

합성 지하벽의 전단내력 산정에 관한 실험적 연구

Experimental Study on the Shear Capacity of Composite Basement Walls

김성만^{*} 이성호^{**} 서수연^{***} 이리형^{****} 홍원기^{*****} 장재호^{*****}
Kim, Sung-Man Li, Cheng-Hao Seo, Soo-Yeon Lee, Li-Hyung Hong, Won-Kee Jang, Jae-Ho

ABSTRACT

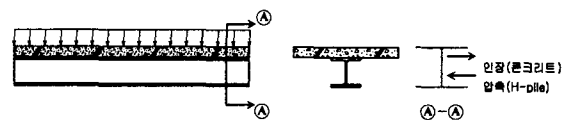
This paper presents the experimental result of composite basement wall in which H-pile and reinforced concrete wall are combined using shear connector. Twelve specimens are tested to evaluate the shear capacity of the wall. Main variables in the test are composite ratio, arrangement of shear connector, thickness of wall, shear span ratio, and shear reinforcement.

Test results indicate that the shear capacity of test specimens varies with the foregoing variables except the composite ratio. The results are compared with strengths predicted using the equations of ACI 318-99, Zsutty, and Bazant. Based on this investigation, a method for predicting the shear strength of composite basement walls is proposed.

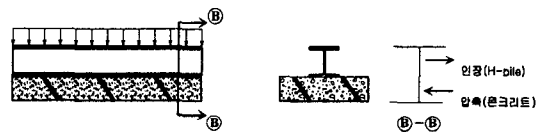
1. 서론

CBS(Composite Basement Wall System) 공법이란 일반적으로 지하층의 외부 지하벽 시공시 가설재로만 사용되어 왔던 흙막이용 H-Pile을 주요 영구구조물로 고려한 공법으로서 H-Pile과 일정 두께의 철근 콘크리트벽이 전단연결재(Shear connector)에 의해 합성작용을 하여 토압에 저항하는 공법이다.

CBS 설계시 계산되는 휨모멘트 및 전단력에 의한 소요 단면 산정은 일반 합성보설계를 토대로 하여 현 기준에서 제시하고 있는 설계지침에 따르고 있다. 그러나, 일반합성보의 전단설계시 전단력이 큰 단부에서 콘크리트가 부



(a) 일반합성보의 단부 응력상태



(b) CBS의 단부 응력상태

그림 1 일반합성보와 CBS의 단부 응력상태

* 정회원, 한양대학교 대학원 석사과정

** 정회원, 중국 연변대학교 토목건축공학부 조교수

*** 정회원, 한양대학교 초대형구조시스템연구센터 연구교수

**** 정회원, 한양대학교 건축공학부 교수

***** 정회원, 삼성중공업(주) 건설부문 부장

***** 정회원, 삼성중공업(주) 건설부문 과장


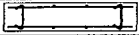
모멘트에 의해서 인장을 받기 때문에 압축력에 강한 콘크리트의 전단에 대한 기여도를 무시하고, 철골보의 웹에 의해 전단내력을 결정되도록 하고 있다. 즉, 그림 1과 같이 일반 합성보와는 달리 부재의 단부에서 콘크리트 벽체가 압축응력을 받을 뿐만 아니라, 상대적으로 콘크리트 벽체두께가 크기 때문에 지하합성벽의 경우 콘크리트 벽체의 전단내력에 대한 기여도를 과소평가하고 있는 것이다. 따라서 본 연구에서는 합성용벽의 전단성능 실험 및 이론적인 검토를 통하여 내력 및 구조적 거동을 검토하고 구조성능을 평가하여 CBS 합성지하벽의 전단설계에 대한 기초자료를 제시하는 것을 목적으로 하였다.

2. 실험

2.1 실험체 계획

전단거동에 영향을 미칠 것으로 예상되는 요인들을 중심으로 실제 대상모델의 1/2크기로 축소하여 총 12개의 실험체를 계획하였다. 실험체별 변수로는 합성율(0%, 30%, 40%, 60%)과 스티드 볼트 배치 방법(균등배열, 단부집중배열), 벽체두께(10cm, 15cm, 25cm), 전단스팬비(1,2,3)와 전단보강근량이 있다. 실험체의 일람은 표 1에 나타내었으며, 여기서 전단스팬비 결정시 사용한 부재의 춤은 합성부재의 전체춤을 사용하였다. 기준실험체(SS1-CR60)의 상세는 그림 2과 같다.

