

베라이트 시멘트를 이용한 고강도 철근콘크리트 보-기둥 접합부의 이력특성

Hysteretic Behavior of RC Beam-Column Joint for High Strength Structures using Belite Cement

배 흥 한* 이상원** 윤 정 배** 김기수*** 이세웅****
Bae, Heung-Han Lee, Sang-Won Yoon, Jeong-Bae Kim, Ki-Su Lee, Se-Woong

ABSTRACT

The experimental study for the interior beam-column joint for high strength concrete using Belite cement is presented. Test parameters are compressive strength, flexural strength ratio and joint shear stress level. The results from cyclic loading tests show different behaviors from the various parameters. Also, The different behaviors on beam-column joint can be achieved by the different concrete strength.

1. 서 론

1.1. 연구배경 및 목적

콘크리트를 사용하는 대형 RC 구조의 경우, 지진 등에 의한 강한 횡력을 받게되므로 모멘트 연성골조(ductile moment-resisting frame) 시스템을 도입할 필요가 있다. 즉, 내력의 재분배와 전체안전도를 높일 수 있도록 하기 위하여 RC 구조의 기능을 개선, 보강하여 충분한 延性度(ductility)를 갖는 연성구조로 설계하는 것이 필요하다. 이 경우, 非彈性범위의 하중이 반복작용될수록 소성힌지위치에서의 剪斷變形이 급속히 증가하여 내력저하(Stiffness Degradation)의 원인이 되며, 따라서 이러한 剪斷變形을 줄이고 내력특성을 개선하는 방법의 일환으로 접합부와 기둥에 내력저하없이 연성거동을 확보하는 것이 필요하게 되었다. 한편, 구조물의 고층화에 따른 고강도 콘크리트의 사용은 기존의 보통강도 구조물의 경우보다 내진 성능 확보가 중요하며, 따라서 새롭게 접합부에서의 고강도 콘크리트의 사용에 따른 영향을 설계에 반영할 필요가 대두되고 있다.

이러한 연구는 기존의 보통강도 콘크리트의 연구와 더불어 고강도 콘크리트에 관한 연구들이 진행되었고, 이러한 연구결과는 향후 ACI-ASCE Committee 352 설계지침에 포함될 것으로 생각된다.

본 연구에서는 고강도 콘크리트의 골조내력특성 및 보-기둥 접합부의 거동에 대한 영향을 분석하는 연

- * 경상대학교 공과대학 건축공학과 석사과정
- ** 경상대학교 공과대학 건축공학과 석사과정
- *** 정확원, 경상대학교 공과대학 건축공학과 교수, 공박
- **** 쌍룡양회 중앙연구소 콘크리트 연구실, 공박
- ***** 쌍룡건설 기술연구소 건축부, 부장

구의 일환으로, 저강도, 중간정도 및 고강도 콘크리트를 대상으로 모형골조를 통하여 시험하고 내력특성을 규명하여 고강도 콘크리트를 사용한 건물의 내진특성을 연구 하고자 한다.

1.2 연구방법 및 내용

본 연구는 RC 구조물에 있어서 콘크리트 강도에 관한 영향을 조사하기 위하여 접합부 내력특성을 보-기둥 접합부 모델에 의해 실험적으로 규명하고자 하였다. 따라서, ACI-ASCE 352 지침상의 중요한 변수 즉, 기둥과 보에 대한 휨강비, 접합부 전단용력도의 크기 및 기둥 및 접합부내의 보강철근비 등을 고려하여 연성내력특성을 평가하고자 한다. 본 연구의 모형 시험체의 경우,

- (1) 설계하중 조건으로 ACI - ASCE 352 의 Type II 접합부 및 내부골조를 대상으로 반복형 횡하중을 받는 골조를 재현하였으며,
- (2) 모형골조의 축력-변형 효과(P- Δ effect) 에 의한 영향은 고려하지 않았다.

2. 骨造 모델의 反復 荷重實驗

2.1 實驗 計劃 및 實驗 方法

내진골조의 접합부거동을 중심으로 파괴형태를 달리하여 보, 기둥의 휨강도비 M_R , 접합부 전단용력도 γ , 접합부의 보강철근비 ρ_j 를 변화시켜 파괴형태가 달리 나타나도록 하였다.

