

깊이 변화에 따른 Wide Beam의 이력거동에 관한 연구

Hysteretic Behavior of Wide Beam With Variable Depth

서수연^{*} 윤용대^{**} 이우진^{***} 菊池 健児^{****} 吉村 浩二^{****} 윤승조^{*}
Seo, Soo-Yeon Yoon, Yong-Dae Lee, Woo-Jin Kenji, Kikuchi Koji, Yoshimura Yoon, Seung-Joe

ABSTRACT

The objective of this paper is to investigate the effective width of wide beam. Three specimens were designed to have different depths of wide beam and to simulate exterior beam-column joint including spandrel beam. Load reversals were applied to the end of wide beam to model behaviors under seismic situation.

From the test, it was shown that the strength and effective width of specimens were improved when the depth of specimens increased. The effective width of wide beam depended on the depth of it. Formulas in ACI 318-02 underestimated the effective width of wide beam even though these reflected the contribution of the depth of beam.

1. 서론

현대사회에서 경제성 검토에 가장 먼저 대두되는 것이 층고 문제이다. 건물에서 각 층의 층고를 일률적으로 낮추어 시공할 수 있다면, 건물 시공 시 소요되는 시공비의 절감을 유도할 수 있으며, 고층화될 경우에는 동일한 건물높이에서 층수를 증가시키는 것이 가능하다. 이에 따라, 최근 건물의 층고를 낮추려는 노력의 일환으로 넓은 보(Wide Beam)에 대한 관심이 증대하고 있다.

넓은 보는 상대적으로 춤이 작기 때문에 단면적에 대한 휨강성이 낮게 나타나는 문제점이 있으며, 이에 의해 사용상의 처짐이 발생하기 쉽고 균열이 발생하기 쉽다. 이러한 문제점을 해결하기 위한 방안으로는 부재의 단면형상에 따라 달라지는 특성을 이용하여 단면 모멘트(단면 2차모멘트)를 높이거나 부재에 고강도, 고인성 재료를 사용하여 단면내력을 높이는 방법이다. 기본적으로 단면형태를 최적화하여 단면 2차모멘트를 증진시킬 수 있는 가장 효율적인 방법은 단면상의 깊이(Depth)를 증가시키는 것이지만, 이렇게 할 경우, Wide Beam의 효용성이 상쇄되게 된다. 통상 철근콘크리트 골조구조에서 보의 철근은 기둥내부로 정착되어지지만, 외부 기둥과 만나는 Wide Beam의 경우에는 많은 철근들이 기둥 쪽에 비하여 바깥에 위치하게 되므로 테두리 보에서 철근이 정착되게 된다. 이 경우, Wide Beam에 있는 철근들이 충분히 안정되게 테두리보 내에 정착되어 있는지의 여부에 대해서는 많은 의문이 발생한다. 정착의 정도가 미약하여 고정도가 낮은 경우에는 Wide Beam의 폭 내부에 있는 모든 철근을 유효한 철근으로 간주하기 어렵기 때문에 현행 기준(ACI, NZS)에서는 Wide Beam의 유효폭을 제한하고 있는 실정이다. 최근 이러한 부분에 대하여 Stehle(2001)과 Wight(1999)¹⁾는 실험연구를 통하여 Wide Beam의 유효폭 산정에 관한 기준 및 실험식^{1,2,3)}이 실제 유효폭을 지나치게 과소평가하고 있는 것으로 보고하였으나, 적정 유효폭을 산정할 수 있는 방안은 제시하지 못하였다.

따라서, 본 연구에서는 Wide Beam의 적정유효폭을 규명하기 위하여 외부 보-기둥 접합부를 대상으로 실험을 실시하고자 한다. 반복횡력이 작용할 경우, 거동을 규명하기 위하여 반복하중 작용시, Wide Beam의 깊이 변화에 따른 적정 유효폭의 변화과정을 실험적으로 연구하고자 한다.

* 정희원, 충주대학교 건축공학과 교수, 공학박사

** 정희원, 충주대학교 대학원, 석사과정

*** 정희원, 충주대학교 건축공학과, 공학박사

**** Professor, Oita University, Japan

2 실험

2.1 실험체 계획

본 연구에서는 다음 그림 1(a)과 같이 외부접합부를 대상으로 Wide Beam-Column-Spandrel Beam 으로 조합된 3개의 실험체를 설계, 제작하였다. 실험체에서 고려하는 주변수는 Wide Beam의 깊이로서, 200mm(WB-N), 250mm(WB-25), 300mm(WB-B30)로 변화하여 계획하였고 기둥(300×300mm)과 스펀드럴 빔(300×400mm)의 크기는 모든 실험체에 대하여 일정하게 하였다. 각 실험체의 배근 상세는 그림 1(b), (c)에서 나타내었다. 압축강도 20.6MPa의 콘크리트를 사용하고 기둥과 Spandrel Beam의 주근은 D19(SD40), 띠철근은 D10을 사용하였으며, Wide Beam의 주근은 D16, 늑근은 D10을 사용하였다.

