

고강도 콘크리트를 사용한 저층형 내력벽의 강도

Strength of Low Rise Structural Walls Using High Strength Concrete

윤 현 도* 최 창 식** 이 리 형***
Yun, Hyun Do Choi, Chang Sik Lee, Li Hyung

ABSTRACT

An experimental investigation to study the behavior of low rise structural walls using high strength concrete is presented. The test parameter included in the study were the level of constant axial load. The shear strength of walls is predicted by the design provision given in the current the American Concrete Institute Building Code ACI 318-95 and Architectural Institute Japan Code AIJ. The predictions are compared with the test results reported herein as well as those available in the literature.

1. 서론

일반적으로 전단벽으로 알려진 철근콘크리트 저층형 내력벽은 고층건물에서 지진 및 바람과 같은 횡하중 저항요소로 널리 이용되고 있으며 내력벽은 높은 축력과 전단력 뿐만 아니라 횡하중에 의해 발생된 휨모멘트를 받게 된다. 이런 복잡한 응력조건하에서도 철근콘크리트 내력벽의 우수한 구조성능은 기존 연구결과^{3),4)}에 의해 널리 알려져 있다. 최근 사회적인 요구에 따른 건축물의 대형화와 건설기술의 발전에 힘입어 콘크리트의 고강도화가 이루어져 국내에서도 700kgf/cm²급 이상의 고강도 및 초고강도 콘크리트가 실제 건물에 적용되고 있는 실정에 이르렀다.^{5),6)} 그러나 700kgf/cm²급 이상의 고강도 콘크리트를 사용한 부재 특히, 전단이 지배적인 저층형 내력벽의 구조성능에 대한 연구는 국내외를 막론하고 전무한 실정이다. 일반적으로 고강도 콘크리트 사용한 최저층부 내력벽은 높은 축응력을 받게되고 이러한 높은 축응력은 고강도 재료의 높은 취성적인 특성은 저층형 내력벽의 구조성능에 많은 영향을 끼칠 것으로 판단되며 이에 대한 규명이 요구된다. 또한 현행 국내 철근콘크리트 설계기준, ACI 318-95 및 AIJ 기준식은 낮은 강도를 사용한 내력벽에 대한 실험결과를 근거로 도출된 것으로 이러한 기준식이 700kgf/cm²급 이상의 고강도 콘크리트 사용한 내력벽에 대한 적용 가능성에 대한 규명도 시급히 요구되고 있는 연구과제이다.

본 논문에서는 축력에 따른 형상비 1.0인 고강도 철근콘크리트 저층형 내력벽의 이력특성을 규명하고 아울러 현행 국내의 기준의 근간이 되는 ACI 318-95와 이와 별도로 일본건축학회 AIJ 기준식이 고강도 콘크리트를 사용한 저층형 내력벽의 전단강도 예측에 대한 적용 가능성을 규명하고자 한다.

* 정회원, 건양대학교 기계건축토목공학과 조교수
** 정회원, 대전대학교 건축공학과 교수
*** 정회원, 한양대학교 건축학부 교수

2. 실험

2.1 실험체 계획 및 상세

실험체는 이중골조방식의 60층 철근콘크리트 건축물의 최저층부 1개층을 1/4 크기로 축소 모델링한 3개의 바벨형 내력벽으로 구성된다. 내력벽 실험체는 폭 120cm, 높이 100cm, 두께 8.5cm로 주요변수는 경계부재에 작용되는 축력이다. 실험체 제작시 경계부재 주근은 SD40인 HD10, 벽체의 수평 및 수직철근, 경계부재의 횡보강근으로 $\phi 6$ 을 각각 사용하였다. 실험체의 특성 및 배근상세는 각각 표 1 및 참고문헌 2와 같다. 사용된 콘크리트 및 철근의 재료 시험결과는 표 2 및 3과 같다.

