

R.C.보에 부착된 섬유시트의 파단변형률 평가에 관한 실험적 연구

An Experimental Study on the Rupture Strain Estimation of Fiber Sheets Bonded to Reinforced Concrete Beams

김 성 도*
Kim, Seong-Do

황 태 일**
Hwang, Tea-Il

Abstract

The paper deals with the rupture strain estimation of fiber sheets. The experimental study involved tensile testing of 120 fiber sheet specimens and bending testing of 72 concrete beams strengthened with various types of fiber sheets(carbon, glass, and aramid fiber). Concrete beams have 3 types of reinforcement ratios. Rupture strains of fiber sheet specimens are determined by tensile tests to be a little less than the tensile failure strain by the catalog, independently on the number of fiber sheet layers. It is shown that the rupture strain of fiber sheet bonded to reinforced concrete beam is not constant, but decreases as the fiber sheet layer increases. Based on these results, the rupture fiber sheet strain is estimated.

요 지

섬유시트들로 보강된 철근 콘크리트보에서 섬유시트들의 정당한 파단변형률을 평가하기 위해 적층수를 달리한 120개의 섬유시트 인장시험편과 72개의 섬유보강 콘크리트보들에 대한 실험적 연구를 수행하였다. 철근콘크리트보는 세 종류의 인장철근비를 선택하였다. 인장시험에 의한 섬유시트 파단변형률은 섬유시트 적층수에 관계없이 기술자료에서 주어진 값보다 다소 낮게 나타났으며, 보에 부착된 섬유시트들의 파단변형률은 적층수가 증가할 때 감소하는 경향을 보여주었다. 본 연구에서는 이들 결과를 바탕으로 섬유시트들의 파단변형률을 평가하였다.

Keywords : fiber sheets, strengthened RC beams, rupture strain estimation

* 정희원, 경성대학교 건설환경공학부 교수, 공학박사

** 경성대학교 대학원 건설환경공학부 석사과정

E-mail : sdkim@ksu.ac.kr 017-553-4754

• 본 논문에 대한 토의를 2003년 9월 30일까지 학회로 보내 주시면 2004년 1월호에 토론결과를 게재하겠습니다.

1. 서론

철근 콘크리트 구조물은 건설당시의 시공적 요인, 시간의 경과에 따른 노후화, 사회적 환경의 변화, 부적절한 유지 관리 등으로 인하여 구조내력이 저하될 수 있으며, 이는 공용 중에 있는 구조물의 안전성에 많은 문제점을 일으키기도 한다. 여러 가지 원인들에 의해 내하력이 부족하게 된 구조물은 조속하게 보수, 보강되어야 하며, 이에 따라 내력 증진이 요구되는 철근 콘크리트 구조물들을 효과적으로 보강하는 방법들이 최근 많이 개발되고 있다. 그 중 섬유시트를 부착하는 보강공법이 시공의 간편성이나 역학적 및 내구성에 대해 많은 장점을 가지고 있는 것으로 인정받고 있다. 그러나 섬유시트로 보강한 철근콘크리트 보의 휨 거동을 살펴보면 섬유시트는 재료 물성시험에 의한 순수 인장 파단변형률에 도달하기 전에 대부분 파괴하거나 모체로부터 탈락하는 경향을 보여주었다. 이는 섬유시트의 순수인장 파단변형률을 보강보 휨해석에 그대로 적용할 수 없으며 보강보의 최대 내력을 산정할 때는 섬유시트의 변형률을 적절하게 평가할 필요가 있음을 의미하며 이 값이 보강보의 휨거동 해석에 큰 영향을 미침을 단적으로 보여주고 있다. 특히 보강보에 부착된 섬유시트는 인장시험편과는 달리 한쪽 면이 콘크리트에 접하고 있으며, 과도한 하중이 재하되어 생기는 콘크리트의 균열로 인해 섬유시트에는 응력집중 현상이 발생하고, 보강보 밀면에 부착된 섬유시트는 순수 인장력이 아닌 휨인장응력을 받고 있어, 보강보에서의 섬유시트 변형률은 순수 인장시험에 의해 측정된 값보다 낮게 평가되어야 할 것으로 사료된다.

보강보 해석 및 설계에 필요한 섬유시트의 제성질들인 인장강도, 탄성계수 및 파단변형률들은 재료의 순수인장시험을 통해 얻어진 값이나 제품안내서에 주어지는 값들을 그대로 사용하거나 안전한 설계 측면을 강조하여 흔히 감소계수라 불리는 계수를 적용하여 사용하기도 한다. 이들 계수는 부착하는 섬유시트 양에 따른 영향을 고려하여 보강재 두께에 따라 다르게 적용할 것을 일부 문헌에서 제안하기도 하였으나^{(5),(9),(14)}, 대부분 섬유적층수에 관계없이 일률적으로 적용하고 있는 실정이다.^{(1)~(4),(6)~(8),(10)~(13)}

Table 1 섬유시트에 적용된 감소계수

참고문헌	계수
1, 2, 8	0.7
3	0.6(탄소), 0.45(아라미드)
4	0.95
6	0.87~0.9
7	0.75(탄소, 유리, 아라미드)
9	$(1 - \phi) - (n - 1) \times 0.11 \geq 0.5$
10	0.85
11, 12	0.67
13	0.5

한편, 보강재 접수가 많아질 때 낮은 계수를 적용하는 추정식을 제시하기도 하였다⁽⁹⁾. 많은 연구자들이 적용한 계수들을 Table 1에 나타내 보았다. 표에 주어진 계수들 중 섬유명칭이 없는 경우는 모두 탄소섬유에 대한 것들이다. 보강 섬유 종류와 관계없이 일률적으로 같은 계수를 적용한 경우도 있으나 이는 섬유들의 재료성질들이 서로 다른 점을 고려한다면 적절치 못한 적용법인 것으로 판단된다. 표에서 알 수 있듯이 유리섬유나 아라미드 섬유에 대한 계수 적용 예는 매우 드문 실정이다.

