

高強度와 보통強度 콘크리트를 사용한 보-기둥 接合部의 내민길이에 따른 構造的 舉動

The Effect on the Extension Distances of Beam-Column Joint
with High and Low Strength Concrete

○이 광수* 안 중문** 문 정일** 박 회민 *** 장 일영**** 신 성우*****
Lee K.S. An J.M. Moon J.I. Park H.M. Jang I.Y. Shin S.W.

ABSTRACT

ACI 318-89 Recommended that when the specified compressive strength of concrete in a column is greater than 1.4 times that specified for a floor system, top surface of the column concrete shall extend 2ft(600mm) into the slab from the face of column to avoid unexpected brittle failure. The major variables are extension distance, compressive strength of concrete(f'_c), shear confinement ratio(V_s), and loading types.

The test results showed that the load capacity of the specimen subjected to monotonic loading had more than that of the specimen subjected to one way cyclic loadings. The failure modes of specimens under cyclic loading were concentrated at 5~20cm apart region from beam-column joint face. Ductility index(μ_f) are increased with increasing of shear confinement ratio. The specimen with 2ft extension distance shows more ductility than the specimen with 1ft extension distance.

1. 서론

보-기둥 접합부 설계는 강한 기둥-약한 보(Strong Column-Weak Beam)의 설계개념으로서, 현재 ACI-ASCE 352¹⁾ 위원회에서는 보강성에 대한 기둥의 강성을 1.4배이상으로 설계하도록 되어 있으며 고강도 콘크리트를 사용한 보-기둥 접합부 실험결과²⁾에도 1.4배이상으로 해야함이 안전하다고 하고 있다. 이러한 설계개념에 맞추어 고강도 콘크리트를 구조물에 적용할 경우 압축부재(주로 수직부재)에는 고강도 콘크리트를 사용하는 것이 구조적, 경제적으로 유리하며, 휨부재(주로 수평부재)에는 수직부재보다 낮은 강도의 콘크리트를 사용하는 것이 매우 경제적인 방법일 것이다. 그러나 수직부재(벽, 기둥 등)와 수평부재(보, 슬래브 등)에 각각 다른 강도의 콘크리트를 분리타설할 경우 수직부재에 타설한 콘크리트가 수평부재까지 흘러 들어가는 거리 및 시공성확보를 위한 적절한 기준치가 필요하게 된다. 또한 분리타설하는 고강도 콘크리트가 실제 구조물에 적용되기 위해서는 타설에 앞서 구조실험이 선행되어 구조적 안정성을 확보한 후 사용하는 것이 바람직하다고 여겨지며 특히 강도가 서로 다른 두가지 콘크리트의 경계면에 대하여 시공적 측면과 구조적인 측면에서의 연구가 절실한 상황이다.

이러한 점을 고려하여 ACI 318-89³⁾ 10.13R은 수직부재와 수평부재에 사용되는 콘크리트의 강도가 1.4배 이상 차이가 날 경우에는 수직부재면으로부터 수평부재쪽으로 2ft(60cm)이상의 내민길이를 확보하도록 규정하고 있지만 국내에서는 이러한 규정이 없

음은 물론이고 이를 그대로 받아들여 적용하기에 앞서 이 규정에 대한 검증은 통하여 안전하고 확실한 자료를 제시할 필요가 있다. 따라서 이러한 점을 확증하고 보완하기 위한 방법의 하나로써 실제 구조부재를 축소한 실험부재를 제작하여 수행한 실험결과를 고찰·분석하여 실제 건물에 고강도 콘크리트와 보통강도 콘크리트를 분리타설할 경우, 이에 대한 충분한 안전성과 시공성을 확보하는데 본 연구의 목적을 두고자 한다.

2. 시험체 계획

2.1 시험체의 일반적 사항

본 연구의 목적을 수행하기 위하여 R/C라멘 골조의 내부 보-기둥접합부로서 총 12개의 시험체를 제작하였으며 대상 시험체는 ACI 318-89 내진규정을 따라 계획하였다. 계획된 시험체의 크기는 기둥단면이 240×240mm, 길이 600mm이고 보 단면은 140×280mm, 길이 2120mm로서 전시험체가 동일한 크기를 가지며, 시험체 상세는 그림 1에 그의 특성은 표 1에 나타나 있다.

