



경계부재내 횡보강근 배근방법에 따른 R/C전단벽의 반복하중에 대한 이력거동

서수연^{1)*} · 오태근²⁾ · 김경태³⁾ · 윤승조¹⁾

¹⁾충주대 건축공학과 ²⁾(주)오퍼스 · 펄구조기술사사무소 ³⁾B&K 엔지니어링

Hysteretic Behavior of R/C Shear Wall with Various Lateral Reinforcements in Boundary Columns for Cyclic Lateral Load

Soo-Yeon Seo,^{1)*} Tae-Gun Oh,²⁾ Kyeong-Tae Kim,³⁾ and Seong-Joe Yoon¹⁾

¹⁾Dept. of Architectural Engineering, Chungju National University, Chungju 380-702, Korea

²⁾Opus-Pearl Incorporation Structural Consulting Engineers, Seoul 135-010, Korea

³⁾B&K Engineering, Chungju 380-702, Korea

ABSTRACT This paper presents experimental results about shear wall with various lateral reinforcement details in boundary elements. The research objective is to study the structural behavior of shear wall with boundary column confined by rectangular spiral hoops and headed cross ties developed to improve workability in the fabrication of boundary columns. These two details can be fabricated in a factory and put together on-site after being delivered so that the construction work may be reduced. Main parameters in the experimental study were the types of hoop and cross tie: rectangular spiral hoop and headed cross tie vs. standard hoop and cross tie with hook. Four half scaled shear wall specimens with babel shape were made and tested by applying horizontal cyclic load under constant axial force, 10% of nominal compressive strength of concrete. Based on the test result, it was shown that the shear wall with rectangular spiral hoop and headed cross tie in boundary columns has structural capacity compatible with conventional shear wall. The specimen SW-Hh which has bigger hoop bar and higher volumetric ratio of transverse reinforcements than other showed improved energy dissipating characteristic but it presented a rapid reduction of strength after peak point. The results indicates that, it is necessary to consider volumetric ratio of transverse reinforcements as well as hoop space in designing of shear wall with boundary columns for improved strength and ductility.

Keywords : boundary elements, shear wall, improvement of workability, rectangular spiral hoop, headed cross tie, cyclic load

1. 서 론

철근콘크리트 전단벽의 거동은 경계부재의 형상 및 철근 등 여러 가지 조건에 의해 영향을 받는데 지진과 같은 횡력을 받는 경우, 경계부재에 큰 압축력이 발생하여 구조물의 안전성에 영향을 미치기 때문에 경계부재의 내진성능 향상은 구조물 전체의 성능개선에 지대한 역할을 한다.

경계부재의 단면 형상이 바벨형인 경우 전단벽의 거동은 장방형 단면의 벽체에 비하여 그 거동이 훨씬 더 복잡하다. 경계부재 및 단부에 보강된 철근양 역시 전단벽의 거동에 영향을 미치는 주요 요인 중의 하나로서 주근비가 커질수록 전단파괴의 경향을 나타내며 연성비 역

시 감소하는 경향을 나타내고 있다.

최근 각 국의 내진설계기준¹⁻³⁾에서는 설계하중에 대한 변위에 대하여 압축연단에서의 변형률이 임계값을 초과할 경우, 경계부재 내 콘크리트를 충분히 구속할 수 있도록 하고 있다. 또한 벽체의 최대 연단압축응력도가 일정 값을 초과하는 경우, 경계부와 벽체의 개구부 주변에 경계부재를 설치하도록 하고 있다. 이는 모두 압축응력 작용시 발생하는 벽체의 취성파괴를 방지하기 위한 것이다. 이에 따라 경계부재 내에는 많은 철근이 배근될 가능성이 높아지게 된다.

경계부재의 시공과 관련하여 최근 철근콘크리트 공사에서 시공성을 개선하기 위하여 철근작업을 선조립공정으로 진행하여 시공하는 사례가 증가하고 있다. 이는 부재의 모듈화가 가능하고 또한 공장에서의 선조립작업기술이 발달하고 있기 때문이다.

이 연구에서는 전술한 전단벽의 경계부재내에 많은 철근이 배근되는 점을 고려하여, 시공성 개선을 위한 다양

*Corresponding author E-mail : syseo@cju.ac.kr
 Received November 18, 2009, Revised February 9, 2010,
 Accepted February 20, 2010
 ©2010 by Korea Concrete Institute

한 배근방법에 대하여 연구하고자 한다. 즉 바벨형 전단벽의 경계부재내 횡보강근 배근방법, 특히 헤드철근과 사각형 나선근을 사용한 경우에 대한 거동차이를 연구하고자 한다.

2. 철근콘크리트 전단벽 경계부재내 횡보강근

2.1 철근콘크리트 전단벽의 경계부재

철근콘크리트 전단벽은 교차되는 벽체의 형태에 따라, 평면형상이 Fig. 1(a)~(d)의 H-, T-, C-, L형이 되고 횡력 작용방향에 직교방향으로 있는 벽체의 일부가 횡력저항에 기여하게 된다. 이들 플랜지벽을 경계부재라 한다. 또한 Fig. 1(e)~(g)와 같이 벽체의 단부와 기둥이 연결된 경우 그리고 (h)와 같이 동일한 벽두께로 벽체내의 단부만을 기둥처럼 보강하여 횡력에 저항하는 경우가 있다. 이 경우 단부의 플랜지 또는 기둥부위를 경계부재라고 한다.

지진과 같은 횡력이 반복적으로 작용할 경우, 철근콘크리트 전단벽의 단부는 반복되는 압축응력을 받게 되고, 이 때 압축측 단부의 콘크리트가 소정의 응력에 도달하여 파쇄될 경우 급격한 내력저하가 발생하게 된다. 이와 같은 경우 전단벽의 단부 콘크리트는 기둥과 같이 충분히 횡구속되어 전단벽이 연성거동을 할 수 있도록 시공되어야 한다.

2.2 경계부재내 횡보강근에 대한 기존 연구

현행 ACI 기준의 21.7.6의 전단벽 경계부재에 대한 사항은 J. W. Wallace 등⁴⁾에 의해 수행된 연구를 근간으로 하고 있다. 이들은 응력기반 설계법을 기초로 한 ACI 318-95와 변위기반 설계법을 기초로 한 ACI 318-99의 설계조항에 따라 설계한 일자형 벽체와 T형 벽체에 대하여 실험을 실시하였다. 연구로부터 일자형 벽체의 응력한계는 $0.2f_{ck}$ 를 초과할 가능성이 매우 높기 때문에 벽체의 단부에 정방형 상세의 경계부재를 갖는 바벨형 벽체의 설계를 제안하였다. 또한 경계부재의 위험지역에는 횡구속이 필요함을 제시하여 그 결과가 현재 ACI기준에 반영되어있다.

