

CFRP-Rod로 전단 보강된 철근콘크리트 보의 전단거동에 관한 실험적 연구

An Experimental study on Shear Resisting Effect of Reinforced Concrete Beams Filling-up Carbon Fiber Rod Plastic

김 영 식* 박 성 무**
Kim, young-Sik Park, Sung-Moo

요 약

이 연구의 목적은 CFRP로 보강된 철근콘크리트 보의 전단저항거동을 실험적으로 연구하는데 있다. 6개의 시험체를 제작하여 정적하중을 단조재하 하에 실험하였다. 실험의 주된 변수는 보강재의 보강간격 및 비(량)을 두어 실험을 실시하였다. 본 연구의 목적은 CFRP-rod를 사용한 매립공법에 의한 전단보강효과를 파악하고자 한다. 이 실험의 결과는 CFRP로 보강된 철근콘크리트 보의 극한 전단강도가 증가하는 것을 나타내고 있다.

Abstract

The purpose of this study is to investigate experimentally the shear resisting behavior of the reinforced concrete beams strengthened with reinforcement materials(CFRP). Five specimens were manufactured and tested under static monotonic loading. The main variables in the test were a space and volume of reinforcement. The test result indicated that the method of CFRP increase significantly the shear strength of a reinforced concrete beam

키워드 : CFRP, 전단 능력, 전단보강효과

keywords : Carbon Fiber Rod Plastic, Shear Capacity, Strengthened Effect, Reinforcement

1. 서론

철근콘크리트 구조물은 재료적, 시공적, 환경적, 구조적 요인으로 인하여 구조물의 노후와 및 성능 저하가 유발된다. 또한 최근 들어 기존 철근콘크리트구조물에 대한 보수, 보강의 요구가 증가되고 있는 추세이다. 21세기에 들어 복합 신소재 개발과 동시에 이를 활용하기 위하여 건설 분야에서 많은 연구를 진행해 오고 있다. 이에 탁월한 재료적 성능을 가지는 FRP(Fibre Reinforced Polymer/

Plastic)의 출현과 아울러 FRP Plate, Strip, Bar를 이용하여 기존 철근콘크리트 구조물을 보강하는 방법이 강판 부착공법의 대안으로 연구 개발되고 있다.

FRP는 지난 수십 여 년 동안 항공우주산업과 같은 다른 분야에서 상용화되어 널리 사용되어 왔고, 탁월한 성능으로 적용분야도 증가하고 있다. 토목, 건축분야에서 적용되는 FRP는 1984년 스위스 EMPA 연구소에서 CFRP Plate로 외부부착 보강한 철근콘크리트 보에 대한 최초의 연구가 이루어졌고, 그 이후 FRP보강에 대한 많은 연구가 이루어지고 있다.

그러나 FRP Plate 부착공법의 경우, 보강판의 단부 및 콘크리트 균열부에서 발생하는 응력집중

* 대구과학대학 건축과 조교수

Tel : 053-320-1182 E-mail : yosikim@tsc.ac.kr

** 영남대학교 건축학부 교수

E-mail : smpark@yu.ac.kr

으로 접착제와 인접한 콘크리트 면과 함께 조기박락과괴가 되는 문제점을 가지고 있다.

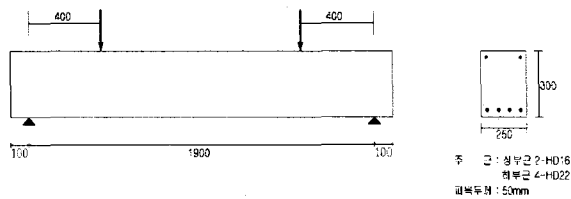
이러한 FRP Plate 부착공법의 문제점을 해결하기 위한 대안으로 탄소섬유막대(Carbon Fibre Rod Plastic, 이하 CFRP)를 역사다리꼴 형태로 제작하여 매립하는 공법이 제시되고 있다.

이에 본 연구에서는 역사다리꼴 탄소섬유막대(CFRP) 매립공법으로 전단보강된 철근콘크리트 보에 대한 실험을 수행 CFRP의 보강비와 보강간격에 따른 철근콘크리트 보의 전단보강효과 및 전단거동에 대하여 알아보하고자 한다.

