

전단보강근비에 따른 고강도 철근콘크리트 내력벽의 이력특성

Effects of Web Reinforcement Amount on Hysteretic Behavior of
High Strength Reinforced Concrete Structural Walls

최 근 도¹⁾ 정 학 영¹⁾ 윤 현 도²⁾ 최 창 식³⁾ 이 리 형⁴⁾
Choi, K. D. Jung, H. Y. Yun, H. D. Choi, C. S. Lee, L. H.

ABSTRACT

Three high strength reinforced concrete structural walls were tested under the combined action of a constant axial and a horizontal cycle load. The aim of the tests has been to investigate the effects of the web horizontal reinforcement on hysteretic behavior of wall. The results have helped to identify the causes of wall failure and have demonstrated the web horizontal reinforcement does not appear have a significant effect on shear capacity, stiffness and energy dissipation but have a significant effect on the failure mode of the walls.

1. 서 론

일반적으로 내력벽은 철근콘크리트 건축물에 있어 중요한 횡하중 저항요소로 이용되고 있으며, 최근 건축물의 고층화 및 대형화 추세에 따라 그 중요성이 더해지고 있다. 이러한 고층 건물의 실현을 위해서는 수평하중에 대한 충분한 저항력과 구조재료 사용에 대한 경제성을 향상시킬 수 있는 적절한 구조시스템 선택이 필요하다.

仲地 唯治 등의 연구결과에 의하면¹⁾, 건축물의 고층화에 따라 횡하중 및 수직하중에 의해 최 저층부 휨-압축부분의 벽체 및 주변부재에는 고축력과 높은 전단력이 발생됨으로 내력벽의 내진성능은 주변부재와 벽체의 압축성능 및 전단 여유도에 좌우되는 것으로

나타났다. 특히, 내력벽에 고축력이 작용되고 구성재료의 고강도화에 따른 구조부재의 연성적인 거동 확보가 의문시 되며¹⁾, 현행 각 부재의 전단설계 기준식은 보통강도의 재료를 사용한 실험식으로 고강도 재료를 사용한 내력벽의 경우 기준식의 적용성에 많은 문제점을 내포하고 있다. 또한, 전단강도식의 기본 개념인 트러스 개념(Truss Analogy Concept)에 의해 예측된 내력벽의 전단내력은 다소 과소 평가되는 경향이 있어 현행 전단설계방법의 고강도 재료를 사용한 철근콘크리트 부재에 적용 가능성이 의문시되고 있다²⁾.

따라서, 본 논문에서는 형상비가 2인 고강도 철근콘크리트 내력벽의 전단여유도에 따른 내진성능 및 파괴양상을 검토하고, 구성재료의 고강도화에 따른 현행 전단설계식의 적용가능성을 검토하여 궁극적으로 고강도 철근콘크리트 초고층 건축물의 건설기술개발을 위한 기초자료를 제시하고자 한다.

- 1) 한양대학교 대학원 석사과정
- 2) 한양대학교 대학원 박사과정
- 3) 대진대학교 전임강사·공학박사
- 4) 한양대학교 교수·공학박사

표 1. 실험체 일람표

실험체	콘크리트 기준강도 (Kg/cm ²)	M/Vℓ _w	벽 체			주변 부재			축력 (t)
			ℓ _w x h x t (cm)	ρ _n (%)	ρ _h (%)	B x D (cmxcm)	ρ _f (%)	ρ _s (%)	
HW2	600	2.0	120 x 200 x 8.5	0.49	0.49	18 x 18	1.75	0.78	51
HW4	600	2.0	120 x 200 x 8.5	0.49	0.98	18 x 18	1.75	0.78	51
HW5	600	2.0	120 x 200 x 8.5	0.49	0.25	18 x 18	1.75	0.78	51

2. 실험

2.1 실험체 계획

실험체는 주요한 횡하중 저항요소로 골조-내력벽을 포함한 60층 철근콘크리트 건축물의 내력벽 최하부 3개층을 1/5 축소 모델링한 것으로서, 형상비 2.0인 3층 1스팬의 독립 내력벽 실험체로 구성된다. 각 실험체 단면에서 요구되는 최대 휨내력 및 전단내력은 모멘트-축력의 상관곡선을 이용하여 구한다.