휨 내력비의 경우, 전단용력도를 변화시켜 제작하였으며 횡 보강비의 경우 일정하게 제작하였다.(표 1)

ACI 규준에 따라 제작하였고, 보 및 기둥의 형상비 (L/d) 는 각각 2.8 및 3.8 이며, 내력저감계수(ϕ)는 1.0 으로 가정하였다. 시험체의 형태와 배근방식은 그림 1 과 같다.

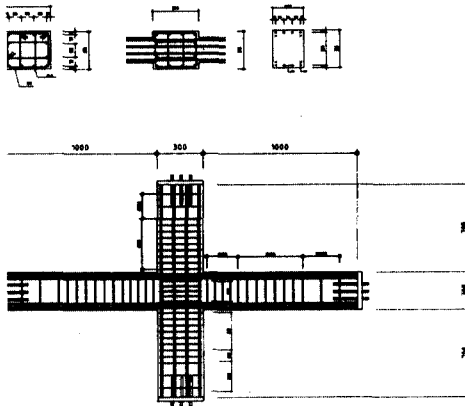


그림 1 시험체 형상 및 배근상세

기둥의 양단부에 철판으로 주근에 용접, 콘크리트와 일체화 하였으며, 철근조립후 콘크리트를 진동타설 하였다.

2.2 材料의 特性

모형에 사용한 콘크리트 및 철근의 재료의 성질은 다음과 같다.

(1) 콘크리트

보통 포틀랜드 시멘트를 사용하였고, 골재최대 치수는 13mm 이었으며 기준 슬럼프치는 18 및 13cm 이었다. 설계강도는 210, 350 및 600 kg/cm² 이었으며 콘크리트의 재료적 성질 및 배합비는 표 1 과 같다.

표 1 콘크리트의 재료적 성질

강도 (kg/cm ²)	물 시멘트비 (%)	슬럼프 (cm)	잔골재율 (%)	단위재료량 (kg/m ³)					압축강도 (kg/cm ²) 28일 표준양생
				물	시멘트	모래	자갈	혼화재	
210	57.6	17.9	45.7	193	335	791	947	0.451	206
350	41.3	13	40.0	190	460	654	989	0.610	319
B-350	39.3	19.0	45.0	167	425	799	984	1.0	354
B-600	30.9	19.0	48.0	170	550	799	873	1.2	548

한편, 철근은 주근의 경우 SBD 40 을 사용하였으며, 보강근의 경우 SD 30을 사용하였다. 각 시험체별 설계변수는 표 2 와 같다.

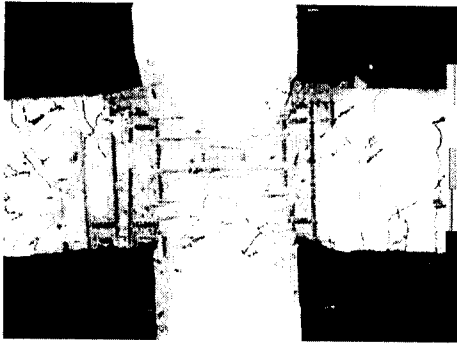
표 2 시험체 설계

시험체 번호	철근비			축력비	M _r ^{*1}	V _u ^{*2}	γ ^{*3}
	ρ _b	ρ _c	(A _{sb} /s)				
JN-21-B2	0.90	1.69	128/45	0.12	1.44	46.47	5.30 (16.14)
JN-21-J1	0.85	0.95	128/45	0.18	1.22	43.49	4.69 (15.04)
JN-21-J2	1.09	0.95	128/45	0.25	1.07	60.88	6.13 (19.6)
JN-35-B1	0.90	0.95	128/45	0.18	1.43	46.20	3.87 (12.41)
JN-35-B2	1.09	1.69	128/45	0.13	1.41	55.98	4.69 (15.05)
JN-35-J1	1.27	1.69	128/45	0.33	1.37	67.53	5.51 (17.66)
JN-35-J2	1.27	1.69	128/45	0.17	1.16	65.43	5.51 (17.66)
BJB-35-B2	1.09	1.69	128/45	0.22	1.41	55.98	15.05 (4.69)
BJB-35-J1	1.27	1.69	128/45	0.33	1.37	65.73	5.51 (17.66)
BJB-60-B1	1.18	0.95	284/60	0.46	1.42	60.30	3.86 (12.37)
BJB-60-B2	1.42	1.69	284/60	0.40	1.40	72.69	4.65 (14.92)
BJB-60-J1	1.69	1.69	284/60	0.43	1.22	87.24	5.58 (17.90)
BJB-60-J2	1.69	1.69	284/60	0.31	1.12	87.24	5.58 (17.90)

