

철근콘크리트충전 강관기둥과 외부다이아프램을 보강한 H형강 보 접합부의 단순모형에 의한 실험연구

An experimental study on the reinforced concrete filled tubular column to
steel H-beam connections with outer diaphragm
by simplified connection type

김 인 덕*
Kim, In-Duk

최 병 극**
Choi, Byoung-Geug

박 성 무***
Park, Sung-Moo

ABSTRACT

This study is concerning the structural behavior of reinforced concrete filled tubular column to steel H-beam connections with outer diaphragm by simplified connection type. The important parameters of this study are the cross-section shape of tubular column and the spacing of hoop (60mm, 30mm, 20mm) and the concrete filled or not. The experimental results are summarized for the strength and displacement of each specimen.

1. 서 론

도시의 사무실 및 상업용 건물은 도심지의 지가 상승 및 용지난으로 인하여 한정된 부지 내에서 효율적인 이용을 위하여 고층화되고 있다. 건물의 고층화는 구조계획 측면에서 공간의 효율성을 요구할 뿐 아니라 기둥과 보 등의 주요 구조부재에서는 고인성, 고강도의 특성을 요구되고 있다. 초고층 건물에서는 용도의 다양화, 복합화, 의장의 기대감으로부터 종래의 구조적 제약조건을 극복하고 장스팬 가구의 채택 및 공간의 효율적 이용을 가능하게 하는 구조형식이 필요하게 되었다. 따라서, 고층건물은 내부 공간에서 주요 구조부재 중에서 특히 기둥이 차지하는 면적이 증가하므로 종래보다 공간의 사용성의 확보라는 측면이 중요한 문제로 등장하고 있다. 이러한 측면에서 최근 각광을 받고 있는 구조형식이 콘크리트충전 강관구조이다.

-
- 1) *정회원, 영남대학교 대학원 건축공학과 석사과정
 - 2) **정회원, 영남대학교 대학원 건축공학과 박사과정
 - 3) ***정회원, 영남대학교 건축공학과 부교수, 공학박사

콘크리트충전 강관구조는 콘크리트충전 강관기둥이 콘크리트의 원주방향 압력을 구속함으로써 충전한 콘크리트가 3축응력 상태가 되어 압축강도가 상승하고, 충전한 콘크리트로 인하여 강관의 국부좌굴이 방지된다. 이러한 상호합성 작용으로 뛰어난 변형능력을 발휘한다.

본 실험에서는 각형강관 기둥과 외부다이아프램을 보강한 H형강 보 집합부와 원형강관 기둥과 외부다이아프램을 보강한 H형강 보 집합부를 단순모형화하여 강관 내부에 보강된 후프의 간격에 따른 집합부의 내력을 비교해 본다.

2. 시험체

2.1 S시리즈 시험체

S시리즈 시험체는 원형강관기둥 내부에 보강된 철근콘크리트 부분을 $\phi 150 \times 300(\text{mm})$ 콘크리트 공시체로 제작하여 할렬 실험방법으로 실험한 시험체이다. 표1에서 후프의 간격에 따른 시험체의 종류를 나타내었고, 그림1에서는 시험체의 형상과 배근관계를 나타내었다.

표 1 S시리즈 시험체의 일람표

시험체명	축철근비(%)	Hoop	
		간격(mm)	횡보강비(%)
SF	1.66%	∞	0
SFR1		60	0.71%
SFR2		30	1.28%
SFR3		20	2.13%
SFR4			

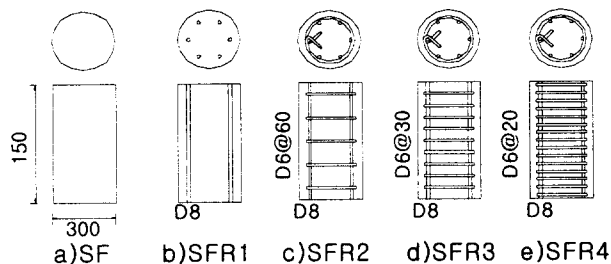
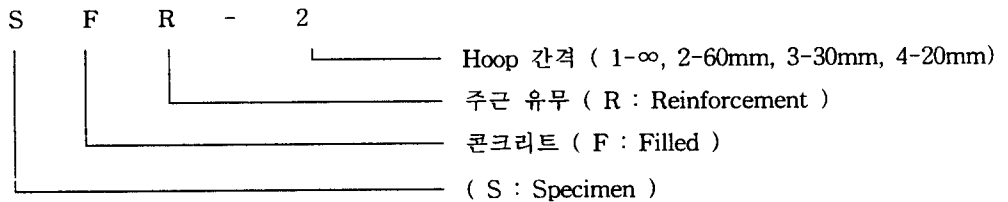


