

Carbon Fiber Sheet 보강형태에 따른 철근콘크리트 보의 휨거동에 관한 연구

이우진 공학박사 충주대학교 산업과학연구소 연구원

1. 서론

철근콘크리트 구조물이 시공된 후, 그 사용기간 중 콘크리트의 낮은 강도, 건조수축, 진동, 구조설계 또는 시공상의 오류, 용도의 변경, 구조물의 노후, 과다하중, 강도저하와 건축주의 의식부족 등으로 인해 구조체에 균열이 발생하고 변형이 누적되어 강도가 저하함으로 구조체를 보강할 필요성이 생기게 된다. 기존의 구조체의 보수·보강방법으로 다양한 방법들이 연구되고 적용되고 있는데, 우리나라에서는 에폭시접착 강판공법이 예전에 주로 사용되어왔으나, 신소재 복합재료인 탄소섬유시트(CFS), 유리섬유시트(GFS), 아라미드수지(AFRS) 등이 최근 들어 광범위하게 적용되고 있다. 특히, 탄소섬유는 시트뿐만 아니라 탄소섬유시트의 단점으로 보완한 탄소섬유판(CFRP), 탄소섬유메쉬(CFM)로 개발되어 현장 적용되고 있다. 탄소섬유는 기계적 성질이 비교적 강재와 유사하면서, 내식성, 경량 등의 강재에 없는 특성도 가지고 있기 때문에 노후화된 건축물의 보강에 보편적으로 사용되고 있으나, 실무 적용에 있어 경제성 및 시공성의 이유로 다양한

보강형태를 갖는 경우가 많다. 따라서 본 연구에서는 현장 적용되고 있는 다양한 탄소섬유시트의 보강형태를 적용한 철근콘크리트 보의 보강형태에 따른 휨거동을 파악하고 경제적이면서 효율적인 보강방법을 제시하고자 한다.

2. 실험

2.1 시험체 계획

본 연구를 수행하기 위하여 휨보강접수, 단부 정착방법, 측면보강형태를 주변수로 하여 총 11개의 시험체를 제작하였다. 시험체는 총 길이 3.4m, 스패ن 3.0m, 단면의 크기 25cm×40cm인 장방형 단면의 복근보 시험체를 제작하고 휨 파괴가 선행되도록 인장철근 3-D19(A's=8.61cm²), 압축철근 2-D13(A's=2.54cm²)를 배근하였다. 실제 재하상태와 근접한 하중을 주기 위하여 시험체 중앙으로부터 좌우 각각 50cm씩 총길이 100cm의 순수 휨 구간으로 설계한다. 인장철근의 변형을 측정하기 위해서 인장철근의 중앙과 가력점 하부, 가력점 하부와 지점사이의 중앙에 wire strain gauge를 설치하고 압축

철근의 변형을 측정하기 위하여 압축철근의 중앙에 wire strain gauge를 설치한다. 이와 같이 계획된 시험체 단면상세와 변형도 측정용 게이지 부착위치 및 주단면도는 Fig. 2-1, 2-2에 나타나 있고, 시험체의 보강형태는 Fig. 2-5에, 시험체의 특성은 Table 2-5에 나타나 있다.

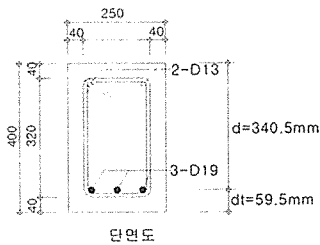


Fig. 2-1 시험체의 단면상세

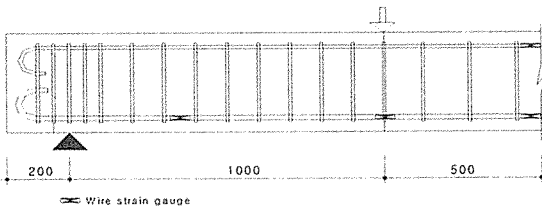


Fig. 2-2 변형측정용 게이지 부착위치 및 주단면도

2.2 사용재료

본 실험에서 시험체 제작에 사용된 콘크리트와 철근외에 구조물의 보강을 위해 CFS, 에폭시, 프라이머등이 사용하였으며 이를 항목별로 살펴보면 다음과 같다.

2.2.1 콘크리트

본 실험에서 사용된 콘크리트는 설계강도가 24MPa로 설계된 레미콘 제품을 사용한다. 콘크리트의 압축강도 시험용 공시체는 KS F 2403

에 따라 직경10cm, 높이 20cm의 실린더형 몰드를 사용하여 제작한다. 시험체와 동일한 조건하에서 양생한 후 재령에 따라 시험을 실시한다. 콘크리트 압축강도 측정은 KS F 2405에 따라 실시하며, 일축 압축응력하에서 콘크리트의 응력-변형도 관계를 알아보기 위하여 공시체 표면에 콘크리트용 Wire Strain Gauge를 부착하여 시험한다. 표3과 같이 측정된 콘크리트 강도는 최소한 3개의 공시체의 평균값으로 하여 표준공시체(15cm*30cm)에 대한 보정값은 측정된 압축강도의 97%로 한다. 공시체는 압축강도 시험마다 시편연마기로 표면을 연마한다. 콘크리트의 배합설계표는 Table 2-13과 같다.