각 실험체의 주요변수는 수평철근비로써, HW2 실험체는 급격한 전단파괴를 억제하기 위하여 ACI 318-89 규준에 준하여 산정된 수평철근이 배근된 표준 실험체이다. HW4 및

HW5 실험체는 현행 전단 설계규준을 검증함과 동시에 내력벽에서 수평철근의 역할 및 전단내력에 대한 기여도를 규명하기 위하여 수평철근량을 각각 HW2 실험체의 2배, 1/2 배로 계획하였다. ACI 규준에 준하여 설계된 HW2 실험체 형상 및 배근상황은 그림 1 및 표 1과 같다.

2.2 재료시험

실험체 제작에 사용된 재료로써 철근은 D10, φ6이며, 슬럼프치는 15cm, 굽은 골재의 최대치수는 19mm, 콘크리트 설계기준강도는 600Kg/cm²이다. 콘크리트와 철근의 재료 시험 결과는 각각 표 2와 표 3에 나타내었다.

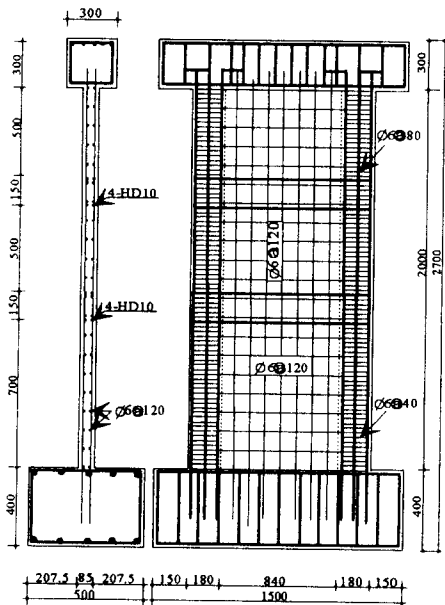


그림 1. HW2 실험체 배근형상

표 2. 콘크리트 강도특성

압축 강도* (Kg/cm ²)			탄성계수 (Kg/cm ²)	포화송비
5일	7일	28일		
516	644	657	338	0.11

* φ10 x 20 공시체 강도

표 3. 철근의 강도특성

종류	항복 강도 (t/cm ²)	항복 변형률 (x10 ⁻⁶)	인장 강도 (t/cm ²)	탄성계수 (Kg/cm ²)
D10	4.28	2631	5.85	1980
φ6	6.24*	2511	6.31	1889

* 0.2 off-set point의 강도

2.3 실험방법

실험체 설치상황은 그림 2와 같다. 수평하중은 실험체 가력보와 동일한 높이의 문형 프레임에 설치된 100t Actuator를 이용하여 반복가력되었으며, 양단 주변부재 중심에

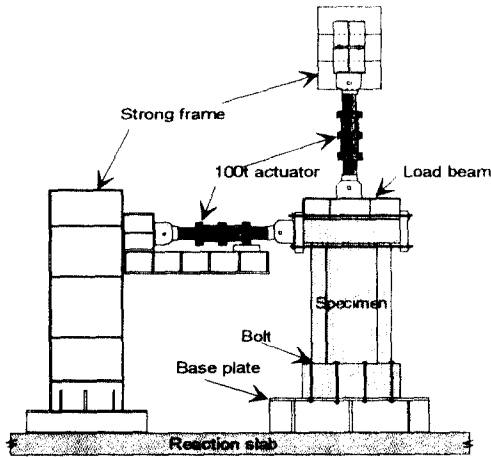
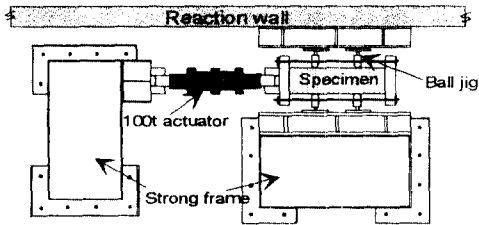


그림 2. 실험체 설치상황

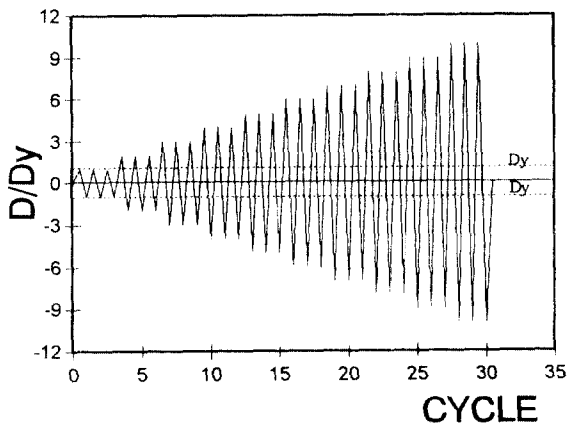


그림 3. 변위이력

51t(0.1f'cA_{be})정도의 축응력이 실험 종료시까지 일정하게 가력되었다.

