앵커볼트 체결 Slit형 강판 보강 RC보의 전단거동에 관한 실험적 연구

이춘호^{1)*} · 정우동²⁾ · 심종석³⁾

¹⁾에이아이지 건축구조연구소 ²⁾(주)이서종합건축사사무소 ³⁾동서울대학 건축과

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

Choon-Ho Lee,^{1)*} Woo-Dong Jeong,²⁾ and Jong-Seok Shim³⁾

¹⁾AIG Architectural Structure Research and Engineering Co., Wonju 220-950, Korea

²⁾E-seo Architects & Planners Ltd., Wonju 220-938, Korea

³⁾Dept. of Architecture, Dongseoul College, Seongnam 461-714, Korea

ABSTRACT Reinforced concrete beams of existing structure often encounter insufficient shear problems for various reasons. Application of steel plates is one of widely used methods for shear strengthening of reinforced concrete beams that are insufficient of shear capacity. This study presents test results on strengthening shear deficient RC beams by external bonding of vertical and diagonal slit type steel plates with anchor bolt. Test parameters are width, interval, angle and length of slits with anchor bolt. The purpose was to evaluate the failure modes and shear capacities for RC beams strengthened by various slit type steel plates with anchor bolt. The results showed that the slit type steel plate specimens strengthened by adhesive bonding and bolting failed in shear fracture modes at maximum load. Flexural crack first occurred on the tension face of beam and then inclined cracks occurred on the shear span. Finally, slit type steel plates strengthened by adhesive bonding and fastening bolts managed to delay abrupt debonding and didn't detach fully from main body of RC beam.

Keywords : slit type steel plates, anchor bolt, shear capacity, shear fracture modes, shear span, adhesive bonding and bolting

1. 서 론

1.1 연구의 목적

경제발전과 더불어 건축물의 대형화와 장스팬화로 철근콘크리트 보는 바닥판에 작용하는 사용하중의 증가에 민감하게 반응하며, 휨 거동은 휨 파괴 또는 전단파괴양상을 나타낸다. 부재설계 시 철근콘크리트 보는 급작스럽고 취성적인 전단파괴를 피하고, 연성적인 휨 파괴거동을 하도록 설계하고 있다.¹⁾ 기존 철근콘크리트 보의 보강설계는 과하중에 의해 손상을 입은 부재²⁾나 용도변경 시 추가된 하중으로 인하여 더 큰 설계강도가 요구되어진 건전한 부재를 대상으로 이루어진다. 현재 건축구조실무에서는 보의 보강에 의한 자중의 증가와 모체손상을 최소화하는 보강방법으로 강판, 유리섬유, 아라미드 섬유, 탄소섬유시트 및 탄소판 등의 보강재료를 내력이 부족한 철근콘크리트 보의 인장축이나 복부 표면에 에폭

시로 부착하는 방법을 주로 사용하고 있다.¹⁻⁹⁾ 보강된 철근콘크리트 보의 거동에 대한 대부분의 연구는 인장축 휨 보강을 중심으로 다양하게 진행되었으나³⁾ 전단보강의 경우는 그 중요성에 비해 미비한 실정이다. 전단보강재의 선정과 형태는 보강면적, 보강재료의 강성과 연성, 경제성과 시공성을 고려하여 보의 복부 표면에 전면보강, 부분보강 방법 및 스티럽과 같은 보강재를 불연속적인 띠(strap)형으로 적용하고 있다.⁷⁻⁹⁾

실제 보강재와 부착면 내단부에서 발생하는 전단거동은 모체인 철근콘크리트 보와 보강재의 상대적인 재료강도 차이, 에폭시의 성능, 에폭시 부착면적 및 보강재의 단면적에 따라 보강재의 파단, 계면에서 보강재가 콘크리트를 물고 떨어지는 전단 박리파괴 및 보강재의 탈락등으로 나타나고,⁴⁾ 이러한 파괴로 인하여 전단보강된 철근콘크리트 보의 설계전단강도를 발휘하지 못하게 된다.⁷⁻⁹⁾

