

## 경계요소 횡보강근의 상세와 배근간격에 따른 특수전단벽의 내진성능

### Seismic Performance of Special Shear Wall with the Different Hoop Reinforcement Detail and Spacing in the Boundary Element

천영수<sup>1</sup>

Young-Soo Chun<sup>1</sup>

(Received November 13, 2014 / Revised January 26, 2015 / Accepted January 29, 2015)

#### 요 약

이 논문에서는 최근 강화된 내진규정에 의하여 현장에서 시공에 어려움을 겪고 있는 특수전단벽의 배근상세를 완화할 목적으로 제안된 경계요소 횡보강상세에 대하여 횡보강근의 형태와 배근간격에 따른 실험결과를 제시하고 있다. 실험결과, 제안된 횡보강 상세를 채용한 실험체의 균열 및 파괴 양상은 폐쇄형 후프를 사용한 실험체와 유사한 경향을 나타내었으며, 최대강도도 예상값을 모두 상회하는 것으로 나타났다. 또한, 에너지 소산능력을 비교한 결과, 완화된 배근상세를 따르는 실험체(SSWR2)의 경우 기존 설계기준의 특수전단벽 실험체(SSW2)와 유사한 내진성능을 가지고 있는 것으로 나타났으며, 설계기준에서 제시하고 있는 1.5% 수준의 변형각 조건을 충분히 만족하고 있어 구조물의 주요 횡력저항 요소로서 사용될 수 있을 것으로 판단된다.

**주제어** : 특수전단벽, 경계요소 횡보강근의 배근상세, 횡보강근의 배근간격, 내진성능

#### ABSTRACT

This paper presents experimental results on detailing of boundary element transverse reinforcement, proposed to alleviate placement detailing of special shear wall experiencing difficulty in construction at the sites due to recently reinforced seismic regulations, according to the type and placement interval of transverse reinforcement. As a result of experiment, crack and destruction aspects of SSWR series specimen that employed the proposed detailing of transverse reinforcement showed similar trend as SSW series specimen that used closed hoop. Predicted maximum strength values were exceeded. Also as a result of comparing energy dissipation ability, SSWR2 specimen that follows alleviated placement detailing was found to have similar seismic performance as special shear wall SSW2 specimen based on the existing design standard. As it satisfies the deformation angle condition of 1.5% provided in the design standard, SSWR2 can be used as the main lateral force resistance element in structures.

**Key words** : Special Shear Wall, Hoop Reinforcement Detail in the Boundary Element, Hoop Reinforcement Spacing in the Boundary Element, Seismic Performance

## 1. 서 론

현행 국내 건축구조기준(KBC 2009)에서는 내진설계범주 D에 해당하는 60m이상의 고층건물 건설 시 벽체는 특수전단벽의 횡보강상세를 적용하도록 하고 있다. 특수전단벽은 지진 발생 시 벽체가 큰 하중을 받거나 변형요구량이 큰 경우 압축단부를 엄격하게 횡보강한 전단벽을 의미한다.

최근 국내 공동주택은 25층 이상의 고층 아파트에 대한 수요

가 증가하는 추세이며, 대부분의 고층 철근콘크리트(Reinforced Concrete, 이하 RC라 함) 건물에서와 같이 고층 아파트의 경우에도 RC 전단벽을 주요 횡력저항부재로 사용하고 있다. 이는 아파트의 계획 시 특수전단벽을 채용해야하는 경우가 빈번하게 발생하여 시공성 및 경제성에 영향을 미치게 되는 문제점의 발생빈도가 높음을 의미한다.

KBC2009의 모체가 되고 있는 ACI318-08(2008)에서는 부재 최소 단면치수의 1/4보다 더 넓은 간격을 사용하는 경우

1) 한국토지주택공사 토지주택연구원 연구위원(교신저자: cysoo@lh.or.kr)

에도 적절한 거동을 보이는 것으로 보고되고 있는 특수전단벽의 실험결과를 바탕으로 동 규정을 최소 단면치수의 1/4이 아닌 1/3로 규정하고 있다. 특히 ACI318-08은 강진으로 인해 지진위험도가 높은 지역을 대상으로 규정된 배근상세로서 상대적으로 높지 않은 지진위험도를 갖는 우리나라의 경우 이러한 상세를 그대로 적용하는 것이 적합한 것인가에 대한 의문을 갖게 된다.

이러한 문제점을 인지하고 천영수 등(2011; 2013)은 횡방향 철근간격을 최소 단면치수의 1/3을 적용하여 현재의 배근상세보다 완화된 배근상세를 지닌 새로운 특수전단벽 상세를 제시하여, 축소실험을 수행함으로써 그 성능을 검증하였다. 또한 실험결과를 반영한 구조시스템의 비선형 해석모델을 설계하고 내진성능을 평가하여 만족할 만한 결과를 도출하였고, 상기 문제를 해결할 수 있는 대안으로서의 가능성을 제시하였다. 이러한 실험결과와 ACI318-08 규정을 토대로 2012년 콘크리트구조기준에서는 최소 단면치수 규정이 1/3로 수정되었다.

유사한 연구로서 Su and Wong (2007)은 고강도 콘크리트 벽체의 축력과 횡보강근량에 따른 내진성능을 확인하기 위해서 반복 횡하중실험을 수행하였다. 실험결과, 축력비가 파괴 모드와 연성도에 큰 영향을 미치는 것으로 나타났으며, 단순한 횡보강근량의 증가는 콘크리트의 구속에 거의 영향을 끼치지 않고 횡보강근의 간격이 중요한 역할을 하는 것으로 보고하였다. 또한 한상환 등(1999)은 벽식구조 아파트 건물의 벽체를 대상으로 압축부 콘크리트의 강도와 연성을 유지하기 위한 배근상세로서 U형 철근과 연결철근을 채택하고, 배근된 단부 횡보강근의 유효성과 변형능력을 조사하였다. 실험결과, 실험체들은 모두 벽체 단부의 압축부 콘크리트의 압괴에 의해서 최종파괴되었으며, 횡보강근이 없는 실험체를 제외하고는 모두 설계기준의 요구 변형능력 1.5%를 충족하는 것으로 나타났다. 벽체의 최대내력은 단부의 횡보강근량에 따라서 민감한 변화를 보이지는 않는 것으로 보고하였다. Thomsen and Wallace (2004)는 세장한 구조벽체에 대한 변위기반설계법 상의 몇 가지 가정(변위, 변형률, 중립축 등)을 확인하기 위해 1/4 축소실험을 수행하였다. 실험결과, 횡보강근 간격이 넓은 실험체에서 휨철근의 좌굴이 더 빠르게 발생하여 횡변위비가 작게 나타났으나 실험체는 모두 1.5%의 설계요구변위비를 만족하는 것으로 나타났다.

