



고장력 인장봉으로 보강된 RC 보의 휨 거동에 관한 실험적 연구(3)

신경재¹⁾ · 김윤정^{1)*} · 문정호²⁾

¹⁾경북대학교 건축학부 ²⁾한남대학교 건축공학과

An Experimental Study on Flexural Behavior of RC Beams Strengthened with Hi-Strength Bars(3)

Kyung-Jae Shin¹⁾, Yoon-Jung Kim^{1)*}, and Jeong-Ho Moon²⁾

¹⁾Dept. of Architectural Engineering, Kyungpook National University, Daegu 702-701, Korea

²⁾Dept. of Architectural Engineering, Hannam Univ., Taejeon 306-791, Korea

ABSTRACT Unlike external bonded steel plate or carbon fiber, the external unbonded strengthening using hi-strength bar has some advantages in speed and simplicity of installation. It is not required surface preparations and not affected by environmental conditions. A set of nine laboratory tests on RC beams strengthened using the hi-tension bars are reported. Anchoring pin developed in former research is installed at the end of beam to connect the high-tension bar to RC beam. The test results strengthened by hi-tension bars are compared with those of non-strengthened specimens. The main test parameters are the cross-sectional area of the high-tension bar, distance of stirrups and condition of supports. Test results show that the beams reinforced are superior to reference specimens, especially for the strength and deformation capacity. Also, shear resisting effect of hi-strength bar can be confirmed in the specimens which have lack of stirrups.

Keywords high-tension bar, prestress, post tension, unbonded bar, reinforcing

1. 서 론

건축 구조물 사용 중 건물의 노후로 인해 구조물 자체의 내력이 저하되거나 용도 변경으로 건물의 활 하중이 증가할 때 보강 공사를 실시하게 된다. 최근까지 국내에서는 탄소섬유 시트나 강판을 이용한 보강법을 주로 사용하고 있었다. 그러나 이러한 기존의 보강법의 경우 콘크리트의 표면처리가 필요하고, 시공에 있어서 숙련성이 요구되는 등 시공성이 떨어지며 보강 공사 후 유지 관리가 어려운 여러 문제점이 드러나고 있다. 또한 보강 공사 도중에는 건축물을 사용할 수 없어 경제적 문제점도 수반한다. 이에 반해 프리스트레스 (pre-stress)를 가한 고장력 인장봉을 이용한 보강법은 시공이 간편하고 기존 구조체에 대한 적응성과 보강 효율이 높으며 경제적인 측면에서도 다른 보강법에 비해 우수하여¹⁾ 교량 등의 토목 구조물의 보강에 활발하게 이용되고 있다. 이미 국외에서는 이러한 포스트텐셔닝 (post-tensioning)공법에 대한 실험적 연구^{2,4)} 및 이론적 해석^{5,7)}이 진행되어 있으나 국내에서 포스트텐션을 사용한 구조물 보강 공사^{8,9)}가 시행된

것은 그리 오래되지 않아, 초보적 단계에 머무르고 있다.

본 연구는 이전 연구를 통해 개발된 고장력 인장봉을 이용한 RC 구조물의 보강 방법¹⁰⁾을 토대로 보다 세분화된 변수에 따른 보강 성능을 실험을 통해 검토하였다. 이전 연구에서는 고장력 인장봉을 사용한 외부 포스트텐션 보강 공법에 대한 다양한 변수별 휨 실험을 수행하였으며, 기존에 사용되고 있는 일반적인 보강 형식인 탄소섬유 시트 보강 및 강판 보강 공법, 인장 강봉 대신 철근과 강선을 사용한 보강 시험체의 구조 성능에 대한 비교 실험을 수행한 바 있다. 본 연구에서는 이러한 외부 강봉 보강 시험체의 정착부 및 각 변수별 휨 실험 결과를 토대로 기존에 제안되었던¹¹⁾ 보강 형식 중 시공이 간편한 V-형식의 핀형 시험체에 대해 인장 강봉의 보강에 의한 휨 및 전단 성능의 향상 효과에 대한 휨 실험을 계획하였다. 전단 보강 효과에 대한 실험은 전단파괴를 유도하기 위하여 전단 보강근을 최소로 하여 실험을 수행하였다. 또한 실제 구조물에서 기둥 보 접합부의 거동에 가까운 연속보에 대하여 인장 강봉 보강에 의한 부 모멘트부의 휨 거동 및 전단 거동에 대한 보강 효과를 검토하기 위해 양단 내민보 형식의 연속보 시험체를 계획하였다.

*Corresponding author E-mail : merrhen@knu.ac.kr
Received January 30, 2007, Accepted March 31, 2007
©2007 by Korea Concrete Institute

2. 실험

2.1 재료 시험

2.1.1 콘크리트 압축강도 시험

시험체 제작에 사용된 콘크리트는 설계 압축강도 23.5 MPa (240 kgf/cm²)로 계획하였다. 압축강도 시험용 공시체는 KSF 2404에 따라 제작하였다. 압축강도는 12개의 공시체의 평균값으로 구하였고, 콘크리트의 탄성계수는 공시체의 응력-변형률 곡선에서 최대응력의 1/3에 해당하는 응력에 대한 할선계수 (secant modulus)로 구하였다. 시험결과를 Table 1과 같다.