표 1. 실험체 일람표

실험체	f_{ck} (f_{cu}) kg/cm ²	H/Lw	Axial Load N ton	Wall			Boundary Element		
				W x H x T cm x cm x cm	ρ_n %	ρ_h %	B x D cm x cm	ρ_t %	ρ_s %
HW7	600 (704)	1.0	90	120 x 100 x 8.5	0.55	0.55	18 x 18	1.75	0.78
HW8		1.0	51	120 x 100 x 8.5	0.55	0.55	18 x 18	1.75	0.78
HW9		1.0	0	120 x 100 x 8.5	0.55	0.55	18 x 18	1.75	0.78

표 2. 콘크리트의 압축강도

압축강도(kgf/cm ²)				Slump cm	E_c tonf/cm ²
5일	7일	28일	90일		
427	644	657	704	15	338

표 3. 철근의 기계적 성질

종류	항복강도 tonf/cm ²	ϵ_y ($\times 10^6$)	인장강도 tonf/cm ²	탄성계수 tonf/cm ²	신율 %
HD10	4.22	2,600	6.77	1,783	13.0
$\phi 6$	5.83	4,940	6.49	1,950	15.1

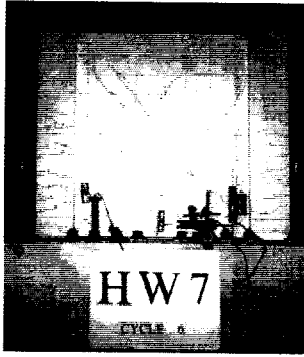
2.2 실험방법 및 측정장치

실험체에 가력된 축력은 실험변수에 따라 $0.13f_{ck}$, $0.23f_{ck}$ 로 실험종료시까지 일정하게 내력벽의 경계부재에 가력골조에 수직으로 설치된 MTS 100tonf Actuator를 이용하여 도입하였다. 횡력은 문형골조에 설치된 100tonf Actuator에 의한 변위제어법에 따라 부재항복시 변위의 배율로 점증되는 변위이력으로 가력하였다. 하중도입시 내력벽 실험체의 횡변위, 벽체와 기초의 상대변위(슬립), 경계부재의 축변형 등은 LVDT를 이용하여 측정하였으며 하중 도입단계별 벽체의 수직 및 수평철근, 경계부재 주근 및 횡보강근의 변형상태는 와이어스트레인 게이지(W.S.G.)를 이용하여 측정하였다.

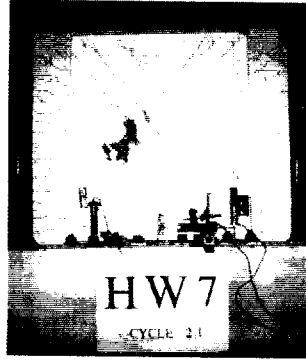
3. 실험결과 및 분석

3.1 균열 및 파괴양상

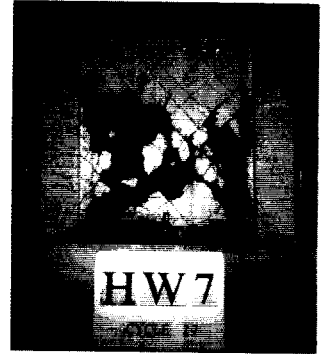
사진1은 경계부재에 작용된 압축응력이 $0.23f_{ck}$ 인 HW7 실험체의 균열진행 및 파괴상태를 나타낸 것이며 작용된 횡력이 15.01t인 부재 회전각(R) 1/1732 rad.에 이르러 경계부재 인장축 하부에 초기 휨균열이 발생된 이후 사이클이 진행됨에 따라 이러한 휨균열은 점차 상부로 진전되었다. 연성비 1(R = 1/429 rad.)에 이르러 기발생된 경계부재의 휨균열은 이후 전단균열로 발전되었으며, 이러한 전단균열은 연성비 2(R = 1/215 rad.)에 이르러 1층 벽판 중앙부를 관통하는 대각선 전단균열로 발전되었다. 연성비 5(R = 1/86 rad.)에 이르러 초반 사이클에 1층 벽체에 발생된 전단균열에 의해 형성된 압축지주 경계면의 콘크리트가 파쇄되고, 기초와 벽체의 접합면에 균열이 확장되기 시작하였다. 부재 회전각 1/61 rad.에 이르러 벽체 콘크리트가 급격히 탈락되며 벽체의 수평 및 수직철근이 노출되는 심각한 피해를 보였으나 경계부재는 큰 피해를 보이지 않았다. 벽체 콘크리트는 완전히 탈락되었으나, 내력벽 상



