

준정적 실험에 의한 SRC 합성교각의 내진성능 평가

Seismic Performance Evaluation of SRC Column by Quasi-Static Test

한정훈¹⁾ · 박창규²⁾ · 심창수³⁾ · 정영수³⁾

Han, Jung-Hoon · Park, Chang-Kyu · Shim, Chang-Su · Chung, Young-Soo

국문 요약 >> 지진지역의 교량교각에 대한 설계에서 요구연성도는 가장 중요한 요소이다. 철근콘크리트 교각의 내진성능 향상을 위해서 강관으로 교각을 감싸거나 후프철근과 같은 횡방향 철근을 이용하여 교각을 구속함으로써 교각의 연성도를 증가시키는 방안이 필요하다. 강재 매입형 교각을 이용하는 것은 RC 교각 내진성능을 향상시키는 유용한 방법중의 하나이다. 이 논문에서는 강재 매입형 합성교각의 내진성능을 평가하기 위하여 단일강재와 복수강재가 매입된 합성교각에 대하여 준정적 실험을 수행하였다. H형강이 매입된 실험체와 부분 충전된 원형강관이 매입된 단면으로 구성되어 총 8기의 실험체를 제작하였다. 실험변수는 심부구속 철근비, 매입 강재의 종류와 양으로서 이에 대한 변위연성도를 분석하였다. 실험결과 강재매입으로 인하여 교각의 변형능력이 증가하였으며 특히 원형강관이 매입된 교각의 변위연성도와 횡방향 강도가 가장 크게 나타났다.

주요어 강재매입형 합성교각, H형강, 원형강관, 준정적 실험, 변위연성도

ABSTRACT >> In the design of bridge piers in seismic area, the ductility requirement is the most important factor. In order to enhance the seismic performance of RC columns, it is necessary to make the ductility of columns larger by covering RC columns with steel tubes or confining RC columns by arranging transverse reinforcements such as hoop ties closely. Using core steel composite columns is useful as one of the reinforcing RC columns. In this paper, quasi-static tests on concrete encased composite columns with single core steel or multiple steel elements were performed to investigate the seismic performance of the composite columns. Eight concrete-encased composite specimens were fabricated. The cross-sections of these specimens are composed of concrete-encased H-shaped structural steel columns and a concrete-encased circular tube with partial in-filled concrete. Test parameters were the amount of the transverse reinforcements, type and number of encased steel member. Through the tests, it was evaluated the ductility of SRC composite specimens. It has become clear from the test results that encased steel elements makes the deformation capacity of the columns to be larger. The displacement ductility and lateral strength of specimen with concrete-encased circular tube were indicated the biggest value.

Key words concrete encased composite column, H-shape structural steel, circular tube, quasi-static test, displacement ductility

1. 서론

우리나라는 중 약진 지역으로 분류되어 최근에 교량의 하부 구조, 특히 교각 설계에서 철근 배근 등에 어려움을 겪어왔다. 또한, 건설 입지가 이전에 비해서 훨씬 난해하게 변해 가는데 산악이나 해상과 같은 지역, 도심지와 같은 좁은 공간에서의 시공 등이 대표적인 사례이다. 교량의 규모가

커질수록 하부구조의 설계가 전체 교량의 경제성을 좌우하게 된다. 기존의 현장타설 RC 교각에 대한 대안의 하나로 강재매입형 합성기둥(Concrete Encased Composite Column)이 선택될 수 있다. 이 교각은 축력 및 휨에 대한 높은 강성과 강도를 확보할 수 있고 요구되는 성능기준에서 중요한 연성의 확보가 용이하다.⁽¹⁾

국내의 연구결과 정인근⁽²⁾은 정적 실험을 통하여 SRC 합성교각이 RC 교각보다 휨강도와 연성도 측면에서 우수한 성능을 나타낸 것으로 보고되고 있다. 외국의 연구결과에서도 Chen⁽³⁾은 강재매입형 합성기둥에 대해 보강철근의 유무, 횡철근의 간격 등의 변수에 대하여 연구하였다. 보강철근이 있으며 횡철근의 간격이 좁을수록 극한휨강도, 연성도, 에너지 소산능력이 강화되는 것으로 보고되고 있다. Weng과 Yen⁽⁴⁾은 기존

¹⁾ 중앙대학교 토목환경공학과, 석사
(대표저자: jh190@wm.cau.ac.kr)

²⁾ 중앙대학교 토목공학과, 공학박사

³⁾ 중앙대학교 건설대학 토목공학과, 교수

본 논문에 대한 토의를 2006년 10월 30일까지 학회로 보내 주시면 그 결과를 게재하겠습니다.

(논문접수일 : 2006. 5. 19 / 심사종료일 : 2006. 6. 19)

의 SRC 합성기둥에 대한 실험결과들을 AISC-LRFD⁽⁵⁾ 기준 및 ACI-318⁽⁶⁾ 기준과 비교하여 강도 및 휨 성능에 대한 비교분석을 수행하기도 하였다.

콘크리트에 강재를 매입한 형태의 SRC(Steel Reinforced Concrete) 합성기둥은 실제 대부분 건축물에서 4% 이상의 높은 강재비를 유지하면서 설계되고 있다.⁽⁷⁾ 그러나 비교적 큰 단면으로 설계되고 있는 교각에의 사용을 위해서는 적절한 강재비를 통해 경제적인 측면을 고려해야 한다. 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 않은 실정이기 때문에 현재 철근콘크리트 교각의 설계기준에 근거해서 실험적으로 이를 검증할 필요가 있다. 최근 SRC 합성기둥에 대한 해석적 연구가 수행되어지고 있으나, 이전의 연구 대부분은 H형강에 대해서만 수행되었으며, 부분 충전된 원형강관은 매우 드물다.

이 연구에서는 SRC 합성기둥의 내진 성능을 평가하기 위하여 횡방향 철근의 양, 매입 강재의 종류, 그리고 매입 강재의 양을 변수로 두고 8개의 실험체를 제작하였다. SRC 합성기둥에 반복하중(cyclic loading)을 통한 준정적(Quasi-Static) 실험을 수행하고 내진성능 및 파괴거동을 평가하였다.