반복가력은 변위제어법을 채택하였으며 그림 3과 같은 변위이력에 따라 적용하중과 내력벽 3층 상부에 설치된 LVDT의 변위를 연속적으로 그려가면서 계획된 변위이력에 따라 점중 가력되었다.

3. 실험결과

3.1 파괴양상

각 실험체의 최종파괴 상황은 그림 4와 같다. 급격한 전단파괴를 억제하기 위하여 국내 및 ACI 318-89 전단설계식에 준하여 전단보강된 HW2 실험체는 부재각 $R = 1/530$ rad. 정도에서 1층 기둥 인장측 전면에 휨 균열이, 벽체에는 휨-전단균열이 발생되었으며, 동일 연성비에서 반복 사이클이 진행됨에 따라 이전 사이클에서 발생한 휨 및 휨-전단균열이 연장되어 압축측으로 확장되었다. 부재회전각 $R = 1/270$ rad. 정도에 1층과 2층 벽체 중앙부에 대각선 전단균열이 발생되었고 2층 상부벽면과 기둥의 접합면에서 시작된 전단균열은 연성비가 증가함에 따라 2층 하부보를 관통하여 1층 벽판으로 연장되었다. 부재회전각 $R = 1/130$ rad. 정도에 이르러 2층 벽체 중앙에 전단균열이 발생되면서 3층 기둥 인장측에도 휨 균열이 발생되었다.

이후 큰 균열은 발생되지 않고 벽체 및 주변부재 하부에 형성된 압축지주(Compression Strut) 경계면의 균열이 열리고 닫히며 1층 및 2층에 미세한 균열이 발생되었다. 비탄성 변형이 큰 후반 사이클에서 휨압축부 주변부재 및 벽체 콘크리트가 파괴되면서 벽체 및 주변부재 수직철근의 파단으로 최종 파괴되었다. 고강도 철근콘크리트 내력벽에 있어서 수평철근 역할 및 전단내력에 대한 기여도를 규명할 목적으로 계획된 HW4 실험체는 부재회전각 $R = 1/500$ rad. 정도에서 인장측 기둥 하단부에 초기 휨균열이 발생되었고, 이후 부재회전각이 증가함에 따라 벽판에 휨 및 휨-전단균열이 발생되었다. 이러한 균열은

