

# SRC 합성교각의 준정적 실험

## Quasi-Static Tests on SRC Composite Columns

심창수\*                      정영수\*\*                      정인근\*\*\*                      민진\*\*\*\*                      한정훈\*\*\*\*\*  
Shim, Chang Su    Chung, Young Soo    Jung, In Keun                      Min, Jin                      Han, Jung Hun

### ABSTRACT

This study deals with the quasi-static tests on steel reinforced concrete composite columns with single embedded steel or multiple members. For the design of bridge piers, the composite section needs to have low steel ratio for cost savings because the dimension of the pier section is usually large. There is lack of design guidelines for these composite columns with low steel ratio, but the design provisions for the normal reinforced concrete column can be used for the design because of the low steel ratio. It is necessary to provide the design provisions in terms of the strength limit state and seismic performance by the detail requirements on the longitudinal steel and the transverse steel. The test parameters in this study were determined considering the current design provisions on RC columns. Through the quasi-static tests, the seismic performance of the composite columns were discussed.

### 1. 서론

콘크리트에 강재를 매입한 형태의 SRC(Steel Reinforced Concrete) 기둥은 주로 높은 강재비(4%이상)를 가지고 코어 위치에 배치되는 형태에 대해 연구되어 왔다. 이를 교량 구조물에 적용하기 위해서는 비교적 큰 단면을 갖는 합성 기둥 단면에 대한 연구를 수행하여 P-M상관도와 같은 강도 특성 뿐만 아니라 요구 내진성능을 만족하는 상세에 대한 제안이 필요하다. 강재의 효과를 극대화하기 위해서는 강재의 양을 늘려야 하는데 큰 단면을 갖는 교각 구조물에서 강재의 양을 늘리는 시도는 경제적인 측면에서 비효율적인 설계가 된다. 교각 구조물에 적합한 합성단면이 낮은 강재비를 갖는다면 이는 철근 콘크리트 교각의 설계 개념에 입각해서 상세를 결정하는 것이 바람직한 출발점으로 판단된다. 주철근과 매입 강재의 강재비, 띠철근의 양과 배치에 대한 상세 규정이 별도로 정해져 있지 않기 때문에 현재의 철근콘크리트 교각의 설계 기준에 근거해서 실험적으로 이를 검증할 필요가 있다. 실제 교각에의 SRC기둥의 적용을 위해 이번 실험을 계획 하였다. 특히, SRC(steel reinforced concrete) 합성 기둥의 내진 성능을 평가하기 위하여, 횡방향 철근의 양, 매입 강재의 종류, 그리고 매입 강재의 양을 변수로 두고 8개의 실험체를 제작하였다. 일정량의 축력과 함께 준정적 실험(Quasi-Static Test)을 수행하고, 내진성능 및 파괴거동을 평가하였다.

### 2. SRC 합성 기둥설계

SRC 합성 기둥 실험체는 총 8개를 제작하였다. H형강을 매입한 실험체 3개와 원형강관을 매입한 실험체 2개를 제작하였고, 강재의 구조적 장점을 최대한 이용하기 위하여 다수(4개)의 강재를 매입한 실험체

\*정회원, 중앙대학교 토목공학과 교수, 공학박사, 02-670-4707(E-mail:csshim@cau.ac.kr)  
\*\*정회원, 중앙대학교 토목공학과 교수, 공학박사, 02-670-3339(E-mail:chung47@cau.ac.kr)  
\*\*\*정회원, 중앙대학교 건설환경연구소 연구원, 공학박사, 031-670-4661(E-mail:inkeun88@lycos.co.kr)  
\*\*\*\*정회원, 중앙대학교 토목공학과 구조연구실, 석사과정, 031-670-4661(E-mail:mutjin78@naver.com)  
\*\*\*\*\*정회원, 중앙대학교 토목공학과 구조연구실, 석사과정, 031-670-4661(E-mail:hjh190@hotmail.com)

