

전단보강근이 없는 철근콘크리트보의 매립형 CFRP 전단보강효과에 대한 연구

A Study on the Shear Resisting Effect of Filling-up Carbon Fiber Rod Plastic in Reinforced Concrete Beam without Web Reinforcement

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

요 약

철근콘크리트구조물은 시간이 경과함에 따라 노후화현상이 일어난다. 이에 갱생수단으로 보수·보강이 이루어지고 있다. 현재 보강재료로서 FRP가 높은 관심과 더불어 많은 활용을 하고 이에 대한 연구가 이루어지고 있다.

본 연구에서는 전단보강근이 없는 철근콘크리트보에 매립형 탄소섬유막대(CFRP)를 전단보강하여 그에 따른 효과를 파악하기 위해 시험체를 제작하여 실험을 수행하였다. 전단보강근이 없는 철근콘크리트보에 매립형 탄소섬유막대(CFRP)를 전단보강하여 탄소섬유막대(CFRP)의 순수전단내력을 파악하고, 전단보강에 따른 시험체의 전단파괴거동을 파악하고자 한다. 또한 실험변수를 탄소섬유막대(CFRP)의 보강량과 보강간격으로 두어, 이에 따른 전단보강효과를 파악하고자 한다.

Abstract

The reinforced concrete becomes deteriorated. In strengthening of reinforced concrete structure, it is recently using FRP. The purpose of this study is to investigate the shear resisting effect of filling-up CFRP in reinforced concrete beams without web reinforced. Six specimens were manufactured and tested. In the test result, it was analysis. The main variables in the test were a space and volume of CFRP.

키워드 : CFRP, 전단내력, 전단보강효과, 보강간격, 보강량

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

1. 서 론

철근콘크리트구조물은 재료적, 시공적, 환경적, 구조적 요인으로 인하여 구조물의 노후화 및 성능 저하가 유발된다. 최근 들어 기존 철근콘크리트구조물에 대한 보수·보강의 요구가 증가되고 있는 추세이다.

손상된 철근콘크리트보에 초과하중이 가해지면 갑작스런 취성파괴 형태의 전단파괴를 일으키게 된다. 이런 파괴는 바람직하지 않는 파괴거동이며, 이에 전

단보강을 통하여 연성적인 휨 파괴를 유도하여야 한다. 기존의 전단보강방법은 전단공간에 강판을 부착하는 공법이 일반적인 방법이지만 몇 가지 문제점을 안고 있다. 자중의 증가, 강판의 부식문제 등의 문제점이 있다. 이러한 문제점을 극복하기 위해 신소재인 FRP를 이용한 보강기법에 관한 연구에 많은 관심을 가지고 있다. 그러나 FRP Plate 부착공법의 경우, 보강판의 단부 및 콘크리트 균열부에서 발생하는 응력 집중으로 접착제와 인접한 콘크리트면과 함께 조기 박리파괴가 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.

* 대구과학대학 건축과 조교수
Tel : 053-320-1182 Fax : 053-320-1182
E-mail : yosikim@tsc.ac.kr
** 영남대학교 건축학부 교수
E-mail : smpark@yu.ac.kr

이에 본 연구에서는 역사다리꼴 매립형 CFRP 으로 전단보강된 철근콘크리트보에 대한 실험을 수행하여 CFRP의 보강량과 보강간격에 따른 철근콘크리트보의 전단거동 및 보강효과에 대하여 알아보고, CFRP의 순수전단내력을 파악하고자 한다.

2. 실험계획

2.1 사용재료

2.3.1 콘크리트

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

<표 1> 콘크리트의 물리적 특징

배합강도 (MPa)	압축강도(MPa)	탄성계수 (Mpa)
	재령28일	
20.60	22.34	2.22 x 10 ⁴
	19.28	2.06 x 10 ⁴
	23.11	2.26 x 10 ⁴
평균	21.58	2.18 x 10 ⁴

2.3.2 철근

본 실험의 시험체에서 사용된 철근은 압축철근 D16(SD24), 인장철근 HD22(SD40), 스티럽 D10(SD24)를 사용하였다. 철근의 물리적 특징은 <표 2>과 같다.

