

손상된 철근콘크리트보에 있어서 탄소섬유판의 보강 성능에 관한 연구

A Study on the Reinforcement Performance of Carbon Fiber Plate(CFP) for Damaged Reinforced Concrete Beam

김철환* 함영덕** 김구진**
Kim, Cheol-Hwan Ham, Young-Duck Kim, Ku-Jin

요약

본 논문에서는 강도를 향상시키기 위하여 탄소섬유쉬트를 압착하여 제작된 탄소섬유 판재를 이용하여 철근 콘크리트 보의 휨내력 향상과 이력거동에 미치는 영향을 규명하기 위하여 실험을 수행하였다. 실험의 주된 변수는 탄소섬유판재의 단면의 크기, 보강전에 철근콘크리트 보의 손상정도이다. 특히 보의 손상정도는 보가 과하중에 의해 손상을 받은 경우를 대상으로 하고 있으며 손상정도는 보의 최대 휨내력의 30%, 60%, 100%로 하고 있으며 비교를 위하여 손상받지 않은 보도 실험하였다. 얻어진 결론은 탄소섬유판으로 보강한 경우는 보강하지 않은 보에 비해 강도는 상승하나 최대하중점에서의 변형은 감소하고 있으며, 연성에 있어서는 대등한 값을 나타내고 있다.

Abstract

The experimental work was performed to investigate the effect influenced to the hysteresis and the flexural strength improvement of RC beam using carbon fiber plates. Major parameters of this experimental program were the section size of carbon fiber plates and the damage level of RC beam before reinforcement. Particularly, the damage level of beam is for the cases damaged by overloads. The damage level is for 30%, 60%, and 100% of flexural strength, and no damaged beams were also tested for comparison with the damaged one. From the test results, it showed that the beams reinforced by carbon fiber plates had the higher strength and lower deformation capacity than the general beams and that it had the same ductility ratio of the general beams.

키워드 : 손상된 보, 보강성능, 탄소섬유판, 휨내력

Keywords : Damaged Beam, Reinforcement Performance, Carbon Fiber Plate, Bending Strength.

1 서론

건축구조체에는 사회환경의 변화 등에 의한 용도의 변경이나, 외란 등에 의해 설계시의 하중상태와는 다른 하중이 작용하기도 한다. 이러한 작용하중 패턴의 차이는 건축구조체에 큰 변형이나 구조적 손상을 일으키기도 한다. 이러한 경우에는 사용성 및 안전성을 확보하기 위하여 구조체의 보수 및 보강이 필요하다.

구조체의 보강공법은 사용재료에 따라 여러 가지로 분류되고 있다. 철근 콘크리트 구조물인 경우에는 부재 단면을 확대하는 공법 외에 탄소섬유쉬트 공법, 유리섬유 복합체 이용공법, 철판공법 및 프리스트레스트 공법 등이 있다. 이들 공법중에 탄소섬유 쉬트를 이용한 공법은 작업성이 높아 많은 적용 사례를 가지고 있으나, 단면의 크기에 비해 강도가 낮아 높은 강도가 요구되는 지점에 일률적으로 적용하기 어려운 점이 있다. 따라서 최근 이러한 강도에 대한 단점을 보완하기 위해서 탄소섬유쉬트를 압착하여 만든 적층판(이하 탄소섬유판이라 함)이 개발되어 현장에 적용되고 있다. 탄소판 보강공법은 강도의 상승효과 뿐만 아니라 현장에서 에폭시를

* 정회원, 상주대학교 건축공학부 부교수, 공학박사
Tel : 054-530-5374 Fax : 054-530-5379
(chkim@sangju.ac.kr, 054)530-5374)

** 상주대학교 산업대학원 석사과정

이용하여 간단히 부착하여 높은 내하 성능을 나타내므로 높은 작업성과 보강효과를 기대할 수 있다.

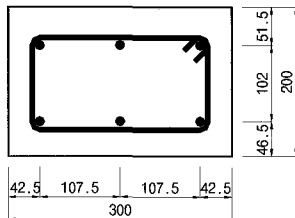
한편, 건축구조물은 일반적으로 극한하중 하에서 파괴 이전에 연성적인 거동을 나타내도록 설계되어야 한다. 이는 건축물이 갑작스런 파괴로부터 인명과 재산을 보호하기 위한 최소 요구성능이며, 이러한 요구성능은 철근콘크리트 구조물이나 철골구조물이나 동일하게 적용되어지고 있으며, 구조체가 보강된 이후에도 동일하게 적용되어야 한다.

