

# 용접철망 콘크리트 벽체의 전단거동 연구

Inplane Shear Behavior of Concrete Walls Reinforced by Welded Wire Fabric

김 우\*, 정 란\*\*, 양 지 수\*\*\*, 윤 영 호\*\*\*\*, 김 대 중\*\*\*\*\*  
Kim, Woo Chung, Lan Yang, Ji-Soo Yoon, Young-Ho Kim, Dae-Joong

## ABSTRACT

Twelve 1/2 scale modeled wall specimens were tested statically up to failure to investigate the shear behavior of concrete walls reinforced with welded wire fabric. Major variables were spacing of reinforcing bars, type of reinforcing bar(rebar, welded wire fabric, knurling wire) and the existence of tied column type reinforcement.

### 1. 서 론

철근콘크리트는 건설 구조물의 중요한 재료로서 그 수요가 절대우위를 확보하고 있으며, 향후 사용범위는 더욱 증가할 것이다. 그런데 경제성과 시공성의 측면에서 고려해 볼 때 날로 심각해져가는 기능인력 부족현상을 타개하고, 급변하는 건설환경변화에 능동적으로 대처하며, 보다 합리적인 시공을 위해 철근콘크리트 구조물에서 일반적으로 사용되고 있는 현장조립 이형철근을 구조용 용접철망(welded wire fabric)으로 대체하는 연구가 절실히 요구되고 있다.

용접철망은 제철공장에서 제조된 연강선 코일을 사용하여 수차에 다이즈(孔型;dies)를 통해 가느다란 지름으로 늘여서 냉간압연에 의해 이형화하기 때문에 잔류응력 및 변형등이 발생하기 때문에 물리적 성질 즉, 응력-변형률 곡선 및 연신율(elongation)이 일반철근과 다르다. 뿐만 아니라 구조용 용접철망은 용접점에 의한 유효단면적의 감소 및 응력집중현상 발생 가능성이 있다. 이와 같은 차이를 갖고 있는 용접철망을 콘크리트 구조물의 보강용으로 사용했을때, 동일한 조건에서 일반 이형철근으로 보강한 구조물과의 거동차이에 대해서는 지금까지 잘 알려져 있지 않다.

본 연구에서는 평하중에 의해 전단력을 주로 받고 있는 벽체에서 수평철근망 또는 간격과 철근의 종류(철근, 용접철망, 소선)가 벽체

의 전단거동에 미치는 영향을 파악하고자 하는데 그 목적이 있다. 이와 같은 벽체전단실험(wall shear test)은 현장조립 이형철근 대신에 시공이 편리한 구조용 용접철망을 벽체에 사용할 수 있는가를 검토하고자 하는 것이 본 실험의 동기이다.

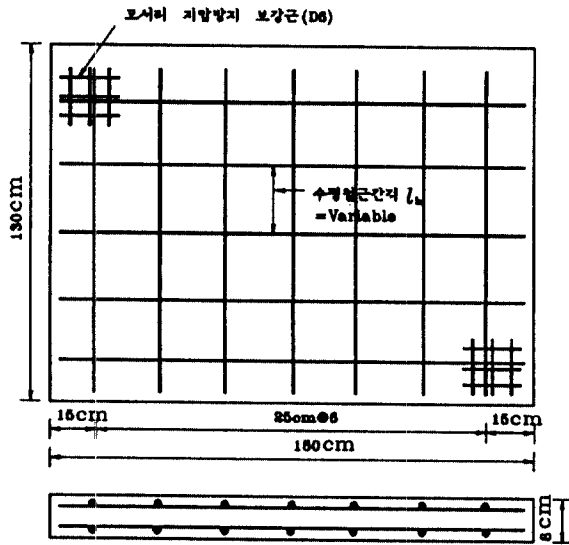
### 2. 실험

#### 2.1 시험체

벽체에 전단하중이 작용할때 수평철근의 효과를 알아보기 위해 모두 12개의 시험체를 제작하였다. 시험체의 크기는 벽식구조 아파트의 대표적인 실물 벽체의 크기를 1/2 축소하여, 그림 1과 같이 높이 130 cm, 길이 180 cm, 두께 8 cm로 하였다.

