

---

# 전단보강근이 배근된 철근콘크리트 보의 CFRP전단보강효과에 관한 실험적 연구

## A Study on Shear Resisting Effect of Reinforced Concrete Beams Filling-up Carbon Fiber Rod Plastic

김 우 현\*      이 형 석\*\*      김 영 식\*\*\*      박 성 무\*\*\*\*  
Kim, woo hyoun      Lee, Hyoung-Seok      Kim, young-Sik      Park, Sung-Moo

---

### Abstract

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

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

### 1. 서론

지난 세기동안 철근콘크리트는 그 자체의 우수한 구조성능으로 인해 국·내외 건설공사 시에 널리 이용되어 왔다. 특히 건축물과 토목구조물을 구현하는데 있어 철근콘크리트는 경제성, 내구성 및 안전성이 우수한 건설재료로서 평가되고 있다. 다만, 시공상 품질오차, 극심한 기후의 변화, 공해 등의 이유로 인하여 철근콘크리트는 균열이 발생하기 쉬우며, 이 균열로 인하여 외기 및 수분의

침입 등으로 인해 노후화 현상을 가져온다. 이러한 영향으로 성능 저하된 철근콘크리트 구조물에 적절한 유지관리를 실시하지 않는다면 균열의 확대와 중성화 등으로 인해 구조물 수명단축을 가속화시키기 때문에 이에 대한 갱생수단으로 보수·보강을 실시하게 된다. 철근콘크리트 보강에 있어 기존에는 외부부착공법으로 강판을 이용한 접착공법이 주류를 이루어 왔으나 강판자체의 부식 문제와 무게로 인한 고정하중의 증가와 시공 상의 난점으로 인해 이에 대한 대안으로 내부식성이 뛰어난 FRP(Fibre Reinforced Polymer/plastic)를 사용한 철근콘크리트 보강 안이 연구 개발되고 있다.

기존의 FRP Plate부착공법의 문제점인 조기박락을 해결하기 위한 대안으로 탄소섬유막대(Carbon Fibre Rod Plastic, 이하 CFRP)를 역사다리꼴 형태

---

\* 영남대학교 건축공학과 석사과정

\*\* (주)ITS 엔지니어링 책임연구원

\*\*\* 대구과학대학 건축과 조교수

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

\*\*\*\* 영남대학교 건축학부 교수

E-mail : smpark@yu.ac.kr

---

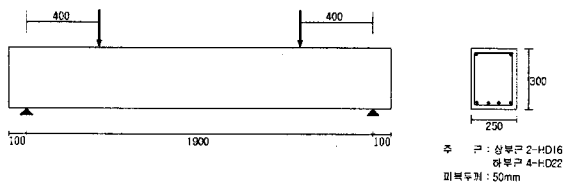
로 제작하여 매립하는 공법이 제시되고 있다.

이에 본 연구에서는 역사다리꼴 탄소섬유막대 (CFRP) 매립공법으로 전단 보강된 철근콘크리트 보에 대한 실험을 수행 전단보강 근의 간격, 보강 방향에 따른 철근콘크리트 보의 전단보강효과 및 전단거동에 대하여 알아보고자 한다.

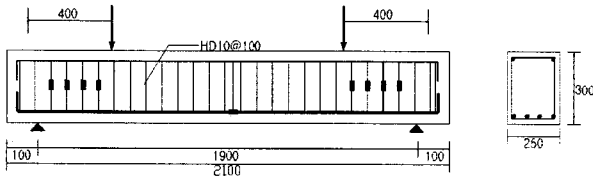
## 2. 실험

### 2.1 시험체 계획

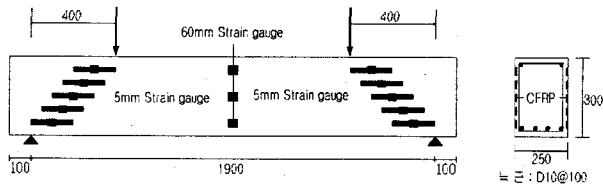
본 연구에서는 전단보강 근이 배근된 철근콘크리트보에 역사다리꼴 CFRP 매립공법을 이용하여 수직방향과 수평방향으로 전단 보강한 시험체 10 개를 제작하였다. 시험체의 실험변수는 전단보강 근 간격과 보강방향으로 두었고 전단스팬 비(a/d) 는 1.6이다. 시험체 상세는 <그림 2.1>과 같다.