본 연구에서는 철근 콘크리트 보에 있어서 탄소섬유판의 단면의 형태에 따른 보강 성능을 규명하고 나아가 과하중으로 인한 손상이 발생한 철근콘크리트 구조체에 있어서 탄소섬유판의 보강성능을 실험적으로 규명하고자 한다.

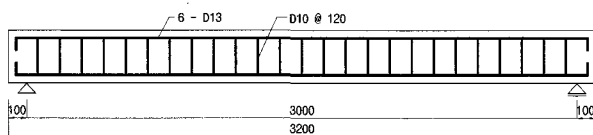
2. 실험

2.1 실험체 제작

대상으로 하는 철근콘크리트 보의 형상 및 치수는 <그림 1>에 나타난다. 실험체는 그림에서와 같이 300mm×200mm 단면의 보를 대상으로 하고 있으며, 단면의 형태는 철근 콘크리트보의 하부의 인장철근이 항복할 때 까지 상부콘크리트의 압축파괴 및 전단파괴가 발생하지 않도록 하기 위해서 결정하였다. 실험체 일람은 <표 1>에 나타내고 있다. 표에서와 같이 실험체는 7개를 준비하였으며, 실험변수는 보강전 구조체의 손상정도와 탄소섬유판의 단



(a) 실험체형상(단면)



(b) 실험체 형상 (길이방향)

<그림 1> 실험체 형상 및 치수

면형태 및 크기를 대상으로 하고 있다. 탄소섬유판의 단면 크기는 40×1.2, 40×2.4, 80×1.2이며, 손상은 보강전 부재의 최대 휨강도의 0%, 30%, 60%, 100%를 대상으로 하고 있으며, 부재의 손상 후 특별한 보강이나 보수 작업없이 탄소섬유판을 부착하여 보강하였다.

<표 1> 실험체 일람표

번호	실험체명	보강판	손상률
1	RN	무보강	무손상
2	RP40A	CFP 40×1.2	무손상
3	RP40B	CFP 40×2.4	무손상
4	RP80A-0	CFP 80×1.2	무손상
5	RP80A-30	CFP 80×1.2	30%
6	RP80A-60	CFP 80×1.2	60%
7	RP80A-100	CFP 80×1.2	100%

2.2 재료시험

2.2.1 콘크리트

실험에 사용된 콘크리트는 설계압축강도 270kgf/cm²인 고강도 콘크리트를 사용하였으며 이는 인장주근이 항복하기 이전에 콘크리트의 압축파괴가 발생하지 않도록 하기 위해서 선정하였다. 콘크리트용 사용골재의 최대치수는 25mm를 사용하였으며 슬럼프는 15cm를 적용하였다. 콘크리트의 배합비 및 공시체 시험결과는 <표 2> 및 <표 3>에 나타난다.

<표 2> 콘크리트 배합비

(단위: kgf/m³)

시멘트	물	자갈	모래	혼화제
330	185	876	876	0.99

<표 3> 콘크리트 공시체 시험결과

(단위: kgf/m³, cm)

설계강도	7일강도	28일강도	인장강도	슬럼프
270	104	283	27	15

2.2.2 철근

실험에 사용된 철근 SD30급의 이형철근으로 인장주근에는 D13을 전단보강용 스트립에는 D10을 사용하였으며, 철근의 기계적 성질은 <표 4>에 나타난다.

<표 4> 철근의 기계적성질

(단위: kgf/cm²)

등 급	항복강도	인장강도	연신율
SD30	3,000	4,519.69	15%

2.2.3 에폭시 접착제

실험에서 콘크리트와 탄소섬유판과의 접착제로는 에폭시수지를 사용하였으며 사용된 에폭시수지의 물성은 <표 5>에 나타낸다.