실험변수는 4종류의 수평철근간격, 3종류의 철근 type과 단부 보강유무에 대한 것이었다. 첫번째 변수인 수평철근간격은 6 mm 직경의 철근을 배근 하였을 경우 시방서의 최소 수평철근비인 0.002가 되도록 35 cm 간격으로 한 것과 0.003에 해당되도록 25 cm 간격한 것, 0.008에 해당되도록 10 cm 간격한 것, 그리고 수평철근을 전혀 배근하지 않은 것으로 4종류를 사용하였다. 두번째 변수인 수평철근의 종류는 각 수평철근간격마다 일반 이형철근(D6), 용접된 구조용 용접철망, 그리고 이 용접철망과 동일 철선이나 수평 수직철근의 교차점을 용접하지 않고 결속선으로 배근한 소선의 세종류로 하였다. 이것은 본 실험의 목적인 용접철망을 사용한 벽체와 일반 철근을 사용한 벽체간의 거동 차이를 규명하기 위한 것 뿐만 아니라, 수직철근과 수평철근

\* 전남대학교 토목공학과 조교수  
\*\* 단국대학교 건축공학과 부교수  
\*\*\* 대한주택공사 주택연구소 과장  
\*\*\*\* 대한주택공사 주택연구소 연구원  
\*\*\*\*\* 전남대학교 토목공학과 박사과정



□ Variable

- 수평철근간격 10cm; 시험체 S10R, S10W, S10K  
 25cm; 시험체 S25R, S25W, S25K  
 35cm; 시험체 S35R, S35W, S35K  
 ○; 시험체 SNK

그림 1 시험체

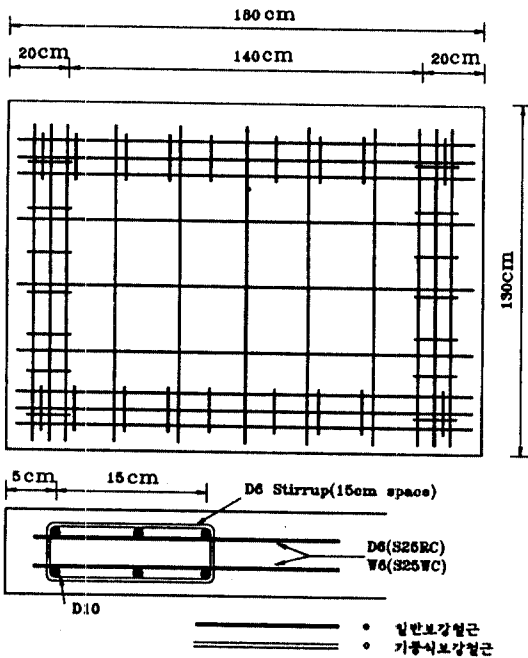


그림 2 띠기동식 단부보강 벽체 배근도

교점의 용접 유무에 따른 전단벽체의 거동을 알아보기 위한 의도에서였다. 2개의 벽체

(S25RC와 S25WC)에는 벽체 테두리 단부에 그림 2와 같이 벽체 두께를 변화시키지 않고 띠기동식으로 보강하여 제작하였다. 이것은 띠기동식 단부보강 효과를 알기 위해서였다.

2.2 재료

시험체 제작때 사용된 콘크리트는 1/2 축척의 축소 모형콘크리트에 적합하도록 굵은골재 최대치수를 1/2로 줄였다. 압축강도는 320 kg/cm<sup>2</sup> 이었으며, 인장강도는 23 kg/cm<sup>2</sup> 이었다.

본 실험에서 사용된 철근과 용접철망의 물리적 성질 및 강도는 표 1과 그림 3에 나타냈다.

2.3 실험장치 및 측정

시험체는 그림 4와 같이 라멘형의 반력 프레임내에 벽체를 위치시키고, 벽체의 세 모서리를 이동 또는 회전지지 시킨 다음, 하단부 모서리에 하중을 작용시킬 수 있도록 하였다. 하중은 100 ton 용량의 Oil Jack 을 사용하여 가력하였다.

벽체의 전단거동을 파악하기 위해서 작용하중(P), 횡방향 변위량(D1, D2), 벽체 전단변형량(SD1, SD2)과 벽체 중앙을 지나는 수평철근의 변형률(S)을 측정하였다. 수동 Oil Pump를 이용하여 연속적으로 하중을 가하는 동안 6개의 Sensor에서 출력되는 신호를 Automatic Data Acquisition System을 이용하여 매 순간마다(여기서는 D1 변위량이 1/200 mm의 차이를 발생할때마다) 자동판독 및 기록 되도록 하였다.