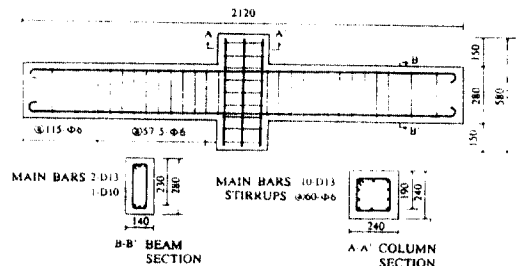


그림 1 시험체 상세도 (단위 ; mm)

* 한양대 대학원 건축공학과 박사과정

** 한양대 대학원 건축공학과 석사과정

*** (주)삼성종합건설 시험실, 과장

**** (주)삼성종합건설 기술연구소 선임연구원, 공박

***** 정희원 한양대 건축과 부교수, 공박

표 1 각 시험체별 특성

시험체	f _c (kg/cm ²)		a/d	내민길이 ft(cm)	전단보강비 (V _s =%)	하중재 하방법
	기둥	보				
MHJ1-A2M	530	270	3.5	2(60)	100	M*
MHJ5-A2M	530	270	3.5	2(60)	100	M
MHJ1-A1C	530	270	3.5	1(60)	0	C**
MHJ2-A1C	530	270	3.5	1(60)	25	C
MHJ3-A1C	530	270	3.5	1(60)	50	C
MHJ4-A1C	530	270	3.5	1(60)	75	C
MHJ5-A1C	530	270	3.5	1(60)	100	C
MHJ1-A2C	530	270	3.5	2(60)	0	C
MHJ2-A2C	530	270	3.5	2(60)	25	C
MHJ3-A2C	530	270 <</td <td>3.5</td> <td>2(60)</td> <td>50</td> <td>C</td>	3.5	2(60)	50	C
MHJ4-A2C	530	270	3.5	2(60)	75	C
MHJ5-A2C	530	270	3.5	2(60)	100	C

* M ; Monotonic Loading

** C ; One - Way Cyclic Loading

시험체 MHJ5-A1C는 다음을 의미한다.

MH ; Middle High Strength Concrete

J ; Beam - Column Joint

5 ; 전단보강비(V_s) (1 = 0%, 2 = 25%,
3 = 50%, 4 = 75%, 5 = 100%)

A ; 휨강성비(M_r = ΣM_c / ΣM_b) (A = 1.4)

1 ; 내민길이 (1 = 1, 2 = 2ft)

C ; 하중재하방법

(C = One-Way Cyclic Loadings,

M = Monotonic Loading)

이상과 같은 시험체 선정 및 시험체명에 따른 주요 변수를 내민길이, 하중재하방법, 전단보강비로하여 각 변수에 따른 시험체의 거동을 관찰하였다.

2.2 사용재료 및 배합

본 연구에 사용된 시멘트는 D사 1종 포틀랜드 시멘트이며 세골재는 강모래를, 조골재는 최대크기 25mm의 쇄석을 사용하였다. 혼화제는 나프탈렌계의 Super-20을 사용하였고, 콘크리트 제조단가절감 및 장기강도 증진을 위하여 고강도 콘크리트에는 충남 보령산의 유연탄계 플라이애쉬를 사용하였다. 사용된 철근은 기둥 주근으로 D13을, 보주근으로 D10과 D13(SD 40)의 이형철근을, 그리고 보의 전단보강근과, 기둥의 횡보강근은 Φ6(SD 40)의 원형철근을 사용하였다. 콘크리트 타설은 S사의 현장 B/P에서 레미콘을 이용하였으며 콘크리트 분리 타설면에서 콘크리트의 흐름을 방지하기 위하여 50×400×3mm의 합판을 배근된 철근사이에 끼워넣어 기둥에 고강도 콘크리트를 먼저 타설한 후 보통강도 콘크리트를 타설하였다. 콘크리트타설과 동시에 강도에 따라 KS F 2402에 따른 슬럼프시험을 실시하였다.