2. 실험계획 및 방법

2.1 재료물성

콘크리트의 설계강도는 23.5MPa(240kgf/cm²)이 되도

록 배합하였다. 그러나 실제 콘크리트 압축강도시험 결과 콘크리트의 강도는 증기양생으로 인하여 설계강도 보다 큰 값을 보였는데 평균 압축강도는 27.0MPa로 나타났다. 그리고 철근은 SD30($f_y=300\text{MPa}$)을 사용하였고, 강재는 일반 구조용 강재인 SS400($f_y=240\text{MPa}$)을 사용하였다.

2.2 강재매입형 합성기둥의 설계 및 실험변수

강재매입형 합성기둥의 설계는 RC기둥과의 비교를 위해 기존 RC기둥 실험체를 기초로 하여 이루어졌다. 전체 단면의 직경, $D=600\text{mm}$, 전단지간, $L=2,100\text{mm}$ 를 갖는 형상비(aspect ratio, L/D) 3.5인 합성기둥을 설계하였다. 강재매입형 합성기둥 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 3개를 제작하였다. 단면의 중앙에 강재를 매입한 실험체는 주철근을 포함한 강재비 1.63%를 유지하여 현재 설계되고 있는 RC교각 수준의 주철근비를 갖도록 설계하였다.⁽⁸⁾ 다수의 형강을 매입한 실험체는 같은 단면에 3.8%의 강재비를 갖도록 설계하였다. 또 각 실험체를 도로교 설계기준의 횡방향 철근비 기준에 따른 내진 실험체 5개와 이보다 적은 횡방향 철근을 배근한 한정연성 실험체 3개로 구분하여 제작하여, 강재매입형 합성기둥에서 강재의 구속효과로 인한 최소 횡방향 철근비의 축소 가능성을 평가하도록 하였다. 또한, 매입강재의 형상 및 배치 구조를 달리하여 교각에 적합한 강재 형상 및 강재의 배치 형태를 결정하도록 하였다. 표 1에 실험체의 상세를 나타내었다. 주철근은 SD30의 D16 철근을 설계기준의 최소요구량인 8

〈표 1〉 실험체명과 변수

실험 종류	실험체명*	구조용 강재 (mm)	강재+주철근비 (%)	띠철근비 (%)	축하중 (kN)	실험변수
Quasi-static	QSHS-BA	125×125	1.63	D10-1.06	667	H형 강재 기준 실험체
	QSHS-SR	125×125	1.63	D10-0.53	667	H형 강재 횡방향철근 감소
	QSHS-WA	125×125	1.63	D10-0.53	667	H형 강재 약축
	QSCT-BA	D=139.8, $t^{**}=4.8$	1.77	D10-1.06	667	원형 강관 기준 실험체
	QSCT-SR	D=139.8, $t=4.8$	1.77	D10-0.53	667	원형 강관 횡방향철근 감소
	QMHS-BA	100×100	3.8	D10-1.06	667	다형강 매입
	QMCT-BA	D=210.6, $t=5.3$	3.8	D10-1.06	667	다강관 매입
	QMHS-HS	100×100	3.8	D10-1.06	667	다형강 매입, cross-tie

Q : 실험방법 Quasi-Static

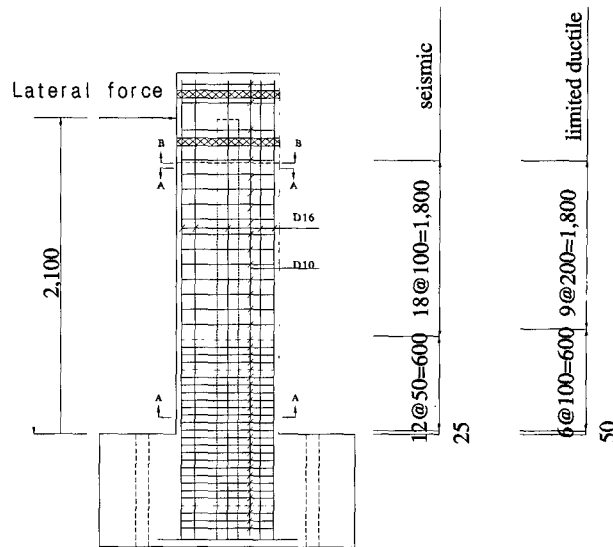
S, M : 매입강재의 수량, Single, Multi

HS, CT : 매입강재의 종류, H_shape Steel, Circular Tube

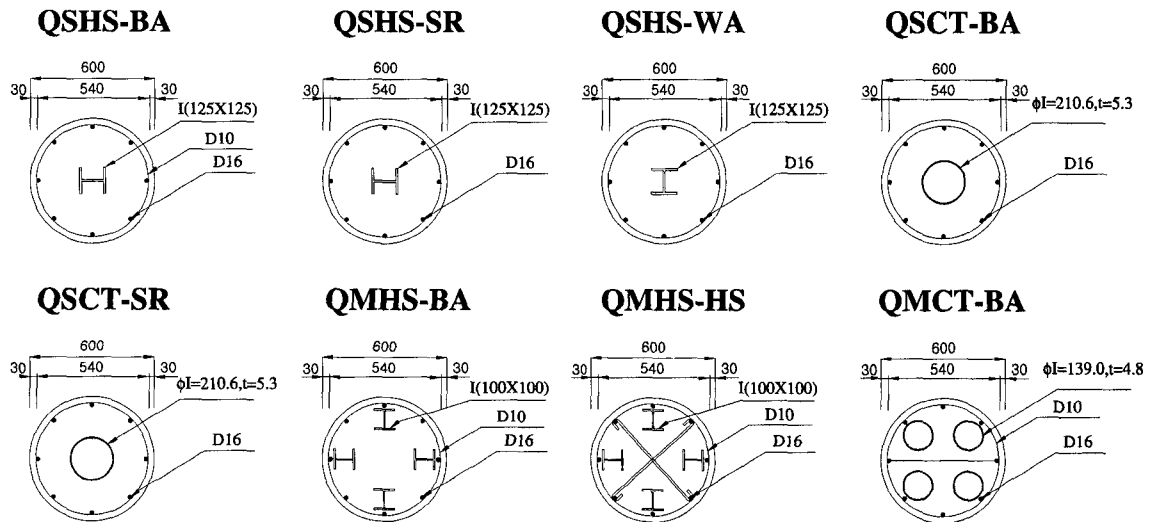
BA(기준실험체), SR(한정연성실험체), WA(약축실험체_H형강매입실험체의 경우),

HS(갈고리철근배근실험체) : 주요실험변수

t^{**} : 강관의 두께



(a) 배근도



(b) 단면 상세

〈그림 1〉 실험체 상세

개를 배근하였고, 내진 실험체의 경우 횡방향철근은 D10 철근을 소성힌지구간(기초-기둥 접합부에서 600mm 구간)에서는 50mm 간격으로 나머지 구간에서는 100mm 간격으로 배근하였다.

