

탄소섬유시트 RC보의 공칭 휨모멘트 산정에 대한 실험적연구

Experimental investigation of the nominal moment of the RC beams with carbon fiber sheets

이우철* 정진환** 김성도*** 조백순***
Woo-Cheol Lee Jin-Hwan Cheung Seong-Do Kim Baik-Soon Cho

ABSTRACT

This study attempts to calculate the nominal flexural strength of reinforced concrete beam with carbon fiber sheets by the 27 cases which have three steel ratios and four reinforcing ratios. Based on the result, application possibilities of strength design method to estimate the nominal moment is investigated and valuable data of carbon fiber sheets for reinforcing design will be discussed.

1. 서론

철근콘크리트 구조물은 설계나 시공상의 결함, 노후화, 사용환경의 변화, 부적절한 유지관리 등의 요인으로 내력이 감소되고, 내력이 감소된 구조물은 사용성이나 안전성에 대해 심각한 문제점을 발생시킨다. 구조물의 내력확보를 위해 강판접착공법이나 프리스트레싱 공법 등이 사용되고 있으나 최근에는 내부식성, 고인장 강도, 경량성 등의 장점을 가진 보강섬유 접착공법이 많이 사용되고 있다. 그러나, 보강섬유 접착공법은 확실한 설계기준이 없이 적용되고 있는 것이 현 실정이다. 따라서, 본 연구는 탄소섬유시트로 보강한 철근콘크리트 보의 휨거동을 고찰하고, 실험결과와 강도설계법을 이용해서 산정한 공칭 휨모멘트를 비교하여 보강보의 강도설계법에 대한 적용여부를 알아보고 보강보의 보강설계를 위한 자료를 제공하는데 목적이 있다.

* 부산대학교 토목공학과 박사과정
** 경성대학교 토목공학과 교수
*** 인제대학교 토목공학과 교수

2. 실험계획

2.1 시험체의 형상

보강보의 형상 및 단면을 그림 1에 나타내었다. 철근콘크리트 보는 $B \times H \times L = 20\text{cm} \times 30\text{cm} \times 320\text{cm}$, 순지간은 300cm이고, 유효깊이(d)는 25cm이다. 인장측에만 시험체별로 2-D13, 2-D16, 2-D19의 철근을 배근하였다. 탄소섬유시트(설계두께 : 0.165mm, 중량 200gf/m^2)는 철근콘크리트

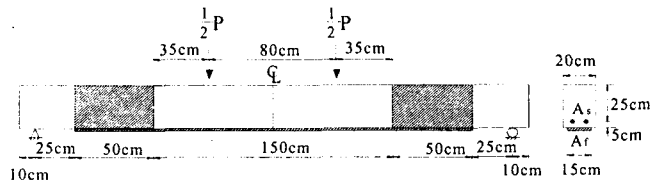


그림 1. 보강보의 형상 및 가력상황

보의 하부에 폭 15cm, 길이 250cm로 부착하였고, 보강비 (A_f/bd)는 인장철근비 (A_s/bd)에 따라 시험체에 1~4겹까지 보강하였다. 탄소섬유시트의 정착을 위하여 보강재에 50cm로 U자형으로 단부보강하였으며, 실험결과의 신뢰성 확보를 위하여 2개의 동일한 보를 제작하여 총 27개(보강보 24개, 기준실험보 3개)의 보강보를 제작하였다.

2.2 가력방법 및 재료물성치

시험체는 50tonf Actuator를 사용하여 변위 제어 방식으로 2mm/min로 속도로 가력하였고, 시험체에 보강된 섬유시트가 파단되거나, 압축측 콘크리트가 파괴될 때까지 하중을 가하였다. 변위계(LVDT)를 사용하여 시험체의 중앙부 처짐을 측정하였으며, 시험체의 상부 중앙에 concrete gauge(67mm) 3개와 하부 중앙에 steel gauge(5mm) 1개를 설치하고 TDS-302를 이용하여 콘크리트와 탄소섬유시트의 변형률을 측정하였다. 실험에 사용된 재료의 물성치는 표 1과 같다.

