

비내진 상세를 가진 RC 외부접합부의 반복 횡하중 실험

차병기^{1)*} · 고동우¹⁾ · 우성우¹⁾ · 이한선¹⁾

¹⁾고려대학교 건축공학과

(2001년 11월 30일 원고접수, 2002년 12월 23일 심사완료)

Cyclic-Loading Tests of RC Exterior Beam-Column Joints with Non-Seismic Detailing

Byung-Gi Cha^{1)*}, Dong-Woo Ko¹⁾, Sung-Woo Woo¹⁾, and Han-Seon Lee¹⁾

¹⁾Dept. of Architectural Engineering, Korea University, Seoul, 136-701, Korea

(Received November 30, 2001, Accepted December 23, 2002)

ABSTRACT

The objective of this study is to clarify the seismic capacity and the characteristics in the hysteretic behavior of RC structures with non-seismic detailing. To do this, an exterior beam-column subassembly was selected from a ten story RC building and six 1/3-scale specimens were manufactured with three 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 $25d_b$ anchorage length) caused the 8% reduction of strength and the early strength degradation in comparison with the case of seismic details; and (3) the existence of hoop bars in the joint region shows significant role in preventing the pull-out.

Keywords : non-seismic detailing, beam-column subassembly, slab, anchorage, hoop

1. 서 론

현재 국내에서 일반적으로 설계 및 시공되고 있는 대부분의 철근콘크리트 건축물은 비내진 상세를 사용하고 있기 때문에, 내진 상세를 가진 건물과는 다른 지진응답 및 피해 양상을 나타낼 수 있다. 그러나, 지금까지 우리나라에서 사용하고 있는 철근콘크리트 구조의 접합부 비내진 상세에 대한 지진 거동 특성은 밝혀져 있지 않으며, 관련 연구자료도 부족한 실정이다. 또한 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 연구에서는 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.

2. 실험체의 설계 및 제작

본 연구를 위하여 Fig. 1과 같은 3경간×5경간 10층 RC 골조를 우리나라 건축공사표준시방서¹⁾와 콘크리트 구조설계 기준·해설²⁾에 따라 설계한 후, 3층의 외부접합부를 선정해 상사성의 원리³⁾에 따라 1/3 축소 실험체를 제작하였다. 콘크리트의 설계강도는 270 kgf/cm^2 이며, 주철근은 D25 (SD40)를 D10(SD30)으로 제작하였고 보강근은 D13(SD30)을 $\phi 4$ 철선으로 제작하였다. Fig. 2에서 실험체의 단면을 보여주고 있다.

Fig. 3은 보 주철근의 정착길이 산정에 대하여 우리나라 건축공사표준시방서, ACI규준에서 제시하는 내용과 실험체에 적용한 정착내용을 보여주고 있다. 건축공사표준시방서에서는 Fig. 3(a)과 같이 위험단면에서 정착된 전체길이를 정착길이라고 보고 있으며, 그 길이를 철근과 콘크리트의 강도에 따라 구분하고 있다. 반면, ACI에서는 콘크리트와 철근의 강도, 피복두께, 가로방향근을 통한 구속여부 등을 고

* Corresponding author

Tel : 02-3290-3347 Fax : 02-921-7947

E-mail : ckqudri@korea.ac.kr

려하여 Fig. 3(b)와 같이 위험단면에서 갈고리 전까지의 거리를 정착길이를 규정하고 있으며, 갈고리의 길이는 별도로 규정하고 있다. 실험체의 경우 위험단면에서부터 정착된 전체길이를 정착길이를 하여 인장측 $40 d_b$, 압축측 $30 d_b$ 를 정착하였다. 모든 실험체의 정착길이는 동일하게 제작되었으며, 보 하부 주철근의 정착방향을 우리나라에서 보편적으로 시공하는 방법인 하부로 정착하는 경우(D)와 ACI규준에서 제시하는 상부로 정착하는 경우(U)로 각각 제작하였다. 또한, 슬래브와 접합부내 전단보강근의 영향을 파악하기 위해 슬래브의 유무(유: S, 무: B)⁴⁾, 접합부내 전단보강근의 유무(유:H, 무: N)를 변수로 Fig. 4와 같이 6개의 실험체를 제작하였다.