2.3 콘크리트 압축강도 시험

KS F 2404에 따라 Φ10×20cm의 콘크리트압축강도 측정용 공시체를 제작하여 1일간 대기 양생을 한 후 탈형하여 20~25°C정도의 온도에서 수중양생을

하였고, KS F 2405에 의해 재령에 따른 압축강도시험을 실시 하였다. 사용기기는 200ton용량의 U.T.M으로 하였으며 측정된 압축강도는 재령 28일에서 고강도 콘크리트가 550kgf/cm², 보통강도 콘크리트가 267kgf/cm²의 값을 나타내었으며 이를 KS F 2405에 따라 표준 공시체(Φ15×30cm)에 대한 보정계수 0.97을 곱하였을 때 각각 534kgf/cm², 259kgf/cm²의 강도를 나타내었다.

3. 시험체 설치 및 실험진행

3.1 시험체 설치

시험체의 설치상황은 그림 2에 나타나 있으며 하중재하에 따른 보단부 지지점의 회전율 측정하기 위하여 지지점 상부에 50mm의 Dial Gauge를 그리고 기둥의 처짐을 측정하기 위하여 기둥상부 전면에 100mm Dial Gauge를 설치하였다. 철근의 변형도를 측정하기 위하여 접합부내의 횡보강근과 보주근, 그리고 전단보강근에 총 7개의 Wire Strain Gauge를 부착하였으며 그림 3에 이들의 상세가 나타나 있다. 가력기기는 최대용량 100ton의 U.T.M.으로써 시험체를 U.T.M. Bed위에 양지지점을 맞추어 설치한 후 기둥면 상부 전체면에 고르게 가력하였으며 Dial Gauge 및 Strain Gauge는 Data Logger에 연결하여 이상유무를 확인한 후 영점조정을 하였다.

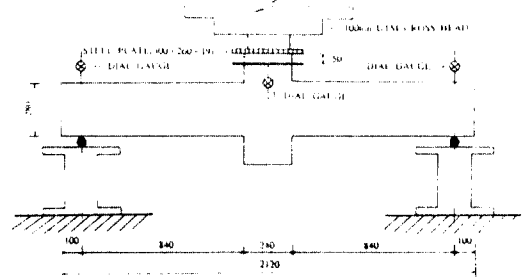


그림 2 시험체 설치상황

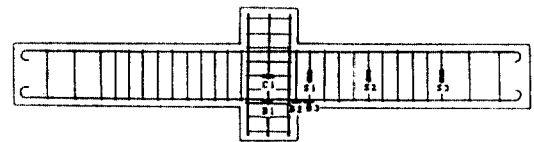


그림 3 Strain Gauges 부착위치도

3.2 실험진행

시험체를 설치한 후 일방향 단조하중을 받는 시험체는 보-기둥 접합면 예상최대하중의 1/3까지는 하중 조절에 의해 실험을 진행하였고, 이후부터 실험종료까지는 Logger에 의한 변위조절로서 진행하였다. 이외에 반복하중을 받는 모든 시험체에 대해서는 Data Logger에 의해 측정되는 변위연성증분비(δ/δ_y)에 따른 실험진행을 하였으며 같은 변위에서의 반복하중 재하는 매단계(Cycle Group)에 각각 3회씩 최소 12cycle, 최대 40cycle까지 가력하였으며 이에 따르

는 하중 이력(Loading History)은 그림 4에 나타나 있다.