표 1. 사용재료의 물성치

구성재료	물 성 치	
콘크리트	압축강도 (f_{ck} , kgf/cm^2)	340
	인장강도 (f_t , kgf/cm^2)	36.88
	탄성계수 (E_c , kgf/cm^2)	2.64×10^5
철 근	항복강도 (f_y , kgf/cm^2)	D13, D16 = 3,500 D19 = 4,000
	탄성계수 (E_s , kgf/cm^2)	2.0×10^6
	항복변형률 (ϵ_y)	D13, D16 = 0.00175 D19 = 0.002
탄소섬유시트	두께(t_f , cm)	0.0165
	인장강도 (f_{tu} , kgf/cm^2)	35,000
	탄성계수 (E_f , kgf/cm^2)	2.35×10^6
	파단변형률 (ϵ_{fu})	0.015

3. 실험결과 및 고찰

3.1 휨성능

탄소섬유시트로 보강된 콘크리트 보의 내력특성을 고찰하기 위하여 실험중 측정된 보강보의 하중-처짐 곡선을 그림 2에 나타내었고, 시험체에 대한 항복하중, 최대하중과 기준시험체와 비교한 하중증가비를 표 2에 나타내었다. 항복하중과 최대하중값은 인장철근비와 보강비가 같은 두 시험체의 평균값을 사용하였다. 실험결과를 살펴보면, 보강보의 파괴형태는 인장철근비가 작을수록 압축측 콘크리트의 파괴가 일어나기 전에 섬유가 먼저 파단되거나 박리되었고, 인장철근비가 클수록 섬유시트의 파단보다 압축측 콘크리트의 파괴가 먼저 일어났다. 본 실험의 결과, 인장철근비 (A_s/bd)에 대한 각 시험체별 보강효과는 2-D13 보의 항복하중과 최대하중은 34%~95%, 70%~201%로 증가하였고, 2-D16인 보는 21%~62%, 37%~113% 증가하였고, 2-D19인 보는 11%~38%, 27%~72%로 증가하였다. 그림 3에 보강접수에 따른 각 시험체의 항복하중 P_y 와 최대하중 P_u 를 나타내었다. 결국, 인장철근비가 낮을수록, 보강비가 높을수록 보강효과는 크게 증대되었고, 따라서 휨강성 또한 크게 증대되었다.

표 2. 실험결과

보의 종류	보강비 ($\times 10^{-4}$)	항복하중 (tonf)	항복하중 증가비	최대하중 (tonf)	최대하중 증가비
2-D13	0	4.47	-	5.05	-
	2.75	5.98	1.34	8.59	1.70
	5.50	6.47	1.51	9.80	1.94
	8.25	7.50	1.68	11.72	2.32
	11.00	8.73	1.95	15.18	3.01
2-D16	0	6.73	-	7.55	-
	2.75	8.16	1.21	10.33	1.37
	5.50	9.03	1.34	11.51	1.52
	8.25	9.99	1.48	14.81	1.96
	11.00	10.93	1.62	16.48	2.18
2-D19	0	9.75	-	10.48	-
	2.75	10.84	1.11	13.32	1.27
	5.50	11.65	1.20	15.26	1.46
	8.25	12.70	1.30	15.30	1.46
	11.00	13.43	1.38	18.02	1.72

