

Slit形 강판으로 補強한 철근콘크리트 보의 전단거동에 관한 실험연구

An Experimental Study on the Shear Behavior of Reinforced Concrete Beams Strengthened with Slit Type Steel Plates

이춘호* · 심종석** · 권기혁***

Lee, Choon Ho · Shim, Jong Seok · Kwon, Ki Hyuk

Abstract

RC beam of existing structures often encounter shear problems for various reasons. The shear failure of RC beam is sudden and brittle. Strengthening technique jacketing with external bonding of steel plates(or CFRP and CFS) with epoxy is many use to in practice. This study presents test results on strengthening shear deficient RC beams by external bonding of slit type steel plates. Test parameters are width, interval, length, thickness and angle of slit in steel plates. The purpose was to evaluate the reinforcing effects, failure modes and shear capacities for RC beams of strengthened with various slit type steel plates. The test result confirmed that all slit steel plates improved the stiffness and strength of the specimens significantly. Failure modes of SV series and SD series showed shear fractures and flexure fractures at ultimate state respectively. SD series were ductile rather than SV series.

Key words : Strengthening shear, Slit, Cut-off delamination, Strength, Ductile fracture

요 지

기존 구조물의 RC 보는 전단내력이 부족한 경우가 빈번히 발생하며, RC 보의 전단파괴거동은 갑작스럽고 취성적이다. 자중의 증가를 줄이면서 전단성능을 향상시키는 보강방법으로 강판, 탄소 판 및 탄소섬유시트 등과 같은 보강재료를 사용하여 전단내력이 부족한 기존 RC 보의 표면에 고성능 접착제로 부착하는 방법이 실무에서 가장 많이 적용되고 있다. 본 연구는 보강재료로 강판을 사용하며, 보강재료의 형태는 Slit의 크기와 모양으로 다양하게 변화시키고 유닛화하였다. 총 16개 실험체에 대하여 전단보강근의 유무, Slit의 형상, 강판두께 등을 변수로 한 실험을 통하여 Slit형 강판으로 전단보강한 RC보에 대한 보강효과, 파괴성상 및 전단내력을 비교·분석하였다. 실험결과 파괴모드는 수직형 Slit(SV시리즈)실험체는 전단파괴를 하였고, 경사형 Slit(SD시리즈)실험체는 휨파괴 양상을 나타내었다. SV시리즈 실험체는 사인장 균열발생과 동시에 Slit 강판이 콘크리트 표면을 물고 떨어지는 부착박리 파괴거동으로 콘크리트 조기파괴를 하였다. SD시리즈 실험체들은 Solid 강판을 부착한 실험체보다 다소 큰 강성과 전단내력을 나타냈다. RC 보의 휨거동을 연성적으로 유도하기 위한 전단보강방법은 경사형 Slit 강판의 적용이 효율적이었다.

핵심용어 : 전단보강, 슬릿, 부착박리거동, 내력, 연성파괴

1. 서 론

철근콘크리트 구조물은 재료, 시공, 설계의 오류, 노후화, 용도변경에 의한 사용하중의 증가 또는 리모델링 공사 등의 이유로 인하여 부재강성 및 내력이 부족한 경우가 빈번히 발생한다. RC 보의 파괴양상은 휨파괴 또는 전단파괴로 나타난다. 부재설계 시 RC 보를 급작스러운 취성적인 전단파괴를 피하고, 연성적인 파괴거동을 하도록 설계하고있다. 기존 RC 보의 자중을 크게 증가시키지 않고, 보강으로 인한 모체손상을 최소화하면서 전단강성 및 전단내력을 향상시키는 보강방

법으로 강판, 유리섬유, 아라미드섬유 및 탄소섬유계열의 보강재료를 전단내력이 부족한 RC 보의 표면에 직접 접착하는 방법이 실무에서 많이 사용되고 있다. 보강재의 형태는 보강면적, 보강재료의 강성과 연성을 중심으로 경제성과 시공성을 고려하여 보의 복부 표면에 전면보강, 부분보강 및 스티립처럼 보강재를 불연속적인 띠(Strip) 형태로 적용하고 있다. 그러나 보강재료 각각의 물성을 고려한 접착식 전단보강방법에 대한 연구는 부족한 실정이다. 또한, 설계는 주로 보강재를 완전부착으로 가정하여 보강재의 내력을 평가하고 있다. 보강재료와 모체인 철근콘크리트표면의 부착은 에폭시를 사용한

*정회원 · 서울시립대학교 건축학부 건축공학전공 박사수료 (E-mail: kleech@hanmail.net)

**정회원 · 동서울대학 건축과 부교수

***정회원 · 서울시립대학교 건축학부 건축공학전공 교수

다. 강판과 같은 보강재료는 시공성을 확보하기 위하여 캐미칼앵커를 사용한다. 실제로 보강재 부착면 내단부에 발생하는 전단파괴거동은 모체 콘크리트와 보강재의 상대적인 재료강도 차이, 에폭시 충전면적 및 보강재면적에 따라 접착계면의 박리 및 보강재탈락 등으로 인하여 설계시 완전부착으로 가정하여 강도설계법으로 구한 설계강도를 발휘하지 못하는 경우가 흔히 발생한다.

국내에서는 조재열(2002)이 강판과 콘크리트 계면의 거동을 연구하였고, 심종성(1998)이 FRP로 보강된 RC보의 전단보강효과, 백승민(2004)은 구조적으로 손상을 받은 RC보의 전단보강효과 실험연구를 각각 수행하였다. 해외에서는 Sinan Altin (2005)이 락형 강판을 이용하여 RC보의 보강성능을 연구하였고, P. S. Baglin(2001)은 강판을 부착한 RC보의 전단내력을 평가하였다.

