

전단보강근이 있는 철근콘크리트보의 매립형 CFRP 전단보강효과에 대한 연구

A Study on the Shear Resisting Effect of Filling-up Carbon Fiber Rod Plastic in Reinforced Concrete Beams with web Reinforcement

김 우 현*
Kim, Woo Hyoun

이 형 석**
Lee, Hyoung-Seok

김 영 식***
Kim, Young-Sik

박 성 무****
Park, Sung-Moo

요 약

최근 노후화된 철근콘크리트 구조물에 대한 FRP를 이용한 보강공법의 적용이 증가하고 있다. 하지만 휨 보강에 대해서는 연구로 인해 정량적인 평가로 인해 효율적인 설계가 가능하지만, 전단보강의 경우에는 파괴메카니즘을 완전히 규명하지 못하는 상태이다. 본 연구에서는 전단보강근이 있는 철근콘크리트보에 매립형 CFRP를 전단보강하여 보강효과를 파악하고자 실험을 수행한 후, 실험결과를 토대로 분석 및 고찰을 통해 정량적인 보강효과를 도출하고자 한다. 시험체 제작시 실험변수로는 전단보강근의 간격과 보강방향으로 하여 시험체를 10개 제작하여 실험을 수행하였다. 실험결과, 전단보강근 간격과 보강방향에 따라 CFRP의 보강효과는 다소 차이를 보였다.

Abstract

The reinforced concrete becomes deteriorated. In strengthening of reinforced concrete structure, it is recently using FRP. In research, flexural strengthening of reinforced concrete beam can be Efficient design. But shear strengthening of reinforced concrete beam can't be Efficient design by variable cause. The purpose of this study is to investigate the shear resisting effect of filling-up CFRP in reinforced concrete beams with web reinforced. Ten specimens were manufactured and tested. In the test result, it was analysis. The main variables in the test were a space of web reinforcement and a direction of CFRP.

키워드 : CFRP, 전단내력, 전단보강효과, 전단보강근 간격, 보강방향

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

1. 서 론

최근 노후화된 철근콘크리트 구조물에 대한 FRP를 이용한 보강공법의 적용이 증가하고 있다. 휨 보강에 대해서는 보강공법별 보강효과에 대한 연구에 따른 정량적인 평가로 인해 효율적인 설계가 가능

하게 되었다. 반면 전단보강의 경우에는 여러 변수에 의한 복잡한 구조거동을 보이기 때문에 전단에 대한 파괴메카니즘을 완전히 규명하지 못하는 상태이다. 전단파괴는 구조물에 있어서 바람직한 파괴라고 볼 수 없기 때문에 구조물의 안정성을 확보하기 위해서는 전단에 대한 연구가 체계적으로 이루어져야 한다.

본 연구에서는 전단보강근이 있는 철근콘크리트보에 매립형 CFRP를 전단보강하여 보강효과를 파악하고자 실험을 수행한 후, 실험결과를 토대로 분석 및 고찰을 통해 정량적인 보강효과를 도출하는데 연구 목적이 있다.

* 학생회원, 영남대학교 건축공학과 석사과정
Tel : 053-810-3544 Fax : 053-810-4625

E-mail : wh-genius@nate.com
** (주)ITS 엔지니어링 책임연구원
E-mail : hslee517@nate.com

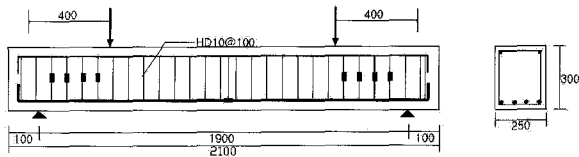
*** 정회원, 대구과학대학 건축과 조교수
E-mail : yosikim@tsc.ac.kr