*1 : M_r, M_b

*2 : V_u = Tu₁ + Cu₂ - V_{col}, V_{col} = M_{b1} + M_e / L (ton)

*3 : γ = V_u / √F_c · b_j · h, b_j = (B_b + C_b) / 2



(a) JN-35-J2 시험체



(b) BJB-60-J2 시험체

그림 6 시험체의 파괴형상

JN-35-J1에서는 보 단부에서 보 전단파괴가 일어났으며 JN-35-J2에서는 접합부 파괴가 집중되었다. BJB-35-J1와 BJB-35-B2에서는 보 단부파괴가 집중되었고 약간의 부착파괴를 보였으며, BJB-60-B1, BJB-60-B2에서는 기둥에 압괴현상이 보였으며, 접합부 균열은 거의 나타나지 않았다. BJB-60-J1에서는 보단부와 접합부 내에 균열이 나타났으며, 부착균열, 보단부에서 상부 주철근에 끊어짐이 일어났다.

BJB-60-J2에서는 집중적인 접합부파괴가 관찰되었고, 보단부파괴도 나타났으며 기둥의 압괴, 부착균열 및 후프근의 박탈이 관찰 되었다.

3.2 試驗體의 荷重-變形 特性

반복재하에 따른 내력저하(Stiffness Degradation) 및 편칭효과를 포함하여 각 시험체의 개략적인 특성을 관찰할 수 있었다. 동일 범위에서 반복재하할 경우 내력감소가 뚜렷하였고, JN-35-J1 시험체의 경우, 편칭현상이 크게 나타났음을 알 수 있었으며, 다른 시험체에서는 상대적으로 나타나지 않았다. 또한, 전체적으로 큰 변위 延性度를 얻을 수 있었다.

표 3 부재별 항복전단내력 및 최대 전단내력

부재명	항복 Vc (ton)		최대 Vc (ton)	
JN-21-B2	6.54	-5.31	7.30	-7.78
JN-21-J1	5.77	-5.56	6.95	-7.18
JN-35-B2	7.60	-6.51	10.25	-8.99
JN-35-J1	9.25	-6.9	12.08	-11.16
BJB-35-B2	8.16	-6.14	11.31	-11.25
BJB-35-J1	9.4	-8.14	10.68	-8.14
BJB-60-B1	8.63	-9.17	11.11	-10.65
BJB-60-B2	10.68	-10.49	13.51	-13.55
BJB-60-J1	11.26	-9.30	15.04	-13.89
BJB-60-J2	10.52	-8.41	13.52	-13.58

2.3 載荷 및 測定 計劃

반복하중 상태의 연성특성을 포함하는 비탄성거동을 얻기 위하여 기둥에 일정한 축력을 유지하면서 보 단부에 반복하중을 주어 횡력에 대한 내력상태를 재현하였다.(그림 2)