본 연구에서는 다양한 인장철근비가 고려된 철근 콘크리트 보들에 섬유적층수를 달리한 보강재(탄소섬유시트, 유리섬유시트, 아라미드섬유시트)들을 부착한 보강보를 제작하여 휨 거동 실험을 수행하였으며, 섬유시트들에 대한 정확한 물성치들을 구하기 위해 순수인장시험을 수행하였다. 이러한 일련의 실험들을 통해 섬유시트의 인장 파단변형률이 섬유의 종류와 섬유적층수에 따라 어떻게 변화하는가를 검토하였으며, 최종적으로 정당한 섬유시트 파단변형률을 평가하고자 한다.

2. 섬유시트 인장시험

철근 콘크리트 보의 보강재료로 사용되는 섬유시트들은 재료 자체의 품질 및 성능에 대한 실험자료가 부족하며 이를 평가할 수 있는 표준화된 시험방법이 미비하여 재료의 물성치를 공급자의 성능시험 기술자료에 대부분 의존하고 있는 실정이다. 본 연구에서는 KS F2241(유리섬유 강화 플라스틱의 인장시험방

법)⁽⁵⁾과 한국 건설기술연구원의 R& D/99-건축07 보고서⁽⁶⁾에 제시된 탄소섬유시트 보강재료 품질시험 방법에 준해서 섬유시트들의 인장성능인 인장강도 및 섬유과단변형률, 탄성계수 등의 재료 물성치를 측정하여 보강공법의 성능에 큰 영향을 미치는 보강재료들의 품질성능을 파악하고 품질기준을 올바르게 설정하고자 한다. 섬유시트 보강공법은 사용된 섬유시트의 적층수에 따라 보강 성능에 많은 차이를 보임을 여러 문헌에서 확인할 수 있었다. 따라서 섬유시트 겹수가 인장강도 및 과단변형률에 미치는 영향을 파악하기 위해 섬유시트 매수를 달리하여 재료물성시험을 수행하였다.

즉, 탄소, 유리, 아라미드 섬유시트 인장시험편의 적층수를 각각 1매에서 4매까지 4가지 형태로 구성하였으며, 각 형태별로 10개씩 총 120개의 섬유시트 인장시험편을 제작하였다. 시험편은 KS F2241에서 규정한 B형을 선택하였으며 모두 폭 12.5mm, 길이 200mm로 그 형상은 Fig. 1과 같다. 시험기의 물림부에 직접 작용하는 하중에 의해 발생하는 응력 집중현상을 완화하고 정당한 시험결과를 얻기 위해 시험편 양단부 물림부분에 탭을 붙여 시험편을 가공하였다.

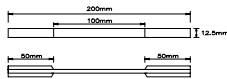


Fig. 1 섬유시트용 인장시험편

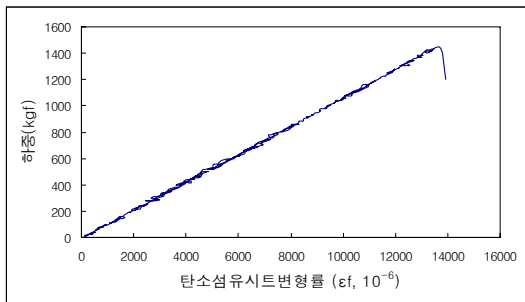


Fig. 2 하중-탄소섬유시트 변형률 선도

양 단부에 덧붙여진 탭은 동일한 섬유시트를 사용하여 접착제로 고착시켰으며 양단부의 전체 두께는 시험편 중앙부분 두께의 3배 이하가 되도록 하였다.

섬유시트들에 대한 인장시험에는 변위제어 방식 UTM을 사용하였으며, 1mm/min의 하중속도를 가하여 인장시험을 수행하였다. 시험편의 중앙에 변형률 게이지를 부착하여 하중에 대한 변형률들을 측정하였으며, 인장강도, 과단변형률, 탄성계수 등 섬유시트의 물성치들을 산정하였다. Fig. 2는 섬유시트 시험편의 실험결과를 나타낸 것으로 대표적인 탄소섬유시트에 대해 작용하중에 대응하는 변형률들을 표시한 하중-변형률 곡선이다. 잘 알려져 있듯이 탄소 섬유시트는 고강도 특성을 가지고 있으나 항복점을 가지지 못하는 취성재료로서 응력-변형률 관계는 직선형태를 보여주며 최대 인장강도에서 과단된다. Table 2에는 섬유시트 제조회사에서 주어진 자료와 각 섬유시트들의 각 겹수별 인장시험결과들이 비교되어 있다. 시험에 사용한 섬유시트들의 자료값들은 섬유시트 1매에 대한 값들을 의미한다. 각 경우에 얻어진 인장강도 및 과단변형률에 대한 시험결과들은 10개의 인장시험편들의 평균값들이며, 탄성계수는 대표적인 인장시험편에 대한 값이다.