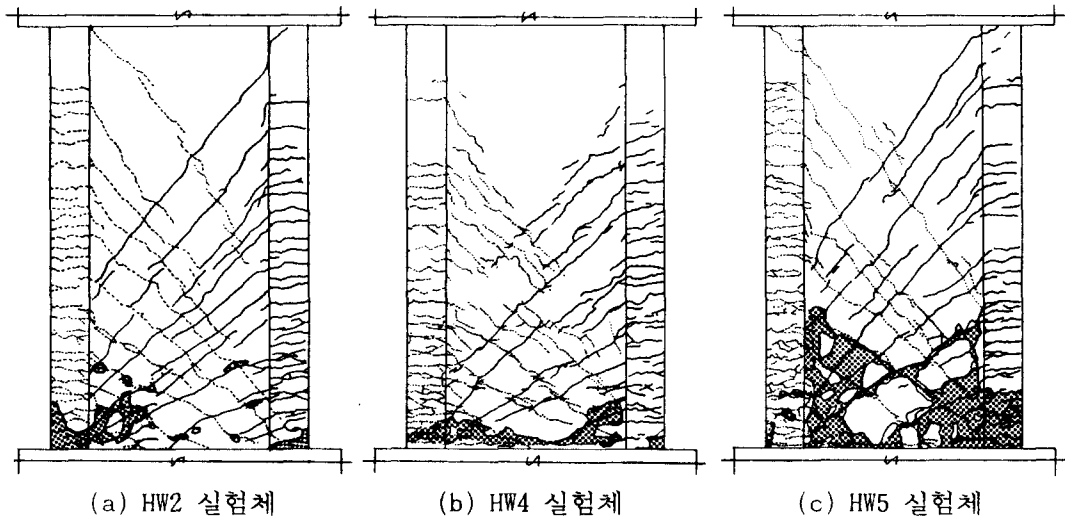


그림 4. 실험체의 최종파괴 상황

연성비가 증가함에 따라 벽체 저면에서 벽체 전면을 연결하는 수평균열로 발전되어 벽판과 기초의 미끄러짐(Sliding) 및 들림(Rocking)현상이 반복되고 벽체 및 주변부재의 수직철근이 좌굴됨으로써 발생한 압괴 및 수직철근의 파단으로 최종 파괴되었다.

초기 사이클에서 HW5 실험체의 점진적인 균열발생 현황은 이전의 실험체와 유사하게 진전되었다. 그러나, 연성비가 증가함에 따라 벽체 콘크리트가 심하게 박리 및 파쇄되면서 벽체 저면으로부터 상부로 약 1.0m 높이까지 벽체 콘크리트가 압괴되어 완전 탈락되는 등 벽체콘크리트에 큰 피해가 발생되면서 벽체 및 주변부재의 주근이 좌굴 및 파단으로 최종 파괴되었다.

그러나, 파괴시까지 모든 실험체는 수직하중 지지능력을 확보하고 있어 연성비 12까지 급격한 강도 저하를 보이지 않는 안정된 휨항복의 이력거동을 보였다.

3.2 하중-변위 관계

고강도 철근콘크리트 내력벽의 전단보강근비에 따른 수평하중 지지능력을 표 4 및 그림 5로부터 알 수 있는 바와 같이 수평철근량이 주요변수인 모든 실험체의 휨하중 지지능력은 유사하게 나타났다. 급격한 전단파괴

표 4. 실험결과 일람표

실험체명		HW2	HW4	HW5	
초기 휨 균열	$F_h(t)$	7.27	8.79	8.46	
	$\delta(mm)$	0.99	0.98	0.98	
	$\gamma(\%)$	0.05	0.05	0.05	
부재 항복	$F_h(t)$	20.27	22.96	21.56	
	$\delta(mm)$	4.02	4.23	4.15	
	$\gamma(\%)$	0.21	0.22	0.22	
초기 전단 균열	$F_h(t)$	27.35	32.81	28.50	
	$\delta(mm)$	8.16	10.42	8.22	
	$\gamma(\%)$	0.43	0.55	0.43	
최대 내력	$F_h(t)$	35.53	36.00	36.40	
	$\delta(mm)$	23.71	21.73	28.07	
	$\gamma(\%)$	1.45	1.35	1.47	
ACI 318-89	휨강도(t) (f_{sy}/f_{su})	30.29/ 32.74	30.29/ 32.74	30.29/ 32.74	
		전단 강도 (t)	V_q	48.54	73.18
	V_s		24.64	49.28	12.30
	V_m		75.24	75.24	75.24

$$V_m : 2.12\sqrt{f'_c} A_{cv}(Kg)$$

$$V_q : V_s + V_c$$

$$F_h : \text{수평하중}$$

$$\delta : \text{3층 상부 수평변위}$$

$$\gamma : \text{층간변위비}\{(\delta/h) \times 100\}$$

를 억제하기 위하여 국내 및 ACI 318-89에서 규정하고 있는 수평철근량의 약 50% 만으로 보강되었음에도 HW5 실험체는 연성적인 거동을 보였으며, 수평철근량을 설계식에서 계산된 양의 200%로 증가시킨 HW4 실험체의 강도 및 변형특성도 유사하게 나타났다. 이러한 결과로 판단하여 볼 때, 트러스 개념에 의해서는 내력벽의 수평철근의 효과를 고려할 수 없으며, 고층형 내력벽의 수평철근은 전단내력 및 이력특성에 중요한 영향을 끼치지 않는 것으로 판단된다.