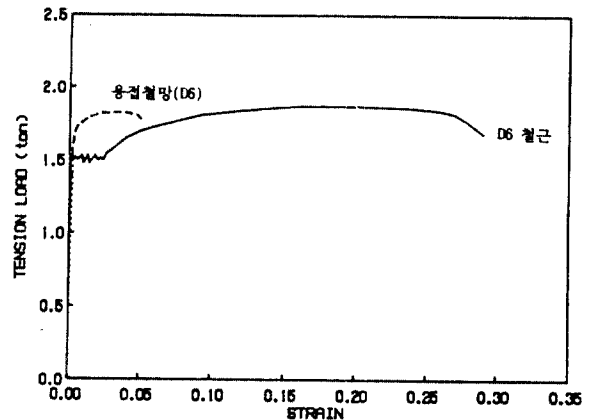


그림 3 철근의 강도-변형을 곡선

표 1 D6 철근과 6mm 용접철선의 물리적 성질

	D6 철근	6mm 용접철망 및 소선
공칭 직경	6.35 mm	5.56 mm
공칭 단면적	0.3167 cm <sup>2</sup>	0.2428 cm <sup>2</sup>
항복강도	4750 kg/cm <sup>2</sup>	7150 kg/cm <sup>2</sup>
인장강도	5905 kg/cm <sup>2</sup>	7537 kg/cm <sup>2</sup>
극한(파괴)변형율 (연신율)*	0.29 ( 29 % )	0.05 ( 5 % )
극한인장력 (인장강도 × 단면적)	1870 kg	1830 kg

\* 인장시험때 표점거리(gage length)가 50mm로서 약 8D(D는 철근직경)에 해당되므로 표준 표점거리와 다르다.

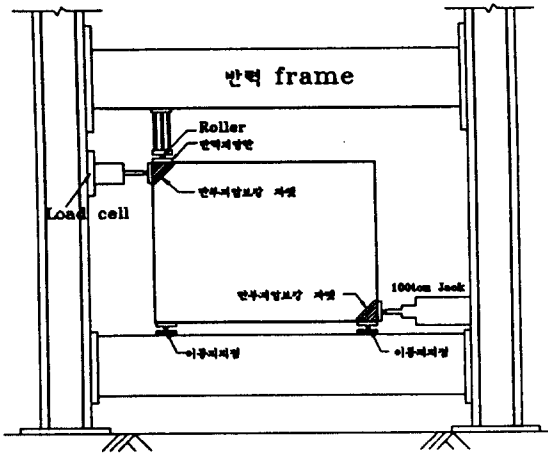


그림 4 실험 장치

### 3. 실험결과 및 분석

#### 3.1 일반거동 및 파괴 메카니즘

각 벽체에 수평하중을 작용시키면 재하 시작부터 최초 대각선균열이 발생할 때 까지의 거동은 매우 강성이 큰 선형거동상태를 나타냈다. 최초 대각선 균열발생 때의 평균전단 응력은 약 50 ~ 70 kg/cm<sup>2</sup>로 이 값은  $3.0\sqrt{f_c}$  보다 큰값으로, 일반적으로 보나 벽체의 극한 전단강도인  $1.0\sqrt{f_c} \sim 2.0\sqrt{f_c}$  보다 훨씬 큰 값을 나타냈다.

이렇게 된 근본적 원인은 그림 5에 보인 것과 같이 벽체 재하방법에 따른 벽체내의 응력 상태가 크게 다르기 때문으로 생각되어진다. 그림 5의 Type I과 같은 재하는 벽체 내부에 대각선 압축대(compression strut)를 형성하여 외력에 저항하는 기구(mechanism)가 형성되어진다. 이러한 기구는 오히려 압축실험과 비슷하다고 할 수 있을 것이다. Type II와