이상의 연구결과를 종합해 볼 때, 기존연구에서 벽체의 파괴 시점은 단부 횡보강근의 구속방법이 아니라 횡보강근의 간격과 밀접한 관련이 있는 것을 알 수 있으며, 또한 최대 휨강도에 도달한 이후 벽체의 거동은 휨철근의 휨에 대한 저항능력이 아니라 압축축 콘크리트의 압괴지연에 의해 좌우되고, 실험체의 양 단부는 경계요소 횡보강근과 주근에 의해 강

하게 구속되어 콘크리트 본래 강도 이상의 성능을 발휘하게 될 것으로 기대된다.

따라서 본 연구에서는 횡보강근의 간격을 주요변수로 설정하고 실제 거동과 성능에 근접한 결과를 얻기 위하여 실물 크기의 벽체모델을 대상으로 실험을 수행함으로써 천영수와 김상연(2011)에 의해 새롭게 제안된 특수철근콘크리트 배근상세를 갖는 구조시스템의 횡보강 설계방법의 합리적인 근거를 마련하고 향후 국내기준인 KBC에 반영될 수 있도록 그 신뢰성을 확보하고자 한다.

## 2. 실험계획

### 2.1 연구대상 건물 및 실험체 모델링

연구대상 건물은 층고 2.8m인 22층의 벽식구조 아파트이다. 건물의 높이는 61.6m, 지반조건이  $S_D$ 인 경우로서 내진설계범주 D에 해당하며, 현행 구조기준을 적용하면 특수전단벽을 채용해야 하는 경우이다. 실험을 위한 프로토타입(prototype) 벽체는 길이 1.6m, 두께 20cm, 높이 61.6m인 전단벽으로서 대상 아파트 평면과 벽체는 그림 1과 같다. 전단벽의 소성형지는 벽체 하부에 집중되므로 벽체 하부의 성능에 의해 전체시스템의 성능이 결정된다. 이에 본 실험에서는 그림 2와 같이 최하층 벽체를 대상으로 높이 2.8m 벽체에 대하여 실험을 수행하였다.

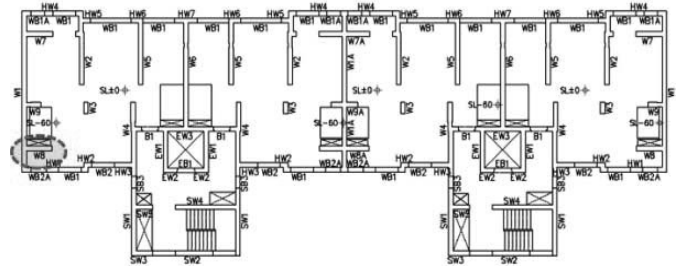


그림 1. 연구대상 아파트 평면

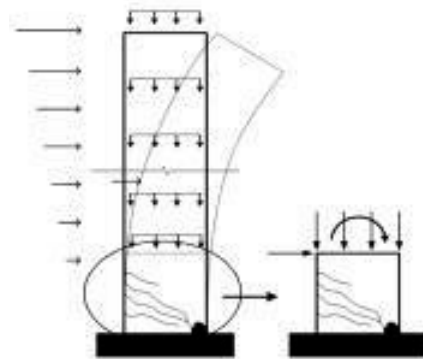


그림 2. 연구대상 벽체의 하중 조건

실험벽체는 최하층 벽체로 국한되므로 실제 벽체 하부에 서의 하중조건과 일치하도록 가력방법을 계획하였다. 지진하중의 역삼각형 하중은 실험체의 횡하중과 모멘트로서 구현하여 휨 파괴 되도록 설계하였다.

## 2.2 실험변수 및 실험체

본 연구에서는 횡보강근의 상세와 배근간격을 주요 변수로 하여 보통전단벽(Normal Wall, NW), 특수전단벽(Special Shear Wall, SSW), 그리고 새롭게 제안된 완화된 배근상세를 갖는 특수전단벽(Special Shear Wall with effectively Reduced reinforcement detail, SSWR)의 벽체강도, 변형능력, 등가점성감쇠비, 철근의 변형률 등을 상호 비교함으로써 SSWR의 유효성을 검증하고자 한다.

SSWR은 주철근을 구속하는 횡방향 구속철근의 형태가 내진갈고리를 갖는 폐쇄형 후프형태가 아니라 벽체 단부의 U형 스테럽과 연결철근(crosstie)의 조합으로 된 부분폐쇄형 형태로서 시공성을 향상시킨 형태이다. 그림 3에 SSW와 SSWR의 단부 배근상세를 비교하여 도시하였다.

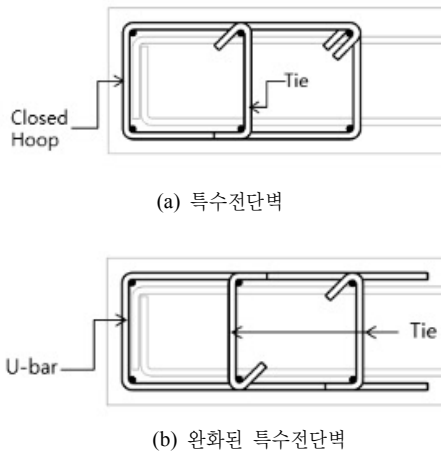
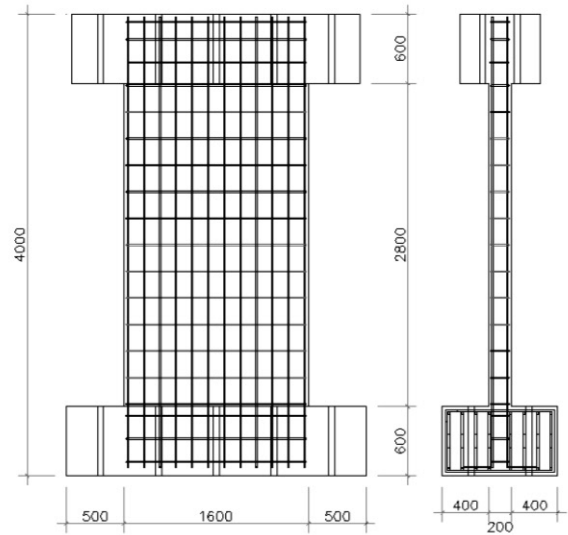