표 1 실험체 일람표

실험체명	전단스팬비	합성율 (%)	스티드 볼트 배열 방법	벽두께 (cm)	전단보강근	비고
SS1-CR0	1	0	-	15	-	
SS1-CR60	1	60	등간격 배열	15	-	기준 실험체
SS2-CR60	2	60	등간격 배열	15	-	
SS3-CR60	3	60	등간격 배열	15	-	
SSI-CR40	1	40	등간격 배열	15	-	
SS1-CR40-A	1	40	단부집중배치	15	-	최소간격유지
SS1-CR30	1	30	등간격 배열	15	-	
SS1-CR30-A	1	30	단부집중배치	15	-	최소간격유지
WT10	1.2	60	등간격 배열	10	-	
WT25	0.75	60	등간격 배열	25	-	
SR4-100	0.75	60	등간격 배열	25	4-D4@100	
SR2-100	0.75	60	등간격 배열	25	2-D4@100	

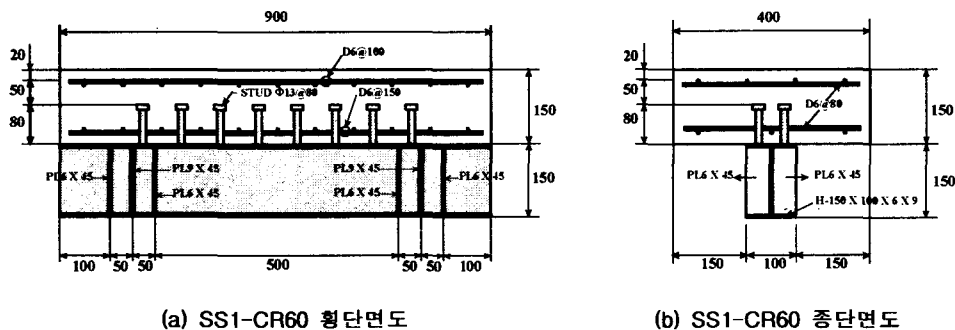


그림 2 실험체 형상 및 배근 상황

2.2 재료시험

실험체 제작시 사용된 콘크리트의 압축강도 실험결과를 표 2에 나타내었고, 강재 및 철근의 인장실험결과를 표 3에 나타내었다.

표 2 콘크리트 압축강도 시험결과

설계 기준강도 (kgf/cm ²)	28일 압축강도 (kgf/cm ²)	탄성계수 (kgf/cm ²)
240	362	2.85×10^5

표 3 강재의 재료 시험결과

종류	구분	항복강도 (kgf/cm ²)	인장강도 (kgf/cm ²)	탄성계수 (kgf/cm ²)
철근	φ4	3590	3940	1.93×10^6
	φ6	7020	7690	1.62×10^6

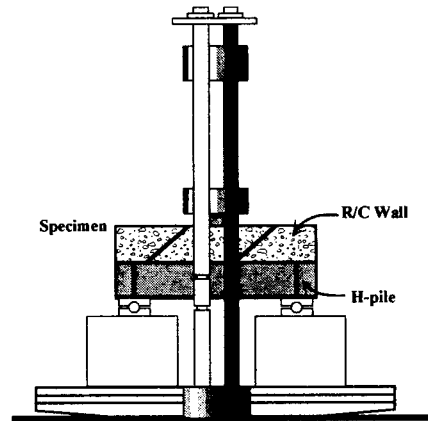


그림 3 실험체 가력 및 설치상황

2.3 실험체 가력 방법

실험체는 콘크리트가 압축을 받는 구간인 연속스팬의 부모멘트 구간을 채택하여 가력하였다. 실험체의 설치는 그림 3에서 보는 바와 같이 실험체의 단부에 설치된 힌지위에 실험체를 올려놓고, 100ton의 만능시험기를 사용하여 최대내력을 거쳐 완전 소성상태 구간에 도달될 때까지 실험체의 중앙을 단조 가력하였다.