Table 2-1 콘크리트 배합설계표

압축강도(MPa)	24	단위 량 (kg/ m ³)	물(W)	171
굵은골재의 최대 치수(mm)	19		시멘트(C)	347
공기량(%)	2.5		잔골재(S)	819
물-시멘트비(%)	49.8		굵은골재(G)	1007
잔골(%)	45.9		AD1/AD2	3.12/0.00

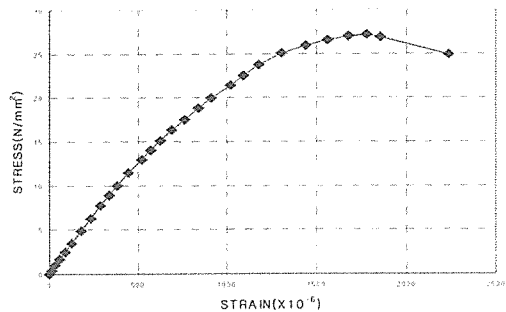


Fig. 2-3 콘크리트의 응력-변형도 곡선

2.2.2 탄소섬유시트(Carbon Fiber Sheet)

본 실험에서 사용된 CFS는 일방향 고강도 탄소섬유시트이며 에폭시의 침투성이 좋은 제품

을 사용한다.

이 제품에 대한 역학적 성질은 다음 Table 2-2와 같다.

Table 2-2 탄소섬유시트(FTS-C1-30)의 역학적 성질

섬유종류	고강도 카본섬유	인장 강도 (N/cm폭)	5,900
섬유 중량 (g/m ²)	300	인장 탄성률 (kN/cm폭)	388
섬유 비중 (g/m ³)	1.8	설계 강도 (N/mm ²)	3,550
설계두께 (mm/ply)	0.165	설계 탄성률 (N/cm ²)	2.35×10 ⁵
섬유의 형태	1방향	파단 신도 (변형률, %)	1.5

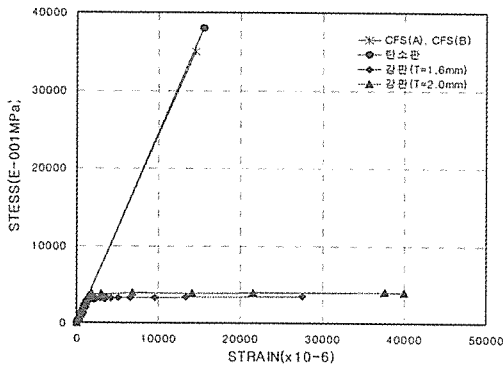


Fig. 2-4 보강재의 응력-변형도 곡선

2.2.3 에폭시 수지(프라이머)

에폭시 수지는 콘크리트 표면과 탄소섬유시트를 접착시키며 탄소섬유시트를 결합시켜 콘크리트 표면에 부착된 탄소섬유시트에 하중을 분산시키는 역할을 한다.

Table 2-3 프라이머 종류와 성상

타입	FP-NSS (FP-NSSL)
적용 온도(°C)	25~35
가사 시간, (분)	40
건조 시간, (시간)	712
양생 시간, (일)	7
주제 : 경화제(중량비)	2 : 1
점도(cps) @20 °C	2000
사양	여름용

Table 2-4 레진의 종류와 성상

타입	FR-E3PSL (FP-E3PSL)
적용 온도(°C)	25~35
가사 시간, (분)	40
건조 시간, (시간)	7
양생 시간, (일)	7
주제 : 경화제(중량비)	2 : 1
점도(cps) @20 °C	2000
사양	여름용

2.3 실험방법

2.3.1 실험기기

본 실험에서 사용된 기기 및 측정기들은 다음과 같다.

- 1) Universal Test Machine : 2000 kN
- 2) Data Logger : TDS-602
- 3) Load Cell : 500kN
- 4) LVDT- 100mm : 3EA
- 5) Magnetic Base : 3EA
- 6) 변형률 게이지 : wire strain gauge
 - 철근 변형도 측정 : 5mm
 - 콘크리트 변형도 측정 : 60mm

2.3.2 시험체 설치

시험체 설치는 그림2와 같이 200ton 용량의 UTM Bed 위에 300cm 간격의 지지대를 고정시키고 부재 각각 좌우측 120cm 떨어진 지점에 100cm의 순수 휨구간을 두었다. 양 가력점을 힌지로 만들기 위해서 반원형 철물 위에 원형봉을 설치하고 원형봉 위에 가력보로 H형강을 올려놓고 가력보 상단 중앙부에 Load Cell를 설치하였다.