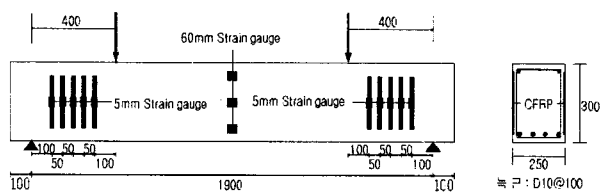
<그림 2.3> 시험체 상세도



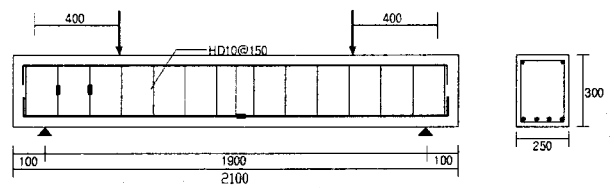
<그림 2.4> C100N시험체 상세도



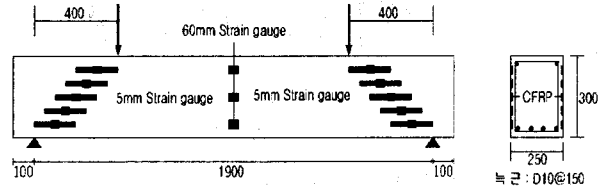
<그림 2.5> C100RH시험체 상세도



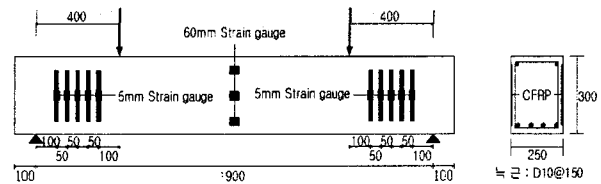
<그림 2.6> C100RV시험체 상세도



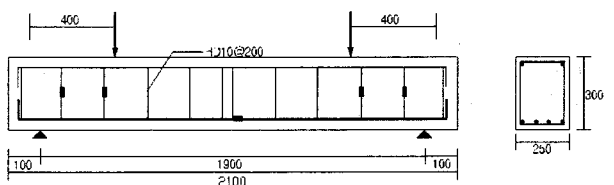
<그림 2.7> C150N시험체 상세도



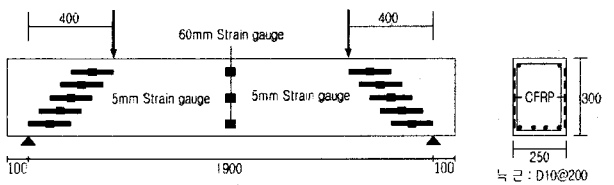
<그림 2.8> C150RH시험체 상세도



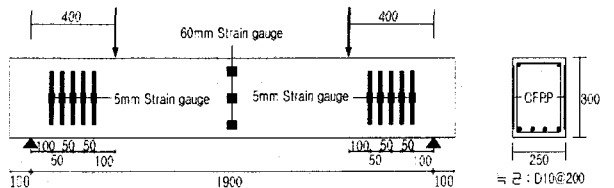
<그림 2.9> C150RV시험체 상세도



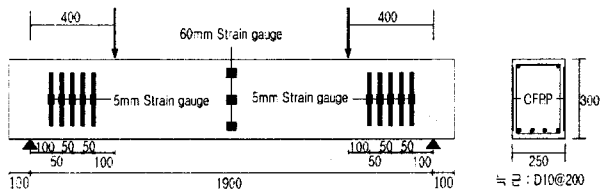
<그림 2.10> C200N시험체 상세도



<그림 2.11> C200RH시험체 상세도



<그림 2.12> C200RV시험체 상세도



<그림 2.13> C200RV시험체 상세도

<표 2.1> 각 시험체명 및 실험변수

시험체명	전단 보강근 간격	보강 재간격 (mm)	CFRP 매립 개수	CFRP 보강근 비 (pfrp)	보강 방향
CB	-	-	-	-	-
C100N	100	-	-	-	-
C100RH		50	5	0.00280	수평
C100RV		50			수직
C150N	150	-	-	-	-
C150RH		50	5	0.00280	수평
C150RV		50			수직
C200N	200	-	-	-	-
C200RH		50	5	0.00280	수평
C200RV		50			수직

시험체는 전단보강 근 간격을 100, 150, 200mm 간격을 두었고, 보강방향은 수직, 수평으로 하였다. 시험체별 CFRP의 보강상세와 게이지위치 등은 <그림 2.2> ~ <그림 2.11>과 같다.

## 2.2 실험방법

시험체의 제원은 전장 2100mm, 순 스패น 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. 전단보강 근의 하중에 따른 변형률을 알아보기 위해 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 역학적 성질

