

Glass fiber-steel plate로 보강된 철근 콘크리트 보의 전단 거동에 대한 실험적 연구

An experimental study for the shear behavior of reinforced concrete beams strengthened with glass fiber-steel plate

김 성도* 허 성재**
Kim, Seong Do Heo, Seong Jai

ABSTRACT

Experiments for shear strengthening of reinforced concrete beams using epoxy and anchor bonded glass fiber-steel plate(GSP) were carried out. This study was to investigate the shear strengthening effect of the reinforced concrete beams strengthened by externally bonded GSP. Sixty three specimens with different parameter were tested for evaluate the corresponding shear strengthening effects. From the experimental results it was confirmed that the externally bonded GSP is effective for the shear strengthening of the reinforced concrete beams.

1. 서론

최근 환경의 변화로 인하여 철근 콘크리트 구조물 대부분은 탄화 작용, 염화 작용 등의 여러 가지 화학적 작용으로 심각한 악화 상태에 있다. 또한 교통량과 거동하중 등 예전보다 증가된 하중들 때문에 지난날 적용된 설계 기준들은 현재의 기준과는 다소 다르며 노후화된 철근 콘크리트 구조물에 대한 보수·보강도 필요한 실정이다. 휨 보강의 경우 보강 기법별 보강효과에 대한 검증과 비교적 정확한 해석이 이루어지고 있으나 전단 보강의 경우 콘크리트 구조물의 특성상 휨 보강에 비해 여러 변수들에 의한 복잡한 구조 거동을 보이며 이에 수반되는 전단 파괴는 휨 파괴와 달리 돌발적으로 발생한다. 이러한 전단 거동은 보의 형상 및 치수, 지지 조건, 내부 철근의 양과 배치, 재하 조건, 콘크리트 및 철근의 성질 등 많은 요인에 의해 변화한다. 철근콘크리트 구조물의 성능 개선을 목적으로 한 보강공법 중 강판 접착 공법은 외국에서 뿐만 아니라 국내에서도 널리 사용되었으나 강판의 과도한 자중에 따른 시공성 문제와 내구성 문제로 최근에는 보강공사에의 적용이 감소되고 있다. 복합소재를 이용한 보강공법은 보강재료 자체가 가볍기 때문에 구조물의 자중증가나 형태 변화가 거의 없고, 기초 설계하중에도 별 영향이 없으며 외관도 손상시키지 않는다는 장점을 가지고 있다. 하지만 모재와 접착이 잘 되지 않고 취성 파괴를 한다는 단점을 가지고 있어 두 공법의 단점을 보완할 새로운 공법이 요구되고 있다.

본 연구에서는 강판과 유리 섬유 시트 두 재료를 미리 접착시킨 복합플레이트(Glass fiber-Steel Plate, 이하 GSP)로 철근 콘크리트 보를 보강하여 보의 전단강도를 향상 시키고자 한다. GSP를 구성하고 있는 강판과 유리 섬유 시트들은 서로 이종 재료이지만 역학적 성질이 유사하기에 두 재료를 결합함에 있어서 재료상의 결합은 거의 없다고 본다. GSP로 철근 콘크리트를 전단 보강함으로써 강판 접착공법의 단점인 강판의 두께에 따른 중량의 증가는 섬유 접착 공법의 장점인 우수한 역학적 특성과 경량이라는 것으로 보완하고 복합 섬유 시트들이 모재에 잘 부착되지 않는다는 단점은 강판 접착공법의 장점인 모재와의 우수한 부착성으로 보완하여 GSP의 전단 보강 효과를 알아보고자 한다.

* 경성대학교 교수, 정회원

** 경성대학교 석사과정, 정회원

2. 본론

2.1 철근 콘크리트 및 GSP 재료 성질

콘크리트의 압축강도는 KS F 2405(콘크리트 압축강도 시험방법)에 따라 시험한 결과 350kgf/cm²으로 나타났다. 철근의 재료 물성치는 표 2.1과 같으며 GSP의 재료 물성치는 표 2.2와 같다.