2. 실험

2.1 시험체 계획

본 연구에서는 늑근을 보강하지 않은 철근콘크리트보에 역사다리꼴 CFRP 매립공법을 이용하여 수직방향으로 전단 보강된 시험체 6개를 제작하였다. 시험체의 실험변수는 CFRP의 보강 비 및 보강간격으로 두었고 전단스팬 비(a/d)는 1.6이다. 시험체 상세는 <그림 2.1>과 같다.

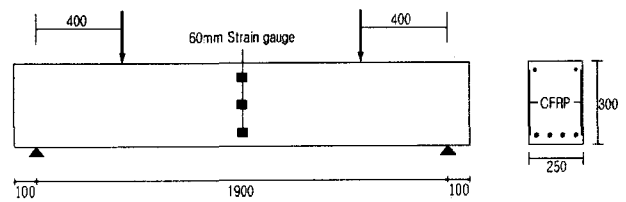


<그림 2.3> 시험체 상세도

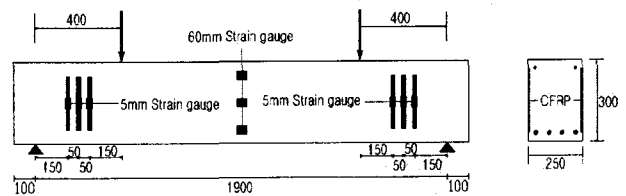
<표 2.1> 각 시험체명 및 실험변수

시험체명	전단 경간비 (a/d)	보강재 간격 (mm)	CFRP 매립 개수	CFRP보 강근비 (p/frp)	보강 방법
CB	1.6	-	-	-	
CORV50- I		50	3	0.00168	매립
CORV50- II		50	5	0.00280	매립
CORV100		100	3	0.00168	매립
CORV150		150	3	0.00168	매립
CORV200		200	1	0.00056	매립

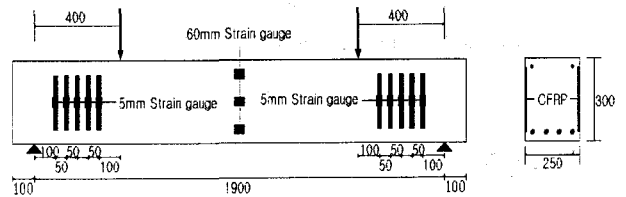
각 시험체명과 시험체별 실험변수는 <표 2.1>과 같다. 시험체 중 CB, CORV50- I, CORV50- II, CORV200은 CFRP의 보강비에 따른 전단보강효과를 알아보고, CORV50- I, CORV100, CORV150은 CFRP의 보강간격에 따른 전단보강효과를 알아보고자 한다. 시험체별 CFRP의 보강상세와 게이지위치 등은 <그림 2.2> ~ <그림 2.7>과 같다.



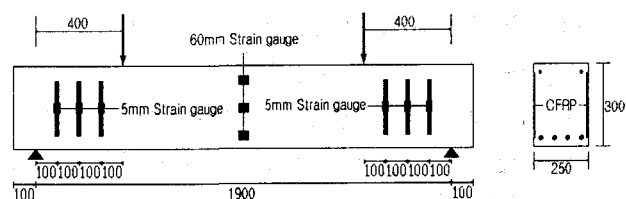
<그림 2.2> CB 시험체



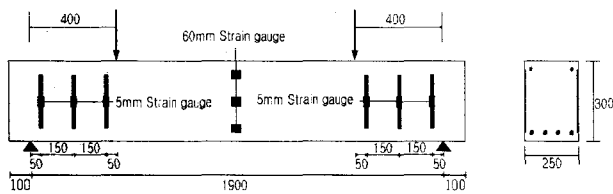
<그림 2.5> CORV50- I 시험체



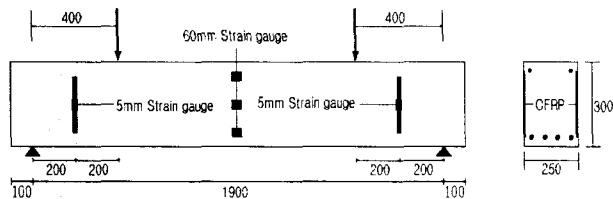
<그림 2.6> CORV50- II 시험체



<그림 2.7> CORV100 시험체



<그림 2.8> CORV150 시험체



<그림 2.9> CORV200 시험체

2.2 실험방법

시험체의 제원은 전장 2100mm, 순 스패 1900mm이고, 단면은 250 x 300mm이다. 가력점의 위치는 지점에서 400mm(전단경간 비 : 1.6) 떨어진 위치에 2점 가력을 실시하였다. 단순보 지지조건을 만족시키기 위해 지지점과 가력지점에 핀 경계조건으로 하였다. 가력장치는 981kN 용량의 유압식 U.T.M을 사용하였다.