전단벽의 경계부재내 횡구속에 기계적 정착장치를 적용하여 그 효과를 연구한 것은 S. S. Mobeen 등⁵⁾이다. 이들은 전단벽 경계부재내의 한쪽 끝은 135° , 다른 끝은 90° 갈고리인 전형적인 크로스타이를 배근한 벽체와 이를 대신하여 양쪽에 헤드가 있는 철근으로 배근한 벽체

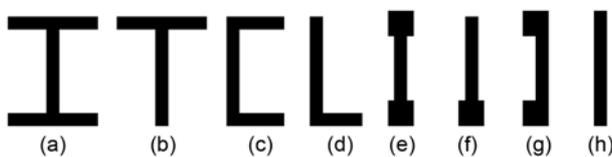


Fig. 1 Section types of structural walls

의 구조성능을 실험으로 연구하였다. 실험 결과 양단 헤드철근을 사용한 전단벽이 기존 크로스타이를 사용한 전단벽과 유사한 강도와 연성을 보유하고 있는 것으로 나타났다. 이에 따라 갈고리가 있는 크로스타이를 대체하여 양단 헤드철근을 사용함으로써 전단벽 경계부재에서의 과밀배근을 해소할 수 있음을 밝혔다.

벽체 단면 형태와 횡구속의 관계에 대해서는 한상환 등⁶⁾ 이희동 등⁷⁾이 두 단계의 실험을 통하여 그 관계를 밝혔는데, 첫 번째는 일자형 벽체와 바벨형 벽체, 그리고 T형벽체에 대한 실험을 통하여 바벨형 벽체가 상대적으로 우수한 변형능력을 발휘하고, T형 벽체의 경우에는 내력은 높으나 변형능력이 취약함을 밝혔다. 또한 국내 아파트 벽식 구조물에 대한 실험연구로부터, 경계부재내 횡보강근으로 폐쇄형 스테럽 대신에 우리나라의 시공현실을 감안한 U형 스테럽과 갈고리철근을 이용하여 벽체의 양단부를 기둥식으로 보강할 경우, 구속효과가 충분함을 밝혔다. 그리고 벽체 양단부의 구속효과는 전단벽의 전단내력을 크게 향상시키지는 못하지만, 벽체 양단부에 배근된 단부횡보강근의 간격이 조밀함에 따라 벽체의 변형능력은 크게 향상됨을 밝혔다.

김록배, 홍성걸⁸⁾은 전단벽의 시공성을 고려한 겹침나선보강을 통한 단부구속을 제안하고 실험을 통하여 구조성능을 평가하였다. 실험으로부터 제안된 횡구속 상세를 적용함으로써 곡률 연성도는 15%, 변위 연성도는 20% 정도 증가시킬 수 있음을 확인하였다.

현재 ACI 318-08 기준¹⁾의 경계부재내 횡보강근 상세(국내 기준과 동일)는 전술한 바와 같이 Wallace 등⁴⁾의 연구에 따라 특수 철근콘크리트 벽의 경계부재에 대하여 압축지역은 특수 경계부재로 보강하도록 하고 있다. 이 때 경계부재내 횡보강근의 간격은 아래 값 중 작은 값을 초과하지 않도록 정하여 적절한 콘크리트 구속을 확보하고, 피복이 탈락한 후 주근좌굴을 방지하고 있다.

- ① 부재 최소단면치수의 1/4
- ② 가장 작은 길이방향 주근 직경의 6배
- ③ $100 \text{ mm} \leq s_o \leq 150 \text{ mm}$

$$s_o = 100 + \frac{350 - h_x}{3} \quad (1)$$

여기서 h_x 는 크로스타이의 간격으로서, Fig. 2의 x_i 이다.

또한 항복이 발생하는 지역에서 적절한 휨 곡률성능을 확보하기 위하여 다음조건을 만족시키는 횡보강근을 설계하도록 하고 있다.

- ① 나선 또는 원형 띠철근비의 최소 값

$$\rho_s = 0.12 \frac{f_{ck}}{f_{yt}} \quad (2)$$

여기서 f_{ck} 는 콘크리트 압축강도(MPa), f_{yt} 는 보강근의 항복강도(MPa)이다.

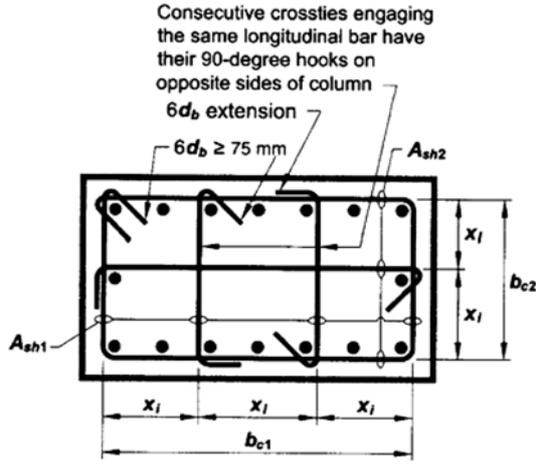


Fig. 2 Detail of transverse reinforcements in a column

② 사각형 띠철근 단면적의 최소 값

$$A_{sh} = 0.3 \frac{s b_c f_{ck}}{f_{yt}} \left[\left(\frac{A_g}{A_{ch}} \right) - 1 \right] \quad (3)$$

$$A_{sh} = 0.09 \frac{s b_c f_{ck}}{f_{yt}} \quad (4)$$

여기서 s 는 보강근의 간격(mm), b_c 는 타이와 직각방향 코어 콘크리트의 폭(mm), A_g 는 경계부재의 전체단면적(mm^2), A_{ch} 는 띠철근 중심선을 기준으로 한 부재 단면적(mm^2)이다.

Eurocode 8²⁾의 내진설계에서는 횡하중에 대한 설계개념으로서, 보통의 연성도(*medium ductility*)와 높은 연성도(*high ductility*)의 두 가지 목표에 대하여 설계할 수 있도록 정하고 있다.

보통의 연성도에 대한 전단벽 경계부재내에서 요구되는 횡구속 보강근의 기계적인 체적비 ω_{wd} 는 식 (5)와 같고, 이 값은 식 (6)을 만족시켜야 한다.

$$\omega_{wd} = \frac{\rho_{vh}}{\rho'} \cdot \frac{f_{yh}}{f_{cd}} \quad (5)$$

$$\alpha \omega_{wd} \geq 30 \mu_{\phi} (v_d + \omega_v) \varepsilon_{sy,d} \frac{b_c}{b_o} - 0.035 \quad (6)$$

여기서 ρ_{vh} 는 띠철근의 체적, ρ' 는 코어 콘크리트의 체적, α 는 구속효과를 나타내는 계수, μ_{ϕ} 는 요구되는 곡률연성 계수, v_d 는 설계 축응력($= N_{Ed} / b_c h_c f_{cd}$), $\varepsilon_{sy,d}$ 는 항복시 인장철근의 변형률 값, b_c 는 경계부재 단면의 폭, b_o 는 경계부재내 구속된 코어의 폭(띠철근의 중심간 거리)이다.

3. 사각나선형태의 횡보강근과 헤드철근

최근 현장작업의 최소화 측면에서 선조립 기술은 끊임 없이 발전하고 있다. 이에 따라 공장에서의 철근가공기



Fig. 3 Rectangular spiral reinforcement

술은 매우 정교해지고 있고, 작업공정의 최소화를 위하여 건물을 구성하는 부재에도 모듈화를 도입하고 있다.

Fig. 3은 전단보강 또는 횡보강용인 사각나선형태의 횡보강근 상세를 나타낸다. 전술한 바와 같이 공장에서의 철근가공기술이 뛰어나 사각나선근의 제작은 공장에서 충분히 가능하다. 이와 같은 철근을 현장에서 사용할 경우에는 공장에서 생산된 사각나선근을 현장에서 보강이 필요한 부위에 필요한 길이만큼 늘려서 사용하면 된다. 따라서 시공성의 개선이 가능하다.

