유리 섬유 시트로 보강된 RC보의 휨거동 특성에 관한 연구

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

서석영* 정진환** 김성도*** 조백순**** 박정용*****
Seo, Sok Yeong Cheung, Jin Hwan Kim, Seong Do Cho, Baik Soon Park, Jeong Yong

ABSTRACT

The flexural behavior of a strengthened beam, that is a reinforced concrete beam with externally bonded fiber sheets, was theoretically and experimentally investigated. The effects of the amount of glass fiber sheets varying from 1 to 4 plies on the flexural capacity of the strengthened beam are also examined. The flexural rigidity of the strengthened beam was enhanced compared with RC beam. In addition, the failure mode and load-deflection relationship for the strengthened beam and the comparison of analysis with experiment are extensive investigated. Finally, the determination of the nominal moment capacity M_n of the strengthened beam will be discussed

1. 서론

철근 콘크리트 구조물의 내력 증진을 위한 많은 보강공법 중 유리섬유시트 보강공법은 역학적 및 내구성 면에서 장점을 가지고 있으나 공법에 대한 폭넓은 연구가 부족하고, 설계기준 및 시공지침이 마련되어 있지 않은 시점에서 설계 및 시공이 행해지고 있는 실정이다. 본 연구는 유리섬유시트로 보강된 철근 콘크리트 보의 휨 거동을 실험을 통해 고찰하고, 비선형 휨해석의 결과와 실험값을 비교하고자 한다. 또한 비선형 휨해석에 의해 공칭 휨모멘트를 산정하고, 보강보에 있어서 강도설계법의 적용 여부를 고찰하여 올바른 보강보의 설계를 위한 자료를 제공하는데 목적이 있다.

2. 유리섬유시트 보강보의 휨해석

보강보의 휨해석 시 각 구성재료들의 거동 상태에 따라 다음과 같은 3구간으로 나누어 보강보의 휨성능을 위해 비선형해석을 하였다 ; 1) 구간 I(탄성구간) : 균열 없이 보강보를 구성하는 재료들 모두 탄성거동, 2) 구간 II(균열구간) : 콘크리트균열이 발생하지만 철근과 보강재는 탄성거동, 3) 구간 III(항복이후구간) : 철근의 응력이 항복강도 f_y로 일정하나, 유리섬유시트는 파단에 이를 때까지 탄성거동을 한다

각각의 구간에서 힘의 평형조건과 변형률 적합조건을 이용하면 중립축 거리 c를 산정할 수 있다.

*정회원, 부산대학교 토목공학과 석사과정
**정회원, 부산대학교 토목공학과 교수
***정회원, 경성대학교 건설환경공학부 교수
****정회원, 인제대학교 토목공학과 교수
*****정회원, 부산대학교 토목공학과 박사수료

3개 구간에서의 변형률 분포도, 구성 재료의 응력(힘) 분포도를 그림 1 및 2에 나타내었다. 여기서, α는 콘크리트 평균 압축응력 상수, $\bar{\alpha}$는 콘크리트 응력감소구간의 평균 인장강도상수이다.

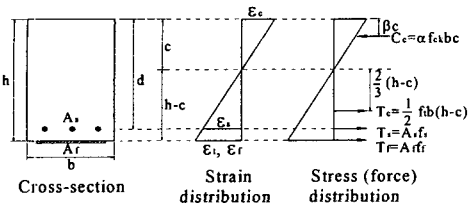

그림 1 구간 I의 변형률 분포도 및 응력(힘) 분포도

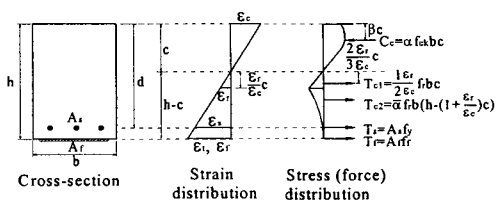

그림 2 구간 II,III의 변형률 분포도 및 응력(힘) 분포도

각각의 콘크리트 압축변형률 단계에서 콘크리트 압축력 C_c의 작용점에 대하여 모멘트를 취하면, 구간 I,II,III에서의 저항모멘트 M은 다음과 같이 계산되어 진다.

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

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

여기서, β는 콘크리트 압축력 C_c의 작용점 거리를 나타내는 상수이고, $\bar{\beta}$는 콘크리트 인장감소구간의 인장력 T_{c2}의 작용점 거리를 나타내는 상수이다.