3. 실험결과

3.1. 균열 및 파괴상황

전단스팬비가 1이하인 실험체는 모두 최초에 콘크리트의 스팬 중앙부에서 초기 휨균열이 발생하여 진행되다가 최대하중 부근에서 가력점과 지지점으로 연결되는 전형적인 사인장균열로 인한 전단파괴가 일어났다. 콘크리트의 사인장파괴후 급격히 떨어진 하중은 철골의 지지로 인해 내력이 어느정도 보유되다가 가력판에 의한 콘크리트의 지압파괴 및 철골의 항복으로 인해 하중이 서서히 감소하였다. 그러나, 함성율이 낮은 실험체인 SS1-CR30은 낮은 함성율로 인한 콘크리트와 철골의 일체거동이 줄어들어 어느 정도 휨거동을 보였으며 또한 전단스팬비를 변수로 한 실험체인 SS2-CR60과 SS3-CR60실

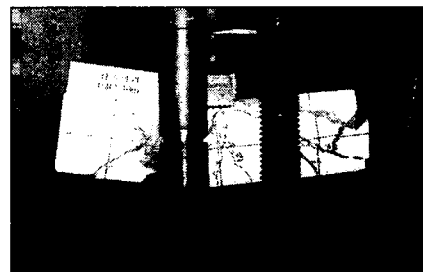
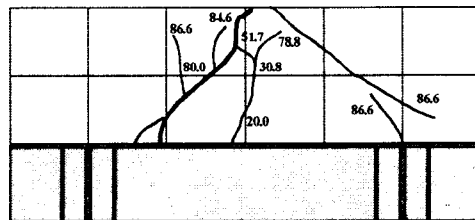


그림 4 SR2-100 실험체의 균열 및 파괴 양상

험체는 전형적인 휨거동에 의한 파괴가 일어났다. 합성율이 0%인 실험체(SS1-CR0)의 경우 철골과 콘크리트부재가 따로 거동하는 모습을 극명하게 보여줬으며, 최종파괴형태는 콘크리트 중앙부의 휨균열로 인한 휨파괴가 일어났다. 그림 4는 대표적인 실험체의 최종파괴상태를 나타낸 사진이며, 각 실험체의 실험결과는 표 4에 나타내었다.

표 4 실험 결과 및 기존 내력식과의 비교

실험체명	실험 극한전단내력 (ton)	규준별 예상 전단 내력(ton)							
		ACI 11-3		ACI 11-5 or 11-29		Zsutty		Bazant	
		(1)	(2)	(1)	(2)	(1)	(2)	(1)	(2)
SS1-CR0	19.17(휨파괴)	26.72	26.72	33.13	26.58	33.16	26.19	29.10	25.21
SS1-CR60	34.44	26.72	26.72	33.13	26.58	33.16	26.19	29.10	25.21
SS1-CR40	31.45	26.72	26.72	33.13	26.58	33.16	26.19	29.10	25.21
SS1-CR40-A	33.13	26.72	26.72	33.13	26.58	33.16	26.19	29.10	25.21
SS1-CR30	31.49	26.72	26.72	33.13	26.58	33.16	26.19	29.10	25.21
SS1-CR30-A	34.35	26.72	26.72	33.13	26.58	33.16	26.19	29.10	25.21
SS2-CR60	19.73(휨파괴)	26.72	26.72	26.58	26.46	26.19	24.51	25.21	24.52
SS3-CR60	14.63(휨파괴)	26.72	26.72	26.48	26.45	24.81	24.15	24.68	24.43
WT10	30.21	24.70	24.70	27.95	24.58	28.09	23.90	26.50	23.94
WT25	42.84	30.75	30.75	44.73	37.98	46.55	34.93	35.43	28.52
SR2-100	43.53	32.13*	32.13*	46.11*	39.36*	46.55**	34.93**	35.43**	28.52**
SR4-100	46.23	33.52*	33.52*	47.50*	40.75*	46.55**	34.93**	35.43**	28.52**

(1) 합성부재의 전단스팬비를 고려한 경우 * ACI 11-30 (전단보강근의 전단내력산정식) 적용
(2) 콘크리트만의 전단스팬비를 고려한 경우 ** 전단보강근의 전단내력 고려하지 않음

3.2 하중변위 곡선

(1) 합성율에 따른 비교

합성율의 증가로 인해 초기강성의 증가는 있었지만 내력의 상승은 없었으며, 다만 합성율이 점차 낮아지면서 콘크리트와 철골부재간의 일체성이 저하되어 파괴형태가 점차 휨파괴로 나타났다.(그림 5)

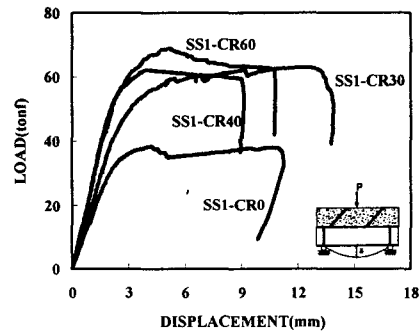


그림 5 합성율

(2) 스테드볼트 배치방법에 따른 비교

스테드 볼트를 단부에 배치한 실험체가 스테드 볼트에 의해 보다 명확한 압축장이 구축되어 콘크리트와 철골의 일체성이 증가되었고 이에 의해 콘크리트의 보유전단내력이 향상되어 합성부재의 전단내력이 상승하는 것으로 나타났다. (그림 6)