같이 재하하면 벽체내에 전단력과 휨모멘트에 의해 전단응력과 휨응력이 발생되어져 마치 보의 전단구간과 같은 응력상태를 나타낸다. 반면에 Type III와 같이 재하하면 벽체면에는 전단응력만 발생되어서 사인장응력이 발생되어질 것이다. 이와같이 재하방법에 따른 벽체내의 응력상태의 차이를 유한요소해석을 통하여 보다 명확히 비교하였다. 유한요소해석을 위하여 실험에 사용한 벽체와 동일한 기하적 형상을 갖는 벽체를 9-node 사각형요소를 사용하여 20개로 요소분할하였으며, 작용횡중은 모든 Type에 동일하게 20ton으로 하였다. 그림 5에서 알 수 있는 바와 같이 Type I과 같은 재하는 압축응력이 크게 발생되며,  $\sigma_1$  값이 다른 재하방법에 비하여 상대적으로 작다.  $\sigma_1$  값이 콘크리트 한계인장응력에 도달하면 균열이 발생되는데,  $\sigma_1$  값이 동일조건에서 다른 재하방법에 비하여 작다는 것은 파괴 하중은 상대적으로 다른 재하조건보다는 커야 한다는 것을 의미한다.

본 연구에서 행한 실험방법은 위의 Type I에 해당하는 재하방법으로서 Type III 재하방법과 직접 비교하면, Type I 재하방식은 벽체내에 일차적인 사인장응력을 유발시키지 않고, 대신 대각선 압축대가 유발된다. 이 대각선 압축력은 벽체의 기하적 형상에 의해 마치 원통형 공시체의 할열인장시험과 비슷하게 2차적 할열인장응력(splitting tensile stress)을 발생시킨다. 이 할열인장응력이 벽체의 대각선 균열의 주원인이라고 할 수 있다.

#### 3.2 파괴형태 및 강도

벽체의 파괴는 크게 두가지 형태였다. 하나는 어떤 하중에 도달하면 하중점과 반력점의 모서리를 연결하는 형태의 큰 대각선 균열이 1 ~ 3개 발생하면서 파괴되는 "대각선 균

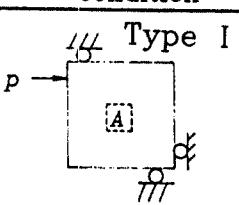
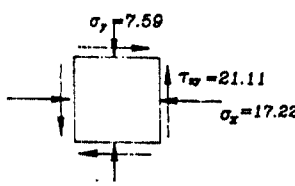
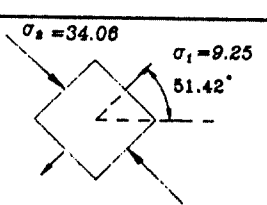
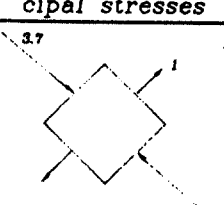
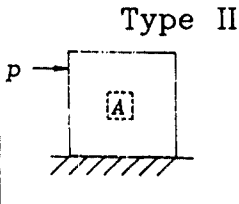
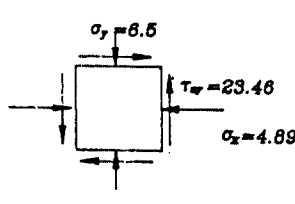
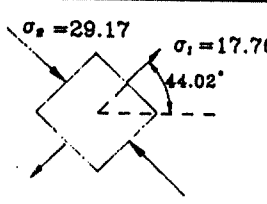
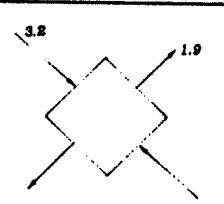
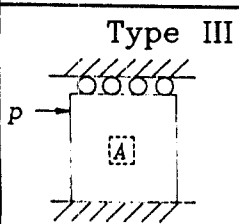
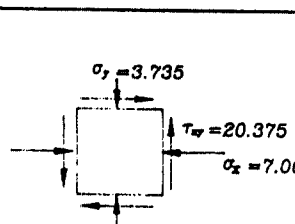
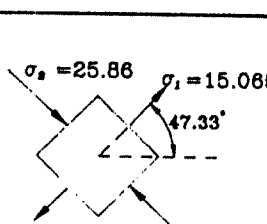
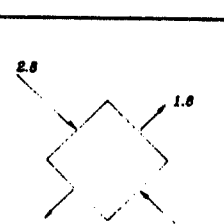
Type of support condition	Stresses at a center point of shear wall		Normalized principal stresses
Type I 			
Type II 			
Type III 			