본 연구에서 사용된 보강재료는 강성과 연성이 우수한 구조용강판이고, 보강형태는 보강용강판의 자중을 줄이면서 구조성능과 시공성을 개선할 수 있도록 강판에 다양한 크기의 구멍(Slit)을 일정한 간격으로 배치하는 Slit형 강판을 선정하였다. Slit형 강판의 적용은 기존 락(strip)형 전단보강의 단점을 보완한 에폭시 접착면적의 증대와 보강재의 일체화로 인하여 연성거동의 향상이 기대된다. 본 논문에서는 전단보강근의 배근 유무에 따른 기준 실험체와 Slit 강판의 형상, 강판 두께 등을 변수로 한 전단보강근이 배근되지 않은 실험체의 실험을 통하여 Slit형 강판보강 RC 보에 대한 보강효과, 파괴성상 및 전단내력을 비교·분석한다

2. 실험

2.1 사용재료

콘크리트는 레디믹스드 콘크리트를 사용하였으며, KS F 2405에 따라 공시체 $\varnothing 100 \times 200$ 크기로 총 12개를 제작하였다. 평균압축강도는 23.5 MPa이었다. 철근(SD300)과 강재(SS400)는 KS B 0802에 따라 직경별, 두께별로 3개씩 제작하였다. 탄성계수는 평균값을 적용하였다. 탄소판은 국내생산제품이며, 재료의 물리적 성질은 표 1과 같다.

표 1. 재료의 물리적 성질

종류		항복강도 (MPa)	인장강도 (MPa)	탄성계수 (MPa)
철근	D10	375	492	2.1×10^5
	D6	368	485	
강판 (mm)	t = 2.3	285	465	1.95×10^5
	t = 3.2	296	473	
	t = 4.5	295	470	
탄소판 (t = 1.2 mm)		-	3030	1.76×10^5

2.2 실험체의 제작

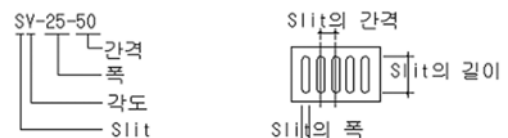
보강 전 모든 RC 보 실험체의 단면치수는 125 mm \times 250 mm이고, 길이는 2,000 mm이다. 보의 압축철근과 인장철근은 각각 2개의 D10으로 배근하였으며, 전단보강철근은 보

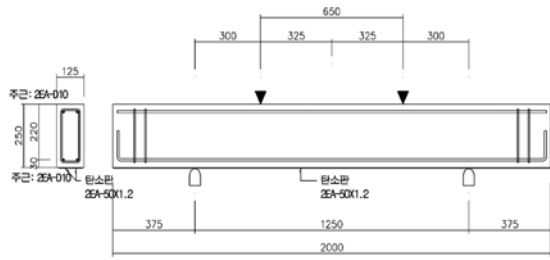
의 전구간에 D6철근을 50 mm간격으로 배근한 CB0-ST1 실험체(그림 1. b)를 제외한 모든 실험체들은 전단경간내에 전단보강근을 배근하지 않았다(그림 1. a). 실험체의 1차보강은 모든 실험체에 대해 전단파괴를 유도하기 위하여 폭 50 mm, 두께 1.2 mm인 탄소판 2매를 보의 인장측인 하단부 전길이에 나란히 부착하였다. 실험체의 2차보강은 표 2에서와 같이 제작된 Slit형 강판을 전단경간 300 mm의 양측면에 에폭시 주입공법으로 두께 약 3.0 mm 이상의 간격이 유지되도록 부착하였으며, Slit형 강판은 두께, 폭, 간격 및 각도를 변수로 하였다. SV-25-50(I)과 SV-25-50(II) 실험체는 전단경간을 300 mm와 400 mm로 각각 조절하였고, SV-25-50(III) 실험체는 전단무보강 실험체에 1차가력으로 사인장균열을 유발시키고, 2차가력 전 Slit형 강판으로 보강한 실험체이다(그림 1. c). SD 실험체는 그림 1. d와 같이 Slit을 45도 각도로 제작하였고, PL-00-00 실험체는 기존의 전단보강방법인 Solid 강판을 부착한 실험체이다. 에폭시 양생기간은 7일 이상으로, 양생온도는 15°C 이상이 되도록 유지하였다.

표 2. 실험체의 종류

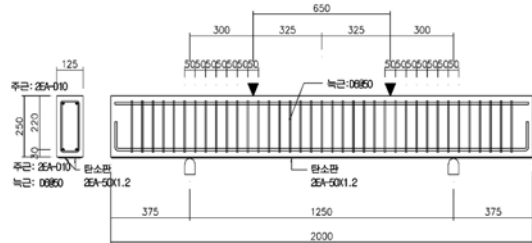
No	실험체명	플레이트 두께 (mm)	Slit				전단보강 철근 유무	부착보강면적 비율	
			폭 (mm)	간격 (mm)	길이 (mm)	각도 (°)			
1	CB0-ST0	-	-	-	-	-	무	-	
2	CB0-ST1	-	-	-	-	-	유	-	
3	SV-02-50	3.2	2	50	170	90	무	97	
4	SV-25-50(I)		25					64	
5	SV-25-50(II)		25						
6	SV-25-50(III)		25						
7	SV-25-50(IV)	2.3	25	3.2	75	170	90		무
8	SV-25-50(V)	4.5	25						
9	SV-25-75	25	75						
10	SV-50-100	50	100						
11	SV-50-125	50	125	170	90	무	65		
12	SV-120-180	100	180				68		
13	SD-02-50	3.2	2	50	238	45	무	97	
14	SD-25-50		25	50	230			66	
15	SD-25-75		25	75	230			77	
16	PL-00-00	3.2	00	00	-	-	무	100	

주) CB0: 기준 실험체(Control Beam),
ST0: 전단보강근 무, ST1: 전단보강근 유,
SV: 수직형 Slit, SD: 경사형 Slit
PL-00-00: Solid Plate 실험체(기존 보강방법)