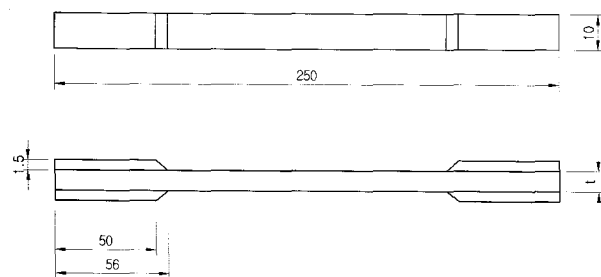
<표 5> 접착 에폭시의 물성

(단위: kgf/cm²,mm)

주제 : 경화제 배합비	비중	탄성 계수	압축 강도	휨강 도	인장 강도	접착 강도
2 : 1	1.65±0.1	5.25×10 ⁴	840~910	308	250	160~240

2.2.4 탄소섬유판

보강제로 사용한 탄소섬유판은 탄소섬유 쉬트를 압축하여 제작된 고강도 판재로서 실험은 ASTM D3039에 의해 실시하였다. 시험편의 형상 및 재료의 기계적 성질은 <그림 2> 및 <표 6>에 나타낸다. 탄소섬유판의 시험편은 두께가 얇고 고강도이므로 시험편 단부에 두께 1.5mm 길이 56mm의 보강판재를 덧붙여서 보강하여 제작하였다.



<그림 2> 탄소섬유판 시험편 형상

<표 6> 탄소섬유판의 기계적 성질

(단위: kgf/cm²,mm)

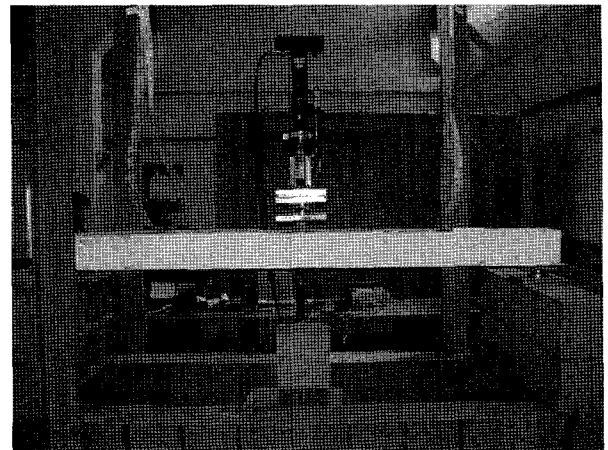
종류	단면크기	인장강도	탄성계수
C.F.P	10×1.2	25,700	1,600,000

2.2.3 실험방법

보강된 콘크리트 보의 역학적 특성을 규명하기

위하여 실험체를 양단 핀지지 상태로 설치한후 실험체 상부에 설치된 오일잭으로 부터 중앙부에 1점 집중하중을 작용시켜 보에 휨모멘트를 작용시킨다.

실험결과 데이터 취득은 실험체에 부착된 스트레인 게이지 및 실험체 상부 및 하부에 설치된 LVDT로부터 data logger을 통하여 취득한다. 실험체 설치상황은 <그림 3>에 나타낸다.



<그림 3> 실험체 set-up

3. 실험결과 및 고찰

3.1 최대강도

실험결과는 <표 7>에 요약하여 나타낸다. 표 중에는 실험체의 계산치도 나타내고 있다. 표에서 알 수 있듯이 모든 실험체가 초기 크랙강도에 있어서 계산치를 크게 상회하고 있다. 또한 최대강도에 있어서도 보강이전의 순수 철근콘크리트 보에 대한 계산치의 1.37~2.24배 정도의 높은 강도증대가 일어나고 있음을 알 수 있다. 그러나 탄소 섬유판의 보강효과가 포함된 강도 즉, 평면유지 조건으로 인한 탄소섬유판의 변형율로 산정된 강도의 0.66~0.88배 전후로서 계산치에 크게 미치지 못하고 있다. 이는 보강재의 파단이 아닌 접착부위의 콘크리트의 탈락이나 에폭시부의 탈락으로 최대강도가 결정되고 있기 때문으로 판단된다.

