

프리캐스트 보와 충전형 鋼管 기둥 접합부의 거동에 관한 실험적 연구

The Experimental study on the behavior of Precast Girder-Infilled Steel Tube Column joint

정 재 우* 박 성 무**
Jeong, Jae Woo Park, Sung Moo

Abstract

This study is to examine the usefulness in using precast girder-infilled steel tube column in reinforced concrete structures through the analysis of the test results, in order to develop the new composite structural system using Precast girder-Infilled steel tube column. The variables of specimen are strength of concrete, the number of hoops, the form of beam-column joints.

From the test results, We have the following results. The first failure was occurred vertically at beam-column joint. Maximum strength of specimens was mainly decided on concrete strength of beam-column joints, and ductility of specimens was decided on the number of hoops in beam-column joint. By raising strength of concrete and increasing number of hoops in beam-column joint, it becomes clear to take similar structure capacity to monolithic structures.

1. 서 론

근래에 들어 건축 구조 분야에서는 새로운 재료를 사용한 구조의 개발과 함께 기존 재료를 짜 맞춰서 과거에는 얻을 수 없었던 성능을 건축물에 부여하려고 하는 움직임이 활발하다. 또한 고강도의 재료와, 거푸집을 사용하지 않고 공기를 단축시키며 부실공사 방지 및 시공이 용이한 공법을 개선시키려는 움직임도 일어나고 있다. 이러한 움직임으로 인해 Precast(이하 PC) 공법이 많이 개발되고 있다. PC공법은 철골공법에 비해 경제적이고 공장 생산제품으로 작업 환경이 일반 공법에 비하여 양호하며, 현장에서 빠른 조립으로 공정이 효율적이다. 또한 기계제작에서 N.C의 도움을 받는것 처럼 CAD-CAM의 도움을 받을 수 있으므로 건설노임이 계속 상승하고 있는 이런 당면한 건설상황이 PC공법을 필요로 하는 이유이다. 하지만 정작 PC부재

는 판 구조물에 주로 사용되고 라멘골조에는 쓰여지더라도 PC기둥과 PC보의 접합부에 대해서만 실험적 연구자료들이 있을 뿐 PC를 사용한 다른 혼합골조시스템에 대한 연구가 거의 없는 실정이다. 본 연구는 PC Girder와 현장타설 콘크리트 충전형 강관기둥을 사용하여 PC기둥과 PC보 접합부의 문제점을 보완하고 시공성을 높여서 실용화하기위해 PC Girder와 현장타설 콘크리트 충전형 강관기둥으로 된 접합부의 역학적 거동을 접합방법, 접합부 기둥부분의 후프근 간격 변화, 콘크리트 강도변화, 보-기둥 접합 형태, 등을 변수로 한 실험이다. 이들 변수에 따른 특성들의 규명과 최대 내력을 산정하고, 강성저하율과 변위 연성도등을 구해서 시공의 용이성, 구조적 안정성 등을 검토하여 PC Girder와 충전형 콘크리트 강관기둥으로 된 혼합골조 시스템 개발의 기초자료로 삼는것이 그 목적이다.

* 嶺南大 大學院 建築工學科 碩士課程

** 正會員, 嶺南大 建築工學科 副教授, 工博

※ 본 논문은 과학기술정책관리연구소와 (주)청구의 지원하에 이루어진 논문임

2. 실험

2.1 실험체 계획 및 제작

실험체는 ϕ -355.6×6.4mm의 중진형 콘크리트 강관 기둥과 300×500mm의 장방형 단면보를 가진 라멘구조의 보-기둥 접합부로서 표.1과 같이 8개의 실험체를 계획하였다.