2.1.2 강재 인장강도 시험

본 연구에 사용된 고장력 인장 강봉과 내·외부 보강 철근의 재료적 특성을 알아보기 위하여 KS B 0801 (금속재료 인장시험편 규정)의 규정에 따라 시험편을 제작하였으며, KS B 0802 (금속재료 인장시험 방법)에 따라 시험을 실시하였다. 시험 결과는 Table 2와 같다.

2.2 시험체 계획

고장력 인장봉으로 보강한 철근콘크리트 보의 휨 거동을 측정하기 위하여 가력 스패ن 6,000 mm의 실대형 시험체를 각 변수별로 계획하여 단순지지 보의 휨 성능 실험을 수행하였다. 시험체의 변수별 일람은 Table 3과 같고 실험에 사용한 표준 RC보는 Fig. 1과 같이 폭 400 mm, 총 600 mm 단면으로 보강철근은 압축 주근으로 D19, 인장 주근으로 D22 철근을 사용하였다. 시험체 별 주요 변수는 지지 방식 (단순지지, 연속지지), 전단 보강량 (D10@100, D10@400) 및 보강재의 단면 크기 ($\phi 18$, $\phi 22$)로써 총 9 개의 시험체에 대하여 휨 및 전단 성능을 검토하였다.

보강된 시험체에 사용된 고장력 강봉은 S사의 제품으로 지름이 $\phi 18$ ($A = 2.83 \text{ cm}^2$), $\phi 22$ ($A = 3.80 \text{ cm}^2$)인 2종류를 사용하였다. 연속지지 시험체의 경우 연속보의 효과를 주기 위하여 Fig. 3(b)와 같이 연속보의 변곡점 부분을 하

Table 1 Test results of concrete

Design strength (MPa)	Compressive strength (MPa)	Elastic modulus (GPa)	Slump (mm)
23.5	25.87	17.8	120

Table 2 Test results of steel

Type	Yield strength (MPa)	Tensile strength (MPa)	Yield strain ($\times 10^6$)	Elo. (%)	Yield ratio (%)
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

Table 3 Details of specimens

Specimens	Diameter of hi-strength bar	Stirrups	Supports
RC	-	-	Simply supported
T18V	$\phi 18$	D10@100	
T22V	$\phi 22$	D10@100	
RC-LS	-	-	
T18V-LS	$\phi 18$	D10@400	
T22V-LS	$\phi 22$	D10@400	
CB	-	-	Continuously supported
CB-T18V	$\phi 18$	D10@400	
CB-T22V	$\phi 22$	D10@400	

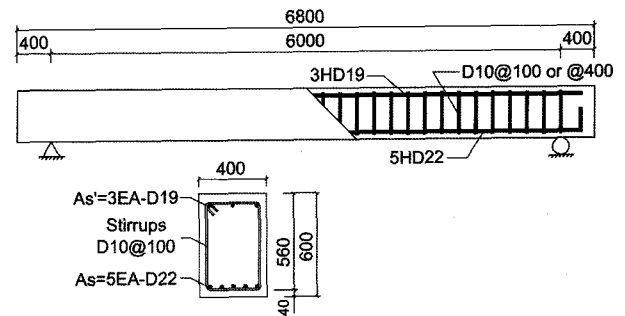


Fig. 1 Dimension of specimen (RC)

부 지지대에 고정시켜 지지점에서 부모멘트가 발생하도록 계획하였다.

2.3 가력 및 측정 방법

고장력 인장 강봉 보강 시험체의 구조 성능 실험은 한국건설기술연구원의 구조 실험동에서 실시하였다. 가력장치는 3,430 kN (350 tf) 용량의 액츄에이터를 사용하였고 휨 파괴를 유도하기 위해 지점 간격 1.0 m의 가력보를 사용하여 2점 가력을 하였다. 시험체의 가력 상황은 Fig. 2와 같다.

하중에 따른 시험체의 수직 변위는 스패ن 중앙 및 가력점에 변위계 (LVDT 200 mm : D1, D2, D3)를 설치하며, 변형률은 변형률 게이지 (W.S.G)를 Fig. 3(a), 3(b)와 같이