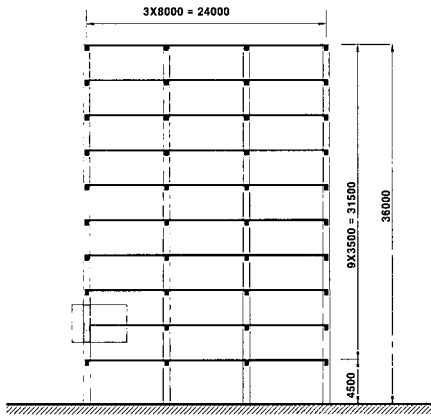
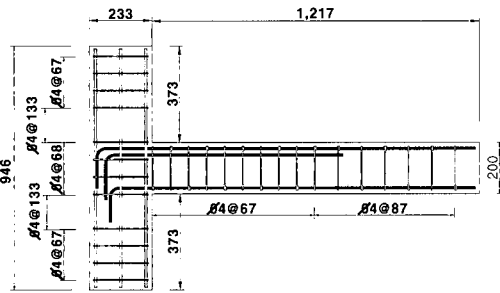
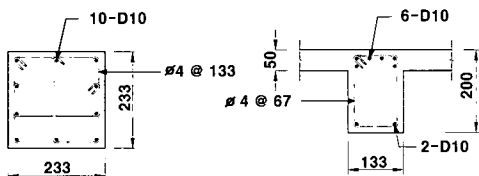


Fig. 2 Elevation of prototype model(unit : mm)



(a) Details of test model (SDH)



(b) Section of beam and column

Fig. 2 Reinforcing details of 1:3 scaled model (unit : mm)

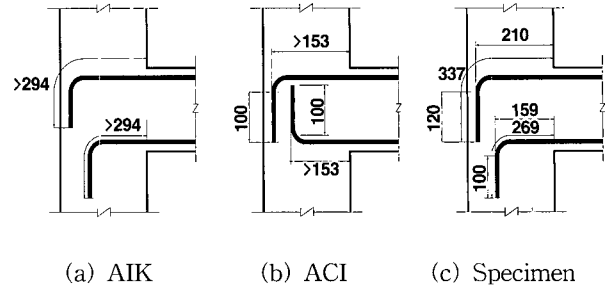


Fig. 3 Comparison of provisions on anchorage (unit : mm)

