

합성 지하벽의 전단성능

김성만^{1)*} · 이성호²⁾ · 서수연¹⁾ · 이리형¹⁾

¹⁾한양대학교 건축공학부 ²⁾연변대학교 토목건축공학부

(2001년 10월 9일 원고접수, 2002년 5월 14일 심사완료)

Shear Capacity of Composite Basement Walls

Sung-Man Kim^{1)*}, Cheng-Hao Li²⁾, Soo-Yeon Seo¹⁾, and Li-Hyung Lee¹⁾

¹⁾ Dept. of Architectural Engineering, Hanyang University, Seoul, 133-791, Korea

²⁾ Dept. of Architecture & Civil Engineering, Yanbian University, Yanji, 133-002, China

(Received October 9, 2001, Accepted May 14, 2002)

ABSTRACT

This paper presents the experimental results 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, distribution 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.

Keywords: composite basement wall, composite ratio, distribution of shear connector, shear-span ratio, shear reinforcement

1. 서 론

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 전단 연결재(shear connector)에 의해 합성작용을 하여 토압에 저항하도록 한 공법이다¹⁾.

일반합성벽의 전단설계시에는 전단력이 크게 작용하는 단부에서 콘크리트 슬래브가 부모멘트에 의하여 인장력을 받고 있으며, 콘크리트 슬래브의 두께가 상대적으로 작기 때문에 안전측의 설계개념으로 압축력에 강한 콘크리트의 전단에 대한 기여도를 무시하고, 철골보의 웨브에 의해 합성부재의 전단내력이 결정되도록 하고 있다^{2~5)}(Fig. 1). 그러나, CBS공법은 일반합성벽과는 달리 전단력이 높은 단부에서 콘크리트 벽체가 압축응력을 받을 뿐만 아니라, 콘크리트 벽체두께가 일반합성벽의 콘크리트 슬래브에 비해 상대적으로 크기 때문에 전단에 대한 거동이 일반합성벽과는 다르게 된다. Fig. 2에 나타낸 바와 같이, 일반합성

벽과는 달리 전단에 대한 콘크리트의 기여도가 높아지기 때문에 이에 대한 구명이 필요하다. 현재까지 합성벽에 대한 연구는 흙에 대한 연구^{11~12)}에 초점이 맞추어져 있으며, 철근 콘크리트 보부재에 대한 전단거동에 대한 연구^{13~16)}는 최근까지 활발히 진행되고 있으나, 합성부재의 전단거동에 대한 연구는 거의 전무한 실정이다. 따라서 본 연구에서는 CBS 합성지하벽의 전단성능에 대한 실험 및 이론적인 검토를 통하여 전단내력 및 구조적 거동을 검토하고 이에 따른 구조성능을 평가하여 CBS 합성지하벽의 전단설계에 대한 기초자료제시를 목적으로 하였다.

2. 합성지하벽의 전단응력 분포

탄성이론에 근거하여 콘크리트와 철골로 이루어진 합성 지하벽의 전단응력은 Fig. 3과 같이 콘크리트와 철골의 탄성계수비(n)를 이용하여 단면을 동일재료로 치환해서¹⁷⁾ Eq. (1)로 산정할 수 있다. Fig. 4는 콘크리트 단면이 40 cm×15 cm이고, H-150×100×6×9인 임의의 합성부재 단면에서 V=25 tonf일 때의 전단응력분포를 나타낸 것이다. 이는 탄성구간내에서 100%합성일 때의 전단응력분포로서 콘크리트와 철골이 완전일체로 거동할 경우이다. 일반합성벽에서는 중립축의 위치가 일반적으로 철골의 웨브에 존

* Corresponding author

Tel : 02-2290-1723 Fax : 02-2281-2557

E-mail : yds0619@dreamwiz.com

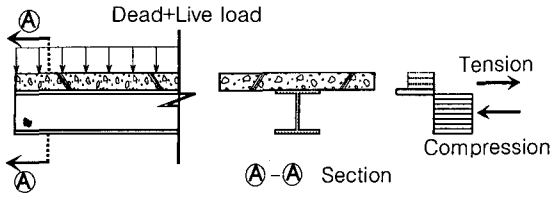


Fig. 1 Stress of composite beam at end of span

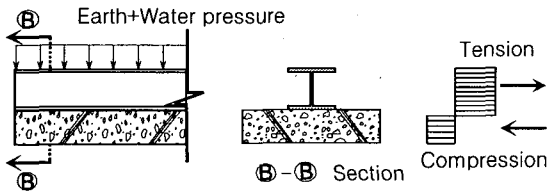


Fig. 2 Stress of CBS at end of span

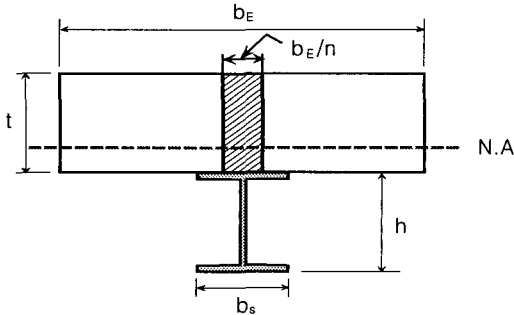


Fig. 3 Transformed section of composite basement wall

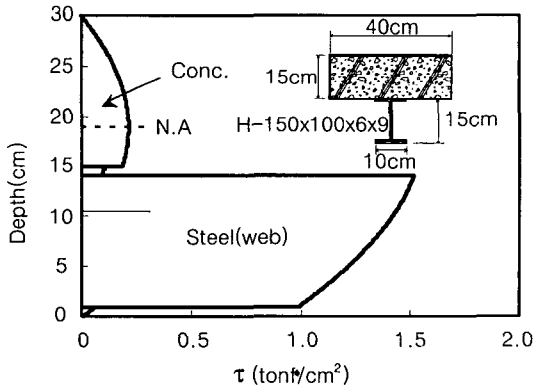


Fig. 4 Shear stress distribution

$$\tau = \frac{VQ}{Ib} = \frac{V}{Ib} \int ydA \quad (1)$$

재하는 것과는 달리 합성지하벽에서는 일반합성보에 비해 콘크리트 벽체의 두께가 커서 중립축이 콘크리트에 존재하는 것을 알 수 있다. 여기에서 철골의 웨브가 받는 전단응력이 콘크리트에 비해 크게 작용하고 있으며, 철골의 플랜지 부분 응력이 웨브부분의 응력에 비해 매우 작음을 알 수 있다.