LVDT는 시험체 중앙부 하단에 설치하여 시험체의 처짐량을 측정하였다. 주근의 하중에 따른 인장 변형률을 알아보기 위해 시험체의 중앙부에 1방향 게이지(FLA-5-1L)를 부착하였고, CFRP의 하중에 따른 변형률을 알아보기 위해 지점과 가력점 사이에 보강된 CFRP 중앙부에 1방향 게이지(FLA-5-1L)를 각각 부착하였다. 콘크리트의 압축 및 인장 변형률과 중립축 위치를 알아보기 위해 시험체 중앙부에서 압축영역, 단면중앙부, 인장영역으로 시험체의 표면에 1방향 게이지(PL-60)를 부착하여 하중상태에 따른 변형률을 측정하였다.

시험체의 하중상태에 따른 균열 위치 및 진전상태 알아보기 위해 시험체 표면에 수성백색페인트로 도포한 후 가로 100mm, 세로 50mm 간격으로 Grid를 그려 시험체의 균열 위치 및 진전상태를 정확히 파악하도록 하였다.

U.T.M값, LVDT값과 Strain Gauge값은 Data

Logger(TDS-601)기기를 사용하여 그 값을 습득하였다.

2.3 재료의 특성

2.3.1 콘크리트

<표 2.2> 콘크리트의 재료 역학적 성질

배합강도 (MPa)	압축강도(MPa)	탄성계수 (Mpa)
	재령28日	
20.60	22.34	2.22×10^4
	19.28	2.06×10^4
	23.11	2.26×10^4
평균	21.58	2.18×10^4

본 실험의 시험체 제작에 사용된 콘크리트는 20.60MPa의 설계기준강도를 목표로 굵은 골재 최대치수 25mm, Slump 150mm인 레미콘 제품을 사용하였다. 재령 28日압축강도는 측정 결과는 설계강도와 다소 차이가 나는 21.58MPa이다.

2.3.2 철근

본 실험의 시험체에서 사용된 철근은 압축철근 D16(SD24), 인장철근 HD22(SD40), 스테럽 D10(SD24)를 사용하였다. 철근의 재료 역학적 성질은 <표 2.3>과 같다.

<표 2.3> 철근의 재료 역학적 성질

종 류	인장강도 (MPa)	탄성계수 (MPa)
SD24	235.36	0.21×10^6
SD40	392.27	0.21×10^6

2.3.3 보강재

본 실험에서 보강재로 사용된 CFRP는 국내회사에서 개발된 제품으로서 재료 역학적 성질은 <표 2.4>와 같다. 또한 CFRP 부착에 사용된 전용접착제와 에폭시 프라이머의 재료 역학적 성질은 <표 2.5> ~ <표 2.6>과 같다.

<표 2.4> CFRP의 재료 역학적 성질

종류	탄성계수(MPa)	인장강도(MPa)
CFRP	0.15×10^6	1638.27

<표 2.5>전용접착제(C.E-33)의 재료 역학적 성질

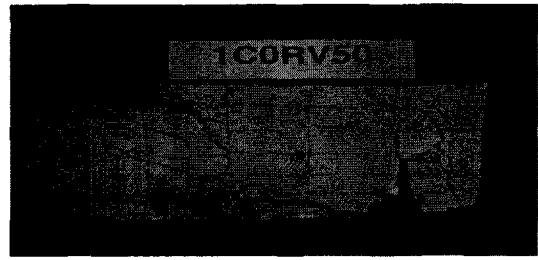
측정항목	단 위	결과치	시험방법
부착강도	MPa	3.54	KSF 4715
압축강도	MPa	109.87	KSM 3015
굴곡강도	MPa	62.49	KSM 3015
샤르피 충격강도	MPa	0.44	KSM 3015