표.1 실험체 일람표

	Fc (kg/cm ²)	HOOP (mm)	접합 방법	접합 형태	비 고
CTUA-1	210				
CTUA-2	270	D ₁₀ -@125			
CTUA-3	350				
CNCA-1	270	D ₁₀ -@500	정 착	CROSS형 접 합	CTUA-2 와 동일
CNCA-2		D ₁₀ -@250			
CNCA-3		D ₁₀ -@100			
CNCA-4		D ₁₀ -@125			
CNUW		D ₁₀ -@125	Welding		CTUA-2 와 동일
CNUW-1		D ₁₀ -@125			
TNUA	270	D ₁₀ -@125	정 착	T형 접합	

• PC보 Size (mm) : b×d = 300×500
 • 강관 Size (mm) : ϕ -355.6×6.4

구분 번호

C T U A - 1

————— 접합 방법 (Anchor, Welding)
 ————— HOOP 간격 (Uniform distance : D₁₀-@125
 Change of stirrup distance)
 ————— 콘크리트 강도 (Normal comp strength of conc : Fc 270
 Transformation comp strength of conc)
 ————— 접합부 형태 (T형, Cross형)

CTUA-1, 2, 3 실험체는 보-기둥 접합부 콘크리트강도를 변수로 둔 실험체이며 (CNCA)-1, 2, 3 는 접합부내에 들어간 스티럽 수를 변수로 둔 실험체이며 CNUW는 그림.3과 같이 보 상단근의 2개씩 용접하고 하단근은 정착시킨 실험체이며 TNUA는 최상층의 보-기둥 접합부를 나타낸 실험체이다. 실험체 전 체적은 CROSS형의 경우 약 0.509 m³이고 T형의 경우 약 0.459 m³이며, 무게는 각각 1.223 tons 및 1.162 tons이다. 기둥의 단면치수는 8개 실험체 모두 ϕ -355.6×6.4mm의 콘크리트 중진 강관 기둥이며, 보의 치수는 300×500mm로 그림.1, 2와 같이 기둥과 보의 Cross형 접합, T형 접합의 두가지 형태로 접합하였다. 이는 기준층과 최상층, 두가지 상황에서의 접합부 형태를 나타낸다.

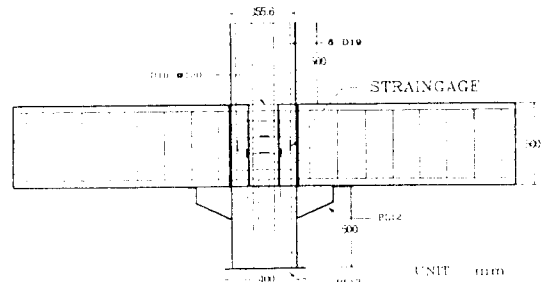


그림.1 CROSS형 접합 (CNCA-3)

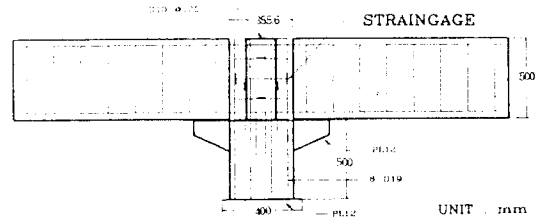


그림.2 T형 접합 (TNUA)

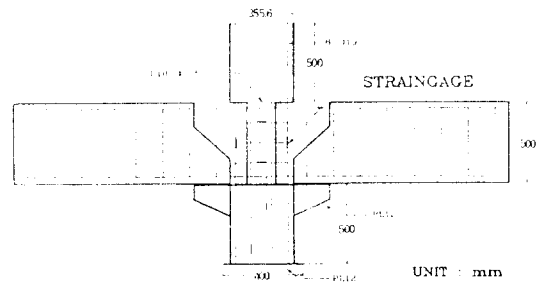


그림.3 CNCA-3 실험체 접합형상

실험체의 배근형식은 보 주근의 경우 2 종류로 배근되어있다. 보 주근(D₁₀)의 배근 간격은 상단근이 정착시키는 경우 110mm (3-D₁₀) 이고, 용접시키는 경우 75mm (4-D₁₀) 이다. 하단근은 전부 110mm 간격이다. 정착시키는 경우 보 주근의 정착길이는 상단근의 경우 약 45d.

