

유리섬유-강판 복합재료(GSP)로 보강된 RC 보의 전단거동에 관한 실험적 연구

Experimental Investigation of the Shear Behavior of RC Beams Strengthened with Glass Fiber-Steel Composite Plate(GSP)

장 준 환* 김 성 도** 조 백 순*** 정 진 환****
Jang, Jun-Hwan Kim, Seong-Do Cho, Baik-Soon Cheung, Jin-Hwan

Abstract

Fiber-sheet and steel-plate strengthening methods have been mainly used for strengthening the RC structures. However, recently the application of these two methods have dramatically decreased due to premature debonding failure between concrete surface and fiber-sheet and heavy self-weight of steel-plate. This article presents experimental results of shear behavior in RC beams strengthened with GSP(Glass fiber-Steel composite Plate). The thin steel plate in GSP makes usage of the anchoring system possible, which could delay or prevent the premature debonding failure. Three reference beams and 60 strengthened beams with GSP were tested. The experimental results showed that strengthened beams with GSP considerably increased in shear capacity compared with the reference beams.

요 지

섬유시트보강 및 강판보강은 RC 구조물에 주로 사용되었으나, 이들은 조기부착파괴나 자중의 과다 등의 단점을 가지고 있어 현실적으로 적용사례가 대폭 줄어들고 있는 실정이다. 본 연구에서는 전단강도 증가를 위해 GSP(Glass fiber-Steel composite Plate)로 전단보강된 RC 보의 실험한 결과를 제시한다. GSP는 높은 강도의 유리섬유시트를 조기탈락하지 않도록 앵커링할 수 있으며, 정착시 섬유시트의 손상을 방지할 수 있도록 얇은 강판을 섬유시트 사이에 둔 보강재료이다. 기준 실험보 3개와 GSP로 전단보강된 보 60개로 전 단실험을 수행하였다. 본 연구는 GSP로 전단보강된 RC보의 전단 보강효과를 평가하며, 이 실험결과 GSP 로 전단보강된 RC보의 전단강도는 기준실험보에 비하여 현저히 증가하였음을 확인하였다.

Keywords : Anchoring system, Glass fiber-steel composite plate(GSP), Shear strengthening

핵심 용어 : 정착장치, 유리섬유-강판 복합재료, 전단보강

* 정희원, 부산대학교 토목공학과 박사수료

** 정희원, 경성대학교 건설환경공학부 교수

*** 정희원, 인제대학교 토목공학과 조교수

**** 정희원, 부산대학교 토목공학과 교수

E-mail : cheung@pusan.ac.kr 051-510-2354

•본 논문에 대한 토의를 2007년 2월 28일까지 학회로 보내 주시면 2007년 5월호에 토론결과를 게재하겠습니다.

1. 서 론

오래전에 건설된 철근콘크리트 구조물들은 환경의 변화에 따른 탄화 작용, 염해 등의 여러 가지 화학적 요인 때문에 상당히 열화된 상태에 놓여있다. 또한 교통량과 작용하중이 예전보다 증가되어 지난날 적용된 설계 기준들은 현재와 다소 차이가 있다. 그러므로 철근콘크리트 구조물들은 내력저하와 하중증가로 인한 사용성 및 안전성에 많은 문제가 야기되고 있으며, 적절한 보강 재료와 방법이 필요한 실정이다.

일반적으로 구조물들은 위치별 보강방법이 틀리며 크게 휨 보강과 전단 보강으로 나뉜다. 휨 보강⁽¹⁾의 경우 보강 기법별 보강효과에 대한 검증과 비교적 정확한 해석이 이루어지고 있다. 하지만 전단 보강⁽²⁾의 경우 콘크리트 구조물의 거동 특성상 휨 보강에 비해 여러 변수들에 의한 복잡한 구조 거동을 보이며 이에 수반되는 전단파괴는 휨 파괴와 달리 돌발적으로 발생한다. 이러한 전단거동은 보의 형상 및 치수, 지지 조건, 철근의 양과 배치, 재하 조건, 콘크리트와 철근 및 보강재료의 성질 등의 많은 요인에 의해 변화하기 때문에 연구에 어려움이 있다.

철근콘크리트 구조물의 보강방법으로는 강판 접착공법⁽⁶⁾과 FRP 접착공법⁽⁷⁾⁽⁸⁾⁽⁹⁾이 널리 사용되어 왔다. 그 중 강판 접착공법은 외국에서 뿐 만 아니라 국내에서도 사용되었으나 강판의 과도한 자중에 따른 시공성 문제와 내구성 문제로 최근에는 그 적용이 감소되고 있다. FRP 접착공법은 섬유시트가 무게 비에 비하여 높은 강도를 가지며 시공성이 우수하여 철근콘크리트 구조물의 보강법으로 많이 사용되고 있지만 부착 및 정착에 취약한 측면이 있어 많은 연구자들이 보강재의 조기탈락을 방지 또는 지연시킬 수 있는 정착시스템과 보강부재의 연성을 향상시킬 수 있는 보강재료에 대해 많은 관심을 보이고 있다.

본 연구에서는 강판접착공법과 FRP 접착공법의 단점을 보완하기 위하여 유리섬유와 얇은 강판을 합침시킨 GSP⁽³⁾(Glass fiber-Steel composite Plate)라는 복합재료로 전단보강한 철근콘크리트보의 전단실험을 실시하였다.

