

콘크리트 충전강관 기둥과 PC 철근 콘크리트 보 접합부의 개발에 관한 연구(I)

- 단면형상 및 축력비를 변수로 한 접합부 모델의 적합성 검토 -

A Study on Development for Joint of Concrete Filled Steel Tube Column and P.C Reinforced Concrete Beam(I)

The Investigation of Propriety for Model of Beam-to-Column
Joint with Key Parameters, such as Section Type and Axial Force Ratio

박 정 민¹⁾ · 김 화 중²⁾
PARK, Jung Min KIM, Wha Jung
문 태 섭³⁾ · 김 규 석⁴⁾
MOON, Tae Sup KIM, Kyu Suk

ABSTRACT : This paper investigated structural behaviors of joint of concrete filled steel tube column and P.C reinforced concrete beam through a series of hysteretic behavior experiment.

The results are summarised as follows :

① The joint stiffness of concrete filled square steel tube column and P.C reinforced beam was higher than that of concrete filled circular steel tube column and P.C reinforced beam, and it was decreased as the increase of the number of hysteretic cycle.

② The aspects of the hysteretic behavior in the joint was stable as the increase of the number of hysteretic cycle, and rotation resisting capacity of joint of concrete filled square steel tube column and P.C reinforced concrete beam was higher than those of the concrete filled circular steel tube column and P.C reinforced concrete beam.

③ Some restriction must be put upon the ratio of axial force in this joint model because the load carrying capacity was decreased by flexural and flexural-torsional buckling in case of the ratio of axial force 0.6.

④ The emprical formula to predict the ultimate capacity of joint model to superimpose shearing strength of steel web(H section) and bending strength of reinforced concrete beam was expected.

1) 경북전문대 건축과 전임강사, 공학박사
2) 경북대 건축공학과 부교수, 공학박사
3) 한양대 건축공학과 교수, 공학박사
4) 동국대 건축공학과 교수, 공학박사

이 논문은 1996년도 한국학술진흥재단의 공모과제 연구비에 의하여 연구되었음

1. 서 론

충전형 강관 콘크리트 기둥을 사용한 골조는 기둥으로는 콘크리트 충전 강관 기둥을 사용한 것이 많으며, 보로서는 철골조가 가장 일반적이지만 철골콘크리트조, 철골철근 콘크리트조, 철근 콘크리트조를 생각할 수 있다.

이와 같이 이종의 구조 부재로 구성된 혼합구조에 있어서 문제로 되는 것은 이러한 이종 부재 사이의 응력 전달기구를 밝히는 것과 함께 합리적인 보기둥 접합부 모델의 개발에 있다. 본 논문에서는 이러한 관점에서 현시점에서 우리나라에서 지향하고 있는 고층 구조물의 구조 시스템에 대한 기존의 공법을 개선하고 성능을 향상 시킬 수 있는 부분적인 PC 부재를 사용한 복합구조 시스템으로의 적용성을 위한 것으로, 보기둥 접합부의 축소 모델 실험을 통한 그 거동 성상을 파악하기 위한 것이다.

본 논문에 있어서 보기둥 접합부의 구성은 먼저 기둥의 경우 건물이 고층화 될 경우 저층부에는 상당한 축압을 받게 되므로 철근 콘크리트조의 기둥으로 하게 될 경우 저층부 단면이 커지는 부담을 안게 되고, 철골조로 할 경우 경제적인 부담감과 함께 강축·약축에 대한 방향성이 있어 구조 설계상 문제점으로 대두될 수 있으므로 단면 성질상 강축·약축에 대한 구별이 없는 등방성 재료로서 구조 설계시 단면을 줄일 수 있는 강관 부재를 이용하여 내화성을 고려하여 강관내에 콘크리트를 충전한 콘크리트 충전 강관을 사용 하였다.

한편, 보 부재의 경우 철근 콘크리트조나 철골조 등으로 생각해 볼 수 있으나, 경제성 문제, 내화성 문제, 공사 현장에서의 접합부의 생산성, 기타 시공성 문제 등을 고려해 볼 때 철근 콘크리트 PC 부재를 보 부재로 사용하였다.

이와 같은 관점에서 본 논문에서는 콘크리트 충전강관 기둥과 철근 콘크리트 PC 보로 구성된 보-기둥 접합부의 모델을 제시하여 그 역학적 성상을 규명하여 복합구조 시스템으로의 적용성을 검토하고자 한다.

2. 실험 개요 및 계획

2.1 시험체 계획

본 논문은 콘크리트 충전강관 기둥과 철근 콘크리트 PC 보로 구성된 중·고층 규모의 외측 단부 보-기둥 접합부에 관한 실험 구조물의 1/5 정도의 축소 시험체를 제작하여 보-기둥 접합부에 대한 기둥 축력비를 변수로 하여 이력 거동 실험을 행하여 접합부의 내력 및 거동 성상에 대해 고찰한 것이다. 시험체의 일람을 표 1에 나타내며 시험체 개요를 그림 1에 나타낸다.