또한 이와 같은 철근은 횡구속에 뛰어날 뿐만 아니라 띠철근마다 제작하는 갈고리 제작부위를 현저히 줄일 수 있어 철근물량의 감소를 유도할 수 있다.

특히 사각나선근의 횡구속기능은 반복적인 횡력에 대하여 기둥의 횡구속에 가장 효과적인 방법인 원형 나선근 형태의 보강방법에 근거를 두고 있다. 기존의 지진피해사례와 실험연구 등을 통하여 피복이 탈락된 이후 이와 같은 보강방법의 구속효과가 발휘되어 높은 연성거동을 보이게 되는 것이다. 이는 식 (2)와 (4)에서도 확인할 수 있다.

Fig. 4는 원형철근, 나선철근, 띠철근 그리고 사각나선근 보강일 경우 각각에 대한 철근의 구속면적을 나타낸다.⁹⁾ 원형철근과 나선철근에서 구속면적이 증가하는 것과 마찬가지로 띠철근과 사각나선근에서도 차이가 남으로서, 그에 따라 횡구속효과도 높아지게 된다. 이는 사각나선근의 경우 동일간격인 경우 띠철근에 비하여 체적비가 상대적으로 증가하기 때문에 이에 의한 영향으로 구속내력이 증가하게 된다.

이 연구에서는 이상과 같은 전단벽 경계부재 횡보강에 있어서 시공성개선을 위한 헤드철근과 사각나선 횡보강의 효과를 연구하기 위하여 실험을 실시한다.

4. 실험

4.1 실험계획

이 연구의 범위는 일정 연직하중작용상태에서 수평형

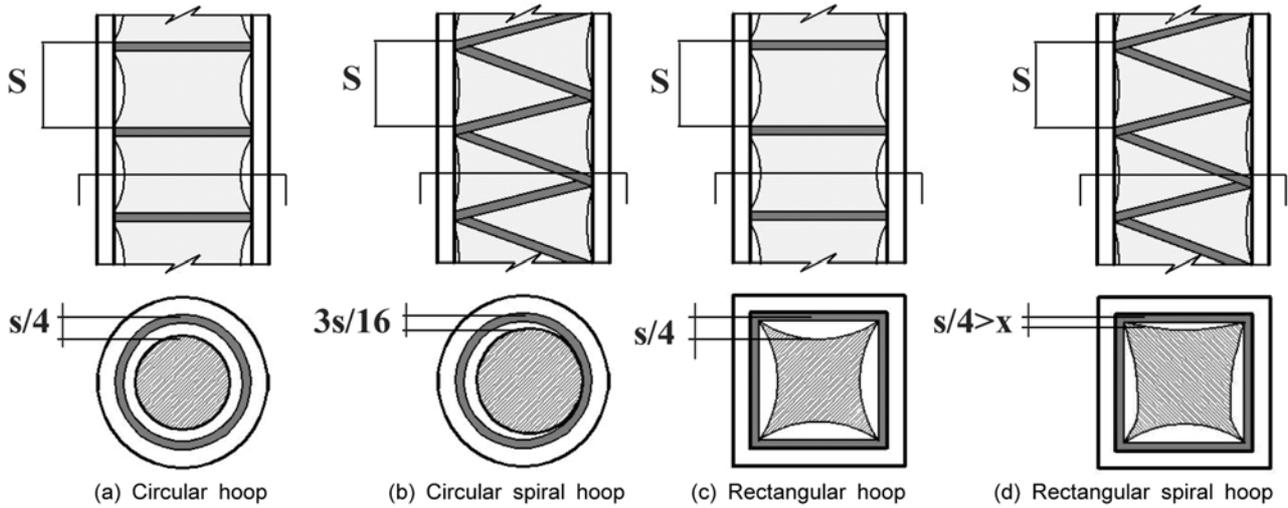


Fig. 4 Confining areas in various hoop details

력이 반복하여 작용하는 전단벽의 경계부재내 횡보강근의 배근 방법에 따른 거동특성에 관한 실험이다.

실험의 주요 변수는 경계부재내 횡구속방법으로서, 경계부재에 띠철근과 기계정착형 크로스타이로 횡보강한 전단벽(SW-Hh), Fig. 3의 사각나선보강근과 기계정착형 크로스타이를 사용하여 횡보강한 전단벽(SW-Sh), 사각나선보강근과 일반 크로스타이를 사용하여 횡보강한 전단벽(SW-SC), 띠철근과 일반 크로스타이를 사용하여 횡보강한 전단벽(SW-6HC), 총 4개의 시험체를 기준에 따라 설계한 후 제작하였다.

시험체는 일반적인 철근콘크리트 전단벽으로 구조 계획되는 전단벽 형식을 채택하였으며, 크기는 실물의 약 1/2로 축소하여 모델화 하였다. Table 1은 각 시험체의 설계변수를 나타내고 Fig. 5는 시험체 상세를 나타낸다.

기둥의 경계부재 및 벽체의 주근은 구부림 각 90°로 하여 충분한 여유길이를 보, 기초에 정착하였다. 또한 벽체의 주근 및 경계부재내 사각나선보강근은 $\phi 6$ 의 강봉을 사용하였다. Fig. 6은 각 시험체별 경계부재내 배근상세를 나타낸다.

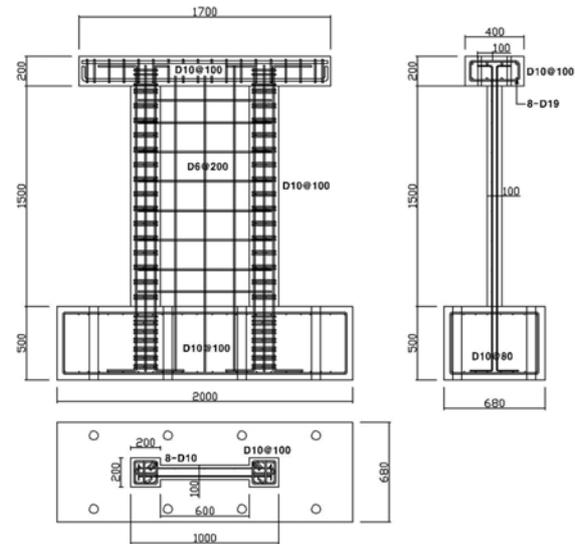


Fig. 5 Detail of typical specimen

Table 1 Test specimen

Name	Transverse reinforcements	Hoop (mm)	Reinforcement ratio*	
			ρ_h (%)	ρ_v (%)
SW-Hh	Hoop + Headed bar	D10@100	1.06	1.6
SW-Sh	Spiral Hoop + Headed bar	D6@60		1.55
SW-6HC	Hoop + Crosstie			
SW-SC	Spiral Hoop + Crosstie			

* ρ_h : horizontal reinforcement ratio in boundary column

ρ_v : volumetric ratio of horizontal reinforcement in boundary column

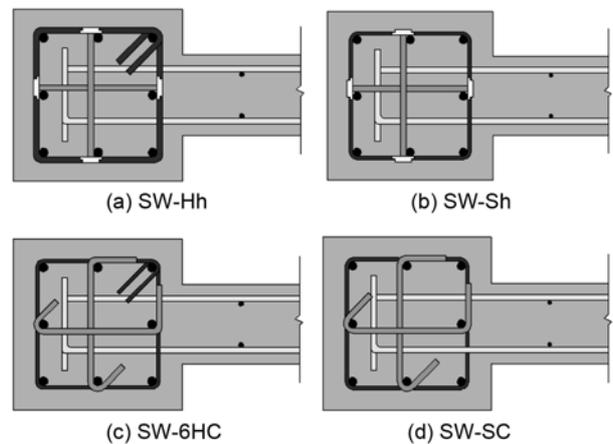


Fig. 6 Details of reinforcements in boundary element

4.2 사용 재료

시험체 제작에 사용된 철근은 D10(경계부재 주철근,

Table 2 Property of reinforcements

Type	f_y (MPa)	$\epsilon_y (\times 10^{-6})$	f_{su} (MPa)	$E_s (\times 10^5, \text{MPa})$
D10	462	2,369	604	1.95
$\phi 6$	364	1,946	749	1.87

기초의 보강근, 보 횡보강근, 경계부재 횡보강근)과 ϕ (벽체 주근, 경계부재 횡보강근)으로서, 철근의 물리적 성질은 Table 2와 같다.