본 연구에서의 GSP 보강은 보강재를 모체에 앵커링 함으로서 FRP 접착공법의 단점인 조기탈락을 방지하는 효과가 탁월하며, 보강재 성능은 모체와 완전결합되었으므로 전단보강에 큰 기여가 될 것으로 판단된다. 또한 GSP 보강재 내의 얇은 강판은 앵커링으로 인한 섬유시트 찢어짐을 방지 할 것으로 기대된다.

따라서 본 연구에서는 GSP로 전단보강된 철근콘크리트보와 기존 철근콘크리트보의 전단거동에 대한 실험을 실시하여 나타난 GSP 전단보강효과를 비교·분석하였다.

2. 실험

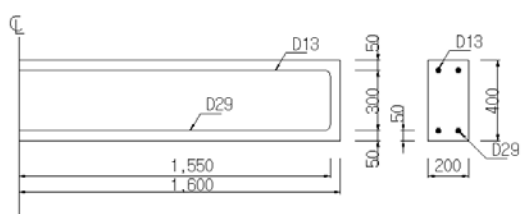
2.1 실험보 형상 및 보강계획

철근콘크리트 보의 형상은 200×400×3200mm(폭×높이×길이)이고, 상부 철근은 2-D13 및 하부 철근은 2-D29로 전단철근은 D10으로 배근하되 전단철근의 유무에 따라 세 종류로 구분하였다. 전단철근이 없는 실험보(SI)와 전단철근의 간격이 200mm인 실험보(SII) 그리고 전단철근의 간격이 100mm인 실험보(SIII)의 형상은 Fig. 1과 같다. 세 종류의 실험보는 Table 1과 같은 방식으로 GSP를 보강하여 20개씩 제작되었으며, GSP를 보강하지 않은 세 종류의 기존 철근콘크리트 보도 제작되었다. Table 1에 나타난 전단보강보의 종류는 전단철근이 없는 경우에 대한 것이다. GSP 보강형태에 따라 각각 전면 보강보, 부분 보강보, 띠보강보로 보강보를 구분하였다. 각 보강보의 GSP 부착형태는 Fig. 2와 같다.

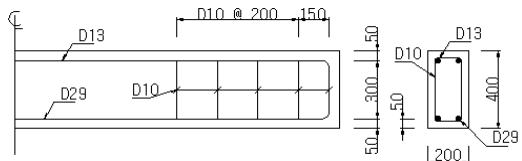
Table 1에서 알 수 있듯이 전면 보강의 경우 부착된 GSP의 부착 성능을 확인하기 위해 정착 앵커수를 실험변수로 채택하였으며, 부분 보강에서는 유리섬유의 배치방향에 따른 보강효과를 검증하고자 하였다. 또한 띠보강에서는 보강 띠의 간격이 같은 경우 유리섬유의 겹수를 증감하여 그에 따른 보강효과를 검토하였으며, 동일한 섬유겹수를 가진 전단보강보에 대해 띠 간격을 달리하여 보강효과를 검토하였다.

Table 1 GSP 전단보강 형태에 따른 보 명칭(전단철근이 없는 경우 : SI type)

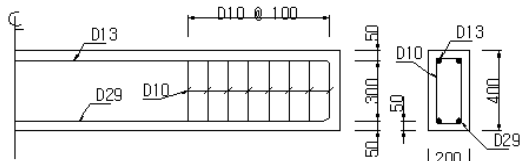
보강보명	GSP보강형태					정착앵커수				유리섬유 적용접수			실험체 개수
	전면보강 (F)	부분보강		띠보강		6 (B6)	8 (B8)	10 (B10)	12 (B12)	2접	4접	6접	
		수직 (VF)	수평 (HF)	100mm 간격(S1)	50mm 간격(S2)								
G84-B6-F	O					O					O		2
G84-B8-F	O						O				O		2
G84-B10-F	O							O			O		2
G84-B12-F	O								O		O		2
G84-B8-VF		O					O				O		2
G84-B8-HF			O				O				O		2
G82-B8-S1				O			O			O			2
G84-B8-S1				O			O				O		2
G86-B8-S1				O			O					O	2
G84-B10-S5					O			O			O		2



(a) 전단 철근이 없는 실험보 (SI)

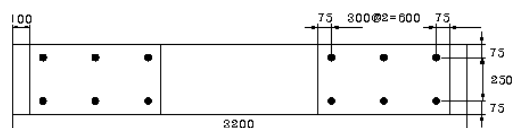


(b) 전단 철근의 간격이 200mm인 실험보 (SII)

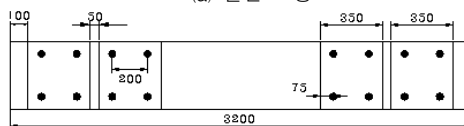


(c) 전단 철근의 간격이 100mm인 실험보 (SIII)

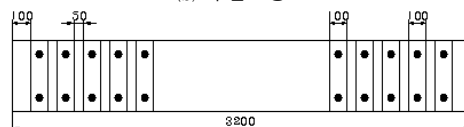
Fig. 1 실험보의 형상 및 단면



(a) 전면 보강보



(b) 부분보강보



(c) 띠보강보

Fig. 2 실험보의 GSP 부착형태

Table 2 구성재료의 역학적 성질

구성재료	역학적 성질	
	콘크리트	압축강도
철근	항복강도	400 MPa
	탄성계수	2.0×10 ⁵ MPa

2.2 실험보 구성 재료들의 성질(치수그림)

실험보 제작에 사용된 콘크리트의 압축강도 (KS F

2405) 및 철근의 인장강도(KS B 0802)는 Table 2에 주어져 있으며, GSP보강재의 재료특성치와 GSP 상세도는 제작사에서 제공한 Table 3, Fig. 3과 같다.

