

CFS 및 CFRP로 전단보강된 RC보의 전단보강효과 비교연구

A Comparative Study on the Shear-Strengthening Effect of RC Beams Strengthened by CFS or CFRP

심종성^{*}, 김규선^{**}

Sim, Jongsung Kim, Gyuseon

황성욱^{***}, 김정구^{***}, 이석무^{***}

Hwang, Sunguk Kim, Junggu Lee, Sukmu

ABSTRACT

This study presents test results of RC beams strengthened by carbon fiber sheet(CFS) or carbon fiber reinforced plastics(CFRP) for increasing shear resistance. Fifteen specimens were tested, and the test was performed with different parameters including the type of strengthening materials(CFS, CFRP), shear-strengthening methods(wing type, jacket type, strip type), strip-spacing, strengthening direction of FRP. The results show that shear-damaged RC beams strengthened by either CFS or CFRP have more improved the shear capacity.

1.서론

손상된 철근콘크리트보에 초과하중이 가해지면, 큰 처짐과 많은 균열을 동반하는 갑작스런 취성 파괴 형태의 전단파괴를 보인다. 이러한 거동은 바람직하지 않으며, 전단보강을 통하여 연성적인 휨파괴를

1)*정회원, 한양대학교 토목·환경공학과 부교수

2)**, 한양대학교 산업과학연구소 연구원

3)***, 한양대학교 토목공학과, 토목·환경공학과 석사과정

유도할 수 있도록 해야 한다. 기존의 전단보강 방법으로는 전단부위에 강판을 부착하는 공법이 일반적인 방법이지만, 자중과 부식문제 등의 약점을 가지고 있다. 최근 이러한 약점을 극복할 수 있는 신소재인 FRP를 이용한 보강기법에 관련된 연구가 많은 관심을 끌고 있다[1,2].

보강재마다 재료의 특성 때문에 전단보강기법이 달라지게 되는데 일반적으로 CFRP(Carbon Fiber Reinforced Plastics : 이하 CFRP)의 경우, I I 형태로 보의 측면을 보강하는 방법을 사용하게 되며 CFS(Carbon Fiber Sheet : 이하 CFS)와 GFRP의 경우는 재료가 유연하기 때문에 보의 측면과 하면을 I I 형태와 U형으로 보를 보강할 수 있게 된다. 따라서, 보강재가 가지는 재료적 성질이외에도 이러한 보강방법에 따라 보의 거동이 많이 달라지게 되는 것은 자명한 사실이다.

본 연구에서는 전단내력이 부족한 철근콘크리트보에 각각 CFS, CFRP를 사용해 보강한 경우, 그 보강효과 및 거동을 실험을 통해 비교·분석하였다.

2. 실험계획

2.1 사용재료 및 시험체제작

2.1.1 사용재료

본 실험에서 사용한 콘크리트는 설계강도가 240 kg/cm^2 으로 설계된 레미콘제품을 사용하였다. 콘크리트의 재령 28일 압축강도는 347 kg/cm^2 로 측정되었으며, 슬럼프값은 18cm로 측정되었다. 또한, 시험체의 배근에 사용된 철근은 항복응력 4000 kg/cm^2 인 D13, D16 철근이다.

2.1.2 시험체제작

본 연구에서 시험체는 전단보강효과를 검토하기 위해서 전단내력이 취약하도록 설계하였다. 단면의 전단력은 콘크리트가 거의 부담하도록 설계하였으며, 사용된 시험체는 단면이 $25 \times 25 \text{ cm}$ 이고 순지간은 각각 140cm, 200cm의 두 종류를 채택하였다. 본 연구에서 사용된 단면의 치수 및 배근상세는 그림1. 과 같으며, 그림2. 에는 보강재료별 보강방법 및 게이지 부착위치를 나타내었다.