표 2.1 철근의 재료 물성치

종류	물성치	탄성계수 (kgf/cm ²)	항복강도 (kgf/cm ²)
상부 측, D13		2.1×10 ⁶	4000
하부 측, D29			
전단 철근, D10			

표 2.2 GSP의 재료 물성치

품명	GSP 구성			두께 (mm)	순수 인장내력 (kgf/100mm)
	Fiber (g)	Steel Plate	Fiber (g)		
GSP-08200	100	0.8mm	100	1.55	15,500
GSP-08400	200	0.8mm	200	2.3	29,976
GSP-08600	300	0.8mm	300	3.05	44,452

*(주) 엠프로 제공

2.2 시험체 제작

철근 콘크리트 보의 크기는 200×400×3200mm(폭×높이×길이)이고, 상부 철근은 2-D13으로, 하부 철근은 2-D29로 전단 철근은 D10으로 배근하되 보 종류에 따라 간격을 다르게 하였다. 전단 철근이 없는 시험체의 형상(SI)과 전단 철근의 간격이 200mm인 시험체의 형상(SII) 그리고 전단 철근의 간격이 100mm인 시험체의 형상(SIII)은 그림 2.1, 그림 2.2, 그림 2.3과 같으며 이들의 단면 형상은 그림 2.4와 같다

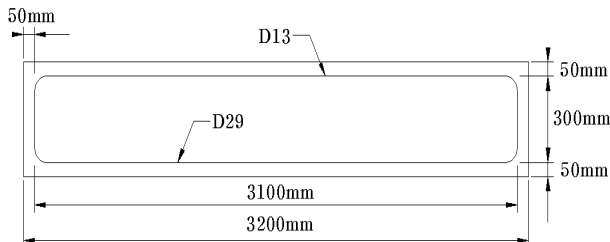


그림 2.1 전단 철근이 없는 시험체 (SI)

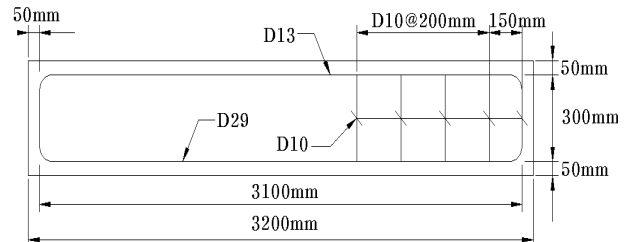


그림 2.2 전단 철근의 간격이 200mm인 시험체 (SII)

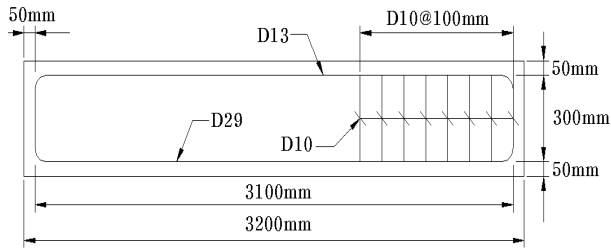


그림 2.3 전단 철근의 간격이 100mm인 시험체 (SIII)

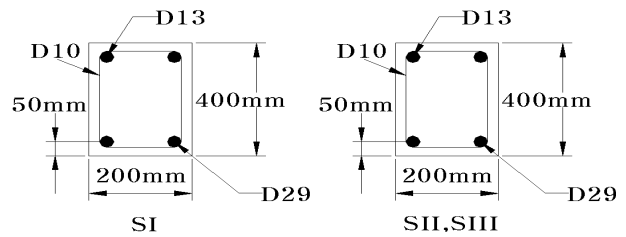


그림 2.4 SI, SII, SIII의 단면 형상

이상 세 종류의 시험체에 다음과 같은 조건으로 보강하여 GSP 전단 보강보를 제작하였다.

- 1) 보강시 GSP의 부착을 높이기 위해 사용된 앵커 수를 6개, 8개, 10개, 12개로 하여 보강
- 2) GSP를 구성하고 있는 강관의 두께는 일정하게 유지하는 대신 유리 섬유 겹 수를 2겹, 4겹, 6겹으로 하여 보강
- 3) GSP를 구성하고 있는 유리 섬유의 결 방향을 철근 콘크리트 보 길이의 수평, 수직 두 방향으로 하여 보강
- 4) GSP의 부착 길이에 따라 완전 보강 형태, 부분 보강 형태, 띠형 보강 형태 세 가지 형태로 하여 철근 콘크리트 보를 보강
- 5) GSP의 간격을 다르게 하여 철근 콘크리트 보를 보강

위의 조건으로 세 종류의 철근 콘크리트 보 외부 측면에 보강한 각각의 전단 보강보 일람표는 그림 2.5에 나타내었고 GSP 보강 형태는 그림 2.6 ~ 2.12과 같다.