기존 연구에서 솔리드 강판을 전단보강재로 적용할 경우 문제점은 강성이 우수하나 보강 후 파괴양상이 취성적이고, 자중 증가와 시공 신뢰성의 확보 등에 있었다. 여기서 강판에 다양한 크기의 구멍(slit)을 내어 강판의 자중경감 및 강판의 강성을 연성화함과 아울러, 시공성과 경제성을 함께 도모할 수 있는 슬릿형 전단보강용 강

*Corresponding author E-mail: kleechee@hanmail.net

Received May 3, 2010, Revised August 20, 2010,

Accepted September 1, 2010

©2010 by Korea Concrete Institute

판을 착안하였다. 또한 슬릿형 강판의 적용은 기존 띠(strap)형 전단보강의 단점인 제한된 에폭시 부착면적과 띠형 강판의 개별적 거동을 슬릿형 강판의 일체화된 거동으로 보완하고 개선할 수 있다.^{5,6)} 따라서 이 연구의 목적은 슬릿형 강판을 앵커볼트로 체결한 후 에폭시로 부착보강한 철근콘크리트보의 전단실험을 통하여 전단보강된 철근콘크리트보의 슬릿형 강판의 형상에 따른 보강 효과 및 내력의 평가를 위한 기초자료를 제시하는데 있다.

1.2 전단거동의 개요

일반적인 철근콘크리트 보의 거동은 휨인장균열이 먼저 발생하여 보의 수직방향으로 어느 정도까지 파급된 후 전단응력에 의하여 45도에 가까운 경사방향으로 발전하는 휨-전단균열의 형태가 된다.

전단보강되지 않은 보에서 휨-전단균열이 발생하였을 때 전단력(V_c)은 Fig. 1과 같이 균열이 발생하지 않은 압축역에서 콘크리트가 지지하는 전단력 V_{cz} 와 균열 양면에서 골재의 맞물림작용(interlock action)에 의하여 전달되는 전단력 V_{ay} 및 인장철근의 장부작용(dowel action)에 의한 전단력 V_d 의 조합에 의하여 지지되므로 아래와 같이 나타낸다.

$$V_c = V_{cz} + V_{ay} + V_d \quad (1)$$

사인장균열이 발생하면 스티럽은 인장저항성능으로 전단저항을 증진시킬 뿐만 아니라 균열의 벌어짐을 억제하

Fig. 1 Strength of RC beam strengthened by stirrups and slit type steel plates

여 골재의 맞물림 작용의 효율을 높이고 인장철근을 수직으로 지지하여 장부작용에 의한 전단저항성능을 크게 하는 역할을 한다. 스티럽으로 전단보강된 보에 사인장균열이 발생하였을 때 힘의 분포는 Fig. 1(a)와 같이 전단보강 되지 않은 보에서의 힘의 분포에 스티럽이 지지하는 전단력 V_s 가 추가되는 형태이다.

$$V_n = V_{cz} + V_{ay} + V_d + V_s \quad (2)$$

이 연구는 스티럽과 유사한 역할을 하는 수직 및 경사 슬릿형 강판을 사인장균열이 발생할 가능성이 있는 철근콘크리트 보의 측면에 부착하므로 전단내력을 증대할 목적으로 Fig. 1(a)와 같이 전단철근이 배근된 보에서 힘의 분포에 Slit형 강판이 지지하는 전단력 V_{pl} 이 추가되는 형태로 Fig. 2와 같이 나타낼 수 있다.

$$V_n = V_{cz} + V_{ay} + V_d + (V_s + V_{pl}) \quad (3)$$

2. 실험

2.1 실험체 계획

에폭시 부착과 앵커볼트 체결 Slit형 강판은 Table 1과 Figs. 3~5와 같은 형상으로 제작하여 RC 보의 전단경간 4개면에 콘크리트 표면을 와이어브러쉬를 사용 표면처리를 하여 RC 보의 제작과정에서 발생한 표면의 불순물을 깨끗하게 제거하고, 콘크리트면과 3 mm이상의 간격이 유지되도록 앵커볼트(HSA M6 × 50) 6개를 사용하여 강판을 콘크리트면에 체결하고 테두리에 에폭시 주입구와 공기배출구를 제외하고 실링한다.

