

수직 Slit形 강판으로 전단보강된 철근콘크리트 보의 전단보강효과

Shear Strengthening Effect on Reinforced Concrete Beams Strengthened
by Vertical Slit Type Steel Plates

이 춘 호*

Lee, Choon-Ho

권 기 혁**

Kwon, Ki-Hyuk

Abstract

Application of steel plates is one of widely used methods for shear strengthening of reinforced concrete beams that are insufficient of shear capacity. While the existing method applying solid steel plates provides good shear rigidity, however, it is concerned by brittle bond failure patterns, inefficient material usage, and low constructability. The use of strap type steel plates has also shortcomings of low strengthening effect due to small interface bonding area and ununified behavior between plates and main body. Therefore, this study aims to introduce the shear strengthening method using slit type steel plate, which can solve out the problems aforementioned, and to verify its strengthening effects on shear capacity. A total of 13 specimens strengthened by slit type steel plates were fabricated with primary test parameters of plate width, slit spacing, and plate thickness. The test results from this study were also compared to those from the existing research on RC beams strengthened by strap type steel plates, and the strengthening effects on shear capacity of specimens having bonded slit type steel plates were quantitatively analyzed. The test results showed that the RC beams strengthened by slit type steel plates had greater shear capacities than those with strap type steel plates, which is considered to be the effects of improved composite behavior and larger interface bonding area in the RC beams strengthened by the slit type steel plates.

요 지

강판부착공법은 철근콘크리트(RC) 보의 전단내력이 부족한 경우에 일반적으로 사용되는 보강공법 중의 하나이다. 그러나, 기존의 solid형 강판보강공법은 강성이 우수한 반면 취성적 부착파괴, 비효율적인 재료량 및 시공성 등의 문제가 알려져 있으며, 띠형 강판보강공법은 제한된 접촉면적과 강판의 비일체적 거동 때문에 보강효과가 낮게 되는 단점이 있다. 따라서, 본 연구에서는 이러한 문제점을 개선할 수 있는 Slit형 강판을 사용하여 전단내력을 보강하는 방법을 제시하고 이 공법의 보강효과를 분석하고자 하였다. 전단경간 내에서 수직 Slit형 강판의 폭, 간격 및 두께를 주요 변수로 하는 13개의 시험체를 제작하였으며, 본 연구의 실험결과 및 기존 띠형 강판으로 전단보강된 RC 보의 실험결과를 비교·분석하고 Slit형 강판공법의 보강효과를 정량적으로 규명하였다. 실험결과, 기존의 개별적 띠형 전단보강방법에 비하여 일체화된 수직 Slit형 강판으로 보강한 경우에 더 높은 전단내력을 보였으며, 이는 강판과 RC 보의 일체성이 높아지고 강판의 부착면적이 증대되기 때문인 것으로 판단된다.

Keywords : Ductility, Shear capacity, Shear Strengthening effect, Slit type, Strap type

핵심 용어 : 연성, 전단내력, 전단보강효과, 슬릿형, 띠형

* 정회원, 에이아이지 건축구조연구소, 소장

** 정회원, 서울시립대학교 건축공학과 교수

E-mail : yleech@korea.com 033-747-2094

• 본 논문에 대한 토의를 2009년 2월 28일까지 학회로 보내 주시면 2009년 5월호에 토론결과를 게재하겠습니다.

1. 서 론

기존 RC 보는 처짐과 균열을 제어하고 강성, 휨내력 및 전단내력을 증가시키기 위하여 보강이 필요하다. 기존 RC 보의 자중증가와 보강으로 인한 모체손상을 최소화하면서 전단내력을 향상시키는 보강방법으로 강판, GFRP 및 CFRP 등의 보강재료를 전단내력이 부족한 RC 보의 표면에 접착하는 방법이 많이 사용되고 있다. 보강재의 형태는 보강면적, 보강재료의 강성과 연성을 중심으로 시공성과 경제성을 고려하여 보의 복부 표면에 전면보강, 부분보강 및 스테럽 처럼 보강재를 불연속적인 띠(Strap) 형태로 적용하고 있다.

그리고 보강재 부착면에서 발생하는 전단거동은 모체 콘크리트와 보강재의 상대적인 재료강도 차이, 에폭시 부착면적 및 보강재 단면적에 따라 보강재 파단, 접착계면에서 보강재가 콘크리트를 몰고 떨어지는 전단박리 및 보강재탈락 등으로 인해 조기파괴하므로 전단보강한 RC 보는 설계전단강도를 발휘하지 못하게 된다. 국내에서 RC 보의 전단연구에 사용된 보강재료는 2000년 전·후하여 주로 Solid 강판과 탄소섬유시트를 사용하였고, 최근에는 인장성능이 우수한 FRP 등을 중심으로 연구하고 있다.⁽¹⁾⁻⁽⁴⁾

기존 연구에서 Solid 강판은 강성이 우수하나 보강 후 파괴양상이 취성적이고, 자중증가와 시공성 개선이 과제였다. 이에 강판에 다양한 크기의 수직 Slit을 내어 강판의 자중을 경감, 강성을 재료적으로 조절, 시공성을 고려한 수직 Slit형 강판을 제시한다. Slit형 강판의 경우 가공비와 실링재는 다소 증가하나 에폭시와 강재량이 감소하는 효과가 있다. 또한 기존 띠(Strap)형 강판보강의 단점인 한정된 에폭시 접착면적과 띠형 강판의 개별적 거동을 Slit형 강판의 일체화 거동⁽⁶⁾⁽⁸⁾으로 보완·개선하였다.