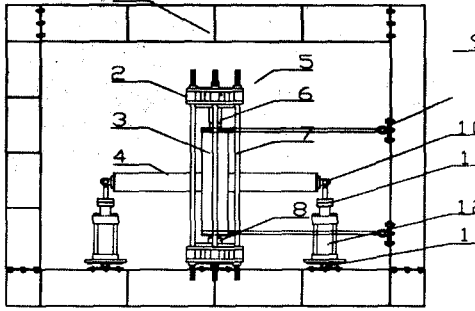


그림 2 시험체 설치 및 가력도

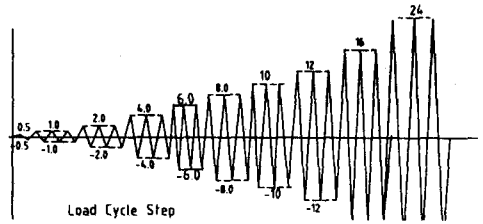


그림 3 가력하중형태

즉, $0.1 \sim 0.4P_0$ 내외의 축력을 도입하면서, 정변위 점증가력하였다. 예상항복변위의 0.5배 까지 재하한 다음 하중을 제거하고 다른 방향에서 동일한 방법으로 가하였으며 사이클이 반복됨에 따라 변위연성도를 높여가면서 하중을 재하하였고, 매 변위증가에 따른 하중, 철근 및 콘크리트 내의 변형을 측정하였다.(그림 3) 철근의 변형을 측정하기위하여 스트레인 게이지를 사용하였고, 접합부 전단변형 및 부재회전을 측정하기 위해 접합부 및 보, 기둥의 소성힌지부분에 강봉을 사용, 변위계등으로 측정하였다.(그림 4, 5)

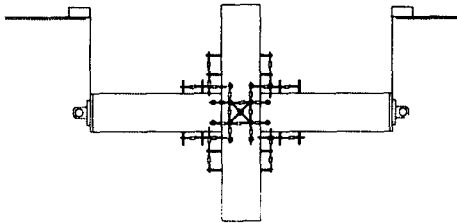


그림 4 변형계 측정 위치도

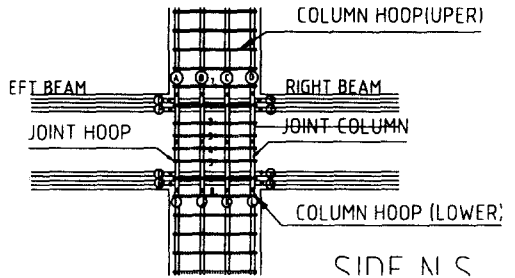


그림 5 게이지 측정 위치도

3. 實驗 結果 및 考察

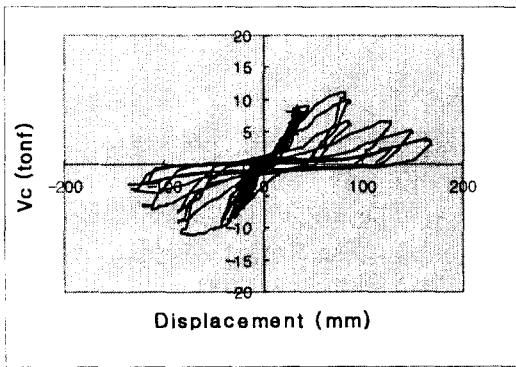
3.1 시험체 破壞 形狀

전체적으로는 보 단부에 파괴가 집중되었으며 JN - 21 - B2 시험체에서는 접합부 전단균열, JN - 21 - J1 시험체에서는 접합부 전단균열과 미소의 압축철근좌굴, JN - 21 - J2시험체는 심한 압축철근의 좌굴이 관찰되었다. JN - 35 - B1과 JN - 35 - B2에서는 약간의 접합부 균열, 철근의 인장파단, 접합부 및 기둥의 피복바리가 관찰되었다.

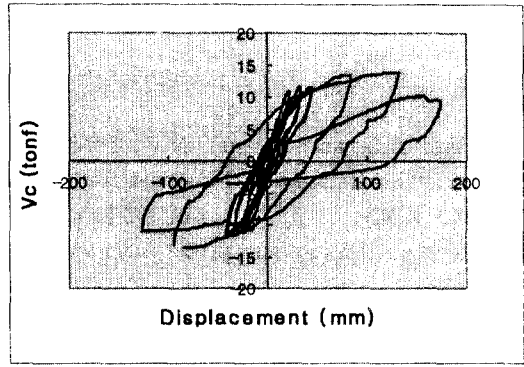
BJB-60-J2 실험체에서는 최대하중뒤의 내력저하가 크게 나타나고 있으며, 편칭효과는 나타나지 않고 있다.

베라이트 시멘트를 사용한 시험체의 전단내력이 보통시멘트를 이용한 시험체보다 큰 것으로 나타났으며, 항복전단내력과 최대전단내력과의 차이가 또한 큰 것으로 나타났다. 따라서 항복후 최대하중까지 내력의 여유가 많음을 볼수 있다. 표 3 과 그림 9 에는 부재별 항복전단내력과 최대전단내력을 표시하였다.