Table 3 GSP의 재료 물성치

유리섬유 적용겹수	GSP 구성			두께 (mm)	탄성계수 (MPa)
	Fiber (g)	Steel Plate 두께	Fiber (g)		
2겹	100	0.8mm	100	3.0	9.32×10^4
4겹	200	0.8mm	200	3.5	7.11×10^4
6겹	300	0.8mm	300	4.0	6.16×10^4

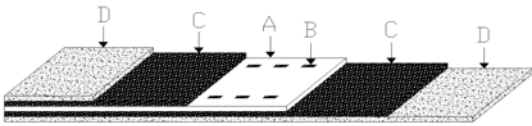


Fig. 3 GSP 상세도

- A : 홀이 천공된 강판
- B : 유리섬유 접착강화 홀
- C : 유리섬유 층
- D : 모체에 접착을 강화하기 위한 규사 층

2.3 실험방법

1,000kN 용량의 Actuator(美MTS社)를 사용하여 전단실험을 실시하였다. 각 실험보에 전단파괴를 일으키기 위해 전단철근이 없는 실험보(SI)의 경우 전단지간(a/d)을 2.1로 정하여 실험하였고, 전단 철근이 있는 두 실험보(SII, SIII)의 경우에는 전단파괴가 일어나도록 전단지간을 1.5로 정하여 실험하였다.

단순지지 경계조건을 만족하도록 실험보의 양쪽 단부로부터 각각 100mm씩 떨어진 곳에 강제 롤러를 설치하였으며, 순지간이 3,000mm가 되도록 하였다. Actuator에 부착된 하중계와 지간 중앙에 설치된 LVDT를 통해 하중 및 변위를 각각 측정하였으며, 하중재하도는 Fig. 4와 같다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1 균열형태

3.1.1 SI type 실험보

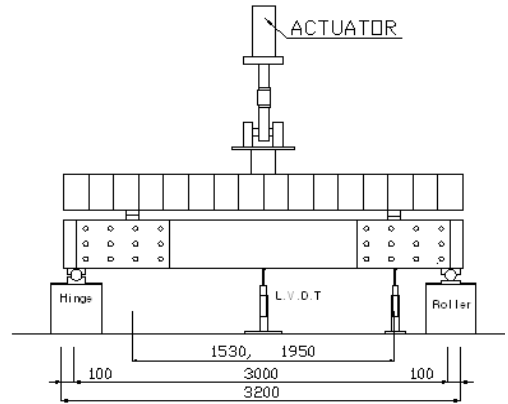
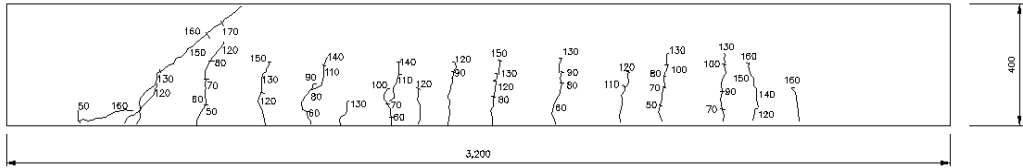


Fig. 4 하중재하 장치도

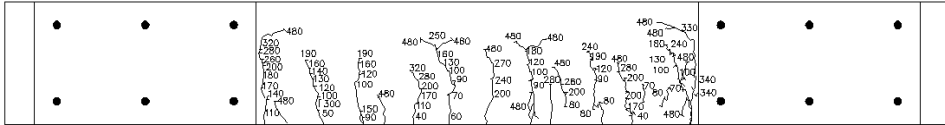
Fig. 5는 SI type의 전단철근이 없는 실험보에 대한 기준실험보와 GSP 보강보의 대표적인 균열 형태를 보여주고 있다.

기준실험보의 경우(Fig. 5(a)), 하중이 60kN에 도달할 때 실험보 중앙부위에 초기 휨 균열이 발생하였으며, 하중이 120kN일 때 실험보 단부의 지지점 부근에서 휨-전단균열이 발생하였다. 최종파괴하중은 171.0kN으로 측정되었으며, 이때 가력점과 지지점 사이를 연결하는 전형적인 사인장균열이 발생하는 파괴 양상을 보였다.

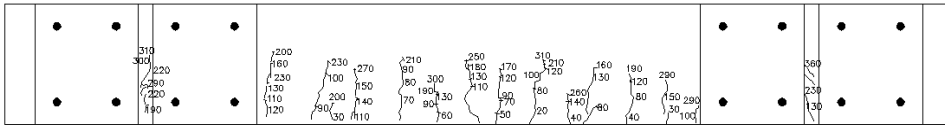
전단지간 내를 GSP로 전면 보강한 실험보(SI-G84-B6-F)의 경우(Fig. 5(b)), GSP가 전단지간 내에 일어나는 균열을 완전히 억제함으로써 콘크리트와 GSP가 만나는 부분의 콘크리트에서 집중적인 균열이 발생하였다. 전면 보강보의 경우 기준실험보와 마찬가지로 평균 60kN에서 보중양에 휨균열이 발생하기 시작하였으며, 최대 하중이 평균 480kN에 도달한 후 더 이상 하중의 변화없이 처짐만이 증가하다가 보는 파괴되었다. 측정된 파괴하중 값은 보강재의 부착을 강화하기 위해 정착 앵커수를 늘린 B8, B10, B12 type의 전면 보강보에서도 거의 같은 수준으로 나타났다(Table 4). 이는 최소한의 정착 앵커수로도 모체와 보강재 사이의 충분한 부착효과를 얻을 수 있음을 시사하고 있다. 전면 보강보가 파괴될 때의 균열 형태는 초기 재하시 생겼던 휨균열이 더욱 진행되는 양상으로 전개되었다.