표 1. 시험체 일람

구 분	각형강관기둥+P.C보	원형강관기둥+P.C보
시험체 단면 크기	기둥 : □-75×75×3.2 보 : 75×130	기둥 : Φ-76.3×3.2 보 : 75×130
축력비(P/P _y)	0.0, 0.3, 0.4, 0.5, 0.6	
층고(M)	0.6	
스팬 길이(M)	0.75	
가력 방법	기둥 : 축력비의 변화에 따라 일정축력 가력 보 : 보 단부에 정부 교대 반복하중 가력	
시험체 수	5개	5개

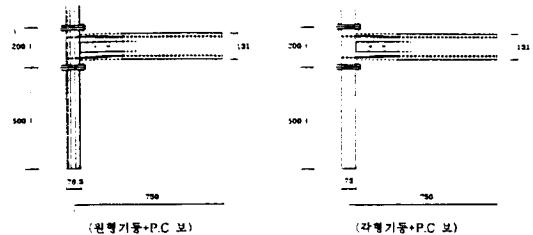


그림 1 시험체 개요도

2.2 접합부 형식 및 상세

보기둥 접합부의 형식은 기둥 관통형 접합부 형식으로서 먼저 강관 내부를 관통한 철근과 PC 보 부재축의 철근을 맞댄 이음으로 전기 용접한 후, 기둥 외측부의 강관 외벽에 Plate판을 용접 부착하고 Plate판 좌우로 보강 Plate판을 이중용접하

여 강성을 증진 시켰다. 그림 2에 보기둥 접합부의 상세를 나타낸다.

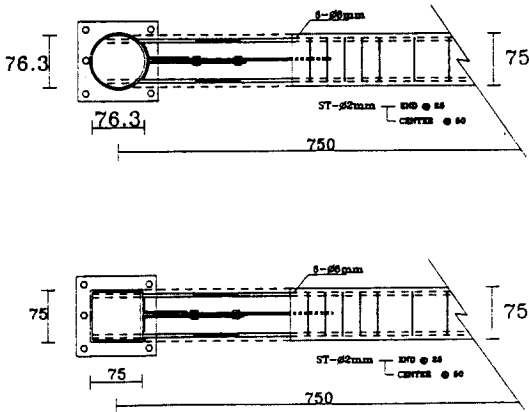


그림 2 접합부 상세

2.3 가력 방법

보 기둥 접합부 시험체에 대한 가력 방법은 기둥에 축력비의 변화에 따라 일정축력을 가력하며

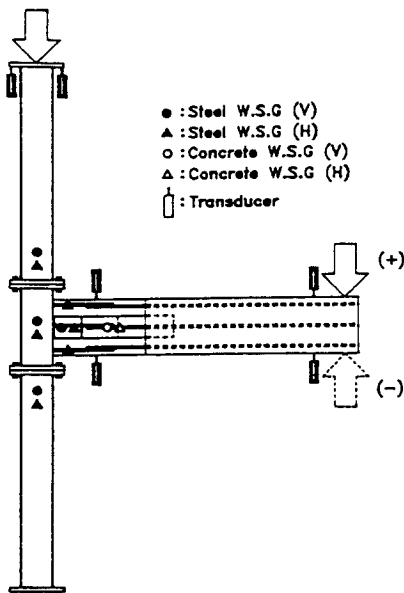


그림 3 가력 방법과 변위계 및 W.S.G 설치 위치

보 단부에 정부 교대 반복하중을 가력하는 것으로 한다.

또한 각 시험체의 변형의 측정 위치는 먼저 기둥의 경우 기둥 상단부에 변위계를 좌우측으로 2개 설치하고 W.S.G를 그림에 나타내는 바와 같이 6개소에 부착 설치 하였다.

또한 PC 보 부재의 경우 그림에서와 같이 시험체 좌우 단부 상하로 변위계를 4개 설치하고 보부재 내부의 압축 및 인장철근과 Plate판에 W.S.G를 설치하였으며, 콘크리트 표면부에 W.S.G를 2개를 부착 설치 하였다.

가력 방법과 변위계 및 W.S.G 설치 위치를 그림 3에 나타낸다.

3. 소재의 재료적 성질에 관한 실험

3.1 강재의 Stub Column Test

제작 과정에 따른 영향을 파악하기 위해 원형 강관 및 각형강관으로부터 시험편을 절취하여 Stub Column Test를 행하였다.

Stub Column 시험체는 접합부 시험체와 같은 모재로서 잔류응력에 대한 효과를 고려하여 압축시 탄성역이나 소성역에서 좌굴하지 않도록 SSRC 추장에 따라 직경의 3배를 모재로부터 절취하여 양단부에 End Plate를 용접 부착하였다. 실험은 U.T. M(200 ton)을 사용하여 시험체 상·하단부에 구좌를 설치하여 단순재하 하였다. Stub Column Test 시험 결과를 표 2와 그림 4에 나타낸다.