그림 5 하중재하방법에 따른 응력상태의 유한요소해석결과

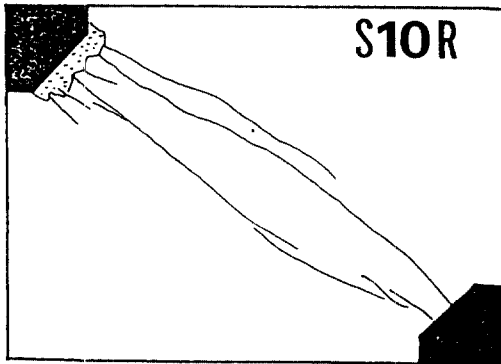


그림 6 대표적인 대각선균열 파괴형상

열 파괴"이고, 다른 하나는 벽체에 아무런 균열없이, 하중점 또는 반력점 모서리가 큰 압축력에 의해 압괴(Crush)되는 "지압파괴"이었다. 이 두 가지의 파괴형태에 따라 횡방향-평방향변위곡선에 큰 차이를 보였다. 대각선 균열 파괴는 균열 발생시 폭발음을 내면서 급작스럽게 파괴하여 처짐곡선 모양이 최대하중 도달직후 단절되는 모양으로 나타났다. 이와 같은 파괴 메카니즘 때문에 모든 벽체에서 큰 강성, 큰 강도를 나타내었다고 판단된다. 또

한 이 때문에 대부분의 벽체에서 발생한 큰 대각선 균열(그림 6)을 전단균열이라고 분류한다는 것은 부적절하며, 오히려 구조적으로 합열인장균열(splitting tensile crack)이라고 하여야 할 것이다. 왜냐하면 전단균열이란 일반적으로 사인장응력에 의해 발생하는 균열을 의미하기 때문이다. 위와 같은 관점에서 살펴보면, 그림 6에 나타나 있는 대각선 균열 파괴나 지압파괴는 모두 압축력을 받는 콘크리트 부재의 전형적인 파괴형태라고 생각할 수 있다.

### 3.3. 수평철근 간격에 따른 영향

표 2에는 응집철망을 사용한 벽체에서 수평철근 간격이 10cm, 25cm와 35cm인 경우의 결과를 비교한 것이다. 이 결과에서 발견할 수 있는 사실은, 수평철근 간격이 클수록(수평철근비가 작을수록) 균열강도와 파괴강도가 작아졌다. 또한 철근비가 작을수록 적은 변위량에서 파괴하였다.

수평철근비가 0.003일때와 0.008일때의 파괴강도는 최소 수평철근비 0.002 인 벽체의 강도보다 각각 19%와 44%씩 증가함을 알 수 있다. 또한 이 수평철근비가 클수록 균열 발

생이후의 추가강도(reserve or additional strength:  $P_{max}-P_{cr}$ )가 증가하였다. 이것은 대각선 균열 발생후에는 작용하중을 철근이 저항하는 파괴 메카니즘이 형성되기 때문이다. 이 때문에 수평철근비가 클수록 파괴때의 변형량이 증가하는 이유이기도 할 것이다.

### 3.4 사용철근 종류에 대한 영향

표 3에 다른 조건이 동일한 벽체에 3가지 종류의 철근을 사용한 벽체의 실험결과를 정리하였다. 이 결과만을 살펴보면 철근 종류에 따른 강도 또는 거동에 어떤 차이를 발견하기가 어렵다. 다만 최종 파괴형태에서 약간의 차이가 있었다. 용접철망이나 소선으로 보강한 벽체는 대각선 균열후 수직철근의 절단으로 최종 파괴되었고, 이형철근을 사용한 벽체는 균열후 최종파괴가 반력점 모서리 부근의 콘크리트 지압파괴에 의해 일어났다. 이것은 보강철근의 재료적 성질중 연성의 차이(그림 3 참조)에서 기인한 것이다.