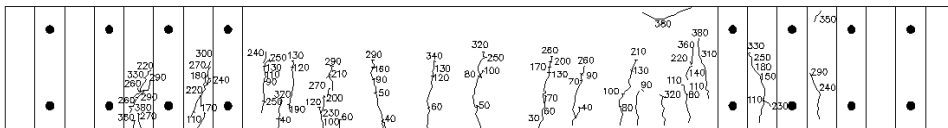
(a) 기준실험보의 균열 형태



(b) 전면 보강보의 균열 형태



(c) 부분보강보의 균열 형태



(d) 띠보강보의 균열 형태

Fig. 5 실험보의 파괴시 균열 형태

Fig. 6은 전면 보강보의 파괴시 보 하면의 균열 형태를 나타낸 것으로, 보의 측면은 GSP로 보강되어 균열이 억제되었으므로 보강되지 않은 하면의 주철근 길이방향으로 균열이 진행된 것을 확인할 수 있었다.



Fig. 6 보강보 하면의 균열양상

부분보강보(SI-G84-B8-VF)와 띠보강보(SI-G84-B10-S5)에 나타난 균열양상(Fig. 5(c), (d))을 살펴 보면, 하중 초기에는 전형적인 휨균열들이 보의 중앙에 나타났으며, 부분보강보의 경우 약 240kN, 띠보강보의 경우 약 120kN 부근의 하중들에서 공히 전단 시간 내 GSP로 보강되지 않은 콘크리트 면에 집중적인 균열이 발생하기 시작하였다. 두 경우 평균 362kN, 375kN의 최대하중에서 보강보가 파괴되었다. 최종적인 균열형태는 지지점과 가력점 사이를 잇는 사인장 전단파괴형상이었으며, 파괴양상은 GSP 보강제에 콘크리트가 붙은 채로 떨어져 나갔다.

3.1.2 SII type 실험보

SII type의 실험보는 전단철근이 200mm간격으로 배근되어있는 실험보로서 전단철근이 배근된 점을 제

Table 4 보강보의 최대하중 및 GSP 전단강도

실험보		최대 하중A (kN)	GSP 전단강도 B(kN)	보강효과 A/B× 100(%)
SI type (전단철근 무보강)	reference 보	171	-	-
	SI-G84-B6-F	486	157	91.8
	SI-G84-B8-F	478	153	89.5
	SI-G84-B10-F	499	164	95.9
	SI-G84-B12-F	456	143	83.6
	SI-G84-B8-HF	365	97	56.7
	SI-G84-B8-VF	359	94	55.0
	SI-G82-B8-S1	387	108	63.2
	SI-G84-B8-S1	363	96	56.1
	SI-G84-B10-S5	391	110	64.3
SI-G86-B8-S1	359	94	55.0	
SII type (전단철근 보강, s=20cm)	reference 보	527	-	-
	SII-G84-B6-F	486	-	-
	SII-G84-B8-F	696	84	15.9
	SII-G84-B10-F	712	92	17.5
	SII-G84-B12-F	695	84	15.9
	SII-G84-B8-HF	706	89	16.9
	SII-G84-B8-VF	719	96	18.2
	SII-G82-B8-S1	673	73	13.9
	SII-G84-B8-S1	641	57	10.8
	SII-G84-B10-S5	642	58	11.0
SII-G86-B8-S1	661	67	12.7	
SIII type (전단철근 보강, s=10cm)	reference 보	639	-	-
	SIII-G84-B6-F	620	-	-
	SIII-G84-B8-F	725	43	6.3
	SIII-G84-B10-F	696	28	4.4
	SIII-G84-B12-F	707	34	5.3
	SIII-G84-B8-HF	709	35	5.5
	SIII-G84-B8-VF	703	32	5.0
	SIII-G82-B8-S1	686	24	3.8
	SIII-G84-B8-S1	703	32	5.0
	SIII-G84-B10-S5	678	20	3.1
SIII-G86-B8-S1	690	26	4.1	

외하면 SI type의 기준실험보와 동일한 조건으로 제작되었다.

기준실험보의 파괴양상은 SI type의 기준실험보와 동일한 형상을 보이며 최초 휨 균열은 하중이 80kN에 도달할 때 실험보 중앙부위에서 발생하였고, 하중이 110kN일 때 실험보 단부의 지지점 부근에서 휨-전단균열이 발생하였다. 최종파괴하중은 527kN으로 측정되었으며, SI type의 기준실험보와 마찬가지로 전형적인 사인장균열에 의한 파괴 양상을 보였다.

전단지간 내를 GSP로 전면 보강한 실험보(SII

-G84-B8-F)의 경우 평균 80kN에서 보 중앙에 휨 균열이 나타났으며, SI type의 전면 보강 실험보와 마찬가지로 보강재의 모서리부분에 집중적으로 균열이 발생하였다. 보의 파괴시 최대 하중은 평균 701kN이었다. 파괴양상은 SI type의 전면보강보와 같이 최대 하중에서 하중의 변화는 없고 처짐만 증가하다 보는 파괴되었다.