본 연구는 수직 Slit형 강판의 두께, 전단경간비 그리고 형상을 변수로 한 실험결과와 기존 띠형 강판 적용 시 실험결과⁽⁸⁾를 비교·분석하여 기존 전단강도제안식⁽⁶⁾에 근거한 수직 Slit형 강판의 전단보강효과를 규명하고자 한다.

2. 실험

2.1 사용재료 및 실험체 계획

2.1.1 사용재료

콘크리트는 레디믹스드 콘크리트를 사용하였으며, KS F 2405에 따라 공시체 $\varnothing 100 \times 200$ 크기로 총 12개를 제작하였다. 평균압축강도는 23.5MPa이었다. 철근(SD300)과 강재(SS40 0)는 KS B 0802에 따라 직경별, 두께별로 3개씩 제작하였다. 탄소계수는 평균값을 적용하였다. 탄소판은 국내생산제품이며, 재료의 물리적 성질은 Table 1과 같다.

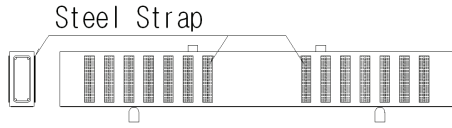
Table 1 재료의 물리적 성질

종 류		항복강도 (MPa)	인장강도 (MPa)	탄성계수 (MPa)
철근	D10	375	492	2.10×10^5
	D6	331	427	1.95×10^5
강판 (mm)	t=2.3	285	465	1.95×10^5
	t=3.2	296	473	
	t=4.5	295	470	
탄소판 (t=1.2mm)		-	3030	1.76×10^5

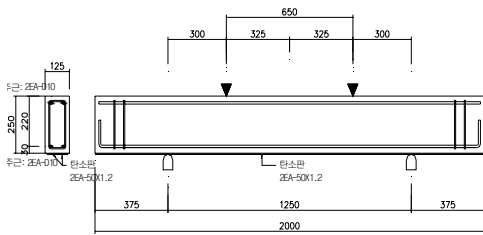
2.1.2 실험체 계획

모든 RC 보 실험체의 단면치수는 125mm×250mm이고, 길이는 2000mm이다. 보의 압축철근과 인장철근은 각각 2개의 D10으로 배근하며, 보의 전 구간에 D6 철근을 50mm간격으로 전단철근을 배근한 CB0-ST1 실험체를 제외한 모든 실험체들은 CB0-ST0 실험체처럼 전단철근을 배근하지 않았다(Fig. 1b).

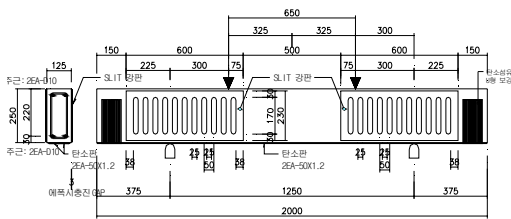
실험체의 1차 보강은 모든 실험체에 대해 전단파괴를 유도하기 위하여 폭 50mm, 두께 1.2mm인 탄소판 2매를 보의 인장측인 하단부 전길이에 나란히 부착하였다. 실험체의 2차 보강은 Table 2에서와 같이 제작한 Slit형 강판(PL-230×600,w/Slit)을 전단경간 300mm의 양측면에 에폭시 주입공법으로 두께 약 3.0mm 이상 간격이 유지되도록 부착한다. 에폭시 주입 전 RC 보와 Slit형 강판의 가장자리는 주입구와 공기배출구를 제외하고 전면실링하며 10시간 이상 실링재 양생 후 에폭시를 주입한다.



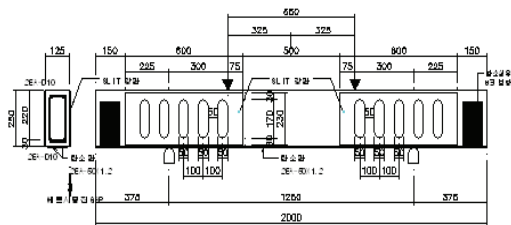
(a) 기존 띠(Strap)형 보강



(b) 실험체 철근배근
(CB0-ST1 제외된 모든 실험체 공통)



(c) SV-25-50 실험체



(d) SV-50-100 실험체

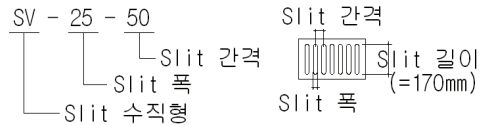
Fig. 1 실험체 형상

SV-25-50(I)과 (II)실험체는 전단경간을 300mm와 400mm로 각각 적용하고, SV-25-50(III)은 전단철근을 배근하지 않은 실험체에 1차 가력으로 사인장균열을 유발하고, 2차 가력전 사전가력으로 발생한 사인장균열에 에폭시를 주입하여 보수한 후 Slit형 강판을 부착·보강한 실험체이다. SV-25-50(IV)와 (V)실험체는 Slit형 강판의 두께를 각각 2.3mm와 4.5mm로