또한 Fig. 4의 전단응력분포를 통하여 콘크리트와 철골에 대한 각 부분의 평균응력값을 산정하여 각각의 전단내력을 산정할 수 있으며, 내력값을 통해 단면내에서 콘크리트의 철골에 대한 내력 분담비를 계산할 수 있다. Fig. 4에서 사용한 단면에서 콘크리트 전단내력 V_c 는 13.29 tonf 이고, 철골의 전단내력 V_{st} 는 11.91 tonf 로서 $V_c/V_{st} = 1.12$ 이다.

Fig. 5는 Fig. 4에서의 철골의 단면을 일정하게 유지한 상태에서 콘크리트의 두께를 변화시켜 그에 따른 콘크리트의 철골에 대한 내력분담비를 나타낸 것이다. 여기서, 콘크리트의 두께가 커질수록 철골에 대한 콘크리트의 분담비가 현저히 커지고 있다. 즉, 일반합성보에서는 콘크리트의 전단내력이 무시할 수 있을 정도로 미소하지만, 지하로 내려갈수록 콘크리트 벽체의 두께가 커지는 합성지하벽에는 그 힘이 매우 커지게 된다. 이로부터 콘크리트의 기여도가 상대적으로 높은 CBS 합성지하벽의 전단거동에 관한 체계적인 규명이 필요함을 알 수 있다.

3. 실험

3.1 실험체 제작

실험체는 실제 대상건물을 선정하여 합성부재의 전단거동에 영향을 미칠 것으로 예상되는 요인들을 중심으로 실제 대상모델의 1/2크기로 축소하여 제작하였다.

기존의 일반 합성보의 경우 스티드 볼트는 단지 휨거동에 의한 수평전단력을 부담하는 것으로 가정하여, 합성율은 휨거동과 관련되어 연구¹²⁾되어 왔지만, 본 연구에서는 합성율에 따른 전단성능 평가를 위한 실험체를 선정하여 제작하였고, 합성율은 각각 0%, 30%, 40%, 60%이며, 전단연결제인 스티드 볼트는 합성율에 의해 산정된 개수를 전스팬에 걸쳐 균등하게 배열하였다. 그리고 스티드 볼트 배치방법에 따른 전단성능 구명을 위한 실험체로서 스티드 볼트를 하중 작용시 압축스트럿 형성이 예상되는 구간인 단부에 집중배치시켜, 같은 개수의 스티드 볼트를 스팬에 균등히 배열된 실험체와 비교하였다. 이 때 단부에 배치된 스티드 볼트의 간격은 규준^{2~4)}에서 정하는 최소

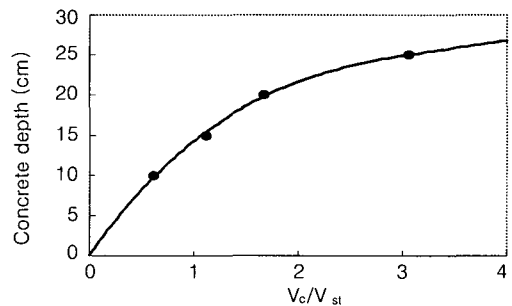


Fig. 5 Portion of shear capacity of concrete

간격으로 배치하였다. 또한 전단스팬비(a/d)가 1, 2, 3인 실험체를 계획하였으며, 이때의 합성율은 모두 동일하게 적용하였다. 벽체두께에 따른 전단성능 평가를 위해 벽두께 10 cm, 15 cm, 25 cm인 실험체를 계획하였으며, 합성지하벽에서의 전단보강근의 전단저항성능을 평가하기 위하여 전단보강근을 10 cm 간격으로 2열, 4열로 배근한 실험체를 제작하였다. 각 실험체의 전단스팬비(a/d)산정시 사용한 부재의 깊이(d)는 합성부재 전체깊이로 산정하였다.

Table 1과 Fig. 6은 각 변수별 실험체 일람과 기준실험체(SS1-CR60)의 상세를 각각 나타내고 있다.

3.2 재료시험

콘크리트는 직경 10 cm, 높이 20 cm의 실린더형 공시체를 사용하여 압축강도를 측정하였으며, 그 시험결과는 Table 2

에 나타내었고, 강재 및 철근의 인장시험결과는 Table 3에 나타내었다.

Table 2 Properties of concrete

Design strength (kgf/cm ²)	28 days strength (kgf/cm ²)	Elastic modulus (kgf/cm ²)
240	362	2.85×10 ⁵

Table 3 Properties of reinforcing bar and steel plate

Test materials		Yield strength (kgf/cm ²)	Ultimate strength (kgf/cm ²)	Elastic modulus (kgf/cm ²)
Steel plate	6mm(web)	3,940	5,133	1.75×10 ⁶
	9mm(flange)	3,064	3,964	1.91×10 ⁶
Bar	φ4	3,590	3,940	1.93×10 ⁶
	φ6	7,020	7,690	1.62×10 ⁶

Table 1 Description of specimens

Specimen	Shear span ratio (a/d)	Composite ratio (%)	Distribution of stud bolt	Thickness of concrete wall (cm)	Shear reinforcement
SS1-CR0	1	0	-	15	-
SS1-CR60	1	60	U.D.*	15	-
SS2-CR60	2	60	U.D.	15	-
SS3-CR60	3	60	U.D.	15	-
SSI-CR40	1	40	U.D.	15	-
SS1-CR40-A	1	40	C.E.**	15	-
SS1-CR30	1	30	U.D.	15	-
SS1-CR30-A	1	30	C.E.	15	-
WT10	1.2	60	U.D.	10	-
WT25	0.75	60	U.D.	25	-
SR4-100	0.75	60	U.D.	25	4-D4@100
SR2-100	0.75	60	U.D.	25	2-D4@100