위와 같이 최종파괴 형태에 차이가 있음에도 불구하고, 표 3에 나타낸 것과 같이 벽체의 최대하중값과 이때의 변형량에 차이가 나

타나 있지 않다. 이것은 최대하중 도달때 용접철망이나 소선이 파단되어진 것이 아니고 최대하중 도달후에 파단되어졌기 때문이다. 한편 이형철근은 충분한 연성 때문에 철근 자체가 파단되기 전에 폭이 큰 균열에 의해 벽체 모서리의 콘크리트에 응력을 집중시켜서 모서리 콘크리트가 지압파괴된 것이다.

결국 벽체의 최종 파괴는 어떤 경우이든 큰 취성파괴 형태를 띠고 있어서 보강철근의 연성에 따라서 벽체의 연성이 변화하지 않는다는 것을 파악할 수 있다. 이러한 관점에서 살펴보면, 비록 그림 3과 같이 용접철망의 연성이 철근에 비해 크게 부족하다 할지라도 전단벽체의 거동(강도와 연성)에는 하등의 차이를 나타내지 않는다고 결론지을 수 있을 것이다. 따라서 전단력에 의해 구조적 거동이 지배되는 벽체에는 구조용접철망을 일반 철근 대신에 사용할 수 있으며, 이때 일반 철근에 관한 기준을 수정없이 그대로 적용할 수 있리라 판단된다.

### 3.5 띠기동식 단부보강 유무에 따른 영향

표 4에 S25W(단부보강 없음)와 S25WC(단부

표 2 용접철망을 사용한 벽체의 수평철근 간격에 따른 결과 비교

수평철근간격 (철근비)	균열 하중시		최대 하중시		파괴 형태
	$P_{cr}$ (ton)	전단 회전각 ( $\times 10^{-3}rad$ )	$P_{max}$ (ton)	전단 회전각 ( $\times 10^{-3}rad$ )	
10 cm (0.008)	58.0	6.71	71.5	10.27	대각선균열 + 지압파괴
25 cm (0.003)	54.2	5.98	59.2	8.00	대각선균열 + 지압파괴
35 cm (0.002)	48.3	6.27	49.7	6.45	대각선균열 + 지압파괴

표 3 사용철근 종류에 따른 결과 비교

철근의 종류	균열 하중시		최대 하중시		파괴 형태
	$P_{cr}$ (ton)	전단 회전각 ( $\times 10^{-3}rad$ )	$P_{max}$ (ton)	전단 회전각 ( $\times 10^{-3}rad$ )	
이형 철근	55.4	5.82	55.4	5.82	대각선균열 + 지압파괴
용접 철망	54.2	5.98	59.2	8.00	대각선균열 + 수직철근파단
소 선	56.5	6.09	56.5	6.09	대각선균열 + 수직철근파단

표 4 띠기동식 단부 보강 유무에 따른 결과 비교

띠기동식 단부보강유무 (시험체)	균열 하중시		최대 하중시		파괴 형태
	$P_{cr}$ (ton)	전단 회전각 ( $\times 10^{-3}rad$ )	$P_{max}$ (ton)	전단 회전각 ( $\times 10^{-3}rad$ )	
없음 (S25W)	54.2	5.98	59.2	8.00	대각선균열 + 수직철근파단
있음 (S25WC)	30.3	2.55	42.7	5.27	대각선균열 + 수직철근파단

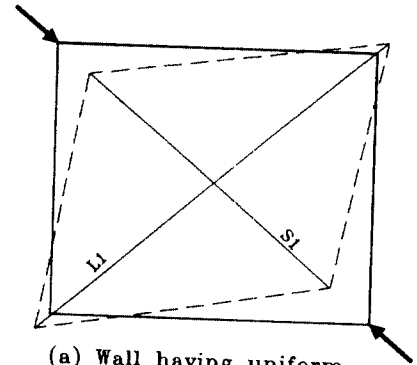
보강 있음)의 결과를 직접 비교하였다. 이 자료를 살펴보면, 일반적인 인식으로 예상하는 것과는 크게 반대되는 결과라는 것을 쉽게 알 수 있을 것이다. 즉, 파괴형태가 동일하였는데, 띠기등식 단부보강을 한 벽체(S25WC)의  $P_{cr}$  및  $P_{max}$  보다 단부보강이 없는 벽체(S25W)의  $P_{cr}$  과  $P_{max}$  가 약 50%와 40% 씩 각각 크다. 이것은 단부보강이 없는 벽체의 내력(Resistance)이 작으리라는 일반적 인식에 크게 반하는 결과이다.

