

고장력 인장봉으로 보강된 RC보의 휨거동에 관한 실험적 연구

An Experimental Study on the Flexural Behavior of RC Beams Strengthened with Hi-Strength Bars.

김윤정^{*}

신경재^{**}

문정호^{***}

오영석^{****}

Kim, Yoon Jung Shin, Kyung Jae Moon, Jeong Ho Oh, Young Suk

ABSTRACT

Unlike external bonded plate or carbon fiber, the external unbonded strengthening has some advantages in speed and simplicity of installation. It is not required surface preparations and not affected by environmental conditions. A set of six laboratory tests on RC beams strengthened using the technique are reported, results compared with non-strengthened specimens. The main test parameters are the cross-sectional area of the high-tension bar and the distance of stirrups. Test result show that the beams reinforced are superior to reference specimens, especially for the strength and deformation capacity. Also, it is shown that good efficiencies can be achieved in shear strength of the beam.

1. 서론

보통 구조물 자체의 내하력이 저하되거나 건물의 적재하중이 증가할 때 보강공사를 실시하게 되는데, 국내에서는 탄소섬유시트나 강판을 이용한 보강법을 주로 사용하고 있다. 그러나 기존 보강법의 경우 콘크리트의 표면처리가 필요한 등 시공성이 떨어지고 보강공사 후 유지 관리가 어려운 여러 문제점이 드러나고 있다. 이에 반해 프리스트레스(pre-stress)를 가한 고장력 인장봉을 이용한 보강법은 시공이 간편하고 보강효율이 높으며 경제적인 측면에서도 다른 보강법에 비해 우수하여 교량 등의 토목 구조물의 보강에 활발하게 이용되고 있다. 본 연구는 이러한 포스트텐셔닝(post-tensioning)공법의 이점을 알리고, 실제 건축 구조물의 보강공사에 널리 이용할 수 있도록 기초자료를 제공하는 데 그 목적이 있다.

* 정회원, 경북대학교 대학원

** 정회원, 경북대학교 건축학부 교수

*** 정회원, 한남대학교 건축공학과

**** 대전대학교 건축공학과

2. 실험

2.1. 실험체 계획

2.1.1. 실험개요

고장력 인장봉으로 보강한 RC보의 휨거동을 측정하기 위하여, 가력스팬 600cm의 실대형 실험체를 각 변수별로 계획, 제작하여 휨성능 실험을 실시하였다. 실험체 일람 및 변수는 표 1과 같다.

표1 실험체 일람

번호	실험체명	강봉직경	주근		전단보강간격	비고
			상부	하부		
1	RC	무보강	3-HD19	5-HD22	HD10@100	
2	T18V	$\phi 18$	3-HD19	5-HD22	HD10@100	관통편, V형
3	T22V	$\phi 22$	3-HD19	5-HD22	HD10@100	관통편, V형
4	RC-LS	무보강	3-HD19	5-HD22	HD10@400	
5	T18V-LS	$\phi 18$	3-HD19	5-HD22	HD10@400	관통편, V형
6	T22V-LS	$\phi 22$	3-HD19	5-HD22	HD10@400	관통편, V형

2.1.2. 가력 및 측정방법

고장력 인장강봉 보강 실험체의 구조성능실험은 한국건설기술연구원의 구조 실험동에서 실시하였다. 가력장치는 350tf 용량의 액추에이터를 사용하였고, 하중에 따른 실험체의 수직변위는 스펠증양 및 가점에 변위계(LVDT 200mm : D1, D2, D3)를 설치, 변형률은 W.S.G.를 그림 1과 같이 설치하여 측정하였다. 또한 Crack gage를 설치하여 실험체 중앙부의 하중에 따른 곡률 및 변위를 측정하였다.