부분보강보(SII-G84-B8-VF)와 띠보강보(SII-G84-B10-S5)에 나타난 균열양상 또한 SI type과 유사하게 나타났다. 초기균열은 부분보강보의 경우 약 220kN, 띠보강보의 경우 약 170kN의 하중에서 생겼다. 최대 하중은 부분보강의 경우 평균 713kN이었으며, 띠보강의 경우 654kN이었다. 파괴양상은 SI type의 부분보강 및 띠보강이 경우와 같이 콘크리트 덩어리가 붙은 채로 파괴되었다.

3.1.3 SIII type 실험보

SIII type의 실험보는 전단철근이 100mm간격으로 배근되어있는 실험보로서 SI과 SII type의 기준실험보와 GSP 보강보와 같이 동일한 조건으로 제작되었다. SIII type의 기준실험보의 파괴양상은 SI 및 SII type과 유사한 형상으로 나타났으며 최초 휨 균열은 하중이 대략 40kN에 도달할 때 실험보 중앙부위에 발생하였고, 하중이 190kN일 때 실험보 단부의 지지점 부근에서 휨-전단균열이 발생하였다. 최종파괴하중은 639kN으로 측정되었지만 SI과 SII type의 파괴 때와는 달리 많은 전단철근배근으로 인하여 연성구간이 상당히 길게 나타났다. 파괴양상은 SI과 SII type의 기준실험보와 마찬가지로 전형적인 사인장균열에 의한 파괴였다. 전단지간 내를 GSP로 전면 보강한 실험보(SIII-G84-B8-F)의 경우 대략 80kN에서 보 중앙에 휨 균열이 발생하기 시작하였으며, 하중이 평균 709kN에 도달했을 때 보가 파괴되었다. 전면 보강 실험보의 경우, 보강재의 부착을 강화하기 위해 정착 앵커수를 B6, B8, B10, B12로 변화시켜 보강하였는데 이 때 B6의 최종 파괴하중은 620kN으로 B8, B10, B12의 파괴하중(696kN~725kN)과 크게 차이를 보이고 있다(Table 4).

부분보강보(SIII-G84-B8-VF)와 띠보강보(SIII-G84-

B10-S5)에 나타난 균열양상은 SI과 SII type과 유사하게 나타났다. 초기전단균열은 부분보강보의 경우 약 200kN, 띠보강보의 경우 약 190kN의 하중에 나타났다. 최대하중은 부분보강의 경우 평균 706kN이었으며 띠보강의 경우 평균 689kN이었다.

3.2 GSP가 부담하는 전단강도

Table 4에는 실험으로 측정된 최대하중과 GSP가 부담하는 전단강도를 나타내었으며, GSP의 전단강도는 아래의 식으로 계산되어진다. 전단철근이 없는 실험보(SI type)에서 GSP가 부담하는 전단강도는 전단철근이 있는 실험보(SII & SIII type)보다 훨씬 더 크게 나타났으며, 전면 보강의 경우 부분보강이나 띠보강보의 경우보다 약 50%정도의 전단강도 향상을 보여주었다. 전단철근이 존재하는 실험보(SII & SIII type)의 경우 전단철근이 상대적으로 촘촘하게 배치될 때 GSP가 부담하는 전단강도가 감소하는 경향을 나타내었으며, 보강형태에 따른 GSP 전단강도의 변화는 그렇게 크지 않았다.

Table 4에서 GSP가 부담하는 전단강도는 GSP 보강보의 최대하중에서 기준시험체의 최대하중을 빼고 실험보 가력절점 수 2로 나눈 값을 표현한 것이다.

3.2.1 보강형태별 GSP가 부담하는 전단강도

Fig. 7은 보강형태별 GSP가 부담하는 전단강도를 나타낸 것인데, 전면 보강 실험보의 경우 전단철근이 없는 SI type에서 전단철근이 있는 SII와 SIII type

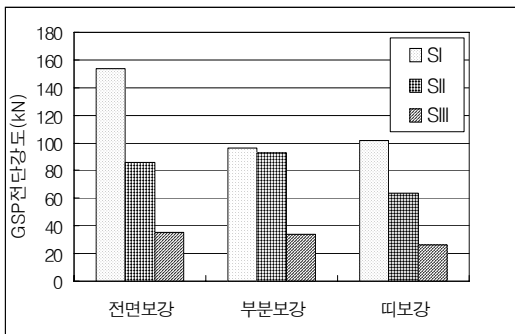


Fig. 7 보강형태별 GSP전단강도

보다는 GSP 전단보강효과가 크게 나타나고 있다. GSP 전단보강효과가 전면 보강 실험보에 비해 상대적으로 작은 부분보강과 띠보강에서도 전단철근이 없는 SI type에서 GSP 전단보강효과가 큰 것으로 나타나고 있다.

3.2.2 부착 앵커수에 따른 GSP가 부담하는 전단강도

Fig. 8은 GSP의 부착에 사용된 앵커수에 따른 전단보강효과를 분석하였다. 전단철근이 없는 SI type에서 6개의 앵커를 사용한 경우를 제외한다면 각 type별 B8, B10, B12의 실험결과에서 볼 수 있는 것과 같이 앵커수에 따른 전단강도는 별다른 차이를 나타내고 있지 않다.