Table 2 각 섬유시트에 대한 재료상수들

종류	섬유 겹수	인장강도 (kgf/cm ²)	탄성계수 (kgf/cm ²)	과단변형률 (%)
탄소섬유시트	자료	1매 35,500	2.35×10 ⁶	1.5
	시험 결과	1매 35,084	2.32×10 ⁶	1.39
		2매 31,149	2.43×10 ⁶	1.35
		3매 28,434	2.19×10 ⁶	1.33
유리섬유시트	자료	1매 7,520	3.77×10 ⁵	2.0
	시험 결과	1매 6,584	3.40×10 ⁵	1.72
		2매 5,884	3.54×10 ⁵	1.74
		3매 6,445	3.13×10 ⁵	1.79
아라미드 섬유시트	자료	1매 21,000	1.2×10 ⁶	2.4
	시험 결과	1매 20,775	0.91×10 ⁶	2.23
		2매 20,404	0.93×10 ⁶	2.28
		3매 22,283	0.91×10 ⁶	2.33
	4매 20,192	0.94×10 ⁶	2.32	

이때 탄성계수는 인장시험편의 응력-변형률 곡선에서 과단강도의 20%~60% 사이에 있는 직선부분의 변화율로서 산정하였다. 인장시험 결과에서 알 수 있듯이 섬유적층수에 따른 물성치들의 변화는 크지 않았으며, 대부분의 시험 결과들이 설계자료 값을 밑도는 것으로 나타났다. 이는 Fig. 3을 통해서도 잘 살펴 볼 수 있는데, 그림에는 각 섬유시트 각 매수별 10개씩의 인장시험편에 대한 시험결과 값들이 표시되어 있다. 여기서 황으로 그어진 세 개의 선들은 각각 탄소, 아라미드, 유리섬유에 대한 설계자료에서 주어진 인장강도 값들을 의미한다. 유리섬유의 경우 섬유적층수에 따른 인장강도 시험값들은 큰 변화없이 자료에서 주어진 값 바로 아래에 모두 분포되어 있는 반면, 탄소섬유나 아라미드섬유의 경우 각 섬유적층수에 대한 10개의 시험결과들은 평균값을 중심으로 다소 큰 폭으로 분포되어있다. 그러나 Table 2에서 주어졌듯이 이들의 평균은 모두 설계자료 값들에 크게 벗어나지 않고 낮은 값을 나타내었다. 이는 섬유시트의 취성파괴 특성, 제조시 시공오차, 시험오차 등이나 함침된 수지의 접착성이 충분치 않아 섬유의 미끄럼 발생, 섬유시트 내 섬유배열이 일정하게 유지되기 어려움 등에 기인하여 편차가 발생했을 것으로 사료된다. 실제 보강설계시 섬유시트 인장강도는 설계 자료에 시공 안전율을 고려하여 적용하므로 인장시험에서 조금 낮은 값의 결과가 나온 경우도 섬유시트 품질성능에는 큰 문제가 없는 것으로 판단된다.

구조물에 적용된 섬유시트는 재료시험용 시험체를 제작할 때보다 예폭시 함침수지와의 충분한 복합성능이 부족하므로 휨-인장성능은 재료시험 결과에 비해

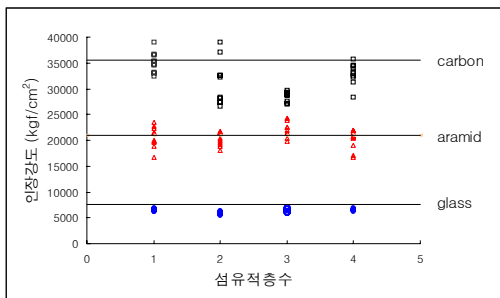


Fig. 3 섬유적층수에 따른 인장강도

크게 감소될 것으로 예상되며 실제 부재에 대한 보강 설계시에는 섬유적층수의 증가에 따른 보강효과의 감소를 충분히 고려하여 안전한 설계가 되도록 해야 한다.

3. 보강보의 실험

철근 콘크리트 보의 폭 20cm, 깊이 30cm인 직사각형 단면에 길이 320cm로 제작하였다. 다양한 인장철근비에 대한 섬유시트 인장변형률의 변화 및 보강보의 휨 특성을 파악할 목적으로 인장철근은 2-D13, 2-D16, 2-D19의 3가지를 선택하였으며, 전단파괴를 방지하기 위하여 스티럽(D10)을 10cm 간격으로 배근하여 보 실험체를 제작하였다. 제작된 철근 콘크리트보의 하부에 폭 15cm, 길이 250cm의 섬유시트 보강재를 부착하였으며, 섬유시트의 정착능력을 강화하기 위하여 보강보의 양 단부의 하부 및 양 측면에 폭 50cm의 동일한 섬유시트를 덧붙였다(U-밴드 보강). 그리고, 섬유적층수에 따른 섬유시트의 인장변형률 변화를 정당하게 평가하기 위하여, 섬유적층수는 1~4겹까지 선택하였다. 실험결과의 신뢰성을 확보하기 위하여 2개의 동일한 보를 제작하였다. 따라서 각 섬유시트(탄소, 유리, 아라미드)에 대해 각각 24개의 보강보가 만들어졌으며, 총 72개의 섬유시트 보강 철근 콘크리트 보에 대해 휨실험이 수행되었다. 보강보의 단면 및 형상 그리고 가력상황을 Fig. 4, 5, 6에 각각 나타내었다. 휨실험에는 MTS Actuator를 사용하였고 변위 제어방식으로 2.0mm/min의 속도로 가력하였다. 실험보의 중앙 하부에 변위계(LVDT)를 설치하여 작용하중에 대한 처짐거동을 살펴보았으며, 보의 상부 및 하부 중앙부에 각각 콘크리트 및 섬유시트 용 변형률 게이지를 3개씩 설치하여 변형률을 측정하였다.