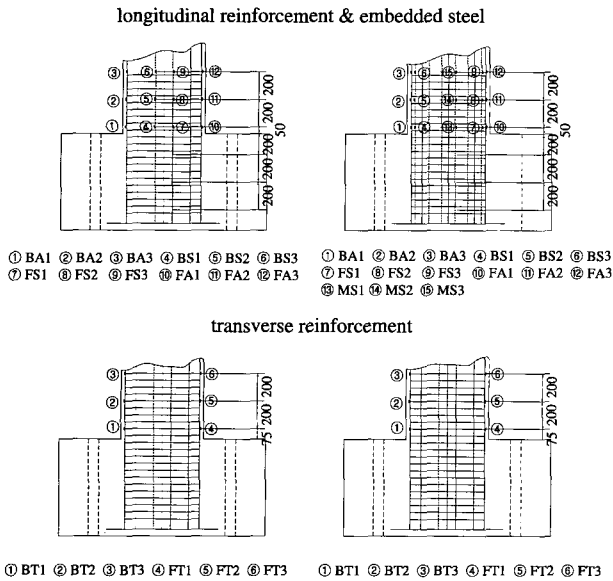
2.3 측정내용

주철근의 항복 변형률과 각 구간에 변형률을 얻기 위하여 철근의 수평력이 재하되는 양방향에 변형률계이지를 부착하였다. 교각에서 위험 단면은 일반적으로 1.0D~1.5D까지 이므로 기초-기둥 접합부로부터 600mm 이내에 200mm 간격으로 배치하였다. 교각의 내진성능의 향상에 큰 영향을 미치는 횡방향철근의 변형률 변화 추이를 확인하기 위하여 최대한 주철근의 변형률계이지 부착위치와 근접한 위치에

변형률계이지를 부착하였다. 강재에는 주철근과 마찬가지로 동일한 위치에 변형률계이지를 부착하여 강재와 주철근의 하중전달 구조를 규명할 수 있도록 하였다. 그림 2는 변형률계이지의 부착 위치를 보여준다. 수평변위와 수평하중의 측정은 actuator에 설치된 변위계와 로드셀에서 직접 취득하였다. 하중 재하 시 예상치 못한 기초부위의 변위나 들림을 측정하여 실험 중 발생할 수 있는 밀림현상, 들림현상 등을 수시로 체크하도록 하였다.

2.4 실험방법

총 8기의 실험체는 SRC 합성기둥의 극한강도와 연성능력 파악을 위하여 축하중이 재하된 상태에서 준정적 실험을 수행하였다. 수평하중은 일정한 압축력($0.1f_{ck}A_g=670kN$)을



〈그림 2〉 변형률계이지의 부착위치

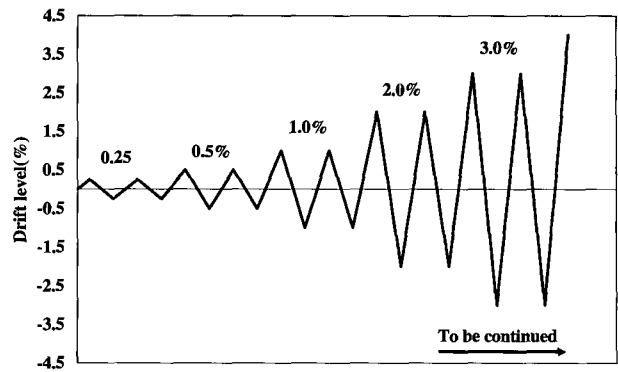
도입한 상태에서 최대변위 ±300mm actuator를 이용하여 수평반복하중을 변위비(Drift level)로 일정비율 증가시키면서 변위제어로 진행하였다. 재하된 변위하중은 교각 높이에 대한 비율(Drift level, %)으로써 그림 3과 같이 재하초기에는 0.25%부터 실험체의 급작스런 파괴방지를 위하여 0.5%씩 증가시켰고 예상 항복변위 이상인 2% 이후로는 1%씩 증가시켜 파괴시까지 재하하였다.

3. 실험결과

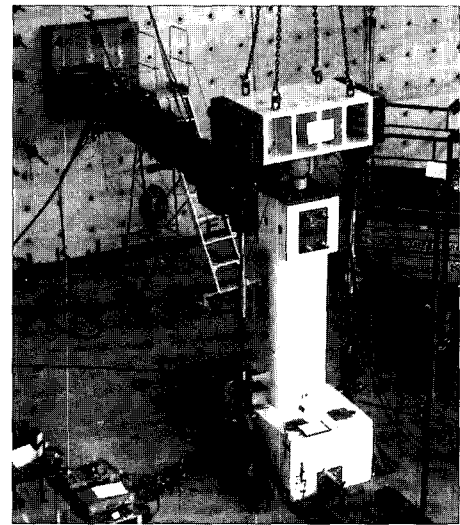
3.1 하중단계별 교축방향 파괴거동

형상비 3.5로 설계된 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 Drift level 0.25%(5.25mm)에서 발생했으며, 수직균열은 Drift level 2.0%(42mm)에서 발생했고 수직균열 후 피복탈락 역시 같은 Drift level 에서 발생했다. 주철근의 파단은 한정연성으로 설계된 실험체를 제외하고 Drift level 6.0%(126mm)에서 대부분 발생하였다. 표 2는 각 실험체의 반복 재하실험에서 관찰한 거동변위비로 나타내었다.

전체적인 균열은 반복하중 재하 초기에는 비교적 실험체 전 길이 걸쳐 균열이 발생하고, 최종단계로 갈수록 소성힌지구간에 균열이 집중되면서 수직균열과 콘크리트 탈락이



〈그림 3〉 횡방향하중 재하형태



〈그림 4〉 실험전경

발생함을 알 수 있다. 이는 하중재하 초기에는 강재의 영향으로 응력의 분배가 비교적 잘 이루어짐을 보여준다.

실험체별 거동특성은 다음과 같고 이를 표 2에 정리하였다.