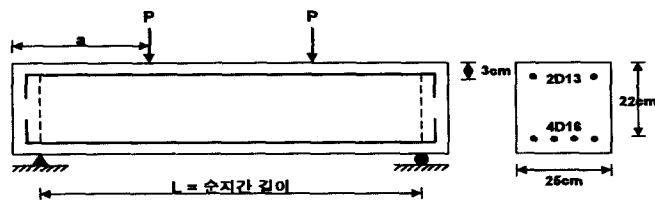


그림1. 시험체 단면치수 및 배근상세

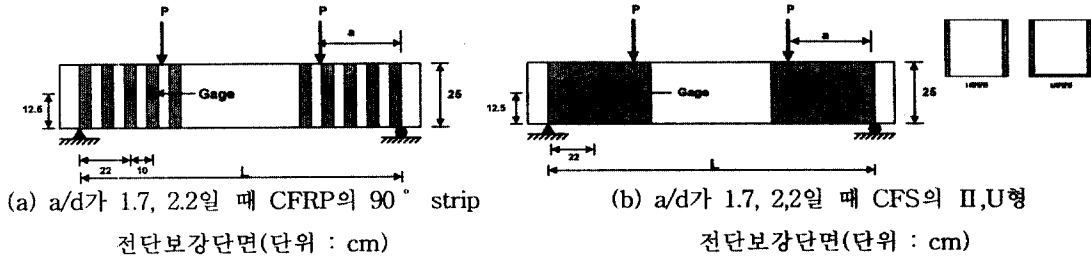


그림2. 각 보강재별 전단보강방법

2.2 실험변수

본 연구에서는 실험변수로서 보강재료, 전단스팬비(a/d), 측면보강방법, 보강간격 및 보강방향을 고려하였으며 이를 토대로 15개의 시험체를 제작하였다. 각각의 변수에 대한 세목 및 실험결과는 표2.에 나타내었다.

표2. 보강재로 전단보강된 보의 전단시험체 실험변수

실험변수 보강재료	전단스팬비 (a/d)	보강방법	최대하중 (P : ton)	보강효과 (%)	파괴양상	시험체명	
Control beam	1.7	-	10.5	-	전단	CON-1	
	2.2	-	6.25	-	전단	CON-2	
CFRP	1.7	II형	17.3	64.8	전단	CP1-VW	
		90° 스트립	10cm	16.3	54.8	전단	CP1-1VS
			20cm	16.3	54.8	전단	CP1-2VS
		45° 스트립	17.8	69.0	전단	CP1-1DS	
	2.2	II형	11.7	-	휨	CP2-VW	
		90° 스트립	10cm	9.45	51.2	전단	CP2-1VS
20cm	8.60		37.6	전단	CP2-2VS		
CFS	1.7	II형(90°)	17.0	61.9	전단	CS1-VW	
		II형(45°)	18.2	73.3	전단	CS1-DW	
		U형	13.3	26.7	전단	CS1-VU	
	2.2	II형(90°)	10.8	72.0	전단	CS2-VW	
		II형(45°)	11.0	77.6	전단	CS2-DW	
		U형	8.50	40.0	전단	CS2-VU	

2.3 측정방법

본 연구에서는 시험체의 전단내력평가를 위한 하중재하는 200t 규모의 만능시험기를 이용하여 직접 중앙에서 재하하였으며, 재하하중량을 측정하기 위하여 로드셀을 설치하였다. 또한 전단시험체의 변위를 측정하기 위하여 중앙부에 변위계를 설치하였으며, 인장철근의 항복여부를 판단하기 위해 중앙부에 strain gage를 주철근에 1개씩 타설전에 설치하였다. 그리고 보강재의 변형율을 측정하기 위해 스트립으로 단면을 보강한 경우에는 지점으로부터 보의 유효깊이만큼 떨어진 곳(22cm)의 위치로부터 보의 중앙(12.5cm)에 게이지를 부착하고, 이로부터 10cm 거리에 있는 보강재의 중앙부에 게이지를 섬유방향으로 부착하였다. II형단면과 U형단면의 경우에는 지점에서 좌측으로 유효깊이만큼, 그리고 지점

에서 상단으로 12.5cm 떨어진 곳에 삼축게이지를 각각 양쪽단면으로 하나씩 부착하였다.[그림2. 참조]

3. 실험결과 및 고찰

3.1 파괴양상

a/d가 2.2일 때 CFRP로 보강한 시험체의 경우는 측면을 전면보강한 경우(CP2-VW)를 제외하고는 모두 콘크리트를 물고 떨어지는 박리에 의한 취성적인 전단파괴를 나타내었으며, 특히 CFRP를 45° 방향으로 보강한 경우(CP1-DS) 전단균열이 가력점에서 지점으로 진전되지 못하고, CFRP에 의해 제어되어 거의 가력점에서 수직하게 진전되어 파괴되었다. 그리고 CFS로 보강한 경우는 모든 경우에 있어서 지지점과 가력점을 연결하는 전단균열을 따라 섬유방향에 수직한 방향으로 섬유가 찢어지면서 파괴되었으며 CFS와 CFRP로 보강된 시험체 모두 파괴시 콘크리트를 물고 떨어지는 박리현상을 보였다.