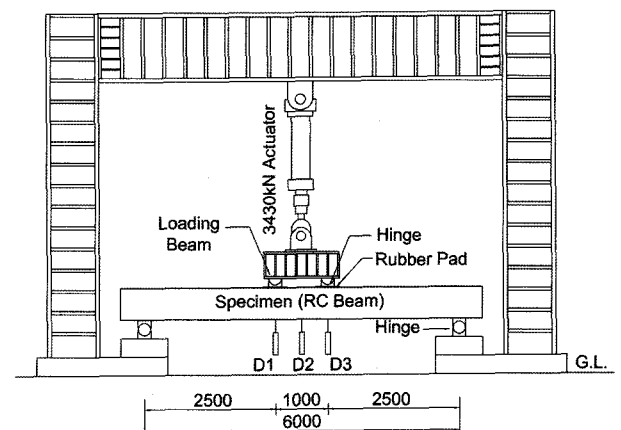


Fig. 2 Loading and measurement method

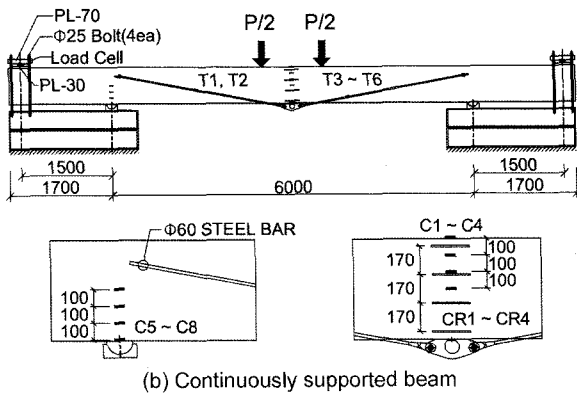
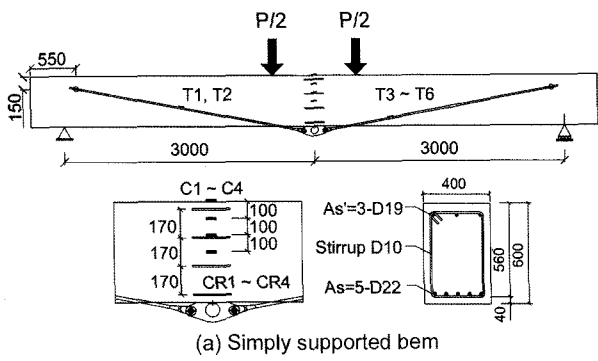


Fig. 3 Installation of WSG and crack gages

설치하여 측정하였다. 또한 크랙게이지 (crack gage)를 설치하여 시험체 중앙부의 하중에 따른 곡률 및 변위를 측정하였다.

3. 실험 결과 및 고찰

휨 가력 실험의 각 시험체 별 실험 결과는 Table 4와 같다. Table 4에서 항복하중 값은 Fig. 4와 같이 원점과 최대 하중의 1/3되는 지점을 연결한 선분(a)를 초기 강성 값으로 하고, 이 선분과 변위축이 이루는 각의 1/3되는 선분(b)를 원점에서 그은 후 실험값과 외접하도록 평행 이동 시켜 선분(c)를 만들고, 처음에 그은 초기 접선 강성 선분(a)와 만나는 교점을 평가하여 항복하중으로 하였다. 또한, 강성 값은 Fig. 5와 같이 균열 전후 단계 및 항

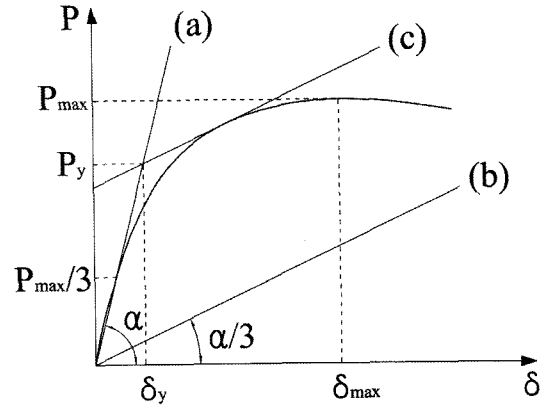


Fig. 4 Definition of yield load

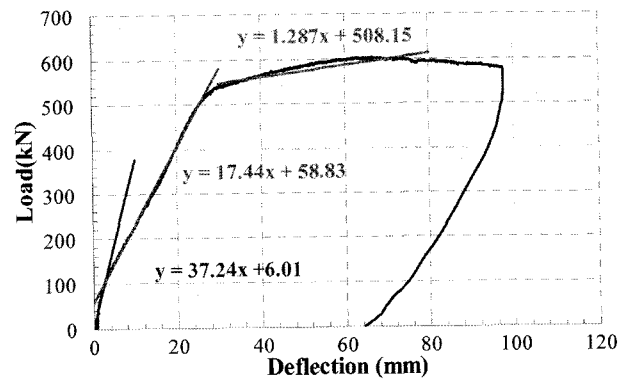


Fig. 5 Example of stiffness (T18V-LS)

복 이후의 접선 강성 값을 사용하였다.

3.1 일반 거동

실험으로부터 얻은 각 시험체별 하중-변위 관계는 Figs. 6, 8과 같다. 그림에서 보듯, 연속지지 시험체의 경우 초기균열 발생 하중 및 강성 값은 단순지지 시험체의 강성 값에 비해 2배 정도의 증가를 나타내고 있다.