<표 2.6> 전용 에폭시 프라이머(C.E-33P)의 재료역학적 특성

측정항목	단 위	결과치	시험방법	비 고
점 도	(cP)	193	KSM 3705	혼합시
고형분	(%)	55	KSM 5000	
비 주제		1.02	KSM 5000	25℃
	중 경화제	0.90	KSM 5000	25℃
가사시간	(시간)	2.0	KSM 5307	25℃



<그림 3.1> CB 시험체



<그림 3.2> CORV50-I 파괴양상



<그림 3.3> CORV50-II 시험체

3. 실험결과

본 연구에서 각 시험체는 전반적으로 전단압축 파괴양상을 보이고 있으며 각 시험체의 파괴 및 균열형태는 <그림 3.1> ~ <그림 3.6>와 같다. 인장 주근의 변형률을 보면 최대하중점에서 항복하지 않은 것을 알 수 있었다. 모든 시험체는 초기 휨 균열이 발생한 후 사인장 균열이 발생하기 시작하였다. CB 시험체의 경우의 파괴거동은 하중점

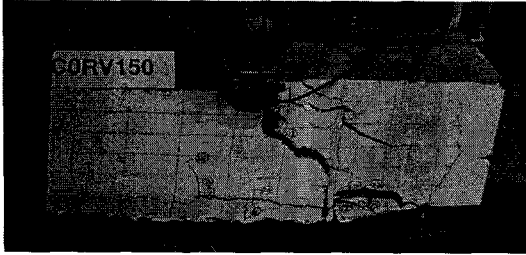
과 지지점을 사이에서 사인장 균열이 진전함으로 파괴가 일어났고 CFRP로 보강된 시험체는 전체적인 파괴거동은 사인장 균열이 CFRP에 의해 연속적으로 생기지 못하고 CFRP보강방향인 수직으로 균열이 진전 되면서 종국 파괴 시에는 CFRP가

<표 3.1> 시험체별 실험결과

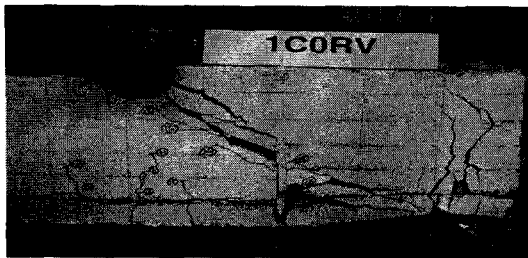
시험체명	CFRP 전단 보강비	$P_{max}(kN)$	초기 전단균열 $V_i(kN)$	전단강도 $V_u(kN)$	보강재 강도 $V_{frp}(kN)$	최대처징 $\delta_{max}(mm)$	CFRP전단내력분담률 (%)	비 고
CB	-	259.48	168.87	129.74	-	5.03	-	
CORV50-I	0.00168	308.52	152.30	154.26	24.52	6.65	15.9	
CORV50-II	0.00280	442.97	180.34	221.48	91.74	10.23	41.4	
CORV100	0.00168	278.70	165.83	139.35	9.61	5.82	6.9	
CORV150	0.00168	274.19	163.08	137.10	7.36	5.61	5.4	
CORV200	0.00056	271.06	187.90	135.53	5.79	5.32	4.3	



<그림 3.4> CORV100 파괴양상



<그림 3.5> CORV150 파괴양상



<그림 3.6> CORV200 파괴양상

콘크리트를 물고 떨어지는 양상을 보였다. 각 시험체별 실험결과는 <표 3.1>과 같다. CFRP로 매립한 경우의 전단보강 효과는 CB시험체와 비교한 결과, CFRP의 의한 전단내력 증대를 확인 할 수는 있었다. CFRP에 의한 전단내력 증가가 재료의 CFRP의 보강량과 보강비에 따른 전단 보강 효과를 분석하고 그에 따른 적정 보강량 과 효율적인 보강 방법을 찾고자 한다.