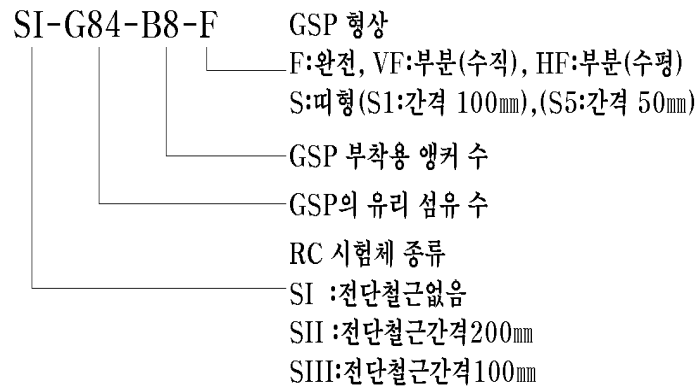


그림 2.5 GSP 전단 보강보 일람표

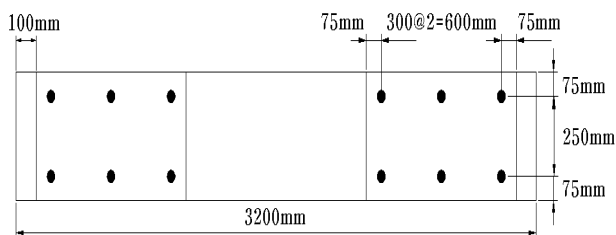


그림 2.6 (SI, SII, SIII)-G84-B6-F

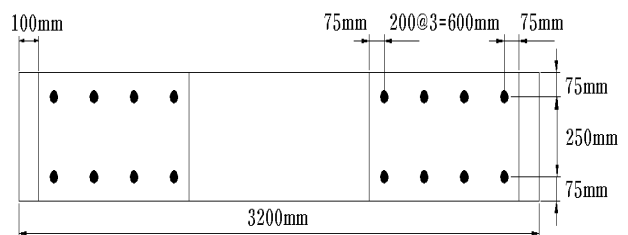


그림 2.7 (SI, SII, SIII)-G84-B8-F

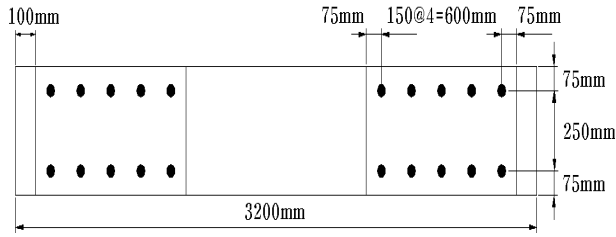


그림 2.8 (SI, SII, SIII)-G84-B10-F

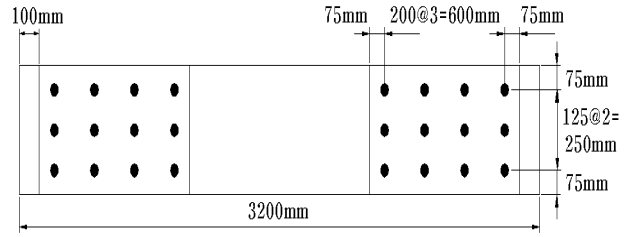


그림 2.9 (SI, SII, SIII)-G84-B12-F

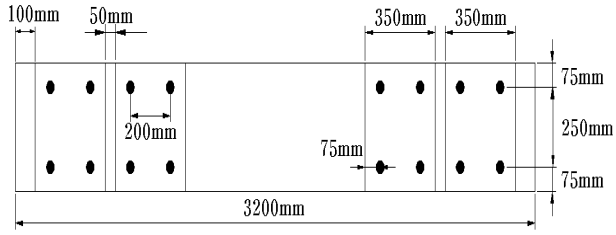


그림 2.10 (SI, SII, SIII)-G84-B8-HF, VF

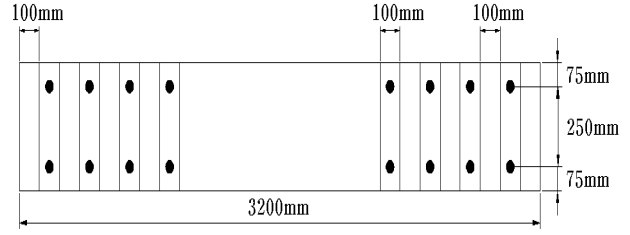


그림 2.11 (SI, SII, SIII)-(G82, G84, G86)-B8-S1

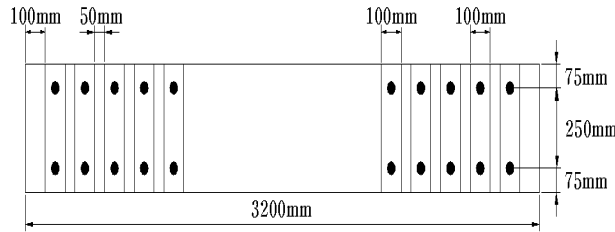


그림 2.12 (SI, SII, SIII)-G84-B10-S5

이상의 형식으로 앵커와 에폭시 수지를 사용하여 시험체에 전단 균열이 발생될 지점과 가력점 사이를 전단 보강하였으며 총 63개 [(보강보 10종류×2+control보)×시험체 3종류]를 제작하여 전단 시험을 수행하였다.