실링재가 양생이 되면 3 mm 간격사이에 에폭시를 주입구로 주입하여 공기배출구 상부로 에폭시가 넘치도록 밀실하게 채우고 7일이상의 양생기간동안 실내온도를 15°C 이상을 유지하여 에폭시를 양생한다.

Fig. 2 Distribution of inner shear force in RC beam strengthened by steel plates

Table 1 Summary of specimens

No.	Specimens	Plate thickness (mm)	Slit				$\rho_v (\times 10^{-3})$	a/d	η (%)
			Width (mm)	Spacing (mm)	Length (mm)	Angle (*)			
1	CB2-ST1	-	-	-	-	-	2.418	1.31	0
2	SVA-25-50-3 (I)	2.3	25	50	170	90	2.418	1.31	69
3	SVA-50-100-3 (I)	2.3	50	100	170	90	2.418	1.31	69
4	SDA-25-50-3 (I)	2.3	25	50	170	45	2.418	1.31	73
5	SVA-25-50-3 (II)	2.3	25	50	170	90	2.418	1.73	67
6	SVA-50-100-3 (II)	2.3	50	100	170	90	2.418	1.73	68
7	SDA-25-50-3 (II)	2.3	25	100	170	45	2.418	1.73	70
8	PLA-00-00-3 (I)	2.3	Steel plate (Solid type) depth:230, length:491				2,418	1.31	100

Note) a/d : ratio of shear span, a : shear span, d : effective depth, ρ_v : ratio of stirrup, η : ratio of interface bonding area

Fig. 3 Configuration and size of specimens (SVA-25-50-3(I))

SVA-25-50-3(I), SVA-50-100-3(I), SDA-25-50-3(I) 실험체에 사용한 강판의 두께는 모든 실험체에 2.3 mm를 사용하고, 강판의 규격은 230 × 459 mm로 하고, 슬릿 형상은 수직형의 슬릿 폭이 25, 50 mm에 슬릿 간격은 50, 100 mm로 구분하고, 경사형의 슬릿 폭은 25 mm에 슬릿 간격은 50 mm 강판을 부착한다. 전단경간은 310 mm로 적용한다.

SVA-25-50-3(II), SVA-50-100-3(II), SDA-25-50-3(II) 실험체에 사용한 강판의 규격은 230 × 551 mm로 하고, 슬릿 형상은 (I) 실험체와 동일하게 제작하며, 전단경간은 410 mm로 적용한다.

2.2 실험 및 측정 방법

실험체 가력은 100톤 규모의 휨실험 전용 프레임을 사용하고, 로드셀과 가력용 철골보 H-350 × 350 × 12 × 19는 힌지구좌로 고정한다. 가력방법은 힌지구좌로 실험체와 가력용 철골보의 수평을 유지하면서 2점 재하 단조가력으로 실시하였다.

실험체의 중앙 처짐을 측정하기 위하여 한 개의 변위계(LVDT)를 가력용 철골보 하부에 설치하고 전단 경간에서 발생할 사인장균열의 폭을 측정하기 위하여 Fig. 6과

Fig. 4 Configuration of slit type steel plates

Fig. 5 The shape of slit type steel plates

같이 변위계를 경사방향으로 설치한다. 변형률계이지는 인장철근(2개소), 압축철근(1개소), 전단철근(2개소)는 실

험체 제작 과정에서 철근 배근 시 부착한다. 하중과 변위 및 변형률계이지에 의한 변위는 데이터로거(TDS-303)를 사용하여 측정한다. 에폭시 부착과 앵커볼트 체결 Slit형 강판 보강 실험체의 실험은 에폭시부착 슬릿형 강판 보강 실험체와 동일한 방법으로 가력하고 측정한다. 에폭시부착과 앵커볼트 체결 슬릿형 강판 보강 실험체 SVA-25-50-3(I), SVA-50-100-3(I), SDA-25-50-3(I)는 전단경간을 310 mm로 하고, SVA-25-50-3(II), SVA-50-100-3(II), SDA-25-50-3(II)는 전단경간을 410 mm로 하여 2점 재하 단조가력으로 실시하며 가력은 시간 제어방법으로 측정한다.