* Uniformly distributed within span

** Concentrated at end of span

SS1-CR40-A

— Distribution of stud bolt (A: concentrated at End of span)
 — Composite ratio (0 : 0%, 30 : 30%, 40 : 40%, 60 : 60%)
 — Shear span ratio (shear span(a)/total depth of specimen(d): 1, 2, 3)

WT25 — Thickness of concrete wall (10: 10 cm, 25: 25 cm)

SR2-100 — Shear reinforcement (4-100: 4 row & 100 mm spacing, 2-100: 2 row & 100 mm spacing)

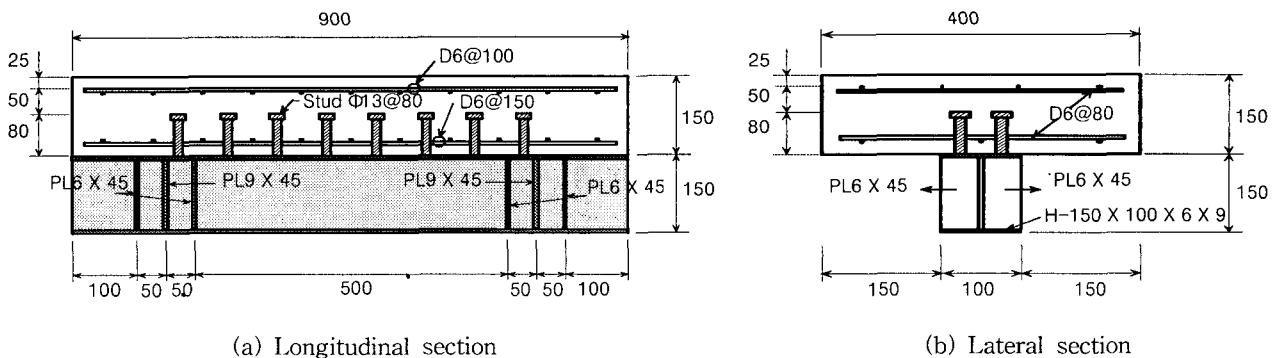


Fig. 6 Detail of specimen (SS1-CR60) (unit : mm)

3.3 실험체 및 가력

실험체는 콘크리트가 압축을 받는 구간인 연속스팬의 부모멘트 구간을 채택하여 가력하였다. 실험체의 설치는 Fig. 7에서 보는 바와 같이 실험체의 단부 설치된 힌지위에 실험체를 올려놓고, 100 tonf의 만능시험기를 사용하여 최대내력을 거쳐 완전 소성상태 구간에 도달될 때까지 실험체의 중량을 단조가력하였다.

4. 실험 결과 및 분석

4.1 균열 및 파괴 양상

실험중의 관찰 및 하중-변위 곡선에 의해 얻어진 기준 실험체(SS1-CR60)의 파괴순서 및 그에 대한 특성은 다음과 같다.(Fig. 8)

4.1.1 가력시작 ~ 초기 휨균열

Fig. 8(c) 'a'점이며 가력 시작후 최대하중의 약 30% 지점에서 콘크리트의 스펠 중앙부분의 밑면에서 휨균열이 발생하였다. Fig. 8(a)에서 ①에 해당된다.

4.1.2 초기휨균열 ~ 항복하중

초기 휨균열이 계속 진행되는 동시에 주위에 휨균열이 55.2 tonf에서 추가로 발생되어 파괴시까지 진행되었으나 최종파괴시까지의 균열폭은 크지 않았다(Fig. 8(a)의 ②). Fig. 8(c)에서 'b'점인 최대하중의 82%에서 콘크리트 윗면에 스테드 볼트 종방향 배치를 따라 균열이 발생되어 진행하였으며 하중이 증가함에 따라 실험체의 정면과 후면 방향으로 균열이 진행되어 갔다(Fig. 8 (b)의 ③).

4.1.3 항복하중 ~ 최대내력(콘크리트 사인장파괴)

철골웹의 응력집중 현상으로 Fig. 8(c)의 'c'점인 최대하중의 89% 지점에서 철골 웹 단부에 균열이 발생하기 시작하였으며(Fig. 8(a)의 ④), 하중이 증가함에 따라 단부에서 중앙으로 균열이 진행되었다(Fig. 8(a)의 ⑥). 윗면에서 발생한 균열이 서서히 증가하면서 가력판과 지지점사이로 이어지는 콘크리트의 사인장 파괴가 급격히 일어났다. 사인장 균열폭이 증가하기 시작하면서 콘크리트와 철골이 현저히 분리되었다(Fig. 8(a)의 ⑤).

4.1.4 최대내력 ~ 최종파괴

콘크리트 사인장 파괴후 철골의 균열이 급속하게 진행되었으며, 철골의 지지로 인해 내력이 급속히 떨어지지 않는 내력보유구간이 존재하였고, 콘크리트의 압괴 및 철골 웹의 좌굴에 의해 최종 파괴되었다.

대체로 대부분의 파괴가 유사하게 일어났으나, 변수에 따른 단면의 변화로 인해 실험체마다 기준실험체와는 다

른 다음과 같은 파괴형상이 일어났다.

전단스팬비(a/d)가 1.5이하인 실험체는 모두 최초에 콘크리트스팬 중앙부에서 초기 휨균열이 발생하여 진행되다가 최대하중 부근에서 가력점과 지지점으로 연결되는 전형적 콘크리트의 사인장균열로 인한 전단파괴가 일어났다.