<표 2> 철근의 물리적인 특징

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

2.3.3 보강재

본 실험에서 보강재로 사용된 CFRP는 국내회사에서 개발된 제품으로서 물리적 특징은 <표 3>와 같고, CFRP 부착에 사용된 전용접착제와 에폭시 프 라이머의 물리적 특징은 <표 4>~<표 5>과 같다.

<표 3> CFRP의 물리적 특징

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

<표 4> 전용접착제(C.E-33)의 물리적 특징

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 5> 전용 에폭시프라이머의 물리적 특징

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

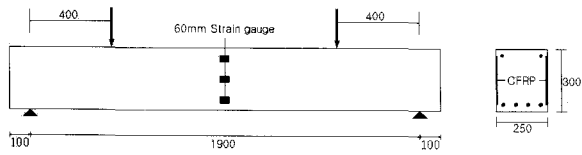
2.2 시험체 제작

본 연구에서는 전단보강근이 없는 철근콘크리트보에 매립형 CFRP을 수직방향으로 전단보강하여 시험체를 6개 제작하였다. 실험변수로는 CFRP의 보강량 및 보강간격으로 하였고, 전단경간비(a/d)는 1.6이다.

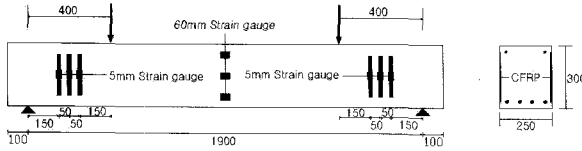
각 시험체명과 시험체별 특성은 <표 6>과 같다. 시험체 중 CB, CORV50- I, CORV50- II, CORV200시험체는 CFRP의 보강량에 따른 전단보강효과를 알아보기 위한 시험체이고, CORV50- I, CORV100, CORV150 시험체는 CFRP의 보강간격에 따른 전단보강효과를 알아보기 위한 시험체이다. 시험체별 CFRP의 보강상세와 게이지위치 등은 <그림 1>~<그림 6>과 같다.

<표 6> 시험체명 및 실험변수

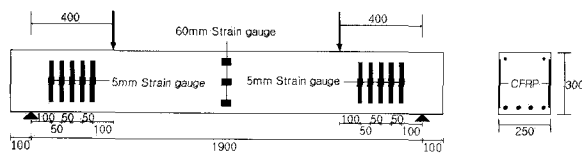
시험체명	전단 경간비 (a/d)	CFRP 간격 (mm)	CFRP 매립 개수	CFRP보 강근비 (ρ_{frp})	보강 방법
CB	1.6	-	-	-	
CORV50- I		50	3	0.00168	매립
CORV50- II		50	5	0.00280	매립
CORV100		100	3	0.00168	매립
CORV150		150	3	0.00168	매립
CORV200		200	1	0.00056	매립



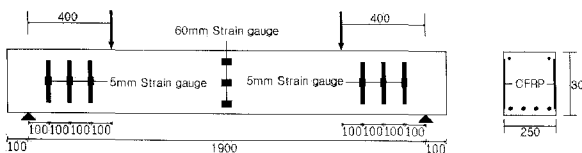
〈그림 1〉 CB시험체 상세도



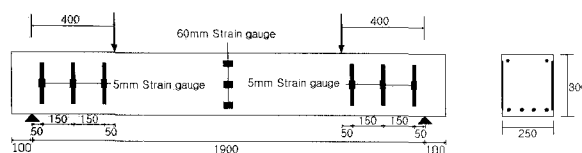
〈그림 2〉 CORV50-I 시험체 상세도



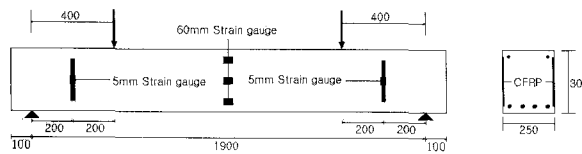
〈그림 3〉 CORV50-II 시험체 상세도



〈그림 4〉 CORV100시험체 상세도



〈그림 5〉 CORV150시험체 상세도



〈그림 6〉 CORV200시험체 상세도

2.3 실험방법

시험체의 제원은 전장 2100mm, 순 스패น 1900mm이고, 단면은 250 x 300mm이다. 가력점의 위치는 지점에서 400mm(전단경간비 : 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 시험체