시험체 제작용 콘크리트는 배합설계강도 $f_{ck} = 24 \text{ MPa}$ 를 기준으로 하여 콘크리트를 주문하여 타설하였고, 28일 압축강도는 24.9 MPa , 탄성계수는 $2.34 \times 10^4 \text{ MPa}$ 로 나타났다.

4.3 실험 장치 및 방법

시험체는 Fig. 7과 같이 반력벽에 490 kN용량의 스크류식 액추에이터를 설치하여 횡변위를 제어하였고, 실험용 골조에 490 kN용량의 유압식 액추에이터를 설치하여 콘크리트 공칭 압축내력의 10%로 일정하게 유지시키면서 수평하중을 정·부방향 반복가력하였다. 또한 시험체는 볼트로 반력슬래브에 고정시키고, 시험체의 면외 변형을 방지하기 위하여 시험체의 보위에 설치한 가력빔의 좌·우에 롤러로 지지하였다.

횡력은 ACI에서 정한 강진지역 골조실험가이드라인¹¹⁾에 따라 최초 0.16 mm(회전각 1/10000)에서 최대 80 mm(회전각 1/20)까지 각 단계별 3사이클씩 점증 반복하여 Fig. 8과 같이 변위비에 따라 최대하중 이후 최대하중의 80%까지 반복가력 하였다.

4.4 실험 결과의 비교·분석

4.4.1 균열 및 파괴양상

SW-Hh 시험체의 경우 초기균열의 발생은 기둥과 기초 접합부에서 발생하였으며, 정가력시에는 변위 0.64 mm, 부가력시에는 변위 1.06 mm에 발생하였다. 이 균열은 변위 8 mm에 이를 때까지 시험체의 상부로 진전되고 그 이후에는 균열 폭만 확대되었다. 이후 변위 40 mm에서 경계

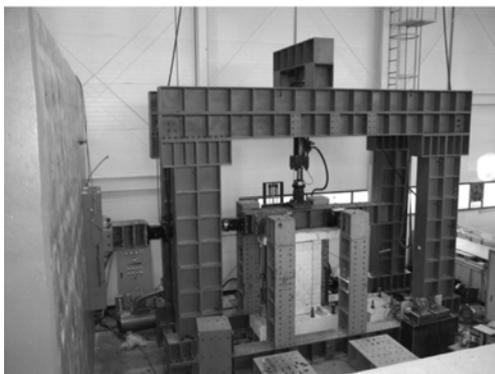


Fig. 7 Test setup

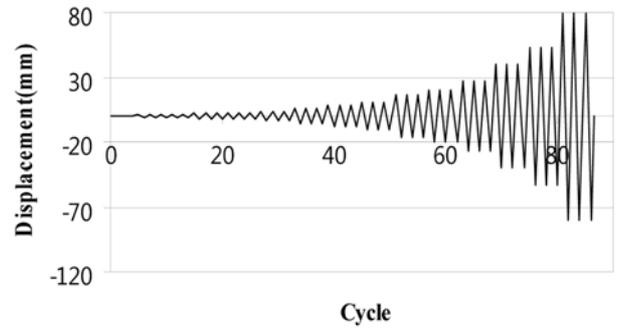


Fig. 8 Loading history

부재의 주철근이 파단되었고, 최대변위 58.9 mm(172.6 kN)에서 실험을 종료하였다.

SW-Sh 시험체의 경우에도 초기균열은 기둥과 기초의 접합부에 발생하였고, 정가력시에는 변위 1.6 mm, 부가력시에는 변위 1.06 mm에 발생하였다. 이 균열들은 변위 20 mm에 이를 때까지 시험체의 상부로 균열이 진전했고, 그 이후에는 균열폭만 확대되었다. 이후 변위 53.33 mm 정가력에서 경계부재의 주철근이 파단되었고, 이후 최대하중(정가력 214.75 kN, 부가력 216.64 kN)의 80%로 하락할 때 까지 변위를 증가시킨 후 실험을 종료하였다.

SW-SC 시험체의 경우 초기균열은 변위 0.64 mm 정가력과 부가력시 기둥과 기초접합부에서 발생하였다. 경계부재의 주철근은 변위 53.33 mm 정가력에서 파단되었고, 최대변위 80 mm(219.66 kN)에서 실험을 종료하였다.

SW-6HC 시험체의 경우에는 변위 0.32 mm 정부 가력에서 기둥과 기초 접합부에서 최초 균열이 발생하였고, 변위 10.6 mm에 이를 때까지 시험체의 상부로 균열이 진전하였다. 이후 변위 53.33 mm에서 경계부재의 주철근이 파단되었고, 최대변위 80 mm에서 실험을 종료하였다.

Fig. 9는 각 시험체의 최종파괴상황을 나타낸다. 전반적으로 시험체의 초기균열 발생시점과 균열의 진행양상 그리고 경계부재내 주철근의 파단시점이 거의 유사하게 나타나 4개 시험체는 거의 유사한 파괴거동을 보인 것으로 볼 수 있다.

4.4.2 하중-변위곡선

Fig. 10은 각 시험체의 하중-변위곡선을 나타낸다. 하중재하시의 기울기, 각 사이클 최대점에서의 강도, 그리고 제하(unloading)시의 기울기 및 하중반전 후 재하(reloading)시의 기울기 등에서 4개 시험체 모두 매우 유사한 이력거동을 보이고 있는데, 이는 각 시험체의 경계부재내 구속효과에서 큰 차이가 없음을 의미한다.

그러나 최대내력에 도달한 이후 변위각 1/40이후에 있어서, 경계부재내 횡구속 체적비가 가장 높은 SW-Hh 시험체의 강도저하가 오히려 가장 높은 것으로 나타났다. 이는 최대하중이후 횡구속의 효과는 횡보강근의 간격과도 밀접하게 관련되어 있음을 유추할 수 있다.