QSHS-BA: H형강이 강축으로 1개 매입되고 횡철근 간격이 50mm 간격으로 내진 설계된 실험체로서 Drift level 2%에서 최대횡하중에 도달하였고 압축부의 피복콘크리트가 탈락되는 현상이 나타났다. 또한 Drift level 7%에서 극한변위에 도달하였다.

QSHS-SR: H형강이 강축으로 1개 매입되고 횡철근 간격이 100mm 간격으로 한정연성으로 설계된 실험체로서 Drift level 3%에서 최대횡하중에 도달하였다. Drift level 6%에서 극한변위에 도달하였다.

QSHS-WA: H형강이 약축으로 1개 매입되고 횡철근 간격이 100mm 간격으로 한정연성으로 설계된 실험체로서 강축으로 설계된 QSHS-SR과 같이 Drift level 3%에서 최대횡하중에 도달하였으며, Drift level 5%에서 극한변위에 도달하였다.

QSCT-BA: 원형강관이 1개 매입되고 횡철근 간격이 50mm

〈표 2〉 하중단계별 교축방향 파괴거동

Drift Level Specimen	0.25%	0.5%	1%	1.5%	2%	3%	4%	5%	6%	7%	8%
QSHS-BA	★			◇	●◆▲				■	◎	
QSHS-SR	★			◇	●◆	▲		■	◎		
QSHS-WA	★			◇	●◆	▲		■◎			
QSCT-BA	★		◇		●◆▲				■	◎	
QSCT-SR	★		◇		●▲	◆		■◎			
QMHS-BA	★			●◇	◆	▲			■		◎
QMCT-BA	★				●▲	◆				■◎	
QMHS-HS	★			◇	●◆	▲			■	◎	

★: 초기균열, ◇: 항복변위, ●: 수직균열, ◆: 피복탈락, ▲: 최대횡하중, ■: 주철근 파단, ◎: 극한변위

간격으로 내진 설계된 실험체로서 H형강이 강축으로 1개 매입되고 내진 설계된 QSHS-BA와 같은 결과를 보였다. Drift level 2%에서 최대횡하중에 도달하였고 압축부의 피복콘크리트가 탈락되는 현상이 나타났다. 또한, Drift level 7%에서 극한변위에 도달하였다.

QSCT-SR: 원형강관이 1개 매입되고 횡철근 간격이 100mm 간격으로 한정연성으로 설계된 실험체로서 Drift level 2%에서 최대횡하중에 도달하였고, Drift level 5%에서 극한변위에 도달하였다.

QMHS-BA: H형강이 4개 매입되고 횡철근 간격이 50mm 간격으로 내진 설계된 실험체로서 Drift level 3%에서 최대 횡하중에 도달하였고, Drift level 8%에서 극한변위에 도달 하였다.

QMCT-BA: 원형강관이 4개 매입되고 횡철근 간격이 50mm 간격으로 내진 설계된 실험체로서 Drift level 2%에서 최대횡하중에 도달하였고, Drift level 7%에서 극한변위에 도달하였다. 또한 내진 설계된 실험체들 대부분이 Drift level 6%에서 주철근파단이 일어났지만 이 실험체만 7%에서 주철근 파단이 발생하였다.

QMHS-HS: H형강이 4개 매입되고 후프 띠철근 외에 보 강근(cross-tie)이 50mm 간격으로 배근된 내진 설계된 실험 체로서 Drift level 3%에서 최대횡하중에 도달하였고, Drift level 7%에서 극한변위에 도달하였다.

3.2 하중, 변위 이력곡선

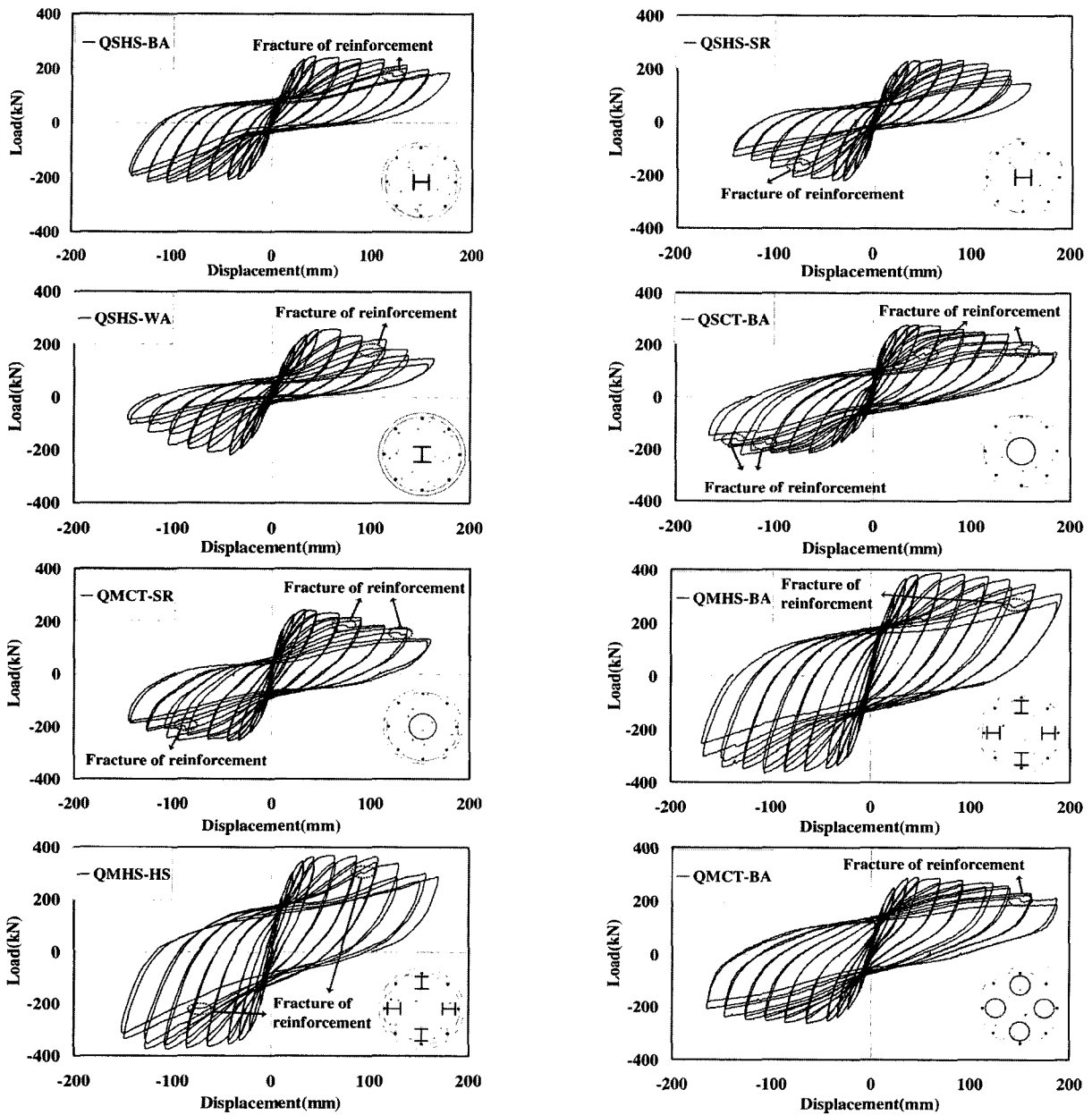
그림 5는 각 실험체의 하중-변위 이력곡선을 나타낸 것이다. 그림 6(a)에서 보듯이 단형강을 매입한 실험체의 경우, 강관을 매입한 실험체가 비슷한 단면적을 갖는 H형강 매입 실험체 보다 최대강도가 10.9% 증가된 모습을 보여주고 있다. 그리고 심부구속철근비를 1.06%에서 0.53% 감소시킨