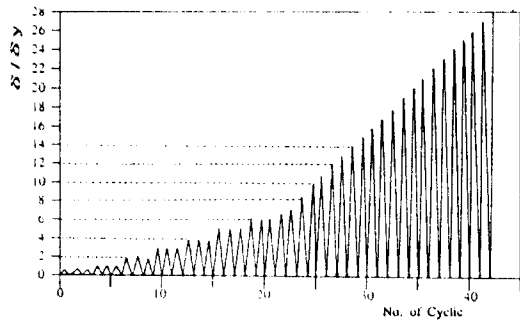


그림 4 Loading History

4. 실험결과 및 분석

4.1 일반적 파괴양상

실험이 종료된 각 시험체들의 최종파괴상황이 그림 5(a)~(l)에 나타나 있다. 실험시작 초기에 모든 시험체들은 보-기둥 접합면 하부에 초기 휨균열이 발생하였으며 일방향 단조하중을 받는 시험체는 접합면에서 초기 휨균열이 발생한 후 하중증가에 따라 휨균열이 발생하여 상부로 균열이 이동하며 균열폭이 벌어지기 시작하였다. 이외에 반복하중을 받는 시험체들은 변위연성비가 0.5인 1단계(1~3cycle)에서 보-기둥접합면에 초기 휨균열이 발생하였고 이후 하중증가와 함께 보 인장부에 휨균열이 발생하여 상부로 진전되었고, 하중의 반복재하가 계속되면서 최종적으로 휨 또는 전단파괴양상을 나타내었다.

4.1.1 하중재하 방법에 따른 영향

단조하중을 받는 시험체는 접합면과 보하부에서 발생한 초기휨균열이 압축부까지 이어지면서 전단보강비가 0%인 MHJ1-A2M 시험체는 전단파괴를 100%인 MHJ5-A2M 시험체는 휨파괴 양상을 나타내었다. 반면에 반복하중을 재하한 시험체는 접합면으로부터

약 10cm 떨어진 부분에서 대칭으로 발생한 휨균열이 서서히 사인장균열로 바뀌면서 최종적으로 휨파괴양상을 나타내었다.

4.1.2 전단보강비의 영향

전단보강비에 관계없이 모든 시험체는 변위연성비가 0.5인 1단계(1~3cycle)에서 접합면 하부에 휨균열이 발생하여 변위연성비가 증가함에 따라 균열이 진전되었다. 전단보강비가 0%인 시험체는 실험종료 직전 급격한 사인장 균열이 발생함과 동시에 인장부에서 콘크리트와 주근사이의 부착력이 감소하며 부착 균열이 발생하였고, 25%의 전단보강을 한 시험체는 변위연성비가 5인 6단계(16~18cycle)에서 휨균열이 사인장 균열로 이어지며 보의 상하부 주근면을 따라 수평균열이 길게 발생함으로써 부재는 전단파괴양상을 나타내었다. 그러나 이외의 시험체들은 하중증가와 변위연성비증가에 따라 휨균열이 압축균열선과 만나면서 압축파괴를 수반하는 휨파괴로서 거의 일정한 파괴양상을 나타내었다.

4.1.3 내민길이의 영향

내민길이가 2ft를 확보한 시험체들은 변위연성비에 따른 반복하중을 가하였을 때 나타나는 균열 진전 상태나 파괴양상은 2ft의 콘크리트 흐름면을 따라서는 거의 발생하지 않았고 보-기둥접합면으로부터 5~20cm의 부분에서 파괴가 집중되었다. 그러나 내민길이가 1ft인 시험체들은 1ft(30cm)의 내민길이면에서 휨 및 사인장균열이 발생하여 부재의 최종파괴로 이어졌다.

4.2 하중-처짐곡선

재하된 하중과 시험체의 중앙부(기둥)에서 측정된 처짐에 관한 하중-처짐곡선이 그림 6(a)~(l)에 나타나 있다. 일반적으로 변위연성비가 0.5인 1단계부터 변위연성비가 5와 6인 6~7단계까지는 하중수행능력이 증가하는 추세를 보이고 있으나 이후부터 실험종료 27단계에 이르기까지는 각 변수의 영향에 따른 하중수행능력이 약간 감소하면서 서로 다른 양상을 보이고 있다.