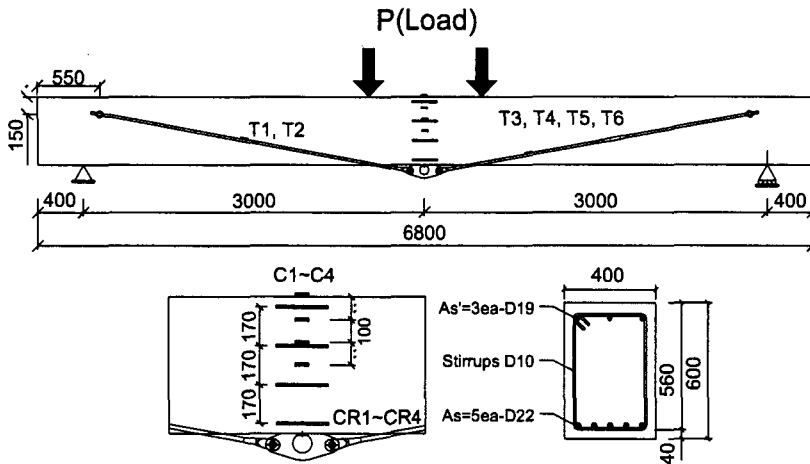


그림 1 변형도 게이지(W.S.G.) 및 Crack gage 설치위치

2.1.3. 재료시험

(1) 콘크리트 압축강도 시험

실험체 제작에 사용된 콘크리트는 설계압축강도 240kgf/cm²로 계획, 공시체를 KSF 2404에 따라 제작하였다. 표 2의 시험결과는 12개의 공시체의 평균값이다.

표 2 콘크리트 압축강도 시험결과

압축강도 (MPa)	탄성계수 (MPa)	Slump (cm)
25.87	1.78×10^4	12

표 3 강재 인장강도 시험결과

종류	항복강도 (MPa)	인장강도 (MPa)	항복변형률 ($\times 10^6$)	연신율 (%)	항복비 (%)
D19	441.00	629.16	2058	21	70
D22	466.48	695.80	2177	20	67
HT18	619.36	799.68	2890	16.5	77
HT22	672.28	824.18	3137	15	82

(2) 강재 인장강도 시험

실험에 사용된 고장력 인장강봉과 내·외부 보강철근의 재료적 특성을 알아보기 위해 KS B 0801에 따라 시험편을 제작하여 KS B 0802에 따라 시험을 실시하였다. 고장력 인장봉은 항복강도가 명확히 나타나지 않아 0.2% off set 방법으로 항복강도를 산출하였고, 결과는 표 3과 같다.

표 4 휨 실험 결과

실험체명	강성(kN/mm)			강도(kN)			변위(mm)			강봉평균 변형률($\times 10^6$)
	균열전	균열후	항복후	균열	항복	최대	균열	항복	최대	
RC	20.28	15.68	0.88	85.65	408.66	465.30	3.56	24.72	51.58	-
T18V	32.34	17.15	2.25	123.68	491.08	602.50	3.58	25.24	73.04	3278
T22V	33.91	18.32	2.35	124.85	530.47	665.91	2.78	25.32	78.62	4176
RC-LS	22.44	15.39	0.69	80.65	387.88	447.66	2.94	23.80	60.32	-
T18V-LS	37.24	17.44	1.96	117.40	498.92	602.31	3.32	25.34	66.54	3797
T22V-LS	36.95	18.42	1.57	122.50	532.83	634.45	2.58	25.08	83.18	4320

2.2. 실험결과

휨가력 실험의 각 실험체별 실험결과는 표 4의 내용과 같다. 표에서 강성값은 그림 2와 같이 균열전 후 단계 및 항복 이후의 접선 강성 값을 사용하였고, 실험체로부터 구한 각 실험체별 하중-변위 관계는 그림 3과 같다. 그림에서 보듯 전단보강간 간격이 실험체의 강도와 강성에 미치는 영향은 그리 크지 않다. 또한 무보강 시험체는 초기에 하부균열이 발생하여 강성이 감소하였으나 보강실험체는 강봉 보강의 영향으로 하부균열이 억제되고 있다. 보강 실험체의 강성 및 강도 증진효과를 파악하기 위해 무보강 실험체에 대한 보강실험체의 강성 및 강도비를 표 5와 그림 4에 나타내었다.

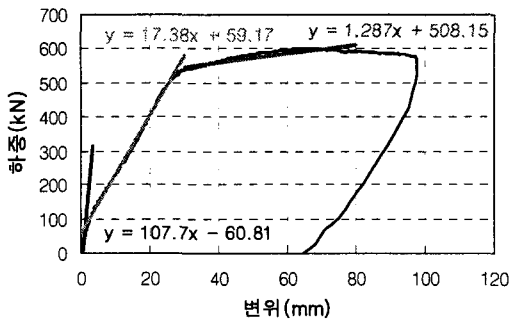


그림 2 강성 및 하중 값 정의

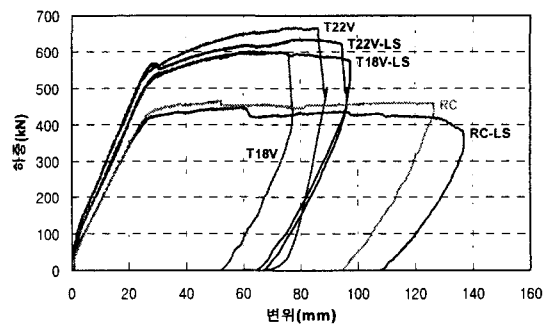


그림 3 하중-변위 관계비교

그림 5는 실험하중으로부터 구한 모멘트와 실험체 중앙부 콘크리트 측면에 부착한 크랙게이지를 사용하여 얻은 곡률간의 관계를 나타낸 것이다. 여기서 곡률은 최하단 크랙게이지의 변형도에서 최상단 크랙게이지의 변형도를 뺀 후 크랙게이지 사이의 거리로 나눈 값으로 정의한다. 보강한 실험체의 경우

에는 무보강 실험체의 휨변형에는 미치지 못하는 못하나 충분한 휨변형을 하고 있음을 알 수 있다.