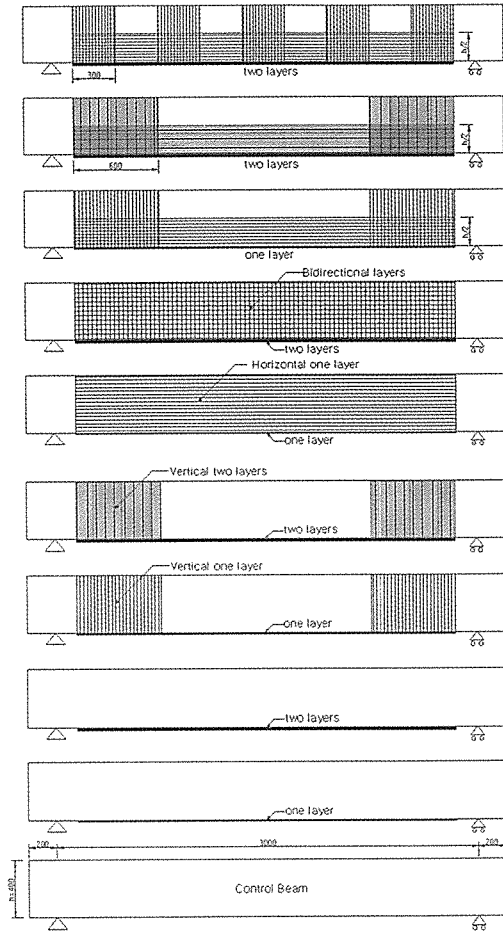


Fig. 2-5 시험체 보강형태

Table 2-5 시험체의 특성

시험체명	보강방법		선재하중	비고	
	보강재	보강방법			
1	CONT	무보강	-	100%	-
2	BC2-B2-100	2겹	측면수평 · 수직보강	100%	측면보강높이(전체)
3	BC1-UI-100	1겹	휨보강+U형보강	100%	30cm 간격으로 보강
4	BC1-B-70	1겹	휨보강	70%	밀면보강
5	BC2-B-70	2겹	휨보강	70%	밀면보강
6	BC1-EU1-70	1겹	휨+U형단부보강	70%	단부보강구간:60cm
7	BC2-EU2-70	2겹	휨+U형단부보강	70%	단부보강구간:60cm
8	BC1-H1-70	1겹	휨+측면수평보강	70%	측면보강높이(전체)
9	BC2-B2-70	2겹	휨+측면수평 · 수직보강	70%	측면보강높이(전체)
10	BC1-h1-70	1겹	휨+측면수평보강	70%	측면보강높이(h/2)
11	BC2-b2-70	2겹	휨+측면수평 · 수직보강	70%	측면보강높이(h/2)

BC2-B2-100

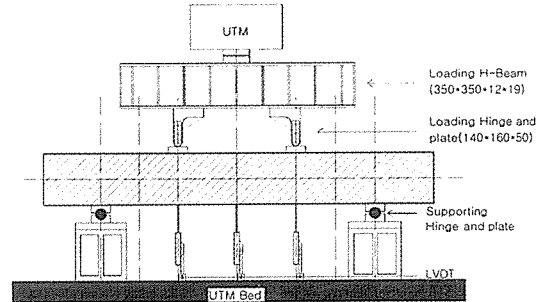
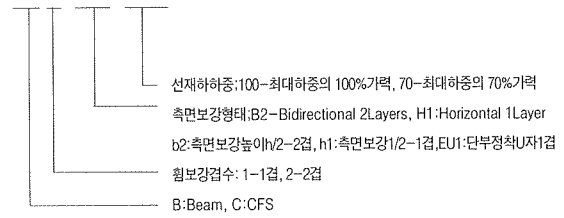


Fig. 2-6 시험체 가격 및 설치

2.3.3 시험체 제작

시험체에 사용된 철근은 절단기를 사용하여 시험체 제작에 요구되는 치수에 따라 절단한 후 철근 구부림 직경 4db로 가공하고, 스티럽은 135° 후크에 여장 6db인장철근은 90° 후크에 여장 12db이상의 길이로 제작한다. Wire Strain Gauge는 인장철근과 압축철근에 그라인더를 사용하여 연마한 후 아세톤으로 닦고, 부착시킨 후 방수 테이프로 마무리한다. U자형으로 단부 정착 보강할 시험체에는 탄소섬유의 절곡으로 인한 파단이 발생하지 않도록 양 단부의 하부 모서리 부분을 연마작업 한다. 거푸집은 일반합판을 사용하여 박리제를 사용하여 제작하고 인장 철근에 간격제(spacer)를 사용하여 고정한다.

시험체의 타설은 레미콘을 이용하여 타설 시 진동기를 사용한다. 콘크리트 강도를 측정하기 위하여 콘크리트 타설과 동시에 KS F 2403에 따라 각 시험체에 따른 공시체를 제작한다. 시험체 타설 후 1주 후에 거푸집 및 몰드를 제거하여 대기 중 기건 양생을 하고 양생은 양생포를 이용하여 보온하면서 타설 후 1주일은 오전, 오후 한번씩 살수하고 그 이후에는 이틀에 한 번씩 살수를 한다. 양생된 시험체는 실험변수에 따라 기준 시험체의 최대내력 70%, 100% 해당하는 하중을 선재하(Pre-Loading)하여 균열을 유도시키고 CFS로 보강한다.

2.3.4. 하중재하 및 측정방법

시험체를 설치하고 측정기기들의 이상유무를 확인한 후 시험체의 전후 좌우를 맞추어 설치하였다. 선재하(Pre-Loading)일 때 재하방법은 인장철근의 변형도 조절방식(Strain control)으로 하중을 증가시키다가 최대하중의 70%에 도달하였을 때 하중을 제거하였다. 선재하를 가한 시험체에 탄소섬유시트를 보강한 후의 재하방법은 예상 최종파괴 하중의 1/3까지는 하중 조절방식(Load control)으로 그 이후부터 실험종료까지는 시험체 중앙부에 설치된 변위조절방식(Deflection control)에 Data Logger를 통하여 관측하면서 변위조절방식(Deflection control)에 의해 가력하였다. 시험체의 초기 균열, 균열 상황, 탄소섬유시트의 탈락 상황을 육안으로 관찰하여 기록하였고 실험 종료후 사진으로 촬영하였다. 시험체의 중립축을 파악하기 위해서 시

험체 중앙부에 wire strain gauge를 설치하였다. 처짐측정을 위해서 시험체 중앙부와 중앙부로부터 지지점쪽으로 50cm 간격으로 변위측정기(LVDT)를 설치하였고 Data Logger에 리드선으로 변위측정기(LVDT)와 게이지를 연결하여 재하하기 전에 모든 게이지의 이상 유무를 확인한 후 초기화하였다.