그림 1 S시리즈 시험체의 형상 및 철근배근

2.2 C시리즈 시험체 및 R시리즈 시험체

일반적으로 강관기둥과 H형강 보 접합부에서 보에 하중이 작용하여 모멘트가 발생할 경우에는 상부 보플랜지에 발생한 인장력에 의하여 접합부의 내력이 결정된다. C시리즈 및 R시리즈 시험체는 각형강관기둥 및 원형강관기둥을 외부다이아프램을 보강한 H형강 보 접합부를 단순모형화하였다.

표2에 변수에 따른 시험체의 종류를 정리하였다. 그리고 그림 2에서 강관기둥과 H형강 보 접합부의 단순모형화를 나타내었고, 그림 3에서는 시험체의 형상을 나타내었다.

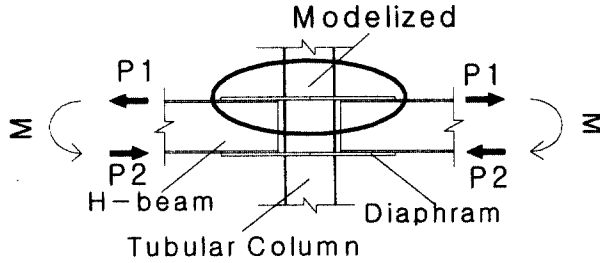


그림 2 C시리즈 및 R시리즈 시험체의 모델링

표 2 C시리즈 및 R시리즈 시험체의 일람표

시험체명	강관 치수 (mm)	콘크리트	축철근비(%)	HOOP	
				간격(mm)	평균강근비(%)
CH	∅165.2×4.5	비충전	·	·	·
CF				·	·
CFR-1		충전		∞	0
CFR-2				60	0.585
CFR-3				30	1.288
CFR-4				20	1.990
RH	□-150×150×4.5	비충전	·	·	·
RF				·	·
RFR-1		충전		∞	0
RFR-2				60	0.648
RFR-3				30	1.427
RFR-4				20	2.205

Concrete 강도 : $F_c = 240 \text{ kg/cm}^2$

Reinforcement 강도 : $F_y = 4000 \text{ kg/cm}^2$

C F R - 2

- _____ Hoop 간격 (1-∞, 2-20mm, 3-30mm, 4-40mm)
- _____ 주근 유무 (R : Reinforcement)
- _____ 콘크리트충전 유무 (F : Filled, H : Hollow)
- _____ 강관단면형상 (C : Circular, R : Rectangular)

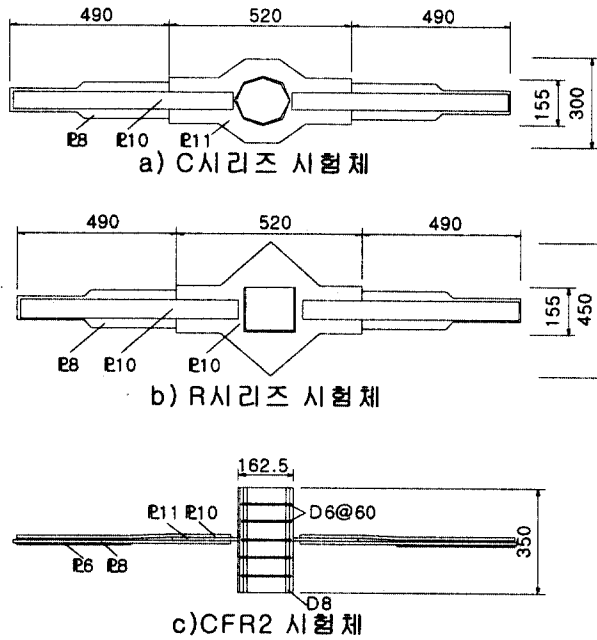


그림 3 C시리즈 및 R시리즈 시험체의 형상

2.3 재료의 기계적 성질

시험체의 콘크리트 설계압축강도는 240 kgf/cm^2 이다. 압축강도 실험용 공시체를 $\varnothing 100 \times 200$ (mm)로 제작하였고, 제령 28일에 압축강도를 실험하였다. 표3에서 콘크리트 압축강도 실험결과를 정리하였고, 표4에서는 철근의 인장강도 실험결과를 정리하였다.