3.1.1 단순지지 시험체

단순지지 시험체의 하중-변위 관계 및 가력 종료 후의

Table 4 Test results

Specimens	Stiffness (kN/mm)		Strength (kN)			Maximum strain of hi-strength bar ($\times 10^6$)	Failure mode
	Before crack	After crack	Crack	Yield	Ultimate		
RC	20.29	15.68	85.65	408.66	465.30	-	RC beam flexural failure
T18V	32.34	17.15	123.68	491.08	602.50	3,278	Tension failure of threaded part
T22V	33.91	18.32	124.85	530.47	665.91	4,176	Strip failure of thread
RC-LS	22.44	15.39	80.65	387.88	447.66	-	RC beam flexural failure
T18V-LS	37.24	17.44	117.40	498.92	602.31	3,797	RC beam flexural failure
T22V-LS	36.95	18.42	122.50	532.83	634.45	4,320	RC beam flexural failure
CB	42.34	31.95	196.69	468.05	477.46	-	RC beam shear failure
CB-T18V	55.47	31.07	197.08	538.31	632.88	1,667	RC beam shear failure
CB-T22V	51.45	32.54	226.97	595.84	655.62	1,529	RC beam shear failure

파괴 상황을 Figs. 6과 7에 나타내었다. Fig. 6에서 실선은 전단 보강근의 간격이 @400인 -LS 계열의 시험체를 나타내고, 파선은 @100인 시험체의 거동을 나타내는 것이다. 실험 결과, 전단 보강근의 간격에 따른 시험체의 강성 및 강도의 변화는 크지 않다.

Fig. 6을 살펴보면 무보강 시험체 (RC, RC-LS)의 경우 비교적 초기에 하부 인장 측 균열로 강성이 감소한 반면, 보강 시험체의 경우, 강봉의 보강 효과로 인하여 콘크리트 하부 인장 측 균열이 억제되고 있음을 알 수 있다. 균열 발생 이후의 거동은 매우 선형적이며, 대부분의 시험체가 중앙부 수직 변위가 L/240 (25 mm) 근방에서 항복하기 시작하고 있다. 항복 이후의 거동을 살펴보면, 무보강 시험체의 경우는 하부 인장철근의 항복으로 인하여 하중에 비해 큰 변형이 지속되고 최대 하중시의 하중 증가가 미비하지만, 강봉 보강 시험체는 하부 인장철근의 항복 이후에도 하중의 완만한 증가가 보이고 L/70근방에서 최대 하중에 도달한 후 비교적 급격하게 내력이 저하되고 있다.

무보강 시험체인 RC와 전단 보강근이 @400인 RC-LS의 경우 각각 85.65 kN, 80.65 kN에서 초기균열이 발생하였고, 균열의 진전과 함께 점차 강성이 감소하여 L/250 근방에서 콘크리트 하부 인장철근이 항복하였으며 이후 급격한 강성 감소로 하중의 소폭 증가와 함께 변위가 지속적으로 증가하다가 상부 콘크리트의 압괴로 최종 파괴되었다. 강봉 보강 시험체의 대조군인 무보강 시험체 RC, RC-LS의 최대 하중은 각각 465.30 kN, 447.66 kN으로 측정되었다. 가력 종료 후 RC와 RC-LS의 파괴 상황은 Fig. 7(a), (b)와 같이 나타났다.

φ18 인장 강봉을 사용한 T18V 시험체의 경우 가력하중 123.68 kN에서 초기균열이 발생하였고 491.08 kN에서 인장 강봉이 항복하였으며 이후에도 강봉 보강의 영향으로 완만하게 하중이 증가하였다. 그러나 변위 75 mm 부근에서 단부의 편에서 강봉이 절단되면서 가력이 중단되었는데, 이는 강봉 연결부에서 너트에 비해 큰 와셔를 사용하여 Fig. 7(c)와 같이 와셔가 구부러지면서 강봉에 편심이 발생하였기 때문으로 보인다. 와셔는 KS B 1010의 F35 규격을 사용하여야 하며, 이후의 실험에서는 적절한 와셔를 사용하여 강봉을 설치하였다. T18V-LS 시

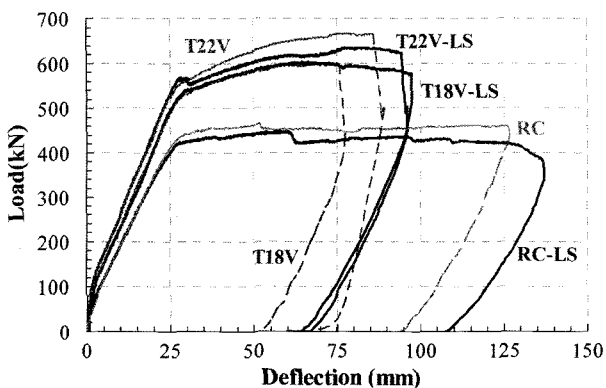


Fig. 6 Load-deflection relationship (simply supported beams)