2.3 사용재료의 특성

2.3.1 콘크리트

콘크리트는 레디믹스트 콘크리트를 사용하였으며, 콘크리트의 압축강도는 23.6 MPa의 규격으로 타설하였다. 실험체에 배근된 이형철근(HD10, HD16, HD22)은 SD400으로 KS D 3504에 따라 규격별로 3개씩의 시편을 제작하고, 측면 전단보강 강판($t=2.3$)은 SS400으로 KS B 0802에 따라 3개의 시편을 제작하여 시험결과를 적용하였다. 사용재료의 기계적 성질은 Table 2와 같다.

2.3.2 강판 고정용 앵커볼트

실험체 콘크리트 표면과 강판의 고정을 위하여 중간하중용 앵커볼트를 사용하였다. 사용 앵커볼트의 기계적 성질을 Table 3에 나타내었다.

2.3.3 강판 접착용 에폭시

실험체 콘크리트 표면과 강판의 부착을 위하여 3 mm 틈새에 주입할 에폭시를 주제와 경화제를 2 : 1의 비율로

Fig. 6 Test set-up

Table 2 Properties of materials

Division		f_y (MPa)	f_u (MPa)	E_s (N/mm ²)
Re-bar	HD10	506	625	1.82×10^5
	HD16	384	578	1.70×10^5
	HD22	500	645	1.86×10^5
Plate	$t = 2.3$ mm	343	408	2.00×10^5

배합하여 균일하게 혼합될 때까지 충분히 교반하여 실험하였다. 사용한 에폭시의 기계적 특성은 Table 4와 같다.

3. 실험 결과 및 고찰

3.1 균열 및 파괴성상

실험체별 초기균열하중, 최대하중, 최대하중 시 보의 중앙부에서 최대처짐은 Table 5와 같으며, Figs. 7 및 8에 실험체의 파괴형상과 보의 균열형상을 나타내었다.

3.1.1 CB2-ST1 실험체

기준실험체로 초기균열은 보하부 중앙에서 164.9 kN에 2개소의 수직균열이 발생하였다. 264.6 kN에서 가력점과 지지점을 잇는 사인장 균열이 발생하여 296.9 kN의 하중이 증가할 때까지 전단경간 내에서 다수의 전단파괴균열이 발생하면서 실험체 전단경간에서 전단파괴 되었다.

3.1.2 SVA-25-50-3(I) 실험체

전단보강 강판을 전단경간에 에폭시부착과 앵커볼트 체결 보강한 실험체로 초기균열은 보 하부 중앙에서 147.6 kN에 3개소의 수직균열이 발생하였다. 284.4 kN의 하중에서 우측강판 주변에 균열과 가력점과 지지점을 잇는 사인장 균열이 발생하였고, 357.0 kN의 하중이 증가할 때까지 전단경간 내에서 다수의 전단파괴균열이 발생하면서 실험체가 전단파괴 되었다. 우측의 전단보강 강판의 가력점 하부에 위치한 앵커볼트가 콘크리트에서 탈락하고 지지점 상부에 위치한 앵커볼트는 보 실험체에 체결 상태를 유지하였다.

Table 3 Properties of anchor bolts

Materials	Standard	Pull-up load (kN)	Shear load (kN)
Anchor bolt	for mid. load (M6 × 50)	2.4	2.9

Table 4 Properties of epoxy

Material	Tensile stress (MPa)	Bending stress (MPa)	Compressive stress (MPa)	Adhesive stress (MPa)
Epoxy	56.4	71.3	202	13

Table 5 Test result of loads and deformations

Specimens	P_{crack} (kN)	P_y (kN)	P_{max} (kN)	δ_y (mm)	δ_{max} (mm)
CB2-ST1	164.9	264.4	296.9	3.2	6.0
SVA-25-50-3 (I)	147.6	320.1	357.0	4.2	6.0
SVA-50-100-3 (I)	207.4	315.9	339.6	4.2	5.8
SDA-25-50-3 (I)	139.7	304.6	330.5	5.2	7.8
SVA-25-50-3 (II)	129.5	281.6	301.6	5.1	8.4
SVA-50-100-3 (II)	129.4	293.0	319.5	5.4	8.9
SDA-25-50-3 (II)	143.4	281.7	306.5	5.1	8.4
PLA-00-00-3 (I)	171.4	343.1	372.4	3.7	5.5