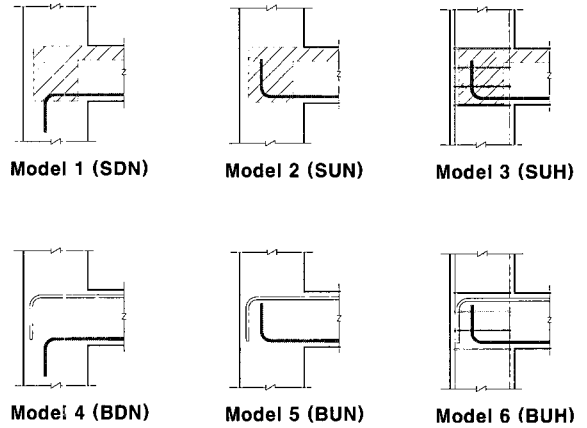


Fig. 4 Experimental parameters

3. 실험내용

3.1 실험장치 및 기기

Fig. 5(a)에서 실험체 셀팅과 전체 계측 모습을 보여주고 있다. 지진력이 작용할 때 기둥의 중간높이와 보의 중앙부에 모멘트가 0이 되는데 착안하여 그에 해당하는 위치를 힌지로 만든후 기둥상부 부분에서 횡력과 축력을 가하였으며, 실험체 보단부의 수직변위를 구속시켰다. 따라서, 횡력이 작용함에 따라 보단부에서 수직반력이 발생하고, 이를 통해 접합부에 작용하는 전단력을 측정할 수 있었다. 또한 슬래브가 있는 실험체의 경우 횡가력의 직각방향으로는 스패의 1/4지점의 모멘트가 0이 되는데 착안하여 슬래브의 폭을 스패의 1/4로 정하였으며, 슬래브 철근에 스트레인 게이지를 부착하여 슬래브의 유효폭을 실험적으로 확인하고자 하였다. 보의 소성힌지 영역과 접합부에는 Fig. 5(b)와 같이 변위 측정기를 설치하여 보와 기둥의 접합면에서 들뜸과 미끄러짐량을 측정하고 소성힌지 영역에서 휨변형과 전단변형을 측정하였다⁵⁾. 해석결과 기둥의 축력이 가장 클 때의 하중조합에 따른 축력을 축소율에 따른 상사성을 적용하여 기둥상부에 42 tonf의 축력을 가한후, 변위제어 방식으로 Fig. 6와 같이 1 mm에서 36 mm까지 8단계로 횡력을 가하였다. 그러나, Fig. 7에서 보듯이 기둥의 횡변위가 발생함에 따라 실험체에 가해지는 축력의 수평방향 분력이 횡력에 추가되기

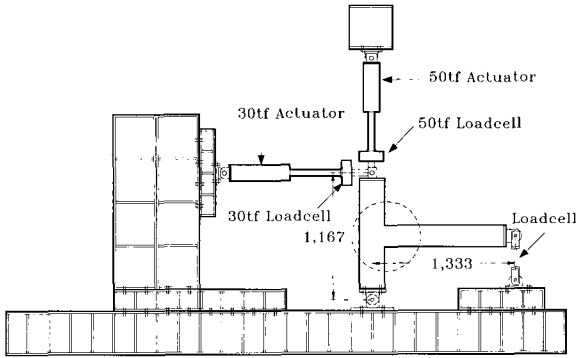
때문에 추후 식(1)과 같이 횡력을 보정하였다.

$$\begin{aligned} \text{수정횡하중}(P) &= P_2 + P_1 \times \sin \theta \\ &= P_2 + P_1 \times \sin \left(\frac{d}{1,030} \right) \quad (1) \end{aligned}$$

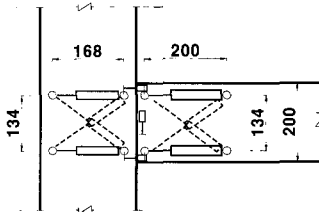
여기서 P: 보정횡하중, P₁: 축하중, P₂: 횡하중

3.2 실험결과

Fig. 8은 실험체별 최상부 변위와 횡하중과의 이력곡선을 보여주는데, 최대하중이 나타나는 12mm 변위를 넘어선 후 슬래브가 없는 경우 P-Δ 효과에 의해 강도 감소효과가 (+)



(a) Experimental set-up



(b) Instrumentation of plastic hinge region

Fig. 5 Experimental set-up (unit : mm)

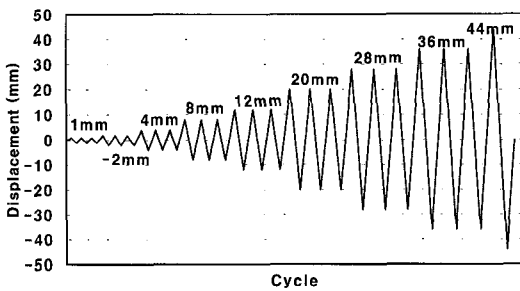


Fig. 6 Loading pattern

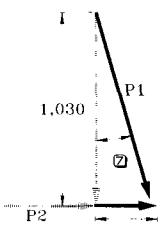


Fig. 7 Modification of lateral load (unit : mm)

