

탄소섬유시트의 보강길이에 따른 R/C보의 휨 거동

Flexural Behavior of Reinforced Concrete Beams with Strengthening Length of Carbon Fiber Sheets

신성우¹⁾

안종문²⁾

이광수³⁾

반병렬⁴⁾

염성기⁵⁾

Shin, Sung Woo Ahn, Jong Mun Lee, Kwang Soo Ban, Byung Lyul Yeom, Sung Ki

Abstract

It is demanded to obtain the design data for bond length of the strengthening carbon fiber sheets. An objectives of this study is to provide preliminary data of rational strengthening design method which is adequate to current domestic status.

The present experimental study was performed to evaluate flexural strengthening effects of steel reinforced concrete beams strengthened with carbon fiber sheets.

Following conclusions can be extracted. It is revealed that the maximum load carrying capacity is increased up to 9% when the reinforced concrete beams were strengthened with 1-ply of carbon fiber sheet which is half-width of beam. The performance of reinforced concrete sections were improved due to the strengthening carbon fiber sheets on the tensile side of beams. It is believed that the strengthening length of carbon fiber sheets must be provided as $(0.5l+3d)$ to secure the ductile capacity of above three for the flexural strengthening of reinforced concrete beams.

Key words : Carbon fiber sheet, R/C beam, tensile side, ductile capacity

1. 서 론

본 연구에서는 최근 관심이 집중되고 있는 복

합재료의 하나인 탄소섬유시트(Carbon Fiber Sheet)에 의한 보의 휨보강 효과를 검토하기 위하여 탄소섬유시트의 보강량, 보강형태, 시공방법

- 1) 정희원, 한양대학교 건축공학과 교수, 공박
- 2) 정희원, 한양대학교 건축공학과 박사과정
- 3) 정희원, 여주전문대 건축과 조교수
- 4) 정희원, 대전대학교 건축과 조교수
- 5) 한양대학교 산업대학원, 석사

- 본 논문에 대한 토의를 4월 30일까지 학회로 보내주시면 1998년 7월호에 토론결과를 게재하겠습니다.

등을 주요 변수로하여 실험적 연구를 진행하였다. 특히, 휨철근 보강시에 보강이 필요한 구간이외에도 충분한 정착길이를 두도록 설계하고 있다. 따라서 휨내력이 부족한 철근콘크리트 부재에 탄소섬유를 사용하여 보강할 경우에도 휨철근의 정착길이와 같은 맥락에서 보면 이론적인 길이보다 여분의 길이를 더 확보하는 것이 바람직할 것으로 판단된다. 그러나 탄소섬유를 사용할 경우에 어느 정도의 정착길이를 확보해야 하는 설계자료가 없으므로 이에 대한 설계자료를 확보하기 위해 본 연구에서는 궁극적으로 탄소섬유쉬트를 사용하였을 경우 우리나라 실정에 맞는 합리적인 보강설계방법을 제정하는 데 필요한 기초자료를 제공하는 것을 본 연구의 목적으로 하고 있다.

2. 실험

2.1 실험체 변수

본 실험은 손상된 구조물에 탄소섬유쉬트를 보강함으로써 휨부재의 연성능력의 증진효과를 고찰하고자 하는 실험이므로 선하중(pre-loading)을 가하여 보 실험체에 균열을 유발시킨 후 발생한 균열은 에폭시 주입공법으로 보수하고, 인장영역을 탄소섬유쉬트로 보강하여 재시험하는 방법을 취하였다. 따라서, 선하중으로 가한 하중은 철근의 재료실험을 통한 철근의 항복변형률과 기본 실험체의 인장철근 항복변형률의 70%에 해당하는 하중까지 가하였다. 실험체의 주요변수는 탄소섬유쉬트의 정착길이로써 보강되지 않은 실험체와 에폭시로만 보강된 실험체 이외에 스패의 반(0.5l : l = 지지점 사이의 거리)을 기준으로 여기에 보의 유효 흠(d)을 증가분으로 하여 각각 보강 길이를 늘리고, 마지막으로 실험체의 전구간을 보강하였으며, 실험체별 특성은 Table 1과 같다.

