

AFS로 보강된 RC 보의 휨거동에 관한 연구

A Study on the Flexural Behavior of the RC Beams Strengthened with Aramid Fiber Sheets.

김기덕* 정진환** 김성도*** 조백순**** 장준환*****
Kim, Ki Deok Cheung, Jin Hwan Kim, Seong Do Cho Baik Soon Jang, Jun Hwan.

ABSTRACT

Recently the repair of damaged reinforced concrete members by the external bonding of fiber-reinforced polymer laminates has received considerable attention.

This paper investigates the flexural behaviors of beam strengthened with Aramid fiber sheets(AFS), and attempts to evaluate the flexural strength of such RC beams by the use of nonlinear flexural analysis because the application of the KCI strength method to strengthened beam is somewhat limited and the failure strain of AFS is overestimated in particular cases.

1. 서 론

RC 구조물은 시공적인 요인과 환경적 변화, 노후화, 사용하중의 증가로 구조물의 손상 및 유지관리 미흡으로 인해 균열 및 처짐이 발생하여 보수 및 보강이 요구된다. RC 구조물의 내력 증진을 위한 시공편리성, 내구성 등의 장점을 가지고 있는 섬유시트 공법이 활발히 적용되고 있으나, 설계기준과 시공규준 및 지침이 없이 사용되고 있는 실정이다.

본 연구는 아라미드섬유시트(AFS)로 보강된 RC 보의 휨거동에 관한 것이며, 실험에서 측정된 하중-처짐 선도, 콘크리트 압축변형률, 섬유시트 인장변형률, 작용하중, 파괴양상, 균열분포 등을 분석하였다. 또한 비선형 휨해석의 결과를 실험값과 비교하였다. 비선형 해석에 의해 공칭 휨모멘트 M_n 을 산정하고 강도설계법에서 고려하지 않은 콘크리트 인장성능, 보강재 파단변형률 콘크리트 압축변형률 등이 섬유시트 보강보의 M_n 산정에 미치는 영향을 평가하였다.

*정회원, 부산대학교 토목공학과 석사과정

**정회원, 부산대학교 토목공학과 교수

***정회원, 경성대학교 건설환경공학부 교수

****정회원, 인제대학교 토목공학과 교수

*****정회원, 부산대학교 토목공학과 박사수료

2. 보강보 실험

보강보 형상을 그림1에 나타내었다. RC 보는 폭 20cm, 깊이 30cm, 길이 320cm, 유효깊이 25cm이고 인장축에 철근(2-D13, 2-D16, 2-D19)을 배근하였다. AFS(두께:0.21mm, 중량:300gf/m²)를 RC 보의 하부에 폭 15cm, 길이 250cm로 보강하였다. 섬유시트의 정착을 위하여 50cm 폭의 U자형 AFS로 단부를 보강하였으며, 철근비와 보강접수에 따라 2개씩 총 27개(보강보 24개, 기준보 3개)의 보강보를 제작하였다

보강보 가력상황을 그림2에 나타내었다. 섬유시트 양에 따른 하중-처짐 선도를 그림3에 나타내었다. 인장철근비에 대한 항복하중과 최대하중 증진효과는 D13인 보(18%~59%, 2%~83%), D16인 보(14%~39%, 16%~35%), D19인 보(4%~22%, 13%~28%)로 인장철근비가 낮을수록 보강효과는 높게 나타났으며, 휨강도 또한 증대되었다.

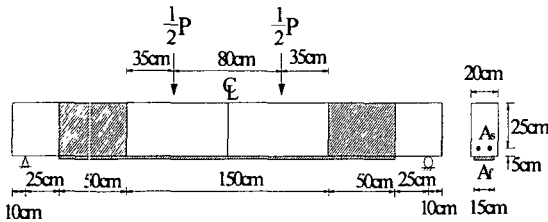


그림 1. 보강보형상

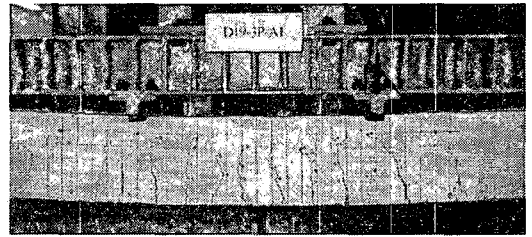


그림 2. 보강보의 가력상황

표 1. 보강보 실험결과

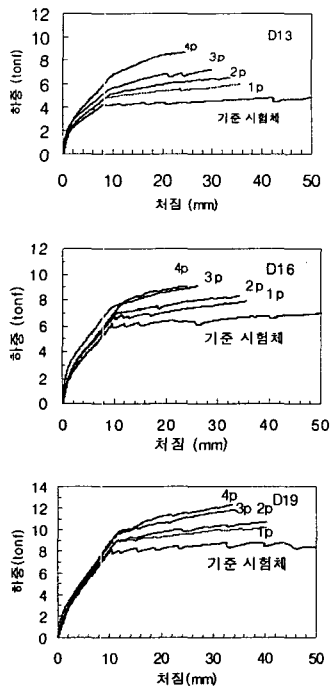


그림3. AFS양에 따른 하중-처짐 선도 (D13, D16, D19)