4. 분석 및 고찰

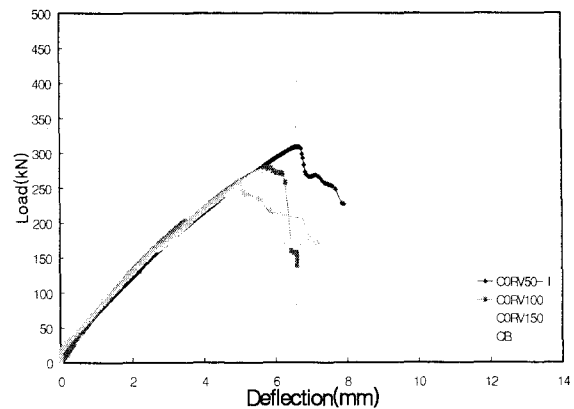
4.1 CFRP 보강간격에 따른 전단보강효과

CFRP 보강간격에 따른 실험결과를 분석하면 각 시험체 CORV50-I, CORV100, CORV150의 전단강도는 시험체 CB를 기준으로 할 때 각각 19%, 8%, 6%의 증가되었다. 이는 CFRP의 보강간격이

사인 장 균열의 중심을 기준으로 볼 때 중심에서 집중되어 있는 CCORV50-I 시험체의 보강효과가 가장 크다는 것을 알 수 있었다.

4.1.1 하중 - 변위 곡선

각 시험체 CORV50-I, CORV100, CORV150의 하중 - 변위 곡선 <그림 4.1>을 분석하면 기울기의 변화는 거의 일치함을 알 수 있다. 따라서 각 시험체의 강성의 변화는 없는 것으로 보인다. 하지만 보강량을 일정하게 유지하고 CFRP 보강간격을 각 50mm, 100mm, 150mm로 배치한 각 시험체의 순수 전단 강도 내력을 평가한 결과, 하중 - 변위 곡선 <그림 4.1>과 같이 보강간격이 작을수록 시험체의 전단 강도는 크게 나오는 것을 알 수 있다. 각 시험체별 전단강도에서 CFRP의 전단 강도 분담률은 <표 3.1>과 같이 각각 15.9%, 6.9%, 5.4%이다. 하중에 의한 처짐은 시험체별 하중 - 변위 곡선의 기울기가 거의 일치하기 때문에 하중이 증가할수록 처짐도 동일한 비율로 증가하는 것을 알 수 있다.



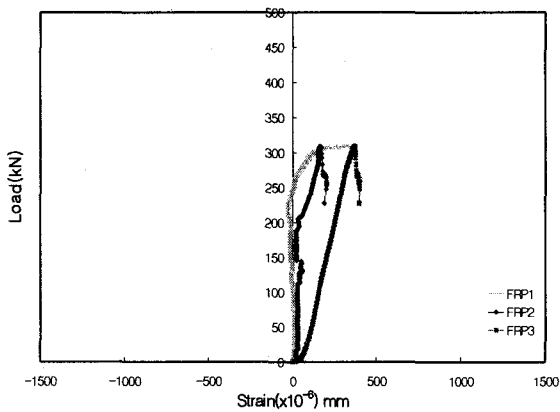
<그림 4.1> 보강간격에 따른 시험체별 하중 - 변위 곡선

4.1.2 하중 - CFRP 변형률 곡선

본 시험체에서 최대하중에 도달했을 때 CFRP의 변형률을 살펴보면 <그림 4.2> ~ <그림 4.4>에서와 같이 CORV50-I 시험체는 CFRP 변형률 0.000272~0.000651, CORV100시험체0.000187~0.000499, CORV150 시험체는 0.000131~0.000587로 일정

하고 규칙된 변형률을 보이고 있지 않고 있으며 시험체의 전단파괴시까지의 CFRP 변형률은 그다지 크지 않은 것으로 보인다.

각 시험체별로 보면 CORV50-I은 CFRP가 서서히 변형을 일으키는 시점은 보강된 3개의 CFRP가 각각 다르게 변형을 한다. 중앙부의 경우 200kN에서 변형이 서서히 일어난다. 하중점에 가까운 CFRP의 변형률은 CB시험체의 최대하중 250kN에 도달하게 되면 급격하게 CFRP 변형률 증가를 보이고 있다. CORV100, CORV150 시험체의 CFRP 변형률은 <그림 4.2> ~ <그림 4.3>에서 보듯이 일정한 하중 - CFRP 변형률은 초기 전단균열이 발생한 165kN 지점에서 CFRP 변형률 증가를 보이고는 있으나 그 크기는 작은 것으로 보인다. 따라서 CFRP의 전단 보강 효과가 크지 않음을 알 수 있다.