Table 2 실험체의 구분

No	실험체명	플레이트 두께 (mm)	Slit		전단경간 비 a/d	전단철근 비 ($\times 10^{-3}$)	부착보강면적비율	
			폭 (mm)	간격 (mm)				
1	CB0-ST0	-	-	-	1.30	0	-	
2	CB0-ST1	-	-	-	1.30	5.49	-	
3	SV-02-50	3.2	25	50	1.30	0	97	
4	SV-25-50(I)				1.74			
5	SV-25-50(II)				1.30			
6	SV-25-50(III)				1.30			
7	SV-25-50(IV)				1.30			
8	SV-25-50(V)	4.5	25	3.2	25	1.30	0	76
9	SV-25-75	75						
10	SV-50-100	100						
11	SV-50-125	125						
12	SV-120-180	100	180	1.30	0	68		
13	PL-00-00	3.2	00	00	1.30	0	100	54

주) CB0 : 기존 실험체(Control Beam)
ST0 : 전단보강근 무
ST1 : 전단보강근 유(D6@50)
PL-00-00 : Solid Plate 실험체
(기존 보강방법)



적용한 실험체들이다(Fig. 1c). PL-00-00은 기존의 전단보강과 같은 방법으로 제작한 기준실험체이며 Slit형 강판을 적용한 실험체와 동일한 RC 보 조건으로 전단경간내에 Solid 강판을 부착한 실험체이다. 실험체 제작 시 에폭시 양생기간은 7일 이상이며, 양생온도는 15°C 이상 유지되도록 하였다.

2.2 가력 및 측정방법

실험체 하중재하는 50톤 규모의 가력프레임을 사용했다. 로드셀(Loadcell)은 오일잭하부에 장착되며, 로드셀과 가력용 철골보 H-350×350×12×19는 별도로 주문·제작한 힌지구좌에 의하여 고정되었다.

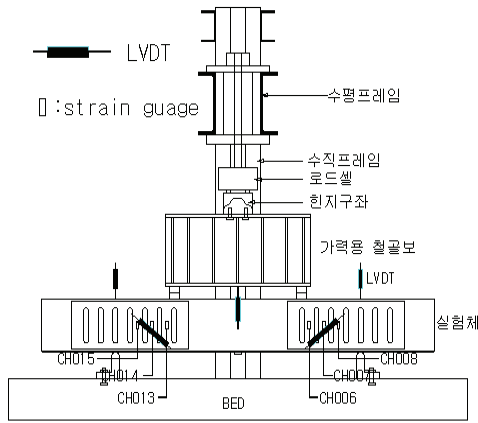


Fig. 2 실험체의 가력 및 측정방법

가력방법은 힌지구좌로 실험체와 가력용 철골보의 수평을 유지하면서 2점재하 단조가력으로 실시하였다. 변위계(LVDT)는 실험체의 수직변위를 측정하기 위하여 중앙부에 1개, 지지점에서의 변위를 관찰하기 위하여 지지점 상부에 2개, 전단경간에서의 사인장균열의 폭을 측정하기 위하여 측면에 2개를 설치하였다.

또한 인장측 탄소판의 항복여부를 측정하기 위하여 중앙부에 스트레인게이지를 부착하였다. Slit의 변형을 측정하기 위하여 Slit의 중앙부에 스트레인게이지를 Slit 강판당 최소 3개 이상 부착하였다. 하중과 처짐 및 스트레인게이지에 대한 변형율은 데이터로거(TDS-601)를 컴퓨터와 연결하고, 하중에 대한 시간 제어방법으로 측정하였다(Fig. 2).

3. 실험결과 및 분석

3.1 실험결과

3.1.1 실험체 파괴양상

각 실험체들의 파괴양상은 Fig. 3 실험체 균열도와 Table 3에서 나타내었다.

기준실험체는 전단보강근의 유무에 따라 거동의 차이를 나타내며 전단파괴하였다. SV-25-50(II) 실험체를 제외하고 모두 가력점과 지지점을 잇는 경사균열 발생과 동시에 균열을 기준으로 Slit 강판이 콘크리트 표면을 물고 떨어지는 부착박리현상의 전단파괴가 발

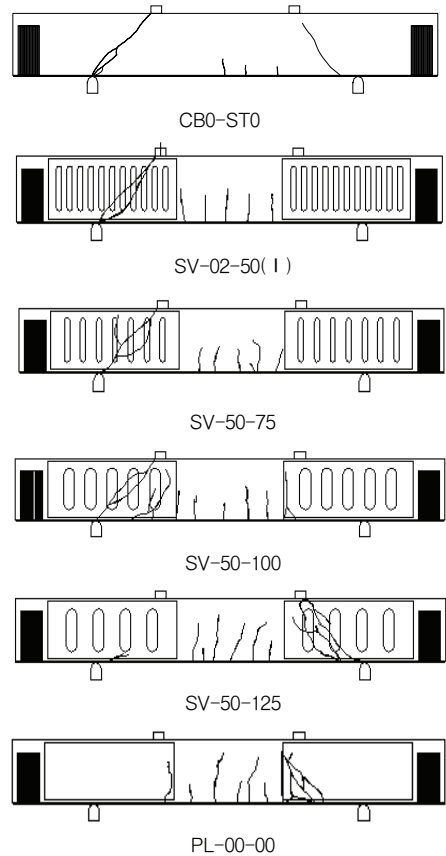


Fig. 3 실험체 균열도

생하였다. 전단경간을 400mm로 적용한 SV-25-50(II) 실험체와 Solid 강판을 부착한 PL-00-00 실험체는 힘파괴 거동을 나타내었다.

3.1.2 하중-처짐 곡선

각 실험체별 하중과 보 중앙부에서 처짐관계는 Table 3과 Fig. 4에 각각 나타내었다.