표 2. Stub Column Test 시험 결과

구분	Size(mm)		시험체	σ_y (t/cm^2)	σ_{max} (t/cm^2)	σ_y/σ_{max}	E (t/cm^2)
	D	t					
원형	76.3	3.2	①	2.888	3.533	1.223	1940
			②	2.863	3.354	1.175	1924
			③	2.860	3.362	1.176	1965
각형	75	3.2	①	3.693	3.806	1.031	2085
			②	3.684	3.832	1.040	2106
			③	3.681	3.872	1.052	2098

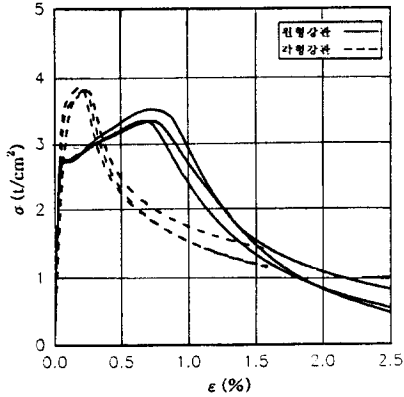


그림 4 STUB COLUMN TEST에 의한 응력도-변형도 관계

3.2 철근의 인장강도 시험

철근의 역학적 성질을 파악하기 위해 철근 모재로부터 3개의 시험편을 절취하여 소재의 인장시험을 행하였다. 소재의 인장시험 결과를 아래의 표 3 과 그림 5에 나타낸다.

표 3. 철근의 인장 시험 결과

Size (mm)	시험체	σ_y (t/cm ²)	σ_{max} (t/cm ²)	σ_{max}/σ_y	elo(%)
Φ6.0	①	2.614	3.124	1.195	17.7
	②	2.893	3.518	1.216	18.2
	③	2.548	3.025	1.187	17.5

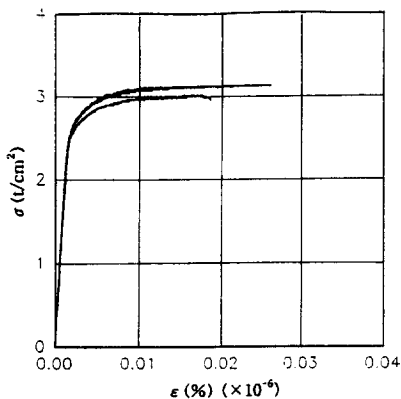


그림 5 철근의 인장시험에 의한 응력도-변형도 관계

3.3 콘크리트의 압축강도 시험

콘크리트 충전 강관 기둥 및 P.C 철근콘크리트 보에 사용된 콘크리트의 압축강도를 구하기 위해 KS F 2404의 규정에 따라 콘크리트 강도별로 10Φ × 20h(cm)의 공시체 6개씩을 제작하여 압축강도 실험을 행하였다.

충전 콘크리트의 강도 평가에 있어서 압축강도는 표준편차에서 가장 벗어나는 3개의 시험체를 제외한 3개의 평균치를 압축강도로 하였다. 콘크리트의 배합표와 실험결과를 표 4에 나타내고 응력도-변형도 관계를 그림 6에 나타낸다.

표 4. 콘크리트의 배합비 및 실험결과

설계강도 (kg/cm ²)	MG (cm)	SP (cm)	단위중량(kg/m ³)					ST (kg/cm ²)	MS (%)
			C	S	G	W	A		
300	13	14	429	685	1051	169	3.2	311	0.30

MG : 굵은관재 최대치수 SP : 슬럼프 C : 시멘트
S : 모래 G : 자갈 W : 물 A : 혼화제
ST : 압축강도 MS : 최대내력시 변형율

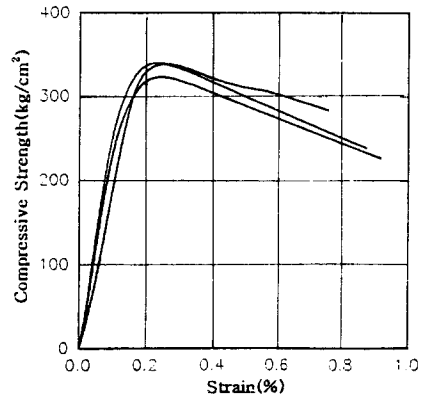


그림 6 콘크리트의 응력도-변형도 관계

4. 실험 및 실험결과

4.1 실험

본 실험은 콘크리트 충전강관 기둥과 PC 철근 콘크리트 보로 구성된 접합부에 대해 기둥 축력비

를 주요 변수로 하여 기둥 일정 축하중가력하에서의 보 단부의 정부 교대 반복 하중을 가력 집합부의 거동 성상에 관한 실험으로서, 실험장면을 사진 1에 나타낸다.