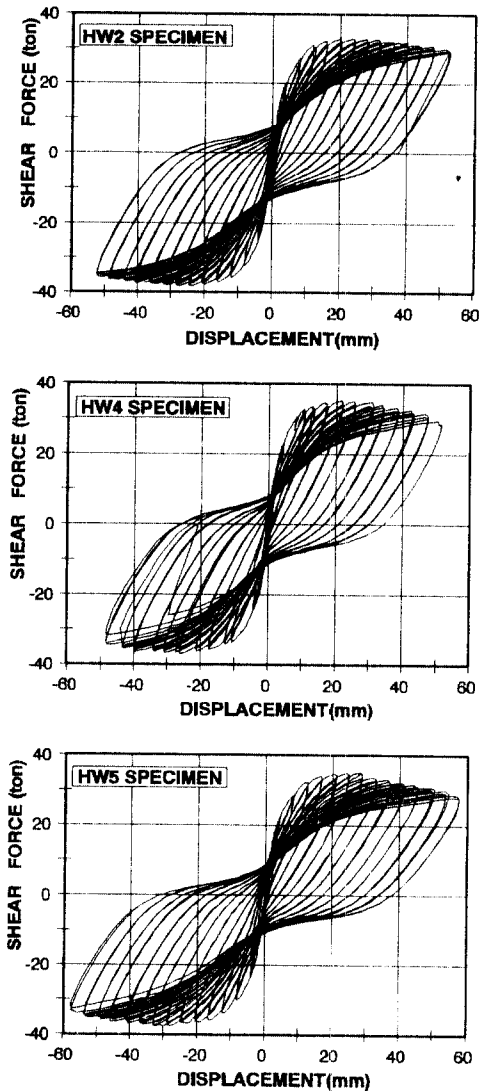


그림 5. 하중-변위 곡선

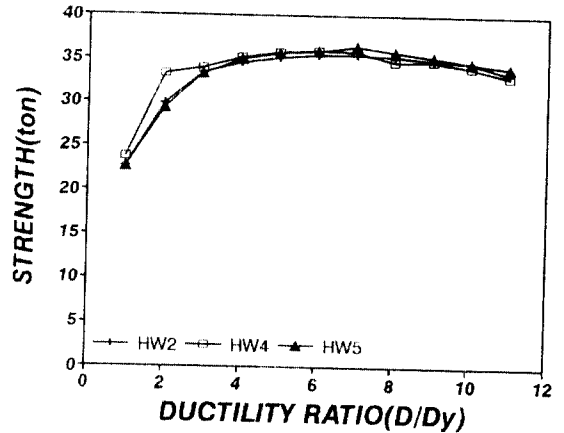


그림 6. 연성비별 강도 변화

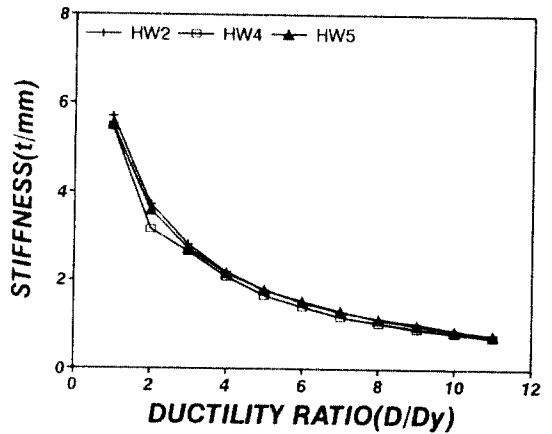


그림 7. 연성비별 강성 변화

3.3 강도 및 강성변화

비탄성 변형이 진행되는 동안 연성비(부재회전각)의 증가에 따른 최대 강도 변화 및 강성 변화를 나타내면 각각 그림 6 및 그림 7과 같다. HW2 실험체의 최대강도는 층간변위비 1.5%(연성비 7)에서 평균 35.53t으로 나타났으며, 수평철근량을 각각 2배 및 1/2 배로 증감하여 보강된 HW4 및 HW5 실험체의 최대강도는 각각 36.0t, 36.4t으로 나타났다. 최대강도 이후 강도 저하를 보면, HW2 실험체에 있어서는 층간변위비 2.3%(연성비 11)에 달할때까지 최대강도의 98%로 유지되어 있으며, 수평철근비가 HW2의 각각 2배 및 1/2배인 HW4 및 HW5 실험체의 경우 동일 층간변위비에 대해서 각각 최대강도의 94.5%,

93.4%로 유지되고 있다. 따라서, 고강도 철근콘크리트 고층형 내력벽에 있어서 수평 전단보강근량의 증대 및 감소는 최대하중의 증가 및 최대강도 이후 강도저하를 억제하는데 효과적이지 못한 것으로 판단된다. 그림 5의 하중-변위 관계 및 그림 7의 접강성 (Secant Stiffness) 변화로부터 각 실험체의 연성비별 강성저하는 전체적으로 유사한 경향을 보이고 있음을 알 수 있다.