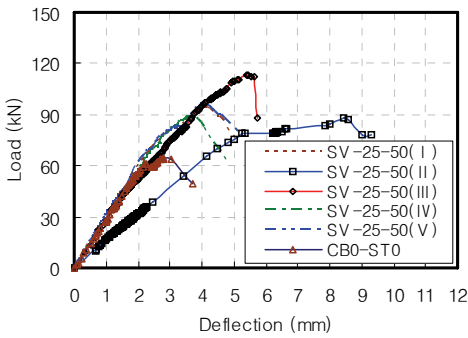
3.1.3 하중-변형도 곡선

각 실험체별 Slit 강판과 인장측 탄소판에서 측정하중-변형도 관계는 Table 3에 나타내었고, Fig. 5는 SV-25-50(IV)와 SV-50-100 실험체에 대한 Slit 강판 중앙부에서의 전형적인 하중-변형도 관계곡선이다. 모든 Slit 강판의 변형도는 탄성범위내에 머물렀다.

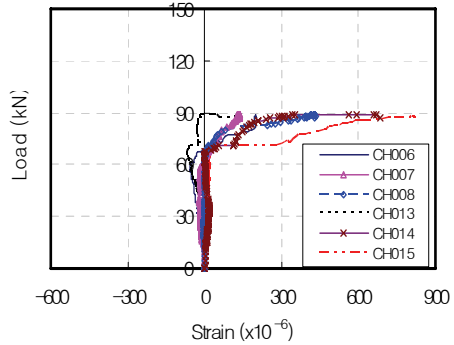
Table 3 실험결과

No	실험체명	V_{crack} (kN)	V_y (kN)	δ_y (mm)	V_{max} (kN)	δ_{max} (mm)	연성비	ϵ_s ($\times 10^{-6}$)	$\epsilon_{max,cf}$ ($\times 10^{-6}$)	파괴 양상
1	CB0-ST0	-	60.85	2.210	64.97	2.810	1.27	-	1245	전단
2	CB0-ST1	34.33	108.95	5.765	116.21	7.290	1.26	-	2931	전단
3	SV-02-50	35.45	108.85	4.210	124.12	6.885	1.64	179	2733	전단
4	SV-25-50(I)	24.03	85.80	3.500	94.14	3.985	1.14	298	2156	전단
5	SV-25-50(II)	23.54	79.30	5.235	87.96	8.410	1.61	311	3415	휨
6	SV-25-50(III)	-	102.90	4.565	113.27	5.455	1.19	418	2154	전단
7	SV-25-50(IV)	20.60	83.30	3.175	89.06	3.625	1.14	811	2100	전단
8	SV-25-50(V)	25.16	83.40	3.375	96.41	4.100	1.21	268	2150	전단
9	SV-25-75	35.31	95.60	3.810	106.89	6.410	1.68	379	2450	전단
10	SV-50-100	33.20	98.85	4.300	116.33	6.600	1.53	376	1604	전단
11	SV-50-125	34.57	99.60	4.115	122.09	5.865	1.43	888	2599	전단
12	SV-120-180	34.33	67.55	2.485	82.38	3.240	1.30	598	1719	전단
13	PL-00-00	34.82	105.35	4.160	122.16	6.060	1.46	197	2590	휨

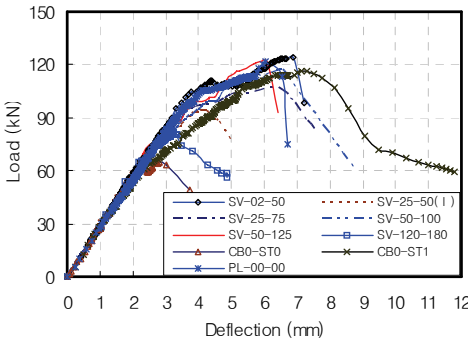
V_{crack} : 초기균열발생시 전단력, V_y , δ_y : 항복시 전단력 및 처짐 ϵ_s : 강판의 최대변형도
 V_{max} , δ_{max} : 최대전단력 및 최대처짐 $\epsilon_{max,cf}$: 최대전단시 인장측 탄소판변형도



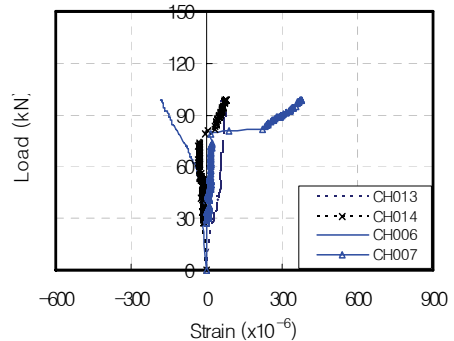
(a) SV-25-50(I~V) 실험체



(a) SV-25-50(IV) 실험체



(b) SV시리즈와 기준실험체의 비교



(b) SV-50-100 실험체

Fig. 4 하중-처짐 곡선

Fig. 5 하중-변형도 곡선

3.2 보강효과분석

3.2.1 Slit 강판의 두께변화

SV-25-50(I)-3.2T, (IV)-2.3T 및 (V)-4.5T 실험체들의 인장축 탄소판 변형도는 유사하였다. 최대전단내력의 경우 (I)과 (V)실험체가 (IV)보다 약1.06배와 약1.08배 각각 크게 나타났다.(Fig.6) 연성비는 (I)과 (IV)실험체가 약1.14, (V)실험체는 약1.21로 Slit 강판이 두꺼울수록 다소 크게 나타났다. Slit 강판의 변형도의 경우 (I)과 (V)실험체는 유사한 값으로 미소한 변형도를 나타냈으나 (IV)- 2.3실험체는 (I)과 (V)보다 약 2.86배 크게 변형한 후 강판이 콘크리트를 물고 떨어졌다.