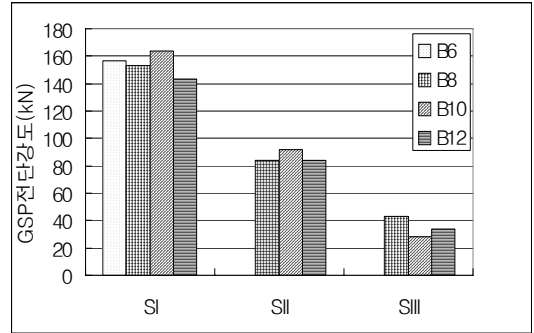


Fig. 8 부착 앵커수에 따른 GSP전단강도

3.2.3 유리섬유 보강겹수 별 GSP 전단강도

Fig. 9는 유리섬유시트가 2겹, 4겹, 6겹인 GSP로 보강한 띠보강보의 각 type별 GSP 전단강도 그래프이다.

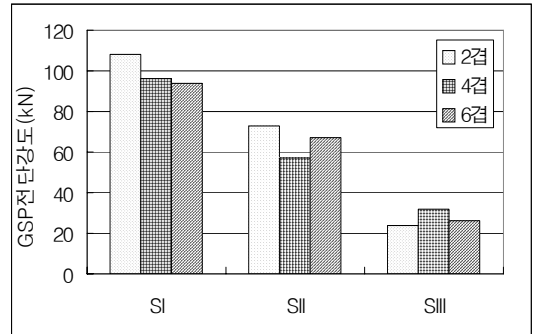


Fig. 9 유리섬유 겹수별 GSP전단강도

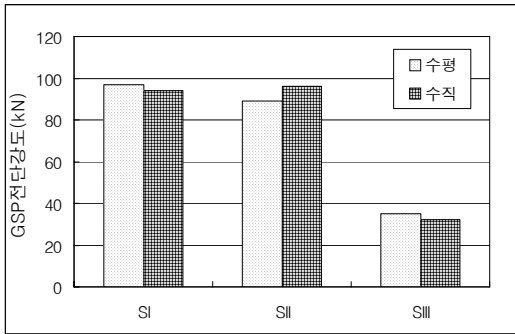


Fig. 10 유리섬유 결 방향의 GSP 전단강도

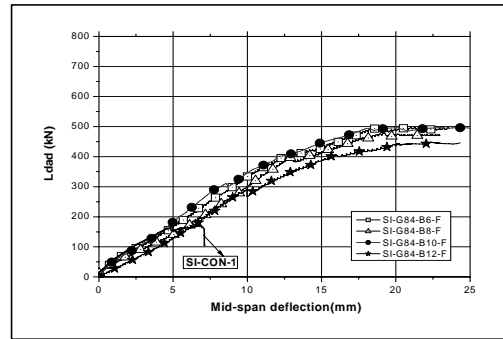
Fig. 9에 나타난 것과 같이 GSP에 사용된 섬유 접수의 무관하게 GSP 전단강도가 비슷하게 측정되었다. 섬유 접수를 증가하여도 전단보강 성능은 거의 증가하지 않고 모체의 부착면 증가에 따라 전단강도가 평가되는 것으로 나타나 기존의 연구자료⁽⁴⁾⁽⁵⁾와 유사한 결과를 나타내었다.

3.2.4 유리섬유 결 방향의 GSP 전단강도

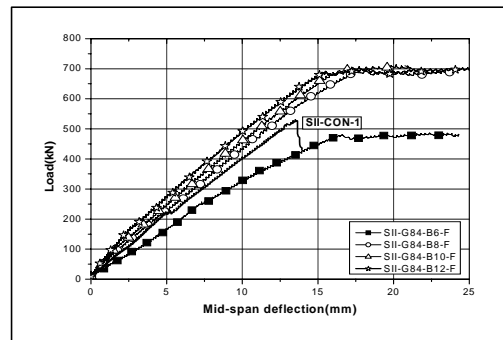
GSP의 유리섬유 결 방향을 시험체의 길이에 수평인 방향과 수직인 방향 두 방향으로 구분하여 각 형태에 따른 GSP의 전단 강도를 Fig. 10에 나타내었다. Fig. 10에 나타난 것처럼 전단 철근의 유·무와 관계없이 GSP의 섬유 방향이 수평인 방향과 수직인 방향으로 보강한 경우 거의 동일한 전단 강도를 나타내고 있다. 이러한 이유는 사인장 균열 때문에 판단된다. 이 균열은 보통 콘크리트 부재의 지점과 가력점 사이에서 발생하여 부재 축에 대해서 약 45° 경사를 이룬다. 그러므로 균열 방향과 두 종류의 섬유 방향이 이루는 각은 동일하기 때문에 거의 같은 전단 강도를 발휘한 것으로 판단된다.

3.3 하중-처짐곡선

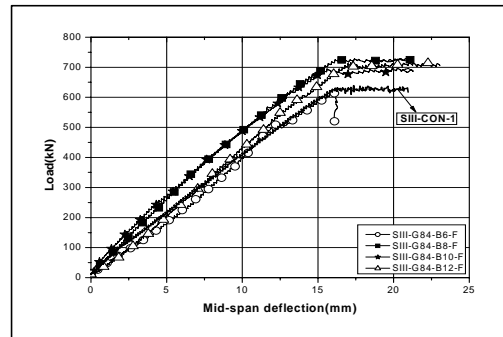
Fig. 11은 SI, SII, SIII type의 전면 보강보에 대한 하중-처짐선도를 기준실험보의 그것과 함께 나타내었다. 전단철근이 없는 SI 전면 보강보(Fig. 6(a))의 GSP 전단보강효과는 기준실험보의 전단강도와 비교하였을 때 훨씬 효과적인 것으로 나타났다. 전단철근