표 3 콘크리트 압축강도 실험결과

설계압축강도 (kgf/cm^2)		28일 압축강도 (kgf/cm^2)
S시리즈	240	173.05
C시리즈 및 R시리즈	240	228.3

표 4 철근의 기계적 성질

철근의 종류	항복강도(kgf/cm^2)	인장강도 (kgf/cm^2)	탄성계수(kgf/cm^2)
D 6mm	3914.14	5488.28	2.1×10^9
D 8mm	3458.68	4654.88	2.1×10^9

3. 실험

3.1 S시리즈 시험체의 설치

S시리즈 시험체는 원형강관에 보강된 철근콘크리트 부분만을 제작하여 후프의 간격에 따른 구조거동을 알아보기 위해 제작한 시험체로써 할렬 실험방법과 같이 시험체를 만능시험기(U.T.M)에 옆으로 눕혀서 하중을 가하였다. 그리고 시험체의 수직변위를 측정하기 위해서 100(mm) LVDT를 양쪽에 설치하였고, 후프의 변형을 측정하기 위해서 시험체의 가운데에 배근된 후프와 60mm 떨어진 후프에 각각 1축 철근 strain gage를 부착하였다. 그림4에서 시험체의 설치와 변위측정 위치를 나타내었다.

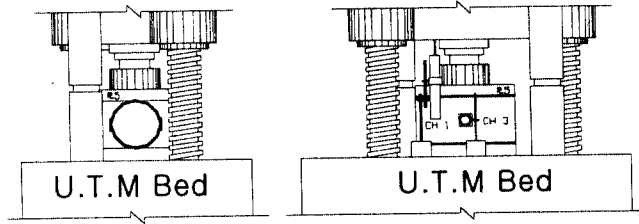


그림 4 S시리즈 시험체의 설치 및 변위측정 위치

3.2 C시리즈 및 R시리즈 시험체의 설치

가력은 100tf 만능시험기(U.T.M)에서 보플랜지의 양단을 고정된 후 인장재하하였으며, 시험체가 항복한 이후에는 하중을 제어하며 파괴할 때까지 가력하였다. 변위측정은 그림5에서와 같이 시험체의 길이방향 변위를 측정하기 위하여 D8 철근을 외부다이아프램에 용접해서 부착하였다. D8 철근의 양쪽에 100(mm) LVDT를 설치하였고, 강관기둥의 수직, 수평변위를 측정하기 위해 강관기둥보플랜지의 상, 하, 좌, 우에 50(mm) 와 100(mm) LVDT를 설치하였다. 그리고 강관과 외부다이아프램을 용접한 접합부의 응력전달체계를 파악하기 위해서 수평기둥보플랜지와 수직기둥보플랜지에 각각 1축 철근 strain gage를 부착하였고, 외부다이아프램에 응력집중이 예상되는 위치에 3축 철근 strain gage를 부착하였다.

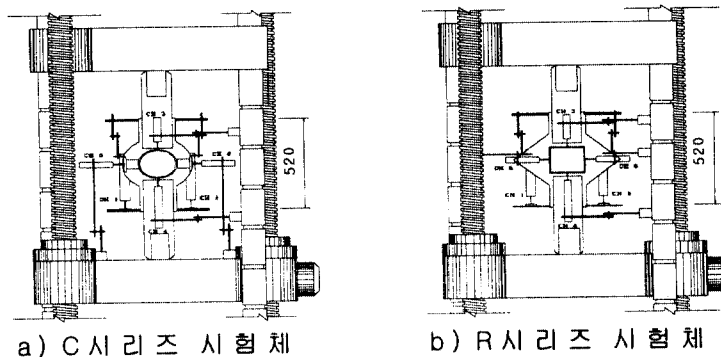


그림 5 C시리즈 및 R시리즈 시험체의 설치 및 변위측정 위치

4. 실험결과

4.1 S시리즈 시험체

시험체의 실험결과를 표5에 정리하였고, 그림6에서는 시험체의 하중과 변위곡선을 나타내었다.