3. 실험결과 및 비교분석

3.1 시험체별 파괴 양상 및 실험결과

시험체별 최종파괴 형태를 살펴보면 다음과 같이 분류할 수 있다. 첫 번째는 CFS를 보강하지 않은 시험체로 먼저 휨균열이 발생하면서 인장철근항복 후 콘크리트 압괴에 의해서 최종파괴하는 휨파괴, 두 번째는 인장철근 항복 후 CFS 박리에 의해서 최종파괴하는 휨파괴, 세 번째는 CFS 파단 및 분리 후 인장철근이 항복하여 최종파괴하는 경우, 네 번째는 인장철근의 항복 후 CFS의 박리나 파단 없이 압축콘크리트의 압괴에 의해서 최종파괴하는 경우이다. 각 시험체의 파괴형태는 Table 3-1과 같다. Fig. 3-1~3은 CFS의 파괴 형태를 보여주고 있다.

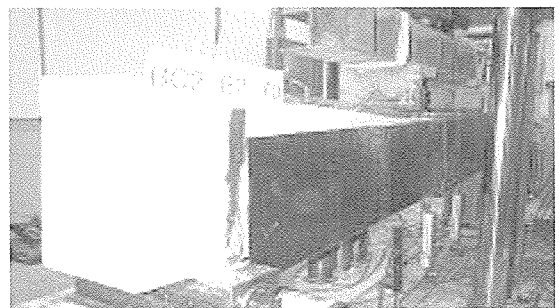


Fig. 3-1 시험체의 최종파괴형태(시트의 파단 및 박리)

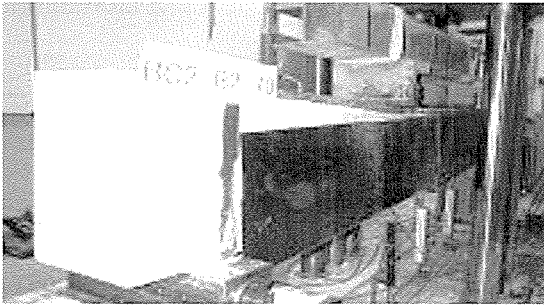


Fig. 3-2 시험체의 최종파괴형태(시트의 파단 및 박리)

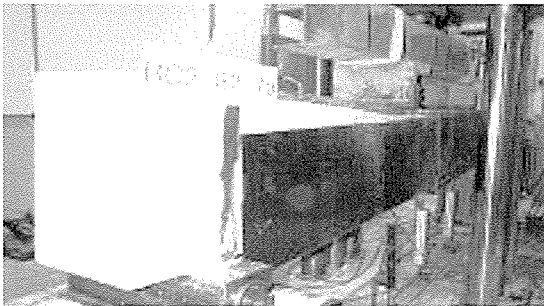


Fig. 3-3 시험체의 최종파괴형태(압축콘크리트의 압괴)

Table 3-1 시험체별 파괴양상 및 최대하중

시험체명	파괴양상	항복하중(kN)	최대하중(kN)
Control beam	휨파괴	277.62	295.28
BC1-B-70	휨파괴	280.57	319.81
BC2-B-70	휨파괴	294.30	339.43
BC1-EU1-70	휨파괴	299.21	327.65
BC2-EU2-70	휨파괴	286.45	335.50
BC1-H1-70	휨파괴	317.84	360.03
BC2-B2-70	압축콘크리트압괴	347.27	430.66
BC2-B2-100	압축콘크리트압괴	331.58	395.34
BC1-h1-70	압축콘크리트압괴	302.15	397.31
BC2-b2-70	압축콘크리트압괴	335.50	430.66
BC1-U1-100	압축콘크리트압괴	320.79	355.12

3.2 탄소섬유시트 보강효과

일반적으로 CFS로 보강한 모든 시험체의 최대내력은 Control Beam 시험체(이하 기준시험체)보다 높게 나타나, CFS의 보강효과가 우수하다는 것이 입증되었다. 밑면에 휨보강한 BC1-B, BC2-B 시험체는 내력이 각각 9, 15% 증진되었고, 휨보강시트를 지지하기 위해 단부에 U자 형태로 시공한 BC1-EU1, BC2-EU2 시험체도 각각 11, 13% 내력이 향상되었다. 또한 측면에 수평으로 1겹 보강한 BC1-H1 시험체는 22% 증가한 반면, 수평·수직 2방향으로 보강한 BC2-B2 시험체는 기준시험체의 46% 내력이 증가되었고, BC1-H1 시험체의 최대내력보다 19% 정도 높게 나타나 가장 우수한 보강 형태로 사료된다. 측면의 보강높이에 1/2로 하여 시공된 BC1-h1, BC2-b2 시험체는 기준시험체와 비교하여 35, 46%, 측면전체에 보강한 BC-H1, BC2-B2 시험체와 비교하여 각각 10%, 0%로 오히려 같거나 높게 나타나 경제성을 고려할 때 이 보강방법이 사용되어도 가능하리라 사료된다.