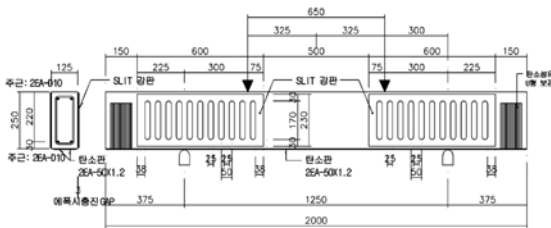




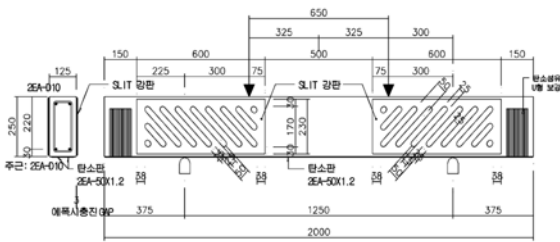
a) 실험체 철근배근 및 탄소판보강



b) CB0-ST1(전단보강근 D6@50 배근)



c) 수직형 Slit 실험체



d) 경사형 Slit 실험체

그림 1. 실험체의 형상

2.3 가력 및 측정방법

실험체 하중재하는 50톤 규모의 가력프레임을 사용했다. 로드셀(Loadcell)은 오일재하부에 장착되며, 로드셀과 가력용 철골보 H-350 × 350 × 12 × 19는 별도로 주문·제작한 힌지구좌에 의하여 고정되었다. 가력방법은 힌지구좌로 실험체와 가력용 철골보의 수평을 유지하면서 2점재하 단조가력으로 실시하였다. 실험체 수직변위를 측정하기 위하여 실험체 중앙부에 변위계(LVDT)를 설치하였고, 지지점에서의 변위를 관찰하기 위하여 지지점 상부에 각각 2개의 변위계를, 전단경간에서의 사인장균열의 폭을 측정하기 위하여 그림 2와 같이 설치하였다. 인장측 탄소판의 항복여부를 측정하기 위하여 중앙부에 스트레인게이지를 부착하였다. 또한 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 시간제어방법으로 측정하였다.

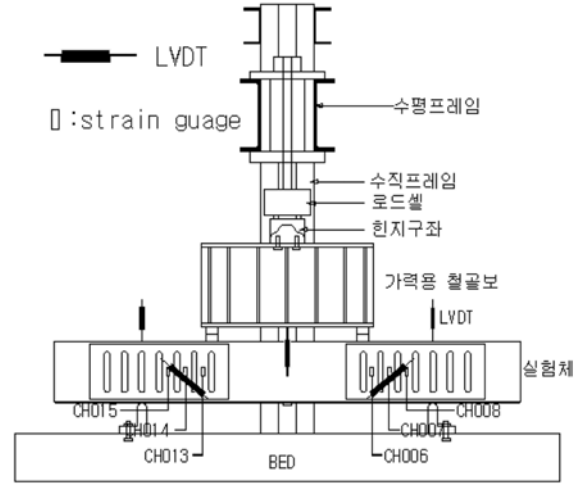


그림 2. 실험체의 가력 및 측정방법

3. 실험결과 및 고찰

3.1 실험체의 파괴양상

표 3과 그림 3은 각각의 실험체에 대한 초기균열하중, 최대하중, 최대하중 시 변위, 파괴양상 및 파괴 후 대표적인 균열형상을 나타내었다.

표 3. 실험체의 하중, 처짐 및 파괴양상

No	실험체명	P_{crack} (kN)	P_{max} (kN)	δ_{max} (mm)	파괴양상
1	CB0-ST0	-	129.9	2.810	전단
2	CB0-ST1	68.65	232.4	7.290	전단
3	SV-02-50	70.90	248.2	6.885	전단
4	SV-25-50(I)	48.05	188.3	3.985	전단
5	SV-25-50(II)	47.07	175.9	8.410	휨
6	SV-25-50(III)	-	226.5	5.455	전단
7	SV-25-50(IV)	41.19	178.1	3.625	전단
8	SV-25-50(V)	50.31	192.8	4.100	전단
9	SV-25-75	70.61	213.8	6.410	전단
10	SV-50-100	66.39	232.7	6.600	전단
11	SV-50-125	69.14	244.2	5.865	전단
12	SV-120-180	68.65	164.8	3.240	전단
13	SD-02-50	61.98	243.3	7.415	휨
14	SD-25-50	58.84	259.6	5.955	휨
15	SD-25-75	82.38	233.0	6.180	휨
16	PL-00-00	69.63	244.3	6.060	휨

주) P_{crack} : 초기균열하중, P_{max} : 최대하중
 δ_{max} : 실험체 스패 중앙에서의 처짐

기준 실험체들은 전단보강근 유무에 따라 거동의 차이를 보였으며, 보 중앙 하단부의 휨균열 발생이후 중국에는 가력점과 지지점을 잇는 경사균열이 급격하게 발달하면서 전단 파괴 양상을 나타냈다. 수직형 Slit인 SV시리즈 실험체에서는 SV-25-50(II)실험체를 제외하고 모두 가력점과 지지점을 잇는 경사균열 발생과 동시에 균열을 기준으로 Slit 강판이 콘크리트 표면을 물고 떨어지는 부착탈락현상의 전단파괴가 발생하