(3) 벽체두께에 따른 비교

콘크리트 부재의 두께가 증가할수록 콘크리트의 전단내력이 향상되어 이에 의해 합성부재의 전단내력도 상승하는 것으로 나타났다.(그림 7)

(4) 전단스팬비에 따른 비교

전단스팬비가 증가할수록 휨거동에 의해 전체적인 내력은 줄어들었으나 연성은 증가하는 것으로 나타났다.(그림 8)

(5) 전단보강근량에 따른 비교

합성부재에 전단보강근을 사용할 경우 일반적인 철근콘크리트 보와 마찬가지로 전단보강근의 전단내력에 의해 합성부재의 전단내력이 상승하는 것으로 나타났다.(그림 9)

3.3 기존내력식에 의한 비교

실험체의 내력은 철골의 전단내력과 콘크리트 벽체의 전단내력을 합하여 계산하였다. 철골의 전단내력은 국내 강구조 한계상태 설계법(식1)을 적용하여 일괄적으로 산정하였으며, 콘크리트 벽체의 전단내력 산정은 ACI 318-99와 Zsutty식과 Bazant식에 의해 산정하였고, 콘크리트 전단내력 산정시 사용되는 전단스팬비(a/d)는 콘크리트층을 사용한 경우와 합성보의 전체층을 사용한 경우로 나누어 산정한 후 비교하였다. 기존식에 의한 각 실험체의 내력은 표 4에 나타내었다.

$$V_n = 0.6F_{yw}A_w \quad (1)$$

여기서,
 $h/t_w \leq 50\sqrt{k_s/F_{yw}}$, $A_w = d \times t_w$ 이다.

기준식과 실험식을 비교해보면 콘크리트 부재의 전단내력 산정시 전단스팬비를 고려한 ACI 11-5식, ACI 11-29식과 Zsutty식을 사용한 경우는 실험결과와 계산결과가 좋은 대응을 보이는 것으로 나타났으나, Bazant식을 사용한 경우는 계산결과가 실험결과를 과소평가하는 것으로 나타났다. 또한 합성부재의 층을 전단스팬비로 사용하는 경우(그림 11)가 콘크리트층을 전단스팬비로 사용하는 경우(그림 10)보다 실험값과 좋은 대응을 보이고 있는 것으로 나타났다.