하단근의 경우 약 25d로 하였다. 그리고 기둥의 중심선을 넘어서 (상단근:250mm, 하단근 : 200mm) 정착시켰다. 용접시키는 경우는 하단근은 정착시키는 경우와 동일하나 상단근은 약 12d (230mm) 길이로 용접시켰다. 스티립(D₁₉)의 간격은 150mm 이며, 보 전부가 동일하게 배근되었다. 보의 순 피복 두께는 30mm 이다. 기둥 부분에 사용된 철근의 역학적 성질은 보와 동일하며, 강관 내의 콘크리트 충전부분에 D₁₉의 주근과 접합부 부분에 D₁₉의 HOOP근으로 배근되었다. 기둥 주근은 6-D₁₉로 철근비가 1.734% 이고, HOOP근은 접합부내에만 들어가며, @125의 일반 배근 간격과 변수에 따른 @500, @250, @100으로 배근되었다.

실험체의 제작은 보의 경우 충청북도 음성소재 (주)청구 PC 공장에서 제작되었으며, 콘크리트의 타설 이후에 하루 10시간씩 2일 동안 증기양생을 시킨 후 탈형시켰다. 기둥과 접합부 부분은 영남대학교 구조 실험실에서 강관과 보를 조립 후 콘크리트를 타설하였다.

2.2 재료의 강도

보의 콘크리트 배합은 (주)한성에서 제공한 배합 계산서를 따랐다(표 2). 동 배합은 콘크리트의 설계압축강도로 300kg/cm² 을 주는데 있다. 최대 골재 치수는 15mm이며, 슬럼프값은 120mm이다. 기둥과 접합부 부분은 (주)동문사에서 출판된 건설재료학의 배합식에 따라 계산하였으며, 최대 골재 치수는 25mm이고 슬럼프 테스트는 KSF 2402에 따라 실시하였으며 그 값은 100mm이다. 설계강도는 변수에 따라 210kg/cm², 270kg/cm², 350kg/cm² 으로 하였으며 실험체 콘크리트 타설과 동시에 압축강도 시험용 공시체를 KSF 2405에 따라 100×200mm 볼트를 사용하여 제작하였다. 콘크리트 배합비와 28일 강도는 시험결과 표.2-(a),(b), 표.3과 같다. 보 주근 및 기둥 주근, 스티립 철근의 설계항복강도는 4000

표.2-a : 기둥 및 접합부 부분 콘크리트 배합비

배합 강도 (kg/cm ²)	중량배합 (kg/m ³)						중량비합 (kg/m ³)		
	W/C (%)	골콘골재 최대치수 (mm)	골재량 범위 (%)	슬럼프 범위 (cm)	산골재 율 (%)	시멘트 율 (%)	골 율	골콘 골재	산골재
210	51.2	25	1.5	10	41	342	175	1098	749
270	44.8	25	1.5	10	41	391	175	1075	733
350	38.4	25	1.5	10	41	456	175	1042	710

표.2-(b) PC보 콘크리트 배합비

크기 : 25×30×12	골재치수 : 25 mm	슬럼프 : 120	용기량 : 20
설계강도(F _c) : 300	최대 골재 치수	최대 골재 치수	시멘트 강도(F _c) : 3300 kg/cm ²
시멘트비율 : 31.5	산골재비율 : 2.60	골재비율 : 2.63	산골콘골재율 : 2.20
W/C : 61	골콘골재비율 : 1.18	골콘비율 : 3.00	1.18 × 3.00 = 4.140
W/C : 61	[25% × 0.34] + 61 / [35.0 / 350 × 0.34] = 39.3 %		
S ₁ = S ₂ = S ₃ = 120	0.0	12.1	0