또한, 최대강도에 있어서 과하중 작용으로 인한 손상발생후의 보강효과에 있어서 손상률에 의한 강도의 차이는 10%내외로서 유의한 경향을 나타내지 않고 있으나, 보강탄소섬유판의 단면적에 의한 최대

〈표 7〉 실험결과

실험체명	크랙강도		최대강도				
	계산치	실험치	계산치1	계산치2	실험치	실험치 /계산치1	실험치 /계산치2
RN	0.36tf	1.94tf	2.64tf	-	3.61tf	1.37	-
RP40A	0.36tf	0.75tf	2.64tf	5.19tf	4.57tf	1.73	0.88
RP40B	0.36tf	1.0tf	2.64tf	7.72tf	5.10tf	1.93	0.66
RP80A-0	0.36tf	0.8tf	2.64tf	7.72tf	5.09tf	1.92	0.66
RP80A-30	0.36tf	1.4tf	2.64tf	7.72tf	5.92tf	2.24	0.77
RP80A-60	0.36tf	5.3tf	2.64tf	7.72tf	5.74tf	2.17	0.74
RP80A-100	0.36tf	1.68tf	2.64tf	7.72tf	5.69tf	2.16	0.74

계산치1 : 보강전 부재의 계산값, 계산치2 : 탄소섬유판 보강후 계산치

강도의 차이는 나타나고 있다.

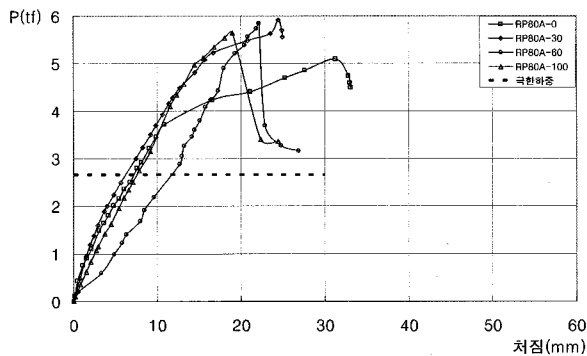
3.2 이력거동

각 실험체의 하중-처짐관계는 <그림 4>, <그림 5>에 나타낸다. 그림 중의 수평파선은 부재의 극한 강도의 계산치를 나타내고 있다. 모든 실험체가 극한강도에 이르기 까지 거의 탄성적인 거동을 나타내고 있다. 또한, 보강한 보의 경우에는 손상률의 정도에 관계없이 최대강도 도달한 이후에 급격한 강

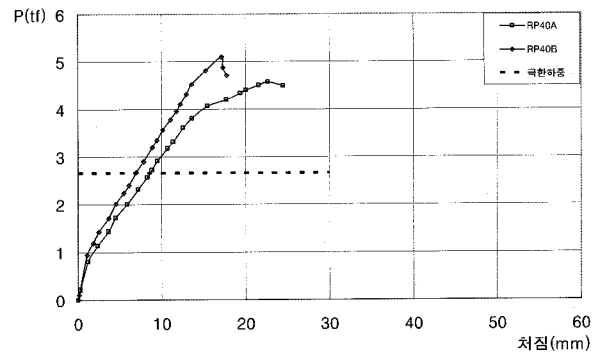
도 저하현상을 나타내고 있으나 무보강 실험체의 경우에는 보강한 실험체에 비해 최대강도 및 항복 강도는 낮으나 항복이후 최대강도에 도달하기까지 급격한 강도 저하 없이 높은 변형 능력을 가지고 있다.

<그림 7>과 <그림 8>은 철근 콘크리트보에 있어서 탄소섬유판으로 보강한 경우와 보강하지 않은 경우를 비교하여 나타낸다.

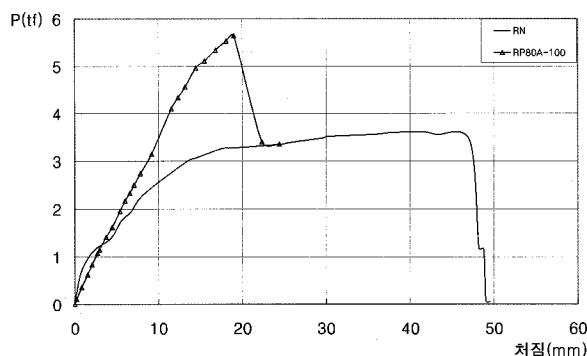
보강하지 않은 RN 실험체의 경우 보강한 RP80A-0, RP40B 실험체에 비해 초기 강성이 낮을뿐만 아