3. 실험계획

보강보의 형상 및 가력방법을 그림 3에 나타내었다. RC보의 크기는 B×H×L=20cm×30cm×320cm, 순지간은 300cm이고, 유효깊이(D)는 25cm이다. 인장측에는 인장철근비에 대한 보강보의 휨특성을 파악하기 위해 각 시험체별로 2-D13, 2-D16, 2-D19 철근을 각각 배근하였고, 압축측에는 철근을 배근하지 않았다. 보강비에 대한 휨특성을 파악하기 위해 유리섬유시트(설계두께:0.77mm) 1겹~4겹을 보의 하부에 폭 150cm, 길이 250cm로 보강하였다. 유리섬유시트의 정착을 위해 폭 50cm로 U자형 단부보강을 하였고, 2개의 동일한 보를 제작하여 총 27개(보강실험체;24개, 기준실험체:3개)의 시험체를 제작하였다. MTS Actuator를 사용하여 4점 휨실험을 실시하였으며, 변위제어 방식으로 2.0mm/min의 속도로 가력하였다. 처짐은 보의 중앙 하부에 변위계(LVDT)를 설치하여 측정하였고, 변형률은 보강보의 상부 및 하부 중앙부에 3개의 변형률게이지를 부착하여 측정하였다.

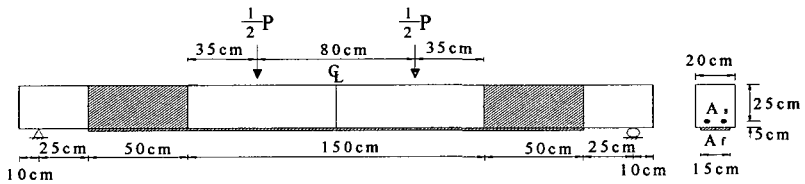

그림 3. 보강보의 형상 및 가력상황

4. 보강보 실험결과 고찰 및 공칭 휨모멘트 M_n 산정

4.1 보강보의 실험결과 및 고찰

유리섬유시트로 보강된 콘크리트 보의 내력 특성을 파악하기 위하여 실험 중 측정된 보강보의 항복하중 및 최대하중의 증가비를 표 1에 나타내었다. 휨실험 결과와 비선형해석을 수행한 해석값과의 비교를 위해서, 실험에서 측정된 유리섬유시트의 파단변형률을 해석에 적용시켜 항복하중과 최대하중을 계산하였다. 항복하중 및 최대하중에 대한 실험값과 해석값을 비교한 결과를 그림 4, 5에 나타내었으며, 비교적 잘 일치하는 것으로 나타나 본 연구에서 적용된 해석 방법의 타당성을 검증할 수 있었다.

표 1. 보강보 실험결과

보 종류	보강겹수	균열구간	항복이후구간	
		항복하중 (tonf)	최대하중 (tonf)	보강재 파단변형률
2-D13 (ρ=0.00507)	0	4.19	4.73	-
	1	5.45	7.32	0.01217
	2	6.32	7.56	0.01064
	3	7.22	8.45	0.01100
	4	7.64	9.83	0.00932
2-D16 (ρ=0.00794)	0	6.41	7.32	-
	1	7.37	8.76	0.01089
	2	8.12	9.43	0.01107
	3	8.00	10.72	0.00935
	4	8.87	10.39	0.00904
2-D19 (ρ=0.01146)	0	8.29	8.80	-
	1	9.22	10.05	0.01000
	2	9.97	11.45	0.01038
	3	11.26	12.78	0.00988
	4	11.67	12.81	0.00879

4.2 보강보의 공칭 휨모멘트 M_n 산정

보강보의 공칭 휨모멘트 M_n 산정시 유리섬유시트 파단변형률 ε_{fu}를 순수 인장 실험(본교에서 실험한 값)에서 얻어진 평균 파단변형률인 0.0175을 사용하기에는 역학적, 시공상의 이유로 무리가 따를 것으로 판단된다. 보강보의 실험결과를 바탕으로 ε_{fu}를 0.009에서 0.012까지 가정하여 D16인 보에 대한 모멘트-곡률 선도를 비선형 해석값으로 그림 6에 도시하였다. 모멘트-곡률 선도상에 콘크리트 압축변형률 ε_c가 극한 변형률 $\varepsilon_{cu} = 0.003$에 도달한 점을 선으로 연결하여 표시하였다. 또한 강도설계법에 의한 M_n 값을 겹수별로 표시하였다. 이 결과에 의하면 보강보의 공칭 휨모멘트 M_n의 산정은 다음의 2가지 경우로 나누어서 생각해야 할 것으로 판단된다. 첫번째 경우는 콘크리트 압축변형률 ε_c가 극한변형률 $\varepsilon_{cu}(0.003)$에 도달하기 전에 유리섬유시트의 변형률 ε_f가 파단변형률 ε_{fu}에 먼저 도달하여 유리섬유시트가 파단되는 경우로 보강보에서 상대적으로 보강량이 적은 경우에 해당되는 경우이다. 이 경우 ε_c를 0.003을 기준으로 해서 M_n을 산정한 강도 설계법을 그대로 사용하기에는 무리가 따를 것으로 판단된다. 그림 6에서 네모로 표시된 부분은 비선형 해석을 통해 M_n을 산정해야 할 것으로 판단된다. 두번째 경우는 ε_c가 극한변형률 $\varepsilon_{cu}(0.003)$에 도달한 후에 ε_f가 ε_{fu}에 도달하여 유리섬유시트가 파단되는 경우로 보강보에서 상대적으로 보강량이 많은 경우에 해당된다. 이 경우 M_n의 산정은 강도 설계법을 사용하여도 가능하다고 판단된다