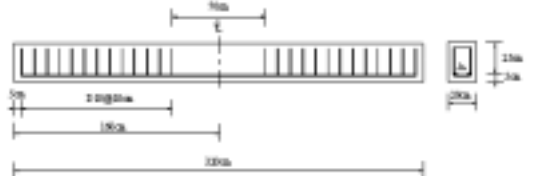


Fig. 4 섬유시트 보강보의 단면과 배근도

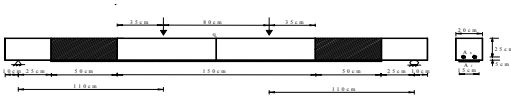


Fig. 5 보강보의 형상

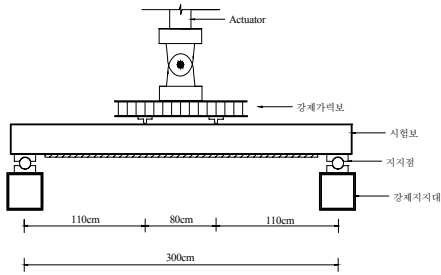


Fig. 6 보강보의 설치 및 가력 상황

4. 섬유시트 파단변형률의 평가

4.1 보강보의 휨모멘트와 섬유시트 파단 변형률

섬유시트 파단변형률이 보강보의 휨성능에 미치는 영향을 살펴보기 위해 보강보 휨모멘트-곡률 선도를 Fig. 7에 도시하였다. 여기서 휨모멘트-곡률 선도는 콘크리트 인장성능을 고려한 섬유시트 보강보의 휨해석에 의해 주어진다⁽¹⁶⁾. 그림에 나타난 그래프들은 여러 가지 보강보를 중 대표적으로 D16 철근이 배근된 탄소섬유시트 보강보에 대한 것들로서 보강보 실험에 사용된 보의 제원들을 그대로 휨해석에 적용하였고, 보강보 구성재료 상수들은 기술자료 값을 그대로 적용하여 구하였다. 그래프에는 섬유시트 파단변형률이 0.008에서 0.012까지의 값을 가질 때 각 섬유적층수에 대한 공칭 휨모멘트 값들이 선으로 연결되어 있으며, 콘크리트 압축변형률이 강도설계법의 기준인 극한 변형률이 0.003에 도달했을 때를 가정하여 그때의 공칭 휨모멘트들도 선으로 연결하였다.

보강재 양(섬유적층수)에 따른 보강보의 휨모멘트 변화는 그래프를 통해 잘 살펴 볼 수 있다. 보강재 양이 적은 경우 섬유시트 파단변형률이 상대적으로 큰

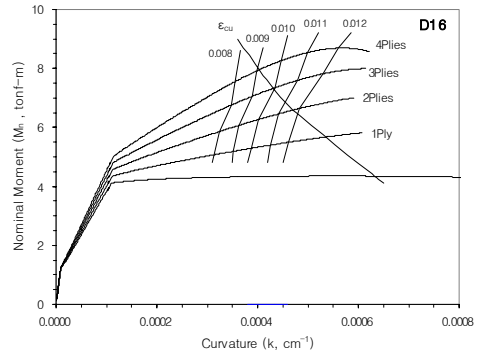


Fig. 7 보강보의 공칭 휨모멘트-곡률 선도

값이어야만 보강보의 압축 상단 콘크리트 변형률은 극한 변형률에 도달하게 되며, 보강재 양이 많은 경우 낮은 파단변형률에서 콘크리트 변형률이 극한 변형률에 도달하게 된다. 따라서 보강보를 설계하거나 해석을 하고자 할 때 일률적인 값의 파단변형률을 적용하는 것은 무리가 있으며, 보강재 양이 적을수록 큰 안전율을 지니게 됨을 알 수 있다.

4.2 보강보에서의 섬유시트 파단변형률

섬유시트로 보강된 보의 휨실험을 통해 작용하중과 보강보의 처짐거동 및 섬유시트의 변형률 관계를 살펴 보았다. Fig. 8의 하중-변형률 선도는 보강보 실험에서 측정된 대표적인 탄소섬유시트 보강보에 대한 것으로 보강보의 전형적인 휨거동 세 구간, 즉 콘크리트에 균열이 발생하기 전인 균열이전구간, 항복이전구간, 항복 이후구간을 정확하게 표현하고 있음을 알 수 있다.

