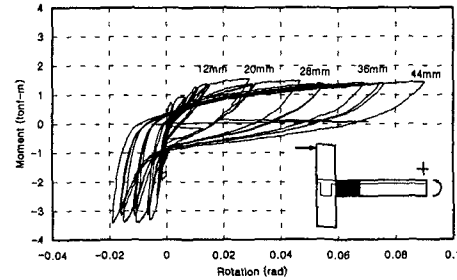
그림 8 횡변위각 비교

표 1 소성힌지 영역에서 회전각 비교 (단위 : rad)

실험체	접합면 돌뚝각(A)	전체 회전각(B)	A/B (%)	실험체	접합면 돌뚝각(A)	전체 회전각(B)	A/B (%)
SDN	0.0055	0.0072	76	BDN	0.003	0.0064	47
SUN	0.0065	0.019	34	BUN	0.003	0.01	30
SUH	0.006	0.0123	49	BUH	0.0033	0.01	33

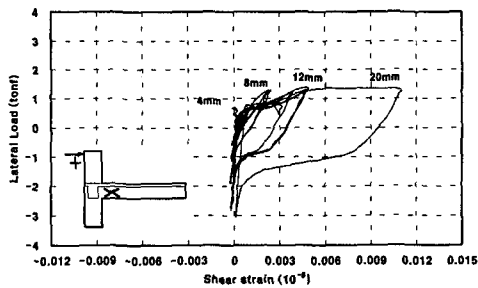


(a) 돌뚝만에 의한 회전각과 모멘트 관계 (SUH)

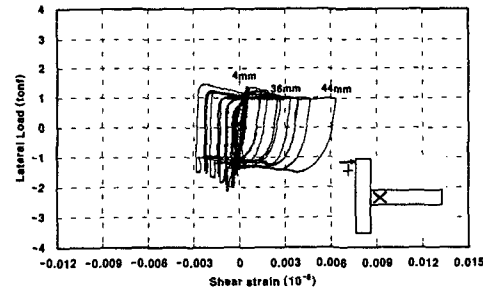


(b) 소성힌지 영역의 회전각과 모멘트 관계 (SUH)

그림 9 돌뚝과 휨에 의한 회전각과 모멘트 관계

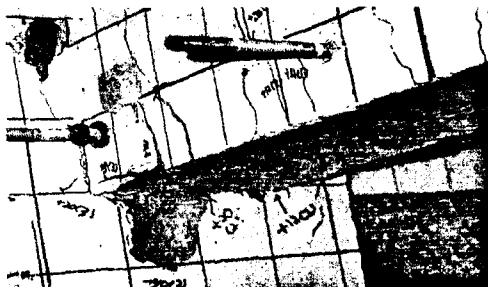


(a) 휨하중과 전단변형률 관계 (SDN)

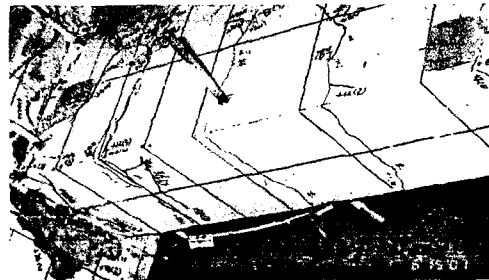


(b) 휨하중과 전단변형률 관계 (BDN)

그림 10 휨하중과 전단변형률 관계



(a) 접합부 균열 모습 (SUN)



(b) 접합부 균열 모습 (BUH)

그림 11 균열 양상

그림 10은 보의 소성힌지 영역에서 슬래브의 유, 무에 따른 전단변형률의 차이를 보여주고 있다. 슬래브가 없는 BDN 실험체는 최대 전단변형률이 상향전단일 때와 하향전단일 때 각각 0.0028 rad.과 0.0064 rad.으로서 상향전단일 때 전단변형률이 하향전단일 때와 비교하여 2배정도로 나타난 반면, 슬래브가 있는 실험체인 SDN의 경우 상향전단일때는 전단변형률이 최대 0.009 rad.에 이르렀으나 하향전단일때는 거의 나타나지 않았고, SUH 실험체도 상향전단일 때 최대 0.014rad, 하향전단일때는 전단변형률이 거의 나타나지 않았다. 이는 슬래브가 있는 경우 하향전단변형을 억제하는 효과가 있음을 알 수 있다.

모든 실험체에서 초기균열은 0.0017 rad.일 때 하부의 소성힌지 영역에서 휨균열이 발생하였고 0.003 rad.일 때 슬래브 상부에서 균열이 발생하였으며 0.01 rad.을 넘어서면서부터는 보와 기둥 접합면의 균열 폭이 커지면서 균열이 진전되었다. 전체적으로 균열 양상은 그림 11에서 보듯이 보 전체에 걸쳐 휨에 의한 균열이었으며 전단균열은 나타나지 않았다.

5. 결론

본 연구의 결과를 요약하면 다음과 같다.

- (1) 슬래브가 있는 경우가 없는 경우보다 정모멘트일 때 25 %, 부모멘트일 때 62 % 강도가 더 큰 것으로 나타나 슬래브가 보의 휨 성능을 증가시키는 것으로 나타났다.
- (2) 보하부 철근을 상부로 정착할 경우가 하부로 정착하는 경우보다 8 % 강도가 크게 나타났으며 접합부에서 철근의 뽑힘에 의한 들뜸현상이 현저히 줄어들었다.
- (3) 항복강도를 최대강도의 85 %로 보면 슬래브가 있는 실험체의 경우, 연성비가 6.05~5.8인 반면 슬래브가 없는 실험체의 경우 4.62~5.78로 나타났다.
- (4) 슬래브가 있는 경우 하향전단변형을 억제하는 효과가 있음을 알 수 있다.

감사의 글

본 연구는 한양대학교 초대형 구조시스템 연구센터의 지원에 의한 것이며, 이에 감사드립니다.

참고문헌

1. 건축공사표준시방서, 대한건축학회, 1999
2. 콘크리트 구조 설계 기준·해설, 한국 콘크리트학회, 2000
3. C. M. Lin, "Seismic Behaviour and Design of Reinforced Concrete Interior Beam Column Joint", Research Report 2000-1 Department of Civil Engineering University of Canterbury Christchurch, New Zealand, January 2000
4. P. C. Cheung, "Seismic Design of Reinforced Concrete Beam-Column Joints with Floor Slab", Department of Civil Engineering University of Canterbury Christchurch, New Zealand, October 1991
5. 이한선, "철근콘크리트 축소모델의 거동상사성에 관한 연구", 한양대학교 초대형구조시스템 연구센터, 1996.2
6. 이한선 외4인, "주상복합구조에서 전이보와 내부기둥 접합부의 반복횡하중 실험." 콘크리트학회 학술발표논문집 제12권 1호, 2000.