**** 정회원, 영남대학교 건축학부 교수
E-mail : smpark@yu.ac.kr

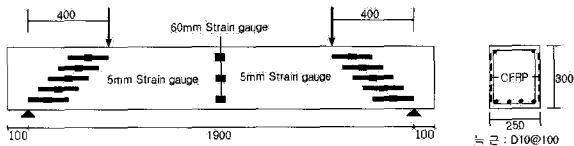
2. 실험

2.1 시험체 계획

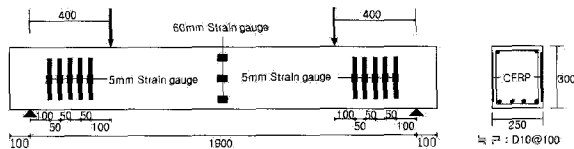
본 연구에서는 전단보강근이 있는 철근콘크리트 보에 매립형 CFRP 이용하여 수직방향과 수평방향으로 전단보강한 시험체 10개를 제작하였다. 시험체의 실험변수는 전단보강근 간격과 보강방향으로 하였고, 전단경간비(a/d)는 1.6이다. 각 시험체별 상세도는 <그림 1>~<그림 9>와 같다.



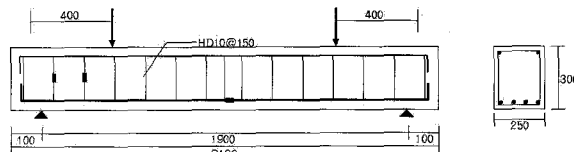
<그림 1> C100N시험체 상세도



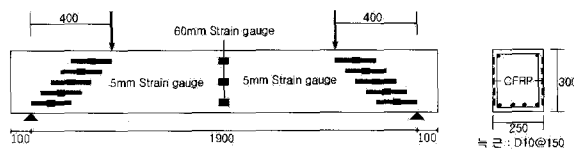
<그림 2> C100RH시험체 상세도



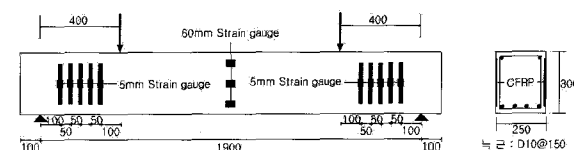
<그림 3> C100RV시험체 상세도



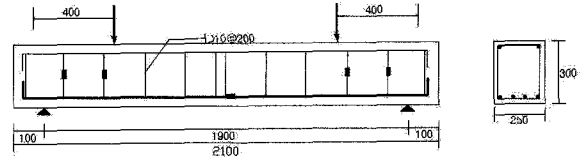
<그림 4> C150N시험체 상세도



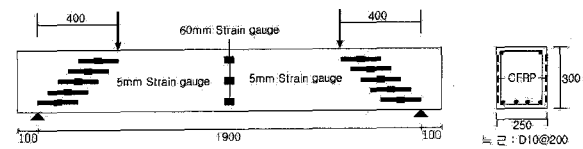
<그림 5> C150RH시험체 상세도



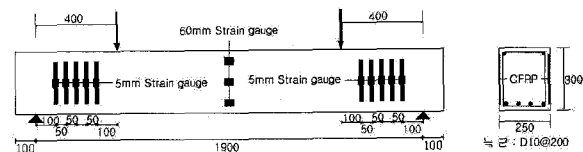
<그림 6> C150RV시험체 상세도



<그림 7> C200N시험체 상세도



<그림 8> C200RH시험체 상세도



<그림 9> C200RV시험체 상세도

<표 1> 시험체명 및 실험변수

시험체명	전단 보강근 간격	CFRP 간격 (mm)	CFRP 매립 개수	CFRP보 강근비 (ρ_{frp})	보강 방향
CB	-	-	-	-	-
C100N	100	-	-	-	-
C100RH		50	5	0.00280	수평
C100RV		50	5	0.00280	수직
C150N	150	-	-	-	-
C150RH		50	5	0.00280	수평
C150RV		50	5	0.00280	수직
C200N	200	-	-	-	-
C200RH		50	5	0.00280	수평
C200RV		50	5	0.00280	수직

시험체는 전단보강근 간격을 100, 150, 200mm간격으로, 보강방향은 수직·수평으로 하여 제작하였다.

2.2 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 시험체의 처짐량을 측정하였다. 전단보강근의 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

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.

〈표 2〉 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 3>과 같다.