P_{crack} : Initial cracking load

P_y, δ_y : Yielding load and deflection in yielding load

P_{max}, δ_{max} : Ultimate load and deflection in ultimate load

(a) SDA-25-50-3(I) specimen

(b) SVA-50-100-3(II) specimen

Fig. 7 Failure apparatus of specimens

3.1.3 SVA-50-100-3(I) 실험체

초기균열은 207.4 kN의 하중에서 보 하부 중앙부위에 휨 균열로 나타났으며 319.9 kN 하중까지 3개소에서 수직균열이 진행되고, 우측 강판주변과 가력점과 지지점을 잇는 사인장 균열이 발생하였다. 339.6 kN의 하중이 증가할 때까지 전단경간 내에서 다수의 전단파괴균열이 발생하면서 실험체가 전단파괴 되었다. 우측의 전단보강 강판의 가력점 하부에 위치한 앵커볼트가 콘크리트에서 탈락하고 지지점 상부에 위치한 앵커볼트는 체결상태를 유지하였다.

3.1.4 SDA-25-50-3(I) 실험체

초기균열은 139.7 kN의 하중에서 보 하부 중앙부위에 휨 균열로 나타났으며 249.8 kN 하중까지 3개의 수직균열이 보 하단에서 상단방향으로 진행하였다.

328.0 kN 하중에서 실험체 우측의 가력점과 지지점을 연결하는 사인장균열이 슬릿강판 내부에서 발생하고, 330.5 kN하중에서 전단경간 내 사인장균열로 인하여 콘크리트 전단파괴가 나타났다. 실험체 우측 슬릿강판은 가력점과 지지점 위치의 앵커볼트는 콘크리트와의 체결상태를 유지하다가 인장균열의 위치에서 철판의 변형과 함께 콘크리트를 부착박리 및 탈락이 나타났다.

3.1.5 SVA-25-50-3(II) 실험체

(II)시리즈 실험체는 전단경간을 410 mm으로 실험하였

Fig. 8 Apparatus of cracking in specimens

다. 초기균열은 129.5 kN의 하중에서 보 하부 중앙부위에 휨 균열로 나타나 217.0 kN 하중까지 2개의 수직균열이 보 하단에서 상단방향으로 진행하였다. 298.4 kN 하중에서 실험체 우측의 가력점과 지지점을 연결하는 사인장균열이 슬릿강판 내부에서 발생하고, 실험체의 슬릿강판이 301.6 kN 하중에서 전단경간 내 사인장균열로 인하여 지지점 상부 부위가 콘크리트를 물고 떨어지는 전단 부착탈락으로 나타났다. 가력점 하부 부위는 강판의 분리 일어나지 않았다.

3.1.6 SVA-50-100-3(II) 실험체

초기균열은 129.4 kN의 하중에서 보 하부 중앙부위에 휨 균열로 나타났으며 237.1 kN 하중까지 2개의 수직균열이 보 하단에서 상단방향으로 진행하였다. 303.8 kN 하중에서 실험체 양측의 가력점과 지지점을 연결하는 사인

장균열이 슬릿강판 내부에서 발생하고, 실험체의 슬릿강판 부위에서 319.5 kN 하중에서 전단경간 내 사인장균열로 인하여 콘크리트가 전단파괴 되었다. 강판은 박리가 발생하지 않고 앵커볼트 체결상태로 유지되었다.

3.1.7 SDA-25-50-3(II) 실험체

초기균열은 143.4 kN의 하중에서 보 하부 중앙부위에 휨 균열로 나타났으며 245.9 kN하중까지 2개의 수직균열이 보 하단에서 상단방향으로 진행하였다. 299.8 kN 하중에서 실험체 양측의 가력점과 지지점을 연결하는 사인장균열이 슬릿강판 내부에서 발생하고, 실험체의 슬릿강판 부위에서 306.5 kN 하중에서 전단경간 내 사인장균열로 인하여 콘크리트가 전단파괴 되었다. 강판은 박리가 발생하지 않고 앵커볼트 체결상태로 유지되었다.