(a) Drift ratio 0.46%



(b) Drift ratio 1.61%



(c) Drift ratio 2.07%

사진 1. HW7 실험체의 균열진행 및 파괴양상

부에 가려된 횡력은 실험체 가력보와 경계부재에 의한 골조작용(Frame Action)으로 부재 회전각 1/48 rad.까지 하중지지 능력을 확보하였다. 경계부재에 작용된 압축응력이 0.13 f_{ck} 인 HW8 실험체와 횡력만 작용된 HW9 실험체의 균열 진행과정은 HW7 실험체와 유사한 경향을 보였다. 그러나 경계부재에 작용된 압축응력에 따라 최종파괴양상은 다른 경향을 보였다. HW8 실험체는 부재 회전각 1/29 rad.에 이르러 기초저면으로부터 약 50cm상부까지 벽체 콘크리트가 완전 탈락되어 1:1이외부로 돌출되는 심각한 피해를 보였으나, 경계부재는 피복 콘크리트만 박리될 뿐 실험 종료시까지 큰 피해를 보이지 않았다. 반면 횡력만 작용된 HW9 실험체는 종반 사이클에 이르러 벽체 휨-압축부 압괴가 벽체 중앙부로 점차 확장되었으며, 이에 따라 벽체의 미끄러짐 변형이 현저히 증가되었다. 이러한 미끄러짐 변형이 반복됨에 따라 연성비 12인 부재 회전각 1/37 rad.에 이르러 벽체 및 경계부재 콘크리트가 탈락되어 노출된 주근이 외부로 탈구 및 파단되면서 최종 파괴되었다.

3.2 하중-변위 관계 곡선

그림 1과 같은 고강도 콘크리트를 사용한 저층형 내력벽의 하중-변위 곡선은 높은 전단응력에 의해 특히, 높은 압축응력을 받는 HW7 실험체에 있어서 최대강도 이후 급격한 강도 및 강성저하를 보이고 있으며, 연성에 있어서 경계부재에 작용된 압축응력이 증가됨에 따라 현저히 저하되는 경향을 보이고 있다. 따라서, 고강도 콘크리트 저층형 내력벽의 설계시 이에 대한 세심한 주의가 요망된다. 또한, 높은 전단응력을 받는 부재에서 전형적으로 나타나는 펀칭현상과 미끄러짐 전단변형은 저층형 내력벽의 경계부재에 작용된 압축응력이 감소됨에 따라 현저하게 나타났다.

4 현행규준 및 제안식의 적용성 검토

현행 국내외 기준의 근간이 되는 ACI 318-95¹⁾과 이와 별도로 일본건축학회기준²⁾이 콘크리트 압축

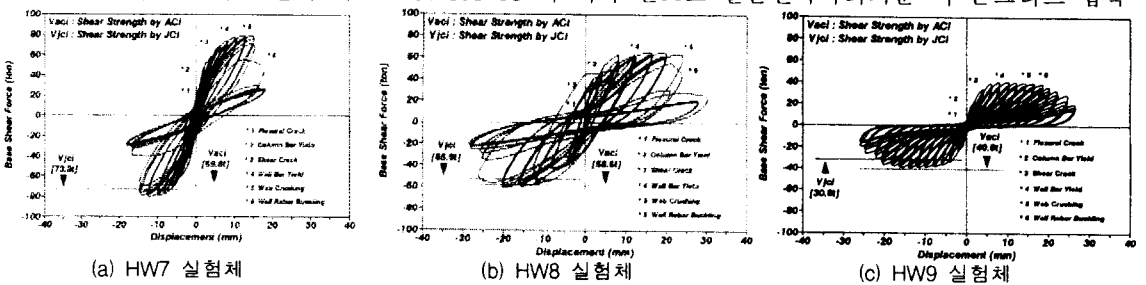


그림 1. 실험체별 하중-변위 관계 곡선

강도(f_{cu}) 306kgf/cm^2 에서 $1,384\text{kgf/cm}^2$, 형상비 0.6에서 2 범위의 독립 내력벽의 전단강도 예측을 위한 적용 가능성을 검토하였다. 그림 2에 나타난 바와 같이 현행 ACI 기준식 및 일본건축학회 기준식 모두 고강도 콘크리트 내력벽의 전단강도를 과대평가하는 경향이 있는 것으로 나타났으며 특히 NEW-RC PROJECT 실험체와 본 연구자의 실험체와 같이 700kgf/cm^2 급이상에서는 다소 오차를 보이고 있어 700kgf/cm^2 급이상의 고강도 콘크리트를 사용한 내력벽의 설계시이에 대한 고려가 요망된다.

