

철근콘크리트 보-기둥 접합부의 내력

The Resistant Capacity of Reinforced Concrete Beam-Column Joints

박종욱*·권구정**·최하영***·곽진이****·이정윤*****

Park, Jong-Wook · Kwon, Goo-Jung · Choi, Ha-Young · Jini Kwag · Lee, Jung-Yoon

요약

내진설계의 기본 개념은 보를 기둥보다 약하게 설계하여 보에 소성힌지를 발생시켜 구조물 전체의 큰 변형을 방지하는 것이다. ACI 352R-02에서는 지역의 지진특성에 따라서 접합부의 상세 설계법을 구분하여 적용한다. 하지만 보와 접합부의 내력 차이가 상대적으로 작게 설계된 구조물의 경우 탄성 범위를 유지해야 하는 경우의 접합부에도 파괴가 발생할 가능성이 있다. 횡하중이 작용할 때 접합부 내부는 전단력의 지배를 받게 되고, 전단내력과 부착내력에 따라서 파괴모드가 결정된다. 본 논문에서는 양방향 반복하중이 작용하는 10개의 보-기둥 접합부를 통해서 접합부와 인접보의 전단내력 차이에 따라서 발생하는 파괴모드를 관찰하고 접합부 내의 전단내력 및 부착내력의 감소로 인해 발생하는 부재의 연성에 대해서 관찰하였다.

keywords : seismic design, 보-기둥 접합부, 변형률 침투, 전단내력, 부착내력

1. 서론

철근콘크리트 보-기둥 접합부는 지진하중과 같은 큰 횡방향 반복하중이 작용할 경우 구조물 전체의 안전을 결정하는 주요 부재이다. 내진설계에서는 인접한 보의 내력을 접합부의 내력보다 작게 설계하여 보에 소성힌지를 발생시켜 구조물 전체의 큰 변형을 방지하는 것을 기본으로 하고 있다. 국내 철근콘크리트 내진기준의 근간이 되는 ACI 352R-02¹⁾에서는 지진특성을 고려하여 접합부의 설계 내력과 접합부의 변형 성능을 다르게 설계한다. 하지만 보와 접합부의 내력 차이가 상대적으로 크지 않을 경우 지진 발생 후 탄성 범위를 유지해야 하는 경우의 접합부에도 파괴가 발생할 가능성이 생긴다. 이는 횡하중이 작용할 경우 접합부 내는 전단력과 부착력에 의해서 지배를 받게 되는데 소성힌지 발생 후 접합부 내로 이어지는 변형률 침투를 고려하지 않았기 때문이다. 변형률 침투로 인해서 전단 내력과 부착 내력이 저감하게 되며 이 현상에 따라서 접합부의 파괴모드와 구조물의 거동 특성이 달라진다. 본 연구에서는 보-기둥 접합부 10개의 실험체를 통해서 접합부와 보의 전단내력의 차이와 축력에 따라서 파괴되는 각 실험체의 거동 특성을 분석하였다.

2. 철근콘크리트 보-기둥 접합부 실험 계획

* 정희원 · 성균관대학교 건축공학과 교수 jungyoon@skku.edu
** 성균관대학교 건설환경시스템공학과 박사과정 zusaq@skku.edu
*** 성균관대학교 초고층학과 석사과정 doublekj83@naver.com
**** 장민우 구조건설턴트 jini@minwoo21.com
***** 성균관대학교 건설환경시스템공학과 석사과정 momom@skku.edu