따라서 강판두께가 두꺼울수록 전단내력과 연성비가 다소 크게 나타났으며, 사인장균열의 발달과 더불어 강판이 콘크리트를 물고 떨어지는 박리파괴로 인하여

실험체들의 전단내력은 큰 차이를 나타내지 못한 것으로 확인되었다.

3.2.2 전단경간비 변화 및 사전가력 유무

SV-25-50(I)과 (II)실험체의 전단경간비는 각각 약 1.30과 약 1.74이다. 전단내력은 (II)보다 (I)실험체가 약 1.07배 크게 나타났다.(Fig. 7)

사인장균열 유발 후 균열보수 및 Slit 강판으로 보강하고 재가력 한 (III)실험체의 전단내력은 (I)보다 약 20% 증가하였다.(Fig. 8)

전단경간비에 따라 Slit 강판의 형상을 조절하므로 RC 보의 휨파괴거동은 전단파괴에서 휨파괴로 유도가 가능하며, 전단손상을 입은 보에 Slit 강판을 적용할 경우 설계전단내력의 확보가 가능한 것으로 확인되었다.

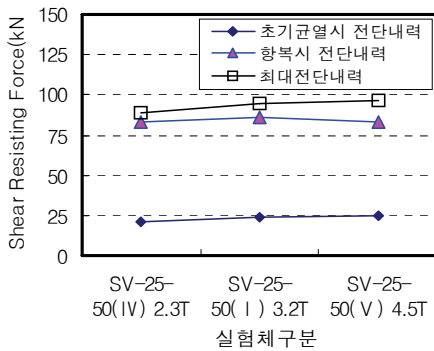


Fig. 6 Slit 강판두께에 따른 내력비교

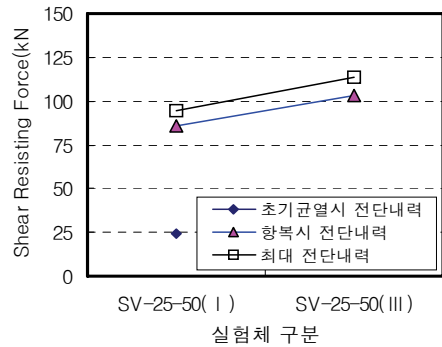


Fig. 8 사전가력유무에 따른 내력비교

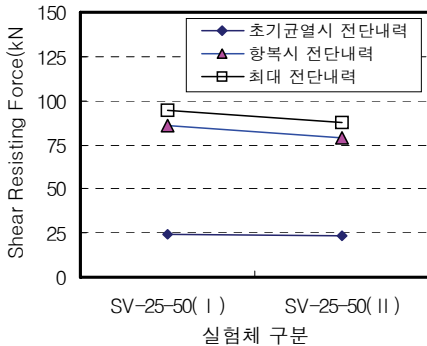


Fig. 7 전단경간비에 따른 내력비교

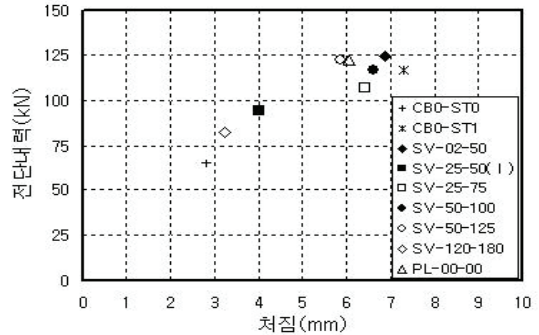


Fig. 9 SV 실험체들의 전단내력비교

3.2.3 Slit의 폭과 간격변화

Fig. 9는 Slit형 강판의 형상에 따른 전단내력과 최대처짐을 표기한 것으로 SV-25-75실험체를 제외한 모든 실험체는 전단경간내 강판부착면적이 증가할수록 전단내력이 상승하였다.

4. 전단내력분석

4.1 실험과 기존식에 의한 분담전단내력

수직 Slit형 강판으로 전단보강된 RC 보에 대한 전단내력식은 아직까지 연구된 경우가 없으므로 기존 띠형 강판을 적용한 전단내력식을 통하여 평가한다. 실험에 의하면 전단파괴 시 보강한 Slit형 강판이 항복하기 보다는 강판이 콘크리트를 물고 떨어지는 전단박

리파괴를 나타내었다. 본 연구에서 전단설계내력식(V_n)은 ACI식에 의한 콘크리트의 전단내력(V_c)과 전단철근 전단내력(V_s) 그리고 부착한 강판의 전단내력(V_{PL})의 합으로 식(1)과 같이 산정한다.