험체 3개를 제작하였다. 그림 1내 실험체의 설계단면을 나타내었다. 콘크리트의 설계강도는 23.5MPa 철근은 SD30을 사용하였고, 강재는 강종 SS400을 사용하였다. 그러나 실제 콘크리트 압축강도시험 결과 콘크리트의 강도는 설계강도 보다 큰 값을 보였다. 단면의 중앙에 강재를 매입한 실험체는 주철근을 포함한 강재비 1.63%를 유지하여 현재 설계되고 있는 RC교각 수준의 주철근비를 갖도록 설계하였고, 다수의 횡강을 매입한 실험체는 부재의 여건상 다소 높은 3.8%의 강재비를 갖도록 설계하였다. 또 도로교 설계기준의 횡방향 철근비에 따른 내진 실험체 5개와 비내진 실험체 3개를 제작하여, SRC기둥에서 강재의 구속효과로 인한 최소 횡방향 철근비(면적)를 평가하였다. 매입강재의 형상 및 배치구조를 변수로 하여 교각에 적합한 SRC기둥의 강재 형상 및 강재의 배치 형태를 결정하도록 하였다. 표 1에 실험체의 변수들을 정리하였다.

국부변형률을 측정하기 위하여 각 실험체의 강재 및 주철근, 그리고 횡방향 철근에 게이지를 부착하였으며, 기초-기둥 접합부에서 250mm 위치에 콘크리트 게이지를 부착하였다.

표 1 실험체명과 변수

실험종류	실험체명	구조용 강재 (mm)	강재+주철근비 (%)	띠철근비 (%)	실험변수
Quasi - static	QSHS-BA	125×125	1.63	D10-1.06	H형 강재 기준 실험체
	QSHS-SR	125×125	1.63	D10-0.53	H형 강재 약축
	QSHS-SR,WA	125×125	1.63	D10-0.53	횡방향철근 감소 H형 강재 약축
	QSCT-BA	D=139.8,t=4.8	1.77	D10-1.06	원형 강관 기준 실험체
	QSCT-SR	D=139.8,t=4.8	1.77	D10-0.53	횡방향철근 감소
	QMHS-BA	100×100	3.8	D10-1.06	다형강 매입 기준 실험체
	QMCT-BA	D=210.6,t=5.3	3.8	D10-1.06	다강관 매입 기준 실험체
	QMHS-HS	100×100	3.8	D10-1.06	다형강 매입 기준 실험체 갈고리 철근

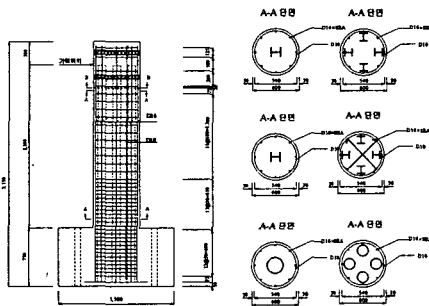


그림 1. 실험체 단면

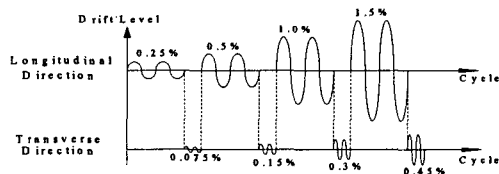


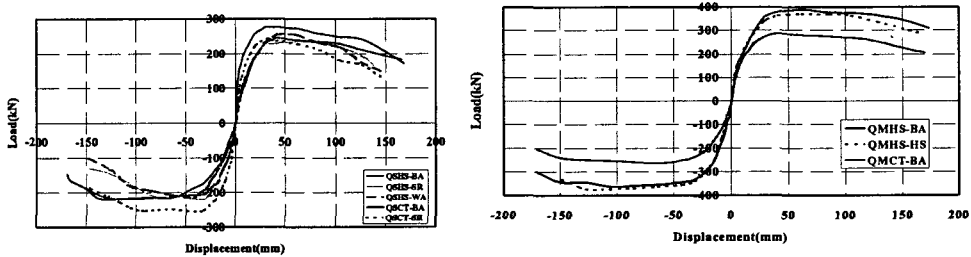
그림 2. 변위 제어

### 3. 실험 및 결과

제작된 8개의 실험체는  $0.1f_{ck}A_g = 670kN$  크기의 축하중을 재하한 상태로  $\pm 300mm$ 의 변위를 갖는 actuator를 이용하여 변위제어로 실험을 진행하였다. 실험체가 갖는 극한하중의 75% 수준으로 하중이 감소할 때까지 Drift Level을 증가시키면서 실험체의 변위를 제어하였다. 그림 2는 변위 제어의 Drift Level 진행 과정을 보여준다.