그림 3. 경계요소구간의 횡보강 상세

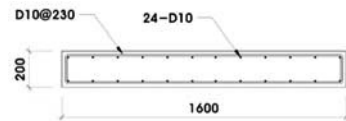
표 1. 실험체 일람표

실험체 타입	실험체명	횡보강 상세	경계요소내 횡보강근 간격	중력 하중/ 내력비
보통전단벽	NW1	-	-	$0.1f_{ck}$
특수전단벽	SSW1	단일 폐쇄형후프	$D^*/4$	$0.1f_{ck}$
	SSW2	단일 폐쇄형후프	$D/3$	$0.1f_{ck}$
완화된 배근상세를 갖는 특수전단벽	SSWR1	U형 스테럽 + 연결철근(crosstie)	$D/4$	$0.1f_{ck}$
	SSWR2	U형 스테럽 + 연결철근(crosstie)	$D/3$	$0.1f_{ck}$
	SSWR3	U형 스테럽 + 연결철근(crosstie)	$D/2.5$	$0.1f_{ck}$

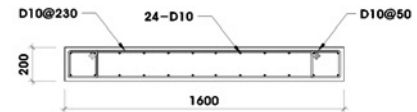
\*D: 벽체두께



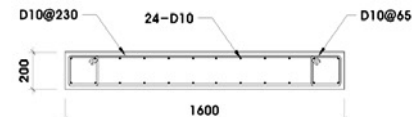
(a) 실험체의 형상 및 크기



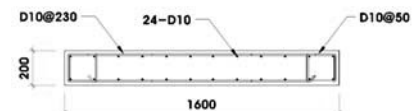
(b) 보통전단벽(NW1) 단면상세



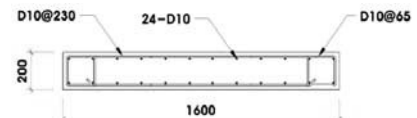
(c) 특수전단벽(SSW1) 단면상세



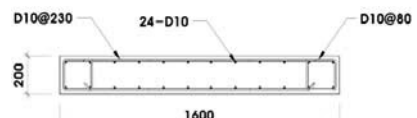
(d) 특수전단벽(SSW2) 단면상세



(e) 완화된 특수전단벽(SSWR1) 단면상세



(f) 완화된 특수전단벽(SSWR2) 단면상세



(g) 완화된 특수전단벽(SSWR3) 단면상세

그림 4. 실험체의 형상 및 치수

KBC2009에서 특수전단벽 경계요소구간의 횡보강은 기둥의 횡보강 상세를 따르도록 하고 있다. 그러나 기둥에서 사용하는

횡보강 상세를 벽체에 동일하게 적용할 경우 횡구속 콘크리트의 강도증가로 인한 압축대의 감소효과로 인하여 거의 압축대 전체를 횡보강하는 것과 동일한 결과를 가져오는 지나치게 안전 측의 설계라는 연구 결과가 보고되었다(강수민과 박홍근, 2002). 기존 실험연구(천영수 등, 2013)에서도 횡보강간 간격을 기준보다 완화된 D/3(D:최소단면치수)로 선정하여 실험한 결과, 연성과 에너지 소산능력에서 약간의 차이는 있었으나 건축구조기준에서 제시하는 1.5% 수준의 층간변위비 조건을 만족하였다. 따라서 본 실험에서는 특수경계요소 설치구간의 횡보강간격을 기준에서 제시하는 D/4보다 조금 완화된 D/3와 이보다 더 완화된 D/2.5를 선정하여 성능을 비교, 검토하였다. 이상의 실험변수를 토대로 한 실험체 일람표를 표 1에 나타내었으며, 그림 4에 실험체의 형상 및 치수를 도시하였다.

### 2.3 실험체 설치 및 하중가력 방법

실험체의 설치상황을 그림 5에 나타내었다. 중력하중은 실험체 설치가 완료된 후, 표 1에서 계획된 중력하중비가 유지되도록 유압기를 통해 벽체 상부의 철골 가력보에 수직 방향으로 재하하였다. 유압재과 철골보 사이에는 로드셀을 두어 하중값을 실시간으로 확인할 수 있도록 하였다.

의도한 중력하중은 벽체 상부 콘크리트 보의 무게, 철골 가력 보, 상부 철물 등의 무게를 제외하고 재하하여 실험체 모두 로드셀에서 측정되는 하중이 계획한 축력이 되도록 조절하였다.

횡하중은 그림 2와 같이 실제 벽체 하부에서의 하중조건과 일치하도록 가력방법을 계획하였다. 지진하중의 역삼각형 하중은 실험체의 횡하중과 모멘트로서 구현하여 휨 파괴되도록 하였다. 또한 횡하중 가력 시 전단벽의 면외 좌굴현상을 방지하기 위하여 가력 보에 가이드 프레임과 볼지그를 설치하였다. 횡하중은 가력기A에 의해 전달되며, 모멘트는 가력기B와 가력기C에 의해 가해진다. 실제 하중조건과 동일한 하중조건을 재현하기 위하여 각 가력기에 가해지는 하중의 비는 가력기A:가력기B:가력기C = 1:10.6:-10.6으로 유지하였다.



그림 5. 실험체 설치상황

수평하중은 역삼각형 형태의 횡하중을 가정하였으며, 이 하중분포에 의해 발생하는 휨모멘트와 전단력의 관계가 유지되도록 가력장치를 계획하였다. 실험체에 작용하는 반복하중은 LVDT-1의 변위량에 따른 변위제어방식으로 가력하였다. 하중이력은 ACI T1.1R-01(2001)에 따라 다음 단계가 이전 단계의 125%~150%의 범위에 들도록 그림 6과 같이 계획하였다. 각 변위마다 강도와 강성의 저하에 대한 자료를 얻기 위하여 3회씩 가력하였으며, 실험은 내력이 최대내력의 80% 이하로 저하되는 구간까지 수행하였다. 실험체의 균열은 가력이 끝나는 단계별로 구분하여 정(+)-방향과 부(-)방향 모두 표시하였다.