표 1 실험체의 물성치

Specimen	Beam						Column						f_c' (kN)	V_{j1} (kN)	V_{j2} (kN)	V_{jbi} (kN)	V_{j1}/V_{jby}	V_{j2}/V_{jby}	Axial force reatio (%)
	Upper longitudinal reinforcement			Stirrup			Longitudinal reinforcement			Tie									
	f_{by} (MPa)	ρ_b	n_b	f_{sy} (MPa)	ρ_s	n_s	f_{cy} (MPa)	ρ_c	n_c	f_{ty} (MPa)	ρ_t	n_t							
BJ1	530	0.0084	4-D13	385	0.0057	D6	530	0.00367	8-D16	529	0.011	D10	31	511.4	383.6	418.3	1.22	0.92	0
BJ2	530 529	0.0075	3-D13 1-D10	385	0.0057	D6	530	0.00367	8-D16	529	0.011	D10	31	511.4	383.6	372.5	1.37	1.03	0
BJ3	530	0.0063	3-D13	385	0.0040	D6	530	0.00367	8-D16	529	0.011	D10	31	511.4	383.6	313.7	1.63	1.22	0
B1	530 529	0.0054	2-D13 1-D10	385	0.0040	D6	530	0.00367	8-D16	529	0.011	D10	31	511.4	383.6	268.0	1.91	1.43	0
B2	530	0.0042	2-D13	385	0.0040	D6	530	0.00367	8-D16	529	0.011	D10	31	511.4	383.6	209.1	2.45	1.83	0
BJ1-7.5	530	0.0084	4-D13	385	0.0057	D6	530	0.00367	8-D16	529	0.011	D10	31	511.4	383.6	418.3	1.22	0.92	7.5
BJ2-7.5	530 529	0.0075	3-D13 1-D10	385	0.0057	D6	530	0.00367	8-D16	529	0.011	D10	31	511.4	383.6	372.5	1.37	1.03	7.5
BJ3-7.5	530	0.0063	3-D13	385	0.0040	D6	530	0.00367	8-D16	529	0.011	D10	31	511.4	383.6	313.7	1.63	1.22	7.5
BJ1-15	530	0.0084	4-D13	385	0.0057	D6	530	0.00367	8-D16	529	0.011	D10	31	511.4	383.6	418.3	1.22	0.92	15
BJ2-15	530 529	0.0075	3-D13 1-D10	385	0.0057	D6	530	0.00367	8-D16	529	0.011	D10	31	511.4	383.6	372.5	1.37	1.03	15

f_{by} : yield strength of longitudinal reinforcement of beam, ρ_b : ratio of longitudinal reinforcement of beam, n_b : size of longitudinal reinforcement of beam, f_{sy} : yield strength of stirrup, ρ_s : ratio of stirrup, n_s : size of stirrup, f_{cy} : yield strength of longitudinal reinforcement of column, ρ_c : ratio of longitudinal reinforcement, n_c : size of longitudinal reinforcement of column, f_c' : compressive strength of concrete, V_{j1} : shear strength of joint for Type 1, V_{j2} : shear strength of joint for Type 2, V_{jby} : shear strength of joint when the beam yields

실험체는 기둥에 반대 방향으로 2개의 보가 직교하는 형태로 편심이 작용하지 않게 제작하였다. 실험체에 대한 보, 기둥의 물성치는 표 1에 나타내었다. 파괴하는 위치에 따라서 각 실험체는 B 파괴, BJ 파괴로 명명하였다. B 파괴는 보에서만 파괴가 발생하는 실험체이고 BJ 파괴는 보의 휨 항복 이후에 접합부에서도 파괴가 발생하는 실험체이다. B 파괴와 BJ 파괴는 Teraoka²⁾의 방법에 의해서 구별하였다. 축력은 콘크리트 압축 강도 시험을 통한 강도를 기준으로 해서 0, 5, 10% 3가지 종류로 설정하였다. 실험은 2개의 유압 액츄에이터를 이용해서 준정적으로 가력하였다. 하중 패턴은 보의 주인장철근의 항복을 기준으로 해서 2 싸이클을 가력한 후 배수만큼 늘려가며 시험하였다. 주인장철근은 제작 시 부착한 변형률게이지를 통해서 측정하였으며 실험체 보의 소성힌지, 접합부 및 횡방향 처짐은 LVDT를 통해서 측정하였다. 그림 1는 실험체의 배근도 및 상세 치수를 나타낸 것이다.