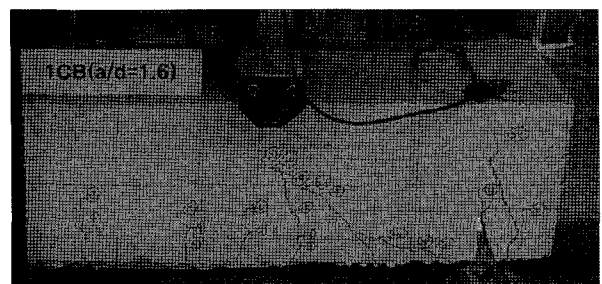
의 처짐량을 측정하였다. 주근의 하중에 따른 인장 변형률을 알아보기 위해 시험체의 중앙부에 1방향 게이지(FLA-5-1L)를 부착하였고, CFRP의 하중에 따른 변형률을 알아보기 위해 지점과 가력점 사이에 보강된 CFRP 중앙부에 1방향 게이지(FLA-5-1L)를 각각 부착하였다. 콘크리트의 압축 및 인장 변형률과 중립축 위치를 알아보기 위해 시험체 중앙부에서 압축영역, 단면중앙부, 인장영역으로 시험체의 표면에 1방향 게이지(PL-60)를 부착하여 하중상태에 따른 변형률을 측정하였다.

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

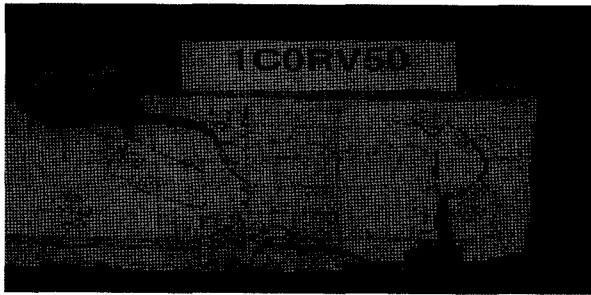
U.T.M값, LVDT값과 Strain Gauge값은 Data Logger(TDS-601)기기를 사용하여 그 값을 습득하였다.

3. 실험결과

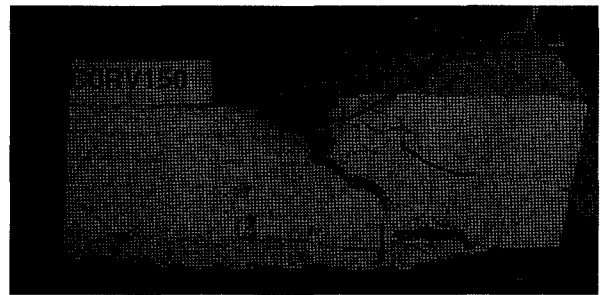
본 연구에서, 전반적인 시험체의 파괴양상은 전단 압축파괴양상을 보였으며 각 시험체별 파괴 및 균열 형태는 <그림 7>~<그림 12>와 같다. 모든 시험체는 초기 휨 균열이 발생한 후 사인장균열이 발생하기 시작하여 파괴하였다. CB 시험체의 경우, 파괴거동은 하중점과 지지점을 사이에서 사인장균열이 진전함으로 파괴가 일어났고 CFRP로 보강된 시험체의 전체적인 파괴거동은 사인장균열이 CFRP에 의해 연속적으로 생기지 못하고 CFRP보강방향인 수직으로 균열이 진전 되면서 종국 파괴 시에는 콘크리트가 CFRP를 물고 떨어지는 양상을 보였다.