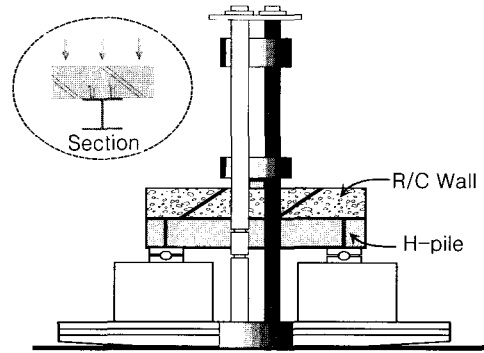
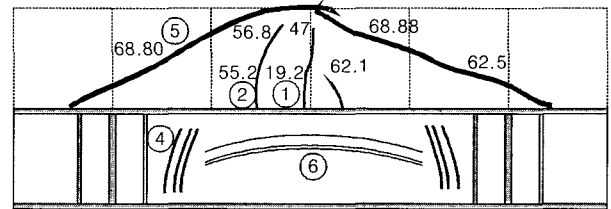
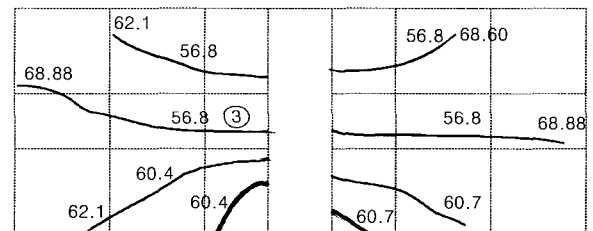


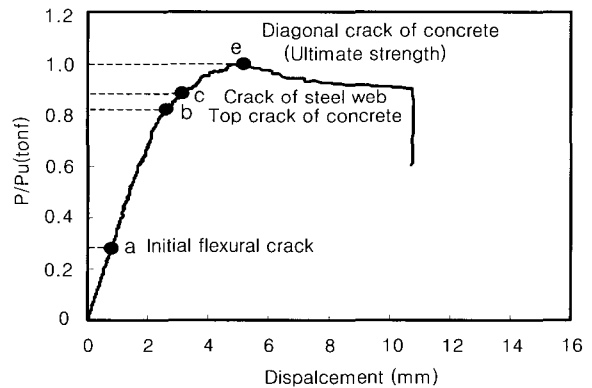
Fig. 7 Test setup



(a) Front crack pattern(unit: tonf)



(b) Top crack pattern(unit: tonf)



(c) General behavior of specimen(SS1-CR60)

Fig. 8 Crack pattern and general behavior

콘크리트의 사인장파괴후 급격히 떨어진 하중은 철골의 지지로 인해 내력이 어느정도 보유되다가 가력판에 의한 콘크리트의 지압파괴 및 철골의 항복으로 인해 하중이 서서히 감소하였다. 그러나, 합성율이 낮은 실험체인 SS1-CR30은 낮은 합성율로 인하여 콘크리트와 철골의 일체성이 줄어들어 어느 정도 휨거동을 보였으며 또한 전단스팬비를 변수로 한 실험체인 SS2-CR60과 SS3-CR60 실험체는 초기 발생한 휨균열과 가력점 부위에서 발생한 콘크리트의 사인장 균열로 인해 최종파괴되었다. 합성율이 0%인 실험체(SS1-CR0)의 경우 철골과 콘크리트 부재가 따로 거동하는 모습을 극명하게 보여줬으며, 최종파괴형태

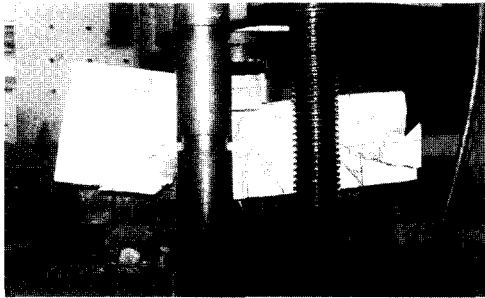
는 콘크리트 중앙부의 휨균열로 인한 휨파괴가 일어났다. 대표적인 실험체의 최종파괴상황은 Fig. 9에, 각 실험체의 실험결과를 Table 4와 Table 5에 각각 나타내었다.

4.2 하중변위 곡선

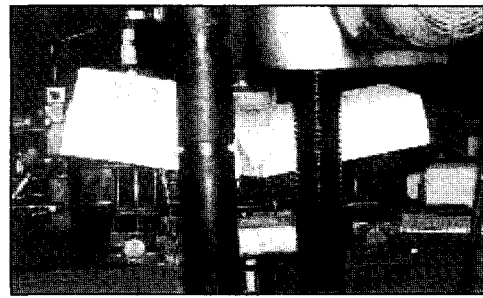
CBS 합성지하벽의 전단성능실험에 대한 하중변위 곡선의 특징은 다음과 같다.

4.2.1 합성율에 따른 비교

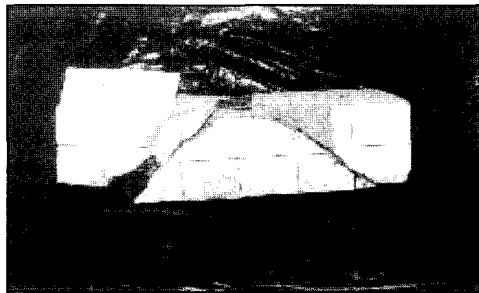
초기강성을 비교해 볼 때, 합성율 60%와 40%의 실험



(a) Diagonal failure of concrete (SS1-CR60)



(c) Flexural failure of concrete (SS1-CR0)



(b) Diagonal failure of concrete (SR2-100)



(d) Shear failure after flexural failure of concrete (SS2-CR60)

Fig. 9 Failure mode

Table 4 Test results of specimens without shear reinforcement

Specimen	Measured shear capacity (tonf)	Steel LRFD	Predicted shear capacity(tonf)															
			Concrete															
			ACI 11-3		ACI 11-5 or 11-29		Zsutty		Bazant									
(1)	(2)	(1)	(2)	(1)	(2)	(1)	(2)											
SS1-CR0	19.17*	21.60	5.12	5.12	11.53	4.98	11.56	4.59	7.50	3.61								
SS1-CR60	34.44																	
SS1-CR40	31.45																	
SS1-CR40-A	33.13																	
SS1-CR30	31.49																	
SS1-CR30-A	34.35																	
SS2-CR60	19.73*										4.98	4.86	4.59	2.91	3.61	2.92		
SS3-CR60	14.63*										4.88	4.85	3.21	2.55	3.08	2.83		
WT10	30.21										3.10	3.10	6.35	2.98	6.49	2.30	4.90	2.34
WT25	42.84										9.15	9.15	23.13	16.38	24.95	13.33	13.83	6.92