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

본 실험의 시험체 제작에 사용된 콘크리트는 20.60MPa의 설계기준강도를 목표로 굵은 골재 최대치수 25mm, Slump 150mm인 레미콘 제품을 사용하였다. 재령 28일 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 역학적 성질

종 류	인장강도 (MPa)	탄성계수 (MPa)
SD24	235.36	$0.21 \times 10^6$
SD40	392.27	$0.21 \times 10^6$

### 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 2.4> ~ <표 2.6>과 같다.

<표 2.4> CFRP의 역학적 성질

종류	탄성계수(MPa)	인장강도(MPa)
CFRP	$0.15 \times 10^6$	1638.27

<표 2.5>전용접착제(C.E-33)의 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

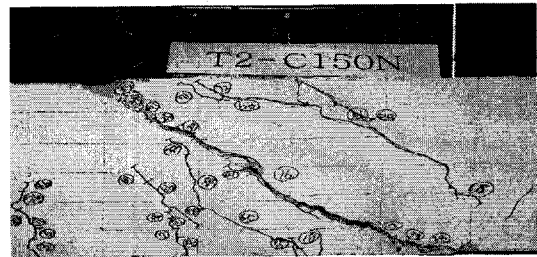
<표 2.6> 전용 에폭시 프라이머(C.E-33P)의 역학적 특성

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℃
	경화제	0.90	KSM 5000	25℃
가사시간	(시간)	2.0	KSM 5307	25℃

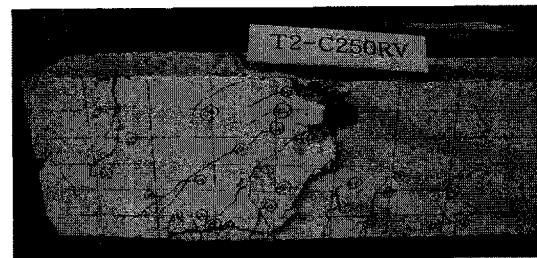
## 3. 실험결과

시험체는 전체적으로 비슷한 파괴양상을 나타내었으며, 전단보강 늑근 비에 차이에 따른 파괴양상에는 별다른 차이점은 보이지 않았으며, 탄소섬유막대의 보강방향에 따라 파괴양상의 차이점을 나타내었다. 특히 가장 두드러지게 나타는 것이 균열 진행 각이다. 탄소섬유막대를 수평으로 보강한 경우에는 사인장 균열 각과 유사한 45°의 방향으로 발생하였으며, 탄소섬유막대를 수직방향으로 보강한 경우에는 균열 각이 수평방향으로 보강한 경우보다 더 높은 진행 각을 이루며 균열이 발생하였다.