표.3 기둥 및 접합부 콘크리트 28일 강도

	F _c (kg/cm ²)	28일 압축강도 (kg/cm ²)	탄성계수 (1/cm ²)	비 고
CTUA-1	210	213.9	144.82	
CTUA-2	270	298	149.92	
CTUA-3	350	366	144.85	
CNCA-1	270	288.7	143.28	
CNCA-2		278	143.37	
CNCA-3		284.05	146.50	
CNCA-4		298	149.92	CTUA-2와 동일
CNUW		269	140.75	
CNUW 1		298	149.92	CTUA-2와 동일
TNUA		270	256	144.76

kg/cm²인 이형철근이며, 역학적 성질은 표.4와 같다.

표.4 철근의 역학적 성질

철근종류	항복강도 (kg/cm ²)	항복변형도 (%)	탄성계수 (1/cm ²)	인장강도 (kg/cm ²)
D19	4086.0	5.625.0	1.9800	6286.0
D19	4280.5	6.416.4	1.9080	6522.1

2.3 가력 및 데이터 측정방법

1) 실험체 설치

가력장치는 그림.4와 같이 가력프레임과 2개의 복동식 유압잭, 1개의 편동식 유압잭으로 구성되어 있으며 가력프레임은 4개의 철골기둥으로 지지되어 있다. 실험체는 프레임내에 기둥부

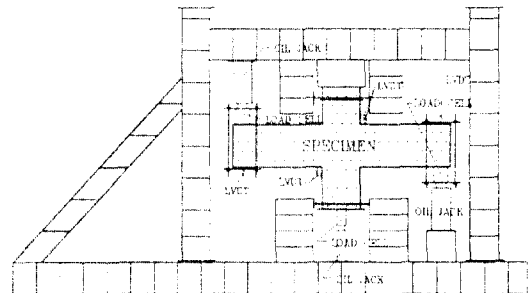


그림.4 실험체 가력장치

분을 수직으로 세워 설치하였으며 기둥의 상,하부에 힌지를 사용하여 고정하였다.

2) 데이터 측정방법

변위계의 배치는 보의 처짐을 측정하기위해 보의 양단부에 100mm 전기식변위계(LVDT) 2개와 접합부의 회전각을 측정하기위해 50mm LVDT 2개와 25mm LVDT 2개를 각각 보와 기둥에 설치하였다(그림. 5). 철근의 변형도 측정위치는 접합부내의 후프근, 보 상부주근에 스트레인 게이지를 설치하여 측정하였다.

3) 가력순서 및 방법

그림.4와 같이 기둥 좌,우 보의 단부에 로드셀(Load Cell)과 100t, 200t 유압잭을 일체로 하여 설치하고 그림.5에서 정의한 변형각을 기준으로 변위제어법을 사용하여 가력하였다. 반복하중의

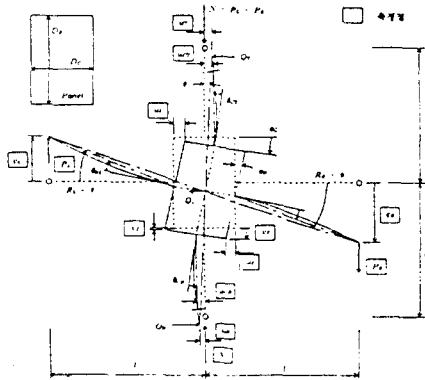


그림5 변위 측정

가력순서는 그림.6과 같다. 실험체 수직하중은 기둥 극한내력의 10% 내외로 축하중($0.1 P_0$)을 일정하게 유지하고, 보의 양쪽 자유단에서 반복하중이 가력되어진다. 1개의 Vertical Oil Jack이 하부 기둥 밑면에