Table 1. 각 실험체별 특성

실험체명	CFS 매수	보강길이	선하중(pre-loading)
F0-CN-00	0	-	0%
F0-EN-70		에폭시 보강	
F1-HN-70	1	0.5l	70%
F1-SN-70		0.5l + 2	
F1-MN-70		0.5l + 3	
F1-LN-70		1.0l	

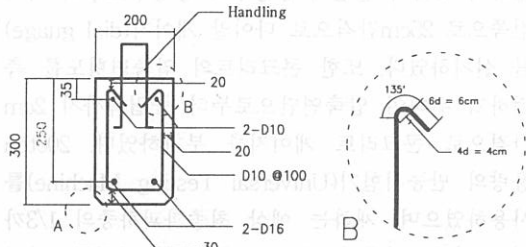
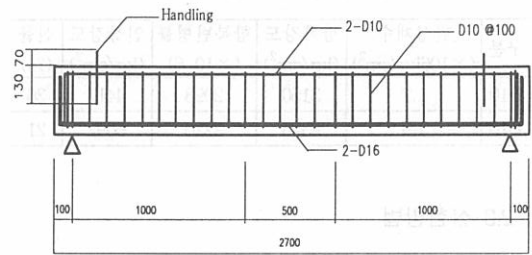


Fig 1. 실험체 배근도

2.2 사용재료의 특성

본 연구를 위하여 사용된 탄소섬유시트(CFS)의 물리적 특성이 Table 2에 나타나 있으며, $\Phi 100 \times 200$ mm의 실린더 공시체에 대하여 재령 7일과 28일에 측정한 콘크리트 압축강도(r_{kr} 재령별 3개씩)의 시험결과가 Table 3에, 그리고 철근의 인장 시험결과가 Table 4에 나타나 있다.

Table 2. 탄소섬유시트의 물성

설계강도 (kg/cm ²)	인장강도 (kg/cm, 폭)	설계탄성률 (kg/cm ²)	인장탄성률 (kg/cm, 폭)
39,644.23	436.03	2.68×106	29477.9

Table 3. 콘크리트 압축강도 시험결과

강도	재령	7일	28일
	f'c(kg/cm ²)		203

Table 4. 철근의 인장시험 결과

구분	탄성계수 (×106kg/cm ²)	항복강도 (kg/cm ²)	항복변형률 (×10-6)	인장강도 (kg/cm ²)	신률 (%)
D10	1.7	3150	2098	4417	26
D16	1.9	4324	2220	6092	21

2.3 실험방법

하중의 증가에 따른 실험체의 중앙부 변위를 측정하기 위하여 실험체 중앙부와 중앙부로부터 지지점쪽으로 25cm간격으로 다이알 게이지(dial guage)를 설치하였다. 또한 콘크리트의 압축변형도를 측정하기 위하여 압축연단으로부터 중립축까지 2cm간격으로 콘크리트 게이지를 부착하였다. 200ton 용량의 만능시험기(Universal Testing Machine)를 사용하였으며, 재하는 예상 최종파괴하중의 1/3까지는 하중조절방식으로 그 이후부터 실험종료까지는 변위조절방식으로 실험을 진행하였다.

실험체의 가력은 순수 휨내력을 평가하기 위하여 2점 가력으로 계획하였다. 가력점 사이에 전단력이 존재하지 않고 휨모멘트만이 작용토록 하여 철근콘크리트 보에 대한 탄소섬유시트의 휨내력 평가를 하도록 진행하였다.