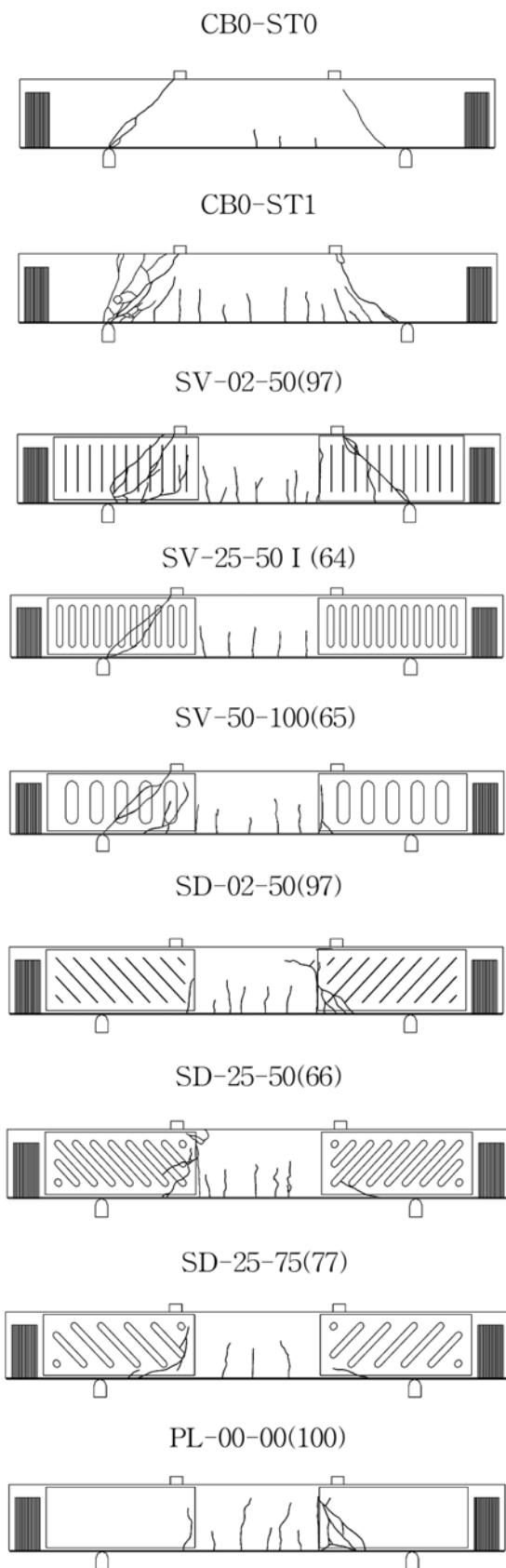


그림 3. 실험체 균열상황

였으며, SV-25-50(II)실험체는 전단경간 400 mm로 조절된 실험체로 휨파괴가 발생하였다. 45도 경사형 Slit인 SD시리즈 실험체에서는 가력점 하단부 인장측 콘크리트의 휨균열 발생

과 동시에 강판 단부에서 강판이 콘크리트의 표면을 물고 떨어지는 파괴 및 압축측 콘크리트의 파괴로 휨파괴 거동을 보였다. Solid 강판을 부착한 PL-00-00실험체에서도 경사형 Slit 실험체와 유사한 거동을 나타내었다.

3.2 하중-처짐 관계

CB0-ST1 기준 실험체는 CB0-ST0 기준 실험체와 유사한 초기강성을 보였고 전단보강근으로 인하여 전단내력은 78.86% 크게 나타났다. PL-00-00(100)실험체는 강판의 보강 효과로 기준 실험체들보다 큰 강성을 나타냈으나 강판이 콘크리트표면을 물고 떨어지는 부착탈락현상으로 최대하중 이후 급격한 전단내력감소를 보였다(그림 4).

SV-25-50I~V(64)시리즈 실험체의 하중과 처짐관계는 그림 5와 같다. Slit 강판의 두께를 각각 2.3 mm(IV), 3.2 mm(I), 4.5 mm(V)로 다르게 적용한 실험체는 유사한 강성을 나타냈으며, 두께가 두꺼운 강판이 다소 큰 전단내력과 처짐을 보였다. I실험체는 전단경간비(a/d)가 1.25로 전단파괴 양상을 나타냈으며, II실험체는 전단경간비가 1.67로 인장측 탄소판의 격한 박리와 동시에 휨파괴양상을 보였다. 또한 보강 전 1차가력으로 발생한 가력점과 지지점을 잇는 사인장균열을 Slit으로 보강하고 양생한 후 2차가력을 실시한 SV-25-50III실험체는 I, IV, V실험체보다 강성은 다소 작았으나 전단내력은 각각의 실험체들보다 20.30%, 27.20%, 17.50% 크게 나타났다.

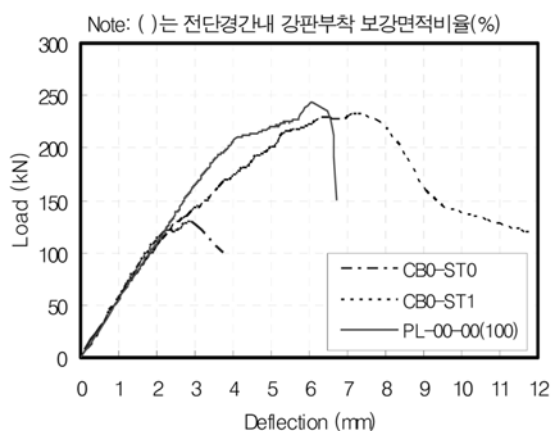


그림 4. 기준 실험체 하중-처짐 관계

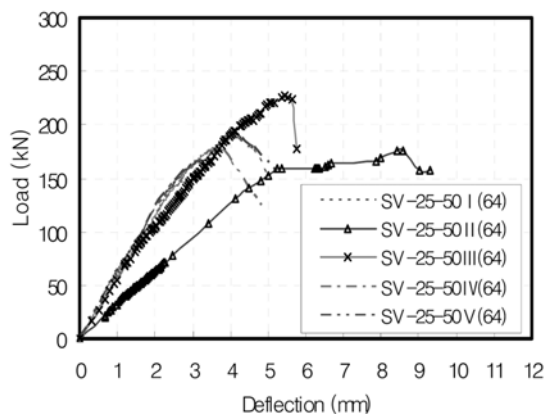


그림 5. SV-25-50시리즈 하중-처짐 관계

SV시리즈 실험체의 하중-처짐관계는 그림 6과 같다. SV-120-180(54)실험체를 제외한 모든 실험체들은 하중 150kN까지 유사한 강성으로 휨거동하였다. SV-120-180(54)실험체는 다소 작은 강성으로 최대하중과 최대하중시 처짐은 164.8 kN과 3.24 mm를 각각 나타냈다. SV-120-180(54)실험체와 SV-25~50I(64)실험체의 최대하중시 처짐은 비교적 작은 전단내력을 보이며, 타실험체들보다 42.20%~53.00% 작았다. SV-25-75(76)실험체와 SV-50-100(65)실험체는 비슷한 하중-처짐 관계를 보였다. SV-02-50(97)실험체는 SV시리즈 중 큰 강성을 보이며, 전단내력이 가장 크게 나타났다. SV-50-125(68)실험체는 SV-02-50(97)실험체보다 강성은 적었으나 전단내력은 유사하게 나타났다.