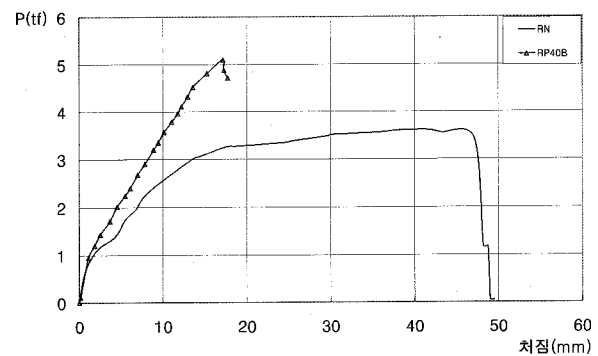
〈그림 4〉 하중-처짐 관계



〈그림 5〉 하중-처짐 관계



〈그림 6〉 보강-무보강 실험체 비교(a)



〈그림 7〉 보강-무보강 실험체 비교(b)

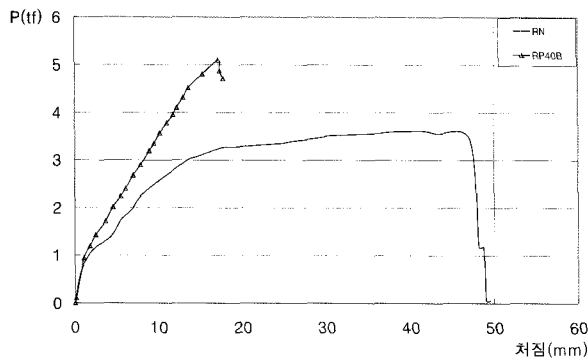
나라 조기에 강성의 저하가 발생하고 있다. 그러나 보강한 RP80A-0, RP40B 실험체의 경우에는 최대하중에 도달할때까지 거의 강성의 저하가 발생하지 않고 있다. 이는 최대강도가 보강재가 부착된 부위의 콘크리트 박리 또는 에폭시의 부착강도에 의해 결정되기 때문이다.

<그림 9>는 무손상 실험체인 RP80A-0, RP40B의 비교해서 나타낸다. 그림에서와 같이 최대 강도는 탄소섬유판의 단면적에 비례에 하며, 폭 두께에 관계없이 최대강도는 동일한 것으로 나타내고 있다. <그림 10>은 손상-무손상 실험체의 비교를 나타낸

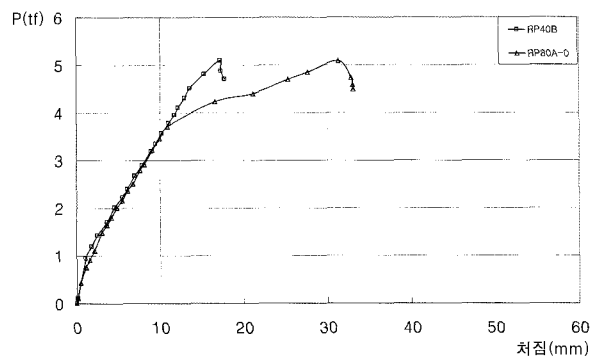
다. <그림 11>은 손상률에 따른 실험체의 비교를 나타낸다. 손상률에 관계없이 탄소섬유판의 단면적이 동일 할 때는 최대강도가 동일한 것으로 나타나고 있다.

3.3 변형능력

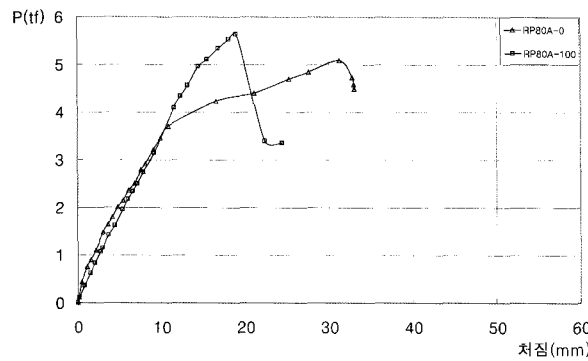
각실험체의 항복점의 변형 및 최대하중점의 변형 및 연성율은 <표 8>에 나타내며, 연성율은 최대하중점의 변형과 항복하중점의 변형의 비로 정의하고 있다. 대부분의 실험체가 연성율이 2이상의 변형능