철근을 보강하지 않은 시험체와 주근만을 보강한 시험체에서는 순간적으로 수직으로 균열이 생기면서 파괴되었다. 그리고 주근과 후프근을 보강한 시험체에서는 가력판에 접한 콘크리트에서 수직으로 균열이 발생하여 위, 아래로 연결되었다. 가력판이 눌러지면서 콘크리트와 접한 부분이 증가하면서 수직으로 연결된 균열이 증가하여 파괴되었다.

표 5 S시리즈 시험체의 실험결과

시험체명	P_{max} (tf)	δ_{max} (mm)
SF	8.03	0.89
SFR1	8.0	1.05
SFR2	22.82	8.72
SFR3	36.02	20.26
SFR4	55.27	23.14

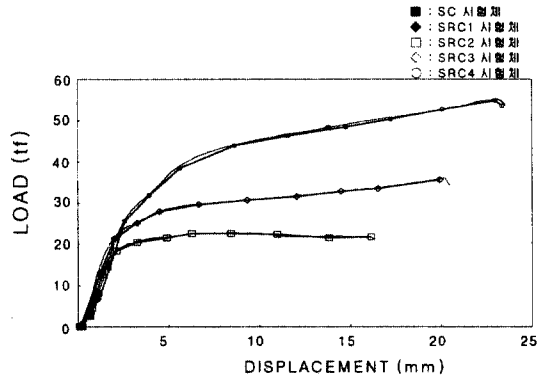


그림 6 S시리즈 시험체의 하중-변위곡선

4.2 C시리즈 및 R시리즈 시험체

C시리즈 및 R시리즈 시험체의 하중-변위곡선을 정리하기 위해서 초기강성 구배를 갖는 직선과 초기강성 구배의 1/3인 직선을 평행이동시켜 두직선의 교점을 항복하중 P_y 로 정하고, 이때의 처짐을 항복변위 δ_y 로 한다. 표6에서 실험결과를 정리하였고, 그림7에서는 C시리즈 및 R시리즈 시험체의 하중-변위곡선을 나타내었다. 그림7에서 종축은 인장하중이고, 횡축은 표점거리 520(mm)에 대한 수직변위이다.

C시리즈 시험체의 파괴양상은 외부다이아프램에서 파괴가 시작하여 원형강관기둥과 외부다이아프램을 용접한 접합부쪽으로 진행하여 파괴되었다. 그리고 상, 하부의 보플랜지에서도 변위가 발생하였다. CFR1 시험체는 상부 보플랜지에서 파괴되었다. 그리고 원형강관기둥에 수직으로 배부름현상이 관찰되었고, 원형강관기둥의 내부에 부강된 철근콘크리트와 원형강관기둥의 분리현상도 관찰되었다.

R시리즈 시험체의 파괴양상은 각형강관기둥과 외부다이아프램을 용접한 접합부에서 시작하여 외부다이아프램으로 진행하여 파괴되었다. 보플랜지에서의 변위는 거의 없었고, 각형강관기둥의 수직기둥 플랜지에서의 배부름현상이 관찰되었다.

표 6 C시리즈 및 R시리즈 시험체의 실험결과

시험체명	P_y (tf)	P_{max} (tf)	P_y/P_{max}	δ_y (mm)	δ_{max} (mm)
CH	24.91	41.05	0.61	1.66	32.97
CF	37.84	54.14	0.70	2.36	22.54
CFR1	37.00	52.81	0.70	2.17	22.38
CFR2	37.28	56.51	0.66	1.84	29.85
CFR3	34.07	51.05	0.67	2.13	23.69
CFR4	36.00	54.21	0.64	3.06	26.61
RH	32.00	40.35	0.79	2.60	17.92
RF	37.48	46.55	0.81	1.72	8.47
RFR1	40.40	46.20	0.87	1.22	5.68
RFR2	36.97	44.23	0.84	1.32	6.11
RFR3	38.12	46.71	0.82	1.72	7.99
RFR4	37.36	47.79	0.78	1.70	9.91