SD시리즈 실험체들의 하중-처짐관계는 그림 7과 같다. SD-25-50(66)실험체는 다른 실험체들보다 비교적 큰 강성과 전단내력을 보였다. SD-25-50(66)실험체와 SD-25-75(77)실험체는 PL-00-00(100)과 유사하게 거동하였다. SD-02-50(97)실험체는 최대하중시점까지 SD시리즈의 다른 실험체와 PL-00-00(100)보다 다소 큰 연성능력을 나타내었다.

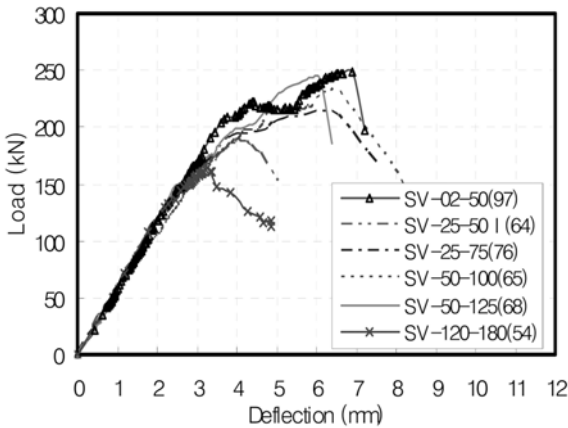


그림 6. SV시리즈 하중-처짐 관계

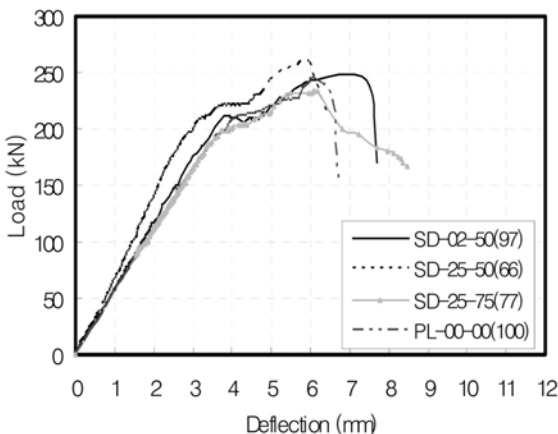


그림 7. SD시리즈 하중-처짐 관계

3.3 하중-변형도 관계

그림 8은 실험체 하단부 인장측 탄소판의 변형도이고, Slit의 변형도는 표 4 및 그림 9와 같다.

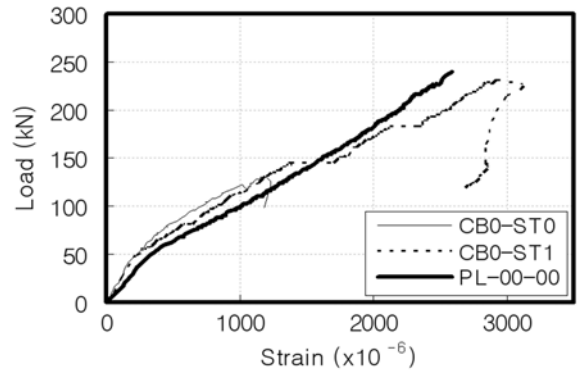


그림 8. 인장측 탄소판의 하중-변형도

표 4. 하중과 변형도에 대한 실험결과

No	실험체명	P_{max} (kN)	$\epsilon_s (\times 10^{-6})$	$\epsilon_{max,cf} (\times 10^{-6})$
1	CB0-ST0	129.9	-	1245
2	CB0-ST1	232.4	-	2931
3	SV-02-50	248.2	179	2733
4	SV-25-50(I)	188.3	298	2156
5	SV-25-50(II)	175.9	311	3415
6	SV-25-50(III)	226.5	418	2154
7	SV-25-50(IV)	178.1	811	2100
8	SV-25-50(V)	192.8	268	2150
9	SV-25-75	213.8	379	2450
10	SV-50-100	232.7	376	1604
11	SV-50-125	244.2	888	2599
12	SV-120-180	164.8	598	1719
13	SD-02-50	243.3	206	2892
14	SD-25-50	259.6	643	2634
15	SD-25-75	233.0	395	2591
16	PL-00-00	244.3	197	2590

주) P_{max} : 최대하중, ϵ_s : Slit 강판의 변형도
 $\epsilon_{max,cf}$: 최대하중에서 인장측 탄소판의 변형도

SV-25-50I~V(64)실험체의 경우 Slit의 변형도는 극한하중의 74.00%인 CB0-ST0실험체의 최대전단내력값과 같은 하중까지는 미소하게 변형하였다. 그러나 사인장균열 발생시점을 기준하여 변형도는 일시적으로 급격한 증가를 보이면서 Slit 강판으로의 추가 전단응력부담과 동시에 강판이 콘크리트표면을 물고 떨어지는 부착탈락박리현상과 함께 강판의 변형도는 감소하거나 변화가 없었다.

SV시리즈 실험체의 경우 Slit의 변형도는 SV-120-180(54) 실험체를 제외하고, 하중의 범위 150 kN에서 218 kN까지는 미소하게 변형하였고 사인장균열 발생 이후의 변형은 SV-25-50I~V(64)실험체에서와 같은 양상을 나타냈다. SV-120-180(54)는 SV-25-50IV(64)와 유사한 변형거동을 했다.

SD시리즈 실험체들의 경우 Slit의 변형도는 최대하중의 85%까지는 아주 적게나마 변형량을 나타내었다. 그리고 실험체들은 경사형 Slit의 우수한 사인장균열 제어성능으로 Solid 강판과 유사한 휨 파괴거동을 하였다. Slit 강판의 변형

도는 기력접하부 인장측 코너 가장자리에서 L자 모양으로 강판이 콘크리트표면을 물고 떨어지는 박리거동을 하였고, 특정 부분에 국부적으로 집중되었다.