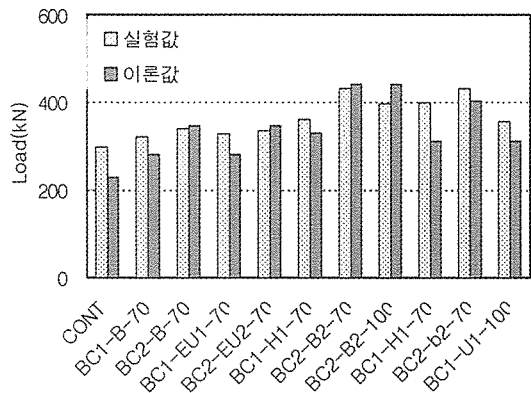


Fig. 3-4 최대내력의 비교

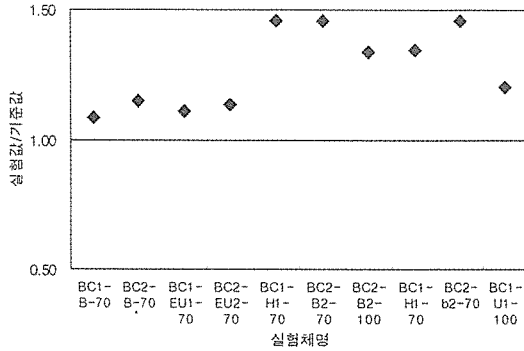


Fig. 3-5 최대내력비교(각시험체/기준시험체)

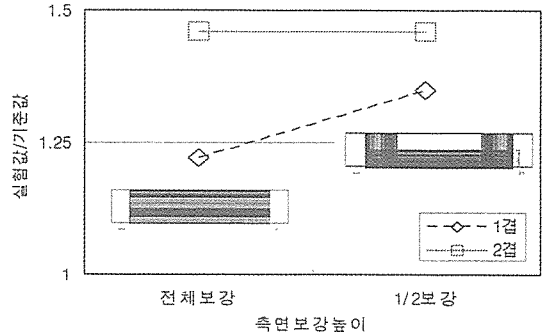


Fig. 3-7 측면보강높이에 따른 최대내력 비교

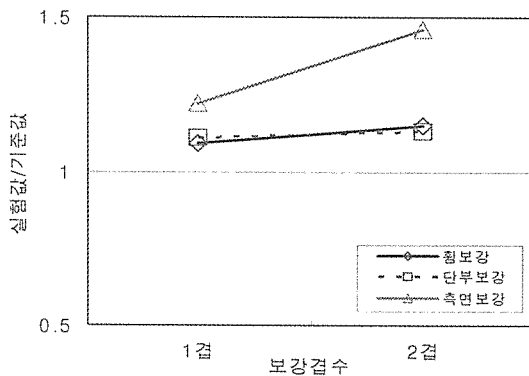


Fig. 3-6 보강겹수에 따른 최대내력 비교

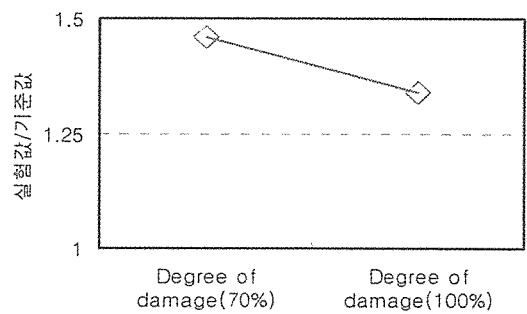


Fig. 3-8 손상정도에 따른 최대내력 비교

일정간격으로 U자 형태로 보강한 BC1-U1 시험체도 기준시험체의 최대내력에 해당하는 하중으로 가력하여 손상을 유도하였음에 불구하고 기준시험체의 20%, 단부만 보강한 BC1-EU1 시험체의 최대내력보다 8% 높게 나타났다. 손상정도에 따른 최대내력 평가를 하기 위하여 제작된 BC2-B2 시험체는 기준시험체의 최대내력에 70%를 가력한 시험체가 100%가력한 시험체와 비교하여 9% 증가하였다.

3.3 하중-변위관계

CFS로 보강한 시험체는 전체적으로 초기균열 하중은 기준 시험체에 비해 약간 증가하였고 CFS 부착파괴시의 시험체 중앙부 변위량이 증가하는 것으로 나타났다. 또한 최대하중 시 CFS가 박리, 파단되어 급격한 내력이 손실되어 취성파괴현상을 나타내었다.