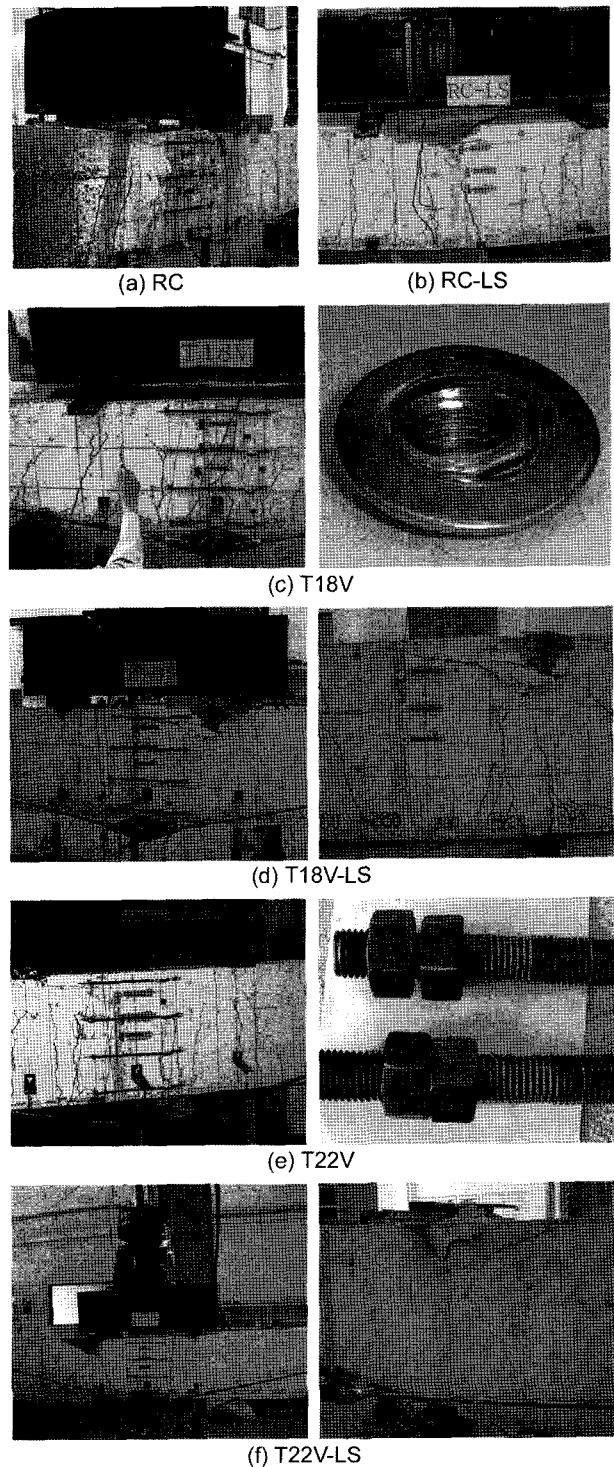


Fig. 7 Failure mode (simply supported beams)

험체는 가력하중 117.4 kN에서 균열이 발생하기 시작하여 하중 498.92 kN을 전후하여 인장철근이 항복하였고, 항복 후에도 강봉의 보강 효과로 점차 하중이 증가하여 최대 하중 602.31 kN에 도달한 후, 최종적으로 상부 콘크리트의 압괴로 가력이 종료되었다.

φ22 인장 강봉을 사용한 T22V 시험체의 경우 가력하중 124.85 kN에서 초기균열이 발생하였고 530.47 kN을 전후하여 콘크리트 인장철근이 항복하였다. 이후, 하중이 완만하게 증가하다가 665.91 kN에 이르러 경사 인장 강봉의 편 접합부 나사산 스트립 파괴로 인해 가력이 종

료되었다. 강봉은 전조를 통하여 가공되는데 전조 시 정확한 규격으로 나사가 가공되지 않으면 나사산의 높이가 낮게 가공될 수 있어서 나사산이 충분한 전단 내력을 확보하지 못하므로 스트립 파괴가 일어날 수 있다. 본 시험체에 사용된 강봉에서도 이러한 가공 오차에 의한 스트립 파괴가 발생하였다. 한편 T22V-LS 시험체의 경우 초기균열은 122.5 kN, 인장철근 항복은 532.83 kN의 하중에서 발생했다. Fig. 6의 그래프에서 보듯 인장철근 항복 직후 일시적으로 하중이 약간 감소하였으나 강봉의 보강 효과로 인해 추가적인 내력 상승을 보였고, 이후 상부 콘크리트의 압괴로 최종 파괴되었다.

3.1.2 연속지지 시험체

연속지지 시험체의 하중-변위 관계를 Fig. 8에 나타내었다. 그림과 같이 강봉으로 보강한 시험체는 보강하지 않은 시험체에 비해 최대 하중이 약 25~27% 증가하였으나 단순지지 시험체와 비교해보면 비교적 취성적인 파괴 양상을 보였다. 또한 Fig. 9에서와 같이 모든 연속지지 시험체에서 심한 변형을 수반한 전단파괴가 뚜렷하게 나타났는데 이는 과소 배근된 전단 보강근의 영향으로 충분한 휨 성능을 발휘하지 못하였기 때문이다. 그러나 보강된 시험체는 강봉 보강의 효과로 전단파괴 이후에도 어느 정도 내력이 상승하는 것을 확인할 수 있었다.