3.1.8 PLA-00-00-3(I) 실험체

전단보강 강판을 전단경간에 에폭시부착과 앵커볼트 체결 보강한 실험체로 초기균열은 171.4 kN의 하중에서 보 하부 중앙부위에 휨 균열로 나타났으며 276.8 kN하중까지 3개의 수직균열이 보 하단에서 상단방향으로 진행하였다. 355.0 kN하중에서 실험체 양측의 가력점과 지지점을 연결하는 사인장균열이 슬릿강판 주변에서 발생하고,

Fig. 9 Load-deflection curve of specimens(I) series

Fig. 10 Load-deflection curve of specimens(II) series

(a) SVA-25-50-3(I)

(b) SVA-50-100-3(I)

(c) SDA-25-50-3(I)

(d) PL-00-00-3(I)

Fig. 11 Load-strain of steel plate curve

372.4 kN하중에서 실험체 우측 전단경간내 사인장균열로 인하여 콘크리트를 물고 떨어지는 전단박리 및 탈락으로 나타났다. 실험체 우측 가력점 하부 앵커볼트 1개가 전단파괴가 발생하고 지지점 상부 앵커볼트부위는 강판의

Table 6 Loads and strains of specimens

Specimens	P_{MAX} (kN)	$\epsilon_{MAX,SLIT} (\times 10^{-6})$	$\epsilon_{MAX,REBAR} (\times 10^{-6})$
CB2-ST1	296.9	-	2014
SVA-25-50-3 (I)	357.0	295	1204
SVA-50-100-3 (I)	339.6	339	733
SDA-25-50-3 (I)	330.5	475	924
SVA-25-50-3 (II)	301.6	420	1542
SVA-50-100-3 (II)	319.5	210	1195
SDA-25-50-3 (II)	306.5		858
PLA-00-00-3 (I)	372.4	224	404

Note) P_{MAX} : ultimate load, $\epsilon_{MAX,SLIT}$: ultimate strain of slit type plate, $\epsilon_{MAX,REBAR}$: ultimate strain of stirrup sided in shear failure

분리가 일어나지 않았다.

실험의 진행과정은 보 중앙 하단부에서 초기에 휨 균열이 발생하고 하중의 증가에 따라 휨 균열의 증가를 나타내다가 가력점과 지지점의 사이에서 사인장균열의 발생으로 휨 균열은 중단되고 사인장균열의 급격한 발달로 슬릿강판 내부의 콘크리트 보의 전단파괴가 일어났다.

(I)시리즈 실험체 전단경간 310 mm 슬릿강판은 일부분에서 앵커볼트의 박리와 함께 부분적으로 콘크리트를 물고 떨어지는 부착탈락현상이 발생하였으나, 슬릿강판이 전체적으로 탈락하지는 않았고, (II)시리즈 실험체 전단경간 410 mm 슬릿강판은 앵커볼트와 같이 콘크리트에 체결된 상태로 콘크리트 보의 전단파괴가 발생하였다.

3.2 하중에 따른 처짐

에폭시부착과 앵커볼트 체결 Slit형 강판 보강 실험체(I)과 (II)의 하중에 따른 처짐은 각각 Figs. 9, 10과 같다. Fig. 9에서 처럼 슬릿보강 실험체들은 보강성능을 나타내었다.

PLA-00-00-3(I)실험체는 큰 강성으로 최대전단내력을 발휘하였으나 슬릿보강 실험체들 보다 비교적 작은 처짐을 보였다. SDA-25-50-3(I)은 보강실험체들 중 전단내력은 다소 작았으나 가장 큰 처짐을 보였다. 전단경간 310 mm 인 (II)시리즈 경우, 전단내력은 기준실험체 CB2-ST1보다 20%, 14%, 11%, 25% 크게 나타났다(그림의 실험체 순서).

전단경간을 410 mm로 실험한 (II)시리즈 경우 SVA-50-100-3(II)실험체가 비교적 큰 처짐을 보였다.

3.3 하중에 따른 변형

에폭시부착과 앵커볼트 체결을 병행한 실험체들의 최대하중까지 강판과 전단철근의 변형도는 Table 6과 같다. 또한 하중에 따른 슬릿 강판과 솔리드 강판에서 측정된 변형의 관계는 Fig. 11에서 각각 나타내었다.