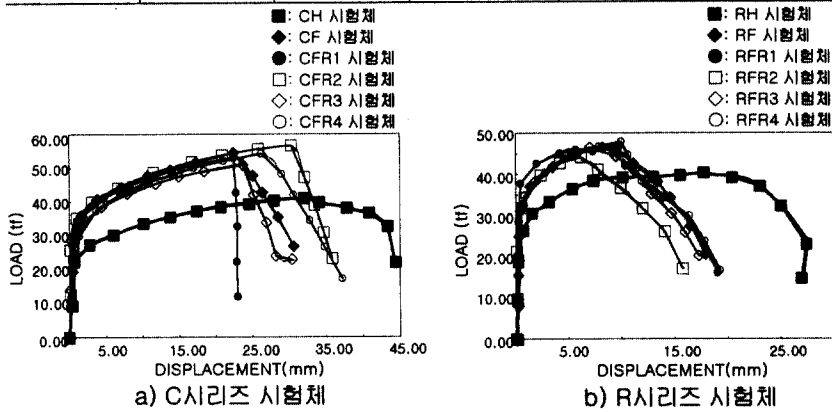


그림 7 C시리즈 및 R시리즈 시험체의 하중-변위곡선

5. 비교분석

5.1 최대내력 (S시리즈 시험체)

철근을 보강한 시험체와 철근을 보강하지 않은 시험체의 최대내력을 비교하여 보강된 철근에 대한 영향을 살펴본다.

주근만을 보강한 SFR1 시험체는 철근을 보강하지 않은 SR 시험체에 비해서 최대내력은 같게 나타났고, 주근과 60(mm) 간격으로 후프근을 보강한 SFR2 시험체는 SF 시험체에 비해서 최대내력은 2.84배 정도 높게 나타났고, 주근과 30(mm) 간격으로 후프근을 보강한 SFR3 시험체는 SF 시험체에 비해서 최대내력은 4.49배 정도 높게 나타났고, 주근과 20(mm) 간격으로 후프근을 보강한 SFR4 시험체는 SF 시험체에 비해서 최대내력은 6.88배 정도 높게 나타났다. 즉 주근만을 보강한 시험체와 보강하지 않은 시험체의 최대내력에는 차이를 나타내지 않았고, 주근과 후프근을 보강한 시험체와 보강하지 않은 시험체의 최대내력에는 확실한 차이를 나타냈다. 그림8에 비교결과를 정리하였다.

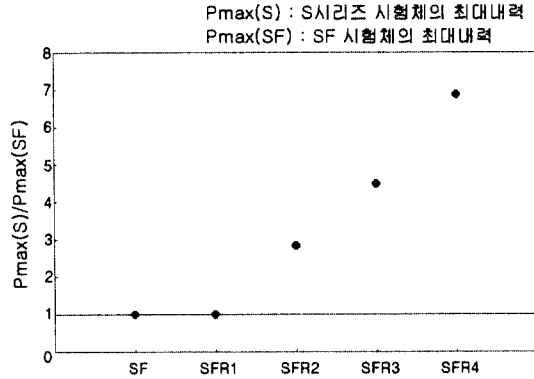


그림 8 S시리즈 시험체의 최대내력

5.2 항복내력 및 최대내력 (C시리즈 시험체)

원형강관에 콘크리트를 충전하지 않은 시험체와 콘크리트를 충전한 시험체의 항복내력과 최대내력을 비교하여 콘크리트충전에 대한 영향을 살펴보고, 주근과 후프근을 보강해서 콘크리트를 충전한 시험체와 콘크리트를 충전한 시험체의 항복내력과 최대내력을 비교하여 주근과 후프근의 보강에 대한 영향을 살펴본다.