3. 실험결과 및 분석

3.1 일반적 파괴상황

재하 하중이 2.6~3.0ton에 이르렀을 때 실험체

중앙부의 좌우 측 가력점 하부에서 초기 휨균열이 발생한 후 균열이 상부로 진전하였으며 중앙부의 처짐도 서서히 증가하였다. 이후 하중이 증가하면서 약 8ton정도에 도달했을 때 거의 모든 실험체에서 균열의 폭이 크게 열리기 시작하였으며 휨균열의 발생분포도 확산되었다. 이후 하중의 완만한 증가와 함께 처짐이 급속도로 증가하면서 보의 인장부하면에 접촉된 탄소섬유시트가 탈락하기 시작하였으며, 재하하중이 최대하중에 이르렀을 때 탄소섬유시트가 갑자기 탈락하였다. 이후 균열이 급속도로 상부로 진전하면서 중앙부의 처짐이 급격하게 진전하였으며 최종적으로 휨파괴로 이어졌다. 이중 F0-CN-00실험체와 F0-SN-70실험체를 제외한 나머지 실험체들은 압축연단의 콘크리트가 박락하는 압괴현상이 나타났다. 이와 같은 양상은 탄소섬유시트로 보강된 실험체의 경우 보에서 인장철근이 휨균열의 진전을 억제하는 작용을 하는 것과 같이 탄소섬유가 인장철근의 역할을 함으로써 휨균열의 발생 및 진전을 억제하다가 탄소섬유시트의 탈락과 함께 휨균열이 급속도로 진전하였고 이로 인하여 균열의 폭이나 길이가 확장되었고, 최종적으로 압괴 등을 수반하는 휨파괴로 이어진 것으로 판단된다.

3.2 하중-처짐곡선

각 실험체의 하중-처짐 곡선이 Fig 4에 나타나 있다. 그림에서 알 수 있는 것처럼 각 실험체의 초기강성은 거의 비슷하게 나타났지만 선하중을 가하지 않은 실험체(F0-CN-00)의 강성이 다른 실험체보다 좀 더 크게 나타났다. 이것은 선하중을 가한 실험체의 경우 하중재하후 에폭시로 보강하였지만 선하중(대개 6~7ton)으로 발생한 균열의 폭이 크지 않아 에폭시수지가 균열내부까지 충분히 주입되지 않아 완전한 균열의 보수가 이루어지지 않았고 이로 인해 보단면의 강성을 나타내는 유효 단면 2차모멘트가 감소하여 결과적으로 보의 강성이 저하되었기 때문으로 판단된다. 그러나, 탄소섬유시트 보강실험체의 항복하중 및

항복처짐, 그리고 최대하중 및 최대처짐은 탄소섬유보강하지 않은 실험체보다 각각 12%, 6~7%정도 상승하는 것으로 나타났다. 또한, 최대하중에 도달하여 탄소섬유쉬트의 탈락 후 최종처짐에 이르렀을 때는 모든 실험체의 최대하중 및 최종처짐이 비슷하게 나타났다.

이상과 같은 결과를 통하여 탄소섬유쉬트를 보강하였을 때 9%정도 최대내력이 상승하는 것을 알 수 있었다. 이는 탄소섬유가 인장부에 보강됨으로써 인장철근과 함께 단면성능을 향상시켰고 이로 인해 동일한 처짐에 대해 더 많은 하중부담능력을 나타내는 것으로 판단된다. 이상과 같은 각 실험체별 실험결과가 다음 Table 5에 나타나 있다.

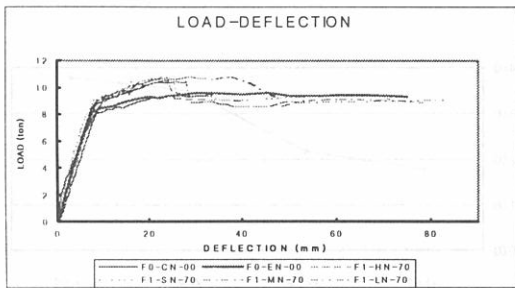


Fig 4. 실험체별 하중-처짐 곡선

3.3 항복 및 최대하중

탄소섬유쉬트의 보강길이에 대하여 항복하중 및 최대하중의 변화를 비교한 결과가 Table 6에 나타나 있다. 무보강 실험체를 기준으로 하여 각 실험체의 하중변화량을 비교한 결과, 우선 항복강도는 보강길이가 변화하여도 무보강의 실험체와 유사한 값을 나타내었다. 최대하중의 경우, 보강된 실험체는 길이에 상관없이 모두 무보강에 비하여 1.1배 정도 상승하는 것으로 나타나 최대하중은 탄소섬유쉬트의 정착길이라는 관계가 적지만 보강량에 지배를 받는 것으로 판단된다.