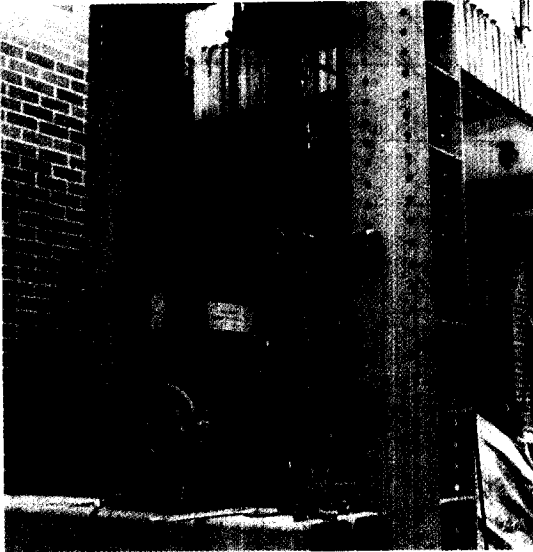


사진 1. 실험 장면

4.2 실험결과

각 시험체의 하중-변위 관계를 그림 7, 그림 8에 나타내며, 집합부 최대내력에 대한 실험결과를 표 5에 나타낸다. 또한 각각의 시험체의 집합부의 파괴 양상을 사진 2, 3에 나타낸다.

4.3 실험결과와 분석 및 고찰

(1) 하중 변형관계

그림 7은 콘크리트 충전 원형강관 기둥과 P.C 철근 콘크리트보 집합부 시험체에 대한 철근콘크리트 PC 보단부의 하중과 변위 관계 곡선을 나타낸 것이다.

먼저 콘크리트 충전 원형강관 기둥의 집합부 시험체에 대한 기둥 축력비의 변화에 따른 보 단부의 최대하중 변위 관계를 살펴보면 집합부 최대내

표 5. 실험 결과

시험체명	축력비 (P/P _y)	최대내력 (ton)		초기균열 (ton)	비 고
		정(+)	부(-)		
C0	0.0	정(+)	1.452	0.71	보중앙부 휨파괴선행
		부(-)	1.368		
C3	0.3	정(+)	1.414	0.70	보중앙부 휨파괴선행
		부(-)	1.229		
C4	0.4	정(+)	1.388	0.68	보중앙부및단부 사인장파괴선행
		부(-)	1.177		
C5	0.5	정(+)	1.240	0.56	보중앙부및단부 사인장파괴선행
		부(-)	1.006		
C6	0.6	정(+)	0.920	0.44	기둥휨비틀림 좌굴 선행
		부(-)	0.995		
S0	0.0	정(+)	1.384	0.87	보단부콘크리트 파괴선행
		부(-)	1.192		
S3	0.3	정(+)	1.336	0.82	보단부콘크리트 파괴선행
		부(-)	1.072		
S4	0.4	정(+)	1.252	0.71	보단부콘크리트 파괴선행
		부(-)	1.030		
S6	0.6	정(+)	0.888	0.51	기둥휨좌굴선행
		부(-)	0.908		

여기서: $\frac{C}{\text{기둥단면형상}}$ $\frac{0}{\text{축력비}}$

C: 원형강관 기둥 S: 각형강관 기둥

축력비: 0(0.0), 3(0.3), 4(0.4), 5(0.5), 6(0.6)

력은 기둥의 축력비가 증가할수록 내력은 약간씩 저하하고 있으며, 그 변형성상은 1 cycle 이력에서는 집합부 충전변형각(초기파괴점)이 1/150~1/200 정도로서 기둥 축력비의 증가에 따라 약간씩 저하 되었으며, 기둥 축력비 0.6의 고속력의 경우 기둥 시험체의 휨비틀림 좌굴로 인해 정량적인 평가는 곤란한 것으로 사료된다.

한편, 2~3 cycle 이력에서는 집합부 충전변형각(최대내력점)이 1/100~1/150 정도이다.

그림 8은 콘크리트 충전 각형강관 기둥과 P.C 철근 콘크리트보 집합부 시험체에 대한 P.C 철근 콘크리트 보단부의 하중과 변위 관계 곡선을 나타낸 것이다.

최대내력의 양상을 살펴보면 각각의 축력비에 따라 원형강관 기둥 시험체에 비해 최대내력에 있어서 약간씩 저하하지만 축력비에 따른 경향은 원형강관 기둥 시험체와 유사한 감소 양상을 나타내