원형강관에 콘크리트를 충전하지 않은 CH 시험체는 콘크리트를 충전한 CF 시험체에 비해서 항복내력과 최대내력이 각각 0.76, 0.66배로 나타났고, 주근만을 배근하고 콘크리트를 충전한 CFR1 시험체, 원형강관에 주근과 60(mm) 간격으로 후프근을 배근하고 콘크리트를 충전한 CFR2 시험체, 원형강관에 주근과 30(mm) 간격으로 후프근을 배근하고 콘크리트를 충전한 CFR3 시험체, 그리고 원형강관에 주근과 20(mm) 간격으로 후프근을 배근하고 콘크리트를 충전한 CFR4 시험체의 항복내력과 최대내력을 원형강관에 콘크리트만을 충전한 CF 시험체의 항복내력과 최대내력으로 비교한 결과 뚜렷한 차이를 나타내지 않았다. 그림9에 비교한 결과를 정리하였다.

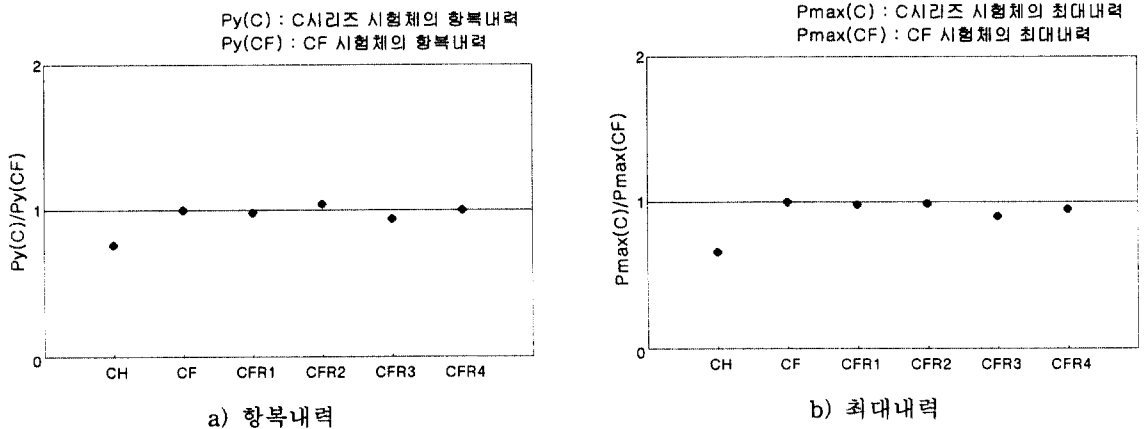


그림 9 항복내력 및 최대내력 (C시리즈 시험체)

5.3 항복내력 및 최대내력 (R시리즈 시험체)

각형강관에 콘크리트를 충전하지 않은 시험체와 콘크리트를 충전한 시험체의 항복내력과 최대내력을 비교하여 콘크리트충전에 대한 영향을 살펴보고, 주근과 후프근을 보강해서 콘크리트를 충전한 시험체와 콘크리트충전 시험체의 항복내력과 최대내력을 비교하여 주근과 후프근의 보강에 대한 영향을 살펴본다.

각형강관에 콘크리트를 충전하지 않은 RH 시험체와 콘크리트를 충전한 RF 시험체에 비해서 항복내력과 최대내력은 각각 0.87, 0.85배로 나타냈고, 주근만을 배근하고 콘크리트를 충전한 RFR1 시험체, 주근과 60(mm) 간격으로 후프를 배근하고 콘크리트를 충전한 RFR2 시험체, 주근과 30(mm) 간격으로 후프근을 배근하고 콘크리트를 충전한 RFR3 시험체, 그리고 주근과 20(mm) 간격으로 후프근을 배근하고 콘크리트를 충전한 RFR4 시험체의 항복내력과 최대내력을 콘크리트만을 충전한 RF 시험체의 항복내력과 최대내력으로 비교한 결과가 뚜렷한 차이를 나타내지 않았다. 그림10에 비교한 결과를 정리하였다.