보강을 하지 않은 연속지지 시험체인 CB 시험체의 경우 하중 196.69 kN에서 균열이 발생하여 468.05 kN에 이르러 인장철근이 항복하였다. 항복 직후 가력점과 지점 사이의 구간에서 전단파괴가 일어나 비교적 초기에 가력이 중단되었다. $\phi 18$ 인장 강봉으로 보강한 CB-T18V 시험체의 경우 가력 하중 197.08 kN에서 초기균열이 발생하였고 하중 538.31 kN에서 인장철근이 항복하였다. 무보강 시험체 CB의 경우와 마찬가지로 지점과 가력점 사이에서 전단파괴가 일어나, 충분한 휨 성능을 발휘하지 못하고 조기에 가력이 중단되었다. $\phi 22$ 인장 강봉을 사용한 CB-T22V 시험체는 하중 226.97 kN에서 초기균열이 발생하였고 595.84 kN에서 인장 강봉이 항복하였다. 다른 연속지지 시험체와 마찬가지로 전단파괴로 인해 조기에 가력이 중단되었다.

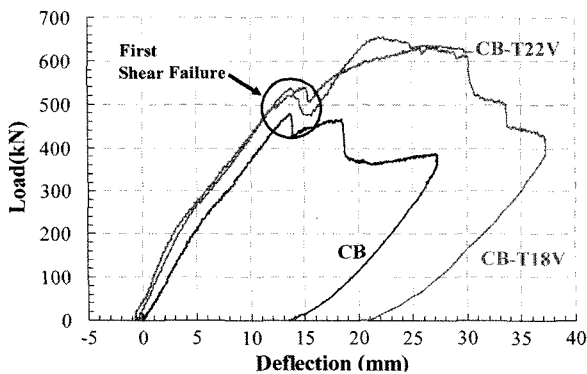
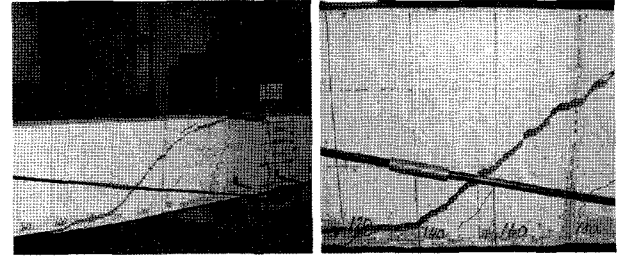


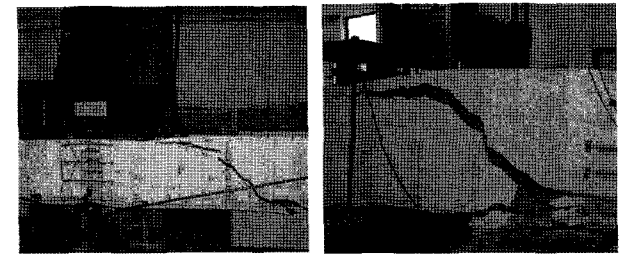
Fig. 8 Load-deflection relationship (continuously supported beams)



(a) CB



(b) CB-T18V



(c) CB-T22V

Fig. 9 Failure mode (continuously supported beams)

3.2 강성 및 강도 평가

시험체 별 강성 및 강도를 파악하기 위하여 무보강 시험체인 RC, RC-LS, CB에 대한 보강 시험체의 강성 및 강도비를 Figs. 10과 11에 나타내었다. 그림에서 세로축은 무보강 시험체에 대한 보강 시험체의 강성 및 강도비, 가로축은 보강 시험체의 종류를 나타낸다. 강성의 경우 균열 전과 후를 비교하였고, 강도는 항복강도와 최대 강도를 각각 비교하였다.

그림에서 보듯 전단 보강근 간격이 @100인 일반 시험체 (T18V, T22V)와 @400인 -LS 계열 시험체 (T18V-LS, T22V-LS)는 강성과 강도의 증가 비율이 크게 차이가 나지 않는다. 연속지지 시험체 CB-T18V, CB-T22V의 경우 단순지지 시험체에 비해 강성 보강 효과가 조금 떨어지는 것으로 나타났다. 그러나 강도에 있어서는 모든 시험체가 무보강 시험체에 비해 최저 1.15배에서 최고 1.43배 증가하는 등 비교적 균등한 보강 효과를 보였다. 또한 보강재의 직경이 $\phi 18$ 에서 $\phi 22$ 로 늘어남에 따라 강성과 강도의 증가 비율 역시 커지는 양상을 나타내고 있다.