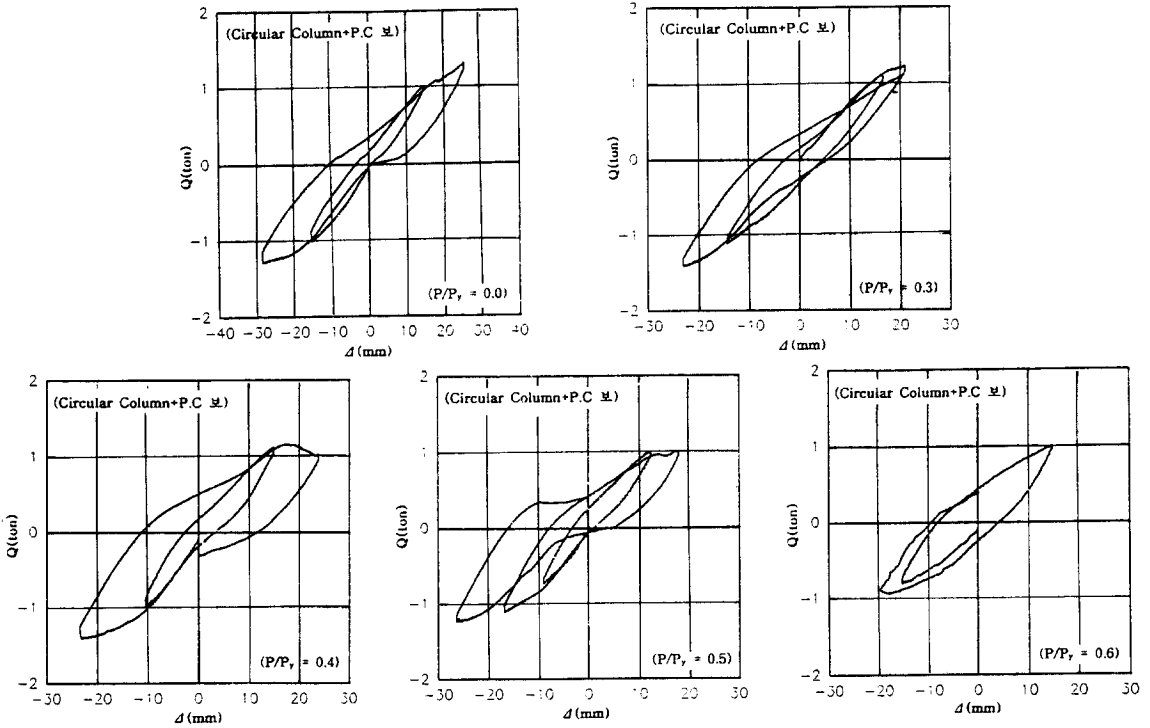


그림 7 하중-변위 관계(원형강관기둥+PC보)

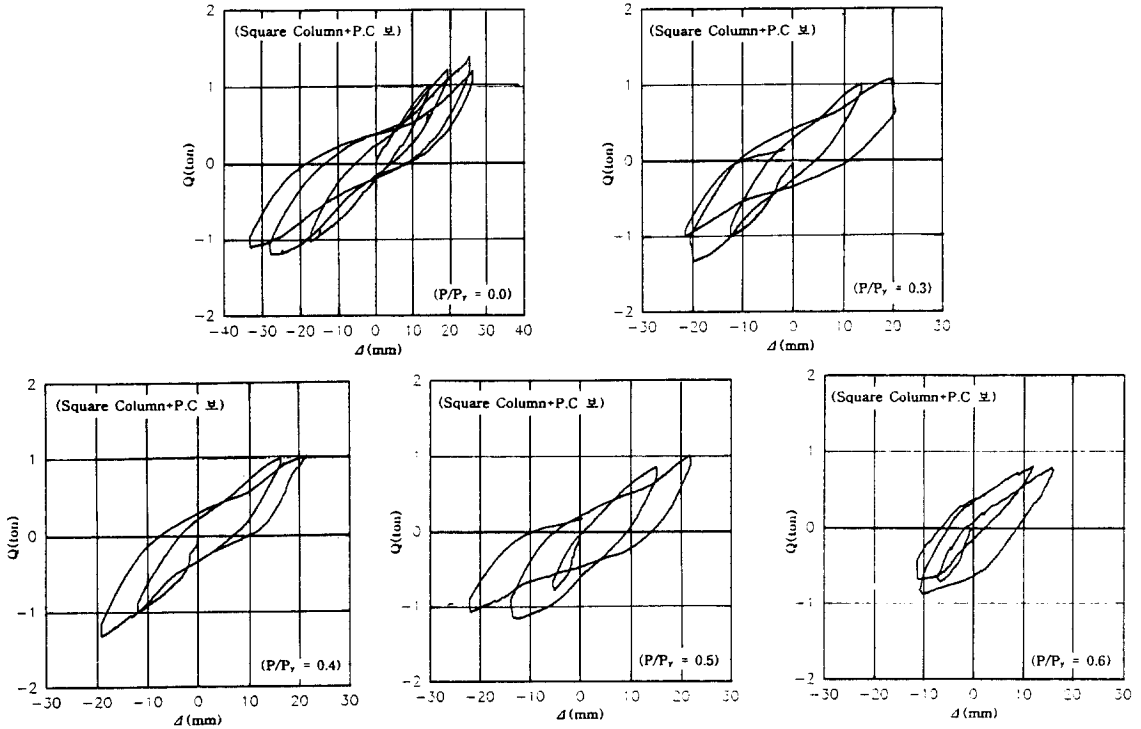
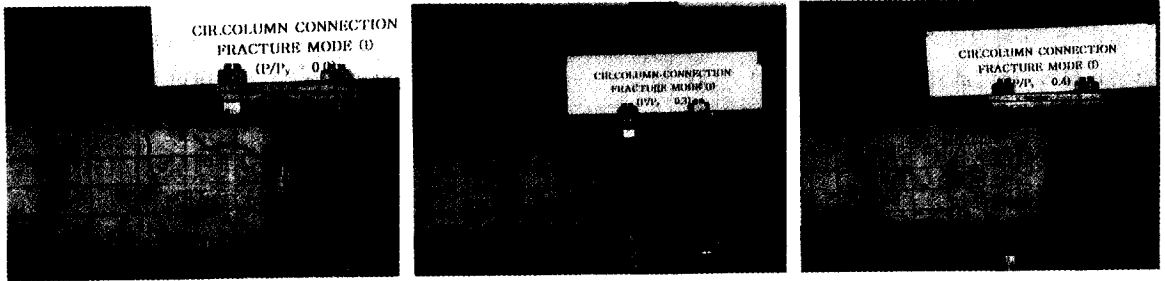