일부 시험체의 경우에는 균열 각이 수직에 가깝게 일어났다. 하지만 탄소섬유막대의 보강방향에 따라 균열 각이 다르게 발생하지만 종국에는 탄소섬유막대의 매립된 부근에서 균열 폭 증가, 전단 파괴 및 균열의 진행이 탄소섬유막대의 끝단을 타고 진행하면서 사인장 균열이 발생하고 최종 전단 압축 파괴를 보였다.



<그림 3.1> 파괴양상 사례1



<그림 3.2> 파괴양상 사례2



<그림 3.3> 파괴양상 사례3

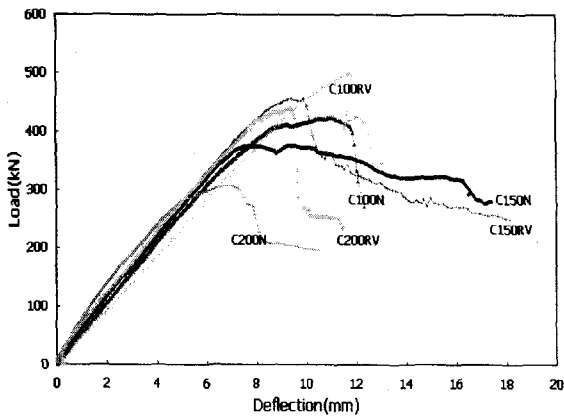
## 4. 분석 및 고찰

### 4.1 전단보강근 간격에 따른 전단보강 효과

전단보강 늑근 비의 변화에 따른 탄소섬유막대의 전단 보강효과는 전단보강 늑근 비가 낮을수록 탄소섬유막대의 전단보강 효과의 효율성이 높은 것으로 나타났다.

전단보강 늑근으로만 보강된 시험체를 기준시험

제로 하여 각 시험체별 탄소섬유막대의 전단내력 분담률을 살펴보면, C100RV시험체는 15.6%, C150RV시험체는 17.6%, C200RV시험체는 30.2%의 전단내력 분담률을 나타냈다. 전단보강 늑근 비에 대한 탄소섬유막대의 보강 비를 살펴보면, C100RV시험체는 0.46이고, C150RV시험체는 0.75, C200RV시험체는 1.0로 이므로 탄소섬유막대 전단내력 분담률은 탄소섬유막대와 전단보강 늑근의 비에 의해 영향이 크게 작용하는 것으로 사료된다. 즉, 전반적인 실험결과에 의하면 최대내력을 보인 시험체는 C75RV시험체이고, 최소 전단내력을 보인 시험체는 C200RV시험체로 측정되었으며, C250RV시험체는 C200RV시험체와 비슷한 전단강도를 나타냈는데 이는 실험제작 및 과정상에 발생하는 오차로 인한 것으로 판단된다.



<그림 4.1> 시험체별 하중-처짐 곡선

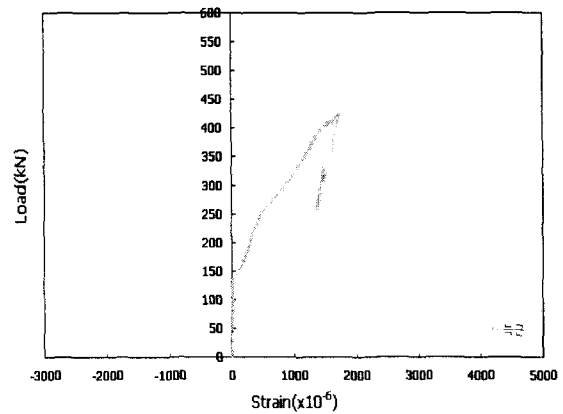
#### 4.1.1 하중 - 변위 곡선

각 시험체별 하중-처짐 곡선을 살펴보면, 전단보강 늑근 비의 변화에 따른 탄소섬유막대 보강에 대한 초기 접선 기울기의 변화는 거의 없는 것을 확인 할 수 있었다.