2.3 재하 및 측정

100tonf 용량의 actuator(美 MTS 社)를 사용하여 4점 전단실험을 실시하였다. 전단 철근이 없는 시험체는 전단에 의한 파괴를 일으키기 위하여 전단지간 (a/d) 을 2.1로 정하여 시험하였고 전단 철근이 있는 두 시험체는 전단 지간을 1.5로 정하여 시험하였다.

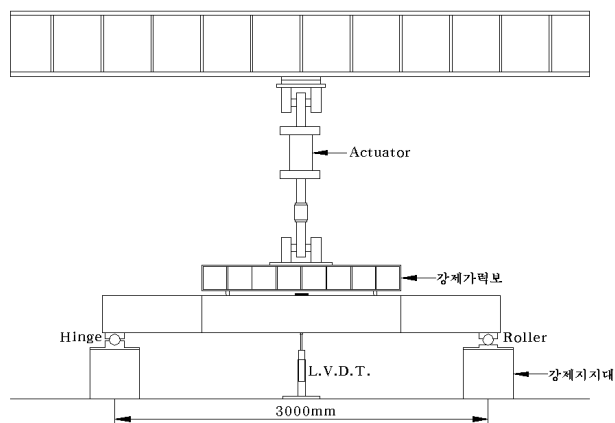


그림 2.13 하중재하 장치도

단순지지 경계조건을 만족하도록 시험체의 양쪽 단부로부터 각각 100mm씩 떨어진 곳에 강제 롤러를 설치하여 순지간은 3000mm가 되도록 하였다. 하중은 actuator에 부착된 하중계를 통해 측정하였으며 하중재하 위치는 그림 2.13와 같다. GSP 보강 철근콘크리트 보의 실험 전 상황과 실험 후 상황의 전경을 각각 그림 2.14의 (a)와 (b)에 나타내었다.



(a) 시험 전



(b) 시험 후

그림 2.14 GSP 보강보의 전단 시험 상황

3. 시험 결과

control 보와 GSP로 보강된 철근 콘크리트 보들에 대한 전단 시험 결과 GSP의 경계 부분에서 휨-전단 균열이 발생하여 최종 파괴되었다. 대표적 파괴 양상은 다음의 그림 3.1~그림 3.11과 같다.

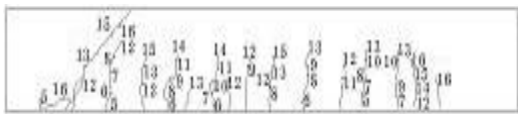


그림 3.1 control 보의 파괴 양상



그림 3.2 G84-B6-F의 파괴 양상

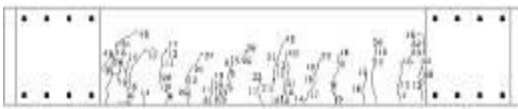


그림 3.3 G84-B8-F의 파괴 양상



그림 3.4 G84-B10-F의 파괴 양상



그림 3.5 G84-B12-F의 파괴 양상



그림 3.6 G84-B8-HF의 파괴 양상

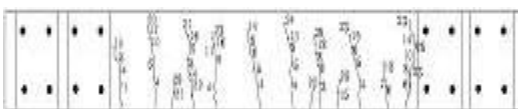


그림 3.7 G84-B8-VF의 파괴 양상

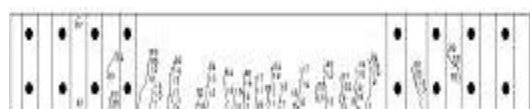


그림 3.8 G82-B8-S1의 파괴 양상



그림 3.9 G84-B8-S1의 파괴 양상

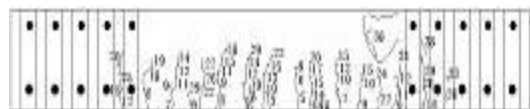


그림 3.10 G84-B108-S1의 파괴 양상



그림 3.11 G86-B8-S1의 파괴 양상

또한 최대 하중 및 GSP의 전단 강도는 표 3.1, 표 3.2 그리고 표 3.3에 나타났다. GSP의 전단 강도는 (GSP 보강보의 최대 하중 - control 보의 최대 하중)/2를 함으로써 구해진다.