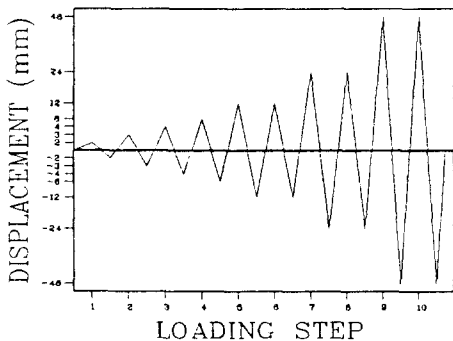


그림6 재하이력 순서

설치되어 축하중을, 보 양단에 Oil Jack을 설치하여 모멘트 및 전단력을 Load Cell로 측정한다.

3. 실험결과 및 분석

3.1 균열발생 및 파괴상황

정(+), 부(-) 반복하중이 작용하는 동안 생기는 균열은 재하초기에는 모든 실험체에서 유사한 형태로 진전되어 갔으나 재하 후반부에서는 콘크리트 강도를 변수로 둔 실험체들의 균열이 다른 양상을 보였다. 균열발생순서는 PC보와 기둥접합부 전단균열→보의 휨균열→기둥의 접합부 부분 휨균열의 순서로 발생하였으며 PC보와 기둥접합부 전단균열은 $R=1/200 \sim 1/300$, 보의 휨균열은 $R=1/100$ 에서 발생하였다. CTUA-1 실험체는 기둥의 접합부 부분이 최종파괴 했으나 CTUA-3실험체는 보의 휨 전단에 의한 파괴양상을 나타내었으며, CTUA-2, C NCA-1, 2, 3, CNUW 실험체는 접합부 전단 및 보의 휨 파괴가 최종파괴 양상이었다. 파괴양상으로 접합부에 영향을 미치는 것은 콘크리트의 강도로 유추된다.

3.2 하중-변위 관계

실험체들의 강도는 압축가력시 변위가 48mm (+9 Cycle)에서 가장 크게 나타났다. 콘크리트 강도를 변수로 둔 실험체들 사이에서는 최대강도의 차이가 났으나 접합부내에 들어간 후프근 수를 변수로 둔 실험체들은 최대강도가 거의 일정하게 나타났다. 그림.7은 TNUA 실험체의 하중-변위곡선을 나타내고 있다.

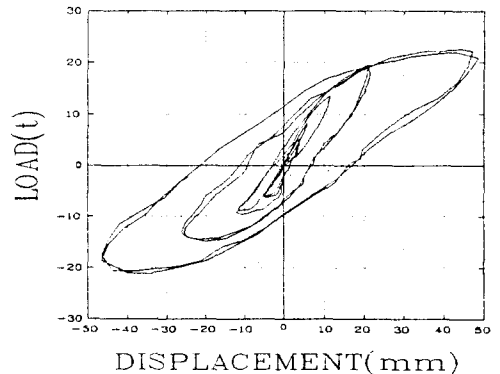


그림7 TNUA 실험체의 하중-변위 곡선

3.3 연성도(Ductility)

각 실험체의 연성도는 항복하중시의 변위에 대한 최대하중시의 변위의 비로 나타내었는데, 항복하중은 하중-변위관계 그래프에서 구하고, 최대하중의 경우는 실험범위 내에서 최대로 나타난 하중값을 최대하중으로 가정하여, 그 때의 변위를 사용하였으며 표.5는 접합부내에 들어간

표.5 후프근을 변수로 둔 실험체의 연성도 비교

Type	항복 변위 (mm)	최대 변위 (mm)	연성도
CNCA-1	11.99	48.074	4.01
CNCA-2	12.02	48.06	4.0
CNCA-3	5.57	48.11	8.64
CNCA-4	6.15	48.95	7.95
TNUA	12.37	48.34	4.01