가력방향에서 분명히 나타나는 반면, 슬래브가 있는 경우 강도 감소효과가 없는 것을 볼 수 있다. 또한 슬래브가 없는 경우에도 접합부내에 보강근이 있는 경우 역시 강도 감소현상이 나타나지 않는 것을 볼 수 있다. 보의 설계모멘트는 정모멘트 1.06 t-m, 부모멘트 1.92 t-m이다. Fig. 9에서 보듯이 최대모멘트는 슬래브가 있는 실험체의 경우 정모멘트일때와 부모멘트일 때 각각 25%, 62% 더 크게 나타났다. 이는 슬래브가 있음으로 인해 정모멘트일때는 T형보의 거동을 보여 정모멘트가 증가되며, 부모멘트일때는 슬래브의 철근들이 인장철근으로서의 기능을 하기 때문에 발생하였다. 또한 정착방향으로 보았을 때, 보 하부철근은 상부로 구부러지는 것이 하부로 구부러지는 것보다 강도가 정모멘트일 때 8%, 부모멘트일 때 11% 크게 나타나 슬래브와 보 하부 철근이 상부로 구부러지는 것이 강도면에서 효과가 있는 것으로 나타났다. 이는 보하부철근이 상부로 정착됨으로써 접합부내에서 발생한 균열이 기동으로 확장되는 것을 막아주기 때문에 발생하는 것으로 본 연구의 경우 실험대상이 하부골조부분으로서 상대적으로 기동이 강하여 보에서 대부분의 파괴가 진행되었음에도 불구하고 접합부내의 정착 방향에 따른 강도의 차이를 보여주었다.

Fig. 10은 항복강도를 최대강도의 85%로 가정했을 때 연성비를 기동의 횡변위각을 통해 보여주고 있는데, 슬래브가 있는 실험체의 경우 연성비가 6.05~6.8인 반면, 슬래브가 없는 실험체의 경우 4.62~5.78로 나타나 슬래브가 있는 실험체가 연성면에서 슬래브가 없는 실험체보다 우수함을 알 수 있다.

Fig. 11은 SUH 실험체의 들뜸에 의한 회전각과 모멘트의 관계와 보의 소성힌지 영역에서 휨과 들뜸에 의한 회전각과 모멘트의 관계를 나타낸 것이다. 이 실험체의 경우 12mm 변위일 때 소성힌지 영역에서 발생한 휨과 들뜸에 의한 전체회전각의 49%가 들뜸에 의해 발생한 것으로 나타났다. Table 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 위로 정착시킬 경우가 들뜸에 의한 변형이 상대적으로 더 작음을 알 수 있다.

Fig. 12는 보의 소성힌지 영역에서 슬래브의 유, 무에 따른 전단변형률의 차이를 보여주고 있다. 슬래브가 없는 BDN 실험체는 최대 전단변형률이 상향전단일 때와 하향전단일 때 각각 0.0028 rad와 0.0064 rad.으로서 상향전단일 때 전단변형률이 하향전단일 때와 비교하여 2배정도로 나타난 반면, 슬래브가 있는 실험체인 SDN의 경우 상향전단일 때는 전단변형률이 최대 0.009 rad.에 이르렀으나 하향전단일 때는 거의 나타나지 않았고, SUH 실험체도 상향전단일 때 최대 0.014 rad, 하향전단일 때는 전단변형률이 거의 나타나지 않았다. 이는 슬래브가 있는 경우 하향전단변형을 억제하는 효과가 있음을 알 수 있다.