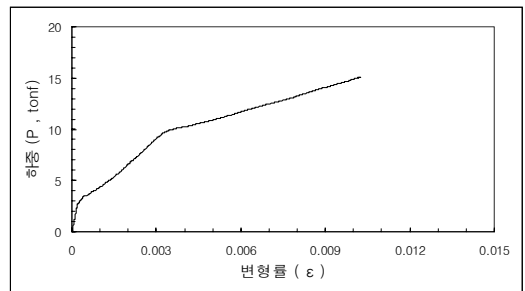


Fig. 8 하중-탄소섬유시트 인장변형률 선도

보강보 휨실험을 통해 측정된 최대하중 및 그 하중 하의 섬유시트 파단변형률들, 그리고 휨 실험에서 측정된 탄소섬유시트 파단변형률과 재료 인장시험을 통해 측정된 파단변형률의 비를 Table 3, 4, 5에 열거하였다. 여기서 보강보명의 기호는 섬유의 종류, 인장철근비, 섬유적층수 등을 의미한다

표 내에 ***로 표시된 것은 휨실험에서 섬유시트의 파단변형률을 얻는데 실패한 경우인데, 이는 섬유시트에 부착된 변형률 게이지들이 실험 초기에 성능을 발휘하지 못하고 파손되었거나 섬유시트들이 초기에 탈락하여 변형률 값을 측정할 수 없었기 때문이다.

그러나 이러한 경우에도 보강보의 하중-처짐 곡선들은 정상적으로 얻을 수 있었다. 즉, 보강보에서 하중 및 처짐은 계속 증가하면서 정상적인 휨거동을 나타내 보였으나 대응하는 변형률은 의미없는 값을 나타내면서 측정이 불가능한 상태로 되는 경우들이다.

Table 3 실험에서 측정된 최대하중 및 탄소섬유시트 인장 파단변형률

보강보 명	휨실험 최대하중 (tonf)	①휨실험 파단변형률 ($\times 10^{-6}$)	②재료시험 파단변형률 ($\times 10^{-6}$)	변형률 비	
				①/②	①/③
C-D13-1P-1	8.48	11,485	13,924	0.82	0.77
C-D13-1P-2	8.54	10,884		0.78	0.73
C-D13-2P-1	10.03	8,346	13,466	0.62	0.56
C-D13-2P-2	9.35	8,450		0.63	0.56
C-D13-3P-1	12.04	8,497	13,268	0.64	0.57
C-D13-3P-2	12.60	8,491		0.64	0.57
C-D13-4P-1	14.92	8,645	13,640	0.63	0.58
C-D13-4P-2	15.39	8,483		0.62	0.57
C-D16-1P-1	10.22	11,874	13,924	0.85	0.79
C-D16-1P-2	****	*****		***	***
C-D16-2P-1	12.44	10,119	13,466	0.75	0.67
C-D16-2P-2	****	*****		***	***
C-D16-3P-1	14.51	9,900	13,268	0.75	0.66
C-D16-3P-2	15.09	9,544		0.72	0.64
C-D16-4P-1	16.26	7,942	13,640	0.58	0.53
C-D16-4P-2	16.87	7,828		0.57	0.52
C-D19-1P-1	13.08	10,478	13,924	0.75	0.70
C-D19-1P-2	13.43	10,792		0.78	0.72
C-D19-2P-1	15.30	9,239	13,466	0.69	0.62
C-D19-2P-2	15.24	9,009		0.68	0.61
C-D19-3P-1	15.99	7,504	13,268	0.57	0.50
C-D19-3P-2	15.16	7,566		0.57	0.50
C-D19-4P-1	17.88	7,857	13,640	0.58	0.52
C-D19-4P-2	18.56	7,925		0.58	0.53

③탄소섬유시트의 기술자료 파단변형률 : $15,000 \times 10^{-6}$

예를 들어 변형률을 측정할 수 없었던 아라미드섬유 보강보(A-D19-2P-1)의 휨실험 결과를 이용해 하중-처짐 곡선 및 대응하는 하중-변형률 곡선을 Fig. 9에 나타내었다.

섬유시트의 변형률을 측정하기 위해 부착된 세 개의 게이지들에서 최종적으로 읽혀진 값은 7920×10^{-6} 이었으며 이에 대응하는 하중은 9.43tonf이었다. 이 값 이후의 하중-처짐선도를 살펴보면, 보강보는 계속 휨거동을 하였으며 최대하중이 약 10.88tonf로 나타났다. 이는 A-D19-2P-2 보강보에서의 최대하중 10.72tonf와 거의 같은 값이다.

보강보 휨실험에서 측정된 섬유시트들의 파단변형률들은 예상했던 것처럼 모든 섬유시트들에서 설계자료 값보다 훨씬 작게 나타났으며, 섬유적층수가 많아질수록 더 낮은 경향을 보였다.