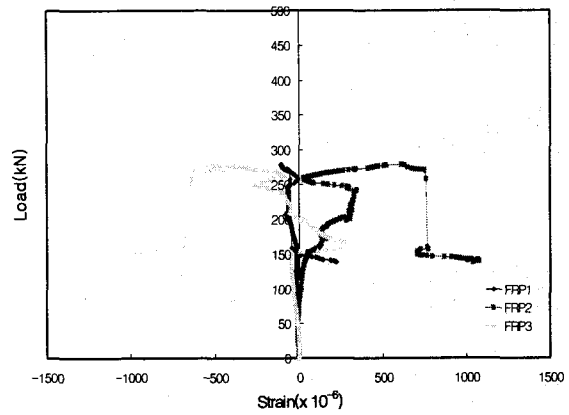


<그림 4.2> CORV50-I 시험체 하중 - CFRP 변형률 곡선

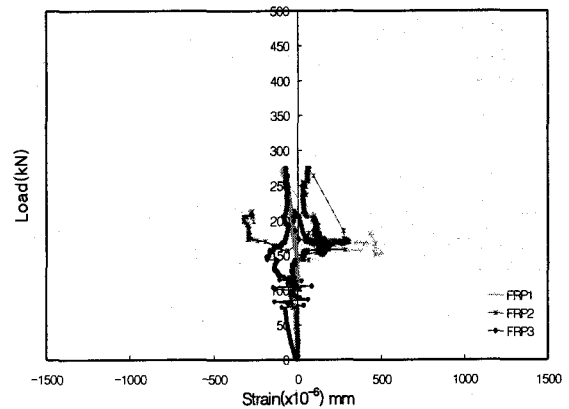
4.2 보강비에 따른 전단보강효과

CFRP 보강비를 실험변수로 둔 시험체는 CB, CORV50-I, CORV50-II, CORV200로 4개의 시험체를 제작하여 실험을 하였다. 시험체 CORV200의 전단보강 비는 0.00056, CORV50-I의 전단보강 비는 0.00168, CORV50-II의 전단보강 비는 0.0028로 하여 CORV50-I은 CORV200에 대해 전단보강비가 3배, CORV50-II는 CORV200에 대해 전단보강비가 5배이다. 각 시험체별 전단보강효과를 살펴보면 CB 시험체에 대비하여 CORV200 시험체는 4.4% 증가하였고 CORV50-I 시험체는 19%,

CORV50-II의 경우는 71%의 내력증가를 보였다.



<그림 4.3> CORV100 시험체 하중 - CFRP 변형률 곡선



<그림 4.4> CORV150 시험체 하중 - CFRP 변형률 곡선

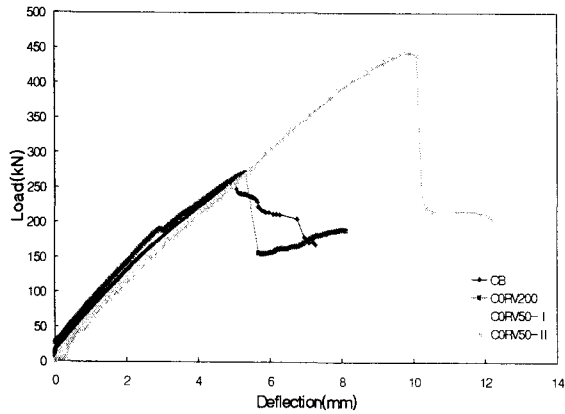
4.2.1 하중 - 처짐 곡선

CFRP 보강비에 따른 시험체의 하중 - 처짐 곡선 <그림 4.6>과 같이 곡선의 기울기는 전 시험체에 걸쳐 거의 같은 것으로 보아 전단보강비 증가에 따른 시험체의 강성증가는 거의 없는 것으로 판단되고, 전단보강비에 따라 비례적으로 전단내력이 증가하지 않는 것으로 나타났다.