실험체의 강도는 H형강이 4.2%, 원형강관이 12.1% 감소되었다.

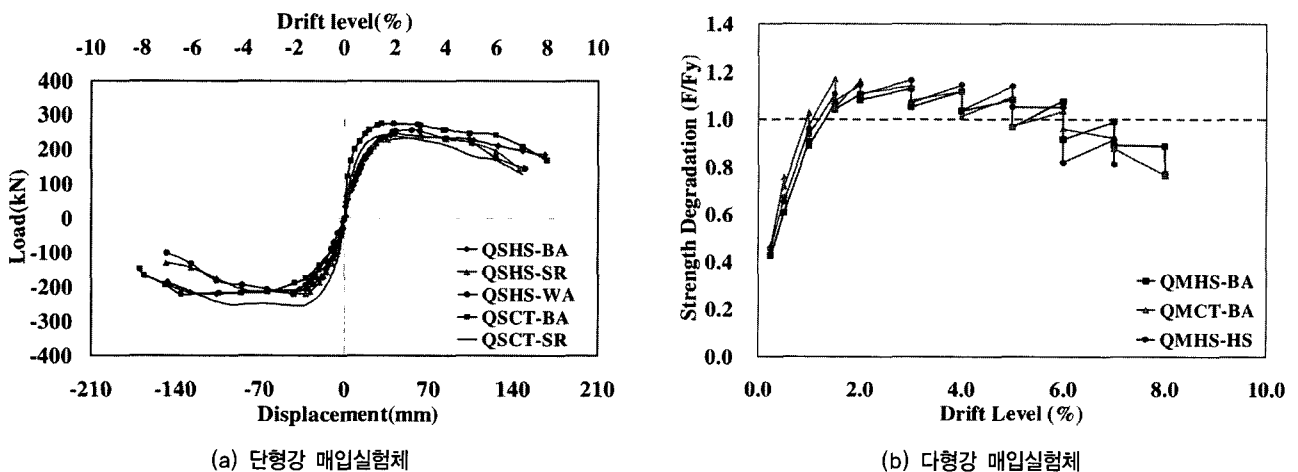
그림 6(b)는 다형강 매입 실험체의 하중-변위 곡선을 비교 하였다. 단형강 매입 강재의 강재기여도(0.16)보다 큰 강재기 여도(0.35)로 더 높은 극한강도를 보이고 있다. 강재를 1개에 서 4개로 증가시킨 H형강의 강도는 36.6%, 원형강관은 4.3% 증가하였다. 그러나, 원형강관을 다수 매입한 QMCT-BA 실험체의 경우 QMHS-BA(H형강 다수 매입) 극한강도의 75% 수준의 강도를 보여주고 있는데, 이는 강재배치의 구조적인 문제 즉, 최 외측 강관의 좌굴이 심부콘크리트 파쇄에 큰 영향을 미치는 것으로 보인다. 또한 H형강재의 부착면적 보다 적은 원형강관의 부착면적이 합성작용을 유지할 수 있는 부착응력을 확보하지 못한 것도 그 원인으로 판단된다. 강관의 경우, 심부 콘크리트의 파쇄와 합성작용 확보를 위한 상세가 요구된다.

3.3 연성도 분석

단형강을 매입한 실험체의 경우, 실험체의 내진 성능을 평가하는 기준인 연성능력 역시 H형강을 매입한 실험체보다는 강관을 매입한 실험체가 우수한 성능을 보였으며, QSHS-WA 를 제외하고는 도로교설계기준의 요구연성도 5를 만족하고 있다. 단일형강 매입 기둥의 경우에 H형강 매입부재가 5.32의 연성도를 보인 반면에 콘크리트를 부분 충전한 원형강관을 매입한 부재의 연성도는 9.69의 높은 값을 보였는데 이는 충전 강관이 기둥의 극한강도 이후에도 상당한 수준의 변형까지 내력을 유지하기 때문으로 판단된다. 이에 비해서 여러 개의 강재를 매입한 경우에는 H형강 부재에 비해서 원형강관 부재의 연성도가 약간 증가하는데 그치고 있다. 이는 파괴모드에서 관찰한 바에 의하면 극한강도 도달후에 심부 콘크리트 내부로 손상이 진행되어 심부 콘크리트의 구속