Table 6. 항복하중과 최대하중의 비교

실험체명	항복하중(t)	실험값 기준값	최대하중(t)	실험값 기준값
1 F0-CN	8.82*	1.00	9.70*	1.00
2 F0-EN	9.20	1.04	9.64	0.99
3 F1-HN	9.65	1.09	10.70	1.10
4 F1-SN	9.54	1.08	10.72	1.11
5 F1-MN	8.00	0.90	10.42	1.07
6 F1-LN	9.00	1.02	10.80	1.11
평균 증가율 ((3+4+5+6)/4)	-	1.02	-	1.09

* : 기준값

Table 5. 각 실험체별 실험결과

실험체	보강 방법	보강 길이	선재하		부재항복		철근항복		최대하중		탄소탈락시	
			Pcr (t)	δcr (mm)	Py (t)	δy (mm)	Py (t)	δy (mm)	Pmax (t)	δmax (mm)	Pf (t)	δf (mm)
F0-CN-00	無	-	-	-	8.1	9	8.92	17.52	9.7	33.38	-	-
F0-EN-70	EPOXY 보강	-	3.0	1.83	8.2	7.7	9.2	18.16	9.64	32.42	-	-
F1-HN-70	CFS	0.5l	2.62	1.80	9	8.52	9.65	13.03	10.7	23.1	10.7	23.1
F1-SN-70	CFS	0.5l + 2d	2.4	1.39	9	7.78	9.54	11.52	10.72	22.02	10.6	25.07
F1-MN-70	1'S	0.5l + 3d	2.4	1.66	8.8	8.57	8	7.44	10.42	26	10.42	26
F1-LN-70	CFS	1.0l	2.6	1.50	9	9.97	9	9.97	10.8	37.68	10.8	37.68

3.4 탄소섬유쉬트 보강길이에 따른 연성 능력

탄소섬유쉬트의 보강길이는 실험체의 연성능력에 큰 영향을 미친다. 탄소섬유쉬트로 보강된 실험체의 거동은 쉬트의 박리가 시작된 후에는 보

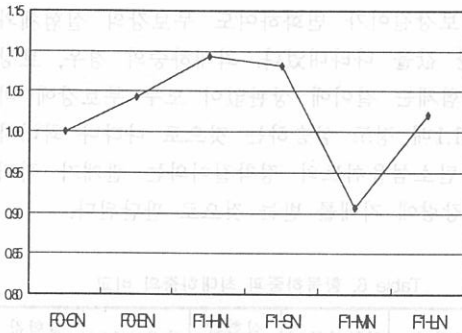


Fig 5a. 항복하중 비교

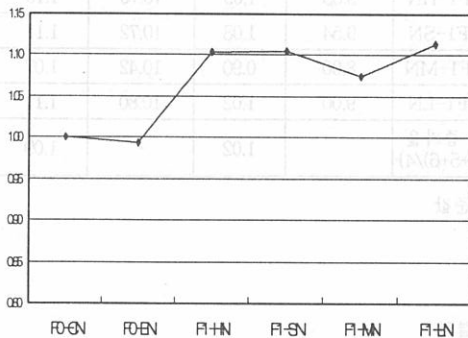


Fig 5b. 최대하중 비교

강이 안 된 철근콘크리트 보의 거동과 동일한 양상을 띠며, 실질적인 탄소섬유쉬트에 대한 보강능력을 평가하기 위하여 철근의 항복변형 이후 탄소섬유쉬트가 박리될 때까지의 변형량을 탄소섬유쉬트로 보강된 보의 연성능력으로 고려하였다.

다음의 Table 7와 Fig 6에 보강된 실험체의 연성능력이 나타나있다. 탄소섬유보강길이가 0.5l+3d 이상이 되었을 때, 기존의⁸⁾ 처짐연성지수 제안값인 3을 만족하는 것으로 나타났다. 보강길이 증가

율과 유사한 비율로 연성능력도 증가하는 양상으로 미루어 보강길이가 증가할수록 탄소섬유쉬트의 부착력이 증가하고 있음을 나타낸다. 그러므로, 탄소섬유 보강길이는 휨강도보다는 처짐능력에 큰 영향을 미치고 있음을 알 수 있다.