〈표 3〉 철근의 물리적 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 4>와 같다. 또한 CFRP 부착에 사용된 전용접착제와 에폭시 프라이어의 물리적 특징은 <표 5>~<표 6>과 같다.

〈표 4〉 CFRP의 물리적 특징

종류	탄성계수(MPa)	인장강도(MPa)
CFRP	0.15x10 ⁶	1638.27

〈표 5〉 전용접착제(C.E-33)의 물리적 특징

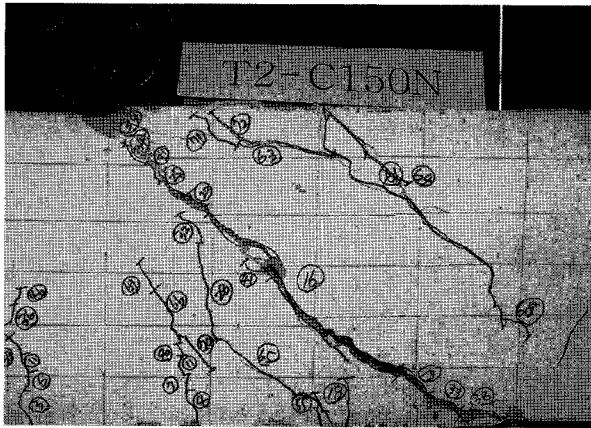
측정항목	단 위	결과치	시험방법
부착강도	MPa	3.54	KSF 4715
압축강도	MPa	109.87	KSM 3015
굴곡강도	MPa	62.49	KSM 3015
샤르피 충격강도	MPa	0.44	KSM 3015

〈표 6〉 전용 에폭시프라이어의 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

3. 실험결과

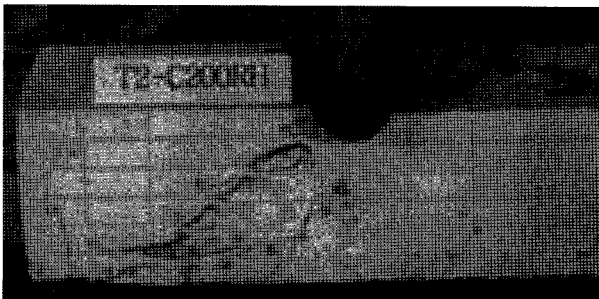
시험체는 전체적으로 비슷한 파괴양상을 나타내었으며, 전단보강근비에 차이에 따른 파괴양상에는 별다른 차이점은 보이지 않았으며, CFRP의 보강방향에 따라 파괴양상의 차이점을 나타내었다. 특히 가장 두드러지게 나타나는 것이 균열 진행 각이다. CFRP를 수평으로 보강한 경우에는 사인장균열과 유사한 45°의 방향으로 발생하였으며, CFRP를 수직 방향으로 보강한 경우에는 균열각이 수평방향으로 보강한 경우보다 더 높은 진행각을 이루며 균열이



〈그림 10〉 시험체 파괴양상 사례1



〈그림 12〉 시험체 파괴양상 사례3



〈그림 11〉 시험체 파괴양상 사례2

발생하였다.

일부 시험체의 경우에는 균열각이 수직에 가깝게 일어났다. 하지만 CFRP의 보강방향에 따라 균열각이 다르게 발생하지만 종국에는 CFRP의 매립된 부근에서 균열 폭 증가, 전단파괴 및 균열의 진행이 CFRP의 끝단을 타고 진행하면서 사인장 균열이 발생하고 최종 전단압축파괴를 보였다.

4. 분석 및 고찰

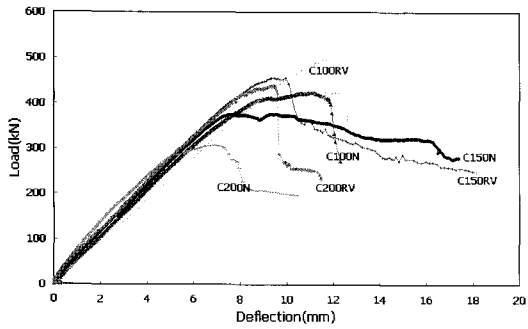
4.1 전단보강근 간격에 따른 전단보강 효과

전단보강근비의 변화에 따른 CFRP의 전단보강효과는 전단보강근비가 낮을수록 CFRP의 전단보강효과가 높은 것으로 나타났다.