(1) Using shear span ratio, assumed to be the total depth of specimen

(2) Using shear span ratio, assumed to be the concrete depth of specimen

* Flexural failure

Table 5 Test results of specimens with shear reinforcement

Specimen	Measured shear capacity (tonf)	Predicted shear capacity(tonf)					
		Steel	Concrete+shear reinforcement				
			LRFD	ACI 11-3 + 11-30		ACI 11-29 + 11-30	
				(1)	(2)	(1)	(2)
SR2-100	43.53	21.60	10.53	10.53	24.51	17.76	
SR4-100	43.53		11.92	11.92	25.90	19.15	

(1) Using shear span ratio, assumed to be the total depth of specimen
 (2) Using shear span ratio, assumed to be the concrete depth of specimen

체는 거의 비슷하였으며 30%, 0%로 가면서 점차 줄어드는 것을 볼 수 있었다. 그러나, 합성율 60%와 30%의 내력이 거의 비슷하게 측정됨으로써, 합성율의 증가로 인한 내력의 상승은 없는 것으로 판단된다. 다만 합성율이 점차 낮아지면서 콘크리트와 철골부재간의 일체성이 저하되어 파괴형태가 점차 휨파괴로 나타났다. 특히, 합성율 0% (SS1-CR0)인 경우 콘크리트 부재와 철골부재가 따로 거동하면서 내력이 현저히 줄어들었다(Fig.10).

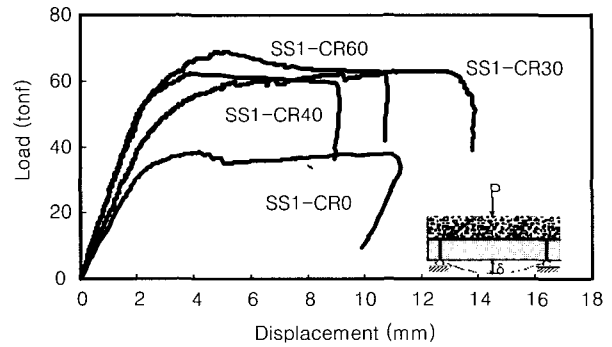


Fig. 10 Effect of composite ratio

4.2.2 스티드 볼트 배치방법에 따른 비교

스티드 볼트를 단부에 배치한 실험체가 스펠에 균등히 배열된 실험체보다 스티드 볼트에 의해 보다 명확한 압축장이 구축되어 콘크리트와 철골의 일체성이 증가되었고 이에 의해 콘크리트의 보유전단내력이 향상되어 합성부재의 전단내력이 상승하는 것으로 나타났다(Fig. 11).

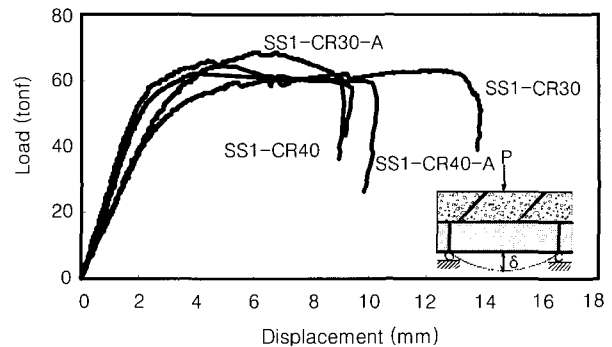


Fig. 11 Effect of stud bolt distribution

4.2.3 벽체두께에 따른 비교

콘크리트 부재의 두께가 증가할수록 콘크리트의 전단내력이 향상되어 이에 의해 합성부재의 전단내력도 상승하는 것으로 나타났으며, WT25의 실험체는 콘크리트 두께가 상대적으로 작은 SS1-CR60과 WT10에 비해 콘크리트의 보유내력이 커서 이들보다 최대하중 이후 하중이 급격하게 떨어진 후 철골의 지지로 인한 응력 재분포 구간이 명확하게 나타남을 볼 수 있었다(Fig. 12).

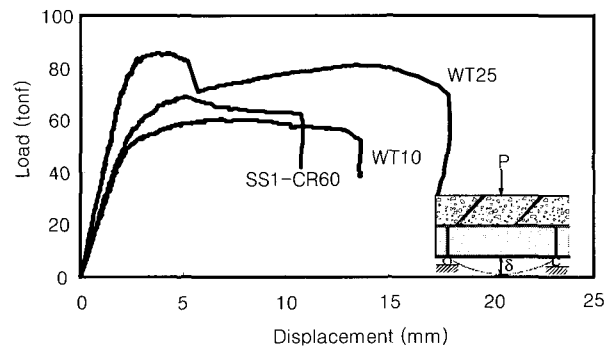


Fig. 12 Effect of wall thickness

4.2.4 전단스팬비에 따른 비교

전단스팬비가 증가할수록 휨거동에 의해 전체적인 내력은 줄어들었으나 연성은 증가하는 것으로 나타났으며, SS3-CR60은 변위 40 mm(최대하중)에서 가력점 부위에 생긴 콘크리트의 사인장 균열에 의한 파괴로 인해 내력이 급격히 감소하였으며, 이후 철골의 지지로 인한 내력 보유 구간이 나타났다(Fig. 13).

4.2.5 전단보강근량에 따른 비교

합성부재에 전단보강근을 사용할 경우에는 일반적인 철근 콘크리트보와 마찬가지로 전단보강근의 전단내력에 의해 합성부재의 전단내력이 상승하는 것으로 나타났다(Fig. 14).

5. 합성지하벽의 전단내력 산정

실험체의 전단내력은 철골의 전단내력과 콘크리트 벽체의 전단내력을 합하여 계산하였으며, 콘크리트 벽체내에 전단보강근이 배근된 경우에는 콘크리트의 전단내력과 전

단보강근의 전단내력의 합을 콘크리트 벽체의 전단내력으로 계산하였다.