Table 7. 탄소섬유쉬트 보강길이에 따른 연성능력

실험체	보강길이	보강길이 증가비	철근항복	탄소탈락시	연성능력 ($\delta f/\delta y$)
			δy (mm)	δf (mm)	
F1-HN-70	0.5l	1.0	13.03	23.1	1.77
F1-SN-70	0.5l+2d	1.4	11.52	25.07	2.18
F1-MN-70	0.5l+3d	1.6	7.44	26.0	3.49
F1-LN-70	1.0l	2.0	9.97	37.68	3.78

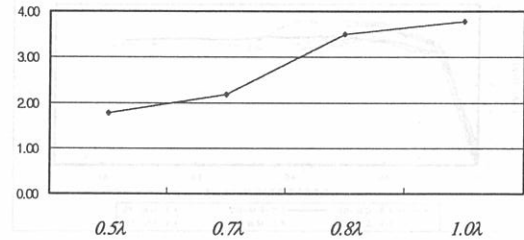


Fig 6. 각 실험체별 연성능력 비교

4. 결 론

탄소섬유쉬트로 보강된 철근콘크리트보의 휨거동에 대한 실험 및 분석을 통하여 얻어진 결론은 다음과 같다.

- 1) 재하하중이 최대하중에 이르렀을 때 탄소섬유쉬트가 갑자기 탈락하였으며, 이후 균열이 급속도로 상부로 진전하면서 중앙부의 처짐이 급격하게 증가하였으며 최종적으로 압괴를 수반한 휨파괴로 이어졌다.
- 2) 탄소섬유쉬트를 휨보강(1배 보통의 1/2)하였을 때 9%정도 최대내력이 상승하는 것

으로 나타났으며, 이는 탄소섬유가 인장부에 보강됨으로써 인장철근과 함께 단면성능을 향상시켰고, 이로 인해 동일한 처짐에 대해 더 많은 하중부담능력을 가지는 것으로 판단된다.

- 3) 탄소섬유쉬트 보강 휨부재의 연성능력 3이상을 만족하기 위해서는 $0.5l+3d$ 이상을 확보해야 할 것으로 판단된다.

감사의 글

본 논문은 한국카본(주), 성암건설(주) 그리고 한양대학교 STRESS의 지원에 의한 것이며, 이에 감사드립니다.

참 고 문 헌

- 1) 정헌수 외, "보강재를 사용한 철근 콘크리트 보의 내력보강에 관한 실험적 연구", 콘크리트학회 가을 학술발표회 논문집, 1996, pp.495~500
- 2) 심종성 외, "강판 및 탄소섬유 SHEET로 보강된 R/C보의 구조거동 특성 비교연구", 한양대학교 산업대학원, 1995. 6
- 3) 이리형 외, "탄소섬유쉬트에 의한 콘크리트 부재의 보강 효과에 관한 연구", 한양대학교 산업대학원, 1996. 8
- 4) 유석형, "고강도 철근 콘크리트보의 휨거동 연구", 한양대학교 대학원, 1995. 12
- 5) 김재순 외, "철근 콘크리트 구조물의 구조보강을 위한 탄소섬유시트의 적용성 연구", 대한건축학회 추계 학술발표논문집, 1996. 10. 26, pp.485~490
- 6) Thanasis C. Triantafillou, Nikola Deskovic, and Martin Deuring, "Strengthening of Concrete Structures with Prestressed Fiber Reinforced Plastic Sheets", ACI Structural Journal 1992. 5-6, V. 89, NO. 3, pp.235~244
- 7) M.Hussain, Alfarabi Sharif, I.A. Basunbul, M.H.Baluch, and G.J. Al-Suaimani, "Flexural Behavior of Precracked Reinforced Concrete Beams Strengthened Externally by Steel Plates", ACI Structural Journal, 1995. 1-2, V. 92, NO. 1,
- 8) J.G.Mc Gregor, "Ductility of Structural Elements" Handbook of Concrete Engineering, 1st Ed., Van Nostrand Reinhold (접수일자 1997. 12. 15)