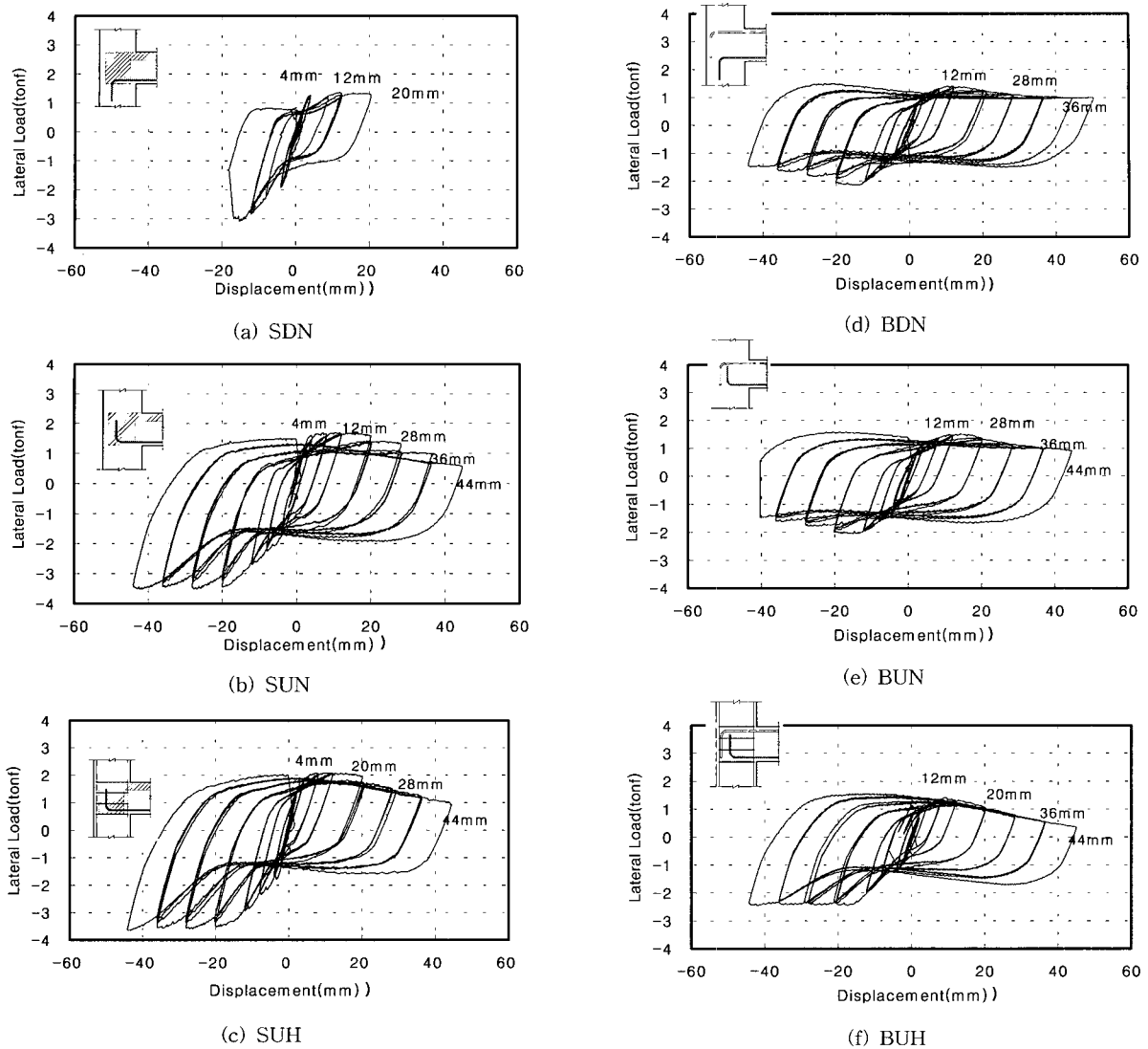


Fig. 8 Relationships of lateral load and top drift

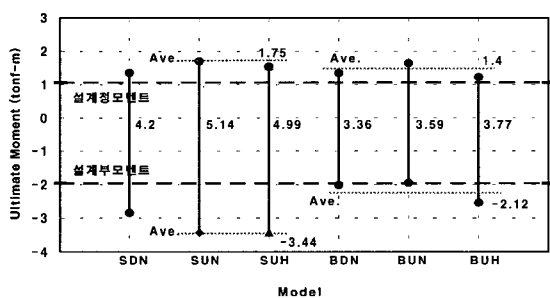


Fig. 9 Comparison of strength of specimen

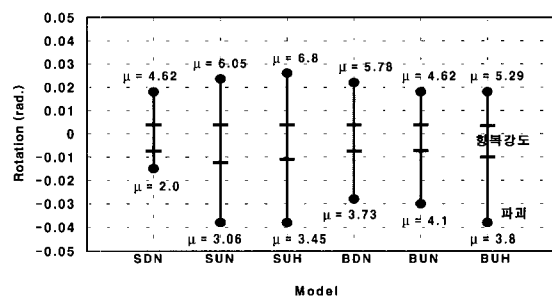
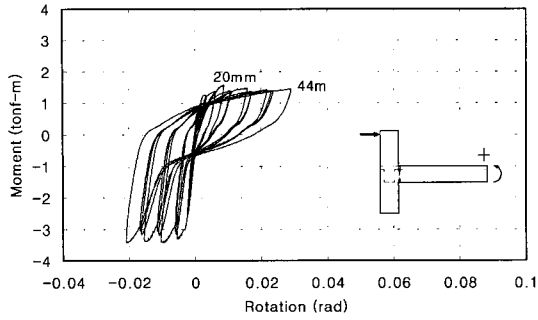


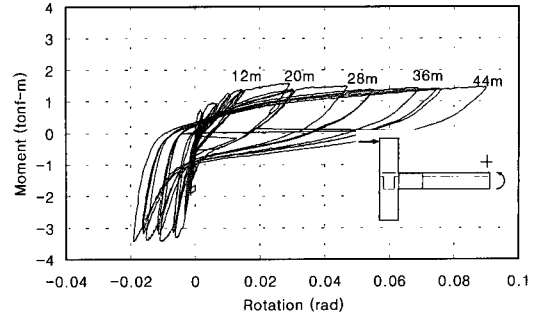
Fig. 10 Comparison of lateral rotation

Table 1 Comparison of angular rotation at plastic hinge (unit : rad)