철골의 전단내력은 LRFD(load resistance and factor design)⁴⁾을 기본으로 한 국내의 강구조 한계상태 설계법²⁾에서 제시하고 있는 Eq. (2)를 사용하여 일괄적으로 산정하였으며, 콘크리트 벽체의 전단내력 산정은 ACI 318-99⁷⁾와 Zsutty식^{8,9)}과 Bazant식¹⁰⁾에 의해 산정하였다. 전단보강근에 대한 내력식은 ACI 318-99식에 의해서만 산정하였으며, 콘크리트 전단내력 산정시 사용되는 전단스팬비(a/d)는 콘크리트 깊이를 사용한 경우와 합성보의 전체깊이를 사용한 경우로 나누어 산정한 후 비교하였다. 콘크리트벽체의 전단내력에 관한 규준식은 Table 6에, 전단보강근에 관한 규준식은 Table 7에 나타내었다.

$$V_n = 0.6F_{yw}A_w \quad (2)$$

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

d : 부재전체깊이, h : 웨브깊이, t_w : 웨브두께

규준식과 실험식을 비교해 보면 대체로 규준식들은 Fig. 15에서 보이는 바와 같이 콘크리트 부재의 전단내력 산정시 합성부재의 전체깊이를 전단스팬비(a/d)산정시 사용하는 깊이로 사용하는 경우의 전단내력값이 콘크리트의 깊

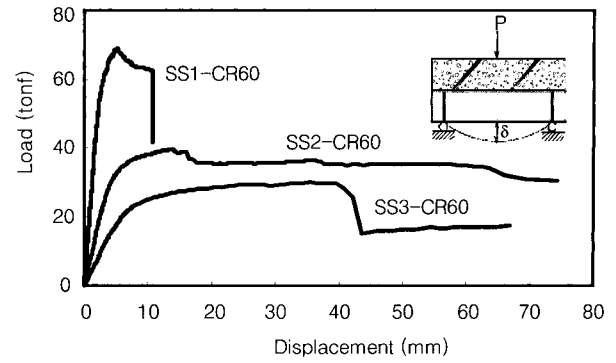


Fig. 13 Effect of shear span ratio

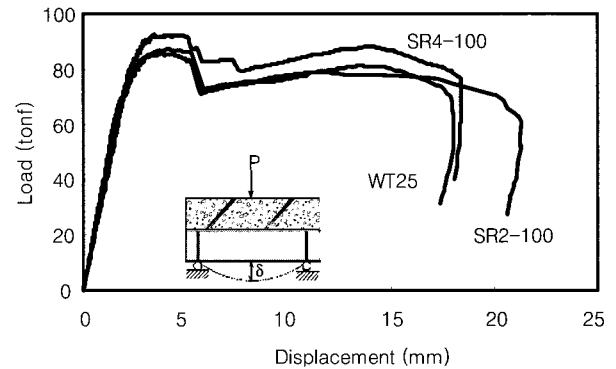


Fig. 14 Effect of shear reinforcement

Table 6 Shear strength of concrete without shear reinforcement

Equation	Shear strength of concrete(tonf)	
	a/d > 2.5	a/d < 2.5
ACI	$V_c = 0.53\sqrt{f'_c} b_w d$ Eq.(11-3)	$V_c = 0.53\sqrt{f'_c} b_w d$ Eq.(11-3)
	$V_c = (0.5\sqrt{f'_c} + 176\rho \frac{Vd}{M}) b_w d$ Eq.(11-5)	$V_c = [(3.5 - 2.5 \frac{M}{Vd}) Eq. (11-5)]$ Eq.(11-29)
Zsutty	$V_c = 10.77(f'_c \rho d/a)^{0.333} b_w d$	$V_c = (\frac{2.5}{a/d}) 10.77(f'_c \rho d/a)^{0.333} b_w d$
Bazant	$V_c = [\frac{10^3 \sqrt{\rho}}{\sqrt{1+d/25d_a}}] (0.265\sqrt{f'_c} + 210\sqrt{\rho/(a/d)^5}) b_w d$	

Table 7 Shear strength of shear reinforcement

Equation	Shear strength of shear reinforcement(tonf)	
	a/d > 2.5	a/d < 2.5
ACI	$V_{re} = \frac{A_s f_y d}{s}$ Eq.(11-15)	$V_{re} = [\frac{A_v}{s} (\frac{1+l_n/d}{12}) + \frac{A_{vh}}{s_2} (\frac{11-l_n/d}{12})] f_y d$ Eq.(11-30)

a = Shear span from support to concentrated load

A_s = Longitudinal steel area

A_v = Area of shear reinforcement within a distance s

A_vh = Area of shear reinforcement within a parallel to flexural reinforcement within a distance s_2

b_w = Web width

d = Effective depth of concrete

d_a = Maximum size of the aggregate

f'_c = Compressive strength of concrete

f_y = Specified yield strength of reinforcement

l_n = Clear span measured face-to-face of supports

M = Bending moment at section considered

V = Shear force at section considered

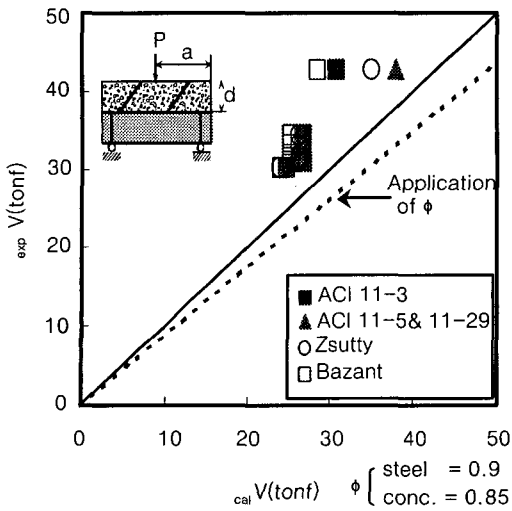
V_re = Strength of shear reinforcement

V_u = Ultimate shear strength of concrete

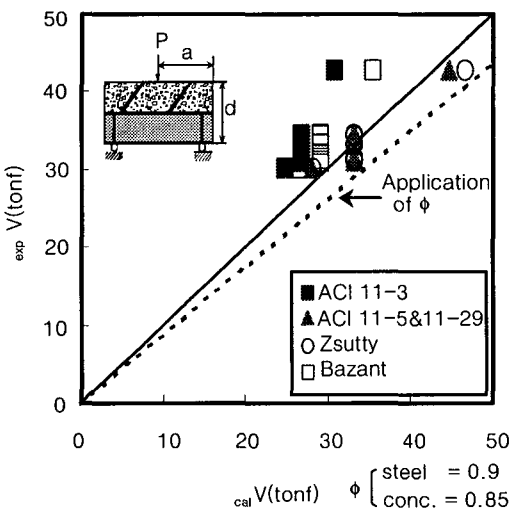
ρ = Ratio of tension reinforcement of concrete = A_s/b_w d

s = Spacing of shear reinforcement in direction parallel to longitudinal reinforcement