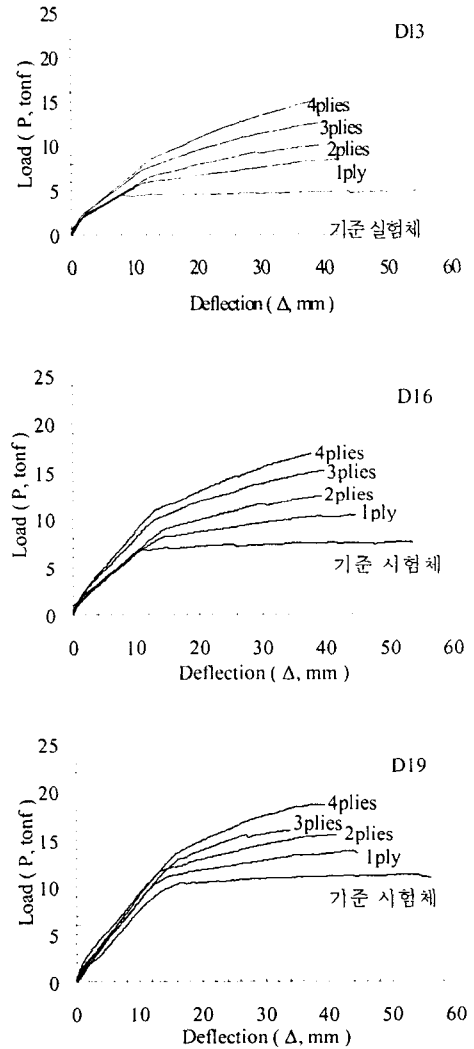
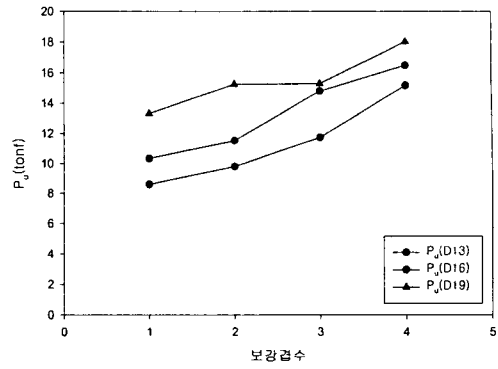
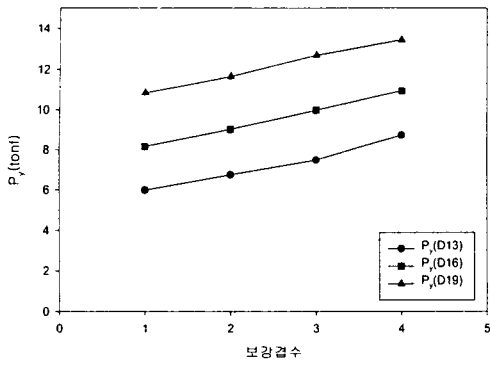


그림 2. 인장철근비에 대한 하중-처짐 곡선



(a) 항복하중

(b) 최대하중

그림 3. 보강률에 따른 항복하중과 최대하중

3.2 강도설계법에 의한 보강보의 공칭 휨모멘트

실험결과와 비교하기 위해서 강도설계법으로 공칭 휨모멘트를 산정하였다. 강도설계법을 이용한 산정식은 식(1) ~ (3)과 같고, ϵ_f 는 콘크리트의 압축변형률이 극한 변형률 $\epsilon_{cu} = 0.003$ 에 도달할 때 변형률 적합조건을 이용하였다.

$$C_c = T_s + T_f \quad (1)$$

$$C_c = 0.85f_{ck}ab, T_s = A_s f_y, T_f = A_f E_f \epsilon_f \quad (2)$$

$$M_n = T_s(d - \frac{a}{2}) + T_f(h - \frac{a}{2}) \quad (3)$$

3.3 실험치와 강도설계법의 최대하중 비교

강도설계법으로 산정한 공칭 휨모멘트를 이용하여 보강보의 최대하중을 계산하였다. 그리고, 최대하중의 실험치와 계산치를 표 3에 표시하였고, 실험에서 세 개의 concrete gauge로 측정된 콘크리트 변형률 ϵ_c 의 평균치와 강도설계법 적용시 변형률 적합조건으로 구해진 ϵ_f 도 함께 나타내었다. ϵ_c 의 값은 측정오차로 인하여 정확도를 크게 기대할 수 없으나, 대부분 파괴변형률 $\epsilon_c = 0.003$ 을 넘는 것으로 측