그림 3은 각 실험체의 하중-변위 곡선을 나타낸 것이다. 그림 3(a)에서 보듯이 단형강을 매입한 실험체의 경우, 강관을 매입한 실험체가 비슷한 단면적을 갖는 H형강 매입 실험체 보다 큰 극한 강도를 보여주고 있다. 실험체의 내진 성능을 평가하는 기준인 연성능력 역시 H형강을 매입한 실험체보다는

강관을 매입한 실험체가 우수한 성능을 보였으며, QSHS-SR,WA를 제외하고는 도로교설계기준의 요구연성도 5를 만족하고 있다. 하지만 비내진 실험체(50%한정연성실험체)의 횡방향 철근비에 따른 RC 교각의 연성도 역시 요구연성도 5 내외의 값을 보이고 있기 때문에, 합성교각의 설계에서 횡방향 철근의 감소 여부는 보다 많은 실험 후 판단해야 하고, 현 상황에서는 RC교각 수준의 횡방향 철근비를 유지해야 할 것으로 판단된다. 그림 3(b)는 다형강 매입 실험체의 하중-변위 곡선을 비교하였다. 내진규정을 만족하도록 설계된 다형강 매입 실험체는 모두 6이상의 연성도를 나타냈다. 또한, 단형강 매입 강재의 강제기여도(0.16)보다 큰 강제기여도(0.35)로 더 높은 극한강도를 보이고 있다. 하지만, 원형강관을 다수 매입한 QMCT-BA 실험체의 경우 QMHS-BA (H형강 다수 매입) 극한강도의 75% 수준의 강도를 보여주고 있는데, 이는 소성 힌지 구간의 강관과 콘크리트의 합성문제와 심부 콘크리트를 구속시켜주는 역할이 미비한 것으로 판단되어 이에 대한 향후 검토가 좀 더 이루어질 예정이다. 그림 4는 강관의 좌굴위치와 심부콘크리트 파쇄 위치가 일치함을 보여준다. 또 H형강재의 부착면적 보다 적은 원형강관의 부착면적이 합성작용을 유지할 수 있는 부착용력을 확보하지 못한 것도 그 원인으로 판단된다. 강관의 경우, 심부 콘크리트의 파쇄와 합성작용 확보를 위한 상세가 요구된다.



(a) 단형강 매입실험체

(b) 다형강 매입실험체

그림 3 하중-변위 곡선(Envelope Curve)

표 2 각 실험체의 최대강도와 연성도

실험체명	Experimental (kN)	연성도( $\Delta u/\Delta y$ )
QSHS-BA	247.0	5.2
QSHS-SR	237.0	5.4
QSHS-SR,WA	258.4	4.1
QSCT-BA	277.4	8.7
QSCT-SR	243.7	5.4
QMHS-BA	389.8	6.3
QMCT-BA	289.8	6.6
QMHS-HS	372.7	6.1