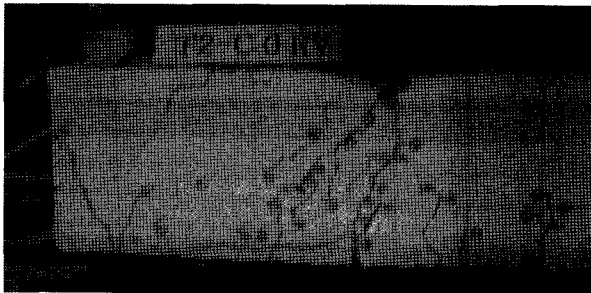
〈그림 7〉 CB시험체 파괴양상



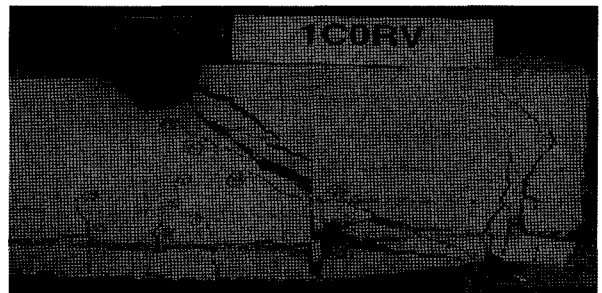
〈그림 8〉 1CORV50-I 시험체 파괴양상



〈그림 11〉 1CORV150 시험체 파괴양상



〈그림 9〉 1CORV50-II 시험체 파괴양상



〈그림 12〉 1CORV200 시험체 파괴양상



〈그림 10〉 1CORV100 시험체 파괴양상

각 시험체별 실험결과는 <표 7>과 같다. CFRP로 매립한 경우의 전단보강효과는 CB 시험체와 비교한 결과, CFRP의 의한 전단내력 증대를 확인 할 수 있었다. 실험결과를 토대로 CFRP에 의한 전단보강효과를 분석한다.

〈표 7〉 각 시험체별 실험결과

시험체명	CFRP 전단보강비	Pmax (kN)	초기 전단균열Vi (kN)	전단강도 Vu(kN)	보강재 강도 Vcfpr(kN)	최대처짐 δ max(mm)	CFRP전단 내력분담률(%)	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	

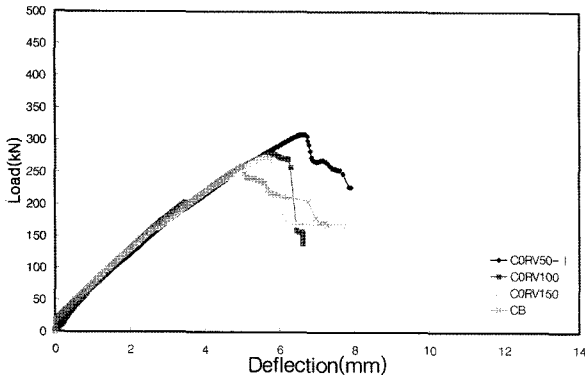
4. 분석 및 고찰

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 증가하였다. 이는 CFRP의 보강간격이 사인장균열의 중심을 기준으로 볼 때 중심에서 집중되어 있는 CORV50-I 시험체의 보강효과가 가장 크다는 것을 알 수 있었다.

4.1.1 하중 - 변위 곡선

각 시험체 CORV50-I, CORV100, CORV150의 하중 - 처짐 곡선 <그림 13>을 분석하면 기울기의 변

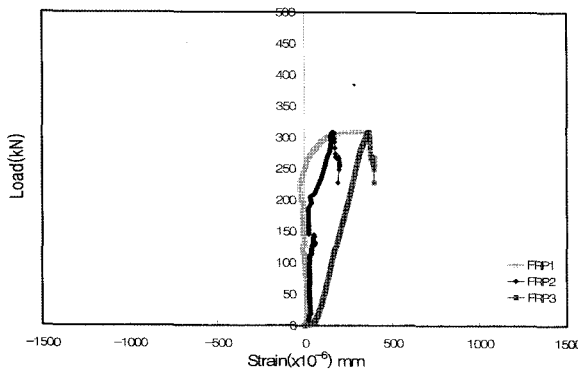


〈그림 13〉 보강간격에 따른 하중-처짐곡선

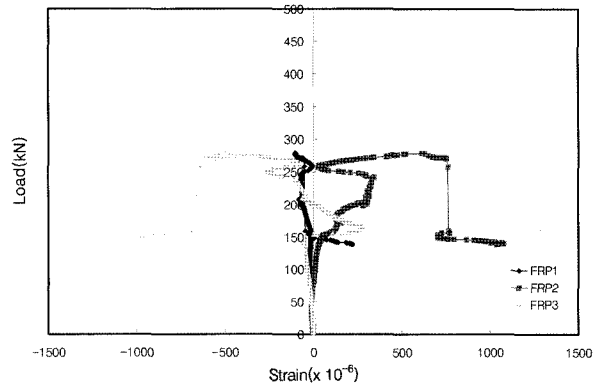
화는 거의 일치함을 알 수 있다. 따라서 각 시험체 강성의 변화는 없는 것으로 보인다. 하지만 보강량을 일정하게 유지하고 CFRP 보강간격을 각 50mm, 100mm, 150mm로 배치한 각 시험체의 순수전단내력을 평가한 결과, 보강간격이 작을수록 시험체의 전단강도는 크게 나오는 것을 알 수 있다. 각 시험체별 전단강도에서 CFRP의 전단내력분담률은 <표 7>과 같이 각각 15.9%, 6.9%, 5.4%이다. 하중에 의한 처짐은 시험체별 하중 - 처짐 곡선의 기울기가 거의 일치하기 때문에 하중이 증가할수록 처짐도 동일한 비율로 증가하는 것을 알 수 있다.