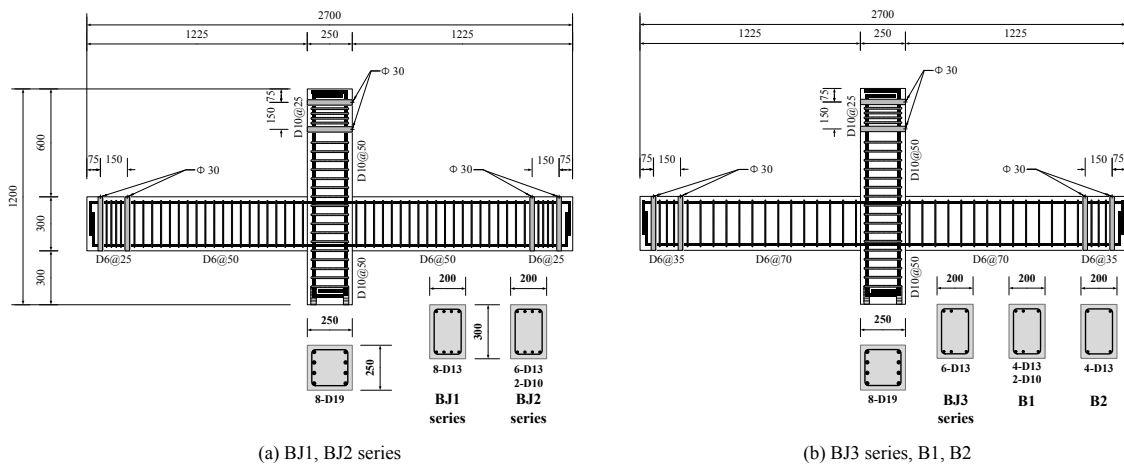


그림 1 실험체 상세 치수 및 배근도

3. 철근콘크리트 보-기둥 접합부 실험 결과

ACI 352R-02로 설계한 각 실험체들은 접합부 내의 전단 내력은 같지만 파괴 형태가 다르게 나타났다. 이는 접합부를 관통하는 보 주인장철근의 철근량에 따라서 보와 접합부의 상대적인 내력차이가 다르기 때문이다. B 실험체들은 보에서 소성힌지가 발생한 후 접합부의 파괴가 발생하기 이전에 하중이 감소하였고 BJ 실험체들은 보의 변형률이 접합부 내로 침투하여 최종적인 파괴 과정에서는 접합부에서도 콘크리트의 균열이 발생하여 피복이 탈락하는 것을 관찰 할 수 있었다.

3.1. 접합부 하중-변위 관계

그림 2는 각각 각 실험체들의 하중-변위 이력곡선을 보여준다. BJ 파괴하는 실험체들의 최대하중이 B 파괴하는 실험체들에 비해서 높게 측정되었다. 이는 BJ 파괴하는 실험체들의 보의 주인장 철근량이 더 많아서 휨 내력이 상대적으로 크기 때문이다. 이로 인해 보와 접합부의 상대적인 내력 차이는 크지 않게 되었고 실험체의 변형이 커지면서 부작력 혹은 전단력이 접합부에 전이되게 되었다. 이 현상이 접합부 내의 내력을 감소시켜서 접합부의 파괴를 유발하였다.