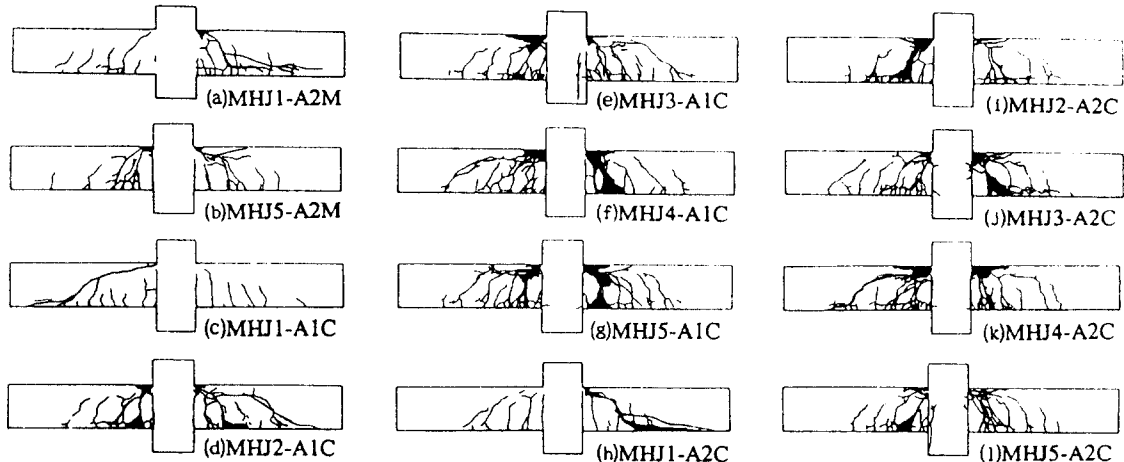


그림 5 각 시험체별 파괴형상(a)~(l)

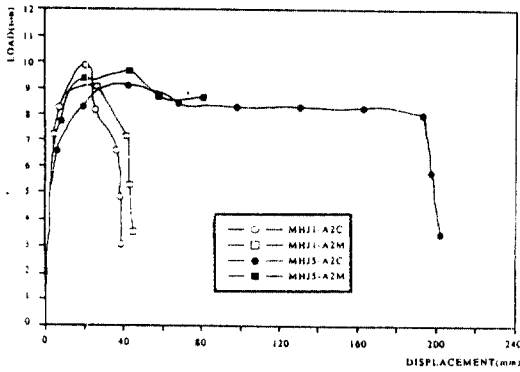


그림 6(a) 하중재하방법에 따른 하중-처짐곡선

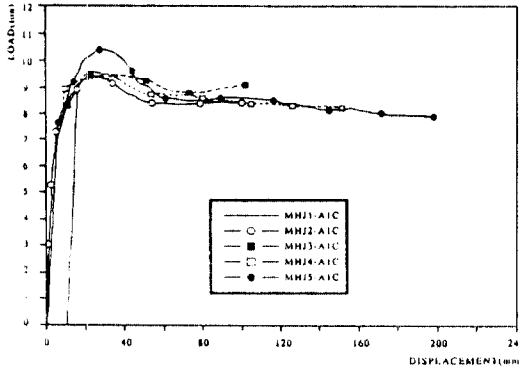


그림 6(b) 하중-처짐곡선(내민길이가 1ft인 시험체)

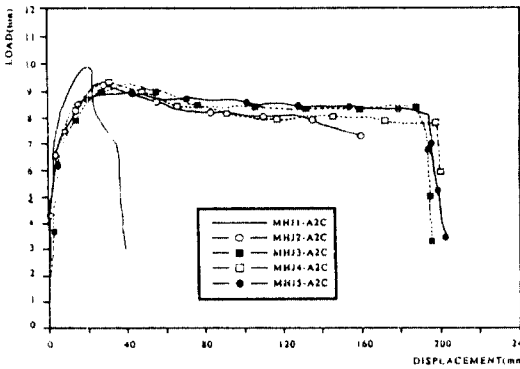


그림 6(c) 하중-처짐곡선(내민길이가 2ft인 시험체)

4.2.1 전단보강비에 의한 영향

내민길이가 1ft인 시험체들은 접합부 주근의 항복이전까지는 거의 비슷한 기울기를 가지고 있으며, 항복 후 최대하중까지는 전단보강비가 75%인 시험체를 제외하고는 완만한 기울기로 증가하였다. 그 이후 시험체의 하중부담능력은 전단보강비가 75%인 시험체가 거의 일정한 곡선의 진행상태를 나타내고 있고, 전단보강비 100%인 시험체는 22Cycle정도까지는 급한 기울기의 감소현상을 보이다가 이후 일정한 하중을 부담하며 진행되는 것을 알 수 있지만 전단보강비가 25%와 50%인 시험체에 있어서는 약간 불안정한 하중부담능력을 나타내며, 중앙부 처짐 또한 하중재하에 따라 불안정함을 보여주고 있다.