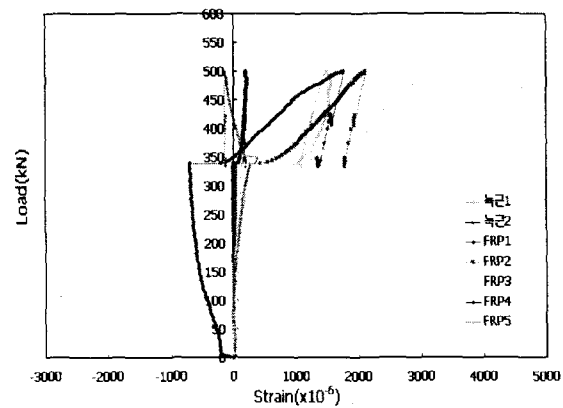
탄소섬유막대를 수평방향으로 보강한 시험체의 경우에는 전단보강 늑근으로만 보강한 시험체와 거의 동일한 하중과 처짐의 양상을 나타냈으며, 따라서 전단보강 늑근 비에 따른 탄소섬유막대의 수평방향 보강의 경우에는 전단보강 효과는 거의 없는 것으로 사료된다.

#### 4.1.2 CFRP의 하중 - 변형률 곡선

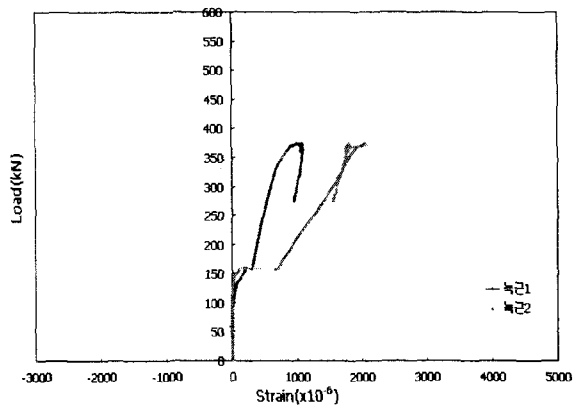
하중-변형률 곡선을 살펴보면 전반적으로 전단보강 늑근의 변형률은 하중 140~150kN정도에서 변형을 시작하였으며, 그 이후의 하중에는 변형률 곡선의 기울기가 일정함을 이루며 선형적으로 변형하는 볼 수 있다.