전단보강근으로만 보강된 시험체를 기준시험체로 하여 각 시험체별 CFRP의 전단내력분담률을 살펴보면, C100RV시험체는 15.6%, C150RV시험체는 17.6%, C200RV시험체는 30.2%의 전단내력 분담률을 나타냈다. 전단보강근비에 대한 CFRP의 보강비를 살펴보면, C100RV시험체는 0.46이고, C150RV시험체는 0.75, C200RV시험체는 1.0로 이므로 CFRP 전단내력 분담률은 CFRP와 전단보강근비에 의해 영향이 작용하는 것으로 판단된다. 즉, 전체적인 실험결과에 의하면 최대내력을 보인 시험체는 C100RV시험체이고, 최

〈표 7〉 시험체별 실험결과

시험체명	실험값(kN)		δ_{max} (mm)	녹근 변형률 ($\times 10^{-6}$)	CFRP 평균변형률 ($\times 10^{-6}$)	파괴 양상
	초기 전단균열	P_{max}				
C100N	206.53	423.8	11.62	1825.47	-	Shear
C100RH	152.30	423.84	11.08	1731.13	1087.36	Shear
C100RV	188.09	499.84	11.82	1474.53	1419.81	Shear
C150N	161.12	375.59	9.59	1820.75	-	Shear
C150RH	178.28	380.89	9.46	2172.64	751.30	Shear
C150RV	171.91	455.91	9.95	1339.62	1783.20	Shear
C200N	162.89	308.62	6.92	1650.94	-	Shear
C200RH	193.98	312.15	6.62	2721.7	478.3	Shear
C200RV	181.52	439.73	9.48	1261.32	1440.00	Shear



〈그림 13〉 전단보강근 간격에 따른 하중-처짐 곡선

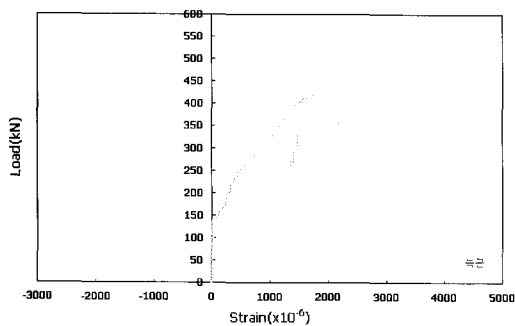
소 전단내력을 보인 시험체는 C200RV 시험체로 측정되었다.

4.1.1 하중 - 변위 곡선

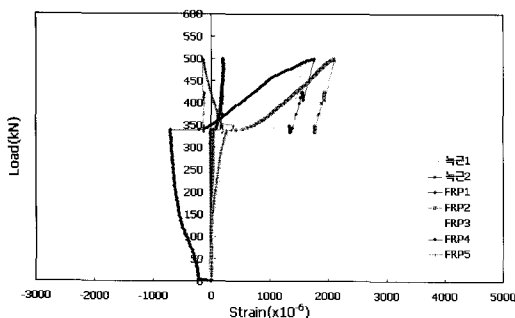
각 시험체별 하중-처짐 곡선을 살펴보면, 전단보강근비의 변화에 따른 초기 접선 기울기의 변화는 거의 없는 것을 확인 할 수 있었다.

4.1.2. 하중 - 변형률 곡선

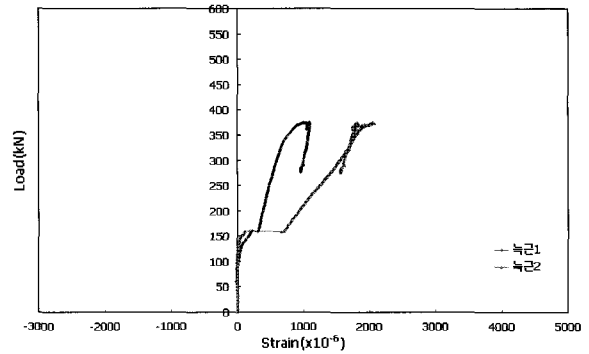
하중-변형률 곡선을 살펴보면, 전반적으로 전단보강근의 변형률은 하중 140~150kN 정도에서 변형을 시작하였으며, 그 이후의 하중에는 변형률 곡선의 기울기가 일정함을 이루며 선형적으로 변형하는 것을 볼 수 있다.