결국 슬릿강판과 솔리드강판에서 측정된 변형도는 서로 차이를 보이며 탄성범위 내에 머물렀다. 전단경간에서 사인장 균열이 발생한 시점부터 보강 강판 및 전단 철근의 변형도가 급격하게 증가하면서 보강 강판과 전단

Fig. 12 Comparison for ultimate loads in specimens **Fig. 13** Loads of specimens varying shear span**Table 7** Shear force and of specimens

Specimens	Shear force (kN)	V_{pl} (kN)
CB2-ST1	148.5	-
SVA-25-50-3 (I)	178.5	30.0
SVA-50-100-3 (I)	169.8	21.3
SDA-25-50-3 (I)	165.2	16.8
PLA-00-00-3 (I)	186.2	37.8

철근의 변형도가 큰 부위의 전단경간에서 콘크리트 보가 전단파괴 하였다. SVA(I)시리즈 실험체중 SVA-50-100-3(I)은 일부분에서 앵커볼트가 탈락하였으나 SVA(I), SVA(II)시리즈, PLA 실험체에서의 앵커볼트 체결된 강판은 체결상태를 그대로 유지하면서 콘크리트 파복을 물고 떨어지는 파괴양상을 보였다.

전단경간 410 mm SVA-(II) 시리즈 실험체와 전단경간 310 mm인 SVA-(I) 시리즈 실험체의 최대하중과 처짐을 비교하면, SVA-25-50-3(II)은 SVA-25-50-3(I)에 약 84%, 약 134%, SVA-25-100-3(II)은 SVA-50-100-3(I)에 약 94%,

약 153%, SDA-25-50-3(II)는 SDA-25-50-3(I)에 약 92%, 약 108%로 나타났다(Fig. 12).

SVA-50-100-3(II)의 최대하중과 처짐은 SVA-25-50-3(II)보다 약 1.06배, 약 1.05배, SDA-25-50-3(I)보다 약 1.04배, 약 1.05배 크게 나타났다. SVA-(II)시리즈 실험체들의 초기균열 발생은 Fig. 13과 같이 유사하게 나타났다.

전단경간을 증가시킨 SVA(II)시리즈 실험체는 최대하중까지 유사하게 거동하였고, 최대하중 이후 급격한 강판탈락이 지연됨을 알 수 있었다.

강판 보강설계 시, 강판의 항복과 더불어 강판이 콘크리트를 물고 박리하는 조건도 반드시 추가하여 설계되어야 한다.

전단경간 310 mm인 실험체들의 경우 강판이 부담하는 전단내력(V_{pl})은 각 실험체의 전단내력에서 무보강 기준실험체(CB2-ST1)의 전단내력($V_{cz} + V_{ay} + V_d + V_s$)을 감하므로 Table 7과 같이 구할 수 있다. 즉 1.2절 식 (3)으로부터

$$V_{pl} = V_n - (V_{cz} + V_{ay} + V_d + V_s) \quad (4)$$

따라서 강판이 부담하는 전단내력(V_{pl})에 근거한 보강 효과는 SDA-25-50-3(I), SVA-50-100-3(I), SVA-25-50-3(I), PLA-00-00-3(I) 실험체 순으로 크게 나타났다.

4. 결 론

이 연구는 수직 슬릿형, 경사 슬릿형 강판을 철근콘크리트 보 전단경간의 복부에 에폭시 부착과 앵커볼트 체결을 병행하여 보강한 철근콘크리트 보 실험체에 대한 실험으로 전단 보강한 철근콘크리트 보의 파괴양상, 균열형상 및 전단거동을 비교 분석한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) PLA-00-00-3(I)실험체는 큰 휨강성으로 최대전단내력을 발휘하였으나 최대하중 시 처짐의 경우 슬릿 보강 실험체들 보다 비교적 작게 나타났다.
- 2) 기준실험체, 슬릿강판 보강실험체 및 솔리드강판 보강실험체들은 모두 사인장 균열이 크게 발달하면서 최대하중 시 전단파괴하였다. 강판 보강실험체들의 파괴양상은 강판이 콘크리트를 부착한 채 대부분의 앵커볼트 체결상태를 그대로 유지하면서 콘크리트 피복을 물고 떨어졌다. 슬릿 강판과 솔리드 강판에

서 측정된 변형도는 서로 차이를 보였으나 탄성범위 내에 머물렀다.