이상의 실험결과로 미루어, ACI-ASCE 352 의 설계변수들은 골조의 내력설계에 중요한 영향을 미침을 알 수 있었다. 또한, 접합부의 전단용력의 크기는 전단내력의 변화에 중요하였다.



(a) JN-35-J2



(b) BJB-60-B2

그림 7 시험체의 하중변형곡선

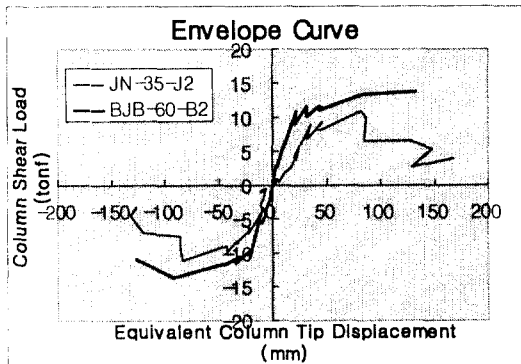


그림 8 최대하중곡선

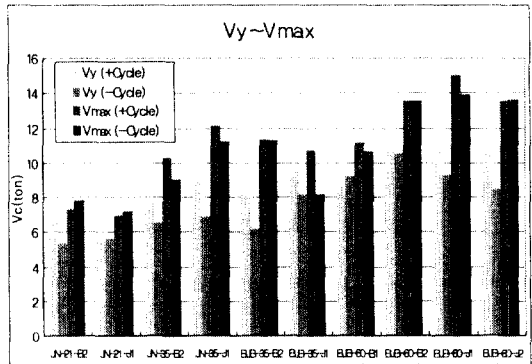


그림 9 부재별 항복 및 최대전단력 비교

5. 결론

이상의 실험결과로부터 아래와 같은 결론을 얻었다.

- (1) 대부분의 시험체에서는 하중이 증가함에 따라 보 힌지 파괴가 주요한 파괴형태였으며 접합부 파괴도 나타났다.
- (2) JN-35-J2, BJB-60-J2 부재의 경우 주요한 파괴가 접합부에 집중되었다.
- (3) 본연구의 내력범위에서 성장한 균열은 접합부 쪽으로 전달되지 않았다. 따라서 ASCE 352에서 제안한 식에 따라 설계된 보-기둥 접합부의 경우 접합부 전단파괴를 일으키지 않았다.
- (4) 고강도 콘크리트를 사용한 경우의 보통강도와는 다소 다른 파괴모드를 보였다.

이러한 연구결과를 바탕으로 고강도 콘크리트를 사용한 기둥 및 접합부의 비탄성이력거동을 고려할 수 있는 설계변수의 수정과 새로운 설계변수의 도입에 관한 연구가 필요 할 것으로 생각된다.

參 考 文 獻

1. Johal, L.S. and Hanson, N.W., "Design for Vertical Load on Horizontal Connections in Large Panel Structures," PCI Journal, Vol.27, No.1, Jan - Feb, 1982
2. ACI-ASCE Committee 352, "Recommendations for Design of Beam-Column Joints in Monolithic Reinforced Concrete Structures," ACI 352-85, American Concrete Institute, Detroit, Michigan, 1985
3. Filippou, F.C., E.P. Popov and V.V. Bertero, "Modelling of R/C Joints under Cyclic Excitations," Journal of Structural Division, ASCE, V.109, No.11, Nov., 1983, pp.2666-2684
4. ACI SP-123, "Design of Beam-Column Joints for Seismic Resistance", ACI, 1991
5. Standard Association of New Zealand, "Standard Code of Practice for the Design of Concrete Structures", 1982
6. Architectural Institute of Japan, "Design Guidelines for Earthquake Resistant Reinforced Concrete Buildings Based on Ultimate Strength Concepts", 1989

감사의 말

본 연구는 (주)쌍룡양회 및 (주)쌍룡건설의 고강도 시멘트 성능평가에 관한 연구비 지원으로 수행한 연구로서 관계자 여러분께 감사드립니다.