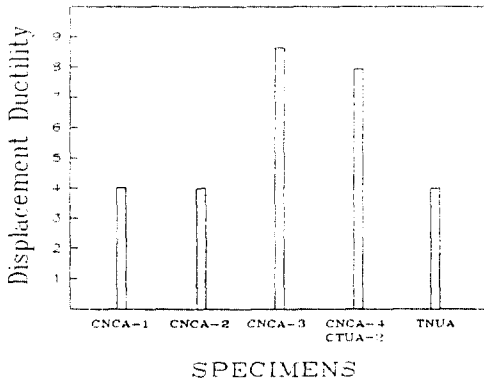


그림.8 후프근을 변수로 둔 실험체의 연성도 비교

후프근수를 변수로 한 시험체들과 접합형태를 변수로 한 시험체의 연성도이며 이들의 비교를 그림.8에 나타내었다. 그림에서도 보여지듯이 접합부의 연성은 접합부의 후프근수에 크게 기인한

표.6 각 실험체의 연성도

Type	항복 변위 (mm)	최대 변위 (mm)	연성도
CTUA-1	5.99	48.59	8.11
CTUA-2	6.15	48.95	7.95
CTUA-3	6.05	48.35	7.98
CNCA-1	11.99	48.074	4.01
CNCA-2	12.02	48.06	4.0
CNCA-3	5.57	48.11	8.64
CNUW	6.04	48.47	8.03
TNUA	12.07	48.34	4.01

다. 후프근이 없는 CNCA-1시험체와 후프근 간격이 250mm인 CNCA-2시험체는 연성이 거의 같고, 후프근 간격이 125mm인 CNCA-4시험체의 연성은 CNCA-1시험체에 비해 약 1.99배 높은 값을 보여주고, 후프근 간격이 100mm인 CNCA-3시험체는 약 2.17배 높은 값을 보였다. 표.6에서는 각 실험체의 연성도를 나타내고 있으며, 여기서 볼 수 있듯이 콘크리트의 강도가 같은 실험체들의 연성은 모두 유사하다.

3.4 강성저하율

하중-변위관계에서 각 사이클마다 (+)가력시 최대변위점과 (-)가력시 최대변위점을 연결한 선의 기울기(Secant Stiffness)를 계산하여 표.7에 나타내었다. 각 사이클의 강성을 각 실험체

표.7 각 사이클당 Secant Stiffness

	1:600	1:400	1:300	1:200	1:150	1:10	1:25
CTUA-1	9.41	9.27	8.64	7.68	6.57	5.89	5.07
CTUA-2	11.86	11.09	10.25	9.08	7.83	7.37	6.42
CTUA-3	12.99	11.75	10.9	10.01	8.43	7.79	6.40
CNCA-1	12.56	12.1	10.41	10.19	9.09	7.06	7.71
CNCA-2	12.51	11.64	11.53	10.62	9.57	8.19	7.41
CNCA-3	11.47	10.8	10.74	10.61	9.71	8.33	6.57
CNUW	13.59	12.39	11.75	11.01	10.40	9.01	7.62
TNUA	5.71	5.402	5.22	4.95	4.46	4.09	3.13

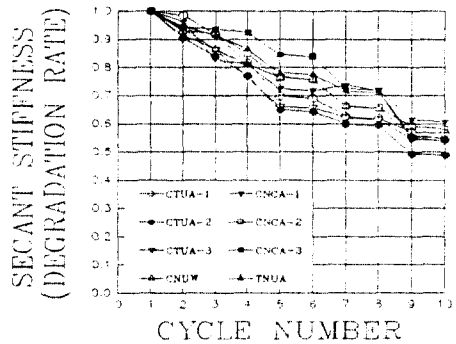


그림.9 각 실험체의 강성 저하율

의 최초사이클에 대한 비로 나타낸 그래프를 그림.9에서 보여주는데 강성의 저하율은 TNUA 실험체를 제외한 모든 실험체에서 거의 동등한 경향을 나타내고 있다. 표.8과 그림.10은 콘크리트 강도를 변수로 둔 시험체들의 최대 강도와 선의 기울기(Secant Stiffness)를 각 사이클마다 비교하여 보여주고 있다. 여기서는 접합부의 사이클