〈그림 5〉 각 실험체의 하중-변위곡선



〈그림 6〉 하중-변위곡선

〈표 3〉 각 실험체의 항복, 극한변위와 강도 및 연성도

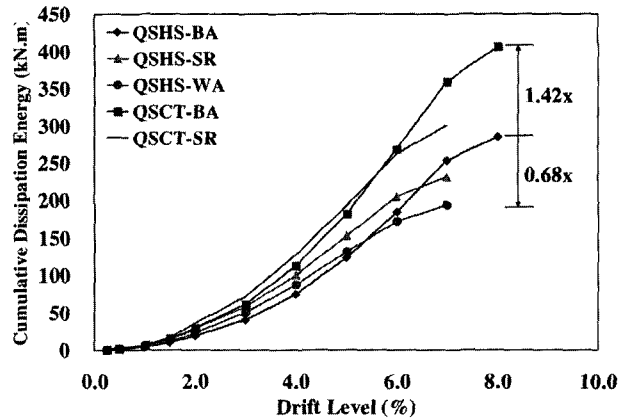
	Yield		Ultimate		Displacement Ductility
	Load (kN)	Displacement (mm)	Load (kN)	Displacement (mm)	
QSHS-BA	209.60	24.73	208.21	131.64	5.32
QSHS-SR	197.74	21.89	199.79	121.66	5.56
QSHS-WA	223.21	27.64	218.31	104.54	3.78
QSCT-BA	227.29	13.49	234.40	130.67	9.69
QSCT-SR	206.93	16.43	206.47	88.73	5.40
QMHS-BA	339.47	26.05	329.78	159.89	6.14
QMHS-HS	316.48	24.28	314.02	145.45	6.00
QMCT-BA	244.59	20.41	245.32	134.76	6.60

효과가 제대로 발현되지 못하기 때문인데 매입 강재의 강재비가 높아지는 경우에 소성힌지 구간의 합성작용 확보가 필요할 것으로 판단된다. 횡방향 철근비를 줄인 한정연성 실험체(내진 실험체의 50%)의 횡방향 철근비에 따른 RC교각의 연성도 역시 요구연성도 5를 약간 넘는 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. 다형강 매입한 실험체의 경우, 내진규정을 만족하도록 설계된 다형강 매입 실험체는 모두 6 이상의 연성도를 나타냈다.

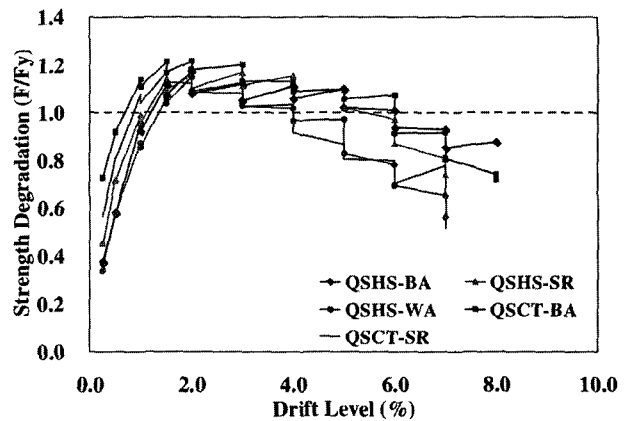
3.4 에너지 분석

구조물에서 외부 에너지가 작용하였을 때, 그 에너지를 얼마나 소산시킬 수 있는 가는 구조물의 내진성능 평가에 있어서 연성도와 더불어 중요한 항목이다. 따라서 에너지 소산능력의 척도로서 축적소산에너지를 분석하였으며, 소산 에너지는 하중-변위 이력곡선의 내부면적으로 정의하였다.

그림 7(a)에 나타난 바와 같이 에너지 소산능력은 원형강관을 매입한 QSCT-BA 실험체가 가장 크게 나왔다. 이는 H형강을 매입한 QSHS-BA 실험체보다 약 1.42배 많은 에너지를 소산하는 것으로 나타났다. 또한 심부구속철근비를 현행기준의 50%를 배근한 경우에도 원형강관 실험체인 QSCT-SR 실험체가 H형강을 매입한 QSHS-SR 실험체보다도 약 1.3배 에너지소산능력이 좋은 것으로 나타났다. 그리고 H형강을 약축으로 넣은 QSHS-WA 실험체의 경우에는 H형강을 강축으로 넣은 QSHS-BA 실험체 에너지 소산능력의 약 68%로 나타나 약 32% 떨어지는 것으로 나타났다. 따라서 변위연성도 결과와 마찬가지로 에너지 소산능력에서도 원형강관을 넣은 QSCT-BA 실험체가 내진성능이 우수한 것으로 나타났다. 또한 콘크리트 심부에 강재를 다수 넣은 실험체



(a) 단형강 매입실험체



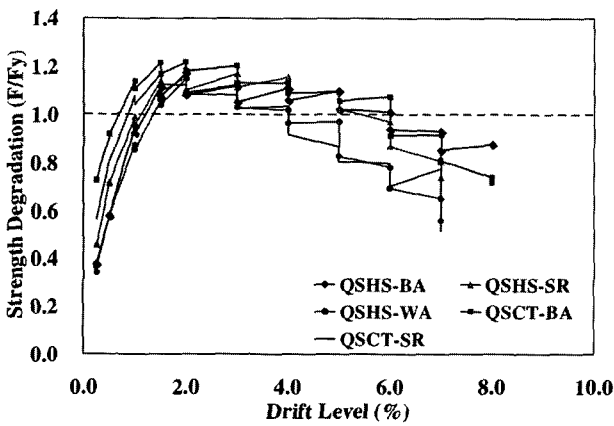
(b) 다형강 매입실험체

〈그림 7〉 에너지 흡수능력

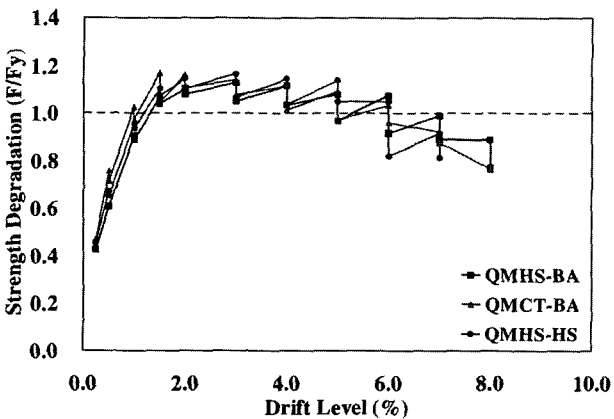
의 경우에는 그림 7(b)에 나타난 바와 같이, 강재를 한 개 넣은 경우와는 달리 H형강을 4개 넣은 QMHA-BA 실험체가 원형강관을 4개 넣은 QMCT-BA 실험체보다 약 1.25배 크게 나타났다. 또한 심부구속철근에 보강근을 배근한 QMCT-HS 실험체는 보강근을 배근하지 않은 QMHA-BA 실험체와 매우 유사한 경향을 보여 보강근이 심부구속에 큰 역할을 하지 않는 것으로 나타났다.