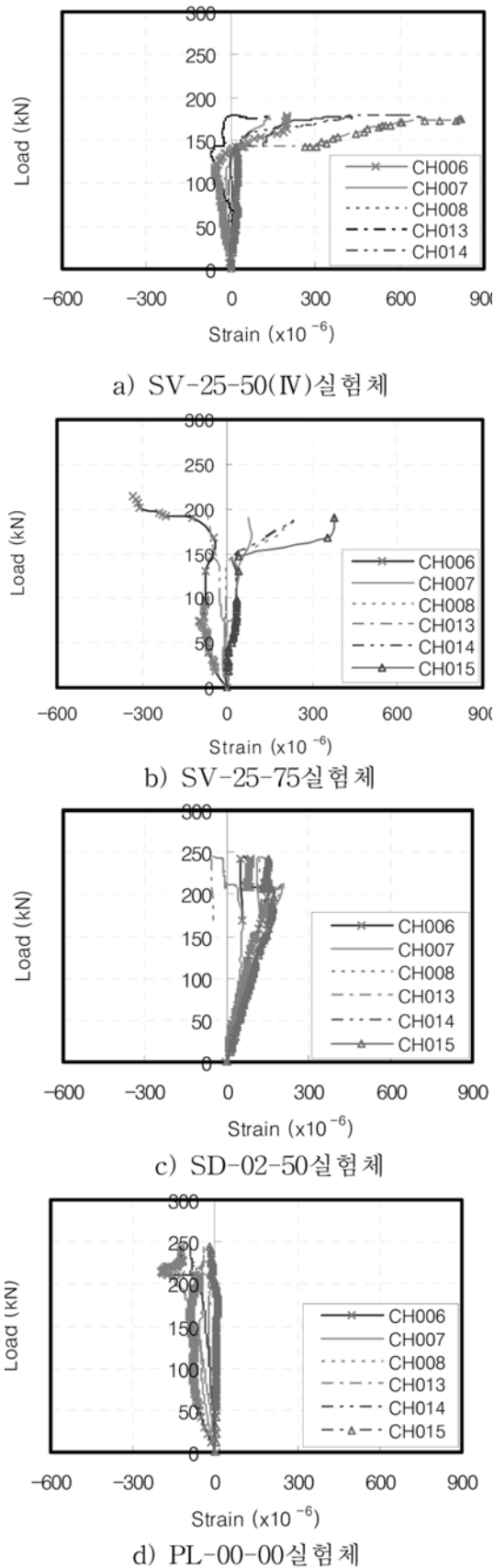


그림 9. Slit의 하중과 변형관계

3.4 실험체 유형별 보강효과 분석

3.4.1 Slit 강판의 두께변화

SV-25-50(64)시리즈 중 I, IV 및 V 실험체는 동일한 Slit 강판의 형태로 강판두께를 40%씩 변화시켰다. I과 V 실험체는 IV 실험체보다 최대하중은 각각 1.06배와 1.08배 높게 나타났으며, 최대하중시 처짐도 각각 1.10배와 1.13배 크게 나타났다. 강판의 변형은 2.3 mm 두께의 IV 실험체가 다소 크게 변형하였다(그림 10). I, IV와 V 실험체의 최대하중은 기준 실험체인 CB-ST0 보다 평균 43.50% 높게 나타났으며, 기준 실험체 CB0-ST1과 PL-00-00(100)보다는 평균 20.00%와 23.70% 각각 낮게 나타났다(그림 13).

따라서 Slit 강판 두께변화에 따른 실험체들 간의 보강효과는 큰 차이를 나타내지 않았다. 이는 3개 실험체에서 전단경간내 사인장균열의 발생과 동시에 Slit 강판이 콘크리트표면을 물고 떨어지는 박리로 파괴되었기 때문인 것으로 확인되었다.

3.4.2 전단경간비 변화 및 사전가력 유무

SV-25-50(64)시리즈 중 I과 II 실험체는 전단경간비(a/d)가 각각 1.25와 1.67을 적용한 경우이다. I 실험체의 최대하중은 II 실험체보다 1.07배 높게 나타났고, 처짐은 52.60% 작았다(그림 10, 13). 또한, 파괴양상도 I 실험체는 전단파괴를 II 실험체는 휨파괴로 각각 나타났다. I과 II 실험체들의 최대하중은 기준 실험체인 CB-ST0 보다 평균 40.10% 높게 나타났으며, 기준 실험체 CB0-ST1과 PL-00-00(100) 실험체보다 평균 21.60%와 25.40% 각각 낮게 나타났다.

사전가력한 SV-25-50III(64) 실험체는 I(64) 실험체 보다 최대하중은 1.20배 높게 나타났고, 처짐도 1.37배 크게 나타났다(그림 10, 13). 또한 III 실험체의 최대하중은 기준 실험체인 CB-ST0보다 74.30% 높게 나타났으며, 기준 실험체 CB0-ST1과 PL-00-00(100) 실험체보다 2.50%와 7.30% 각각 낮게 나타났다. 따라서 1차가력시 발생한 사인장 균열면에 에폭시를 주입하여 균열을 보수하고 Slit 강판보강을 할 경우 2차가력시 전단내력이 향상됨을 확인하였다.