4.2.2 하중 - CFRP 변형률 곡선

본 연구의 각 시험체가 최대하중에 도달했을 때 CFRP의 변형률은 그다지 크지 않은 것으로 보인다. 따라서 CFRP가 전단파괴 시까지 항복을 하지

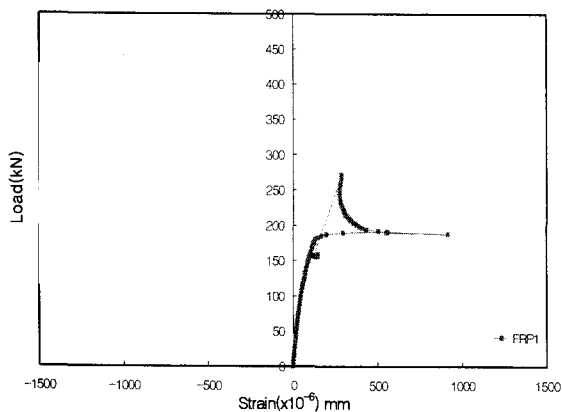
않고 최대하중까지 진행되는 것을 알 수 있다. CFRP의 각 시험체별 전단강도 분담률은 전단보강비에 따라서 4.3%~41.4% 범위로 그 차이가 분명하게 나타났다. <그림 4.2>에서와 같이 CORV50-I 시험체의 하중 - FRP 변형률을 살펴보면 200kN 부터 본격적으로 CFRP가 전단하중에 대해 성능을



<그림 4.5> 보강비에 따른 시험체별 하중 - 변위 곡선

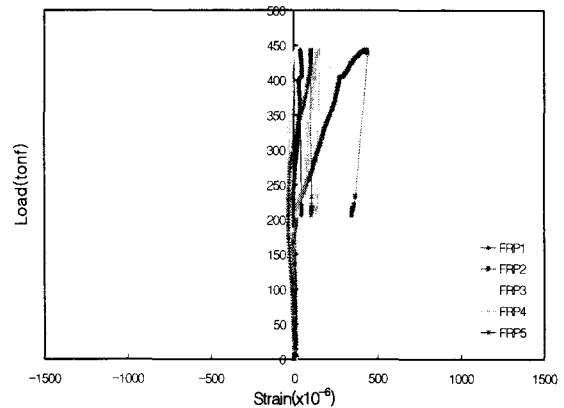
발휘하는 것으로 보인다. 또한, 하중에 대한 CFRP의 변형률은 거의 선형적으로 변형을 하는 것을 알 수 있다.

<그림 4.6>에서와 같이 CORV200 시험체의 CFRP 변형률을 살펴보면, 초기 전단 균열이 발생한 시점부터 직선적으로 변형률이 증가 하다가 사인장 균열이 CFRP의 보강방향으로 진전되면서 비선형적으로 변형하는 것을 알 수 있다.



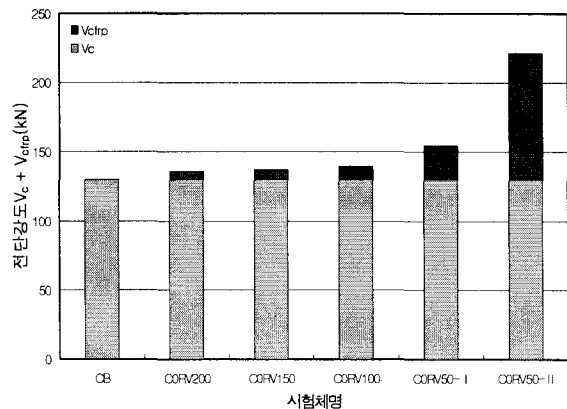
<그림 4.6> CORV200 시험체 하중 - CFRP 변형률 곡선

<그림 4.7>에서와 같이 C05V50-II 시험체의 경우는 보강된 CFRP 전체가 같은 변형률은 보이지 않지만 보강되지 않은 콘크리트의 전단강도 지점인 250kN에서 CFRP 변형률이 커지기 시작함으로 CFRP가 본격적으로 전단을 견디는 내력을 발휘하는 것으로 나타났다. 따라서 CFRP의 보강비가 클수록 CFRP가 전단하중에 견디는 내력비중이 전단보강비에 비례하지 않고 커지는 것으로 보인다.