내민길이가 2ft인 시험체들의 하중수행능력은 보-기둥 접합면 보주근의 항복이후 최대하중까지는 비슷한 기울기를 가지고 증가하였지만, 최대하중 이후는 전단보강비가 75%인 시험체는 급격한 하중감소 후 다시 서서히 증가하였고, 전단보강비가 100%인 시험체는 변위연성비가 9단계(24cycle)까지는 급한 감소를 보이다가 시험체가 최종파괴에 이를때까지는 일정한 하중수행능력을 나타내었으며, 전단보강비가 50%인 시험체는 부재의 최종파괴까지 거의 일정한 하중수행능력을 나타내었다. 전단보강이 전혀없는 시험체나 25%의 전단보강을 한 시험체는 급격하게 하중수행능력이 감소하는 현상을 나타내었다.

4.2.2 내민길이의 영향

모든 시험체의 보-기둥 접합면 주근의 항복하중은 별반 차이가 없었으나 항복시의 변형은 내민길이가 1ft에서 2ft로 증가함에 따라 작아지고 있다. 그러나 부재의 항복하중 이후 최대하중과의 차이는 내민길이가 증가함에 따라 더욱 커지고 있음을 알 수 있다.

4.3 연성능력

부재의 연성은 '처짐'으로 보통 표현되어지며, 연성을 평가하는데 있어서는 부재의 항복시의 처짐을 기준으로 하여 부재 최대하중시의 처짐과 부재의 최종처짐, 그리고 최대하중 이후 하향곡선을 따라 최대하중의 80%에서 부재의 처짐을 고려하여 부재의 연성을 다음과 같은 식으로 나타낼 수 있다⁴⁾.

$$\mu_0 = \Delta_0 / \Delta_y \quad \text{----- (식 1)}$$

$$\mu_f = \Delta_f / \Delta_y \quad \text{----- (식 2)}$$

, 여기서 Δ_y = 부재항복시의 처짐
 Δ_0 = 최대하중시의 처짐
 Δ_f = 최대하중의 80%에서의 처짐

표 2 각 시험체별 연성지표(μ_f)

시험체	Δ_y (mm)	Δ_0 (mm)	Δ_f (mm)	$\mu_0 = \Delta_0 / \Delta_y$	$\mu_f = \Delta_f / \Delta_y$
MHJ1-A2M	3.98	21.09	29.52	6.63	7.42
MHJ5-A2M	5.62	44.29	80.68	7.88	14.36
MHJ1-A1C	4.98	15.29	15.90	3.07	3.20
MHJ2-A1C	6.04	24.51	95.27	4.06	15.77
MHJ3-A1C	5.76	24.26	100.99	4.21	17.53
MHJ4-A1C	5.01	31.27	150.33	6.24	30.00
MHJ5-A1C	4.34	28.06	128.80	6.46	29.68
MHJ1-A2C	4.01	19.60	27.32	4.89	6.81
MHJ2-A2C	4.44	28.06	133.23	6.31	30.00
MHJ3-A2C	5.32	41.80	195.02	8.00	37.36
MHJ4-A2C	4.69	32.27	196.31	6.88	41.86
MHJ5-A2C	5.54	42.26	191.99	7.63	34.66

4.3.1 하중재하방법에 따른 영향

전단보강비가 0%인 시험체는 단조하중을 받는 시험체보다 반복하중을 받는 시험체의 연성능력이 다소 감소함을 알 수 있었고, 전단보강비가 100%인 시험체의 연성지표는 단조하중을 받는 시험체가 14.36을 반복하중을 받는 시험체가 34.66을 나타내어 반복하중의 경우가 단조하중의 경우보다 약 2.1배 높게 나타나고 있다. 이는 일방향으로 반복하여 재하함에 따라 응력의 재분배가 이루어져 시험체의 연성능력이 향상되기 때문인 것으로 사료되며, 이에 대한 결과가 그림 7에 나타나 있다.