3.3 종립축 비교

Fig. 12는 크랙게이지로부터 구한 단순지지 시험체의 변위-종립축의 관계를 나타낸 것이다. 모든 시험체에서 하중 초기에는 일시적으로 종립축이 인장축으로 내려갔다가 균열이 시작되는 지점 (변위 5 mm 부근)까지 다시

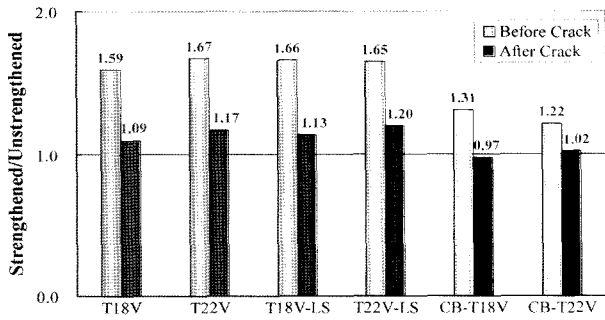


Fig. 10 Evaluation of stiffness

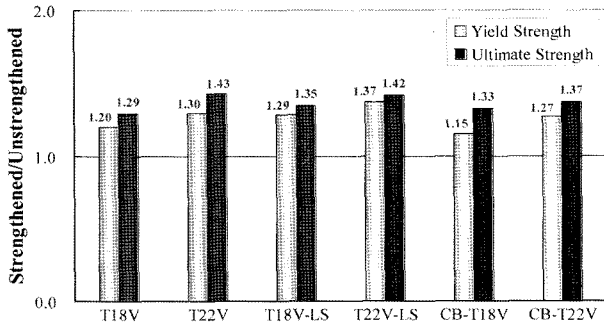


Fig. 11 Evaluation of strength

압축축으로 올라오는 거동을 볼 수 있다.

이후 중립축의 위치는 콘크리트 하부로부터 400 mm 부근에 머물며 거의 변하지 않다가 중앙부 처짐 값이 L/250 (25 mm) 부근에서 인장철근이 항복하면서 점차 압축축으로 올라와서 최대 하중에 이른다. 무보강 시험체의 경우 하부 인장철근의 항복 이후 비교적 급격하게 중립축이 상부로 이동하고 있는 반면, 고장력 인장봉으로 보강한 T18V와 T22V 시험체는 강봉의 영향으로 항복 이후에도 중립축의 변화가 그리 크지 않다.

Fig. 13은 크랙계지로부터 구한 연속지지 시험체의 변위-중립축 관계를 나타낸 것이다. 연속지지 시험체는 전단 보강근의 과소 배근 (@400)으로 모두 비교적 조기에 가력스팬 내에 전단파괴가 발생하여 가력이 조기에 종료되었다. 따라서 최대 하중 시에도 변형률의 분포가 거의 선형 구간 내에 머물러 있고 중립축의 위치는 하부 인장축 콘크리트의 균열 진전으로 선형적으로 계속 증가하는 추세를 보이고 있다.

Fig. 14는 단순지지 및 연속지지 시험체의 하중에 따른 중립축의 위치를 비교한 것으로 실선은 연속지지 시험체, 파선은 단순지지 시험체를 나타낸다. 그림에서 보듯, 무보강 시험체 (CB, RC-LS)의 경우 연속지지 시험체의 중립축이 약 10%정도 낮게 나타났는데, 이는 연속스팬으로 인한 것이다. 반면 강봉으로 보강한 시험체의 경우 연속지지 시험체의 중립축이 오히려 10% 정도 높게 나타나고 있다.

3.4 강봉 변형률 평가

Figs. 15와 16은 각각 $\phi 18$ 과 $\phi 22$ 강봉을 사용한 보강

시험체의 최대 하중 시 강봉의 평균 변형률을 강봉 인장 시험편의 응력-변형률 곡선에 나타낸 것이다. 그림에서 알 수 있듯이 단순지지 시험체에 사용한 강봉의 경우 평균 변형률이 재료의 항복변형률 위치에 분포한 반면, 연속지지 시험체에 사용한 강봉의 평균 변형률은 이에 훨씬 못 미치는 것으로 나타났다. 본 실험에서 강봉에 도입한 프리스트레스는 강봉 인장강도의 40%로, 본 결과에 따라 강봉의 프리스트레스를 더 높게 도입할 필요성이 있는 것을 알 수 있고, 연속지지의 강봉 프리스트레스를 더 크게 도입하여야 할 것으로 판단된다.

3.5 모멘트 곡률 평가

Fig. 17은 실험 하중으로부터 구한 모멘트와 시험체 중앙부 콘크리트 측면에 부착한 크랙계지를 사용하여 평

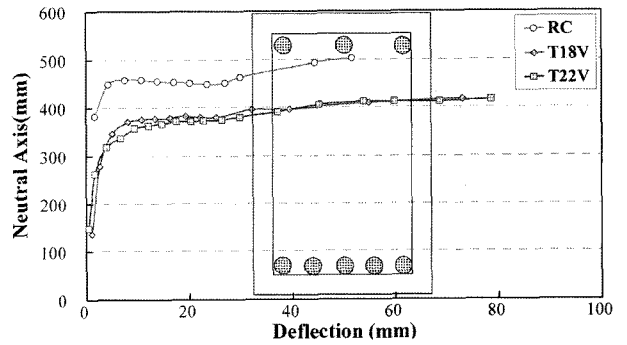


Fig. 12 Comparison of neutral axis (simply supported beams)