3.5 강도감소

그림 8은 각 실험체별 강도감소 곡선을 나타낸다. 강도감소는 각 변위하중단계별 최대하중을 항복하중으로 나누는 값으로서 변위하중 증가에 따른 강도감소율을 나타낸다. 그림 8(a)에서 보이는 바와 같이 항복하중에 비하여 최대강도의 비율은 H형강이 매입된 QSHS-BA 실험체가 가장 높게 나타났다. 그러나 변위하중 증가에 따른 강도감소가 가장 작은 실험체는 다른 분석과 마찬가지로 원형강관이 매입된 QSCT-BA 실험체인 것으로 나타났다. 그러나 H형강이 매입된 QSHS-BA 실험체와 원형강관이 매입된 QSCT-BA 실험체 모두 drift level 6.0%까지는 각각의 항복강도 이하로 저하되지 않는 것으로 나타났다. 이는 표 3의 극한변위를 보면 두 실험체가 모두 유사한 것을 알 수 있다. 그리고 심부구속철근비가 내진설계된 기준실험체의 50% 배근된 한 정연성실험체들은 모두 기준 실험체보다 일찍 강도가 저하되는 것으로 나타났으나, H형강이 매입된 QSHS-BA의 경우가 drift level 5.0%에서 항복강도 이하로 감소되어 drift level 4.0%에서 항복강도 이하로 감소된 원형강관이 매입된



(a) Single



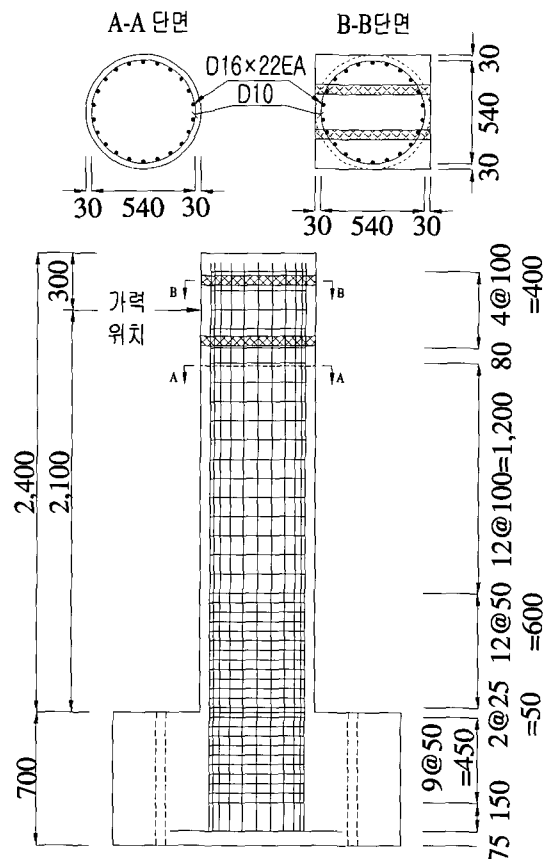
(b) Multi

<그림 8> 강도감소 곡선

QSCT-SR 실험체보다 강도 저하 능력면에서는 좋은 것으로 나타났다. 또한 QSCT-SR 실험체는 H형강을 약축으로 배치한 QSHS-WA 실험체와 유사한 경향을 나타내고 있다. 그리고 심부콘크리트에 강재가 다수 매입된 그림 8(b)의 결과에서 보이는 바와 같이 모두 내진설계 규정에 따른 심부구속철근비로 배근되어 있어 모두 유사한 경향을 보이는 것으로 나타났다.

3.6 RC 교각과의 비교

본 연구 대상인 SRC 교각은 기존의 RC 교각의 심부에 형강을 넣어 축방향 강도를 증가시키고 또한 교각 심부의 연성능력을 향상시키는데 주목적이 있다. 따라서 본 절에서는 기존 RC 교각의 실험연구 결과와 비교를 하였다. 비교된 RC 교각은 재료강도비 ($f_c=28.3MPa, f_y=300MPa$)로서 본 연구의 SRC 교각과 유사하다. 또한 RC 교각에 배근된 주철근비는 1.55%로서 SRC 교각의 기준실험체인 QSCT-BA와 QSHS-BA의 강재비인 1.77%과 1.63%보다 다소 적으며 단면 직경 및 형상비는 동일한 실험체이다. 그리고 그림 9에 나타낸 바와 같이 소성힌지 구간에 띠철근은 D10@5cm 로 배근되어 있으며 내진갈고리를 가지고 있고 cross-tie는 없



<그림 9> RC 교각 단면도

는 실험체이다.

비교 결과 그림 10(a)에 나타난 바와 같이 최대강도는 RC의 경우 278.85 kN이고, QSCT-BA 실험체는 277.40kN, 그리고 QSHS-BA는 247.04 kN으로 나타나 RC 실험체와 원형강관이 삽입된 QSCT-BA는 유사하게 나타났으며 H형강이 삽입된 QSHS-BA 실험체는 다소 적게 나타났다. 두 실험체의 계산된 공칭강도는 454.8kN·m(RC), 352.0kN·m(QSCT-BA)로서 RC 실험체가 약 29% 정도 크게 나왔다. 이는 RC 실험체와 SRC 실험체의 강재비는 SRC의 경우가 0.22 크기는 하지만 주철근의 배치상태와 SRC 교각의 원형강관의 항복강도가 작기 때문이다. 따라서 RC가 SRC의 횡방향 강도보다 크게 나타난다.

변위연성도의 경우에는 그림 10(a)에서 산정한 결과 RC 기둥 실험체의 경우 7.73이고, QSCT-BA 실험체는 9.69, QSHS-BA는 5.32로 나타났다. 변위연성도는 원형강관을 삽입한 QSCT-BA 실험체가 가장 좋게 나타났으며, H형강을 삽입한 QSHS-BA는 RC 실험체보다 적게 나타났다.

에너지 흡수능력에서는 그림 10(b)에 보이는 바와 같이 QSHS-BA와 RC 실험체는 매우 유사하게 나타났으며 QSCT-BA 실험체의 경우는 RC 및 QSHS-BA 실험체보다 약 1.43배 좋은 것으로 나타났다. 에너지는 횡방향 하중과 변위의 곱으로 구성되는데 그림 10(a)에 보이는 바와 같이 RC의 경우가 횡방향 하중이 더 크므로 불구하고 SRC 실험체의 에너지 소산능력이 유사하거나 크게 나타난 이유는 심부콘크리트에 강재가 포함되어 있기 때문이며 강재의 에너지 소산능력이 콘크리트 보다 훨씬 좋기 때문이다.