Fig. 3-9 ~ 15는 시험체별 하중-변위곡선을 나타낸 것이다. 각 실험변수에 따른 하중-변위곡선은 다음과 같다. 보강량에 따른 하중-변위곡선을 보면 보강량이 증가할수록 항복하중 및 최대하중은 증가하고 있다. 항복하중시의 시험체 중앙부 처짐은 감소하였으나 최대하중시의 시험체 중앙부 변위는 증가하는 것으로 나타났다. 보강형태에

따른 하중-변위곡선은 부착면적이 증가함에 따라 항복하중 및 최대하중이 증가하였고 시험체 중앙부 처짐이 감소하는 것으로 나타났다. CFS를 보의 측면 전체에 보강함으로써 중앙부 처짐을 감소시킴으로써 사용성에 큰 효과를 볼 수 있다. 단부 보강에 따른 하중-변위곡선은 보강된 CFS의 양 단부에 정착보강을 하지 않은 시험체 보다 양 단부를 U자형태로 보강한 시험체가 CFS의 정착보강부 파괴시 중앙부 처짐이 크게 나타났고 최대하중은 약간 증가를 보이고 있다. 특히 2겹으로 단부보강한 경우 CFS 부착파단 시 중앙부의 시험체의 처짐이 큰폭으로 증가하는 것으로 나타났다. 선재하 차이에 따른 하중-변위곡선은 기준 시험체에 대한 선재하 70%의 경우와 선재하 100%의 경우를 비교하였을 때 선재하 70%의 경우가 CFS 부착파괴시의 시험체 중앙부 변위와 최대하중이 약간 증가하는 것을 알 수 있다.

기준 시험체에 대한 각 시험체의 변위등은 Table 3-2에 나타내었다.

Table 3-2 시험체별 변위 비교

시험체명	최대하중일 때 변위		245kN일때변위		최대변위	
	mm	CONT에 대한비	mm	CONT에 대한비	mm	CONT에 대한비
CONT	33.6	1	11.80	1	59.68	1
BC1-B-70	28.2	0.84	11.05	0.94	41.44	0.69
BC2-B-70	29.4	0.88	10.50	0.89	40.34	0.68
BC1-EU1-70	37.8	1.13	11.10	0.94	52.86	0.88
BC2-EU2-70	34.5	1.03	10.50	0.89	55.60	0.93
BC1-H1-70	34.6	1.03	10.28	0.87	51.44	0.86
BC2-B2-70	27.8	0.83	90.34	0.79	42.86	0.72
BC2-B2-100	27.8	0.83	10.08	0.85	51.96	0.87
BC1-h1-70	39.2	1.17	10.12	0.86	42.16	0.71
BC2-b2-70	33.4	0.99	9.34	0.79	50.56	0.85
BC1-U1-100	29.0	0.86	16.64	1.41	38.24	0.64

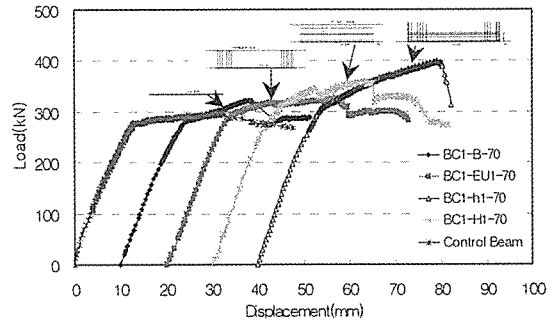


Fig. 3-9 보강형태에 따른 하중-변위곡선(1겹)

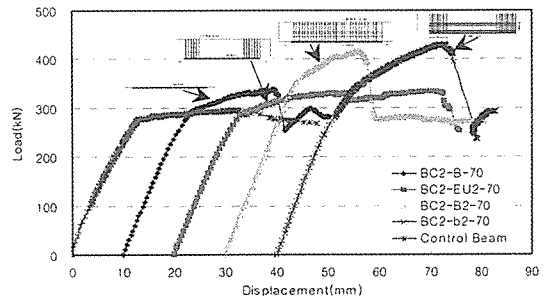


Fig. 3-10 보강형태에 따른 하중-변위곡선(2겹)