횡보강근(6 mm와 D10)이 동일하고 횡보강근 체적비도 같지만 후프근의 형태가 서로 다른 SW-6HC 시험체(띠철

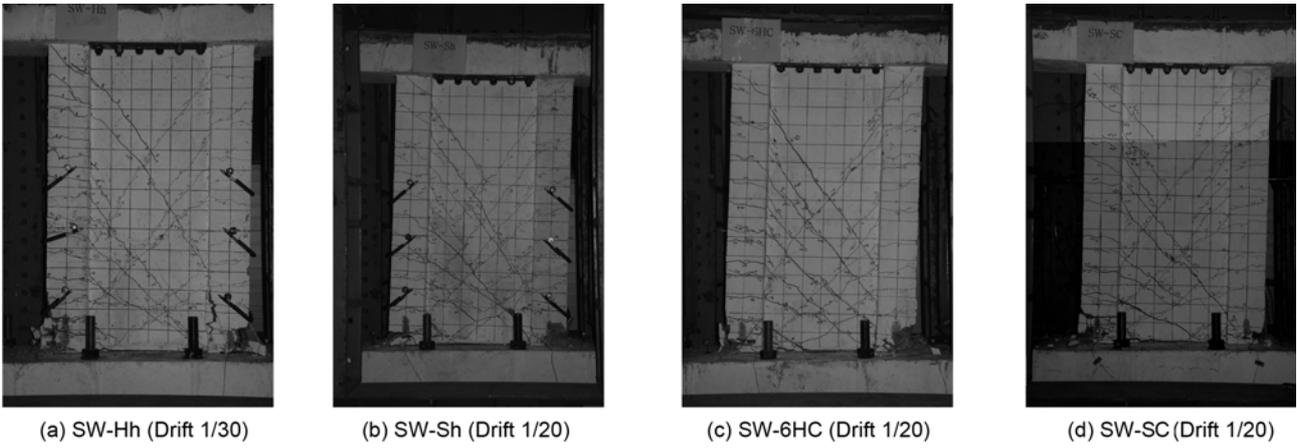


Fig. 9 Final crack pattern

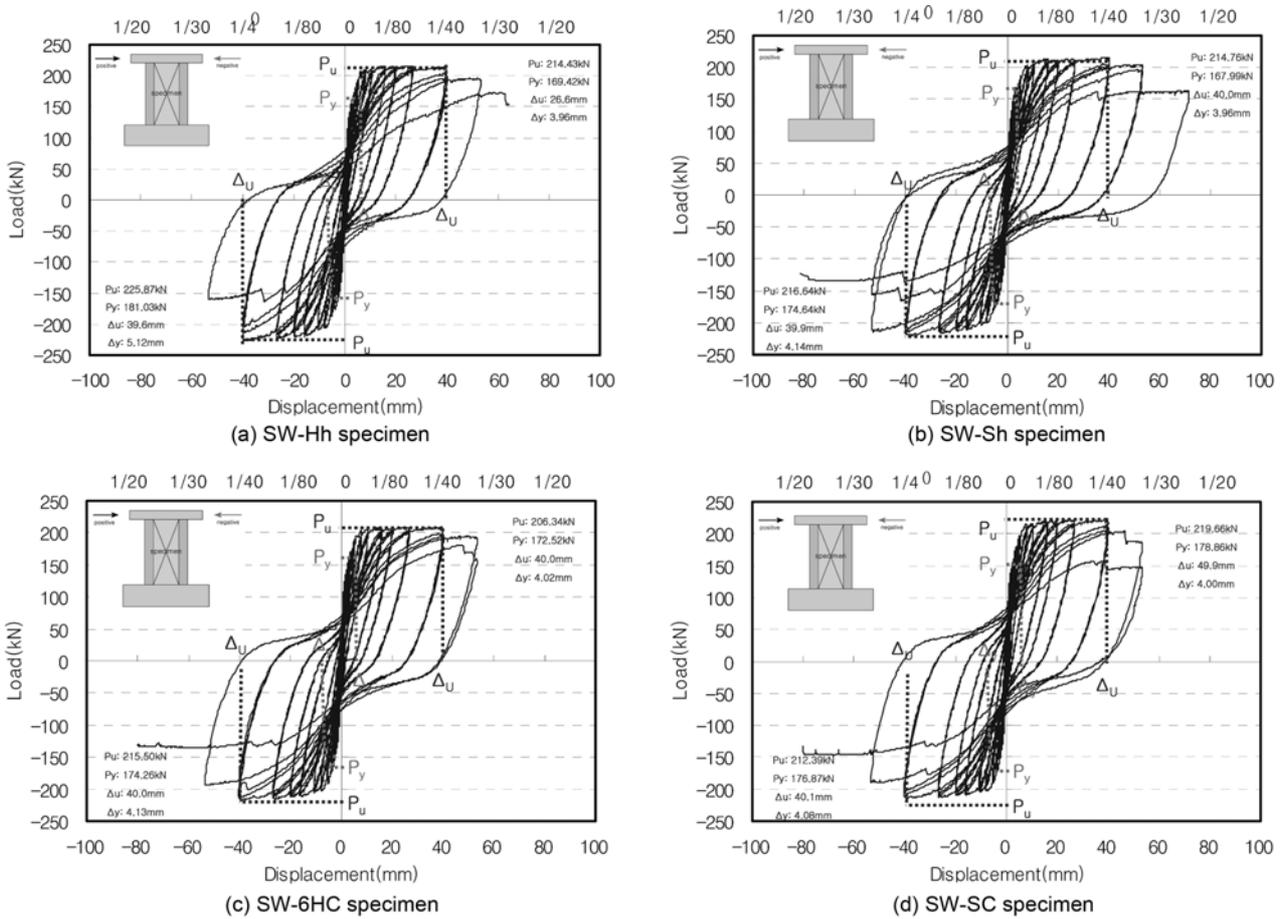


Fig. 10 Load-displacement curve

근 형태)와 SW-SC시험체(사각나선근형태)는 거의 동일한 형태의 이력거동을 보였다.

Fig. 11은 각 시험체의 각 단계별 최고점을 이은 포락선을 나타낸다. 헤드철근으로 횡구속한 SW-Sh시험체와 일반적인 크로스타이로 횡구속을 한 SW-SC시험체의 비교에서는 헤드철근을 사용한 SW-Sh시험체가 변위각 1/40이후 미소하게 낮은 강도저하를 보이는 것으로 나타났다. 또한 횡구속상세의 차이에 의해 SW-Hh시험체와 SW-SC시험체의 내력저하가 다른 시험체에 비하여 다소 높

음을 알 수 있다.

Table 3은 실험 결과 그래프에서 항복점, 최대하중점, 그리고 봉괴점(최대하중 이후 내력이 20% 감소한 때)의 하중과 변위, 연성비(항복변위와 최대하중시 변위비), 그리고 시험체의 누적된 소산에너지를 보여주고 있다. 항복점은 Park 등¹⁰⁾에 의해 제안된 이선형 모델개념(최대하중의 75%를 지나는 활성강성선(Secant stiffness line)과의 교점에서 수직으로 내린선에 만나는 점을 항복하중 및 항복변위로 설정)에 따라 정하였다.