| Specimen | Fixed end rotation(A) | Angular rotation(B) | A/B (%) | Specimen | Fixed end rotation(A) | Angular rotation(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 |

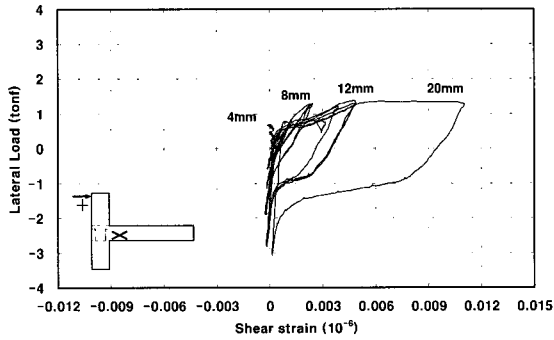


(a) Fixed rotation vs. moment (SUH)

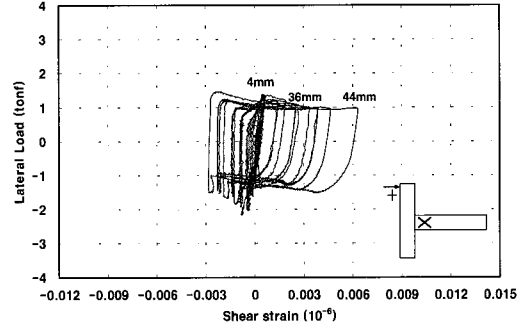


(b) Angular rotation at plastic hinge vs. moment (SUH)

Fig. 11 Fixed end rotation and angular rotation vs. moment

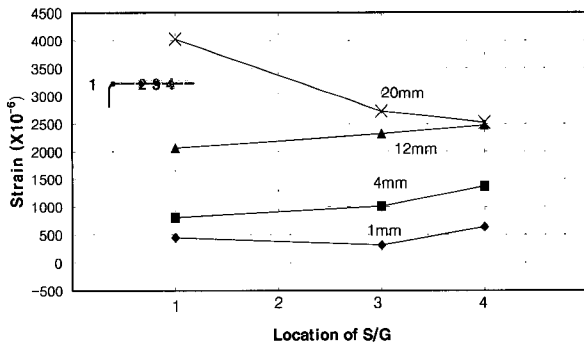


(a) Shear stain vs. lateral load (SDN)