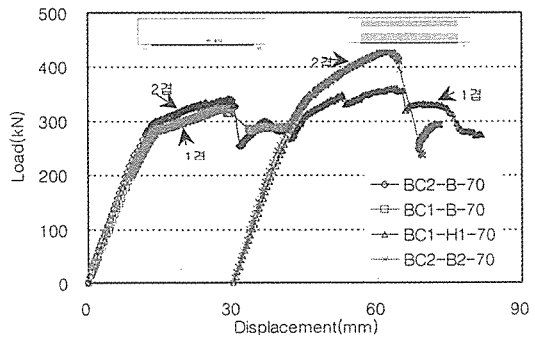


Fig. 3-11 보강겹수에 따른 하중-변위곡선비교

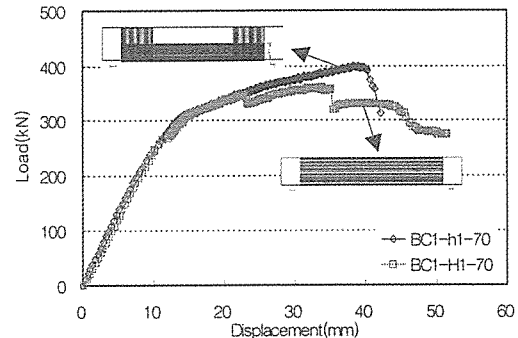


Fig. 3-12 측면보강높이에 따른 하중-변위곡선비교

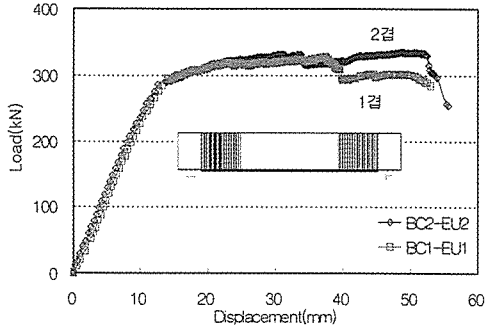


Fig. 3-13 단부 U형보강검수에 따른 영향

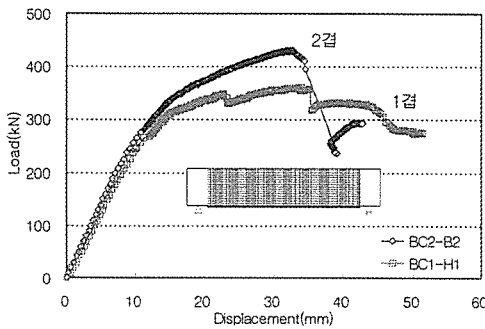


Fig. 3-14 측면보강검수에 따른 영향

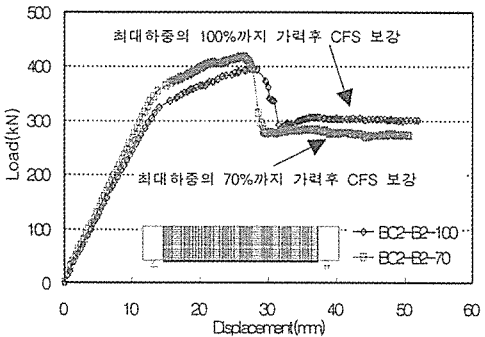
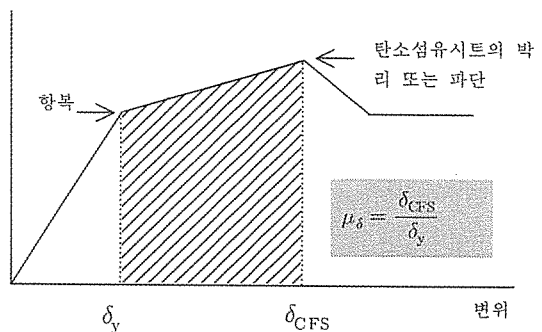


Fig. 3-15 선재하 하중에 따른 영향

3.4 탄소섬유시트로 보강된 보의 연성 평가

CFS를 보강한 철근 콘크리트보의 전형적인 하중-변위 곡선에서 CFS의 보강효과는 CFS의 박리 또는 파단이 일어나는 순간까지 유효하므로 실질적인 CFS의 보강성능을 평가하기 위하여 CFS로 보강한 철근 콘크리트보의 연성을 부

재항복시의 변위에 대한 CFS의 박리 또는 파단 발생시의 변위의 비로 정의하며 Fig. 3-16과 같다. 또한, 무보강한 기준시험체와 비교하기 위하여 기준시험체의 연성은 최대하중일때의 변위를 CFS박리와 동일하게 취급하여 계산하였다. Fig. 3-17과 Table 3-3에 각 시험체의 연성을 나타내었다. 보강량에 따른 연성을 살펴보면 밀면과 단부정착보강의 경우 보강량이 증가함에 따라 연성이 증가하나 측면보강의 경우는 보강량이 증가함에 따라 연성이 감소하는 것으로 나타났다.



- : 연성
- ※ : 탄소섬유시트 박리 또는 파단시의 중앙부 변위
- : 부재 항복시의 중앙부 변위

Fig. 3-16 탄소섬유시트로 보강된 보의 연성 정의

Table 3-3 탄소섬유시트로 보강된 보의 연성 평가

시험체명	변위		하중		연성비
	δ_y (mm)	δ_{cfs} (mm)	P_y (kN)	P_u (kN)	
	①	②	③	④	②/①
Control beam	13.1	33.6	278	295	2.56
BC1-B-70	14.4	28.2	281	320	1.95
BC2-B-70	13.6	29.4	294	339	2.16
BC1-EU1-70	14.0	37.8	299	328	2.70
BC2-EU2-70	13.5	34.5	286	336	2.55
BC1-H1-70	15.7	34.6	318	360	2.20
BC2-B2-70	14.3	27.8	347	431	1.94
BC2-B2-100	14.0	27.8	332	395	1.98
BC1-h1-70	14.2	39.2	302	396	2.76
BC2-b2-70	13.8	33.4	336	431	2.42
BC1-U1-100	18.9	29.0	321	355	1.53

Fig. 3-19는 측면보강 높이에 따른 연성을 나타낸 것이다. 측면보강높이가 한겹인 시험체는 전체 보강한 시험체보다 1/2보강한 시험체가 연성이 25% 우수하며, 두겹 보강한 시험체도 한겹 보강한 시험체와 비슷한 24% 정도 증가하는 것으로 나타났다. 선재하 100% 가력 후 보강한 경우의 연성은 1.98로 선재하 70% 가력후 보강한 경우의 연성 1.94에 비해 연성이 2% 감소하는 것을 볼 수 있다.

단부 U형보강접수에 따른 연성은 1겹보강한 BC1-EU1시험체는 2.7, 2겹한 BC1-EU2시험체는 2.55로 단부정착보강을 하지 않은 BC1-B, BC2-B 시험체보다, 각각 38%, 18% 연성이 증가한 것을 알 수 있다. 연성확보의 측면에서 볼 때 단부정착보강(U TYPE)이 정착보강을 하지 않은 것보다 연성확보에 유효하다고 사료된다.