위와 같은 현상은 그림 7에 나타낸 2개의 이상적인 벽체가 Type I 형태의 하중을 받을 때의 대각선 변형 차이를 비교해 보면 이해될 수 있다. 그림 7.a는 단부보강이 없는 균등강성을 갖는 벽체이다. 이 벽체에 그림과 같은 대각선 압축력을 작용시키면 압축 대각선(S1)의 변형량은 인장 대각선(L1)의 변형량보다 항상 크다. 그러나 그림 7.b와 같이 단부보강한 벽체 경우는 테두리보를 갖는 벽체처럼, 단부와 내부의 벽체의 면내강성(Inplane Stiffness)에 차이가 있게 된다. 만약 테두리 Frame 과 내부 벽체간에 연결이 완전하고, 테두리 Frame 의 강성이 무한히 크다면 그림과 같은 하중하에서 압축 대각선(S2) 방향의 변형량과 인장 대각선(L2) 방향의 변형량은 동일 또는 거의 같게 될 것이다. 이 이유 때문에 그림 7의 a 벽체와 b 벽체가 압축 대각선 방향의 변형량이 동일한 경우( $S1=S2$ )에는 b 벽체의 인장 대각선(L2) 변형율이 a 벽체 인장 대각선(L1) 변형을 보다 항상 크게 된다. 인장 대각선 방향의 변형율이 크다는 것은 인장응력이 크다는 의미이다. 즉, 대각선 방향의 압축력이 작용할때 테두리보와 같은 Frame을 갖는 벽체의 중앙부는 구조적으로 인장응력을 발생시키는 기구(Mechanism)가 있게 된다. 위와 같은 이유때문에 띠기등식 단부보강을 갖는 벽체(S25WC)의 균열강도가 단부보강이 없는 벽체(S25W)의 균열강도보다 훨씬 낮았으며, 또한 훨씬 적은 횡방향 변위에서 균열 및 파괴되었다. 즉, 벽체에 띠기등식 단부보강은 오히려 벽체의 전단강도 및 연성을 크게 저하시킨다는 사실을 알 수 있다.

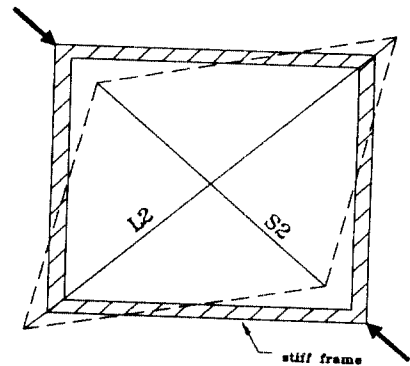
#### 4. 결 론

본 연구를 통하여 도출된 결과는 다음과 같이 요약될 수 있다.

1) 본 실험에서는 사용 철근의 종류(이형철근, 용접철망, 소선)에 따른 전단 벽체의 구조적 거동 차이는 나타나지 않았다. 전단력에 의해 취성파괴되는 경우에는 용접철망을



(a) Wall having uniform thickness and stiffness



(b) Wall having stiff end frame perfectly connected with inside wall

When  $S1=S2$

Then  $L2$  is always longer than  $L1$

그림 7 띠기등식 단부보강 유무에 따른 대각선 방향 변형 비교

일반 철근 대신에 사용할 수 있으리라 판단된다.

2) 사용된 수평 철근량이 증가하면 전단 내력이 상당히 증가 하였다. 최소 수평철근비(0.002)를 갖는 벽체에 비해 0.003 일때 20%, 0.008 일때는 40% 정도 강도가 증가하였다.

3) 벽체의 테두리를 띠기등식으로 보강하면 오히려 전단벽체의 구조적 성능을 현격하게 저하시키는 것으로 나타났다. 이것은 강성이 큰 테두리가 벽체에 사인장균열을 발생시키는 기구가 형성되어 벽체의 거동을 지배하기 때문인 것으로 판단되나 이에 대해서는 추가적인 연구가 필요하다.

본 연구는 대한주택공사 주택연구소 연구비 지원으로 수행된 연구임.

#### 참고문헌

1. 대한주택공사, "철근 선조립공법을 적용한 구체공사의 시스템화 연구(I)," 주택연구소, 1992. 9.