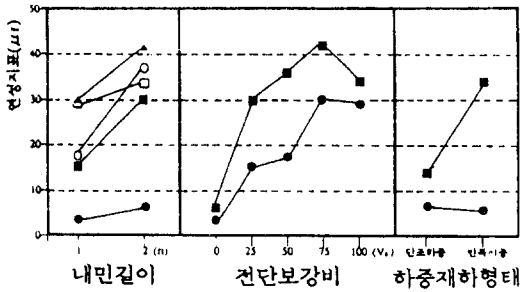


그림 7 연성지표

4.3.2 전단보강비에 의한 영향

내민길이가 1ft인 시험체들의 연성능력은 전단보강비가 75%와 100%인 시험체는 거의 비슷한 능력을 보이며 0%일때에 비하여 9.38배의 높은 증가를 나타내고 있으며, 내민길이가 2ft인 시험체의 경우 전단보강비가 75%인 시험체의 연성지표는 41.68로서 전단보강이 전혀없는 시험체의 경우보다 약 6.14배 높은 값을 나타내고 있으며 전단보강비가 75%까지는 연성지표가 비례적으로 증가하나 100%에서는 약간 감소함을 알 수 있었다. 따라서 전단보강근의 유무는 최대하중에는 관련이 없으나 연성지표의 크기에 절대적으로 영향을 미치는 것을 알 수 있었고 그림 7에 나타난 것처럼 연성지표는 전단보강비에 따라 대체적으로 비례하는 것을 알 수 있다.

4.3.3 내민길이의 영향

내민길이가 1ft인 시험체들의 연성능력은 2ft의 내민길이를 가지는 시험체들의 연성능력보다 크게 떨어짐을 알 수 있는 데 이는 내민길이를 1ft로 하였을 경우 대부분의 시험체가 내민길이면에서 균열이 집중되어 전단파괴를 함으로써 연성능력이 감소된 것으로 사료된다.

5. 결론

고강도 콘크리트(530kgf/cm²)와 보통강도 콘크리트(270kgf/cm²)를 분리 타설한 시험체의 구조부재실험을 수행한 본 연구의 결론은 다음과 같다.

- 1) 일방향 단조하중을 받는 경우가 반복하중을 받는 경우보다 약간 높은 하중 수행능력을 나타내면서 휨파괴 양상을 보여주었으나 반복하중을 받는 시험체는 약간의 전단파괴를 수반하는 휨파괴양상을 나타내었다.
- 2) 반복하중을 받는 시험체의 최종파괴양상은 휨-전단균열이 발생하였으며 특히 접합면으로부터 5~20cm에 집중적인 피해가 발생하는 것으로 나타났다.
- 3) 보-기둥 접합면으로부터 내민길이가 1ft(30cm)인 면에서는 균열이 대부분 발생하여 내민길이를 1ft로 하였을 경우는 부재의 안전성에 상당히 불리한 영향을 미칠 것으로 사료된다.
- 4) 기둥경계면으로부터 내민길이가 2ft(60cm)인 면에서 균열이 거의 발생하지 않아 ACI에서 제한한 내민길이 2ft의 규준은 안전한 것으로 보여진다.
- 5) 전단보강비가 75%인 경우까지는 전단보강비가 증가함에 따라 부재의 연성능력이 증가하는 것으로 나타났으나 100%의 전단보강을 하였을 경우는 약간 감소하는 것으로 나타났다.

감사어휘

본 연구를 위한 시험체 제작시에 현장 B/P를 사용하도록 도움을 주신 (주)삼성종합건설 기술연구소와 직원 여러분께 감사드립니다.

6. 참고문헌

- 1) "Recommendations for Design of Beam-Column Joints in Monolithic Reinforced Concrete Structures", ACI-ASCE Committee 352, 1985
- 2) 신성우 외 3인, "반복하중을 받는 고강도 철근 콘크리트 보-기둥 접합부의 휨강성비에 관한 연구" 한국 콘크리트학회 학술발표 논문집, 제 2 권 제 2 호 1990. 11, pp. 63~67
- 3) ACI 318-89, "Building Code Requirement for Reinforced Concrete and Commentary - ACI 318-89", ACI, detroit, MI.
- 4) Shin. S. W., Ghosh. S. K., Karama M., "Flexural Ductility Strength Prediction and Hysteretic Behavior of Ultra-High Strength Concrete Members", SP 121, ACI, detroit, MI., 1990, pp. 239~264