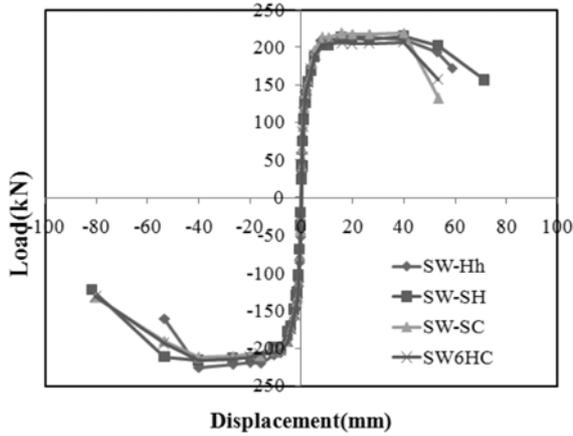


Fig. 11 Envelop curve for all specimens

항복점을 원점과 이은 초기강성은 SW-Hh시험체를 제외하고 정방향과 부방향 모두 균일한 값을 보이고 있음을 알 수 있다. 이는 경계부재에 아무런 손상이 발생하지 않은 탄성상태에서는 이 연구에서 주요 변수로 고려한 횡보강근 상재에 따른 차이가 없음을 의미한다.

최대하중이 발현된 시점에 대해서 관찰해보면, 역시 SW-Hh시험체를 제외하고 다른 모든 시험체는 정방향과 부방향 모두 거의 유사한 변위값과 내력을 보이고 있다. SW-Hh시험체의 경우에는 최대내력 발현시 정방향의 변위값이 지나치게 낮은 값을 보이며, 또한 부방향 최대내력이 다른 시험체에 비하여 다소 높게 나타나고 있음을 알 수 있다. 이는 경계부재내 횡보강근의 규격이 6 mm 인 다른 시험체에 비하여 큰 10 mm 규격으로서 횡보강근의 파단시 저항내력차이에 기인한 것으로 사료된다. 또한 횡보강근이 파단됨에 따라 이후 사이클에서 급격히 내력이 저하됨을 알 수 있다.

최대내력시의 변위에 대한 항복시의 변위비, 즉 연성비의 경우에는 나머지 3개 시험체가 정방향과 부방향에 대해서 9.46~10.1의 범위로서 거의 차이가 없는 값을 보였지만, SW-Hh시험체의 경우에는 정방향과 부방향에 대하여 각각 6.72와 7.79를 보여 다른 시험체 비하여 낮은

값을 보였다. 이는 전술한 바와 같이 경계부재내 횡보강근의 파단에 따른 현상으로 사료된다.

소산에너지의 경우에는 모든 시험체에 대해서 수행된 사이클수와 경험한 변위이력이 동일하기 때문에 누적에너지의 변화를 비교함으로써, 각 시험체의 보유인성을 평가할 수 있다. 변위각 1/30(53.33 mm)일 때까지의 누적된 소산에너지를 보면, SW-Hh 시험체가 가장 높은 값을 보이고, SW-SH 시험체가 가장 낮은 값을 보이고 있다. Fig. 10의 하중-변위곡선에서는 전체 시험체의 이력거동에 큰 차이가 없는 것으로 보이지만, 실제로 SW-Hh 시험체가 재하시 균열이 닫힌 후 강성이 높게 형성(즉 편칭 현상이 다른 시험체에 비하여 작게 나타남)되는 것으로 나타났다. 이는 횡구속 띠철근으로서 D10을 사용한 경우가 6 mm 철근을 사용한 경우에 비하여 최대내력까지의 구속강도를 높지게 됨을 의미한다.

Fig. 12는 누적된 소산에너지를 사이클별로 나타낸 그림이다. 이 그림으로부터 부재 항복이후 SW-Hh시험체의 소산에너지가 다른 시험체에 비하여 높아짐을 알 수 있다.

4.4.3 경계부재내 횡보강근의 변형률

반복하중이 작용할 때 전단벽의 단부에 위치한 경계부

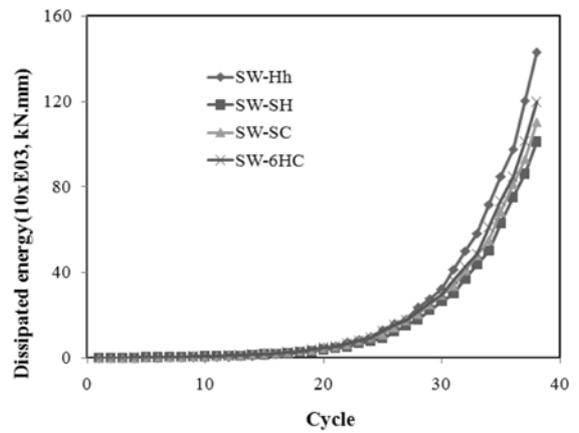


Fig. 12 Accumulated dissipation energy

Table 3 Test result

Specimen name		Yield state			Ultimate state		Collapse state ⁽¹⁾		$\mu^{(2)}$	Dissipated energy ⁽³⁾ (kN.mm)
		Load (kN)	Disp. (mm)	Initial stiffness (kN/mm)	Load (kN)	Disp. (mm)	Load (kN)	Disp. (mm)		
SW-Hh	(+)	169.42	3.96	42.78	214.43	26.6	171.54	58.9	6.72	143,034
	(-)	181.03	5.12	35.36	225.87	39.9	180.70	49.7		
SW-Sh	(+)	167.99	3.96	42.42	214.76	40.0	171.80	68.7	10.1	101,026
	(-)	174.62	4.14	42.18	216.64	39.9	173.31	65.7	9.64	
SW-SC	(+)	178.86	4.00	44.72	219.66	39.9	175.73	45.4	9.99	128,675
	(-)	176.87	4.08	43.35	212.39	40.1	169.91	63.7	9.46	
SW-6HC	(+)	172.52	4.02	42.92	206.34	40.0	165.07	51.2	9.95	119,654
	(-)	174.26	4.13	42.19	215.50	40.0	172.40	62.3	9.69	

(1) Collapse state; state at where the load drops 20% after peak strength, (2) μ : m ratio of ultimate and yield displacement, (3) Accumulated energy until first cycle at story drift 3.3%(1/30)

재 주근과 벽체 주근, 횡보강근 및 크로스타이의 변형률을 측정하기 위하여 시험체를 제작할 때 미리 부착한 철근용 W.S.G에서 측정하였다. Fig. 13은 게이지의 부착 위치를 나타낸다.

경계부재내의 철근 변형률을 측정 한 결과 경계부재 상부와 중간부 철근의 경우 실험 초기에는 반복하중의 영

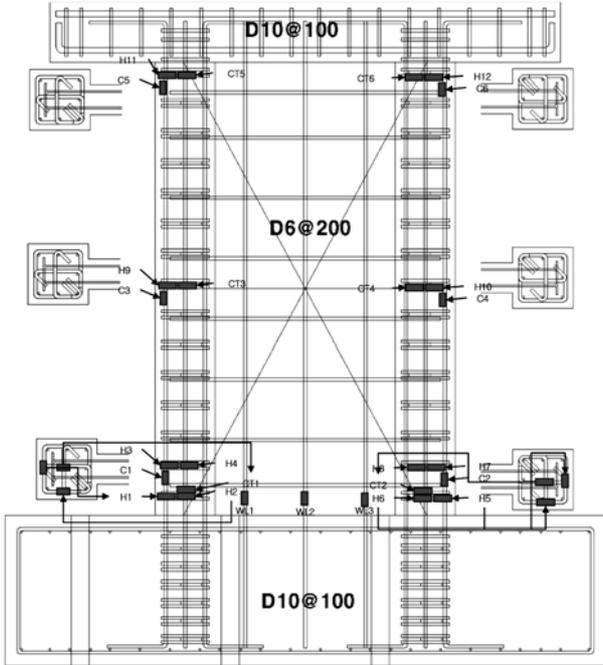


Fig. 13 Location of strain gage in boundary element

향을 받았지만, 변위가 증가할수록 그 영향이 줄어들었고, 실험의 후반에서는 영향이 거의 없었다.