4.1.2. 하중 - CFRP 변형률 곡선

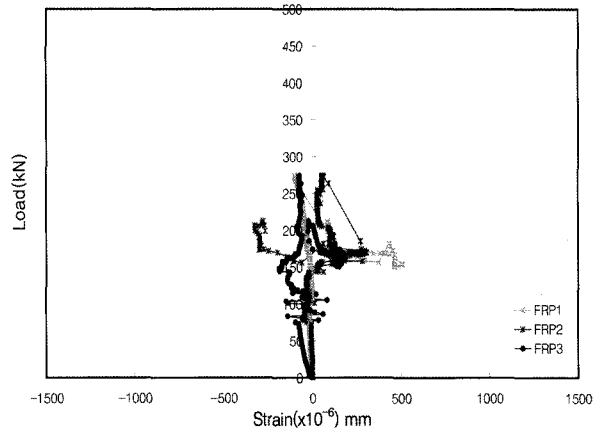
본 시험체에서 최대하중에 도달했을 때 CFRP의 변형률을 살펴보면 <그림 14> ~ <그림 16>에서와 같이 CORV50-I 시험체는 CFRP 변형률 0.000272~0.000651, CORV100시험체 0.000187~0.000499, CORV150 시험체는 0.000131~0.000587로 일정하고 규칙된 변형률을 보이고 있지 않고 있으며 시험체의 전단파괴 시까지의 CFRP 변형률은 그다지 크지 않은 것으로 보인다.



〈그림 14〉 1CORV50-I 시험체 하중-변형률 곡선



〈그림 15〉 1CORV100시험체 하중-변형률 곡선



〈그림 16〉 1CORV150시험체 하중-변형률 곡선

로 보인다. 각 시험체별로 보면 CORV50-I 은 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 15> ~ <그림 16>에서 보듯이 일정한 하중-변형률은 초기 전단균열이 발생한 165kN 지점에서 CFRP 변형률 증가를 보이고는 있으나 그 크기는 작은 것으로 보인다. 따라서 CFRP의 전단보강 효과가 크지 않음을 알 수 있다.

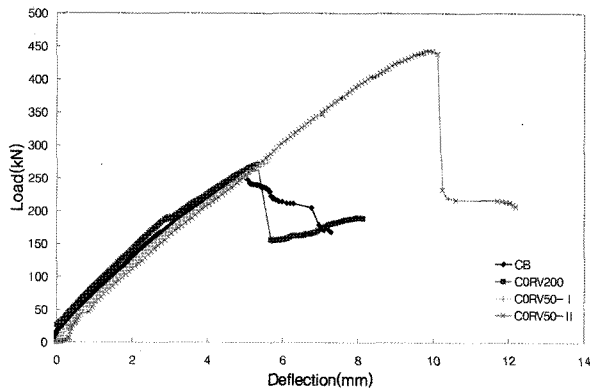
4.2 보강량에 따른 전단보강효과

CFRP보강량을 실험변수로 둔 시험체는 CB, CORV50-I, CORV50-II, CORV200로 4개의 시험체를 제작하여 실험을 수행하였다. CORV200시험체의

전단보강비는 0.00056, CORV50- I의 전단보강비는 0.00168, CORV50- II의 전단보강비는 0.0028로 하여 CORV50- I은 CORV200에 대해 전단보강비가 3배, CORV50- II는 CORV200에 대해 전단보강비가 5배이다. 각 시험체별 전단보강효과를 살펴보면 CB 시험체에 대비하여 CORV200시험체는 4.4% 증가하였고, CORV50- I 시험체는 19%, CORV50- II의 경우는 71%의 내력증가를 보였다.