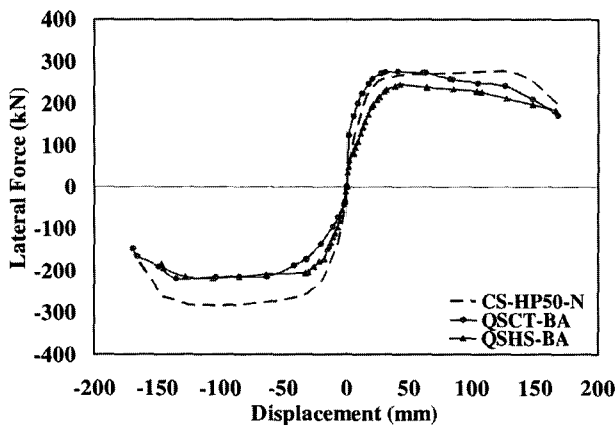
그림 10(c)의 강도 감소의 경우에는 SRC 실험체에는 주철근이 8개 밖에 없어 주철근이 22개 배근되어 있는 RC 실험체에 비하여 강도 저하가 다소 큼을 알 수 있다. 그러나 전반적으로는 큰 차이는 없는 것으로 나타났다.

따라서 원형강관이 매입된 QSCT-BA 실험체의 주철근을 포함한 강재비가 RC의 경우보다 다소 크나 강재의 항복강도를 고려하면 유사한 강재비임에도 불구하고 연성도와 에너지 흡수능력에서 RC보다 좋은 내진성능을 보유하고 있는 것으로 나타났다.

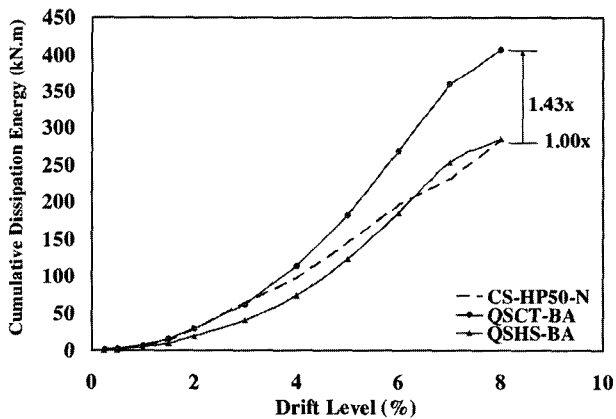
4. 결론

SRC 합성 기둥의 교각에의 적용성을 평가하기 위해 RC 교각과 유사한 강재비를 갖도록 설계한 실험체와 고교각에의 적용을 위해 다형강매입 실험체를 설계하여 그 파괴거동과 내진성능을 실험을 통해 평가하였다.

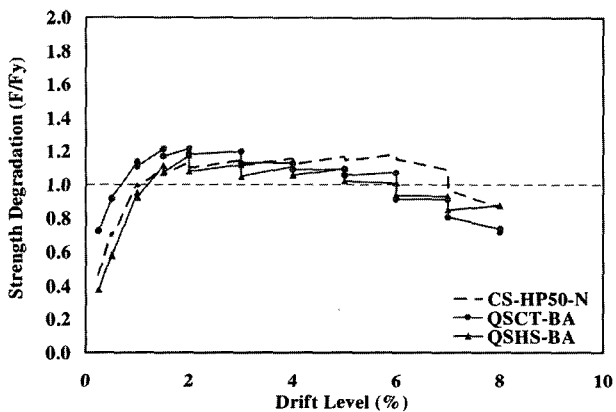
- (1) 단수의 강재를 매입한 형태의 합성기둥은 원형강관을 매입한 실험체가 큰 모멘트 저항 능력과 연성을 보였다.
- (2) 다수의 강재를 매입한 형태의 합성기둥은 H형강을 매입한 실험체가 큰 모멘트 저항 능력을 보여주었다.
- (3) 다수 원형강관을 매입한 실험체는 심부콘크리트의 파쇄를 막고, 부착강도를 확보할 수 있도록 소성형지 구간에 합성작용을 확보하기 위한 적절한 상세가 요구된다.
- (4) 낮은 강재비를 갖는 SRC 합성기둥의 상세 설계에서 횡



(a) 하중-변위 포락곡선



(b) 에너지 흡수능력



(c) 강도감소 곡선

〈그림 10〉 RC 교각과 SRC 교각의 성능 비교

방향 구속철근은 현재의 철근콘크리트 교각의 규정을 준용하는 것이 바람직하고 주철근의 감소로 인한 심부 콘크리트에 대한 구속력 저하는 소성힌지 구간의 합성 작용 확보를 통해 개선할 필요가 있다.

감사의 글

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

참고 문헌

1. 정인근, 심창수, 정영수, 민진, "SRC 합성기둥의 P-M상관도 분석을 위한 실험", 대한토목학회지, 제25권, 제34호, 2005, pp. 555-563.
2. 민진, 정인근, 심창수, 정영수, "강재 매입형 합성기둥의 합성작용에 관한 실험", 한국콘크리트학회 논문집, Vol. 17, No. 3, 2005, pp. 393-400.
3. Chen, C. C., Li, J. M. and Weng, C. C., "Experimental behavior and strength of concrete-encased composite beam-columns with T-shaped steel section under cyclic loading," *Journal of Constructional Steel Research*, Vol. 61, 2005, pp. 863-881.
4. Weng, C.C. and Yen, S.I., "Comparisons of concrete-encased composite column strength provisions of ACI code and AISC specification," *Engineering Structures*, Vol. 24, 2002, pp. 59-72.
5. AISC, *Load and Resistance Factor Design (LRFD) Specification for Structural Steel Buildings*, American Institution of Steel Construction, 1999.
6. ACI, *Building code requirements for structural concrete (ACI 318-02 and commentary (ACI 318R-02))*, American Concrete Institute ACI, 2002.
7. 도로교설계기준, 한국도로교통협회, 2005.
8. Eurocode 4, *Design of composite steel and concrete structures Part 1.1 General rules and rules for buildings*, ENV 1994-2, CEN, 1994.