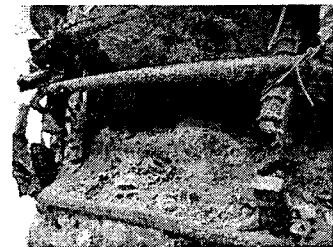


그림 4. 심부콘크리트 파괴 모습

형상비 3.5로 설계된 이번 실험체 모두 소성힌지부에서 주철근이 파단되는 전형적인 휨파괴 현상을 보였다. 기존 RC교각에서는 형상비 2.5 내외에서 반복 횡하중 초기에는 휨 거동을 보이다가 최종 하중 단계에서는 전단작용에 의한 파괴현상을 보이고, 그 이상의 형상비에 대해서는 휨파괴 현상을 보이는 것으로 보고되고 있는데, 이는 SRC 합성교각에서도 적용됨을 알 수 있다. 초기균열은 변위비 0.25%(5.25mm)에서 발생했으며, 수직균열은 변위비 2.0%(42mm)에서 발생했고 수직균열 후 피복탈락 역시 같은 변위비에서 발생했다. 주철근의 파단은 비내진 실험체를 제외하고 변위비 6.0%(126mm)에서 발생했다. 표 3은 각 실험체의 반복 재하실험에서 관찰한 거동을 변위비로 나타냈다.

표 3. 각 실험체의 파괴 거동

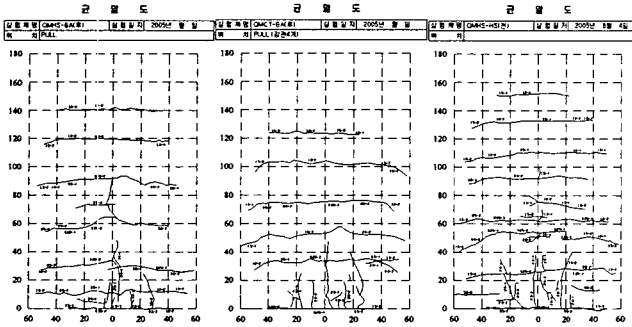


그림 5 다형강매입 SRC기둥의 균열 모습

전체적인 균열은 반복하중 재하 초기에는 비교적 실험체 전 길이 걸쳐 균열이 발생하고, 최종단계로 갈수록 소성힌지구간에 균열이 집중되면서 수직균열과 콘크리트 탈락이 발생함을 알 수 있다. 이는 하중재하 초기에는 강재의 영향으로 응력의 분배가 비교적 잘 이루어짐을 보여준다. 그림 5는 실험체의 균열 모습을 나타낸 것이다.

4. 결론

SRC합성 기둥의 교각에의 적용성을 평가하기 위해 RC교각과 유사한 강재비를 갖도록 설계한 실험체와 고교각에의 적용을 위해 다형강매입 실험체를 설계하여 그 파괴거동과 내진성능을 실험을 통해 평가하였다.

- 1) 단수의 강재를 매입한 형태의 합성기둥은 원형강관을 매입한 실험체가 큰 모멘트 저항 능력과 연성을 보였다.
- 2) 다수의 강재를 매입한 형태의 합성기둥은 H형강을 매입한 실험체가 큰 모멘트 저항 능력을 보여주었다.
- 3) 다수 원형강관을 매입한 실험체는 심부콘크리트의 파쇄를 막고, 부착강도를 확보할 수 있는 적절한 상세가 필요하다.
- 4) 낮은 강재비를 갖는 SRC 합성기둥의 상세 설계는 현재의 철근콘크리트 교각의 규정을 준용하는 것이 바람직한 것으로 판단된다.

감사의 글

이 연구는 교량설계핵심기술연구단을 통하여 지원된 건설교통부 건설핵심기술연구개발사업에 의하여 수행되었습니다. 연구 지원에 감사 드립니다.

참고문헌

1. Eurocode4 Design of composite steel and concrete structures Part 1.1 General rules and rules for buildings
2. ACI, (2005) Building code requirements for structural concrete (ACI 318-05 and commentary (ACI 318R-05) : American Concrete Institute,
3. AISC, (2005) Seismic Provision for Structural Steel Buildings. : American Institution of Steel Construction,
4. 정인근, 심창수, 정영수, 민 진, (2005) SRC합성기둥의 P-M상관도 분석을 위한 실험. 대한토목학회지 제25권 제34호 . pp. 555-563
5. El-Tawil, S. and Deierlein, G. G., "Strength and ductility of concrete Encased Composite Columns", Journal of Structural Engineering, Vol. 125, No. 9, 1999, pp. 1009-1019