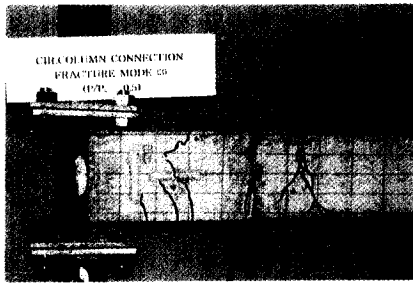
그림 8 하중-변위 관계(각형강관기둥+PC보)



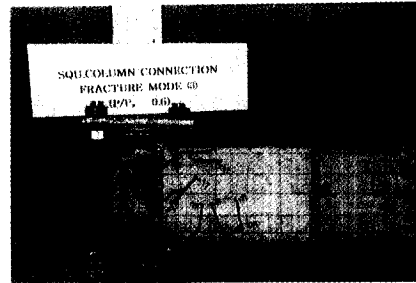
(P/Py=0.0)

(P/Py=0.3)

(P/Py=0.4)

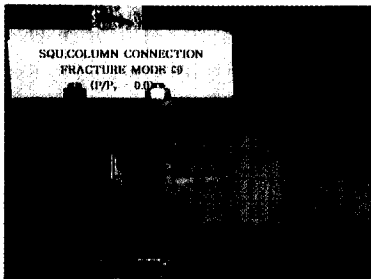


(P/Py=0.5)

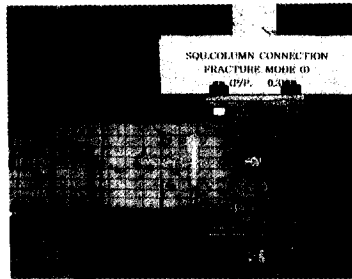


(P/Py=0.6)

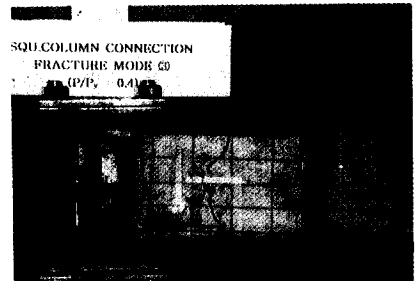
사진 2. 집합부 파괴양상 (원형강관기둥+PC보)



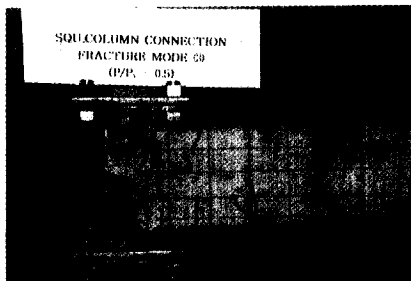
(P/Py=0.0)



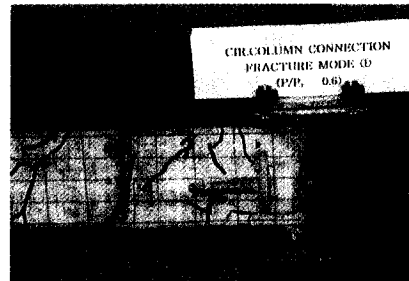
(P/Py=0.3)



(P/Py=0.4)



(P/Py=0.5)



(P/Py=0.6)

사진 3. 집합부 파괴양상 (각형강관기둥+PC보)

고 있다.

또한 그 변형성상은 1 cycle 이력에서는 접합부 층간변형각(초기파괴점)이 1/180~1/200 정도로서 기둥 축력비의 증가에 따라 약간씩 저하되었으며 원형강관에 비해 약간은 저하되었지만 대체적으로 비슷한 양상을 나타내었다.

한편 기둥 축력비 0.6의 고축력의 경우 원형강관 기둥 시험체와 마찬가지로 기둥 시험체의 휨좌굴로 인해 정량적인 평가는 곤란한 것으로 사료된다. 한편 2~3 cycle 이력에서는 접합부 층간변형각(최대내력점)이 1/150~1/200 정도로서 원형강관 접합부 시험체에 비해 상당히 저하되는 것으로 나타났다.

따라서 위의 결과를 토대로 고찰해 볼 때 일정 축력비 이하에서는 접합부 최대내력의 평가에 있어서 단면형상에 따른 차이는 축력비에 따라 약간씩의 차이는 있지만 거의 비슷한 결과를 주고 있지만 변형능력에 있어서는 원형강관 기둥을 사용한 시험체가 각형강관에 비해 약간 유리할 것으로 판단된다.