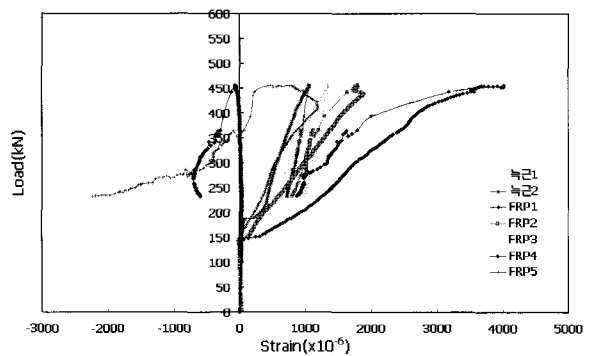
〈그림 14〉 C100N 시험체 하중-변형률 곡선



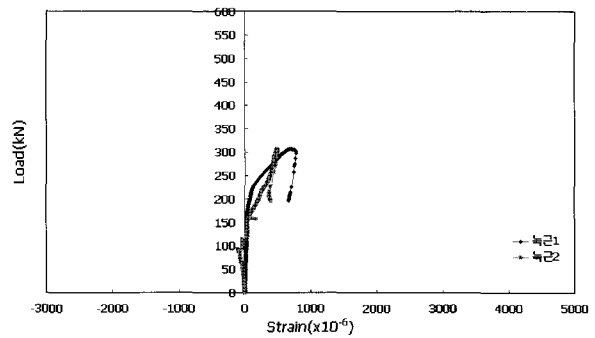
〈그림 15〉 C100RV 시험체 하중-변형률 곡선



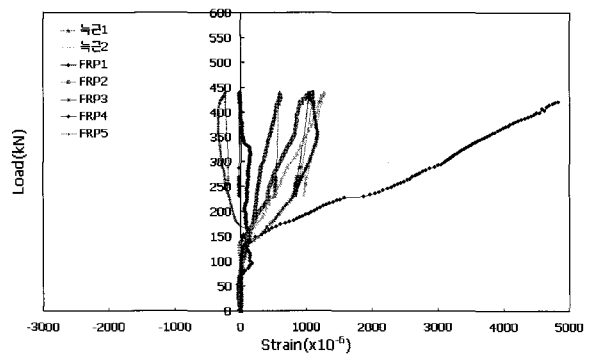
〈그림 16〉 C150N 시험체 하중-변형률 곡선



〈그림 17〉 C150RV 시험체 하중-변형률 곡선



〈그림 18〉 C200N 시험체 하중-변형률 곡선



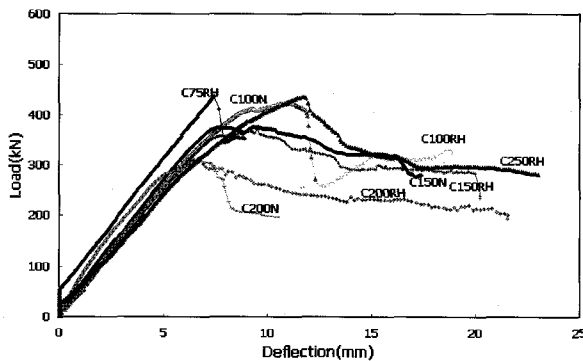
〈그림 19〉 C200RV 시험체 하중-변형률 곡선

4.2 보강방향에 따른 전단보강 효과

CFRP의 보강방향에 따른 전단보강효과를 살펴보면, 수평방향으로 CFRP를 보강했을 시에는 전단내력에 대하여 보강효과가 거의 없는 것으로 나타났다. 하지만 CFRP를 수직방향으로 전단보강을 한 경우에는 전단내력에 상당한 효과를 가지는 것으로 나타났다. 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 확인 할 수 있다. CFRP를 수직방향으로 보강한 경우의 결과를 보면, C100RV시험체는 39kN, C150RV시험체는 40kN, C200RV시험체는 66kN 정도의 전단내력증가를 보였다.