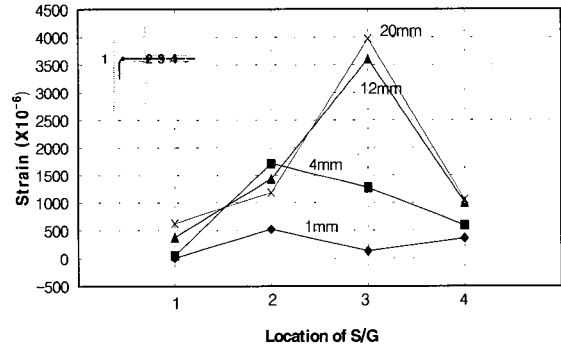


(b) Shear stain vs. lateral load (BDN)

Fig. 12 Comparison of shear stain in plastic hinge



(a) Strains of longitudinal bar (SUN)

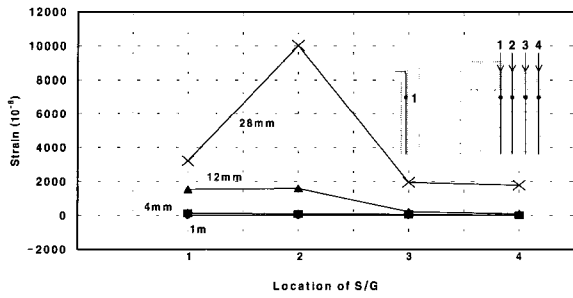


(b) Strains of longitudinal bar (SUH)

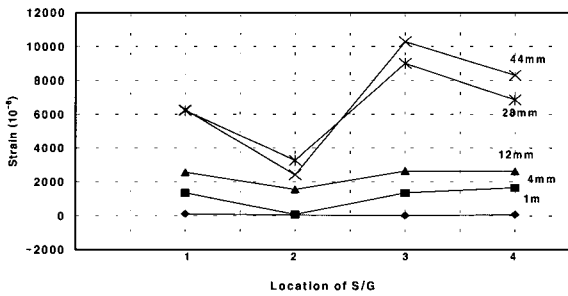
Fig. 13 Strains of longitudinal bar

Fig. 13은 접합부내 전단보강근이 있는 경우와 없는 경우의 보 하부 주철근 철근변형률의 차이를 보여주고 있다. 전단보강근이 있는 경우 철근이 구부러지는 위치에서 뿔뿔에 의한 철근의 변형률이 최대강도가 나타나는 12mm 변위를 초과한 20mm 변위에서도 미소하나, 전단보강근이 없는 SUN 실험체의 경우 12mm 변위에서 항복하여 철근의 뿔뿔 현상이 일어남을 알 수 있다. 이는 접합부내 전단보강근이 하부 철근의 정착과 뿔뿔에 효과가 있음을 알 수 있다.

Fig. 14는 슬래브 주철근의 변형률을 나타낸 것으로 보하부 주근이 하향 정착된 실험체(SDN)의 경우 계산(Lb/4)에 의한 유효폭 670mm의 수치보다 적은 617mm까지 영향을 미치는 것으로 나타났다. 그러나 보하부 주근이 상향 정착된 실험체(SUN)의 경우 슬래브 길이방향철근의 변형을 살펴보면 최대 강도 도달 이후 유효폭을 넘어까지 변형이 일어남을 볼 수 있었다. 이는 보하부근이 상향 정착일 경우가 응력이 해당 슬래브에 집중되는 것을 알 수 있다.

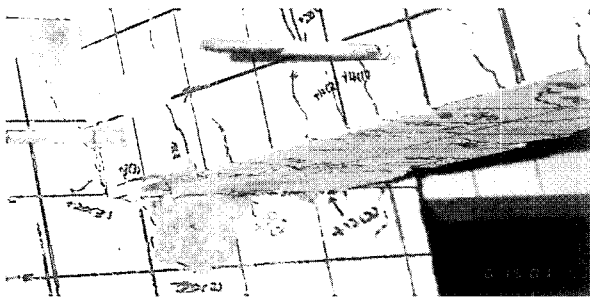


(a) Strains of longitudinal bar on slab (SDN)