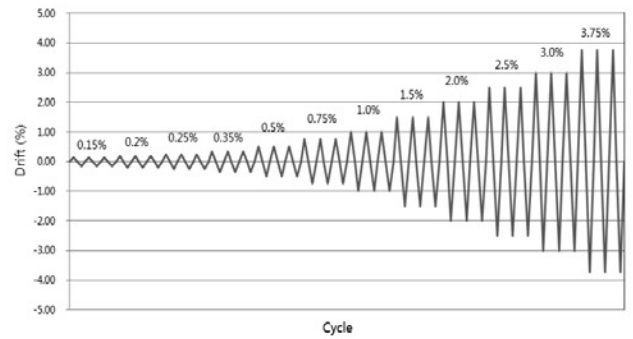
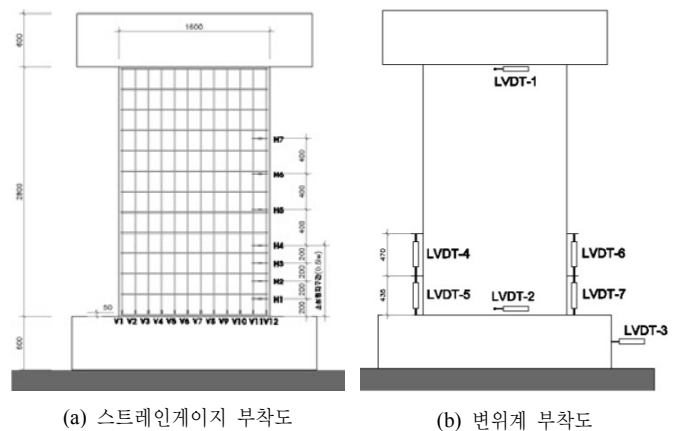


그림 6. 횡방향 가력 하중이력

### 2.4 계측방법

가력 시 철근의 항복여부와 변형률을 측정하기 위해 각 실험체는 동일한 위치의 휨철근과 횡보강 철근에 스트레인게이지를 부착하였으며, 실험체의 수평변위와 소성힌지 영역의 곡률 측정을 목적으로 7개의 LVDT를 설치하였다. 그림 7에 연구목적에 따른 게이지의 부착현황을 도시하였다.



구분	설치목적
L1	실험체 수평변위 측정
L2	실험체 수평변위 측정
L3	실험체 기초의 수평변위 측정
L4~L7	소성힌지 영역의 곡률 측정

그림 7. 계측장치 설치위치도

### 3. 재료실험

실험체의 콘크리트 압축강도를 파악하기 위하여 KS F 2403의 규정에 따라 Ø100×200의 공시체를 제작하였으며, 압축강도 실험은 KS F 2405에 따라 실시하였다. 공시체는 동일한 기간 타설과 동일 조건에서 양생한 3개의 공시체를 사용하였으며, 실험당일 강도를 시험하여 25.8MPa(NW1, SSW1, SSW2)과 28.8MPa(SSWR1, SSWR2, SSWR3)를 얻었다. 콘크리트 강도는 실험체에 작용하는 축력비와 밀접한 연관이 있는 값이므로 실험결과 분석 시 이를 고려하여 성능을 검토하였다. 실험에 사용된 D10 이형철근의 인장강도 시험결과는 표 2와 같다.

표 2. 철근의 재료시험 결과

이형철근 (HD10)	항복강도 (MPa)	인장강도 (MPa)	연신율(%)
시편 1	497	614	20
시편 2	506	628	20
시편 3	515	630	21

### 4. 실험결과 및 분석

#### 4.1 균열 및 파괴상황

실험을 진행하는 동안 각 실험체별 파괴상황을 조사하였다. 균열은 중력하중 가력 직후, 각 횡변위비의 3번째 사이클 종료 직후, 그리고 최종파괴 시 조사하였다. 실험 종료 후 파괴균열 모양을 그림 8에 나타내었다. NW1(보통전단벽) 실험체는 횡변위비 0.2% 구간부터 벽체단부에서 균열이 형성되기 시작하였으며, 변위가 증가함에 따라 발생한 휨균열이 서로 교차하면서 초기 휨균열이 휨-전단균열로 진행되었다. 이후 벽체하부에 균열이 집중되었고, 변위비 2.0% 변형상태에서 압축측 단부의 세로균열이 발생하기 시작하였으며, 2.5% 변위비구간에서 콘크리트의 압괴로 최종 파괴되었다. 이때 휨철근은 파단되지 않았으며, 다른 실험체의 경우 기초와 접하는 벽체 저면에서 주로 균열이 발생한 것과 달리 NW1 실험체는 벽체 저면에서 약 40cm 상부 구간에서 균열이 집중되어 나타났다.

SSW계열(특수전단벽) 실험체의 경우 변위비 0.25% 구간에서 초기균열이 발생하였고, 보통 전단벽과 비교하여 균열이 다소 느리게 진전되었으며, 2.5% 구간에서 수직균열이 발생하였다. 2.0% 횡변위비 이후에는 추가적인 균열은 발생하지 않았고, 콘크리트 탈락현상도 발생하지 않았으나 횡변위비 3.0% 에서 철근의 파단과 동시에 벽체하부에서 콘크리트가 탈락되기 시작하며 균열이 급속하게 확대되었다. 최종 파괴

는 압축측 콘크리트의 압괴와 철근의 파단으로 양상은 보통 전단벽과 비슷하였다. 이때 발생한 휨균열은 주로 경계요소 횡보강근의 간격을 따라서 형성되었으며, 균열이 소성힌지 이외의 영역으로 넓게 분포하여 발생하였다. 압축력을 받게 되는 벽체의 단부는 삼축압에 의한 팽창압이 발생하게 되는데 이 팽창압이 단부의 코어 콘크리트를 구속하고 있는 횡보강근에 그대로 전달되어 횡보강근 간격의 휨균열을 형성하는 것으로 보이며, 이러한 균열양상을 통해 횡보강근이 삼축압에 의한 팽창압을 구속하는데 있어 중요한 역할을 하고 있다는 것을 알 수 있었다.

SSWR계열(완화된 배근상세를 갖는 특수전단벽) 실험체는 SSW계열 실험체와 거의 유사한 균열 양상을 나타내었다. 단부 코어 콘크리트의 팽창압을 구속하는 역할을 담당하는 횡보강근은 최종 파괴 시점까지 결속이 풀리거나 철근의 파단이 발생하지 않았다. U형 스티럽과 연결철근(crosstie)에 의한 결속이 내진갈고리를 갖는 후프에 의한 결속과 유사한 성능을 발휘하였으며, 현행 설계규준의 폐쇄형 후프의 대안이 될 수 있는 것으로 판단된다. 그리고 현행 설계기준에서는 특수 경계요소 보강구간은 위험단면으로부터 적어도  $l_w$  또는  $M_u/4V_u$ 보다 큰 거리까지 도달하여야 한다고 규정하고 있으나 벽체의 파괴양상으로 미루어 볼 때 균열이 주로 위험단면에 집중되므로 구간별로 횡보강근의 간격을 다르게 배근하는 것도 하나의 대안이 될 수 있을 것으로 사료된다.