<그림 4.7> CORV50-II 시험체 하중 - CFRP 변형률 곡선

4.3 CFRP 전단보강 효과 평가



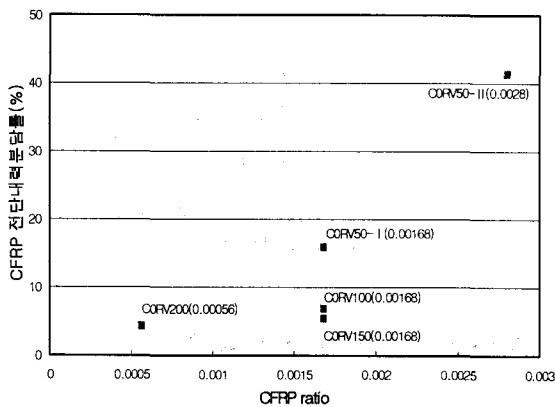
<그림 4.8> 시험체별 전단강도

위의 실험결과에서 보여주듯이, CFRP 전단보강된 철근콘크리트 보의 전단보강효과가 있는 것으로 사료된다. 본 실험에서는 스테럽을 배근하지 않았기 때문에 CFRP로 보강된 철근콘크리트 보의

전단강도는 식①과 같이 콘크리트의 전단강도와 CFRP의 전단강도의 합으로 볼 수 있다.

$$V_n = V_c + V_{cfpr} \dots\dots\dots\text{①}$$

콘크리트의 전단강도 V_c 는 시험체 CB의 결과에서 129.74kN임을 알 수 있고 이를 근거로 V_{dfp} 를 각 시험체로 별로 전단보강 효과는 <그림 4.8>과 같다. 그 결과 동일한 보강량이라도 CFRP의 보강위치 즉 보강간격에 따라 다름을 알 수 있었고 CFRP의 전단 보강비에 따라서도 비례하지 않음을 알 수 있었다. <그림 4.9>는 각 시험체의 CFRP 전단내력 분담률을 나타내고 있다.



<그림 4.9> CFRP 보강비에 따른 CFRP 전단내력분담률

5. 결 론

(1) 시험체의 균열은 단면의 중앙부에서 조금 아래인 부분에서 생기기 시작하여 상하부로 θ 를 가진 사인장 균열로 진전되다가 CFRP 수직 매립된 부분에 도달하여 수직으로 진전하였다. 균열이 CFRP매립부분에 집중되어 응력집중현상이 일어나

급작스럽게 콘크리트가 CFRP를 물고 떨어지는 취성파괴를 보였다.

따라서 CFRP매립공법은 콘크리트와 CFRP의 부착응력이 콘크리트강도보다 크기 때문에 부착에 대해서는 고려를 하지 않아도 된다고 판단된다.

(2) 동일한 CFRP 보강비 조건하에 보강재의 보강 간격에 따른 CFRP의 전단보강 효과는 보강재 위치가 사인장 균열의 중앙부에 집중될수록 전단보강효과가 우수한 것으로 판단된다.

(3) 보강재의 보강 비에 따른 CFRP의 전단보강 효과는 보강량이 증가할수록 전단에 대한 내력은 증가하는 것을 나타내나, 전단내력의 증가율이 보강재의 보강 비에 따라 비례적으로 증가하지는 않았다. 따라서 CFRP의 전단보강 효과를 예측하기 위해서는 앞으로도 많은 연구를 필요로 한다.

참고문헌

1. J. G. Teng, J. F. Chen, S. T. Smith, L. Lam, "FRP STRENGTHENED RC STRUCTURE", John Wiley & Sons, LTD, 2001
2. T. C. Zsutty, " Shear Strength prediction for Separate Categories of Simple Beam Tests." J. ACI, Vol. 68, No. 2, Feb, 1971
3. 심종성, 김규선, "FRP로 보강된 RC보의 전단보강효과 비교연구", 콘크리트학회지, 제 10권 4호, 1998
4. 신영수, "탄소섬유쉬트에 의한 철근콘크리트보의 전단보강효과", 대한건축학회 논문집, 15권 9호, 1999
5. 신성우, "탄소섬유쉬트로 보강한 R/C보의 전단거동에 관한 연구", 한국구조물진단학회, 제3권 제 3호, 1998