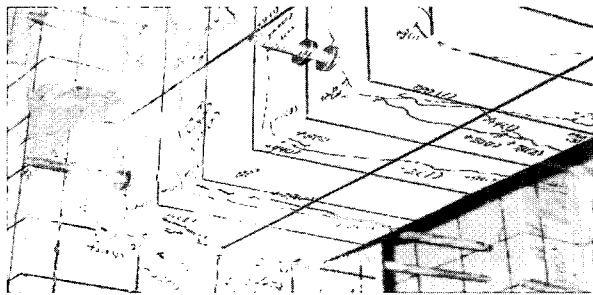


(b) Strains of longitudinal bar on slab (SUN)

Fig. 14 Strains of slab



(a) Crack patterns at plastic hinge rotation (SDN)



(b) Crack patterns at plastic hinge rotation (SUN)

Fig.15 Crack patterns

이러한 현상은 Fig. 15의 균열 양상에서 볼 수 있었다. 과도한 축력과 접합부의 큰 강성으로 인하여 접합부보다는 보의 휨 파괴가 주를 이루었으나 최대강도가 나타나는 12mm 변위 이후에는 보하부 주철근의 정착방향이 하부로 향하는 Model 1,2 실험체(SDN)의 경우 비교적 보와 인접한 기둥하부에서 콘크리트가 떨어져 나왔으며 다른 실험체(SUN)는 기둥의 접합면 모서리에서 콘크리트 파복이 탈락되는 것으로 나타나 보 하부 주근이 하향정착 될 경우가 상향 정착될 경우 보다 기둥의 파괴가 비교적 심한 것으로 나타났다.

4. 결 론

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) 항복강도를 최대강도의 85%로 보면 슬래브가 있는 실험체의 경우, 연성비가 6.05~5.8인 반면 슬래브가 없는 실험체의 경우 4.62~5.78로 나타났다.
- (3) 보 하부철근을 상부로 정착할 경우가 하부로 정착하는 경우보다 8% 강도가 크게 나타났으며 접합부에서 철근의 뽑힘에 의한 들뜸현상이 현저히 줄어들고 기둥의 손상도 비교적 덜하였다.
- (4) 슬래브가 있는 경우 하향전단변형을 억제하는 효과가 있음을 알 수 있다.
- (5) 접합부내의 보강근이 보철근의 뽑힘을 억제하는 것으로 나타났다.
- (6) 비내진 상세에 대한 더 정확한 거동을 파악하기 위해 앞으로 더 많은 실험 연구와 내진 상세와의 비교 연구가 있어야 하겠다.

참고문헌

1. 건축공사표준시방서, 대한건축학회, 1999.
2. 콘크리트 구조 설계 기준·해설, 한국 콘크리트학회, 2000.
3. 이한선, "철근콘크리트 축소모델의 거동상성에 관한 연구," 한양대학교 초대형구조시스템 연구센터, 1996.
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.

요 약

현재 국내에서 설계 및 시공되고 있는 비내진상세를 가진 RC구조물의 이력거동특성과 내진성능이 밝혀져 있지 않다. 따라서, 본 연구에서는 일반적인 10층 철근콘크리트 구조물의 외부 보-기둥접합부를 선정하여 슬래브의 유무, 보하부 주근의 접합부내로의 정착방향, 접합부내 보강근의 유무에 따라 6개의 1/3축소 실험체를 만들어 반복횡하중 실험을 수행하였다.

실험결과 슬래브가 있는 실험체가 없는 실험체에 비해 정모멘트일 때 25%, 부모멘트일 때 62%의 큰 강도를 나타냈고, 보하부 주근이 상부로 정착된 것이 하부로 정착된 경우보다 정모멘트일 때 8%, 부모멘트일 때 11% 강도 증가효과가 있었다. 그리고 접합부내에 전단보강근이 보 주근의 뽑힘을 억제하는 것으로 나타났다.

핵심어 : 비내진상세, 보-기둥 접합부, 슬래브, 정착, 전단보강근