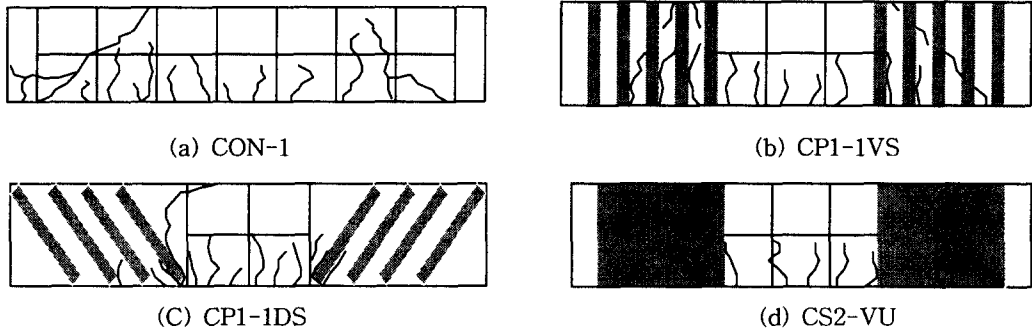
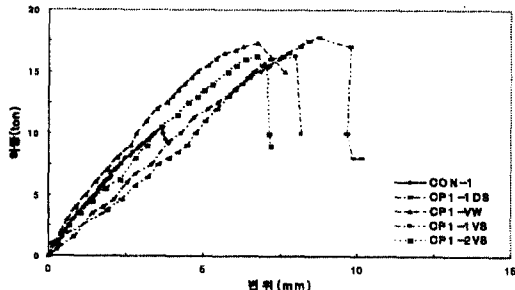


그림3. 시험체의 파괴양상

3.2 하중-변위관계

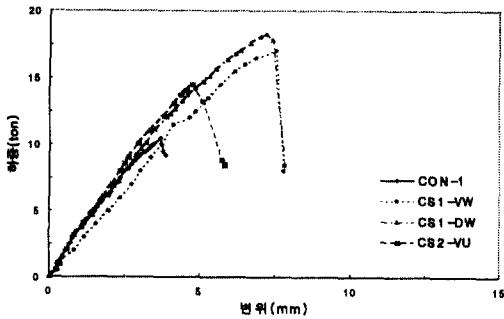
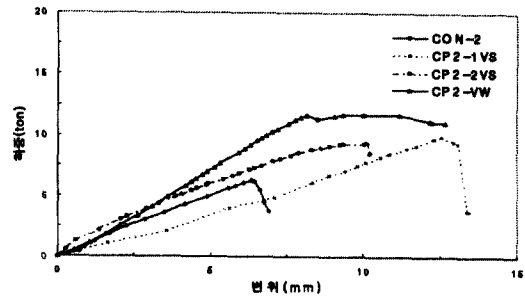
인장철근의 항복과 함께 휨파괴가 일어난 CP2-VW시험체와는 달리 모든시험체들이 파괴후 급격한 하강곡선을 보이며 파괴되는 것을 알 수 있다. 이는 모체콘크리트면에서 발생한 균열이 진전되다가 균열을 잡아주는 보강재들이 콘크리트를 물고 떨어지는 박리가 일어남으로써 전단에 대한 내력이 급격히 감소함을 보여주는 것이다.

그림4.을 살펴보면 CFS로 보강하였을 경우에는 강성의 변화가 거의 없는 것을 알 수 있으며, CFRP로 보강한 시험체의 하중-처짐곡선은 보강방법에 따라 강성의 변화가 큰 것을 알 수 있다. 이는 CFRP가 CFS에 비해 큰 강성을 가지므로 보강방법에 따라 이것이 보의 강성에 영향을 미친 것으로 판단된다.

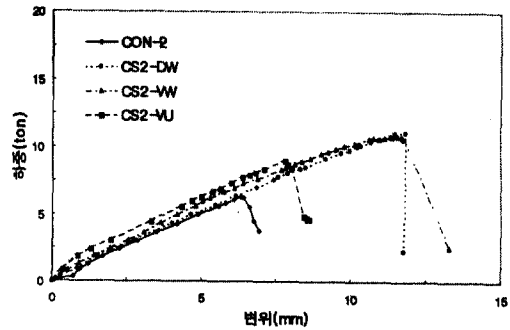


(a) $a/d = 1.7$ (CFRP 보강)

(a) $a/d = 2.2$ (CFRP 보강)



(d) $a/d = 2.2$ (CFS 보강)



(c) $a/d = 1.7$ (CFS 보강)

그림4. 하중-처짐관계

3.3 하중-보강재방향 변형률관계

CFS로 보강한 시험체의 경우, 보강재의 섬유방향 변형률은 모체콘크리트의 사인장균열면에서 무보강시험체의 최대전단력에 도달할때까지는 거의 나타나지 않으며, 무보강시험체의 최대 전단력이상이 되면 급격히 변형율이 증가하며, 이 때 45° 방향의 변형율은 훨씬 큰 값을 나타내어 섬유 직각방향으로 제어능력이 없는 CFS는 찢어지면서 박리·파괴된다.