(2) 파괴성상

보기둥 접합부에 관한 파괴 성상을 살펴 보면 먼저 콘크리트 충전 원형강관 기둥-PC 보부재 접합부의 경우 기둥의 축력비가 0.0인 C0 시험체의 경우 보 중앙부에서 콘크리트층에 먼저 휨균열이 발생한 후 접합부측으로 균열이 확산 되므로서 최대내력점에 도달했으며, 접합부의 균열양상은 콘크리트 층에 미세한 균열양상만 나타냈을뿐 접합부에서의 큰 균열은 발생되지 않았다.

그리고 기둥의 축력비 0.3~0.5인 C3~C5 시험체의 경우 모든 시험체가 기둥의 축력비에 관계없이 PC 철근 콘크리트 보 중앙부에서 콘크리트 층에 먼저 휨균열이 발생한 후 사이클 수의 증가와 함께 접합부측으로 균열이 확산되므로서 최대내력점에 도달 하였다. 특히 위의 시험체도 축력비 0.0의 시험체와 마찬가지로 접합부 주위에서 미세균열만 발생했을뿐 큰 균열은 발생하지 않았다.

한편 축력비가 비교적 큰 C6 시험체의 경우 보 균열이 발생되기 이전에 기둥의 휨비틀림 좌굴이 선행됨으로서 접합부측의 강관벽의 부분적인 국부좌굴로 인해 접합부 부근에서 콘크리트 층의 사인장 파괴가 일어난 후 접합부에서 서서히 초기 균열이 발생 최대내력점에 이르렀다.

한편 콘크리트 충전 각형강관 기둥-PC 보부재 접합부의 경우 축력비 0.0인 S0 시험체의 경우 대체적으로 보단부 부위(5cm~10cm 이내)에서 콘크리트의 휨균열 발생과 동시에 보기둥 접합부의 휨 및 사인장균열이 나타나기 시작하여 최대내력점에 이르렀으며 특히 최대내력 후 보 주근의 파단이 관측 되었다.

그리고 축력비 0.3~0.5의 S3~S5 시험체의 경우 축력비 0.0인 시험체와 비슷한 균열 양상으로서 보단부 주위에서 초기 균열이 발생한 후 보 중앙부 및 단부에서 접합부 측으로 균열이 확산 되면서 접합부 주위의 콘크리트 층의 파괴와 함께 최대내력점에 도달 하였다.

한편 기둥 축력비 0.6인 S6 시험체의 경우 C6 시험체와 마찬가지로 접합부 주위에서의 균열 발생 이전에 기둥의 휨 좌굴이 선행하여 나타났으며 보단부에서 콘크리트 층의 사인장 파괴가 일어난 후 접합부에서 서서히 초기 균열이 발생 최대내력점에 이르렀다.

위에서 살펴본 바와 같이 전체적인 파괴 성상을 살펴 보면 대체적으로 보기둥 접합부 측에서 응력 집중 현상이 나타나지 않아 보 중앙부측에서 균열점을 형성 사이클 수의 증가에 따라 접합부 측으로 균열이 이동하는 경향을 나타내는 것으로 사료된다.

(3) 전단내력에 대한 고찰

본 절에서는 접합부 내력에 대한 실험 결과를 토대로 본 논문에서 모델로 설정한 접합부에 대한 전단내력을 평가할 수 있는 방법을 고찰해 보고자 한다.

먼저 본 논문에서는 보기둥 접합부의 전단내력을 평가하기 위한 방법으로서는 현상에서 본 모델

에 대한 적절한 평가식이 없기 때문에 원형강관 기동 접합부 시험체의 경우 접합부 파괴가 선행되기 이전에(약간의 실험 오차 감안) 보 중앙부에서의 휨파괴가 선행된 것으로 나타났다.

따라서 철근 콘크리트 보의 휨내력으로서 접합부의 최대내력을 평가하면 안전측의 값을 줄 수 있기 때문에 문제가 없을 것으로 사료된다.

한편 콘크리트 충전 각형강관 시험체의 경우 대부분의 시험체가 철근콘크리트보의 휨파괴 이전에 접합부 주위를 중심으로 먼저 파괴가 일어난 것으로 미루어 웹 Plate의 전단내력 평가식으로서 접합부의 최대내력을 평가한다면 안전측의 값을 줄 수 있을 것으로 사료된다.

5. 결 론

본 절에서는 콘크리트 충전 강관기동 부재와 PC 철근 콘크리트 보로 구성된 보기동 접합부에 대해 일련의 이력거동 실험을 통해 접합부 거동 성상 및 내력에 대해 검토한 것으로서 그 결론을 요약하면 다음과 같다.

(1) 보기동 접합부 시험체의 파괴양상은 원형강관 보기동 시험체의 경우 보 중앙부의 압축측 콘크리트의 휨균열 발생 후 접합부 영역의 파괴가 일어났으나, 각형강관 보기동 시험체의 경우 접합부 콘크리트의 균열발생 후 최대내력점에 이르렀다.