Table 4 실험에서 측정된 최대하중 및 유리섬유시트 인장 파단변형률

보강보 명	휨실험 최대하중 (tonf)	①휨실험 파단변형률 ($\times 10^{-6}$)	②재료시험 파단변형률 ($\times 10^{-6}$)	변형률 비	
				①/②	①/③
G-D13-1P-1	7.50	11,181	17,248	0.65	0.56
G-D13-1P-2	7.13	11,233		0.65	0.56
G-D13-2P-1	9.44	10,174	17,407	0.58	0.51
G-D13-2P-2	9.20	10,134		0.58	0.51
G-D13-3P-1	12.50	10,270	17,781	0.58	0.51
G-D13-3P-2	12.97	10,866		0.61	0.54
G-D13-4P-1	12.78	9,233	16,525	0.56	0.46
G-D13-4P-2	12.71	9,130		0.55	0.46
G-D16-1P-1	8.95	10,238	17,248	0.59	0.51
G-D16-1P-2	****	*****		***	***
G-D16-2P-1	11.52	10,285	17,407	0.59	0.51
G-D16-2P-2	11.14	10,339		0.59	0.52
G-D16-3P-1	12.11	8,006	17,781	0.45	0.40
G-D16-3P-2	12.17	8,800		0.49	0.44
G-D16-4P-1	13.60	7,741	16,525	0.47	0.39
G-D16-4P-2	13.68	7,615		0.46	0.38
G-D19-1P-1	10.65	7,807	17,248	0.45	0.39
G-D19-1P-2	10.06	7,830		0.45	0.39
G-D19-2P-1	12.11	7,239	17,407	0.42	0.36
G-D19-2P-2	11.79	7,309		0.43	0.37
G-D19-3P-1	13.20	5,922	17,781	0.33	0.30
G-D19-3P-2	12.36	6,563		0.37	0.33
G-D19-4P-1	14.41	5,712	16,525	0.35	0.29
G-D19-4P-2	14.87	5,623		0.34	0.28

③유리섬유시트의 기술자료 파단변형률 : $20,000 \times 10^{-6}$

Table 5 실험에서 측정된 최대하중 및 아라미드섬유 시트 인장 파단변형률

보강보 명	휨실험 최대하중 (tonf)	①휨실험 파단변형률 ($\times 10^{-6}$)	②재료시험 파단변형률 ($\times 10^{-6}$)	변형률 비	
				①/②	①/③
A-D13-1P-1	****	*****	22,250	***	***
A-D13-1P-2	****	*****		***	***
A-D13-2P-1	6.34	8,871	22,834	0.39	0.37
A-D13-2P-2	6.53	8,040		0.35	0.34
A-D13-3P-1	7.61	8,188	23,297	0.35	0.34
A-D13-3P-2	8.23	7,966		0.34	0.33
A-D13-4P-1	8.50	6,905	23,178	0.30	0.29
A-D13-4P-2	8.81	6,587		0.28	0.27
A-D16-1P-1	****	*****	22,250	***	***
A-D16-1P-2	8.41	12,514		0.56	0.52
A-D16-2P-1	8.90	9,299	22,834	0.41	0.39
A-D16-2P-2	9.11	9,512		0.42	0.40
A-D16-3P-1	9.94	8,638	23,297	0.37	0.36
A-D16-3P-2	****	*****		***	***
A-D16-4P-1	10.57	7,181	23,178	0.31	0.30
A-D16-4P-2	10.34	6,731		0.29	0.28
A-D19-1P-1	9.64	11,494	22,250	0.52	0.48
A-D19-1P-2	9.92	11,483		0.52	0.48
A-D19-2P-1	****	*****	22,834	***	***
A-D19-2P-2	10.72	8,724		0.38	0.36
A-D19-3P-1	11.83	7,732	23,297	0.33	0.32
A-D19-3P-2	12.24	7,596		0.33	0.32
A-D19-4P-1	12.51	7,548	23,178	0.33	0.31
A-D19-4P-2	12.56	6,717		0.29	0.28

③아라미드섬유시트의 기술자료 파단변형률 : $24,000 \times 10^{-6}$

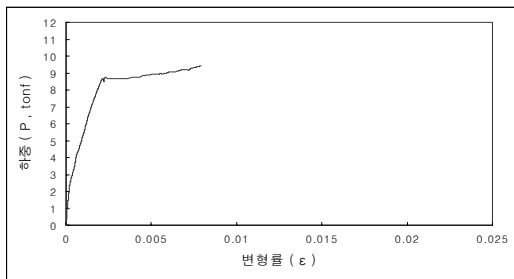
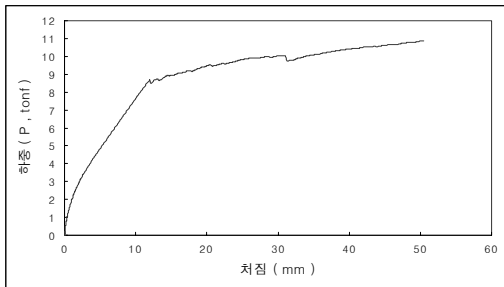
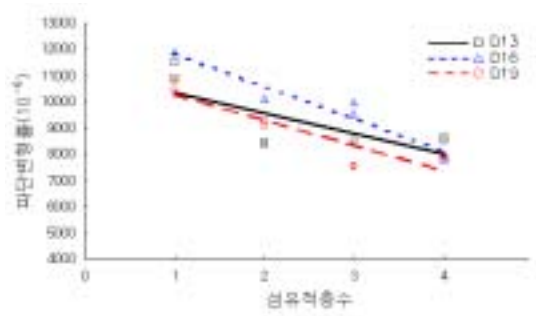
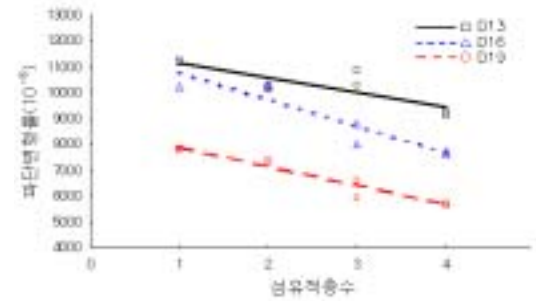