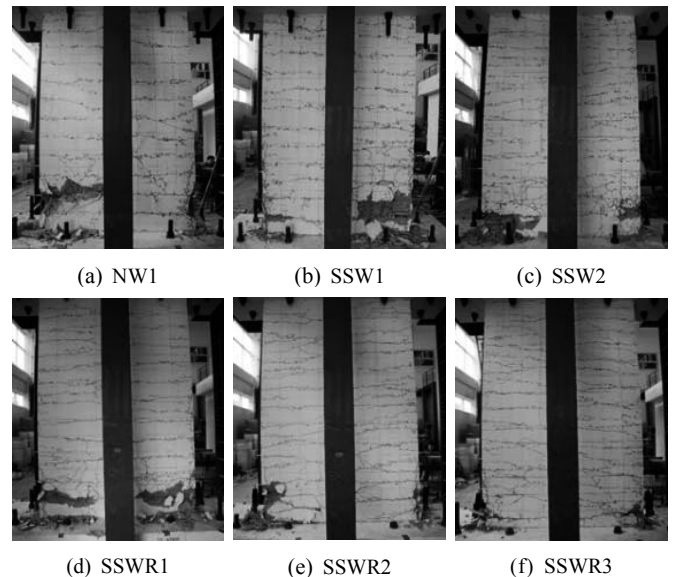


그림 8. 실험체 최종균열 및 파괴상황

#### 4.2 모멘트-횡변위비 관계

표 3은 각 실험체의 실험결과를 비교한 것이다. 공칭강도  $M_n$  값은 실제 재료시험을 통해 얻은 재료강도 값으로부터 구한 실제강도이며, 횡변위비  $DR_{max}$ 는 최대 모멘트가 발생한 구간

표 3. 실험결과

실험체명	횡보강근 간격	축하중 (kN)	축력비 (%)	$f_{ck}$ (MPa)	$f_y$ (MPa)	$M_n$ (kN.m)	$M_{max}$ (kN.m)	$\frac{M_{max}}{M_n}$	$DR_{max}$ (%)
NW1	-	768	10	24	500	1096	1,135	1.04	1.43
							-1,127	1.03	-1.49
SSW1	D/4	768	10	24	500	1096	1,169	1.06	2.58
							-1,157	1.06	-2.48
SSW2	D/3	768	10	24	500	1096	1,135	1.04	2.00
							-1,139	1.04	-1.93
SSWR1	D/4	768	9	27	500	1124	1,125	1.00	2.47
							-1,117	0.99	-2.08
SSWR2	D/3	768	9	27	500	1124	1,148	1.02	2.07
							-1,125	1.00	-2.02
SSWR3	D/2.5	768	9	27	500	1124	1,132	1.01	1.89
							-1,128	1.00	-1.82

의 변위비를 나타낸 것이다. 모든 실험체는 공칭강도와 거의 유사한 값을 나타내어 횡보강근의 유무는 실험체의 강도와는 크게 연관이 없음을 알 수 있었다. 예상했던 바와 같이 동일한 횡보강근 배근간격을 갖는 SSW계열 실험체와 SSWR계열 실험

체는 콘크리트 강도에 약간의 차이는 있으나 거의 유사한 최대 모멘트강도를 나타내었다.

그림 9는 각 실험체의 모멘트-횡변위비 이력곡선을 나타낸 것이다. 횡하중은 동일한 횡변위비에서 강성 및 강도저하를 파악하기 위하여 3회씩 반복 가력하였다. NW1 실험체는 하중을 반복함에 따라 강도 감소현상이 나타났으나 SSW계열 실험체와 SSWR계열 실험체에서는 강도저하가 크게 발생하지 않았다. 또한 NW1 실험체는 서서히 하중이 증가하다가 1.5% 변위비에서 최대강도에 도달한 이후 2% 변위비에서 하중이 눈에 띄게 감소하는 경향을 보인 반면, SSW계열 실험체와 SSWR계열 실험체는 하중이 서서히 증가하다가 일정 변위비에 이르러 하중의 증가 없이 일정한 하중상태에서 변위만 계속 증가하는 양상을 나타내었으며, 벽체 하부에서 소성변형이 지속적으로 발생하면서 변위비 3%에서 철근의 파단 이후 급격히 강도가 감소하는 양상을 나타내었다.

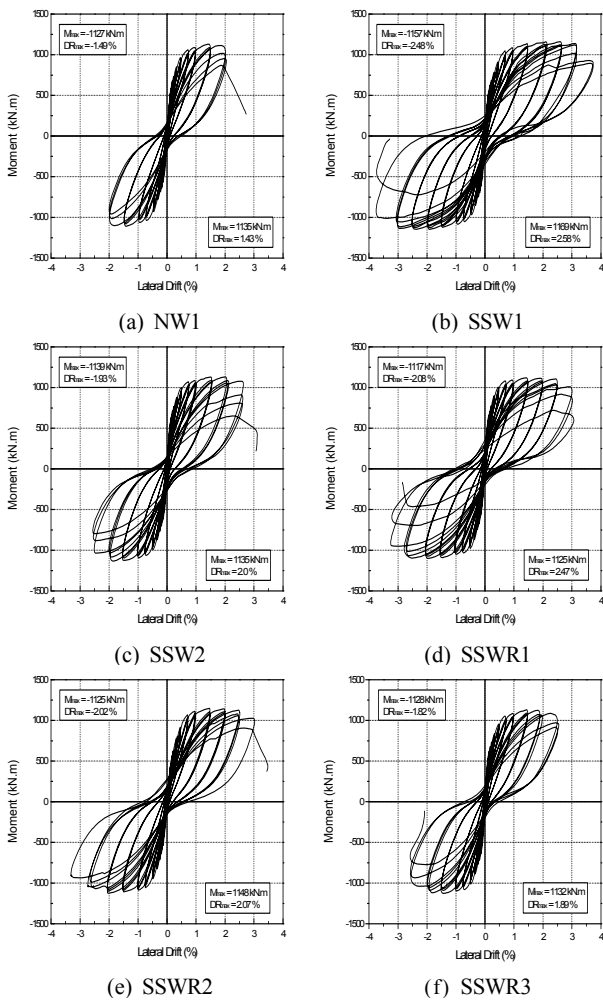


그림 9. 모멘트-횡변위비 관계

(1) 배근상세에 따른 비교

전단벽의 경계요소에 사용하는 횡보강 철근은 피복콘크리트의 박리로 인한 강도감소를 코어 콘크리트의 강도증가로 만회하기 위한 것으로 피복의 탈락 이후에도 강도 감소 없이 연성도를 유지하는 역할을 한다. 현행 설계기준에서 규정한 전단벽 경계요소 구간의 횡보강근 상세인 폐쇄형 후프를 사용한 SSW 계열 실험체와 U형 스테럽과 연결철근을 사용한 SSWR 계열 실험체의 이력거동을 비교한 결과(그림 10 참조), 새로 제안한 횡보강 상세도는 기존 설계기준에서 제시한 상세와 거의 유사한 값을 나타내었다. 최종 파괴가 일어나기 까지 U형 스테럽의 이탈은 일어나지 않았으며, 폐쇄형 스테럽과 같이 압축측 코어 콘크리트를 구속하는 효과를 발휘하였다. 그러나 U형 스테럽+연결철근(crosstie)을 갖는 실험체(SSWR)와 단일 폐쇄형 후프(SSW)로 보강된 실험체는 단면적에 대한 축력비가 다르게 작용하였기 때문에 두 실험체를