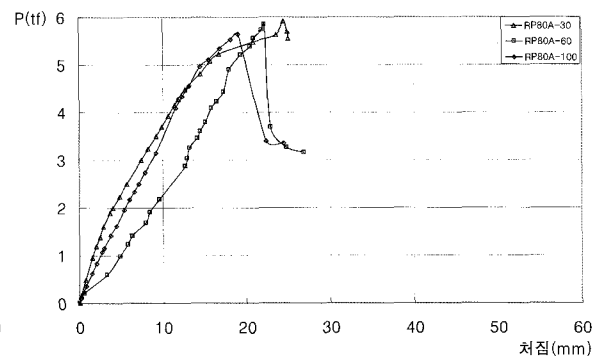
<그림 8> 보강-무보강 실험체 비교(c)



<그림 9> 탄소섬유판 두께차이 비교



<그림 10> 손상-무손상 실험체비교



<그림 11> 손상률에 따른 실험체 비교

<표 8> 실험체별 연성율

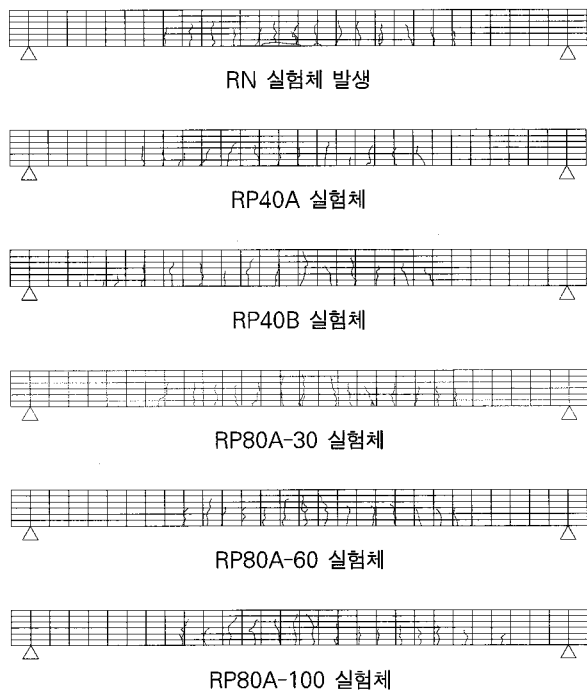
실험체명	P_y	Δy	P_{max}	Δ_{max}	연성율
RN	3.16tf	15.93mm	3.61tf	41.52mm	2.61
RP40A	3.22tf	10.87mm	4.57tf	22.67mm	2.09
RP40B	3.69tf	7.96mm	5.10tf	17.14mm	2.15
RP80A-0	4.09tf	14.97mm	5.09tf	31.28mm	2.09
RP80A-30	4.26tf	9.95mm	5.92tf	24.45mm	2.45
RP80A-60	3.25tf	15.65mm	5.74tf	22.16mm	1.41
RP80A-100	4.95tf	13.35mm	5.69tf	23.53mm	1.76

P_y : 항복 강도, Δy : 항복점의 변위, P_{max} : 최대 강도, Δ_{max} : 최대 강도의 변위

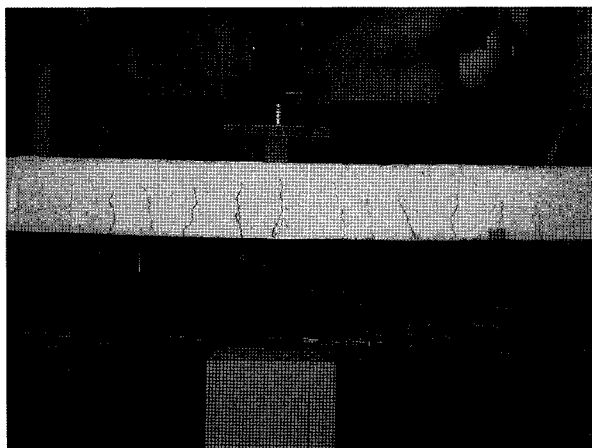
력을 가지고 있으나, RP80A-60, RP80A-100 실험체의 경우 연성율이 각각 1.41, 1.76으로 낮게 나타나고 있다. 이는 실험시 초기하중 작용시 안정되지 못하고 불안정한 상태가 지속되어 항복하중시의 변형이 크게 나타났기 때문이다.