Fig. 9 아라미드섬유 보강보(A-D19-2P-2)의 하중-처짐 및 하중-변형률 관계

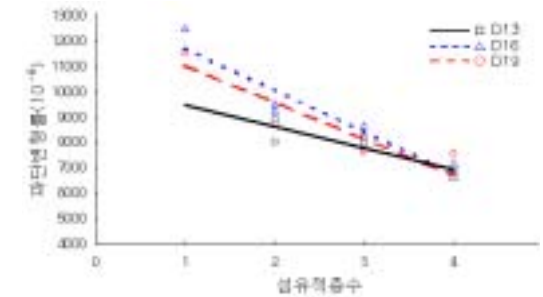
이는 섬유시트의 한 면이 콘크리트에 접하고 있으면서 휨인장응력을 받기 때문이며, 또한 섬유시트를 여러 겹으로 적층하는 경우 다층으로 적층되는 섬유시트는 섬유배열이 모두 일정하게 유지되기 어렵고 섬유시트의 에폭시 함침수지에 발생하는 기포 등의 결함요인에 따라 섬유시트 전체가 응력을 균등하게 분배받지 못하기 때문으로 사료된다.



(a) 탄소 섬유시트



(b) 유리 섬유시트



(c) 아라미드 섬유시트

Fig. 10 인장철근비에 따른 섬유적층수별 파단변형률

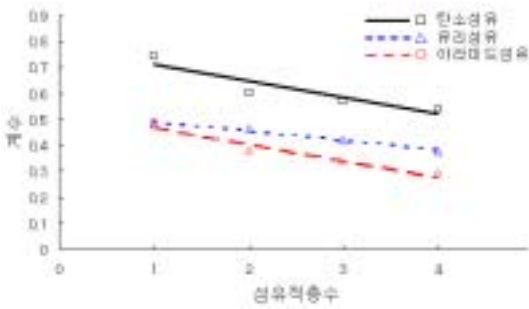


Fig. 11 섬유종류에 따른 섬유적층수별 계수

보강보의 휨해석(Fig. 7)에서 알 수 있었던 섬유적층수에 따른 파단변형률 감소경향을 본 실험결과(Table 3, 4, 5)에서도 확인할 수 있었으며, Fig. 7의 결과와 매우 일치함을 알 수 있다. 특히 섬유시트 파단변형률은 각 섬유시트의 인장시험 파단변형률 크기와는 무관하게 모든 섬유시트에서 거의 같은 형태의 일정한 변형률 분포를 보여주고 있다(Fig. 10).

각 섬유시트 보강보의 인장철근비에 따른 파단변형률 변화는 크지 않으며, 인장철근비와 파단변형률 사이에 큰 상관관계는 없는 것으로 판단된다. 그러나 올바른 보강해석 및 설계를 위해서는 본 실험결과와 보강보 휨성능 해석을 통해 공칭 휨모멘트와 인장철근비, 섬유시트 파단변형률 등과의 관계 설정은 반드시 필요하다.

각 섬유시트의 재료상수들은 서로 다른 크기들을 가지고 있으며(Table 2), 따라서 각 섬유시트의 설계자료 파단변형률을 기준으로 섬유종류 및 섬유적층수에 따라 보강설계에 참고로 할 수 있는 계수를 추정할 수 있다. Table 3, 4, 5에서, 탄소섬유시트의 경우 섬유적층수가 한 겹에서는 0.70~0.79, 두 겹에서는 0.56~0.67, 세 겹에서는 0.50~0.66, 네 겹에서는 0.52~0.58 사이의 값들이 산정되었으며, 유리섬유의 경우 한 겹에서는 0.39~0.56, 두 겹에서는 0.36~0.52, 세 겹에서는 0.30~0.54, 네 겹에서는 0.28~0.46, 아라미드섬유의 경우 한 겹에서는 0.48~0.52, 두 겹에서는 0.34~0.40, 세 겹에서는 0.32~0.36, 네 겹에서는 0.27~0.31 값들이 계수로서 적용될 수가 있을 것이다. 이들의 평균값을 섬유종류별 적층수에 따라 그래프로 나타내었다(Fig. 11).

섬유적층수가 증가할수록 모든 섬유에서 계수의 크기는 감소하였으며, 계수의 크기는 탄소, 유리, 아라미드 섬유 순으로 나타났다.