CFRP로 보강한 경우에는 섬유방향의 변형도를 살펴보면 하중이 증가함에 따라 변형율도 점진적으로 증가하며 무보강시험체의 최대전단력이상이 되면 CFS와 마찬가지로 변형율이 급격히 증가하다가 콘크리트를 물고 떨어지면서 박리·파괴되는 현상을 보였다. 또한 스트립으로 보강을 한 경우보다 전면을 보강한 경우, 같은 하중내에서 변형도가 더 적음을 알 수 있으며, 이는 측면을 전면보강한 경우가 전단에 보다 효율적으로 저항한다는 것을 알 수 있다.

3.4 전단보강효과분석

CFRP와 CFS를 사용하여 RC보를 전단보강한 결과, 보강효과는 약 50~70%정도로 나타났다.[표2. 참조] CFRP의 경우 스트립의 간격은 큰 영향을 미치지 못하였지만, CFRP의 보강방향은 사인장균열

에 저항할 수 있도록 45°로 보강한 경우가 수직으로 보강하였을 경우보다 14%정도 향상되었음을 알 수 있으며, 이는 같은 재료를 사용하더라도 보강방향을 달리함으로써 보강재를 보다 효율적으로 사용할 수 있다는 것을 의미한다.

CFS의 경우에도 측면보강을 하였을 때 섬유방향을 수직으로 보강하였을 때보다 45° 방향으로 보강했을 경우가 8~12%정도로 보강효과가 우수함을 알 수 있으며, 이는 CFRP의 경향과 동일하다. 그러나 U형으로 보강한 경우가 측면보강한 경우보다 파괴하중이 적게 나온 것은 시공시 섬유면과 모체 콘크리트가 완전히 부착되지 않은 것에서 기인한다고 판단된다. CFS의 경우, 대체적으로 CFRP에 비해 보강효과가 조금더 우수한 것으로 나타났으며, 특히 파괴시 CFS의 섬유직각방향으로 찢어지면서 파괴되므로 섬유방향을 직각으로 한걸 더 보강할 경우, 보강성능이 더 향상될 것으로 기대되어진다. 그러나 CFS로 보강할 경우 이러한 보강효과에도 불구하고 CFS내의 콘크리트에서 발생하는 전단균열의 진행상황을 파악할 수 없으므로 유지관리측면에서 볼 때 문제가 있지만 CFRP를 사용해 스트립으로 보강할 경우에는 균열의 진행상황을 육안으로 관찰할 수 있을 뿐만 아니라 45°로 보강할 경우 CFS로 보강할 경우와 거의 동일한 보강효과를 나타내므로 유지관리 측면에서 적절한 보강방법으로 제안될 수 있다.

4. 결론

본 연구에서 제시된 연구결과를 정리하면 다음과 같다.

- 1) CFS 및 CFRP를 이용하여 전단에 취약한 RC보를 보강한 결과 보강효과가 50~70%정도로 충분한 보강효과를 나타내었다.
- 2) CFS 및 CFRP로 전단보강할 경우, 45° 방향으로 보강함으로써 보강재의 보강효율을 높일 수 있으며, 특히 CFRP를 스트립으로 보강할 경우 콘크리트면에서 발생하는 균열의 진행상황을 파악할 수 있으므로 유지관리측면이나 보강효과측면에서 바람직한 보강방법으로 제안될 수 있다.
- 3) CFS로 전단보강할 경우 파괴시 섬유의 직각방향으로 찢어지면서 파괴되므로 섬유방향을 직각방향으로 변형을 제어할 수 있도록 보강할 경우 보강성능이 더 향상될 것으로 판단된다.

감사의 글

본 연구는 건설교통부에서 주관하는 “96 건설기술 연구개발과제”를 수행함으로써 얻어진 결과이며, 저자들은 건설교통부의 후원에 대한 감사의 뜻을 전합니다.

참조문헌

1. Al-Sulaimani et al, *Shear Repair for Reinforced Concrete By Fiber glass Plate Bonding*, ACI Structural Journal, July-August, 1994, p.p. 458~464
2. Björn Täljsten, *Strengthening Of Structures Using Epoxy Bonded Steel or Fibre Reinforced Plastic Plates*, Extending the Lifespan of Structures, IABSE Symposium, 1995, p.p 1173~1179