표 5 무보강에 대한 보강실험체의 강성 및 내력

실험체명	균열 전 강성		균열 후 강성		항복강도		최대강도	
	값(kN/mm)	비교	값(kN/mm)	비교	값(kN)	비교	값(kN)	비교
RC	20.28	1.00	15.68	1.00	408.66	1.00	465.30	1.00
T18V	32.34	1.59	17.15	1.09	491.08	1.20	602.50	1.29
T22V	33.91	1.67	18.32	1.17	530.48	1.30	665.91	1.43
RC-LS	22.44	1.00	15.39	1.00	387.88	1.00	447.66	1.00
T18V-LS	37.24	1.66	17.44	1.13	498.92	1.29	602.31	1.35
T22V-LS	36.95	1.65	18.42	1.20	532.83	1.37	634.45	1.42

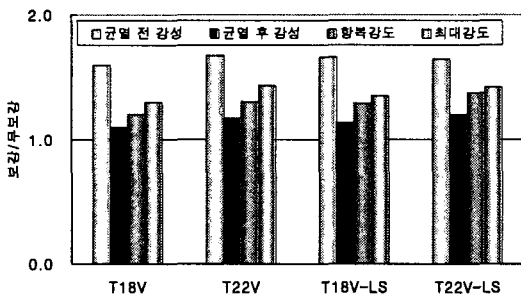


그림 4 무보강에 대한 보강실험체의 강성 및 내력

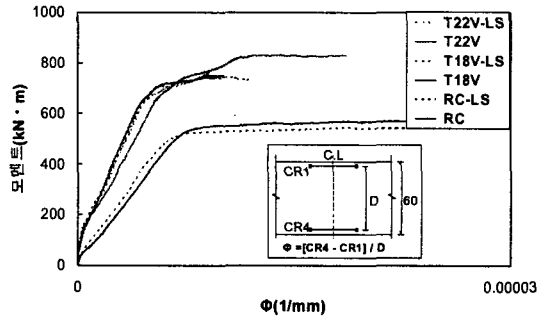


그림 5 모멘트-곡률 관계

3. 결론

고장력 인장봉을 사용한 RC보의 휨성능 실험결과로부터 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 전단보강근이 과소 보강된 실험체(-LS)는 전단균열 후에도 강봉 보강에 의한 전단보강 효과로 비교적 완만하게 최대하중에 도달하였으며 전단파괴에 의한 급격한 하중의 감소는 보이지 않았다.
- 2) 무보강 실험체(RC)에 대한 보강 실험체(T18V, T22V)의 강도를 비교해 보면 항복하중은 평균 30%, 최대하중은 평균 37%의 증가를 보였다.
- 3) 모든 시험체가 휨파괴로 인하여 전단보강근의 간격에 따른 강도의 차이는 거의 나타나지 않았다.
- 4) 보강 실험체에서 강봉의 최대 변형률은 재료시험에서의 항복 변형률을 상회하였고, 이를 토대로 보강 설계시 강봉의 항복강도를 이용하여 설계할 수 있다.

참고문헌

1. Wu, X. H. and Lu, X., "Tendon model for nonlinear analysis of externally prestressed concrete structures", *Journal of structural engineering*, Vol. 129, No. 1, 2003.1, pp. 96~104
2. Naaman, A. E. and Alkhairi, F. M., "Stress at ultimate in unbonded post-tensioning tendons: part 1 - evaluation of the state-of-the-art", *ACI structural journal*, Vol. 88, No. 5, 1991. 9-10, pp. 641~651
3. Naaman, A. E. and Alkhairi, F. M., "Stress at ultimate in unbonded post-tensioning tendons: part 1 - proposed methodology", *ACI structural journal*, Vol. 88, No. 6, 1991. 11-12, pp. 683~692
4. 한국건설교통기술평가원, "고장력 인장봉과 인장력 측정 장치를 이용한 건축구조물 보강방법 개발", 2003년 연차 실적보고서, 2004.10.