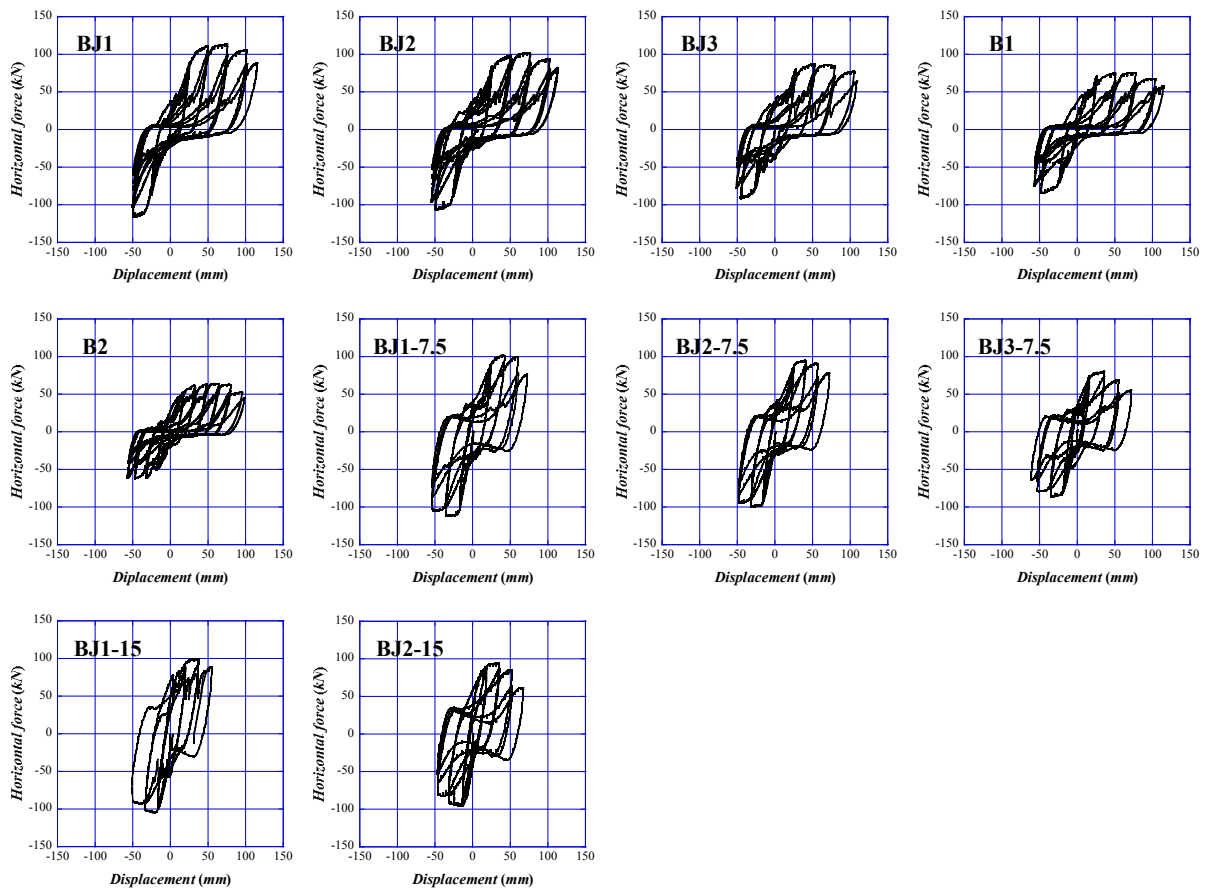


그림 2 각 실험체들의 하중-변위 곡선

3.2. 보와 접합부의 전단내력과 연성과의 관계

그림 3은 전단강도비와 연성의 관계를 보여주는 그래프이다. 접합부의 전단강도비 V_{jl}/V_{jby} 가 증가할수록 변위 연성 값이 증가하였다. 또한 기둥에 작용하는 축력은 실험체의 연성에 큰 영향을 주어서 축력이 클수록 연성이 작은 것을 알 수 있다. 하지만 7.5%나 15%의 축력비에 상관없이 같은 조건에서 연성이 거의 같음을 보여주었다. 이는 접합부에 영향을 주는 축력의 임계값이 있음을 의미하는 것이라 판단된다. 축력이 작용할 경우 기둥에 작용하는 축력이 압축 스트럿을 통해서 콘크리트의 내력 감소를 가속화하여 절대적인 변위는 작았다.

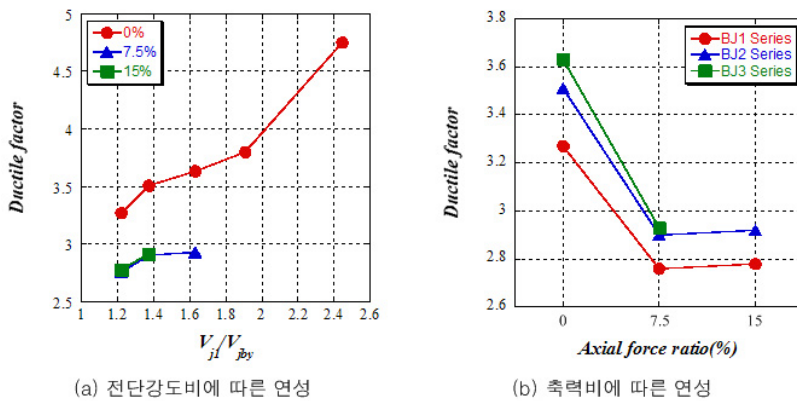


그림 3 각 실험체 변위 연성

결론

(1) 상대적인 내력 차이가 적을 경우 접합부 인접보에서만 파괴가 발생하는 것이 아니라 접합부 부분으로 파괴가 확장되는 것을 확인하였다. 접합부의 최대 전단강도는 접합부 전단강도비 V_{jl}/V_{jby} 의 영향을 받아 전단강도비가 증가할수록 감소하였으나 기둥 축력비의 영향을 받지 않았다.

(2) 접합부의 연성은 전단강도비 V_{jl}/V_{jby} 가 증가할수록 증가하였다. 기둥에 축력이 작용하는 경우 부재의 연성은 줄어들었지만 7.5%나 15%간의 큰 차이는 발생하지 않았다. 이는 접합부에 미칠 수 있는 축력의 임계점이 있음을 의미하는 것이라 여겨진다.

감사의 글

본 연구는 국토해양부가 주관하고 한국건설교통기술평가원이 시행하는 2009년도 첨단도시개발사업의 지원사업으로 이루어진 것으로 이에 감사를 드립니다.

참고문헌

Joint ACI-ASCE Committee 352, (2003) Recommendations for Design of Beam - Column Connections in Monolithic Reinforced Concrete Structures, *American Concrete Institute*, Michigan.

Teraoka M., Kanoh Y., Sasaki S., Hayashi K., (1996) An Estimation of Ductility in Interior Beam-Column Sub-assemblages of Reinforced Concrete Frames, *Journal of the Society of Materials Science*, 45(9), pp.1033~1041