표 3.1 SI의 최대하중 및 GSP의 전단 강도

시험체	최대 하중	control 보	GSP 전단 강도
SI-G84-B6-F	48.6	17.1	15.7
SI-G84-B8-F	47.8	17.1	15.3
SI-G84-B10-F	49.9	17.1	16.4
SI-G84-B12-F	45.6	17.1	14.3
SI-G84-B8-HF	36.5	17.1	9.7
SI-G84-B8-VF	35.9	17.1	9.4
SI-G82-B8-S1	38.7	17.1	10.8
SI-G84-B8-S1	36.3	17.1	9.6
SI-G84-B10-S5	39.1	17.1	11.0
SI-G86-B8-S1	35.9	17.1	9.4

표 3.2 SII의 최대하중 및 GSP의 전단 강도

시험체	최대 하중	control 보	GSP 전단 강도
SII-G84-B6-F	48.6	52.7	-
SII-G84-B8-F	69.6	52.7	8.4
SII-G84-B10-F	71.2	52.7	9.2
SII-G84-B12-F	69.5	52.7	8.4
SII-G84-B8-HF	70.6	52.7	8.9
SII-G84-B8-VF	71.9	52.7	9.6
SII-G82-B8-S1	67.3	52.7	7.3
SII-G84-B8-S1	64.1	52.7	5.7
SII-G84-B10-S5	64.2	52.7	5.8
SII-G86-B8-S1	66.1	52.7	6.7

표 3.3 SIII의 최대하중 및 GSP의 전단 강도

시험체	최대 하중	control 보	GSP 전단 강도
SIII-G84-B6-F	62.0	63.9	-
SIII-G84-B8-F	72.5	63.9	4.3
SIII-G84-B10-F	69.6	63.9	2.8
SIII-G84-B12-F	70.7	63.9	3.4
SIII-G84-B8-HF	70.9	63.9	3.5
SIII-G84-B8-VF	70.3	63.9	3.2
SIII-G82-B8-S1	68.6	63.9	2.4
SIII-G84-B8-S1	70.3	63.9	3.2
SIII-G84-B10-S5	67.8	63.9	2.0
SIII-G86-B8-S1	69.0	63.9	2.6

3.1 전단 철근 유·무 및 간격에 따른 GSP의 전단강도

그림 3.12은 전단 철근의 유·무 및 간격에 따라 분류하여 GSP의 전단 강도를 도시하였다. 그림 3.12에서 나타난 바와 같이 대부분의 경우 전단 철근이 없는 보에 보강한 GSP가 가장 큰 전단 강도를 가지고

있다. 그 다음으로는 전단 철근의 간격이 200mm인 보에 보강한 GSP, 전단 철근의 간격이 100mm인 보에 보강한 GSP 순이다. 이처럼 내부 전단 철근이 적을수록 외부에 보강된 GSP의 전단 보강 효과는 증가한다.