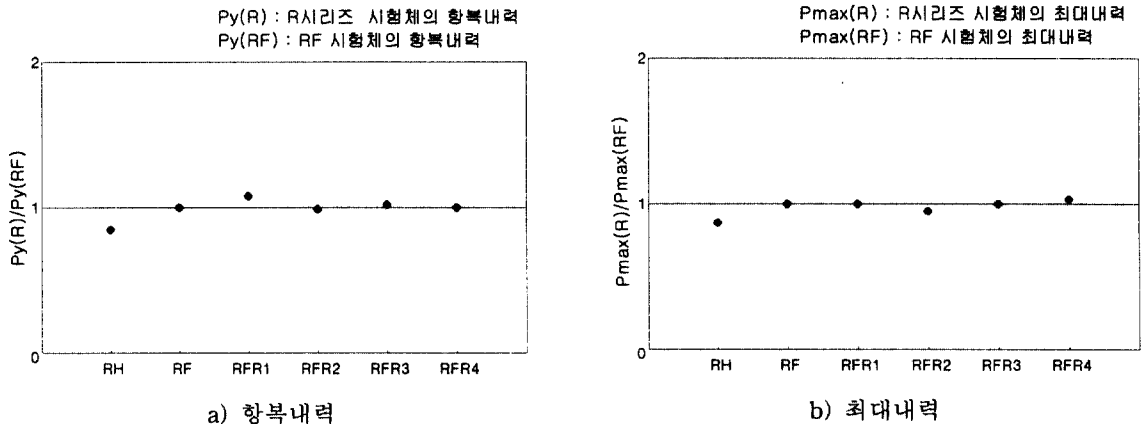


그림 10 항복내력 및 최대내력 (R시리즈 시험체)

6. 결론

시험체의 실험결과를 정리하면 다음과 같다.

1. 철근콘크리트 시험체를 할렬 실험한 결과 주근만을 보강한 시험체와 보강하지 않은 시험체를 비교한 결과 최대내력에서 뚜렷한 차이를 나타내지 않았고, 주근과 후프근을 보강한 시험체와 보강하지 않은 시험체를 비교한 결과 최대내력 확실한 차이를 나타냈다.
2. 원형강관기둥과 외부다이아프램을 보강한 H형강 보 접합부의 단순모형화에 의한 인장실험에서는 원형강관에 콘크리트와 철근을 보강하지 않은 시험체와 콘크리트를 충전한 시험체를 비교

한 결과 콘크리트를 충전한 시험체에서 접합부 내력이 높게 나타났고, 주근과 후프근을 보강한 시험체와 콘크리트를 충전한 시험체를 비교한 결과에서는 접합부 내력이 뚜렷한 차이를 나타내지 않았다.

3. 각형강관기둥과 외부다이하프램을 보강한 H형강 보 접합부의 단순모형화에 의한 인장실험에서는 각형강관에 콘크리트와 철근을 보강하지 않은 시험체와 콘크리트를 충전한 시험체를 비교한 결과 콘크리트를 충전한 시험체에서 접합부 내력이 높게 나타났고, 주근과 후프근을 보강한 시험체와 콘크리트를 충전한 시험체를 비교한 결과에서는 접합부 내력이 뚜렷한 차이를 나타내지 않았다.

4. 원형강관에 콘크리트를 충전한 시험체와 콘크리트를 충전하지 않은 시험체를 비교한 결과 항복내력은 1.52배, 최대내력은 1.32배 정도 높게 나타났다. 그리고, 각형강관에 콘크리트를 충전한 RF 시험체와 콘크리트를 충전하지 않은 RH 시험체를 비교한 결과 항복내력은 1.17배, 최대내력은 1.15배 정도 높게 나타났다. 즉 원형강관에 콘크리트를 충전한 하는 방법이 각형강관에 콘크리트를 충전한 방법보다 더 효과적이다.

감사의 글

본 실험연구는 한양대학교 초대형 구조시스템 연구센터의 연구비 지원에 의해 수행되었습니다.

참고문헌

- 1) 김상진, 강현식, 정명채, 윤명호, 문대섭, 김규석, “충전콘크리트 원형강관기둥-보 접합부의 단순모형에 의한 실험적 연구”, 한국강구조학회학술발표논문집, p 147~152
- 2) 심종석, 김규석, “콘크리트충전 각형강관기둥-H형강 보 접합부의 역학적 거동에 관한 연구 - 단순모델형의 경우 -”, 대한건축학회논문집, 11권 3호 통권 77호, 1995.3, p 103~110
- 3) 최성모, “콘크리트충전 원형강관기둥 및 접합부의 특성에 관한 연구”, 서울시립대학교박사학위 논문, 1995.2
- 4) 유영찬, “콘크리트충전 각형강관 구조의 거동에 관한 연구”, 한양대학교 박사학위논문, 1997