직접 비교하는 것에는 한계가 있었다. 하지만 축력비 차이가 크지 않고, 그 차이를 감안하더라도 두 실험체는 유사한 강도 및 변형 능력을 보유하고 있다고 판단할 수 있으며 기준에서 제시하는 횡변위 1.5% 를 충분히 만족시킴을 알 수 있었다.

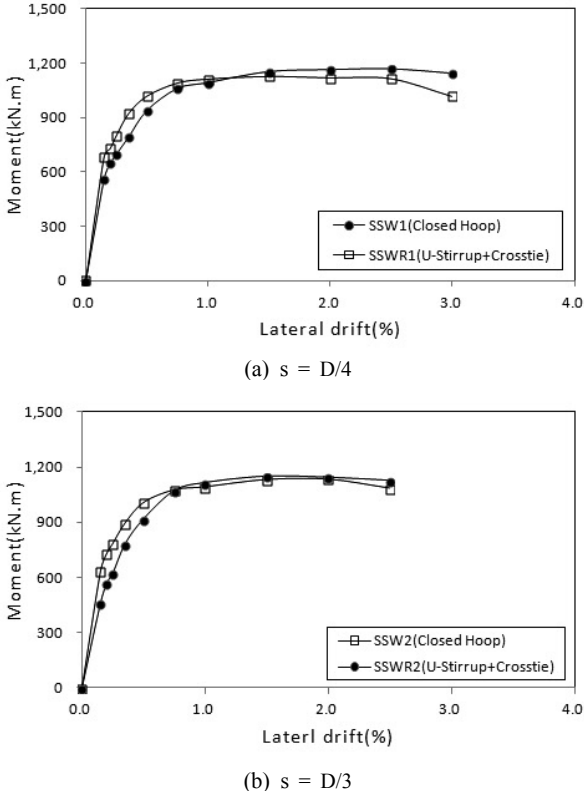


그림 10. 배근상세에 따른 모멘트-횡변위비 비교

(2) 배근간격에 따른 비교

그림 11은 배근간격에 따른 각 실험체의 모멘트-횡변위비의 관계를 비교하여 나타낸 것이다. SSW1 실험체는 변위비 3%까지 강성을 유지하다 변위비 3.5%에서 파괴된 반면 횡보강근 체적비가 작은 SSW2 실험체의 경우에는 2.5%까지 강성을 유지하다 변위비 3.0%에서 첫 번째 사이클 진행 도중 파괴되었다. U형 스티럽과 연결철근(crosstie)을 사용한 SSWR계열 실험체의 경우에도 체적비와 변형성능은 반비례하는 결과를 보여주었다. 특히 배근간격이 D/2.5인 SSWR3 실험체의 경우 다른 실험체와 비교하여 비슷한 성능을 보여주어 변형 능력은 배근간격뿐만 아니라 콘크리트강도, 축력비 등 기타 다른 변수들에 의해서도 영향을 받을 수 있으며 이러한 인자들을 함께 고려한 변형성능 검토가 필요할 것으로 사료된다. 정리하면, 전체적으로 횡보강 철근의 간격이 조밀할수록 강도와 연성도 면에서 우수한 것으로 나타났다. 특히 변형성능은 Thomsen and Wallace(2004)의 실험 결과와 일치하는 것으로서 횡보강 철근량이 증가할수록 벽체의 변형성능을 향상시키는데 유효한 것으로 사료된다.

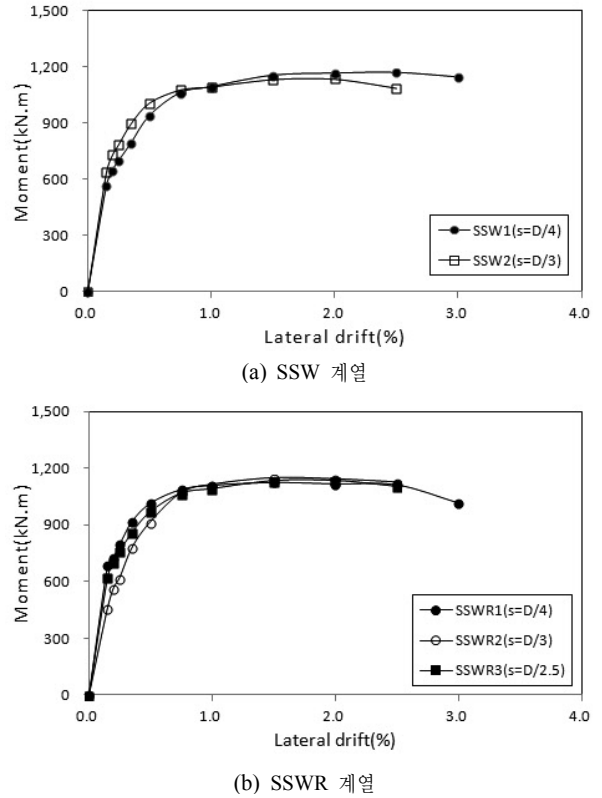


그림 11. 배근간격에 따른 모멘트-횡변위비 비교

4.3 에너지 소산능력 비교

이 절에서는 전단벽의 내진성능을 비교하기 위하여 에너지 소산능력(energy dissipation capacity)을 비교하여 나타내었다. 에너지 소산능력은 구조물의 내진성능을 평가하는 지표 중의 하나로서 부재가 파괴될 때까지 에너지를 흡수 또는 소산할 수 있는 능력을 나타낸 것이며, 모멘트-횡변위비 곡선에 의해 둘러싸인 면적으로 평가된다. 그림 12는 각 변위비 단계에서 두 번째 사이클의 이력곡선을 사용하여 누적에너지를 산정한 것이다. 그림에서 알 수 있는 바와 같이 전체적으로 보강근의 상세와 상관없이 배근간격이 좁아질수록 에너지 소산능력을 향상시키는데 효과적인 것으로 나타났다. 완화된