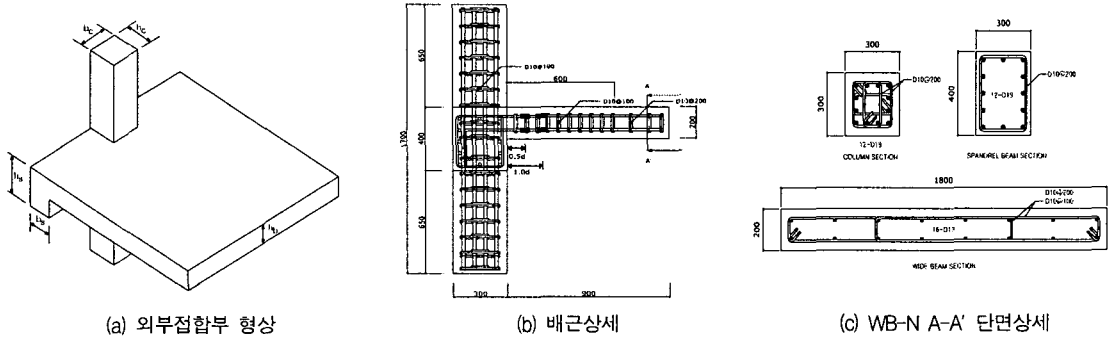


그림 1 실험체 형상 및 단면상세

2.2 실험체 설치

횡력을 받는 골조의 거동을 구현하기 위하여 실험체는 그림 2에서 나타난 것처럼 설치하였다. 실험체는 상하부 기둥을 실험체 고정용 철물에 고정하고 동시에 Wide Beam의 단부에서 980kN 용량의 액츄에이터를 이용하여 정(+), 부(-)의 반복하중을 ACI에서 권장하는 하중이력²⁾에 따라 각 단계별 3사이클씩 점중 반복 가력하였다. 재하 단계에 따른 변형도를 측정하기 위하여 Wire Strain Gage를 그림 1(b)와 같이 0.5d와 d 위치에 부착하여 측정하였다.

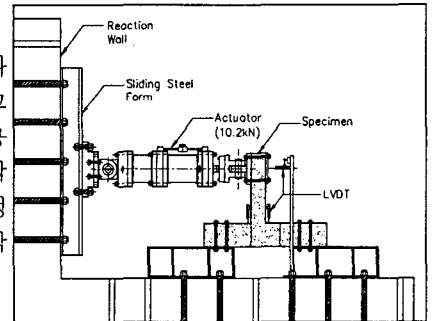


그림 2 실험체 설치상황

3 실험결과

3.1 균열발생과 파괴양상

WB-N 실험체와 WB-B25 실험체는 Wide Beam에 초기 발생했던 휨 균열들이 계속 전진하거나 또 다른 균열이 발생하면서 최종 휨파괴에 도달하였으며, WB-B30 실험체는 초기에는 다른 실험체와 동일한 균열 양상을 보였지만 변위 증분비가 증가함에 따라 Wide Beam에서는 새로운 균열이 발생하지 않고 Spandrel Beam과 기둥에서 새로운 균열들이 발생하고 접합부에서 파괴가 일어났다. 각 실험체의 최종파괴양상 및 실험결과는 그림 3과 표 1에 나타내었다.

항복하중 및 항복변위의 설정은 그림 4에 나타난 Park에 의해 정의된 탄소성 이상화 방법에 의하여 정의하였다.

3.2 하중-변위곡선

다음 그림 5(a)~(c)에서 알 수 있는 것처럼 Wide Beam의 깊이가 증가 할수록 초기 강성 및 하중 부담능력이 증가하는 것을 알 수 있다. Wide Beam의 깊이가 증가 할수록 최대하중은 증가하고 표 1에서의 WB-B30 최대하중 시의 변위가 다소 감소하는 것으로 나타났다.