4.2.1 하중 - 처짐 곡선

CFRP 보강량에 따른 시험체의 하중-처짐 곡선 <그림 17>과 같이 곡선의 기울기는 전 시험체에 걸쳐 거의 유사하여 전단보강비 증가에 따른 시험체의 강성증가는 거의 없는 것으로 판단되고, 전단보강비에 따라 비례적으로 전단내력이 증가하지는 않는 것으로 나타났다.



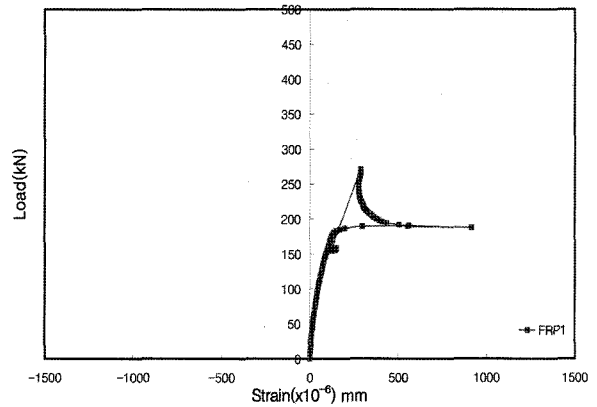
<그림 17> 보강량에 따른 하중-처짐곡선

4.2.2 하중 - CFRP 변형률 곡선

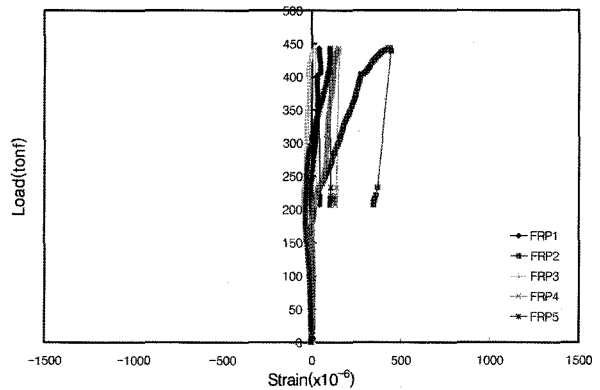
본 연구의 각 시험체가 최대하중에 도달했을 때 CFRP의 변형률은 그다지 크지 않는 것으로 보인다. 따라서 CFRP가 전단파괴시까지 항복을 하지 않고 최대하중까지 진행되는 것을 알 수 있다.

<그림 18>에서와 같이, CORV200시험체의 하중-변형률을 살펴보면, 초기 전단균열이 발생 한 지점부터 직선적으로 변형률이 증가하다가 사인장균열이 CFRP의 보강방향으로 전진되면서 비선형적으로 변형하는 것을 알 수 있다.

<그림 19>에서와 같이, CORV50-II 시험체의 경우는 보강된 CFRP 전체가 같은 변형률은 보이지 않지만 보강되지 않은 콘크리트의 전단강도 지점인



<그림 18> 1CORV200시험체 하중-변형률 곡선



<그림 19> 1CORV50=II시험체 하중-변형률 곡선

250kN에서 CFRP변형률이 커지기 시작함으로 CFRP가 본격적으로 전단을 견디는 내력을 발휘하는 것으로 나타났다. 따라서 CFRP의 보강비가 클수록 CFRP가 전단하중에 견디는 내력비중이 보강비에 따라 비례이상으로 커지는 것으로 보인다.

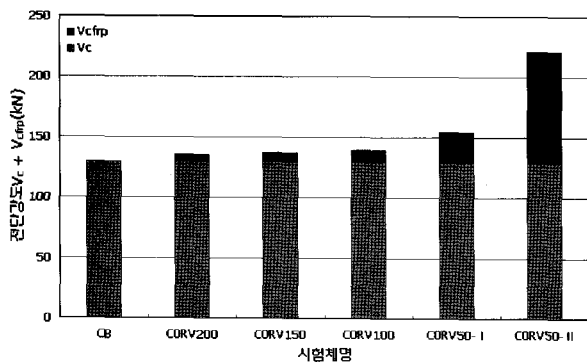
4.3 CFRP 전단보강 효과 평가

위의 실험결과에서 보여주듯이, 전단보강근이 없는 철근콘크리트보에 매립형 CFRP로 전단보강했을 시, 보강효과가 있는 것으로 판단된다. 본 연구에서는 전단보강근이 없는 철근콘크리트보에 CFRP로 전단보강하였다. 따라서 철근콘크리트보의 전단강도는 식(1)과 같이 콘크리트의 전단강도와 CFRP의 전단강도의 합으로 나타낼 수 있다.