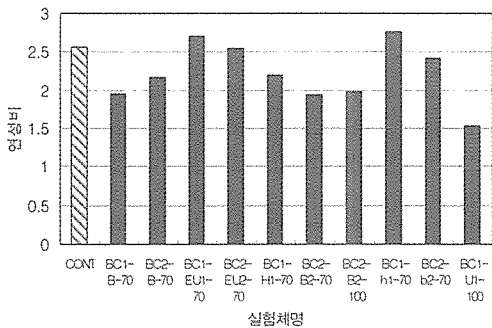


Fig. 3-17 시험체별 연성 비교

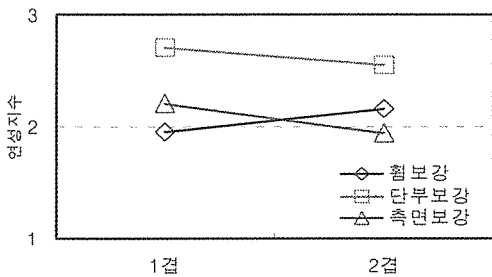


Fig. 3-18 보강형태에 따른 연성비교

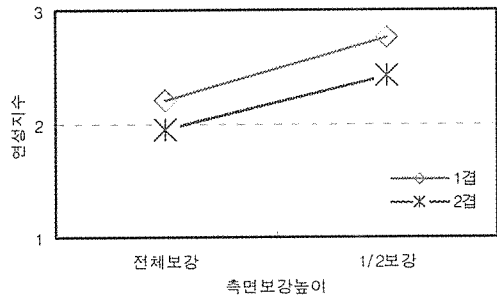


Fig. 3-19 측면보강높이에 따른 연성 비교

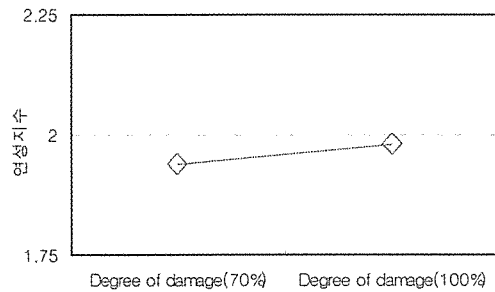


Fig. 3-20 손상정도에 따른 연성비교

보강량 1겹의 경우 밀면보강, 단부정착, 측면보강 순으로 연성의 증가를 나타내었고, 보강량 2겹의 경우 밀면보강, 측면보강, 단부보강 순으로 연성의 증가를 나타내었다. 보강량, 보강형태와 연성과의 관계를 보면 보강량보다는 보강형태에 따라 연성이 좌우되는 것으로 판단된다.

4. 맺음말

탄소섬유시트로 보강한 철근콘크리트 보에 구조적거동에 관한 연구에서 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. CFS로 보강한 시험체는 무보강한 기준시험체의 최대내력보다 최소8%에서 최대46% 내력이 증가되었다.
2. CFS로 밀면과 단부U자로 정착보강하는 것

참고문헌

- 이 밑면에서만 보강하는 것과 비교하여 내력에는 거의 차이가 없는 것으로 나타났으나, 연성에서 18%~38% 높은 것으로 조사되어 연성확보를 위한 좋은 보강방법으로 사료된다.
3. 밑면과 측면을 보춤의 1/2만 보강한 BC2-b2-70시험체는 기준시험체보다 최대내력 46%, 연성 10%, 측면전체를 보강한 BC2-B2-70시험체보다 최대내력은 같고, 연성 22%높게 나타나 시험체 중 가장 우수한 보강효과를 나타내었다.
 4. BC2-b2-70시험체가 보강효과가 우수한 것으로 조사되었으나 최대내력 이후 상부의 압축콘크리트가 압괴되는 취성파괴 양상을 나타내었다. 따라서, 탄소섬유시트로 휨보강할 경우에는 항복하중 이전까지의 내력을 기준으로 하여 보강설계를 하여야 할 것으로 사료된다.
 5. 보강형태에 따른 하중-변위곡선은 부착면적이 증가함에 따라 항복하중 및 최대하중이 증가하였고 시험체 중앙부 처짐이 감소하는 것으로 나타났다.
 6. 보강형태에 따른 연성은 보강량 1겹의 경우 밑면보강, 단부정착, 측면보강 순으로 연성의 증가를 나타내었고 보강량 2겹의 경우 밑면보강, 측면보강, 단부보강 순으로 연성의 증가를 나타내었다. 보강량, 보강형태와 연성과의 관계를 보면 보강량보다는 보강형태에 따라 연성이 좌우되는 것으로 사료된다.
1. 대한건축학회, 통합설계법에 의한 콘크리트 구조설계기준 건축구조물 설계예문집, 2000년.
 2. 선경인더스트리, FORCA TOW SHEET공법-보강설계.
 3. 선생규, 탄소섬유시트의 보강형태에 따른 철근콘크리트보의 내력 및 연성에 관한 연구, 충주대학교대학원 석사학위논문.
 4. 전병옥, 탄소섬유시트로 보강된 RC보의 구조내력에 관한 실험적 연구, 청주대학교 대학원 석사학위논문.
 5. James G. Macgregor, Reinforced concrete mechanics and design, Prentice Hall, Third Edition, 1998.