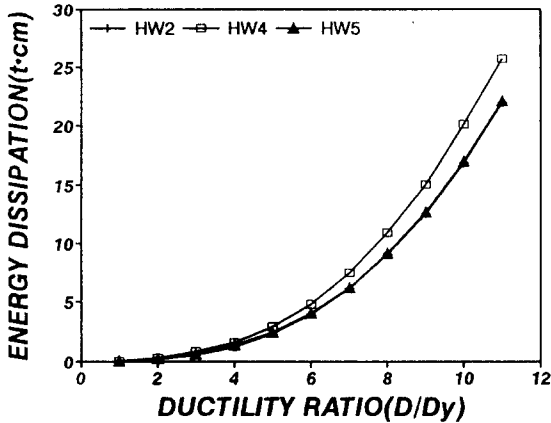


그림 8. 연성비별 전체 에너지 소산량

3.4 에너지 소산능력

횡력을 받는 철근콘크리트 부재의 내진성을 평가하는데 중요한 지표가 되는 에너지 소산능력은 구조부재의 하중-변위 곡선에 의해 둘러 싸인 면적으로 평가된다. 각 실험체의 연성비별 에너지 소산능력을 비교하여 나타내면 그림 8과 같다. 그림에서 나타난 바와 같이 연성비 6까지의 모든 실험체의 에너지 소산능력은 거의 유사하게 나타나고 있으나, 그 이후 연성비가 증가됨에 따라 내력벽의 수평 전단보강근이 증대된 HW4 실험체의 연성비 11까지 총에너지 소산량은 25.7 t·m로 HW2 및 HW5 실험체 보다 약 20%정도 높게 나타났다. 이로 판단하여 볼 때, 내력벽의 수평철근비는 에너지 소산능력을 다소 향상시키고 있으며, 규준에서 요구되는 전단보강근량의 1/2배가 배근된 HW5와 표준 실험체인 HW2 실험체의 에너지 소산량은 큰 차이를

보이고 있지 않은 것으로 나타났다.

4. 결론

이상과 같은 형상비 2인 고강도 철근콘크리트 내력벽의 실험으로부터 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 형상비가 2인 고강도 철근콘크리트 고층 내력벽의 수평 전단보강근은 내력벽의 전단 내력에는 큰 영향을 미치지 않은 것으로 나타났다. 특히, 현행 전단설계 규준의 기본개념인 트러스 개념(Truss Analogy Concept)에서는 수평철근의 효과를 충분히 고려하고 있지 못함에 따라 고강도 철근콘크리트를 사용한 고층 내력벽의 강도를 다소 과소 평가하는 것으로 나타났다.
2. 벽체 수평철근량의 변화는 최대강도 및 강성에는 큰 영향을 미치지 않았지만, 최대 내력 이후의 파괴 양상에는 영향을 미치는 것으로 나타났다.
3. 벽체 수평철근량의 증가에 따라 전체에너지 소산량은 다소 상승되었으나, 수평철근량이 감소됨에 따라서는 거의 유사한 결과를 나타내었다.

끝으로 본 연구는 한국과학재단 특정기초연구(KOSEF 92-92-00-12)의 일부로써 과학재단 관계자, 고강도 콘크리트를 제공해주신 쌍용양회 관계자 및 실험시 도와주신 한국기계연구소 연구원 여러분께 감사드립니다.

참고문헌

1. 국토개발연구 센터, "NEW-RC 연구개발개요보고서"
2. Ioannis D. Lefas, Michael D. Kotsovos, and Nicholas N. Ambraseys, "Behavior of Reinforced Concrete Structural Walls: Strength Deformation Characteristics, and Failure Mechanism" ACI Structural Journal/Jan. - Feb. 1990. 1, pp 23-31.
3. 최창식, "반복하중을 받는 철근콘크리트 저형 전단벽의 이력거동", 한양대 대학원 박사학위논문 1991.6.