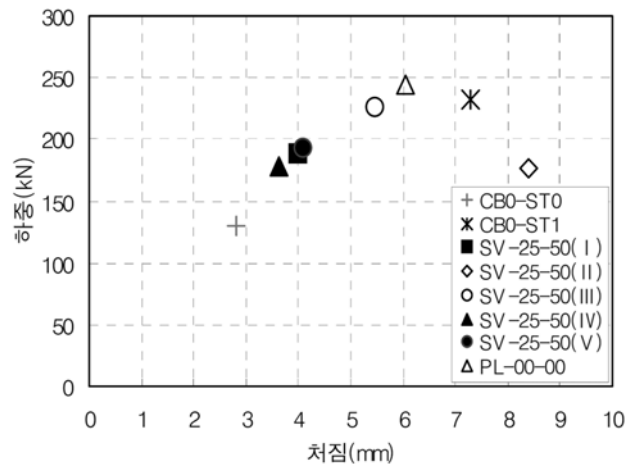


그림 10. SV-25-50(I~V) 실험체들의 비교

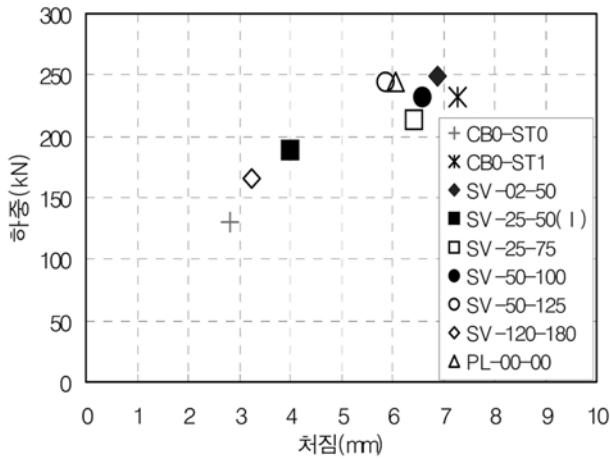


그림 11. SV 시리즈 실험체들의 비교

3.4.3 SV 시리즈 : 수직 Slit의 폭과 간격변화

SV-02-50(97)실험체는 SV-25-50I(64)실험체보다 최대하중과 처짐이 각각 1.32배와 1.72배 크게 나타났다(그림 11, 13). Slit 간격을 1.50배 증가시킨 SV-25-75(76)실험체는 SV-25-50I(64)실험체보다 최대하중과 처짐은 각각 1.13배와 1.60배 크게 나타났다. Slit 폭과 간격을 모두 2배씩 증가시킨 SV-50-100(65)실험체는 SV-25-50I(64)실험체보다 최대하중과 처짐은 각각 1.23배와 1.65배 크게 나타났다. Slit 간격을 1.25배 증가시킨 SV-50-125(68)은 SV-50-100(65)보다 최대하중은 1.05배 높게 나타났고 처짐은 11.20% 작게 나타났다. SV-120-180(54)과 SV-25-75(76)의 최대하중은 CB0-ST0보다 각각 26.80%와 64.50% 높게 나타났다. SV-25-75(76)의 최대하중은 CB0-ST1과 PL-00-00(100)보다 각각 8.00%와 12.50% 작게 나타났다.

SV-50-100(65)과 SV-50-125(68)의 최대하중은 CB0-ST0 실험체보다 각각 79.10%와 87.90% 높게 나타났으며, CB0-ST1 및 PL-00-00(100) 실험체와 유사한 전단내력을 보였다.

3.4.4 SD 시리즈 : Slit의 각도변화

Slit의 각도를 사인장균열의 직각방향인 45도 경사로 변화시킨 SD-02-50(97)은 SV-02-50(97)과 유사한 최대하중과 처짐을 나타냈으나, 파괴양상은 휨파괴로 서로 다른 거동양상을 보였다. SD-25-50(97) 실험체의 최대하중과 처짐은 SV-25-50 I (64) 실험체에 비하여 각각 1.38배와 1.49배 높게 나타났다(그림 12, 13). 또한 파괴양상은 휨파괴를 나타내었다. SD-25-75(77)의 최대하중과 처짐은 SV-25-75(76)와 유사하게 나타났으나 파괴양상은 다른 SD시리즈 실험체들과 같은 휨파괴를 나타내었다. 따라서 Slit의 각도를 수직형(SV)이 아닌 예상 사인장균열의 직각방향(SD)으로 변화시켜 보강할 경우, SD시리즈의 적용은 동일한 조건의 SV시리즈보다 다소 큰 휨강성과 전단내력의 확보가 가능하다.

또한 SD시리즈는 우수한 사인장균열 제어능력을 보였으며, 그 결과 보의 파괴양상은 SV시리즈에서 나타난 전단파괴와는 다른 휨파괴거동을 나타냈다. 그리고 SD시리즈 Slit을 적용할 경우 보의 휨거동은 취성파괴가 아닌 연성파괴로의 유

도가 가능한 것으로 확인되었다.

3.4.5 SD 시리즈 : 경사 Slit의 폭과 간격변화

Slit의 간격이 1.50배 큰 SD-25-75(77)의 최대하중은 SD-25-50(66)보다 10.00% 작게 나타났고, 처짐은 1.04배 크게 나타났다(그림 12, 13). Slit의 폭이 2 mm인 SD-02-50(97)의 최대하중은 SD-25-50(66)보다 6.20% 작게 나타났고, 처짐은 1.24배 크게 나타났다. SD시리즈 실험체의 최대하중은 기준 실험체 CB0-ST0보다 평균 1.89배 크게 나타났고 SB0-ST1과 PL-00-00(100)의 최대하중과 유사하게 나타났다.

Slit의 폭과 간격변화는 전단경간내의 Slit 강판의 단면적 차이와 함께 에폭시의 부착면적을 좌우한다. SD시리즈 실험체는 강판과 에폭시 부착면적을 줄이면서 Solid 강판을 부착한 실험체인 PL-00-00(100)과 유사한 강성, 내력 및 파괴양상을 발휘할 수 있는 것으로 비교되었다.