$$V_n = V_c + V_s + V_{PL} \quad (1)$$

$$V_c = [3.5 - 2.5(\frac{M}{V \cdot d})] \cdot [0.16 \sqrt{f_{ck}} + 17.6 \rho_w \frac{V \cdot d}{M}] \cdot b \cdot d \quad (2)$$

$$V_s = \frac{A_v}{s} \cdot [1 + \frac{l_n}{12}] \cdot f_y \cdot d \quad (3)$$

Table 4 본 실험과 S. Altin⁽⁶⁾의 띠형 강판실험 비교 일람

실험	실험체명	b (mm)	d (mm)	a/d	l _n (mm)	인장 주철근		전단철근		f _{ck} (MPa)	강판크기 (BxHxt,mm)	띠판 간격 (mm)					
						ρ _{w,t} (x10 ⁻³)	f _{y,t} (MPa)	ρ _s (x10 ⁻³)	f _{y,s} (MPa)								
본 실험	CB0-ST0	125	230	1.30	1250	4.94 (2개- D10) + 4.17 (2개-1. 2x50, 탄소판)	375	331	23.5	-	-	-					
	CB0-ST1	125	230	1.30									0.00	0.00	600x230x3.2	50	
	SV-02-50	125	230	1.30									5.49	0.00	600x230x3.2	50	
	SV-25-50(I)	125	230	1.30									0.00	0.00	600x230x3.2	50	
	SV-25-50(II)	125	230	1.74									0.00	0.00	600x230x3.2	50	
	SV-25-50(III)	125	230	1.30									0.00	0.00	600x230x3.2	50	
	SV-25-50(IV)	125	230	1.30									0.00	0.00	600x230x2.3	50	
	SV-25-50(V)	125	230	1.30									0.00	0.00	600x230x4.5	50	
	SV-25-75	125	230	1.30									0.00	0.00	600x230x3.2	75	
	SV-50-100	125	230	1.30									0.00	0.00	600x230x3.2	100	
	SV-50-125	125	230	1.30									0.00	0.00	600x230x3.2	125	
SV-120-180	125	230	1.30	0.00	0.00	600x230x3.2	180										
PL-00-00	125	230	1.30	0.00	0.00	600x230x3.2											
S. A l t i n 실험	T-Beam-1	120	335	4.30	3800	7.36 (3개- D20)	414	275	25.8	-	-	-					
	T-Beam-2	120	335	4.30									2.24	0.56	27.0	-	-
	T-Beam-3	120	335	4.30									0.56	0.56	27.6	40x285x4.0	80
	T-Beam-5	120	335	4.30									0.56	0.56	26.5	40x285x4.0	40
	T-Beam-6	120	335	4.30									0.56	0.56	26.5	150x285x4.0	150
	T-Beam-8	120	335	4.30									0.56	0.56	25.6	150x285x4.0	75
	T-Beam-9	120	335	4.30									0.56	0.56	26.7	150x285x4.0	-
	T-Beam-10	120	335	4.30									0.56	0.56	26.0	310x285x4.0	310
	T-Beam-11	120	335	4.30									0.56	0.56	26.4	150x285x4.0	467

주) t: 강판두께, 강판의 항복강도와 탄성계수(4.0mm) = 261.0MPa, 188x10³MPa

띠(Strap)형 강관의 전단내력식, A. Sharif

$$V_{PL} = \frac{2[\tau_{ave}(\frac{t_s h_s}{2})]d}{S_p} \quad (4)$$

Solid형 강관의 전단내력식, A. Sharif

$$V_{PL} = 2[\tau_{ave}(\frac{dh_w}{2})] \quad (5)$$

여기서, s_p 는 띠강관의 간격(mm), t_s 는 띠강관의 폭(mm), h_s 는 띠강관의 높이(mm), d 는 보의 유효 깊이(mm), h_w 는 Solid 강관의 높이(mm), τ_{ave} 는 에폭시의 평균전단응력(MPa)이다.

A. Sharif et al.⁽⁶⁾은 강관과 콘크리트 계면에서 띠(Strap)형과 Solid 강관의 박리시점을 강관단부의 최대계면전단응력(τ_{max})이 $\tau_{ult}(=3.5MPa)$ 에 도달할때로 가정하여 산정하였다. 그리고 실험에 의해 평가된 띠형 강관의 평균전단응력(τ_{ave})은 1.2MPa로, Solid 강관의 τ_{ave} 는 0.8MPa로 각각 균등분포하는 것으로 적용하였다. S. Altin et al.⁽⁸⁾은 강관의 전단하중전달성능 산정 시 계면에서 연결부파괴는 에폭시의 전단강도초과에서 시작하는 것으로 가정하였다. 제조업체가 보증하는 에폭시의 극한전단응력은 3.0MPa로 적용하였고, 강관측 에폭시의 전단분포가 콘크리트측에서 강재를 고정하는 접착응력과 유사한 것