보 종류	보강 접수	항복 하중 tonf	증가 비	휨강도 tonf/m	증가 비	최대 하중 tonf	증가 비	휨강도 tonf/m	증가 비
D13	0	4.12	-	0454	-	4.73	-	0.097	-
	1	4.85	1.18	0.536	1.18	5.65	1.1	0.209	2.15
	2	5.22	1.27	0.477	1.05	6.48	1.37	0.211	2.18
	3	5.72	1.39	0.533	1.17	7.55	1.60	0.229	2.36
	4	6.57	1.59	0.674	1.48	8.66	1.83	0.327	3.37
D16	0	5.87	-	0.578	-	6.72	-	0.168	-
	1	6.67	1.14	0.641	1.11	7.82	1.16	0.208	1.24
	2	7.18	1.22	0.657	1.14	8.61	1.28	0.245	1.46
	3	7.63	1.30	0.682	1.18	9.12	1.36	0.282	1.68
	4	8.19	1.39	0.687	1.19	9.08	1.35	0.374	2.22
D19	0	8.29	-	0.717	-	8.80	-	0.269	-
	1	8.61	1.04	0.757	1.06	9.96	1.13	0.281	1.04
	2	8.86	1.07	0.758	1.06	9.87	1.12	0.328	1.22
	3	10.05	1.21	0.871	1.22	10.69	1.21	0.467	1.74
	4	10.16	1.22	0.776	1.08	11.24	1.28	0.500	1.86

3. 보강보의 휨해석

콘크리트 압축모델은 응력증가구간과 응력감소구간이 만나는 점을 연속으로, 그리고 응력감소구간을 곡선으로 표현한 Shah의 모델식을 적용하였고, 콘크리트 인장모델은 응력증가구간과 응력감소구간을 구분하여 적용하였다. 응력증가구간은 인장강도(파괴계수 f_t)에 도달할 때까지 탄성거동하는 직선인 응력-변형률 선도를 사용하였고, 응력감소구간에서는 변형률과 균열폭의 관계로 나타낸 Gopalaratnam의 모델식을 사용하였다. 철근의 응력은 변형률이 항복변형률에 도달하기 전까지는 탄성적인 모델을 사용하였고, 철근의 변형률이 항복변형률 이상일 경우에는 철근의 변형률에 관계없이 항복응력 f_y 로 일정한 모델을 적용하였다. AFS의 인장응력-변형률은 파괴에 도달할 때까지 탄성적인 응력-변형률 선도를 사용하였다.

직사각형 RC 보에 보강재(AFS)가 인장측에 보강된 경우의 휨모멘트는 보강보를 구성하는 재료들의 역학적인 메커니즘에 의해 결정된다. 따라서 보강보의 휨해석은 각 구성재료들의 거동 상태에 따라 3구간으로 나누어 비선형 해석하였다. 그림 4는 이상적인 보강보의 모멘트-곡률 선도를 도시하였다. 탄성구간은 보강보에 균열이 전혀 없는 구간으로 보강보를 구성하는 재료들은 모두 탄성거동 한다. 균열구간은 보강보의 인장측에 콘크리트 균열이 발생한 후부터의 구간으로 철근과 보강재는 계속해서 탄성거동을 한다. 항복이후구간은 보강보가 항복에 도달한 이후의 구간이며, 보강보의 항복은 인장철근의 항복에 의해 좌우된다. 철근의 응력은 항복강도 f_y 로 일정하나, 보강재는 파단에 이를 때까지 탄성거동을

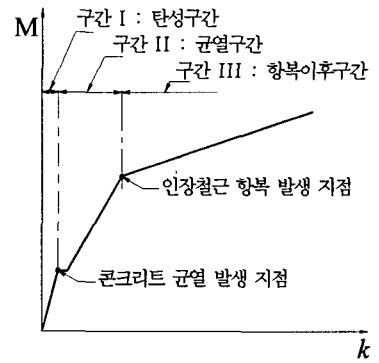


그림 4. 보강보의 모멘트-곡률 선도

한다. 각 구간에서 힘의 평형조건과 변형률 적합조건을 이용하면 중립축 거리 c 를 산정할 수 있다.

$$\text{구간 I} : M = T_c \left(\frac{2}{3} (h-c) + (c-\beta c) \right) + T_s (d-\beta c) + T_f (h-\beta c) \quad (1)$$

구간 II,III :

$$M = T_{c1} \left(\frac{2\varepsilon_r}{3\varepsilon_c} + \beta \right) c + T_{c2} \left(\frac{\varepsilon_r}{\varepsilon_c} c + \bar{\beta} \left(h - \left(1 + \frac{\varepsilon_r}{\varepsilon_r} \right) c + \beta c \right) \right) + T_s (d-\beta c) + T_f (h-\beta c) \quad (2)$$

β : 콘크리트 압축력 C_c 의 작용점 거리를 나타내는 상수,

$\bar{\beta}$: 콘크리트 인장감소구간의 인장력 T_{c2} 의 작용점 거리를 나타내는 상수

항복하중과 최대하중에 대한 실험값-해석값을 그림 5에 나타내었다.