5. 결론

본 연구에서는 다양한 인장철근비가 고려된 철근 콘크리트 보들에 섬유 적층수를 달리한 보강재(탄소섬유시트, 유리섬유시트, 아라미드섬유시트)들을 부착한 보강보를 제작하여 휨 거동 실험을 수행하였으며, 섬유시트들에 대한 정확한 물성치들을 구하기 위해 순수 인장시험을 수행하였다. 이러한 일련의 실험들을 통해 섬유시트의 인장 파단변형률이 섬유의 종류와 섬유적층수에 따라 어떻게 변화하는가를 살펴보았으며 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- 1) 섬유시트 인장시험 결과 섬유적층수에 따른 물성치들의 변화는 나타나지 않았으며, 대부분의 시험 결과들은 설계자료 값을 밑도는 것으로 나타났다. 이는 섬유시트의 취성파괴 특성, 제조시 시공오차, 시험오차 등에 기인하여 편차가 발생했을 것으로 사료된다. 실제 보강설계시 섬유시트 인장강도는 설계 자료에 시공 안전율을 고려하여 적용하므로 인장시험에서 조금 낮은 값의 결과가 나온 경우도 섬유시트 품질성능에는 큰 문제가 없는 것으로 판단된다.
- 2) 섬유시트 보강보의 실험결과에서 섬유적층수에 따른 파단변형률 감소경향을 확인할 수 있었다. 특히 섬유시트 파단변형률은 각 섬유시트의 인장시험 파단변형률 크기와는 무관하게 모든 섬유시트에서 거의 같은 형태의 일정한 변형률 분포를 보여주었다.
- 3) 정당하고 안전한 보강보 해석이나 설계를 위해서는 보강재 양의 증감에 따라 적절한 계수가 도입된 섬유시트 파단변형률을 적용해야 한다. 탄소섬유시트의 경우 섬유적층수가 한 겹에서는 0.70~0.79, 두겹에서는 0.56~0.67, 세 겹에서는 0.50~0.66, 네 겹에서는 0.52~0.58 사이의 값들이 추정되며, 유리섬유의 경우 한 겹에서는 0.39~0.56, 두 겹에서는 0.36~0.52, 세 겹에서는 0.30~0.54, 네 겹에서는 0.28~0.46, 아라미드섬유의 경우 한 겹에서는 0.48~0.52,

두 겹에서는 0.34~0.40, 세 겹에서는 0.32~0.36, 네 겹에서는 0.27~0.31 값들이 계수로서 적용될 수가 있을 것이다.

감사의 글

이 논문은 2002학년도 경성대학교 특별과제 연구비에 의하여 연구되었습니다.

참고문헌

1. 강윤구, "탄소섬유시트로 보강한 철근 콘크리트 보의 휨 거동에 관한 실험적 연구", 한양대학교 석사학위논문, 1997.12.
2. 김병국, 최완철, "탄소섬유보강 철근콘크리트 보의 인성에 관한 연구", 대한건축학회 학술논문집, 1999.4, pp123~128.
3. (社)日本建築研究振興協會, "炭素sheet補强工事の材料と工法", 1997.7.
4. 이원호, 임재형, 박인수, "탄소섬유시트에 의한 철근콘크리트 보의 휨보강효과", 대한건축학회논문집, 17권 1호, 2001.01, pp11~19.
5. 신성우, 반병렬, 안정문, 조인철, 김영수, 조삼재, "탄소섬유 시트의 보강량 및 정착길이가 RC보의 휨거동에 미치는 영향", 한국콘크리트학회 학술발표논문집, 1998, pp579~584.
6. 이현호, 구은숙, 이리형, "탄소섬유시트와 아라미드섬유시트로 보강한 보의 휨성능 비교연구", 대한건축학회 논문집, 14권 9호, 1998.9, pp65~72.
7. 시설안전기술공단, "콘크리트 교량의 보수·보강방법의 표준화", 1999.12.
8. 대한건축학회, "콘크리트 구조물의 보수·보강", 철근콘크리트 분과위원회 기술보고서 ATR 97-1, 1997.
9. 한국건설기술연구원, "건축구조물 보수·보강공법의 성능평가에 관한 연구", 99 산학연 공동연구 개발사업 최종보고서, R&D/99-건축07, 2001.11.
10. ACI Committee 440, "Guide for the Design and Construction of Externally Bonded FRP Systems for Strengthening Concrete Structures", American Concrete Institute, Detroit, Michigan, 2000, p79.
11. Tarek H. Almusallam, Youset A. Al-Salloum, "Ultimate Strength Prediction for RC Beams Externally Strengthened by Composite Materials", Composites : Part B 32, 2001, pp609~619.
12. Hota V. S. GangaRao, P. V. Vijay, "Bending Behavior of Concrete Beams Wrapped with Carbon Fabric", Journal of Structural Engineering, Vol. 124, No.1, Jan. 1998, pp3~10.
13. O. Challal, M. Nollet, K. Saleh, "Use of CFRP Strips for Flexural and Shear Strengthening of RC Members", Proceedings of the Second International Conference on Composites in Infrastructures (ICCI'98), Tucson, Arizona, 1998.
14. T. C. Triantafillou, "Shear Strengthening of Reinforced Concrete Beams Using Epoxy-Bonded FRP Composites", ACI Structural Journal, Vol. 95, No. 2, 1998, pp.107~115.
15. KS F 2241, "유리섬유 강화 플라스틱의 인장시험 방법", 한국산업규격, 1994.
16. 조백순, 정진환, 김성도, 박대효, 이우철, "강도설계법으로 산정된 탄소섬유시트 보강 철근 콘크리트 보의 공칭 휨모멘트", 한국콘크리트학회 2002년도 가을 학술 발표회 논문집, 제14권2호, 2002.11, pp593~598.

(접수일자 : 2003년 3월 5일)