4.2.1 하중 - 처짐 곡선

CFRP를 수직방향으로 보강한 시험체의 경우에는 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 CFRP의 보강효과를 거의 없음을 확인할 수 있었고 하중-처짐 곡선은 CFRP를 보강하지 않고 전단보강근만으로 배근된 시험체와 거의 동일하였다. 따라서 CFRP를 수평방향으로 보강한 경우에는 전단보강효과는 거의 없는 것으로 판단된다.

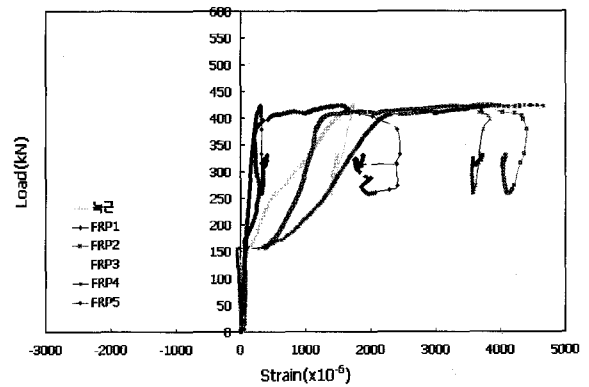


〈그림 20〉 수평방향 시험체의 하중-처짐 곡선

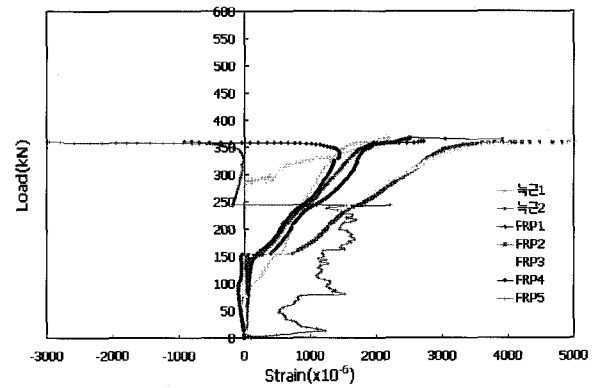
4.2.2 하중 - 변형률 곡선

수직방향으로 CFRP를 보강한 시험체의 하중-변형률 곡선은 <그림 14> ~ <그림 19>에 나타내었고, 수평

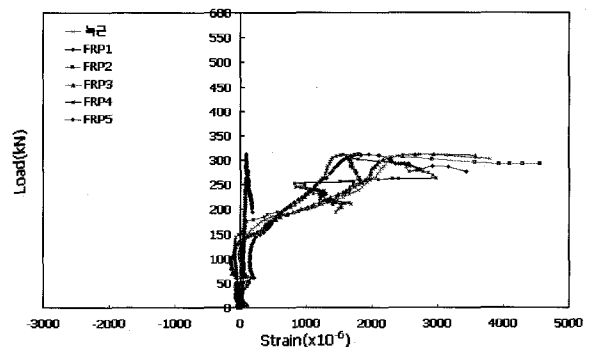
방향으로 CFRP를 보강한 하중-변형률 곡선은 <그림 21> ~ <그림 23>과 같다. 최대하중일 때, CFRP의 평균 변형률을 살펴보면, C100RV시험체는 C100RH보다 약 1.3배의 변형을 보였고, C150RV시험체는 C150RH시험체보다 약 2.4배의 변형을 보였으며, C200RV시험체는 C200RH시험체보다 약 8.2배의 변형을 보였다.