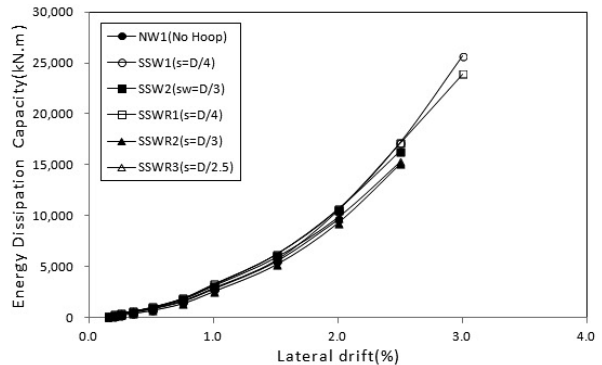


그림 12. 누적에너지 소산 곡선

배근상세를 갖는 SSWR 계열 실험체의 경우 폐쇄형 후프 실험체와 비교하여 동등한 성능을 나타내고 있음으로 특수전단 벽의 횡보강 상세로서 사용이 가능할 것으로 사료된다.

#### 4.4 철근의 변형률분포

##### (1) 수직철근의 변형률분포

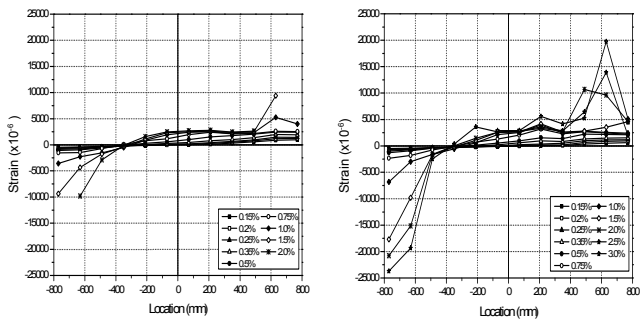
본 연구에서는 수직철근의 변형률분포를 살펴보기 위하여 벽체의 수직철근 하부에 스트레인게이지를 부착하였으며, 경계요소 구간의 수직철근은 항복이후의 변형률도 살펴보기 위하여 소성게이지를 부착하였다. 그림 13은 각 횡변위비 단계 별로 수직철근의 변형률분포를 나타낸 것으로 실험결과, 경계요소 구간(0~300mm)에서 변형률이 집중되어 변형률분포가 비선형임을 알 수 있었으며, 변위비 1.0% 이후에는 단부에서의 변형률이 집중적으로 증가하는 양상을 보이며 소성변형이 지속적으로 발생함을 알 수 있었다. 이는 벽체 단부의 변형률 분포를 선형이라고 가정하는 변위기반 설계법의 가정

과는 부합하지 않는다는 사실을 말해준다.

또한 횡보강근의 배근간격이 좁을수록 변형률은 단부에 집중되었으며, 벽체의 단부 경계요소 설치구간에 설치되는 횡보강근은 단부의 코어 콘크리트를 구속하여 압축강도를 증진시키는 역할을 하는 것으로 사료된다. 또한 벽체가 최대 휨모멘트 강도에 도달한 이후에도 횡보강근에 의해 구속된 압축 단부가 벽체에 가해지는 모멘트로 인한 압축력에 대하여 계속하여 저항함에 따라 압축측 콘크리트의 압괴가 지연되고 그 동안 인장측 휨철근의 소성이력이 충분히 발휘된다는 기존연구와 일치함을 알 수 있었다.

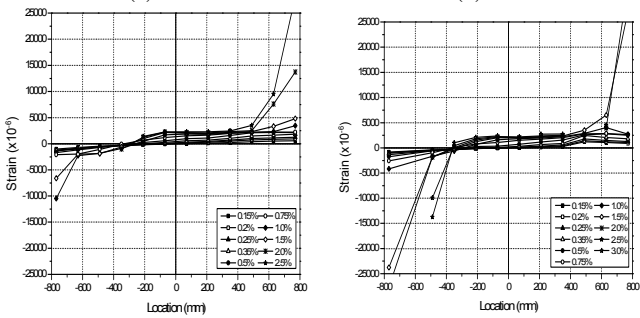
##### (2) 횡보강근의 변형률분포

횡보강근의 콘크리트 구속여부를 살펴보기 위하여 소성한 지구간 안에 일정 간격(200mm)으로 폐쇄형 스티럽 및 U형 스티럽에 스트레인 게이지를 부착하였다. 그림 14에 도시된 변형률분포를 살펴보면 벽체 저면부터 약 600mm 구간에서