Table 5 콘크리트, 전단철근 및 강관의 분담전단내력에 대한 분석결과

실험	실험체명	실험값				이론값(ACI식 + A.Sharif 식 ⁽⁶⁾)				파괴양상
		Vc ¹⁾ (kN)	Vs ²⁾ (kN)	V _{PL} ³⁾ (kN)	Vn (kN)	Vc (kN)	Vs (kN)	V _{PL} (kN)	Vn (kN)	
본 실험	CB0-ST0	64.97	0.00	-	64.97	55.54	0.00	-	55.54	전단
	CB0-ST1	64.97	51.24	-	116.21	55.54	46.93	-	102.47	전단
	SV-02-50	64.97	0.00	59.15	124.12	55.54	0.00	60.94	116.48	전단
	SV-25-50(I)	64.97	0.00	29.17	94.14	55.54	0.00	31.74	87.28	전단
	SV-25-50(II)	64.97	0.00	22.99	87.96	55.54	0.00	31.74	87.28	휨
	SV-25-50(III)	64.97	0.00	48.30	113.27	55.54	0.00	31.74	87.28	전단
	SV-25-50(IV)	64.97	0.00	24.09	89.06	55.54	0.00	31.74	87.28	전단
	SV-25-50(V)	64.97	0.00	31.45	96.41	55.54	0.00	31.74	87.28	전단
	SV-25-75	64.97	0.00	41.92	106.89	55.54	0.00	42.32	97.86	전단
	SV-50-100	64.97	0.00	51.36	116.33	55.54	0.00	31.74	87.28	전단
	SV-50-125	64.97	0.00	57.12	122.09	55.54	0.00	38.00	93.54	전단
	SV-120-180	64.97	0.00	17.41	82.38	55.54	0.00	21.16	76.70	전단
PL-00-00	64.97	0.00	57.19	122.16	55.54	0.00	42.32	97.86	휨	
S. A l t i n 실험	T-Beam-1	90.40		-	90.40	104.60		-	104.60	휨
	T-Beam-2	55.30		-	55.30	53.50		-	53.50	전단
	T-Beam-3	55.30		25.70	81.00	53.50		32.60	86.10	전단
	T-Beam-5	55.30		28.30	83.60	53.50		48.20	101.70	휨
	T-Beam-6	55.30		24.60	79.90	53.50		48.20	101.70	전단
	T-Beam-8	55.30		24.80	80.10	53.50		63.50	117.00	전단
	T-Beam-9	55.30		33.30	88.60	53.50		64.60	118.10	휨
	T-Beam-10	55.30		32.20	87.50	53.50		64.10	117.60	휨
	T-Beam-11	55.30		29.40	84.70	53.50		64.10	117.60	전단

Vc¹⁾ = Vu (CB0-ST0 실험체의 최대전단강도)

Vs²⁾ = Vu - Vc(CB0-ST1 실험체의 최대전단강도에서 CB0-ST0 실험체의 최대전단강도를 뺀 값)

V_{PL}³⁾ = Vu - Vc(각 실험체의 최대전단강도에서 CB0-ST0 실험체의 최대전단강도를 뺀 값)

으로 평가하였다. 그리고 에폭시의 평균전단응력(τ_{ave})은 설계 시 띠형 강판과 Solid 강판에 대하여 1.2 MPa과 0.8MPa로 각각 적용하였다.

Table 4에서는 본 실험과 S. Altin et al.⁽⁸⁾의 실험체 조건 및 변수들을 나타냈으며, Table 5에서는 RC 보의 전단내력에 대한 실험값과 이론값을 각각 산정하므로 강판의 분담전단내력을 분석하였다.

4.2 수직 Slit 강판의 전단내력평가

A. Sharif et al.⁽⁶⁾의 제안식은 S. Altin et al.⁽⁸⁾의 실험결과를 적용하면 띠형 강판 전단내력의 경우 실험값/이론값의 비가 평균 0.51로 산정되었으며, A. Sharif의 제안식은 실험값과 큰 차이를 보였다(Fig. 10). 즉 실험결과에 비하여 이론값을 지나치게 과대평가하는 경향을 보였다.

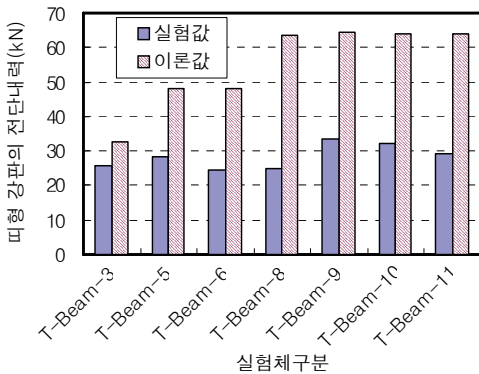


Fig. 10 S. Altin⁽⁸⁾ 띠형 강판의 전단내력비교

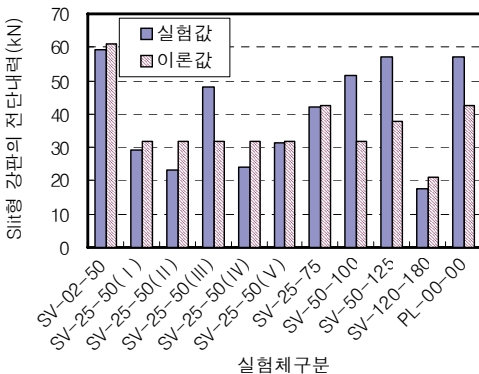


Fig. 11 본 실험 Slit형 강판의 전단내력비교

그러나 수직 Slit형 강판으로 전단보강 한 본 실험결과를 A. Sharif⁽⁶⁾의 제안식에 적용한 경우 실험값/이론값의 비가 1.11로 산정되어 오히려 제안식은 본 실험결과와 근사하였다.(Fig. 11)

전단경간비가 1.74인 SV-25-50(II)실험체는 휨과 피 거동을 하였고 Slit의 전단박리가 발생하지 않았다. 강판두께 2.3mm인 SV-25-50(VI)실험체의 Slit 강판은 (I)과 (V)보다 약2.86배 큰 변형도를 나타내었으나 최대전단내력은 약20.52% 감소하였다(Fig.11). SV-25-50 시리즈의 경우 강판의 두께가 두꺼울수록 전단내력은 증가하였다. 따라서 부착할 강판의 높이두께비를 70미만으로 제한하여야한다.