정되었다. 보강량이 3겹인 D19인 보는 실험이 원활하게 이루어지지 않아 정확한 결과를 비교하기에는 무리가 있을 것으로 판단되어 표 3에 기록하지 않았으나, 최대하중에 대한 실험치와 계산치를 비교하면 대체적으로 철근비와 보강비가 작을수록 강도설계법으로 산정한 최대하중이 실험치보다 크게 나타났다(표 3의 음영부분). 이는 실험에서 concrete gauge로 측정된 콘크리트 압축변형률이 파괴변형률 $\epsilon_{cu} = 0.003$ 에 도달하지 못하고 탄소섬유시트가 파단되었으나, 강도설계법은 $\epsilon_{cu} = 0.003$ 으로 가정하여 공칭 휨모멘트를 산정하여 과대평가 되기 때문이다. 그리고, 2-D13 1겹보강의 경우, 탄소섬유시트의 변형률 계산치가 파단변형률 $\epsilon_{fu} = 0.015$ 를 초과하는 $\epsilon_f = 0.018$ 까지 산정되므로 변형률 적합조건을 고려해볼 때, 콘크리트의 파괴변형률 $\epsilon_{cu} = 0.003$ 으로 가정한 강도설계법을 이용한 산정은 무리가 있는 것으로 판단된다. 반면, 철근비와 보강비가 높을수록 최대하중의 실험치가 계산치보다 크게 산정되므로 강도설계법을 이용한 공칭 휨모멘트의 산정은 무리가 없을 것으로 판단된다.

표 3. 실험결과

보종류	보강량	P_u 실험치 (tonf)	강도설계법 P_u 계산치 (tonf)	ϵ_c 측정치	강도설계법 ϵ_f 계산치
D13인 보	1겹	8.59	9.28	0.002348	0.0184
				0.002165	
	2겹	9.80	11.83	0.002370	0.0138
				0.001985	
	3겹	11.72	13.67	0.002764	0.0115
				0.002794	
	4겹	15.18	15.14	0.002723	0.0100
				0.003673	
D16인 보	1겹	10.33	10.38	0.003579	0.0153
				0.002914	
	2겹	11.51	12.74	0.003523	0.0102
				0.003074	
	3겹	14.81	14.47	0.002978	0.0090
				0.002934	
D19인 보	1겹	13.32	12.63	0.003595	0.0112
				0.003156	
	2겹	15.26	14.59	0.003284	0.0094
				0.003010	
3겹	-	-	-	-	
4겹	18.02	17.32	0.002898	0.0074	
			0.003489		

4. 결론

본 연구는 탄소섬유시트로 보강된 RC보의 휨실험을 통한 보강보의 공칭 휨모멘트 산정에 관한 연구로, 보강보의 공칭 휨모멘트 산정시 강도설계법의 적용 가능성 여부를 검토하였다. 본 연구의 결과를 다음과 같이 요약하였다.

- 1) 탄소섬유시트 보강보의 실험결과 인장철근비가 낮을수록, 보강비가 높을수록 휨보강 효과는 뛰어난 것으로 나타났다.
- 2) 철근비와 보강비가 낮을수록 공칭 휨모멘트를 강도설계법으로 산정시 실험치보다 크게 나타났고, 공칭 휨모멘트 산정시 강도설계법의 적용은 무리가 있는 것으로 판단된다.
- 3) 철근비와 보강비가 높을수록 공칭 휨모멘트를 강도설계법으로 산정시 실험치보다 작게 나타났고, 공칭 휨모멘트 산정시 강도설계법의 적용은 무방한 것으로 판단된다.
- 4) 추후, 철근비와 보강비에 따른 탄소섬유시트 보강보의 공칭 휨모멘트 산정에 있어서 강도설계법의 적용에 관한 많은 연구가 필요할 것으로 판단된다.

참고문헌

1. Y. N. Ziraba, M. H. Baluch, I. A. Basunbul, A. M. Sharif, A. K. Azad, and G. J. Al-Sulaimani, "Guidelines toward the Design of Reinforced Concrete Beams with External Plates", ACI Structural Journal, V.91, No.6, Nov. 1994.
2. Tarek H. Almusallam, Yousef A. Al-Salloum, "Ultimate strength prediction for RC beams externally strengthened by composite materials", Composites: Part B 32, pp.609-619, 2001.
3. C. Allen Ross, David M. Jerome, Joseph W. Tedesco, and Mary L. Hughes, "Strengthening of Reinforced Concrete Beams with Externally Bonded Composite Laminates", ACI Structural Journal, V.96, No.2, March-April 1999.
4. 박대효, 부준성, "FRP 시트를 이용한 보강 철근콘크리트 보의 휨 거동", 한국콘크리트학회 2001년도 봄 학술발표회 논문집.