(2) 접합부 강성은 원형강관 기동 시험체에 비해 각형강관 기동 시험체가 다소 높게 나타났으며, 이력 cycle 수의 증가에 따라 감소되는 경향을 나타냈다.

(3) 보 단부의 이력거동 성상은 이력 cycle 수가 증가할수록 안정한 이력거동 양상을 나타내고 있으며, 각형강관 보기동 접합부 시험체가 원형강관 보기동 접합부에 비해 회전 저항 능력은 상승하는 것으로 나타났다.

(4) 본 모델의 경우 기동 축력비가 0.6일 경우 기동 부재의 휨 및 휨비틀림 좌굴이 발생하여 내

력이 저하되므로 축력비를 제한해야 할 것으로 사료된다.

(5) 접합부 내력 평가법으로서 철근 콘크리트 보의 휨 내력과 H형강 웹의 전단내력을 누가하여 축력비에 따른 감소 계수를 도입하여 접합부 내력산정식을 제시할 수 있을 것으로 사료된다.

추후, 제 2보에서는 콘크리트 강도, 강관의 폭두께비, 접합부 판넬존의 길이변화 등을 변수로 본 접합부 모델의 거동 특성 및 접합부 내력 평가식을 제시할 예정이며, 기동용접 웹의 길이 변화, 보 단면 크기 등과 같은 여러가지 변수를 대상으로 지속적인 연구를 수행할 예정이다.

참 고 문 헌

1. 金谷 弘 : 鋼管기동과 보 Joint設計의 要點, 건축 기술정보, 1990.2, pp 105-117
2. 문 태섭 외 1인 : 각형강관기동-H형강보 접합부에 관한 실험적 연구, 한국강구조학회 논문집, 제 4권 제 3호, 1992.9, pp 149-153
3. 문 태섭, 이 명재 외 3인 : 각형강관 기동-H형강보 두께중복형 접합부에 관한 연구, 대한건축학회 학술발표 논문집, 제 13권 제 2호, 1993.10, pp 501-504
4. 김 규석, 김 동규, 문 태섭 외 6인 : 콘크리트 충전 원형강관 보-기동의 내력에 관한 실험적 연구, 대한건축학회 학술발표 논문집, 제 14권 제 2호, 1994.10
5. 金谷弘 外 3人 : 鋼管柱H形梁接合部の單純模型實驗-鋼管柱鎔接合部の研究, 日本建築學會論文報告集, 第 322號, 1982.12, pp.44-50
6. 石井 匠 外 3人 : 鉛直スケフナ形式 SRC 柱-S はり接合部の力學的舉動に關する研究, 日本建築學會論文集, 第 413號, 1990.7, pp 53~64
7. 鈴木敏郎 外 3人 : 三角スチフナを用いた鐵骨フープ筋コンクリート柱鐵骨はり接合部の終局耐力, 日本建築學會論文集, 第 416號, 1990.10, pp 71~78
8. 吉野次彦 外 3人 : プレキャストコンウリート柱と鐵骨梁で構成された混合構造に關する研究, 콘크리트工學年次報告集, Vol 12, No 2, 1990, pp 29-34

9. 西村泰志 外 3人：はりS・柱RCとする十字形骨組の力學的性狀， コンクリート工學年次報告集， Vol 12, No 2, 1990, pp 35-40
10. 遠藤 博 外 3人：充填型鋼管コンクリート柱・鐵骨はり接合部の舉動に関する研究，コンクリート工學年次報告集， Vol 12, No 2, 1990, pp 47-52
11. 坂口 昇：鐵筋コンクリート柱と鐵骨梁で構成される柱梁接合部パネルのせん斷耐力，日本建築學會論文集，第 428號，1991.10, pp 69-78
12. 坂口 昇：鐵筋コンクリート柱と鐵骨梁で構成される架構の耐力及び變形，日本建築學會論文集，第 437號，1992.7, pp 125-134
13. 鈴木敏郎 外 3人：三角スチフナオを用いた鐵骨フープ筋コンクリート柱鐵骨はり接合部の應力傳達機構，日本建築學會論文集，第 441號，1992.11, pp 93~99
14. 日本建築學會：鋼構造接合部の力學性狀に関する研究の現況，1993.10
15. 岩岡信一 外 5人：柱RC梁S構造の柱梁接合部に關する研究，前田技術研究所報，1994, pp 81-94
16. 佐佐木 外 4人：RC 梁Sとする混合構造柱 梁接合部のせん斷抵抗機構，日本建築學會論文集，第 461號，1994.7, pp 133~142
17. 野口 博 外 2人：混合構造接合部の強度と剛性に關する實驗的研究，日本建築學會論文集，第 461號，1994.7, pp 143~152
18. 近藤一雄 外 3人：格子型鐵骨を有するSRC柱，梁部材および架構の耐震補強實驗，日本建築學會大會學術講演梗概集，1995.8, pp 729~730
19. 佐藤和英 外 3人：梁S・柱RCで構成される柱梁接合部の實驗的研究，日本建築學會大會學術講演梗概集，1995.8, pp 867~868