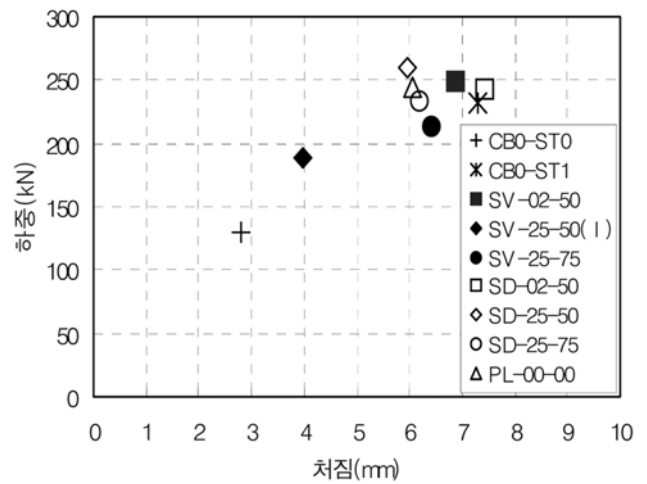


그림 12. SD 시리즈 실험체들의 비교

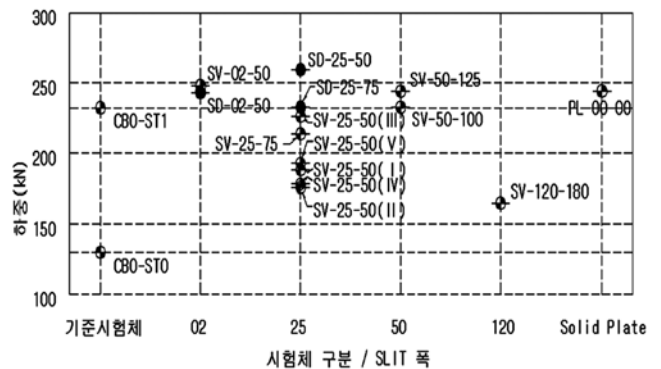


그림 13. 실험체의 최대하중 비교

4. 결 론

본 연구는 Slit형 강판으로 보강한 철근콘크리트 보의 전단 보강효과를 규명하기 위하여 Slit형 강판의 두께와 Slit의 폭, 간격, 길이 및 각도를 변수로 하였고, Slit의 형태에 따라 전단경간내 강판의 강성과 전단보강면적이 달리 적용된 RC 보들에 대한 실험연구이다. Slit형 강판을 보강한 실험체와 기준

실험체 간의 파괴성상 및 전단거동을 비교·분석하여 보강효과에 대한 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) Slit 강판의 두께를 변화시킨 SV-25-50(64)시리즈 중 I, IV 및 V실험체와 기준실험체 CB0-ST0의 최대전단내력을 비교시 각각 1.45배, 1.37배 및 1.48배의 보강효과를 나타냈다. Slit 강판두께를 40.00%씩 증가함에 따른 전단내력의 증가는 평균 4.00%정도로 나타났다. 실험체들은 유사한 휨거동으로 전단파괴양상을 보였다. 강판의 두께를 변화시킬경우 Slit 강판이 콘크리트표면을 물고 떨어지는 조기파괴의 방지대책이 필요한 것으로 판단된다.
- (2) SV시리즈 중 SV-25-50(64)시리즈의 전단내력이 낮게 나타난 원인은 타실험체들에 비하여 이른 초기균열의 발생으로 휨거동이 진행됨에 따라 Slit 강판이 콘크리트와 조기박리된 것으로 보인다. SV-25-75(76)를 제외하고 전단경간내 보강량이 증가할수록 큰 전단내력을 나타냈다. SV-50-100(65) 및 SV-50-125(68) 실험체는 PL-00-00(100) 및 CB-ST1실험체와 유사한 보강효과를 나타냈으며, 최대전단내력과 최대하중시 처짐도 유사한 값을 보였다.
- (3) SD시리즈 실험체의 최대전단내력은 기준 실험체 CB0-ST0보다 1.79배~2.00배의 보강효과를 나타냈다. 파괴모드에서도 SV시리즈는 전단파괴, SD시리즈는 휨파괴양상으로 각각 나타났다.
- (4) Slit형 강판을 보강한 실험체들은 전단파괴 뿐만 아니라 휨파괴의 경우에도 종국에는 강판이 RC 보의 콘크리트 표면을 물고 떨어지는 박리파괴현상을 보였다. RC 보의 연성적인 휨거동을 유도하기 위한 전단보강방법은 45도경사형 Slit 강판(SD시리즈)의 적용이 효율적인 것으로 판단된다.

향후 콘크리트의 부착박리파괴거동을 고려한 실험식 및 전단내력 평가식의 개발이 필요하다.

감사의 글

이 연구는 동서울대학 산업기술연구소 및 (주)선진하이픽스의 연구비지원과 은서보강기술(주)의 도움으로 수행되었으며 이에 감사드립니다.

참고문헌

- 백승민 외 2명 (2004) 구조적 손상을 받은 RC보의 전단보강 효과에 관한 실험적연구. 대한건축학회논문집, 대한건축학회.
- 심중성 외 1명 (1998) FRP로 보강된 RC보의 전단보강효과 비교연구. 한국콘크리트학회논문집, 한국콘크리트학회, 제10권, 제4호.
- 이광명 외 3명 (2001) 강판으로 보강된 RC보의 에폭시-콘크리트 계면의 부착특성. 한국콘크리트학회논문집, 한국콘크리트학회.
- 정현수 외 3명 (1997) 보강재를 사용한 철근콘크리트 보의 휨·전단내력에 관한 실험적연구. 한국구조물진단학회논문집, 한국구조물진단학회, 제1권, 제1호.
- 조재열 외 2명 (2002) 강판과 콘크리트 접촉계면의 파괴거동 및 박리특성. 한국콘크리트학회논문집, 한국콘크리트학회.
- Bimal B. Adhikary et al. (2006) Shear strengthening reinforced concrete beams using various techniques. *Construction and Building Materials*, Vol. 20.
- Hiroshi Mutsuyoshi et al. (2000) Shear strengthening concrete beams using steel plates bonded on beam web. *Construction and Building Materials*, Vol. 14.
- P. S. Baglin et al. (2001) External steel plate systems for shear strengthening of reinforced concrete beams. *Engineering Structures*, Vol. 23.
- Sinan Altin et al. (2005) Improving shear capacity of existing RC beams using external bonding of steel plates. *Engineering Structures*, Vol. 27.

- ◎ 논문접수일 : 08년 05월 30일
- ◎ 심사의뢰일 : 08년 06월 03일
- ◎ 심사완료일 : 08년 07월 24일