〈그림 21〉 C100RH시험체 하중-변형률 곡선



〈그림 22〉 C150RH시험체 하중-변형률 곡선



〈그림 23〉 C200RH시험체 하중-변형률 곡선

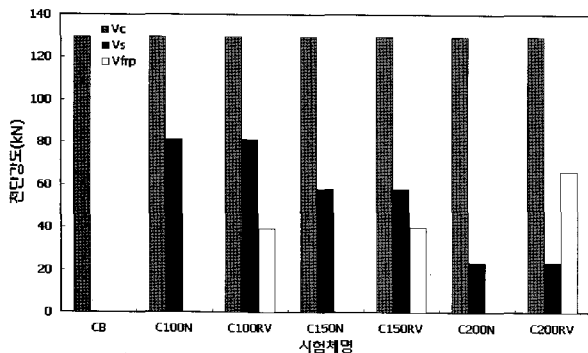
수평방향으로 보강한 CFRP의 변형이 크게 일어나지 않는 것은 힘을 크게 받지 않았음을 알 수 있었다. 그에 비해 수직방향으로 보강한 CFRP의 변형은 수평방향에 비해 큰 변형을 하였음을 알 수 있었고 이는 하중을 크게 받았음을 알 수 있었다.

4.3 CFRP 전단보강 효과 평가

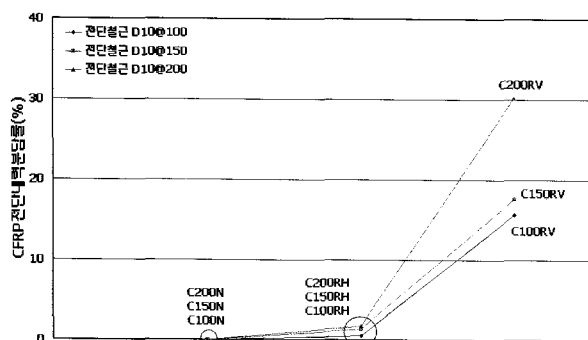
철근콘크리트보에 매립형 CFRP로 전단보강했을 시 보강효과가 있는 것으로 판단된다. 본 실험에서는 전단보강근이 있는 철근콘크리트보에 CFRP를 전단보강하였으므로, 철근콘크리트보의 전단강도는 식(1)과 같이 콘크리트의 전단강도와 전단보강근의 전단강도, CFRP의 전단강도의 합으로 볼 수 있다.

$$V_n = V_c + V_s + V_{cfpr} \quad (1)$$

콘크리트의 전단강도 V_c (실험치) 시험체 CB의 결과에서 129.74kN으로 측정되었고, V_s 또한 실험값을 측정하였다. 이를 근거로 V_{cfpr} (실험치)를 각 시험체로 별로 전단보강효과는 <그림 24>와 같다.



<그림 24> 시험체별 전단강도



<그림 25> CFRP 전단내력분담률

5. 결 론

1. 본 실험에서 전단보강근이 있는 철근콘크리트보에 매립형 CFRP 보강공법은 콘크리트와 CFRP의 부착력이 콘크리트강도보다 크기 때문에 부착에 대한 고려는 하지 않아도 된다고 판단된다.
2. 전단보강근의 간격에 따른 CFRP의 전단보강효과는 전단보강근의 간격이 넓을수록 CFRP의 전단보강효과가 뛰어난 것으로 판단된다.
3. CFRP의 전단보강방향에 따른 전단보강효과는 수평방향으로 CFRP를 보강한 경우에는 거의 전단보강효과가 없는 것으로 나타났고, 수직방향으로 보강한 경우에는 충분한 전단보강효과를 보였다.

따라서 매립형 CFRP를 철근콘크리트보에 수직으로 전단보강을 했을 시에는 CFRP의 전단내력을 충분히 고려하여 전체적인 철근콘크리트보의 전단내력을 산정해야 한다고 판단된다.

참 고 문 헌

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, 제10권4호, 1998
4. 신영수, "탄소섬유쉬트에 의한 철근콘크리트보의 전단보강효과", 대한건축학회 논문집, 15권9호, 1999
5. 신성우, "탄소섬유쉬트로 보강한 R/C보의 전단거동에 관한 연구", 한국구조물진단학회, 제3권 제3호, 1998
6. 신종학, "고성능 탄소섬유봉과 보강철물을 이용한 철근콘크리트보의 보강 신기술 개발", 한국콘크리트학회 2002년도 봄 학술발표회 논문집, PP.805~810