(a) SI type 전면 보강보



(b) SII type 전면 보강보(s=200mm)



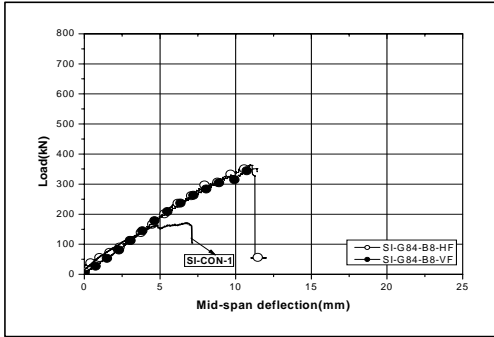
(c) SIII type 전면 보강보(s=100mm)

Fig. 11 전면 보강보의 하중-처짐선도

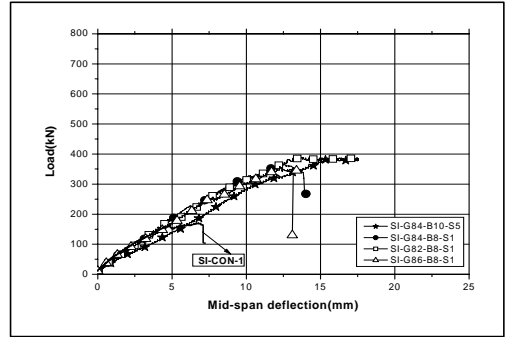
이 있는 실험보의 경우 전단철근이 전단내력의 많은 부분을 부담하기 때문에 GSP가 부담하는 전단보강효과는 상대적으로 크지 않은 것으로 나타났으며(Fig. 6(b), (c)), 특히 전단철근의 양이 많은 SIII type의

기준보는 전면 보강보와 거의 같은 전단거동 형태를 보여주고 있다. 그러나 GSP 보강보들은 기준 실험보와는 달리 전단철근의 유무와 상관없이 공히 최대하중 이후의 연성구간이 크게 나타났으며, 따라서 GSP 전면 보강보의 경우에는 GSP에 의해 상당한 연성이 확보된다고 할 수 있다.

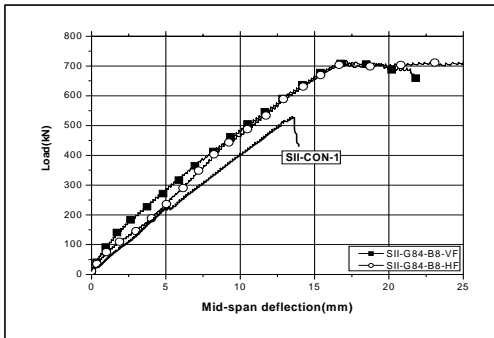
Fig. 12(a)와 13(a)는 전단철근이 없는 경우의 부분보강 및 띠보강 보에 대한 하중-처짐선도를 보여주고 있다. 부분보강 및 띠보강 실험보들은 전면 보강보에 비해 최대하중의 크기가 많이 줄 들었으며, 띠보강보에서 일부 연성구간이 나타났으나 기준 실험보와 마찬가지로 연성구간이 없는 것으로 간주될 수 있



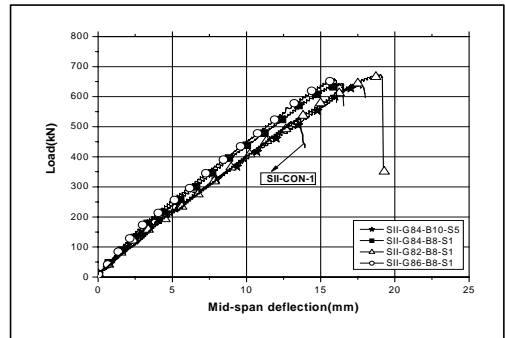
(a) SI type 부분보강보



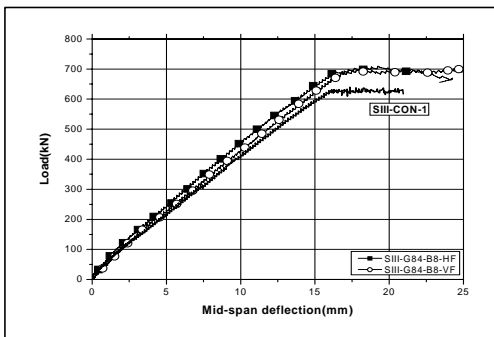
(a) SI type 띠보강보



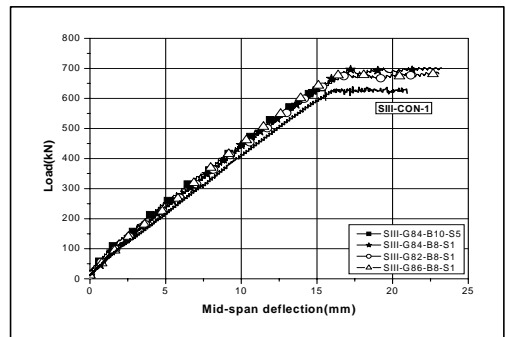
(b) SII type 부분보강보(s=200mm)



(b) SII type 띠보강보(s=200mm)



(c) SIII type 부분보강보(s=100mm)



(c) SIII type 띠보강보(s=100mm)

Fig. 12 부분 보강보의 하중-처짐선도

Fig. 13 띠 보강보의 하중-처짐선도

으며, 전면 보강보의 경우와는 다르게 대부분 연성특성을 보이지 못하고 갑작스런 파괴가 일어나는 것으로 나타났다.