3.4 파괴형상

실험 종료후 크랙 진전 상황은 <그림 11>에 나타난다. 그림중의 파선은 보강하기 전의 과하중으로 인한 크랙 발생부를 나타내고 있으며 실선은 보강



<그림 12> 실험체 발생크랙



<그림 13> 실험종료시 파괴형상(RP80A-30)

후 가력시의 발생크랙을 나타내고 있다. 모든 시험체가 보강전후에 고르게 크랙이 발생하고 있으며, 크랙의 진전도 보의 중앙부에서 단부로 확장되어 발생하고 있음을 알 수 있다. 보의 하단부에 부착한 보강재에 의해 발생하는 휨응력이 단부로 재분배되는 것으로 판단된다. 실험 종료시 시험체 파괴형상은 <그림 12>에 나타낸다. 모든 실험체가 보강 탄소섬유판의 탈락으로 최대강도가 결정되고 있으며, 이는 보강판재가 단지 예폭시수지의 접착강도에 의해 발생하는 휨모멘트에 저항하기 때문으로 판단된다

4. 결론

본 연구에서는 철근콘크리트 보에 있어서 구조체가 손상을 받았을 경우, 안전 및 사용성 확보를 위해 탄소섬유쉬트를 압착하여 제작된 고강도 탄소섬유판으로 보강한 경우의 이력거동을 규명하기 위해 실험을 행하였다. 얻어진 결론은 아래와 같다.

1. 탄소섬유판 보강 실험체의 경우 무보강 실험체에 비해 최대강도는 1.2배~1.6배 정도 상승하고 있으나, 최대하중점에 있어서의 변형도는 34%~75%전후로 감소한다.
2. 실험체의 연성율에 있어서 탄소섬유판 보강 실험체의 경우 2.45~2.09로 무보강 실험체의 2.61과 거의 대등한 연성율을 나타내고 있다.
3. 탄소섬유판 보강 실험체는 중앙부에서 단부로 고르게 크랙이 분포하고 탄소섬유판 보강재에 의해 응력의 재분배가 일어나고 있음을 알 수 있다.
4. 최대하중은 보강재의 탈락으로 결정되고 있으며, 보강재의 단부 고정방법의 개발에 따라 보강효과의 증진을 기대할 수 있다.

참고 문헌

1. 김철환 (2003) "탄소섬유판 보강 철근 콘크리트 보의 역학적 특성에 관한 연구", 상주대학교 산업 과학 기술 연구소 논총, pp383-392
2. 김철환 외 (2004) "철판보강 철근 콘크리트보의

- 이력거동에 관한 연구", 상주대학교 산업 과학 기술 연구소 논총, pp309-318
3. 이원호 외 (2001) "탄소섬유시트로 전단 보강된 철근 콘크리트 보의 보강 효과", 대한건축학회 논문집 17권 12호, pp21-28
 4. 이리형 외 (1998) "탄소섬유 쉬트로 보강된 철근 콘크리트 보의 전단거동에 관한 연구", 대한건축학회 학술발표논문집 17권 1호, pp519-524
 5. 백승민 외 (2004) "보강된 RC보의 휨내력 예측에 관한 연구", 대한건축학회논문집 20권 6호, pp11-17
 6. 신성우 외 (1998) "탄소섬유 쉬트의 보강량 및 정착길이가 RC보의 휨거동에 미치는 영향", 한국콘크리트학회 1998년 봄학술발표회 논문집, pp579-584
 7. 정란 외 (1999.2) "재하상태에서 보강된 철근 콘크리트보의 보강재료에 따른 구조적 거동", 콘크리트 학회지 제9권 6호, pp. 201-208
 8. 박철림 외 (1997.12) "탄소섬유쉬트로 보강된 철근콘크리트 보의 부착 파괴거동에 관한 실험적 연구", 콘크리트 학회지 제 11권 1호, pp. 157-164
 9. 심종성, 김규선 (1998.8) "FRP로 보강된 RC보의 전단보강효과 비교연구", 콘크리트 학회지 제 10권 4호, pp. 101-111
 10. 한상훈 외 (2000) "탄소섬유 보강판(CFRP)으로 보강한 철근 콘크리트 보의 강성예측에 관한 연구", 한국콘크리트학회 2000년 봄 학술발표 논문집, pp pp763-768
 11. 이원호 외 (1999) "기존 실험자료를 이용한 탄소섬유쉬트로 보강된 철근콘크리트 보의 보강 효과", 한국콘크리트학회 1999년 봄 학술발표회 논문집, pp.715-720