- 3) 전단경간 310 mm 실험체들의 경우 강판이 부담하는 전단내력(V_{pl})을 비교한 결과 보강효과는 SDA-25-50-3(I), SVA-50-100-3(I), SVA-25-50-3(I), PLA-00-00-3(I) 순으로 크게 나타났다.

앵커볼트체결 철근콘크리트 보의 강판보강의 향후 과제는 앵커볼트의 전단균열에 따른 배치변화, 관통볼트에 의한 부착방법 등에 대한 연구가 필요하다고 사료된다.

참고문헌

1. 대한건축학회, 콘크리트 구조설계기준 건축구조물 설계예제집, 기문당, 2000, pp. 290~309.
2. 백승민, 박윤근, 김우석, “손상을 받은 RC보의 전단보강 효과에 관한 실험적 연구,” 대한건축학회논문집, 20권, 2호, 2004, pp. 47~54.
3. 주경재, 앵커볼트 배치 형태에 따른 강판보강된 철근콘크리트보의 휨내력에 관한 실험적 연구, 대한건축학회논문집, 20권, 20호, 2000, pp. 373~376.
4. 오병환, 조재열, 차수원, “강판과 콘크리트 접착계면의 파괴거동 및 박리특성,” 콘크리트학회 논문집, 14권, 1호, 2002, pp. 126~135.
5. 이춘호, “Slit형 강판으로 전단 보강한 철근콘크리트 보의 전단내력평가에 관한 연구,” 서울시립대학교, 박사학위논문, 2009, pp. 1~158.
6. 이춘호, 심종석, 권기혁, “슬릿형 강판으로 보강한 철근콘크리트 보의 전단거동에 관한 실험연구,” 한국방재학회논문집, 8권, 4호, 2008, pp. 1~8.
7. Sharif, A., Alsulaimani, G. J., Basunbul, I. A., Baluch, M. H., and Husain, M., “Strengthening of Shear Damaged RC Beams by External Bonding of Steel Plates,” *Magazine of Concrete Research*, 1994, pp. 329~334.
8. Hiroshi Mutsuyoshi, Bimal Babu Adhikary, and Masashi Sano, “Shear Strengthening Concrete Beams Using Steel Plates Bonded on Beam Web,” *Construction and Building Materials*, Vol. 14, 2000, pp. 237~244.
9. Altin, S., Anil, O., and Kara, E., “Improving Shear Capacity of Existing RC Beams Using External Bonding of Steel Plates,” *Engineering Structures*, Vol. 27, 2005, pp. 781~791.

요 약 기존 구조물에서 RC보는 여러 가지 이유로 불충분한 전단에 대한 문제에 직면하게 된다. 전단내력이 부족한 RC보의 전단 보강방법으로 강판이 널리 사용되고 있다. 본 연구에서는 앵커볼트가 체결된 경사, 수직 슬릿형 강판의 표면부착에 의해 전단보강된 RC보에 대한 실험을 하였으며, 여러 형태의 앵커볼트 체결 슬릿형 강판으로 보강된 RC보에 대한 전단보강효과, 파괴모드 및 전단내력을 평가하는 것을 연구의 목적으로 하였다. 실험의 변수는 앵커볼트가 부착된 슬릿의 폭, 간격, 경사각 및 수직 길이로 하였다. 연구 결과, 에폭시 부착과 볼트 체결로 보강된 슬릿형 강판 실험체의 파괴 유형은 최대하중 시 전단파괴 모드로 나타났다. 휨균열은 보의 인장측에서 최초로 발생하였으며, 경사 균열은 전단스팬에서 발생하였다. 최종적으로 에폭시 부착과 볼트 체결로 보강된 슬릿형 강판에서의 급격한 박리현상은 지연되었으며, RC보의 본체로부터 완전하게 분리 되지는 않음을 알 수 있었다.

핵심용어 : Slit형 강판, 앵커볼트, 전단내력, 전단파괴모드, 전단스팬, 부착 및 볼팅