4. 결론

1) 합성율의 증가로 인한 내력의 상승은 없었으며, 실험체의 단부에 스타드 볼트를 배치한 경

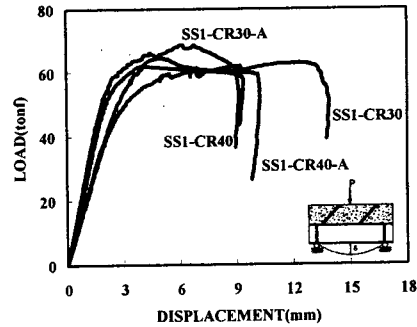


그림 6 스타드볼트 배치방법

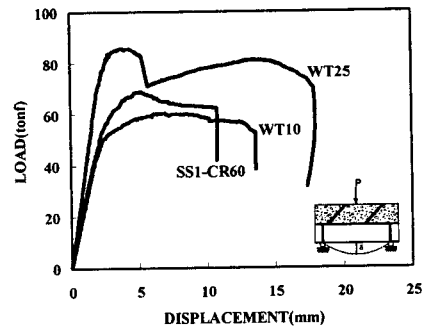


그림 7 벽두께

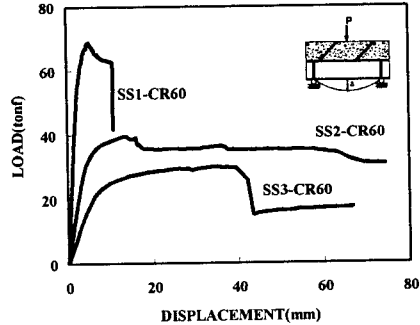


그림 8 전단스팬비

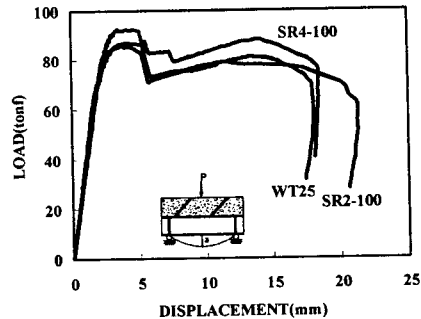


그림 9 전단보강근량

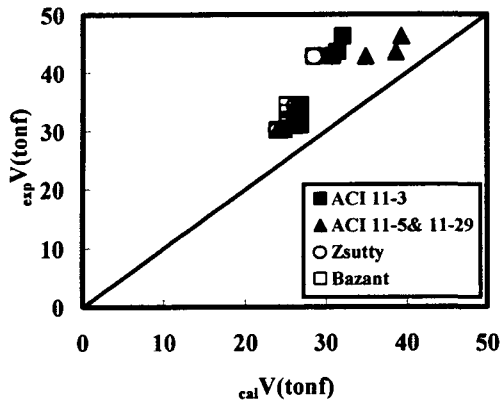


그림 10 콘크리트만의 전단스팬비를 고려

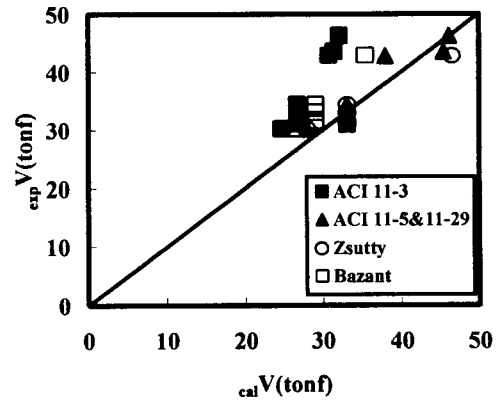


그림 11 합성부재의 전단스팬비를 고려

우 스티드볼트에 의한 압축장의 구축으로 인해 같은 개수의 스티드 볼트가 스펠에 균등히 배열된 실험체보다 콘크리트의 보유전단내력이 상승하는 것으로 나타났다

2) 콘크리트 벽체의 두께 및 전단보강근량이 증가할수록 콘크리트의 전단내력이 향상되어 이에 의해 합성부재의 전단내력도 상승하는 것으로 나타났으며, 전단스팬비가 증가하면 휨거동에 의해 전체적인 내력은 줄어들었으나 연성은 증가하는 것으로 나타났다.

3) CBS 합성지하벽에 작용하는 전단력에 대해 H-pile의 전단강도 V_w 와 콘크리트 옹벽의 전단강도 V_c , 콘크리트내의 전단보강근의 강도인 V_{re} 가 합성되어 작용하는 것으로 나타났으며, 이를 고려하여 계산한 합성지하벽의 내력과 실험결과가 좋은 대응을 보이는 것으로 나타났다.

4) 콘크리트 부재의 전단내력 산정시 전단스팬비를 고려한 ACI 11-5식, ACI 11-29식과 Zsutty식을 사용한 경우는 실험결과와 계산결과가 좋은 대응을 보이는 것으로 나타났으나, Bazant식을 사용한 경우는 계산결과가 실험결과를 과소평가하는 것으로 나타났다.

감사의 글

본 연구는 삼성중공업(주)과 한양대 초대형 구조시스템 연구센터의 연구비 지원하에 이루어진 연구의 일부로 이에 감사를 드립니다.

참고문헌

1. Oehlers, D. J. and Bradford, M. A., "Composite Steel and Concrete Structural Members", Pergamon, 1995
2. ASCE, "Composite construction design for buildings", McGraw-Hill, 1997
3. ACI Committee 318, "Building Code Requirements for Structural Concrete(318-99) and Commentary(318R-99)", 1999
4. Mphonde, Andrew G., and Frantz, Gregory C., "Shear Tests of High-and Low-Strength Concrete Beams Without Stirrups", ACI Journal, Proceedings V. 81, No. 4, July-Aug. 1984, pp. 350-357
5. Zsutty, Theodore C., "Shear Strength of Reinforced Concrete of Simple Beam Tests," ACI Journal, Proceedings V.68, No. 2, Feb. 1971, pp.138-14
6. 대한건축학회, "강구조 한계상태 설계기준 및 해설", 대한건축학회, 1998
7. 한국콘크리트학회, "콘크리트구조설계기준 · 해설", 한국콘크리트학회, 2000