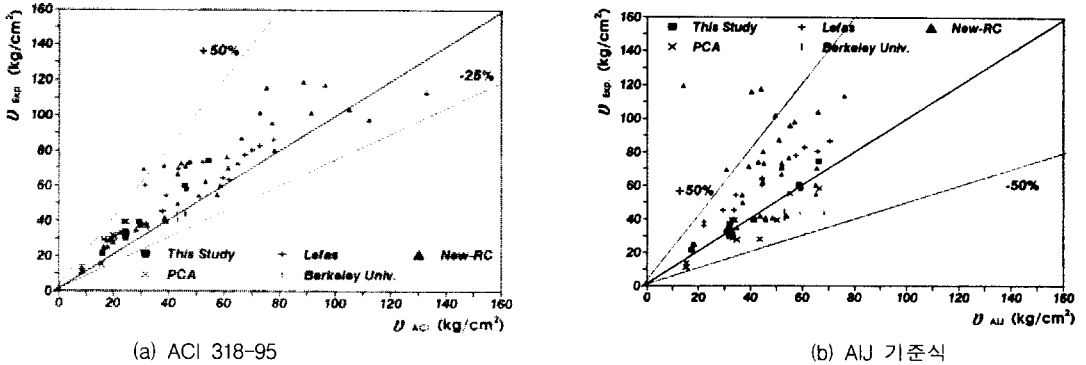


그림 2. 기준식에 의한 계산결과와 실험결과와의 비교

5. 결론

- (1) 700kgf/cm^2 급 고강도 콘크리트를 사용한 형상비 1.0인 저층형 내력벽은 경계부재에 작용된 압축응력에 따라 다소 상이한 파괴양상을 보였다. $0.13f_{ck}$ 이상의 압축응력의 작용시 내력벽 벽판 콘크리트가 압괴 및 탈락되는 심각한 피해를 보였으나 경계부재에는 큰 피해가 나타나지 않았다. 반면, 횡력만 작용된 실험체는 기초와 벽판의 경계부에서 발생된 미끄러짐 전단으로 최종 파괴되었다.
- (2) 저층형 내력벽의 경계부재에 작용된 압축응력은 내력벽의 초기강도 및 강성증진에 효과적인 것으로 나타났으나 $0.23f_{ck}$ 이상의 압축응력은 내력벽의 최대내력 이후 급격한 강도저하를 유발하므로 700kgf/cm^2 급이상의 고강도 콘크리트 저층형 내력벽의 설계시 이에 대한 세심한 주의가 요망된다.
- (3) 형상비 0.6에서 2, 콘크리트 압축강도(f_{cu}) 306kgf/cm^2 에서 $1,384\text{kgf/cm}^2$ 범위의 고강도 콘크리트를 사용한 본 연구대상 및 기존 내력벽 실험체를 대상으로 ACI 318-95 기준식 및 일본건축학회(AIJ)의 중국강도식에 대한 적용가능성을 검토한 결과, ACI 및 AIJ 모두 고강도 콘크리트 내력벽의 내력을 다소 과대평가하는 경향이 있어 이에 대한 제고가 요망된다.

참고문헌

- 1) Building Code Requirements for Structural Concrete (ACI318-95) and Commentary, American Concrete Institute, 1995. pp. 369
- 2) Architectural Institute of Japan, "Ultimate Strength Seismic Design Code and Commentary for Reinforced Concrete Structure," 1990
- 3) Hyun Do, Yun, Seismic Resistance of High-Strength Reinforced Concrete Structural Walls PhD Thesis, Hanyang University, 1995. 2 (in Korean)
- 4) Kabeyasawa, T., Kuramoto, H., Matsumoto, K., "Tests and Analyses of High Strength Shear Walls," Proceedings of the First meeting of the Multilateral Project on the Use of High Strength Concrete, Kyoto, Japan, 1993, pp.1~26
- 5) 신성우, 안중문, 윤영수, "신대방동 주상복합건물에 1200kg/cm^2 초고강도 콘크리트의 시공", 한국콘크리트학회, Vol. 8, No. 3, 1996. 6.
- 6) 권영호외, " 700kg/cm^2 고강도 콘크리트의 현장적용", 한국콘크리트학회 가을학술발표대회 논문집, 제5권 2호, 1993. 11.