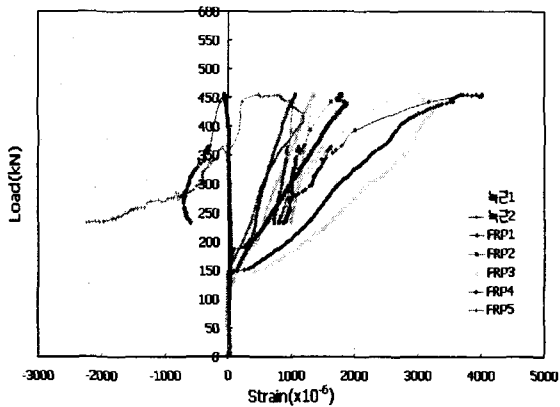
<그림 4.2> C100N시험체 하중-변형률 곡선



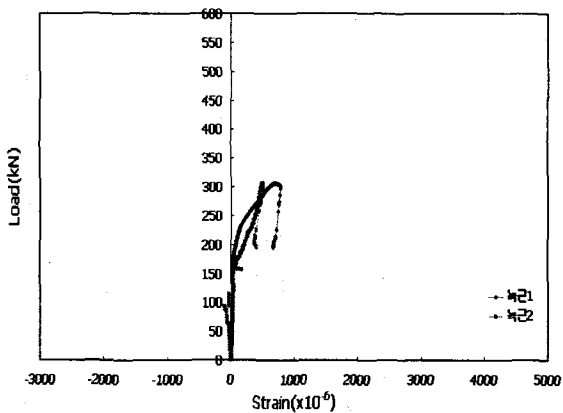
<그림 4.3> C100RV시험체 하중-변형률 곡선



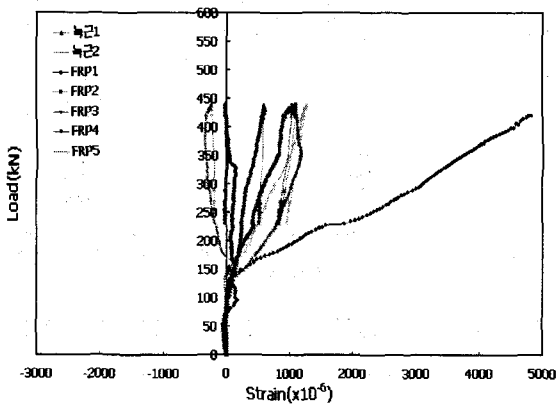
<그림 4.4> C150N시험체 하중-변형률 곡선



<그림 4.5> C150RV시험체 하중-변형률 곡선



<그림 4.6> C200N시험체 하중-변형률 곡선



<그림 4.7> C200RV시험체 하중-변형률 곡선

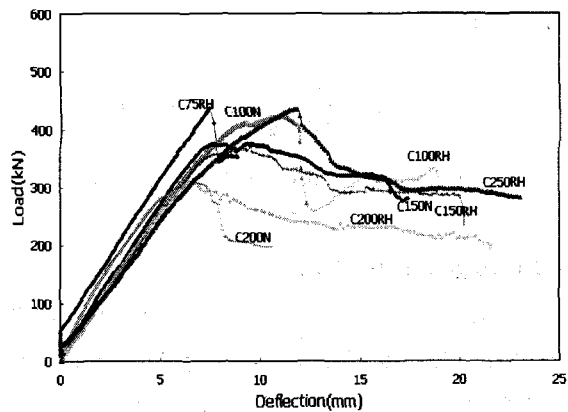
#### 4.2 보강방향에 따른 전단보강 효과

CFRP의 전단보강 방향에 따른 전단보강 효과를 살펴보면, 수평방향으로 CFRP를 보강했을 시에는 전단내력에 대하여 보강효과가 거의 없는 것으로 나타났다. 하지만 CFRP를 수직방향으로 전단보강을 한 경우에는 전단내력에 상당한 효과를 가지는 것으로 나타났다. 아래 그림은 기준시험체(전단보

강 늑근으로만 전단 보강된 시험체)를 기준으로 하여 전단내력 증가분을 나타내고 있는데, CFRP를 수평방향으로 보강한 경우는 거의 효과를 볼 수가 없음을 알 수 있는데, 그 값은 C100RH시험체는 기준 시험체에 비해 1kN, C150RH시험체는 2.6kN, C200RH시험체는 2.7kN 정도의 전단내력이 증가하는 것으로 볼 수 있다. CFRP를 수직방향으로 보강한 경우의 결과를 보면, C100RV시험체는 39kN, C150RV시험체는 40kN, C200RV시험체는 66kN 정도의 전단 내력증가를 보였다.

#### 4.2.1 하중 - 처짐 곡선

CFRP를 수직방향으로 보강한 시험체의 경우에는 전단보강 근 비에 체적인 하중-처짐 곡선의 초기 접선 기울기는 유사하고, 최대하중의 차이에 의한 곡선의 연장 혹은 감소에 따른 하중-처짐 곡선의 변화를 확인할 수 있었다. 또한 CFRP를 수평방향으로 보강한 시험체의 경우에는 CFRP 보강재의 전단보강효과를 거의 없음을 확인할 수 있었고 하중-처짐 곡선은 CFRP 보강재를 보강하지 않고 전단보강 근만으로 배근된 시험체와 거의 동일하였다.