전단지간을 GSP로 전면 보강한 실험보는 사인장균열이 완전히 억제되어 전단파괴가 일어나는 것을 방지하고 있지만, 부분보강 및 띠보강 보에서는 GSP로 보강되지 않은 콘크리트 단면에서 사인장균열이 진행되면서 취성파괴인 전단파괴가 일어나는 것으로 관찰되었다.

Fig. 12(b), 12(c)와 Fig. 13(b), 13(c)는 SII 및 SIII type의 부분보강 및 띠보강보에 대한 하중-처짐선도를 나타내고 있다. SII type의 부분보강보(Fig. 12(b))와 띠보강보(Fig. 13(b))를 비교하여 보면 최대하중 이후 연성특성이 뚜렷이 나타나고 있지만 띠보강보에는 기준실험보와 같이 갑작스런 파괴가 나타나고 있음을 알 수 있다. 그러나 SIII type의 부분보강보(Fig. 12(c))와 띠보강보(Fig. 13(c))를 비교하여 보면 거의 모든 실험보에서의 연성특성이 뚜렷이 나타나고 있어, 전단철근 간격이 조밀한 보강보(Fig. 12(c), 13(c))에서는 GSP보강 효과보다는 전단철근이 전단내력의 많은 부분을 부담하는 것으로 판단된다.

4. 결 론

본 연구에서는 GSP를 사용하여 순지간이 3000mm인 철근콘크리트 보를 전단보강할 때 보강형태와 전단철근 유·무에 따른 GSP 전단보강효과를 분석하였다.

- 1) 전단보강효과는 부착면적이 큰 전면 보강된 실험보에서 전단철근 유·무에 관계없이 가장 크게 나타났다. 즉, 전단 위험 구간을 연속적으로 보강하여야 전단균열 억제 효과가 있어 전단보강효과가 높아질 것으로 판단된다.
- 2) 전단철근이 보강되어있는 보(SII & SIII type)에서는 전단철근이 전단내력의 많은 부분을 부담하기 때문에 전단철근량이 적은 보 일수록 전단보강효과는 높게 나타났다.
- 3) 모든 실험보의 파괴시 GSP 보강재는 파단없이 콘크리트 덩어리가 붙은 채로 탈락되어, 보강재는 앵

커장치로 인해 부착성능이 우수하여 콘크리트와 일체 거동하는 것으로 판단되었다.

- 4) 보강재의 완전부착을 위해 부착앵커수를 변수로 하여 실험하였다. 앵커수 8개 이상을 사용하더라도 GSP가 부담하는 전단강도에는 큰 영향이 없었다. 따라서 추후 전면보강뿐만 아니라 부분보강 및 띠보강보도 앵커의 변수를 두어 실험한다면 보강재의 부착면 크기에 따라 부착앵커수를 산정할 수 있어 경제적인 시공이 될 것으로 판단된다.
- 5) 섬유시트의 결 방향에 따른 GSP 전단강도 보강효과는 보통 콘크리트 보의 균열이 부재의 지점과 가력점 사이에서 발생하여 부재 축에 대해서 약 45° 경사를 이루기 때문에 거의 같은 전단 강도를 발휘한 것으로 판단된다.
- 6) GSP 전면 보강보의 경우 최대하중 도달 이후 연성구간을 상당히 확보할 수 있으므로, 기준실험보와 비교하여 볼 때 전단균열에 의한 취성파괴를 연성파괴로 유도하는 효과가 있었다.

감사의 글

이 논문은 부산대학교 자유과제 학술연구비(2년)에 의하여 연구되었음.

참고문헌

1. 정진환, 김성도, 조백순, 이우철, “탄소섬유시트로 보강된 RC보의 공칭힘모멘트 -I. 실험적 연구-”, 대한토목학회 논문집, 23권 제5A호, 2003. 9, pp.921~929.
2. 심종성, 오홍섭, 문도형, 박경동, “FRP로 전단보강된 철근콘크리트 보의 전단강도 예측(1)” -전단강도 예측 모델제안-, 2005.06. 콘크리트학회지, Vol.17 No.3 pp.343~351.
3. (주) 엠프로, “유리/탄소섬유-유공강판 복합플레이트를 사용한 콘크리트 구조물 보강기술”, 2004. 3.
4. 최기선, 유영찬, 김공환, “유리섬유시트로 전단보강된 RC보의 전단강도에 대한 보강 매수 및 형태의 영향”, 2005년도 봄 학술발표회 논문집, pp.251-254.
5. 김주연, 신영수, 홍건호, “재하상태에 따른 탄소 섬유시트 및 강판의 전단 보강 효과”, 2000년도 봄 학술발

표회 논문집, pp.775-780.

6. Bimal Babu Adhikary, Hiroshi Mutsuyoshi “ Shear strengthening of RC beams with web-bonded continuous steel plates” Construction and Building Materials, Science Direct, 2005. 1.
7. Ahmed Khalifa, Antonio Nanni “Rehailitation of rectangular simply supported RC beam with shear deficiencies using CFRP composites”, Construction and Builsing Materials, 2002. January, pp.135-146.
8. Thanasis C. Triantafillou “Strengthening of Reinforced Concrete Beams Using Epoxy- Bonded FRP Composites” ACI V.95 No.2, March-April 1998. pp.107~115.
9. Eurocode No. 2. “Design of Concrete Structures,” Comité Euro-International du béton, Lausanne, 1992.

(접수일자 : 2006년 8월 21일)