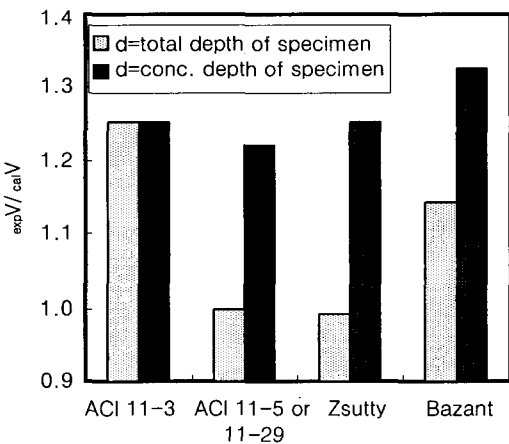
s_2 = Spacing of shear reinforcement in direction perpendicular to longitudinal reinforcement



(a) Case of d =concrete depth of specimen



(b) Case of d =total depth of specimen



(c) Results expressed by bar graph

Fig. 15 Comparison of shear strength according to the depth of specimen

이만을 전단스팬비의 길이로 사용하는 경우의 전단내력값보다 실험값과 좋은 대응을 보이고 있는 것으로 나타났다. 이로 인해 소정의 합성율이 확보되어 최대내력시까지 콘크리트벽과 철골부재가 일체로 거동할 경우 전단내력은 합성부재의 전체깊이로 지지됨을 알 수 있다. 또한 Fig. 15(c)에서 보이는 바와 같이 합성부재의 전체깊이를 사용하여 콘크리트 부재의 전단내력을 산정한 경우 ACI 11-5·ACI 11-29 식과 Zsutty식을 사용한 경우는 실험결과와 계산결과가 거의 유사하게 나타났으나, ACI 11-3식과 Bazant식은 실험값에 비하여 각각 25%와 14% 정도 낮게 나타났다. 그리고 콘크리트 부재의 깊이를 사용하여 콘크리트의 전단내력을 산정한 경우는 ACI 11-3식이 25%, ACI 11-5·ACI 11-29식이 22%, Zsutty식이 25%, Bazant식이 33%정도 실험결과보다 낮게 나타났다.

Fig. 16은 합성부재의 전체깊이를 고려하여 전단내력을 산정할 때 합성율에 따른 실험값과 각 표준들을 비교한 것으로서 합성율이 60%인 경우에만 각 표준들이 제시하고 있는 내력식이 보수적으로 나타남을 알 수 있다. 따라서 기존의 콘크리트에 대한 전단내력식을 사용하여 합성부재의 전단내력을 산정할 경우에는 합성율이 어느정도 확보되었을 경우 기존의 전단내력식을 사용할 수 있을 것으로 사료된다. 또한 스테드 볼트를 등간격으로 배치한 경우와 동일한 개수의 스테드 볼트를 단부에 집중배치하였을 경우 기존의 내력식과의 비교를 Fig. 17에 나타내었다. 스테드 볼트를 등간격으로 배치하였을 때보다 단부에 집중배치 하였을 경우 기존의 내력식들이 보수적으로 나타남을 알 수 있다. 이로부터 기존의 전단내력식을 이용하여 합성지하벽의 전단내력을 산정할 시에 합성율 및 스테드 볼트 배치방법이 전단내력에 영향을 미치는 요소임을 알 수 있다.

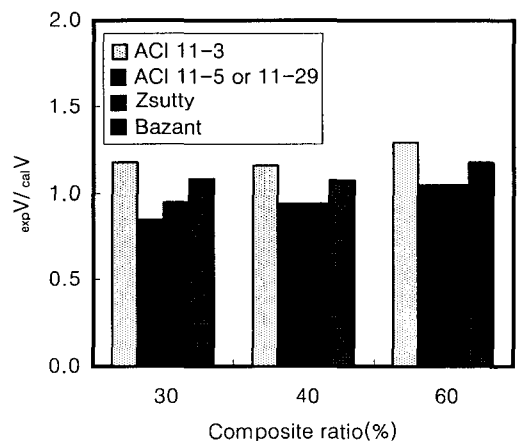


Fig. 16 Comparison with results for composite ratio

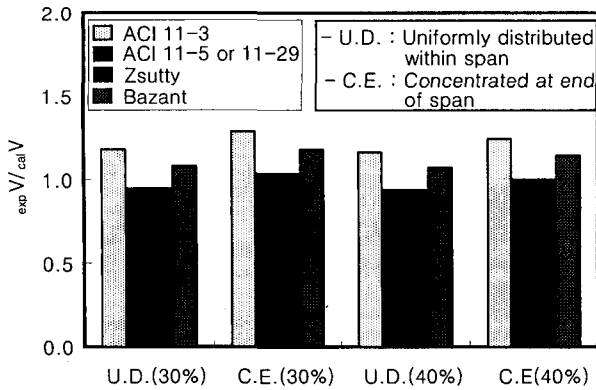


Fig. 17 Comparison with results for distribution of stud bolt

6. 결 론

1) 철근 콘크리트 벽체와 철골로 이루어진 합성지하벽은 하중이 증가함에 따라 가력점과 지지점으로 이어지는 콘크리트 벽체의 사인장파괴가 선행되었으며, 이후 철골의 지지로 인한 내력 보유구간이 존재하여 급속한 파괴가 일어나지 않았다.