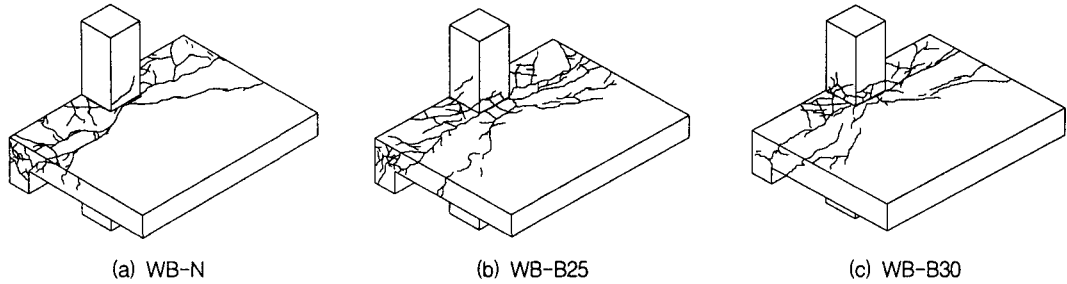


그림 3 각 실험체별 균열발생 및 최종파괴양상

표 1 각 실험체별 실험결과

실험체명	P_y (kN) ¹⁾	Δ_y (mm) ²⁾	P_u (kN) ³⁾	Δ_u (mm) ⁴⁾	변위연성비(μ)		누적에너지소산량 (kN·mm) ⁷⁾
					μ_u ⁵⁾	$\mu_{0.75}$ ⁶⁾	
WB-N	106.27	10.82	139.05	14.16	1.31	0.98	10293.70
WB-B25	142.45	7.86	189.17	17.11	2.18	1.63	14288.97
WB-B30	185.39	5.26	240.26	15.80	3.10	2.25	14568.83

- 1) P_y : 항복하중, 2) Δ_y : 항복변위, 3) P_u : 최대하중, 4) Δ_u : 최대하중 시 변위, 5) μ_u : Δ_u/Δ_y ,
 6) $\mu_{0.75}$: $\Delta_{u0.75}/\Delta_y$ (최대내력의 약 75%까지의 변위연성비), 7) 누적에너지 소산량(kN·mm) : 최대내력의 약 75%까지의 에너지 소산량

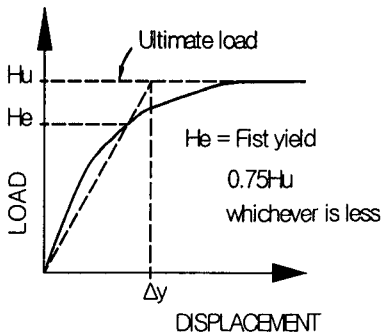


그림 4. 항복점의 정의³⁾

4. 유효폭 산정식에 대한 평가

Wide Beam의 폭 내부에 있는 모든 철근을 유효한 철근으로 간주하기 어렵기 때문에 현행 기준(ACI, NZS)에서는 Wide Beam의 유효폭을 제한하고 있다. 유효폭 산정식은 식(1)~(3)을 이용하여 산정할 수 있으며, 각 식의 실험체별 Wide Beam의 유효폭은 표 2에서 나타내고 있다.

$$\text{ACI318-02} \rightarrow b_w = b_c + 1.5h_b \quad \text{식(1)}$$

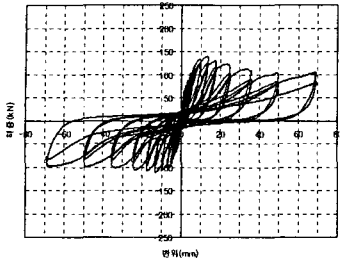
$$\text{New Zealand} \rightarrow b_w \leq b_c + h_c/2 \text{ 와 } b_w \leq 2b_c \quad \text{식(2)}$$

$$\text{Wight, J, K의 실험식} \rightarrow b_w = b_c + 2h_c \quad \text{식(3)}$$

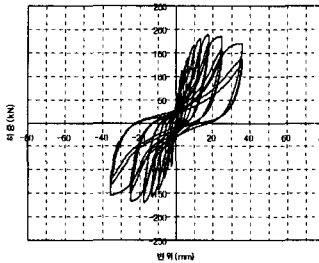
여기서, b_w = Wide beam의 폭, h_b = Wide beam의 깊이, b_c = 기둥의 폭, h_c = 기둥의 깊이