표 8 콘크리트 강도를 변수로 둔 실험체의 최대강도, Secant Stiffness 비교

	1/900	1/400	1/300	1/200	1/100	1/50	1/25	최대 강도 (%)
CTUA-1	9.41	9.27	9.64	7.68	6.57	5.89	5.37	32.17
CTUA-2	11.86	11.09	10.25	9.38	7.83	7.37	6.42	35.53
CTUA-3	12.99	11.75	10.9	10.01	3.43	7.79	6.47	39.19
TNUA	5.71	5.402	5.22	4.95	4.46	4.09	3.13	23.16

당 기울기의 크기는 콘크리트의 강도에 비례하였다.

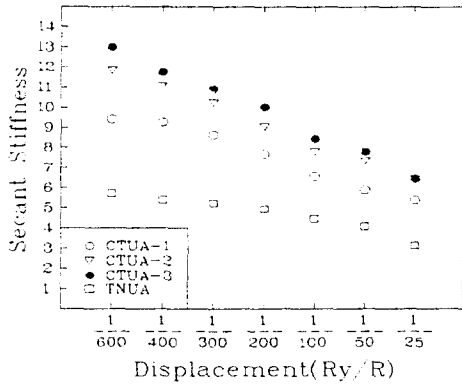


그림 10 콘크리트 강도를 변수로 둔 실험체의 Secant Stiffness 비교

4. 결론

PC보와 충전형 콘크리트 강관기둥 접합부 실험체의 구조적 성능을 분석, 고찰하는데 있어서 실험을 통해 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) 접합부 부분의 콘크리트 강도를 변수로 둔 실험체들의 균일과 파괴양상을 비교해보면 접합부의 콘크리트 강도가 PC보 보다 낮은 실험체는 접합부에서 초기균일이 생기고, 파괴에 이르면 반면 접합부의 콘크리트 강도가 PC보 보다 높은 실험체는 초기균일은 접합부에서 생기지만 파괴는 보 부분에서 휨-전단에 의한 큰 사균일의 발생에 의해 일어났다.

2) 접합부내의 후프근을 변수로 둔 실험체는 후프근의 수가 최대강도에는 크게 영향을 미치지 못하지만 후프근 수가 증가 할수록 연성이 커지는 양상을 나타내었다.

3) T형 실험체는 접합부에 같은 콘크리트강도(270kg/cm²)를 사용한 CROSS형 실험체들 보다 하중-변위 곡선의 기울기(Secant Stiffness)가 훨씬 작다는 것을 알 수 있었고 최대하중이 다른 실험체들 보다 60%정도 감소되었다.

4) CNUW실험체와 같이 용접하는 경우는 일반적으로 정착시키는 경우와 비교하여 최대강도와 연성 등에는 거의 영향을 미치지 않는다.

또한 실험결과 분석으로 PC보와 기둥면 접합부의 HOOP근의 보강과 강도를 키워주면 일체식 구성과 비슷한 구조적 성능을 얻을 수 있으리라 사료된다.

参考文献

1. PCI Committee, "Precast and Prestressed Concrete Design Handbook", PCI Institute, Chicago, 1985
2. ACI-ASCE COMMITTEE 352, "Recommendations for Design of Beam-Column Joints in Monolithic Reinforced Concrete Structures," ACI Journal, 1985
3. BSI, "The Structural Use of Concrete : C.-P.110", British Standards Institution, London, 1972
4. 日本建築學會, "プレキャストコンクリート組立床構造設計規準・同解説"
5. 건설부, "프리캐스트 콘크리트 조립식 건축구조설계기준 및 해설", 1992. 4
6. 우종열, "반복하중을 받는 철근콘크리트 보-기둥 접합부의 비탄성거동" 1989.