2) 합성율이 30% 이상일 때 합성율의 증가에 따른 내력의 상승은 없었으며, 실험체의 단부에 스테드 볼트를 배치한 경우 스테드 볼트에 의한 압축장의 구축으로 인해 같은 개수의 스테드 볼트가 스패에 균등히 배열된 실험체보다 콘크리트의 보유전단내력이 상승하는 것으로 나타났다.

3) 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.

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

5) 소정의 합성율이 확보될 경우, 철골부재와 콘크리트 벽체가 최대내력시까지 일체로 거동하며, 이를 고려하여 전단내력 산정시 합성부재의 전체깊이를 적용한 경우 기존의 내력식을 이용하여 합성지하벽의 전단내력 예측이 가능할 것으로 사료된다.

6) 합성부재의 전체깊이를 고려하여 콘크리트 부재의 전단내력 산정시 전단스팬비를 고려한 ACI 11-5식, ACI 11-29 식과 Zsutty식을 사용한 경우 실험결과와 계산결과가 거의 유사하게 나타났으나, ACI 11-3식과 Bazant식은 실험값에 비하여 각각 25%와 14% 정도 낮게 고려하고 있는 것으로 나타났다.

감사의 글

본 연구결과는 삼성중공업(주)과 과학기술부·한국과학기술재단지정 한양대학교 초대형 구조시스템 연구센터의 연구비 지원으로 이루어진 연구의 이에 일부로 감사를 드립니다.

참고문헌

1. 삼성중공업(주), 한양대학교 초대형 구조시스템 연구센터, "CBS 공법의 개발 및 성능평가에 관한 연구," 2001. 3.
2. 건설교통부 제정, "강구조 한계상태 설계기준 및 해설," 대한건축학회, 1998, pp.80~94.
3. Viest, I. M., Colaco, J. P., and Furlong, R. W., Griffis, Leon, Roberto T., Wyllie, Loring A., "Composite Construction Design For Buildings," American Society of Civil Engineers, 1997.
4. American Institute of Steel Construction, "Load & Resistance Factor Design," American Institute of Steel Construction, 1994.
5. Oehlers, D. J. and Bradford, M. A., "Composite Steel and Concrete Structural Members," Pergamon, 1995.
6. Johnson, R. P., "Composite Structures of Steel and Concrete," John Wiley & Sons, New York, 1975.
7. ACI Committee 318, "Building Code Requirements for Structural Concrete(318-99) and Commentary (318-99)," 1999.
8. Zsutty, T. C., "Beam Shear Strength Prediction by Analysis of Existing Data," *ACI Journal*, Proceedings Vol.65, No. 11, Nov. 1968, pp.943~951.
9. Zsutty, T. C., "Shear Strength Prediction for Separate Categories of Simple Beam Tests," *ACI Journal*, Proceedings Vol.68, No. 2, Feb. 1971, pp. 138~143.
10. Bazant, Z. P. and Kim, J. K., "Size Effect in Shear Failure of Longitudinally Reinforced Beams," *ACI Journal*, Proceedings Vol. 81, No. 5, Sept.-Oct. 1984, pp.456~467.
11. Johnson, R. P. and May, I. M., "Partial Interaction Design of Composite Beams," *The Structural Engineer*, Vol. 53, No. 8, Aug. 1975, pp.305~311.
12. 김상섭, 김필중, 김규석, "합성보의 스테드 코넥터 배치와 합성율에 관한 실험적 연구," 대한건축학회지, 제27권, 114호, 1983, pp.32~37.
13. Mphone, A. G. and Frantz, G. C., "Shear Tests of High and Low Strength Concrete Beams Without Stirrups," *ACI Journal*, Proceedings Vol. 81, No.

- 4, July-Aug. 1984, pp.350~357.
14. Ahmad, S. H., Khaloo, A. R., and Poveda, A., "Shear Capacity of Reinforced Concrete Beams," *ACI Journal*, Proceedings Vol. 83, No. 32, Mar.-Apr. 1986, pp.297~305.
15. Elzanaty, A. H., Nilson, A. H., and Slate, F. O., "Shear Capacity of Reinforcement Concrete Beams Using High-Strength Concrete," *ACI Journal*, Proceedings V. 81, No. 2, Mar.-Apr. 1986 pp.290~296.
16. Manuel, R. F., Slight, B. W., and Suter, G. T., "Deep Beam Behavior Affected by Length and Shear Span Variations," *ACI Journal*, Proceedings Vol. 68, No. 12, Dec. 1971, pp.954~958.
17. Ugural, A. C. and Fenster, S. K., "Advanced Strength and Applied Elasticity," 3rd Edition, 1995, pp.207~213.

요 약

본 연구는 H-pile과 철근콘크리트 벽체를 전단연결재인 스티드 볼트를 사용하여 합성시킨 합성지하벽의 전단성능에 대한 실험연구 결과와 전단내력 산정시 적용시킬 수 있는 방안을 제시하고 있다. 합성지하벽의 전단성능에 영향을 미칠 합성율, 스티드 볼트의 배치방법, 콘크리트벽체의 두께, 전단스팬비 및 전단보강근량을 주요변수로 선정하여 12개의 실험체를 제작하였다. 합성율을 제외한 주요 변수들은 합성지하벽의 전단내력에 영향을 미치는 것으로 나타났다. 아울러 합성지하벽의 전단내력 산정시 $V=(V_c+V_w)+V_s$ 라는 전단내력식을 기본식으로 하여 기존의 철근 콘크리트 전단내력식으로 제안된 ACI 318-99와 Zsutty식, Bazant식 그리고 철골의 전단내력식으로 제안된 강구조 한계상태 설계법에서 제시하고 있는 식으로 계산한 결과가 실험결과와 유사하게 나타남을 볼 수 있었다. 또한 소정의 합성율이 확보될 경우, 철골부재와 콘크리트벽체가 최대내력시까지 일체로 거동하며, 이를 고려하여 전단내력 산정시 합성부재의 전체깊이를 적용한 경우, 기존의 내력식을 이용하여 합성지하벽의 전단내력 예측이 가능할 것으로 판단된다.

핵심용어 : 합성지하벽, 합성율, 스티드볼트 배치방법, 전단스팬비, 전단보강근