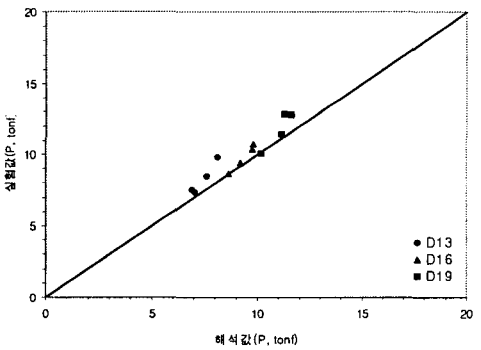

그림 4. 유리섬유시트 항복하중의 실험값과 해석값의 비교

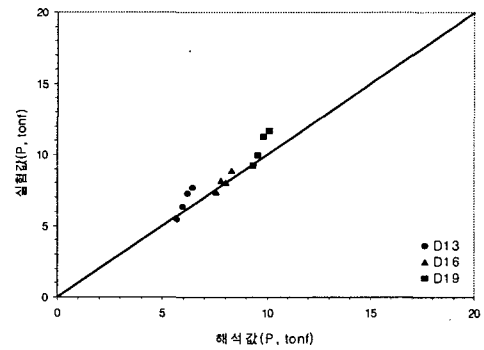

그림 5. 유리섬유시트 항복하중의 실험값과 해석값의 비교

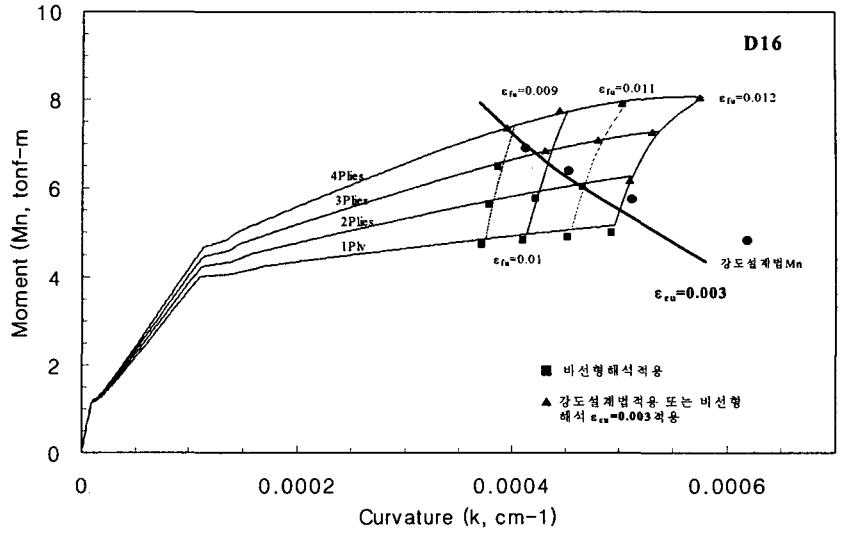

그림 6. ε_{fu}에 따른 보강보의 공칭 휨모멘트

5. 결론

유리섬유시트로 보강한 철근 콘크리트 보의 휨 거동을 실험과 해석을 통해 고찰하고, 비선형 휨해석에 의한 공칭 휨모멘트 산정한 후 강도설계법의 적용 여부를 분석 후 다음의 결론을 얻을 수 있었다.

(1) 유리섬유시트 보강보의 실험결과 보강겹수가 높을수록, 인장철근비가 낮을수록 휨보강 효과가 컸으며, 비선형 해석값과 실험값의 비는 수용한계 내에 있는 것으로 나타났다.

(2) 보강보의 휨모멘트 산정에 있어서 ε_c가 극한변형률 ε_{cu}(0.003)에 도달하기 전에 ε_f가 파단변형률 ε_{fu}에 먼저 도달하는 경우 강도설계법의 적용은 무리가 있으므로, 비선형 해석을 통해 공칭 휨모멘트를 산정하는 것이 바람직한 것으로 판단된다.

(3) 보강보의 휨모멘트 산정에 있어서 ε_c가 극한변형률 ε_{cu}(0.003)에 도달한 후에 ε_f가 파단변형률 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. 이우철, 정진환, 김성도, 조백순, "탄소섬유시트 RC보의 공칭 휨모멘트 산정에 대한 실험적 연구",한국 콘크리트 학회, 2002년도 가을 학술발표회 논문집, 제14권 2호, pp.587-592
2. 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.
3. 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.
4. Ross, C. A., Jerome, D. M. Tedesco, J. W., "Strengthened of Reinforced Concrete Beam with Externally Bonded Composite Laminates",ACI Structural Journal, Vol. 96,No. 2,March-April 1999.