또한 SV-50-100의 부착보강면적비율은 Solid 강판대비 65%로 SV-25-50 시리즈의 64%와 유사하며 이 경우 A. Sharif의 내력식 적용 시 실험체의 이론 전단내력값은 동일하게 산정된다. 그러나 실제 실험에서 SV-50-100의 실험전단내력값은 SV-25-50(I)과 (V)보다 약22.10% 크게 나타났다. 그리고 SV-50-125의 실험전단내력값도 SV-25-50(I)과 (V)보다 약 28.14% 크게 나타났으며, Solid 강판과 유사한 실험전단내력값과 휨 거동을 보였다. 두 실험체의 경우 수직 Slit형 강판내 띠판의 가로폭(t_s)은 기준폭인 25mm보다 큰 50mm(2배)와 75mm(3배)로 각각 적용하였으며 동시에 Slit 폭도 25mm에서 50mm로 2배 증가하였음에도 불구하고 실험전단내력값은 A. Sharif식에 의한 이론값보다 1.30배 이상 크게 나타났다.

따라서 수직 Slit형 강판의 전단보강효과를 증가시키기 위해서는 강판의 단면적 고려 시 강판두께의 증가와 더불어 콘크리트와의 부착면적에 크게 의존하므로 Slit형 강판내 띠판의 가로폭과 Slit 폭을 모두 증대시키는 것이 효과적이며, 또한 이 같은 효과는 수직 Slit형 강판설계 시 계면의 평균전단응력(τ_{ave})을 띠형 강판의 경우보다 큰 3.5MPa의 적용이 가능한 것으로 본 실험결과에서 확인하였다.

5. 결론

본 연구를 통하여 수직 Slit형 강판으로 RC 보를 전단보강한다면 띠(Strap)형 강판에 비하여 큰 강성

과 부착성능으로 기존 Solid 강판보강에 준하는 전단 내력의 보강효과를 얻을 수 있음을 확인하였고, 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) SV-02-25, SV-50-100 및 SV-20-125실험체는 CB0-ST1(기준 실험체) 및 PL-00-00(기존 Solid 강판보강)실험체와 유사한 휨거동을 하였다. 또한 SV-50-100과 SV-50-125실험체의 수직 Slit형 강판의 실험전단내력은 A. Sharif의 제안식을 적용한 설계전단강도보다 약1.62, 약1.50배 각각 큰 값을 나타내었다.
- 2) 최대전단력 시 최대처짐에 대한 항복 시 처짐의 비(연성비)의 경우 SV-02-50은 약1.64, SV-50-100은 약1.53, SV-50-125는 약1.43으로 Solid 강판 실험체인 PL-00-00의 연성비 약1.46과 유사하게 나타났다.
- 3) 기존 S. Altin et al.이 수행한 띠형 강판을 적용한 경우 실험값/이론값의 비는 평균 0.51이고, 본 실험과 같이 수직 Slit형 강판을 적용한 경우 실험값/이론값의 비가 평균 1.11로 평가되어 본 실험은 A. Sharif의 내력제안식과 유사한 결과를 나타냈다.
- 4) 수직 Slit형 강판 설계 시 강판의 단면적은 강판두께의 증가와 더불어 콘크리트와의 예폭시 부착면적에 크게 의존하므로 Slit형 강판내 띠판의 가로폭(t_s)을 키워 강판과 콘크리트의 부착보강면적을 확보하여야하며 Slit 폭은 띠판의 가로폭 크기 정도로 고려하여 강판의 연성을 확보하여야한다.
- 5) 수직 Slit형 강판 설계 시 4)항과 같이 적용하면 예폭시의 평균전단응력(τ_{ave})은 띠형 강판의 경우보다 큰 3.5MPa의 적용이 가능한 것으로 사료된다.

참고문헌

1. 백승민, 김우식, 박윤근 “손상을 받은 RC 보의 전단 보강 효과에 관한 실험적연구”, 대한건축학회논문집, 20권, 2호, 2004년, pp. 47-54.
2. 신영수, “탄소섬유쉬트에 의한 철근콘크리트 보의 전단강도효과”, 대한건축학회논문집, 15권, 9호, 1999년, pp. 11-18.
3. 신성우, 반병렬, 이광수, 조인철, 남정희, “탄소섬유쉬트로 보강한 R/C 보의 전단거동에 관한 연구”, 한국구조물진단학회, 제2권, 제3호, 1998년, pp. 205-211.
4. 이용택, 이리형, “탄소섬유쉬트로 보강된 철근콘크리트 보의 전단강도에 관한 연구”, 대한건축학회논문집, 16권, 1호, 2000년, pp. 11-17.
5. 이춘호, 심종석, 권기혁, “Slit형 강판으로 보강한 철근콘크리트 보의 전단거동에 관한 실험연구”, 한국방재학회, 제8권, 4호, 2008년, pp. 1-8.
6. A. Sharif, G. J. Alsulaimani, I. A. Basunbul, M. H. Baluch and M. Husain, “Strengthenin-g of shear damaged RC beams by external bonding of steel plates”, Magazine of Concrete Reseach, 1994, 47, No. 173, pp. 329-334.
7. R. A. Barnes, G. C. Mays, “Strengthening of reinforced concrete beams in shear by the use of externally bonded steel plates : Part 2- Design guidelines”, Construction and Building Materials, 20, 2006, pp. 403-411.
8. S. Altin, O. Anil, E. Kara, “Improving shear capacity of existing RC beams using external bonding of steel plates”, Engineering Structures, 27, 2005, pp. 781-791.
9. ACI Committee 318, “Building Code Requirements for Structural Concrete (ACI 318-05) and Commentary (ACI 318R-05)”, ACI 2004.

(접수일자 : 2008년 10월 5일)

(심사완료일자 : 2008년 12월 1일)