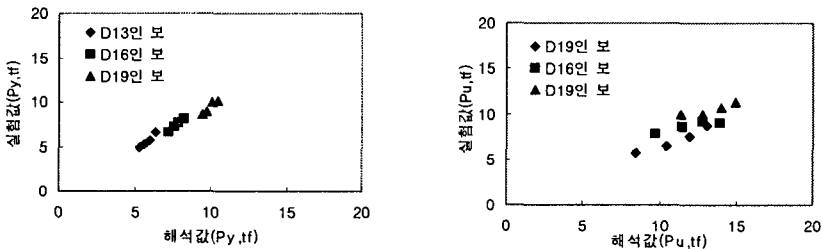


그림 5. 항복하중과 최대하중에 대한 실험값-해석값

보강보의 M_n 산정시 AFS 파단변형률 ϵ_{fu} 를 순수 인장 파단변형률인 0.022로 사용하기에는 역학적 또는 시공상으로 무리가 따를 것으로 판단된다. 보강보의 M_n 의 산정은 콘트리트 압축변형률 ϵ_c 가 극한변형률 $\epsilon_{cu}(0.003)$ 에 도달하기 전에 AFS의 변형률 ϵ_f 가 파단변형률 ϵ_{fu} 에 먼저 도달하여 AFS가 파단되는 즉 보강보에서 상대적으로 보강량이 적은 경우와 ϵ_c 가 $\epsilon_{cu}(0.003)$ 에 도달한 후에 ϵ_f 가 ϵ_{fu} 에 도달하여 AFS가 파단되는 즉 보강보에서 상대적으로 보강량이 많은 경우를 고려해야한다.

전자는 ϵ_c 가 0.003인 것을 기준으로 해서 M_n 을 산정한 강도 설계법을 그대로 사용하기에는 무리가 따를 것으로 판단된다. 후자는 M_n 의 산정은 강도 설계법을 사용하여도 무방하며, ϵ_c 가 0.003일 때의 비선형 해석값으로 M_n 을 산정하는 것도 가능한 것으로 판단된다.

4. 결론

본 연구는 AFS로 보강한 RC 보의 휨 거동을 실험과 해석을 통해 고찰하고, 비선형 휨해석에 의해 M_n 을 산정한 후 강도설계법의 적용 여부를 요약하였다.

1. 인장철근비가 낮을수록 보강계수가 많을수록 휨보강 효과가 우수하였으며, 실험값과 비선형 휨해석 결과의 비는 비교적 양호한 범위 내에 있는 것으로 나타났다.
2. 보강보의 휨모멘트 산정은 ϵ_c 가 $\epsilon_{cu}(0.003)$ 에 도달하기 전에 ϵ_f 가 ϵ_{fu} 에 먼저 도달하는 경우 강도 설계법의 적용은 무리가 있다. 그러므로 비선형 해석을 통해 M_n 을 산정하는 것이 바람직한 것으로 판단된다.
3. 보강보의 휨모멘트 산정은 ϵ_c 가 $\epsilon_{cu}(0.003)$ 에 도달한 후에 ϵ_f 가 ϵ_{fu} 에 도달하는 경우 강도설계법을 통해 휨모멘트를 산정하여도 무방하다고 판단된다.

감사의 글

본 연구는 2004년도 한국과학재단 특정기초연구(R01-2004-000-10614-0) 지원으로 수행되었습니다.

참고문헌

1. 이상근, 안상철 “아라미드 섬유쉬트 보강재의 특성 및 동향”, 한국구조물 진단학회지, 제2권 3호, 1998.7
2. 심중성, 배인환, “강판 및 탄소섬유로 보강된 철근콘크리트보에 대한 해석적 연구”, 콘크리트학회지, 제9권 6호, 1997.12.
3. 연구보고서, “수성저온조강경화성 폴리머시멘트계 및 Aramid 섬유를 사용한 콘크리트 구조물의 보수·보강 신공법 개발에 관한 연구보고서”, 서울산업대학교, 1998.2
4. EI-Mihilmy, M. T. and Tedesco, J. W. "Analysis of Reinforced Concrete Beams Strengthened with FRP Laminates" ASCE Journal of Structural Engineering, Vol. 126, No. 6, June 2000.
5. Shah, S. P., Fafitis, M. P., and Arnold, R., "Cyclic Loading of Spirally Reinforced Concrete," Journal of Structural Engineering, Vol. 109, No. 7, July 1983.