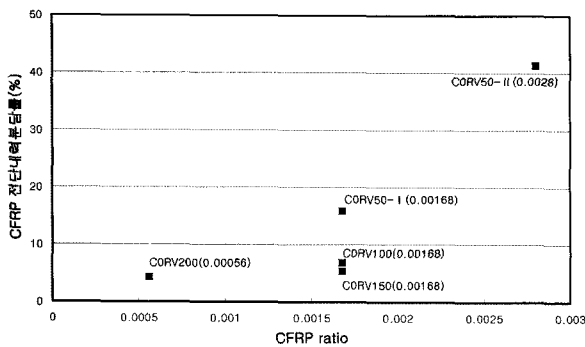
$$V_n = V_c + V_{cfpr} \tag{1}$$

콘크리트의 전단강도 V_c 는 시험체 CB의 결과에

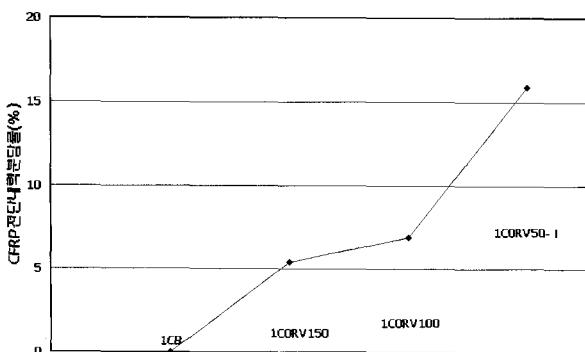
서 129.74kN임을 알 수 있고 이를 근거로 V_{cfpr} 를 각 시험체로 별로 전단보강효과는 <그림 20>과 같다. 그 결과 동일한 보강량이라도 CFRP의 보강위치 즉 보강간격에 따라 차이를 알 수 있었고 CFRP의 전단보강량에 따라서도 비례하지 않음을 알 수 있었다. <그림 21>는 보강량에 따른 CFRP전단내력분담률을 나타내고 있다. <그림 22>는 동일한 보강량에 보강간격을 달리하여 실험한 결과를 분석하여 얻은 보강간격에 따른 CFRP전단내력분담률이다.



<그림 20> 시험체별 전단강도



<그림 21> 보강량에 따른 CFRP의 전단내력분담률(%)



<그림 22> 보강간격에 따른 CFRP 전단내력분담률(%)

5. 결 론

(1) 균열이 CFRP매립부분에 집중되어 응력집중 현상이 일어나 급작스럽게 콘크리트가 CFRP를 물고 떨어지는 취성파괴를 보였다.

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

(2) 동일한 CFRP 보강비 조건하에 보강재의 보강 간격에 따른 CFRP의 전단보강효과는 보강재 위치가 사인장균열의 중앙부에 집중될수록 전단보강효과가 우수한 것으로 판단된다.

(3) CFRP의 보강량에 따른 전단보강효과는 보강량이 증가할수록 전단에 대한 내력은 증가하는 것을 나타내고 있고, 전단내력의 증가율은 CFRP의 보강량에 따라 비례적으로 증가하지는 않고 비례이상으로 증가함을 보였다.

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 전단 보강 효과 비교연구", 콘크리트학회지, 제10권4호, 1998
4. 신영수, "탄소섬유쉬트에 의한 철근콘크리트 보의 전단보강효과", 대한건축학회 논문집, 15권9호, 1999
5. 신성우, "탄소섬유쉬트로 보강한 R/C보의 전단 거동에 관한 연구", 한국구조물진단학회, 제3권 제 3호, 1998
6. 신중학, "고성능 탄소섬유봉으로 보강된 철근 콘크리트보의 휨거동에 관한 연구", 한국콘크리트학회 2002년도 봄 학술발표회 논문집, pp.451~456