5. 결 론

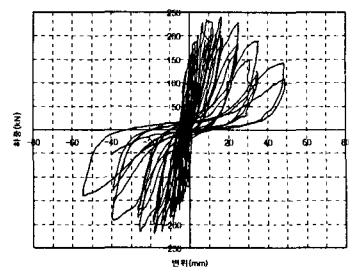
- 1) Wide Beam의 깊이 변화에 따른 WB-N 실험체에 대한 WB-B25, WB-B30 실험체의 최대내력의 증가는 약 30%, 70% 나타났으며, 깊이가 증가할수록 유효폭도 증가 하는 것으로 나타났다
- 2) Wide Beam-Column-Spandrel Beam 접합부 실험체에서 ACI 318-02에서 제시한 Wide Beam의 유효폭 산정식은 본 실험에서 나타난 실험결과와 비교하였을 때 과소평가한 것으로 판단된다.
- 3) 현행 각 나라의 Wide Beam 유효폭 산정식을 비교하여 볼 때 서로 다른 기준을 적용하고 식(2)와 식(3)에는 Wide Beam의 깊이 변화에 따른 유효폭 산정에 어려움이 있어 이에 대한 향후 더 많은 연구가 필요한 것으로 판단된다.



(a) WB-N



(b) WB-B25



(c) WB-B30

그림 5 각 실험체의 하중-변위 곡선

표 2 산정식에 따른 유효폭

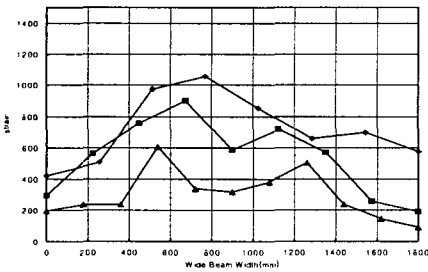


그림 6 Wide Beam의 유효폭

실험체명	WB-N	WB-B25	WB-B30
산정식	(mm)	(mm)	(mm)
$b_w = b_c + 1.5h_b$	600	675	750
$b_w \leq b_c + h_c / 2$	450	450	450
$b_w \leq 2b_c$	600	600	600
$b_w = b_c + 2h_c$	900	900	900
실험값	1280	1350	1400

참고문헌

1. James M. Lafave and James K. Wight, "Reinforced Concrete Exterior Wide Beam-Column-Slab Connection Subjected to Lateral Earthquake Loading" ACI Structural Journal, V. 96, No. 4, July-August. 1999, pp. 577-5851.
2. ACI committee, "Proposed Provisional Standard, Acceptance Criteria for Moment Frames Based on Structural Testing", 1996
3. R. Park, "Evaluation of Ductility of Structures and Structural Assemblages from Laboratory Testing," Bulletin of The New Zealand National Society for Earthquake Engineering, Vol. 22, No. 3, September 1989
4. ACI-ASCE Committee 352, "Recommendations for Design of Beam-Column Joints in Monolithic Reinforce Concrete Structures(ACI 352-R91)," American Concrete Institute, Farmington Hills, Mich, 1991, pp. 27
5. Gentry, T. R, and Wight, J. K, "Wide Beam-Column Connections under Earthquake-Type Loading," Earthquake Spectra, v. 10, No. 4, Nov. 1994, pp. 675-703
6. Popov, E. P, and Cohen J. M, Koso-thomas, K. and Kasai, K, "Behavior of Interior Narrow and Wide Beams," ACI Structural Journal, v. 10, No. 4, Nov. 1994, pp. 607-616
7. CBSI Handbook, Concrete Reinforcing Steel Institute, Schaumburg, 111, 1996
8. Lafave, J. M, and Wight, J. K, "Behavior of Reinforce Concrete Exterior Wide Beam-Column-Slab Connections Subjected to Lateral Earthquake Loading," report No. UMCEE 97-01, university of Michigan, Ann Arbor, Mich., Jan. 1997
9. ACI Committee 318, "Building Code Requirements for Reinforced Concrete(ACI318R-89)" American Concrete Institute, Farmington Hills, Mich, 1989, pp. 353
10. French, C. W, and Moehle, J. P. "Effect of Floor Slab on Behavior of Slab-Beam-Column Connections," Design of Beam-Column Joints for Seismic Resistance, SP-123, J. O. Jirsa, ed, American concrete institute, Farmington Hills, Mich., 1991, pp. 225-258
11. 안종문, 최중인의 "슬래브가 있는 넓은 보-기둥 접합부의 이력거동", 한국콘크리트학회 봄학술발표회 논문집, 제15권1호, 2003. 5, pp. 157-162.