경계부재와 웨브부분 주근이 항복한 시기를 정리하면 Table 4와 같다. 대부분의 시험체에서 경계부재내 주근의 항복시기는 1/300~1/100구간임을 알 수 있고, 반면에 웨브내 주근의 항복시기는 최대내력에 도달한 뒤인 1/40과 1/30부근임을 알 수 있다.

Figs. 14-17은 각 실험체의 경계부재내 하부의 주근, 크로스타이, 횡보강근의 변형률(각각 Fig. 13에서 C1, CT1, H2를 나타냄)을 나타낸 그림이다. 경계부재가 압축응력 상태에서 최대내력에 도달하였을 때 모든 실험체의 주근 변형률은 이미 항복단계에 도달하였음을 알 수 있다. 그러나 최대내력시 주근의 변형률 값은 다른 시험체가 3500~4000($\times 10^{-6}$)에 해당하는 값을 보이는 반면에 SW-Hh시험체는 거의 5000($\times 10^{-6}$)에 달하고 있어 주근의 변형이 심함을 알 수 있다. 이는 SW-Hh시험체의 횡보강

Table 4 Yielding drift of longitudinal reinforcements (unit: drift angle)

Specimen name	Yield of longitudinal reinforcement in boundary column		Yield of longitudinal reinforcement in web	
	(+)	(-)	(+)	(-)
SW-Hh	1/150	1/200	1/40	1/40
SW-Sh	1/100	1/150	1/40	1/40
SW-SC	1/200	1/200	1/30	1/30
SW-6HC	1/300	1/150	*	*

*Yield of longitudinal bars in wall was not shown

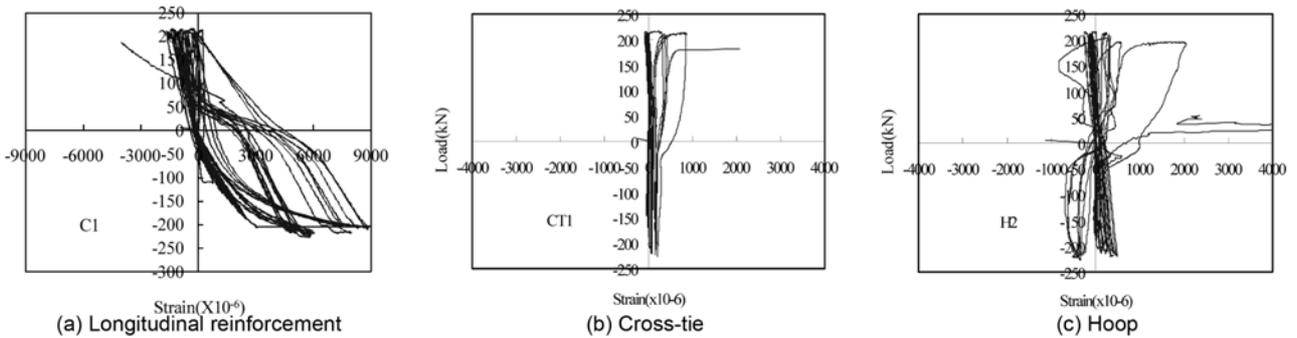


Fig. 14 Load-strain curve of reinforcements in SW-Hh specimen's boundary column

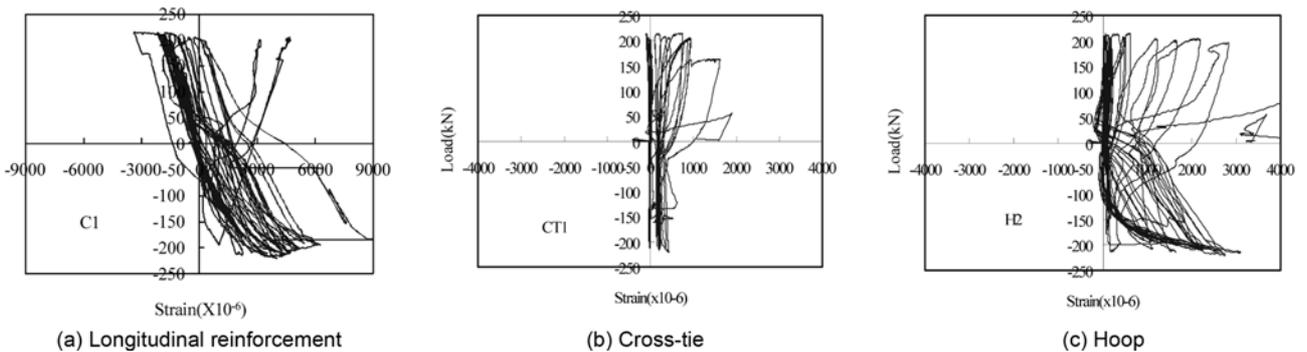


Fig. 15 Load-strain curve of reinforcements in SW-Sh specimen's boundary column

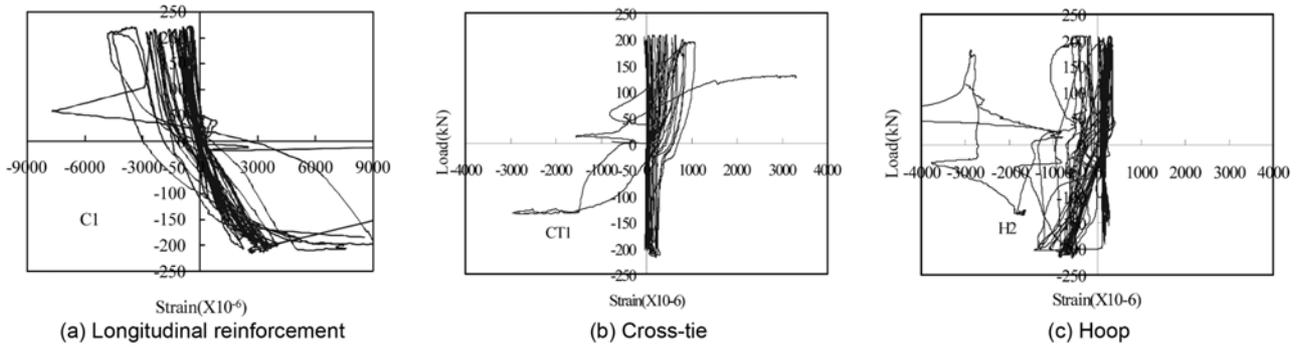


Fig. 16 Load-strain curve of reinforcements in SW-6HS specimen's boundary column

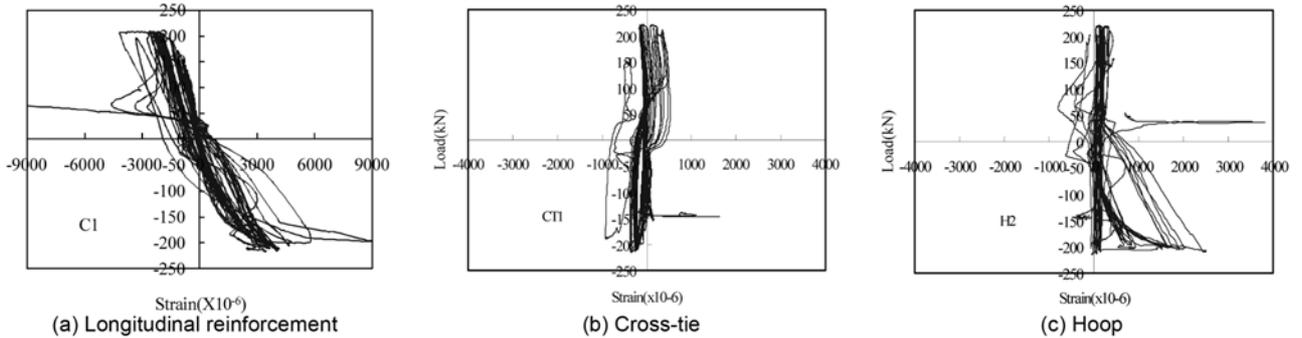


Fig. 17 Load-strain curve of reinforcements in SW-SC specimen's boundary column

근직경이 10 mm로서 6 mm를 사용한 다른 시험체에 비하여 간격이 넓기 때문에 주근의 좌굴에 의한 변형정도가 크기 때문에 사료된다.