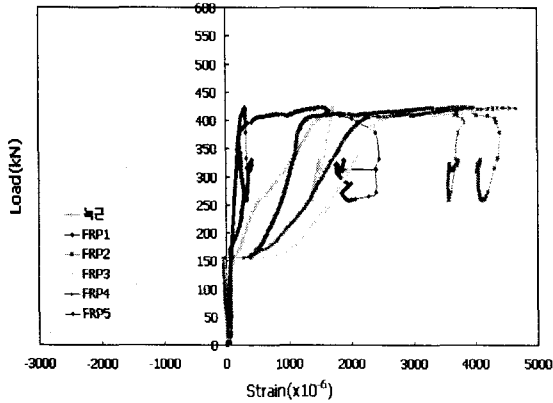


<그림 4.8> 시험체별 하중-처짐 곡선

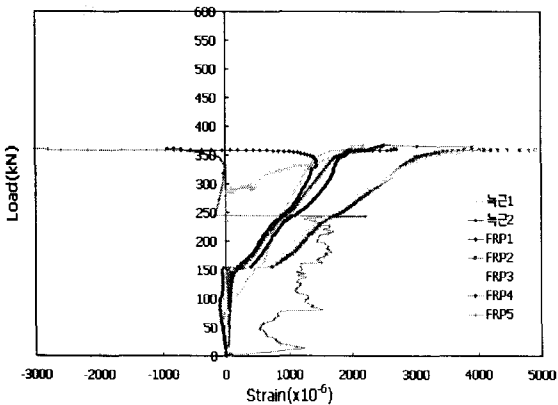
#### 4.2.2 CFRP의 하중 - 변형률 곡선

수직방향으로 CFRP 보강재를 보강한 CFRP의 하중-변형률 곡선은 <그림 4.2> ~ <그림 4.8>에 나타내었고, 수평방향으로 CFRP 보강재를 보강한 하중-CFRP 변형률 곡선은 <그림 4.9> ~ <그림 4.11>과 같다. 최대하중일 때, CFRP 보강재의 평

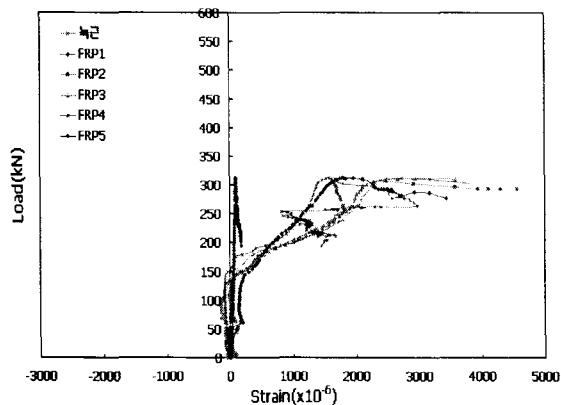
균 변형률을 살펴보면 C100RV시험체는 C100RH보다 약 1.3배의 변형을 보였고, C150RV시험체는 C150RH시험체보다 약 2.4배의 변형을 보였으며, C200RV시험체는 C200RH시험체보다 약 8.2배의 변형을 보였다.



<그림 4.9> C100RH시험체 하중-변형률 곡선



<그림 4.10> C150RH시험체 하중-변형률 곡선



<그림 4.11> C200RH시험체 하중-변형률 곡선  
수평방향으로 보강한 CFRP 보강재의 변형이 크게 일어나지 않는 것은 힘을 크게 받지 않았음을 알 수 있었다. 그에 비해 수직방향으로 보강한 CFRP 보강재의 변형은 수직방향에 비해 큰 변형

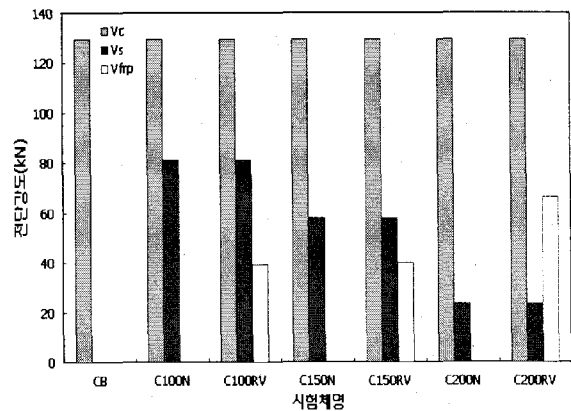
을 하였음을 알 수 있었고 이는 하중을 받았음을 알 수 있었다.