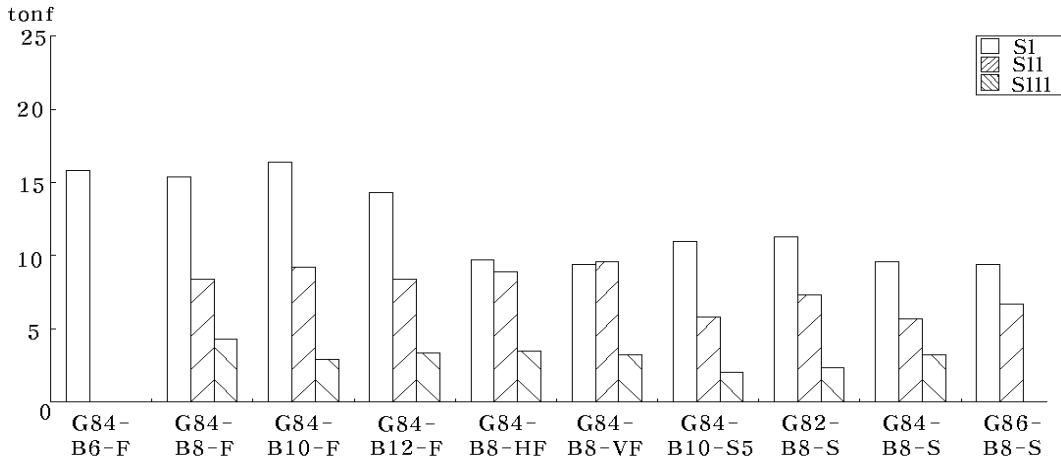


그림 3.12 철근 철근의 유·무 및 간격에 따른 GSP 전단강도

3.2 부착 앵커 수에 따른 GSP의 전단 강도

완전 보강 형태의 GSP로 보강하기 위해 사용한 부착용 앵커 수에 따른 GSP의 전단 강도를 그림 3.13에 나타내었다. 그림 3.13에 나타난 것처럼 전단 철근이 없는 보의 경우 6개의 앵커를 사용한 GSP만 제외한다면 나머지 보에서는 매우 유사한 형상이 나타난다. 앵커 수가 6개인 GSP의 전단 강도는 다른 앵커 수를 가진 GSP에 비해 낮으며 8개, 10개, 12개의 앵커수를 가진 GSP들은 거의 동일한 전단 보강 효과를 가지는 것으로 나타났다. 이는 GSP를 사용하여 완전 보강 형태로 보강할 경우 앵커 수는 6개 보다 8개 이상 사용하였을 때 높은 전단 강도를 가지지만 경제성과 시공성을 고려한다면 8개의 앵커만 사용하여도 충분한 부착 성능을 가진다고 판단된다.

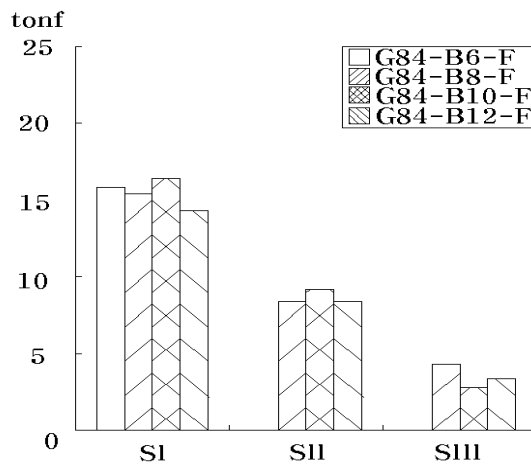


그림 3.13 부착 앵커 수에 따른 GSP 전단강도

3.3 GSP의 부착 길이 따른 전단 강도

GSP의 부착 길이에 따라 완전 보강 형태, 부분 보강 형태 그리고 띠형 보강 형태로 구분하여 각 형태에 따른 GSP의 전단 강도를 그림 3.14에 나타내었다. 그림 3.14에 나타난 것처럼 완전 보강 형태로 보강한 GSP의 전단 강도가 가장 크며 부분 보강 형태 띠형 보강 형태 순으로 나타났다. 이는 GSP와 시험체의 부착 면적이 클수록 GSP의 전단 강도는 높아진다는 것을 나타낸다. 즉 구조물의 전단 강도를 향상시키

기 위해 구조물 외부에 보강할 경우 GSP를 가능한 연속적으로 부착해야 전단강도가 높아진다는 것을 알 수 있다.

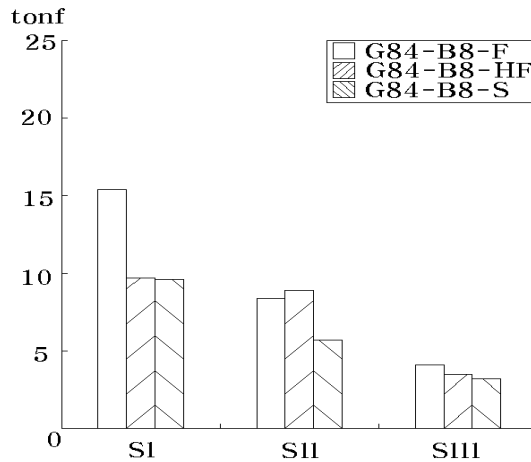


그림 3.14 보강 형태에 따른 GSP 전단강도

3.4 GSP의 섬유 결 방향에 따른 전단 강도

GSP의 유리섬유 결 방향을 시험체의 길이에 수평인 방향과 수직인 방향 두 방향으로 구분하여 각 형태에 따른 GSP의 전단 강도를 그림 3.15에 나타내었다. 그림 3.15에 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 때문이다. 이 균열은 보통 콘크리트 부재의 지점에서부터 발생하여 부재 축에 대해서 약 45° 경사를 이룬다. 그러므로 균열 방향과 두 종류의 섬유 방향이 이루는 각은 동일하기 때문에 거의 같은 전단 강도를 발휘한다.