횡보강근의 변형률에서는 사각나선근을 사용한 SW-Sh와 SW-SC 시험체의 변형이 최대내력시 항복변형률을 초과하는 것으로 나타나 구속에 대한 기여도는 높게 보여진다.

경계부재내 크로스타이에 대한 변형률을 관찰한 결과 SW-Sh 시험체를 제외하고 전체적으로 변형량이 미소한 것으로 나타났다. 이는 실제 크로스타이가 가지고 있는 내력에 비하여 횡보강근을 구속하기 위하여 필요한 힘이 실제로는 크지 않음을 의미한다.

5. 결 론

- 1) 경계부재내 횡보강근의 직경이 크고 횡보강근의 체적비가 다소 높은 SW-Hh 시험체가 항복이후 균열이 닫힌 다음 강성이 높아짐으로 인하여 전체적인 소산에너지 면적이 다른 시험체에 비하여 높게 나타났다. 그러나 최대강도 도달이후 내력이 다소 급격히 저하되는 것으로 나타나 강도와 연성의 확보 측면에서 횡보강근의 체적비와 함께 간격에 대한 고려가 필요한 것으로 사료된다.
- 2) 사각나선근을 경계부재내 횡보강근으로 사용한 경우에는 횡보강근과 크로스타이의 변형률이 다른 시험체에 비하여 높게 나타나고 있는 것으로 보아, 경

계부재의 구속에 대한 기여도가 높은 것으로 사료된다.

- 3) 헤드철근을 경계부재내 크로스타이로 사용한 경우, 일반적인 갈고리형태에 비하여 횡보강근의 변형을 억제하는 역할을 하는 것으로 나타났으나, 전체적인 전단벽의 거동에 큰 차이는 없는 것으로 나타났다.
- 4) 전단벽의 경계부재내 시공성 개선을 위해 제안된 사각나선근과 기계적 정착장치를 사용함으로써 재래의 보강방법과 거의 동등한 구조성능을 확보할 수 있는 것으로 사료되며 추가적으로 횡보강근의 직경과 간격에 따른 구조성능변화의 관찰이 요망된다.

감사의 글

이 연구는 교육과학기술부의 목적기초연구(R05-2004 - 000-12075-0)지원으로 수행된 연구의 결과로서 연구지원에 감사를 드립니다.

참고문헌

1. ACI Committee 318, *Building Code Requirements for Structural Concrete (ACI318-08) and Commentary (ACI318R-08)*, American Concrete Institute, 2009.
2. British Standard, *Eurocode 8 : Design of Structures for Earthquake Resistance*, BSI, 1998.
3. 鐵筋コンクリート造建物の靱性保証型耐震設計指針・同解説, 日本建築學會, 1999.

4. Wallace, J. W. and Orakcal, K., "ACI 318-99 Provisions for Seismic Design of Structural Walls," *ACI Structural Journal*, Vol. 99, No. 4, 2002, pp. 499~508.
5. Mobeen, S. S., Elwi, A. E., and Ghali, A., "Double-Headed Studs in Shear Walls," *Concrete International*, Vol. 27, No. 3, 2005.
6. 한상환, 오영훈, 오창학, 이리형, "단면형상에 따른 벽식 구조 전단벽의 구조성능 평가," 콘크리트학회 논문집, 12권, 4호, 2000, pp. 3~14.
7. 이희동, 한상환, 이리형, "전단벽의 단부보강효과에 따른 변형능력의 평가," 한국콘크리트학회 가을학술대회는 문집, 10권, 2호, 1998, pp. 525~528.
8. 김록배, 홍성걸 "Spiral 철근 배근된 전단벽 단부의 내진 성능 연구를 위한 예비 고찰," 한국콘크리트학회 학술대회 논문집, 12권, 2호, 2000, pp. 589~594.
9. 한범석, 신성우, "철근콘크리트 기둥에서 콘크리트 구속과 횡구속 철근에 대한 고찰," 콘크리트학회지, 15권, 2호, 2003, pp. 144~150.
10. Park, R. and Paulay, T., *Reinforced Concrete Structures*, John Willey & Sonns, 1975.
11. ACI Innovation Task Group 1 and Collaborators, *Acceptance Criteria for Moment Frames Based on Structural Testing*, ACI, Farmington Hills, MI, 1999.

요약 이 연구에서는 경계부재내에 다양한 형태의 횡보강근 상세를 가진 전단벽에 대한 실험연구를 다루고자 한다. 연구의 주요 내용은 시공성 개선을 위해 사각나선 횡보강근과 헤드가 있는 크로스타이로 전단벽의 경계부재내 콘크리트를 구속함에 따른 거동을 실험적으로 관찰하는 것이다. 이 두 가지 상세는 공장에서 제작된 후 현장에서 조립만 할 경우, 현장작업량을 줄일 수 있는 상세로 고려될 수 있으며, 이 연구에서는 이 두 가지 상세를 가진 전단벽에 대한 구조성능을 구명하고자 한다. 실험의 주요변수는 경계부재내 횡보강근의 형태로서 기존의 띠철근, 사각나선근, 그리고 기존 크로스타이와 헤드가 있는 크로스타이를 사용한 경우로서, 총 4개의 바벨형상의 전단벽 실험체를 제작하고 일정 축력 아래에서 반복하중 실험을 통하여 그 성능을 평가한다. 콘크리트 공칭강도의 10%의 일정축력 작용상태에서 횡방향 반복가력을 실시하여 구조성능을 평가한다. 실험 결과 전단벽의 경계부재내 시공성 개선을 위해 제안된 사각나선근과 기계적 정착장치를 사용함으로써 재래의 보강방법과 거의 동등한 구조성능을 확보할 수 있는 것으로 나타났다. 또한 띠철근의 직경이 크고 횡보강근의 체적비가 다소 높은 SW-Hh시험체가 항복 이후 균열이 닫힌 다음 강성이 높아짐으로 인하여 전체적인 소산에너지 면적이 다른 시험체에 비하여 높게 나타났으나 최대강도 도달 이후 내력이 다소 급격히 저하되는 것으로 나타나 강도와 연성의 확보측면에서 횡보강근의 체적비와 함께 간격에 대한 고려가 필요한 것으로 판단된다.

핵심용어 : 경계부재, 전단벽, 시공성개선, 사각나선근, 크로스타이