### 4.3 CFRP 전단보강 효과 평가

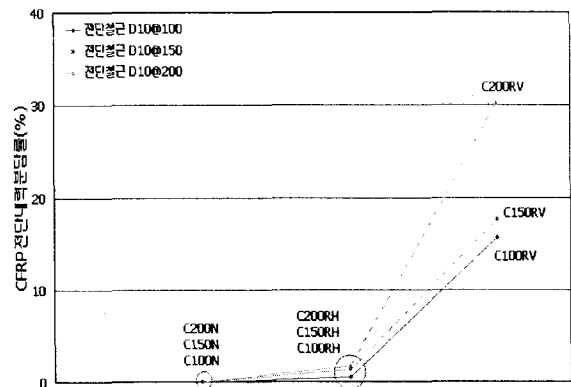
위의 실험결과에서 보여주듯이, CFRP 전단보강된 철근콘크리트 보의 전단보강효과가 있는 것으로 사료된다. 본 실험에서는 스테럽을 배근하지 않았기 때문에 CFRP로 보강된 철근콘크리트 보의 전단강도는 식①과 같이 콘크리트의 전단강도와 전단보강 근의 전단강도, CFRP의 전단강도의 합으로 볼 수 있다.

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

콘크리트의 전단강도  $V_c$ (실험치) 시험체 CB의 결과에서 129.74kN임을 알 수 있었고,  $V_s$  또한 실험치를 알 수 있었다. 이를 근거로  $V_{cfpr}$ (실험치)를 각 시험체로 별로 전단보강 효과는 <그림 4.12>와 같다.



<그림 4.12> 시험체별 전단강도 분담력



<그림 4.13> CFRP 보강재의 전단내력 분담률

## 5. 결 론

1. 본 실험에서 전단보강 근이 있는 철근콘크리트 보에 탄소섬유막대 매립공법은 콘크리트와 탄소섬유막대의 부착응력이 콘크리트강도보다 크기 때문에 부착에 대한 고려는 하지 않아도 된다고 판단된다.

2. 전단보강 근의 간격에 따른 탄소섬유막대 보강재의 전단보강효과는 전단보강 근의 간격이 넓을수록 탄소섬유막대의 전단보강효과가 뛰어난 것으로 판단된다. 전단보강 근의 량이 줄어들수록 상대적으로 전단보강 근의 전단내력 분담률은 줄어들고 탄소섬유막대의 전단내력 분담률은 높아지는 것으로 나타났다.

3. 철근콘크리트 보에서 전단보강 근이 부족하여 전단내력을 발휘하지 못할 경우 탄소섬유막대를 전단보강 한 경우 충분한 내력을 발휘할 수 있다고 사료된다.

따라서 전단보강 근의 부족한 전단내력을 탄소섬유막대를 수직방향으로 보강했을 시 충분히 전단내력을 보강할 수 있음으로 판단된다.

4. 탄소섬유막대의 전단 보강방향에 따른 전단 보강효과는 수평방향으로 탄소섬유막대를 보강한 경우에는 거의 전단 보강효과가 없는 것으로 나타났고, 수직방향으로 보강한 경우에는 충분한 전단 보강효과를 보였다.

따라서 매립공법으로 탄소섬유막대를 전단 보강하는 경우 수평으로 전단 보강을 했을 시에는 탄소섬유막대의 전단내력을 무시해야 한다고 판단된다. 하지만 수직으로 전단 보강을 했을 시에는 탄소섬유막대의 전단내력을 충분히 고려하여 전체적인 전단내력을 산정해야 한다고 판단된다.

## 감사의 글

본 논문은 한보 엔지니어링에서 연구비 지원에 의한 것임.

## 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 보강효과 비교연구", 콘크리트학회지, 제 10권 4호, 1998
4. 신영수, "탄소섬유쉬트에 의한 철근콘크리트 보의 전단보강효과", 대한건축학회 논문집, 15 권 9호, 1999
5. 신성우, "탄소섬유쉬트로 보강한 R/C보의 전 단거동에 관한 연구", 한국구조물진단학회, 제3 권 제 3호, 1998