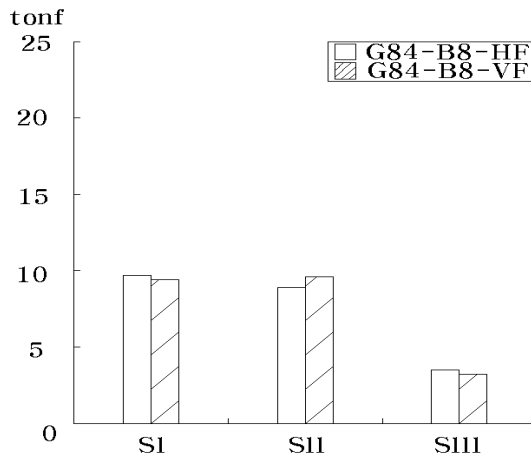


그림 3.15 섬유 결 방향에 따른 GSP의 전단 강도

3.5 GSP의 섬유 겹 수에 따른 전단 강도

유리 섬유 수를 2겹, 4겹, 6겹으로 하여 제작한 GSP로 시험체를 보강함으로써 섬유 겹 수에 따른 GSP의 전단 강도를 그림 3.16에 나타내었다. 그림 3.16에 나타난 바와 같이 GSP의 섬유 겹 수에 증가와는 무관하게 GSP의 전단 강도가 측정되었다. 기존 연구 자료^{2),3),4)}들을 살펴보면 보강 성능을 증가시키기 위해 섬유 겹 수를 증가 시켜도 보강 성능은 거의 증가하지 않는다는 것이다. 또한 보강 성능은 보강 섬유의 두께 증가 보다는 보강 섬유와 보강할 콘크리트 구조물과의 부착 면적이 증가해야 보강 성능이 증가한다고 나타냈으며 이는 본 연구 3.3의 결과에서도 잘 나타나고 있다.

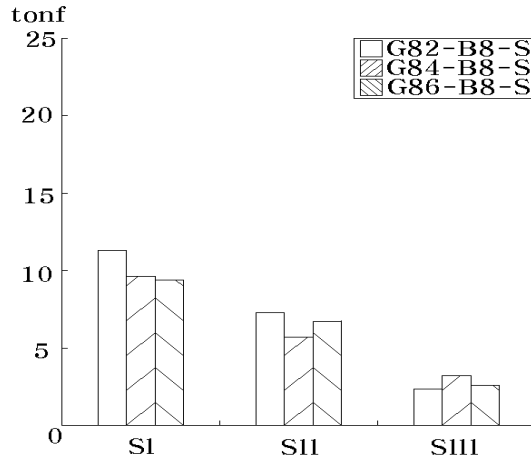


그림 3.16 섬유 겹 수에 따른 GSP의 전단 강도

3.6 GSP의 보강 간격에 따른 전단 강도

동일한 유리 섬유 겹 수와 결 방향을 가진 GSP 띠형 보강 형태에서 GSP의 간격을 다르게 하여 보강한 경우에 대한 전단 강도를 그림 3.17에 나타내었다. 그림 3.17을 보면 GSP의 간격에 따른 강도의 변화는 없다고 볼 수 있다. 이와 같은 결과가 나타난 이유는 전단 균열이 발생하는 구간 내를 연속적으로 보강하지 않았기 때문이다. 띠형 보강 형태는 GSP 사이의 간격이 일정하게 유지 된다. 그러므로 연속적이지 않은 띠형 보강 형태는 GSP 사이에서 발생하는 전단 균열을 보강할 수 없기 때문에 그림 3.17과 같은 결과가 나타났다.

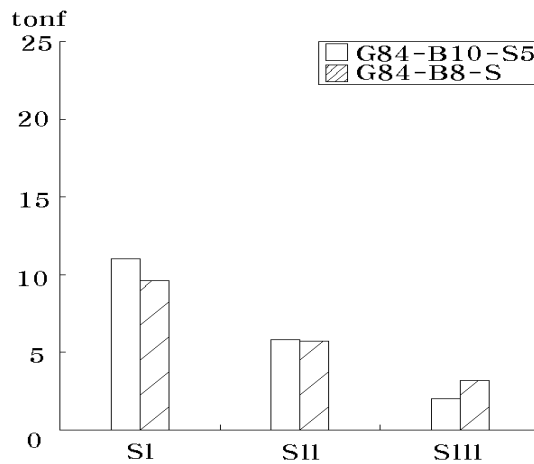


그림 3.17 보강 간격에 따른 GSP의 전단 강도

4. 결론

본 연구에서 수행한 GSP로 전단 보강된 철근 콘크리트 보의 전단 시험에 대한 결론은 다음과 같다.