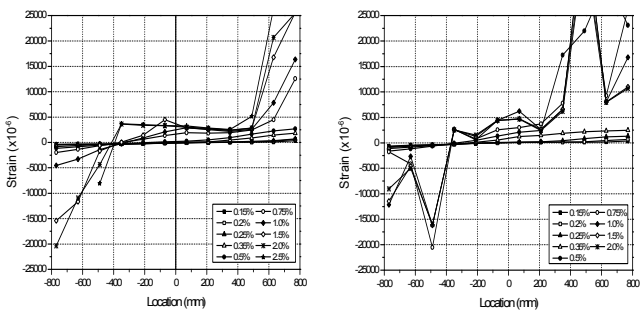
(a) NW1

(b) SSW1



(c) SSW2

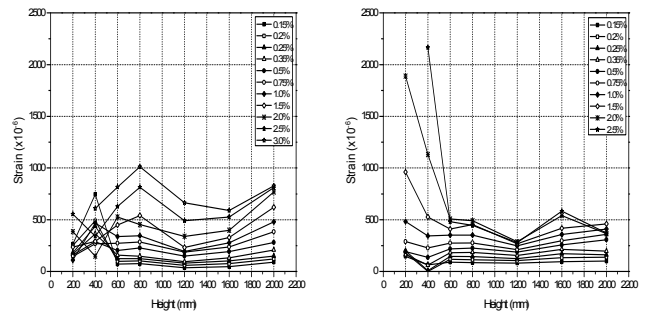
(d) SSWR1



(e) SSWR2

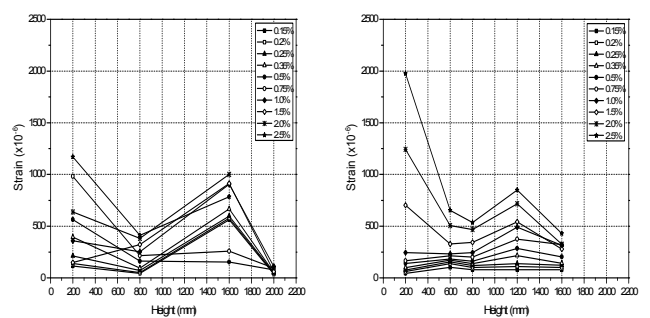
(f) SSWR3

그림 13. 수직철근의 변형률분포



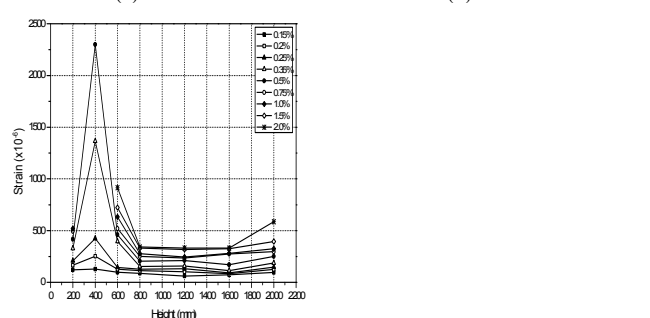
(a) SSW1

(b) SSW2



(c) SSWR1

(d) SSWR2



(e) SSWR3

그림 14. 횡보강근의 변형률분포



변형률이 집중되어 실험체의 균열 상황과 비교해보았을 때 거의 일치함을 알 수 있었다. SSW1 실험체의 경우 벽체하부에 설치된 게이지가 부착문제로 인하여 제대로 작동하지 않아 결과를 보여주지 못하였으나 횡보강근의 배근간격이 조밀할수록 변형률은 벽체높이 전체에 걸쳐 분포되었으며, 이는 압축측 콘크리트의 구속효과를 증진시켜 인장균열이 벽체 상부로 고르게 분포하는 역할을 하는 것으로 판단된다.

#### 4.5 결론

현행 설계기준에서 규정하는 특수전단벽 경계요소의 구속용 횡방향 철근은 특수모멘트골조의 기둥에 적용하는 횡방향 철근에 대한 설계규정을 동일하게 적용하도록 하고 있다. 그러나 이러한 설계규정에 대하여 기존 연구에서 분석한 결과를 종합해 보면 과대평가되어 필요 이상의 횡보강 설계를 요구하고 있음을 알 수 있다. 이에 본 연구에서는 설계기준에서 제시한 상세보다 완화된 횡보강 상세를 개발하고 이를 사용한 전단벽의 실물 크기 실험을 통해 시스템의 구조성능을 평가하였으며, 그 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 제안된 횡보강 상세를 채용한 SSWR계열 실험체의 균열 및 파괴 양상은 폐쇄형 후프를 사용한 SSW계열 실험체와 유사한 경향을 나타냈다. 모든 실험체는 벽체 하부의 소성힌지영역에서 경계요소 구간의 콘크리트 압괴 및 주 철근의 파단으로 최종 파괴되었다. 횡보강된 실험체들은 횡변위비가 증가할수록 다른 실험체에 비하여 단부 균열이 소성힌지 이외의 영역으로 넓게 분포된 반면, 횡보강 철근이 없는 보통전단벽 실험체는 동일한 횡변위비 구간에서 벽체 하부의 소성힌지구간에 균열이 주로 집중되는 양상을 나타내었다.

2. 현행 설계기준에서는 특수경계요소 보강구간은 위험단면으로부터 적어도  $l_w$  또는  $M_u/4V_u$ 보다 큰 거리까지 도달하여야 한다고 규정하고 있으나 벽체의 파괴양상 및 변형률을 평가한 결과 균열이 주로 위험단면에 집중되는 경향을 나타내었다.

3. 최대강도는 예상값을 모두 상회하는 것으로 나타났으며, 에너지 소산능력을 비교한 결과 완화된 배근상세를 따르는 SSWR2 실험체의 경우 기존 설계기준의 특수전단벽 SSW2 실험체와 유사한 내진성능을 가지고 있는 것으로 나타났다. 또한 설계기준에서 제시하고 있는 1.5% 수준의 변형

각 조건을 충분히 만족하고 있어 구조물의 주요 횡력저항 요소로서 사용될 수 있을 것으로 판단된다. 그리고 횡보강 철

근량이 증가할수록 내진성능에 효과적인 것으로 나타났다.

4. 변형능력과 에너지소산능력 등 실험결과를 종합해볼 때, 본 연구를 통해 제시된 완화된 전단벽 배근상세(U형 스티럽+연결철근)는 기존의 특수전단벽 횡보강 상세(폐쇄형 후프)와 5% 이내의 차이로 유사한 성능을 발휘하고 있으며, 이러한 차이는 설계나 시공 시 오차를 감안하면 무시할 수 있는 수준인 것으로 사료됨으로 대안상세로서 사용이 가능한 것으로 판단된다.

#### 감사의 글

이 논문은 ‘특수철근콘크리트 구조벽체의 배근상세 규정 개정을 위한 실험용역’과제의 연구결과 일부이며, 한국토지주택공사(LH)의 연구비 지원에 의해 수행되었습니다.

#### 참고문헌

1. 강수민, 박흥근(2003), “구조벽의 단부 횡보강 설계”, 「한국콘크리트학회 논문집」, 15(6): 877~887.
2. 강수민, 박흥근(2002), “장방형 철근 콘크리트 전단벽의 연성보강”, 「한국콘크리트학회 논문집」, 14(4): 530~539.
3. 대한건축학회(2009), 「건축구조기준 및 해설」.
4. 천영수, 이기학, 이효원, 박영은, 송진규(2013), “완화된 단부 배근상세를 갖는 특수전단벽 구조시스템의 내진성능평가”, 「한국콘크리트학회 논문집」, 25(3): 271~281
5. 천영수, 김상연(2011), 「구조시스템 높이제한 규정 완화를 위한 준특수전단벽 상세개발」, 토지주택연구원.
6. 한상환, 오영훈, 이리형(1999), “벽체 단부의 횡보강근 양에 따른 변형능력의 평가”, 「한국콘크리트학회 논문집」, 11(6): 101~112.
7. American Concrete Institute (2008), *Building Code Requirements for Structural Concrete, ACI318-08*.
8. American Concrete Institute (2001), *Commentary on Acceptance Criteria for Moment Frames Based on Structural Testing, ACI T1.1R-01*.
9. Su, R. K. L. and S. M. Wong (2007), “Seismic behavior of slender reinforced concrete shear walls under high axial ratio”, *Engineering Structures*, 1(29): 1957~1965.
10. Thomsen IV, J. H. and J. W. Wallace (2004), “Displacement-Based Design of Slender Reinforced Concrete Structural Walls-Experimental Verification”, *Journal of Structural Engineering*, 130(4): 618~630.