- 1) 동일한 보강 형태와 같은 물성치의 GSP로 철근 콘크리트 보를 외부 보강한다면 전단 철근이 적은 보일수록 GSP의 전단 보강 효과가 높았다.
- 2) 철근 콘크리트를 완전 보강 형태의 GSP로 보강하기 위해 사용한 부착용 앵커 수는 6개 보다는 8개 이상을 사용하였을 때 높은 전단 보강효과를 나타낸다. 하지만 완전 보강 형태의 GSP는 8개의 앵커를 사용하여도 충분한 부착 성능을 발휘하기에 8개 보다 많은 앵커 수를 사용한다면 시공성, 경제성으로 적합하지 않다.

3) GSP의 부착 길이를 다르게 하여 보강한 완전 보강 형태, 부분 보강 형태 그리고 띠형 보강 형태들의 전단 보강 효과는 전단 철근의 유·무와 관계없이 완전 보강 형태로 보강했을 때 가장 크며 그 다음 부분 보강 형태 띠형 보강 형태 순으로 나타났다. 즉, GSP와 철근 콘크리트 보의 부착 면적이 클수록 GSP의 전단 보강 효과는 높아진다는 것을 나타낸다. 완전 보강 형태와 비교할 때 부분 보강 형태와 띠형 보강 형태의 전단 보강 효과가 떨어지는 이유는 전단 위험 구간 내를 완전히 보강하지 않아 콘크리트 면에 발생한 사인장 균열에 의한 것으로 판단된다. 철근 콘크리트 보의 전단 강도를 향상시키기 위해 보 외부에 GSP로 보강할 경우 되도록이면 전단 위험 구간 내를 연속적으로 보강해야 전단 보강 효과가 높아진다.

4) 전단 철근의 유·무와 관계없이 GSP의 섬유 방향이 수평인 방향과 수직인 방향으로 보강한 경우 사인장 균열 때문에 거의 동일한 전단 보강 효과를 나타내고 있다. 사인장 균열 방향이 부재 축에 대해서 45°이기 때문에 GSP의 섬유 방향이 보의 길이 방향에 대해 수평이든 수직이든 두 가지 GSP는 동일한 전단 보강 효과를 나타낸다.

5) GSP의 전단 보강 효과는 GSP를 구성하는 유리 섬유 겹 수의 증가와는 무관하게 나타났다. 유리 섬유 겹 수는 2겹 이상이 되면 겹 수의 증가와 강도의 증가는 무관하다고 판단되며 전단 보강 효과를 높이기 위해 섬유 겹 수를 증가 시켜도 보강 효과는 거의 증가하지 않는다. 또한 GSP의 전단 보강 효과는 유리 섬유의 두께 증가 보다는 보강할 콘크리트 구조물의 전단 위험 구간내에서 GSP의 연속적인 부착 면적이 커야 보강 효과가 증가한다.

본 연구에서는 각기 다른 형태의 GSP로 전단 보강한 철근 콘크리트 보를 전단 시험하여 이상과 같은 결론을 도출하였지만 시험체의 수가 많지 않아서 정확한 평가를 내리지 못하는 못하였다. 본 연구의 결과에서는 GSP의 전단보강 효과만을 고려하였으나 차후 GSP의 전단강도를 예측할 수 있는 제안식의 연구가 필요하다고 판단된다.

5. 참고문헌

1. 최기선, 유영찬, 김궁환, “전단보강비에 따른 FRP 슈트의 전단보강성능”, 2004년도 봄 학술발표회 논문집, pp.68-71
2. 최기선, 유영찬, 김궁환, “유리섬유슈트로 전단보강된 RC보의 전단강도에 대한 보강 매수 및 형태의 영향”, 2005년도 봄 학술발표회 논문집, pp.251-254
3. 김주연, 신영수, 홍건호, “재하상태에 따른 탄소 섬유슈트 및 강판의 전단 보강 효과”, 2000년도 봄 학술발표회 논문집, pp.775-780
4. 심종성, 김규선, “FRP로 보강된 RC보의 전단보강효과 비교연구”, 콘크리트학회지, 제10권, 4호, 1998. 8, pp.101-111
5. Thanasis C. Triantafillou, “Shear Strengthening of Reinforced Concrete Beam Using Epoxy-Bonded FRP Composites”, ACI Structural Journal, Title no.9-S11, March-April 1998, pp.107-115
6. Bimal B. Adhikary, Hiroshi Mutsuyoshi, “Artificial neural networks for the prediction of shear capacity of steel plate strengthened RC beams”, Construction and Building Materials18, 2004.03, pp. 409~417