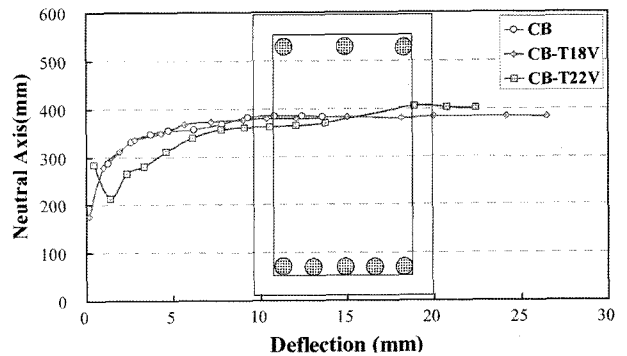


Fig. 13 Comparison of neutral axis (continuously supported beams)

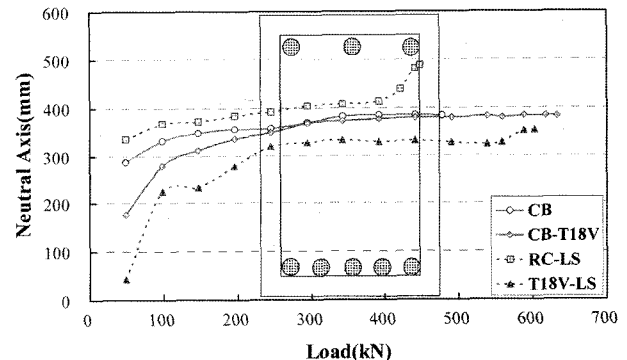


Fig. 14 Comparison of neutral axis for condition of supports

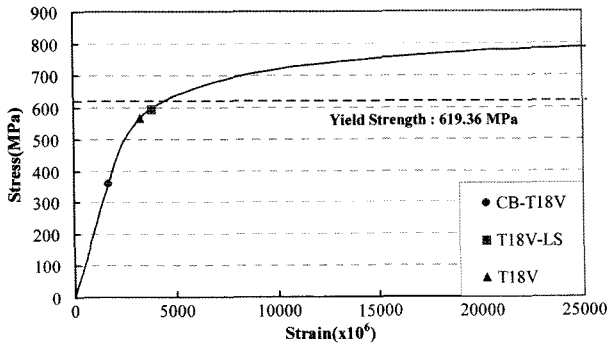


Fig. 15 Distribution of ultimate strain ($\phi 18$)

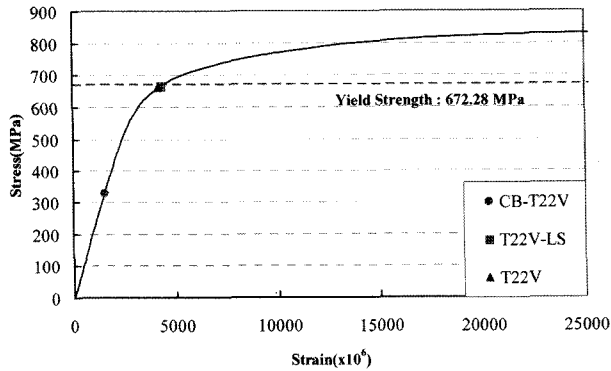


Fig. 16 Distribution of ultimate strain ($\phi 22$)

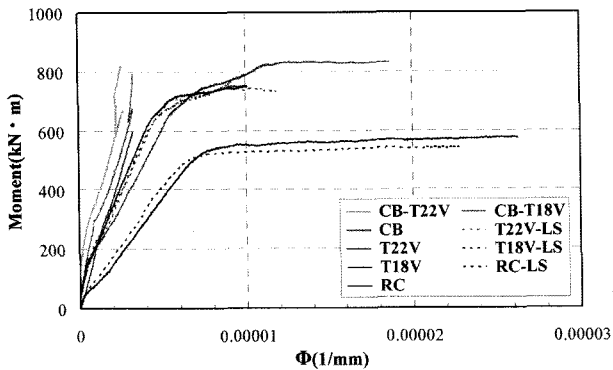


Fig. 17 Moment-curvature relation

가한 곡률과의 관계를 나타낸 것이다. 여기서 곡률은 최하단 크랙게이지의 변형률에서 최상단 크랙게이지의 변형률을 뺀 후, 크랙게이지 사이의 거리로 나눈 값으로 정의한다. 그림에서 무보강 시험체는 모멘트-곡률 관계가 매우 뚜렷한 반면 연속지지 시험체는 선형의 관계를 나타내고 있어 충분한 휨 변형이 이루어지지 않고 있음을 알 수 있다. 단순지지 시험체의 경우에는 무보강 시험체의 휨 변형에는 미치지 못하나 충분한 휨 변형을 하고 있다.

4. 결 론

고장력 인장봉으로 보강한 RC보의 휨 거동에 관한 실험에서 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) 전단 보강근이 과소 보강된 실험체 (-LS 계열)는 전

- 단균열 후에도 강봉 보강에 의한 전단 보강 효과로 비교적 완만하게 최대 하중에 도달하였으며 전단 파괴가 발생하지 않고 휨 파괴로 강도가 결정되었다.
- 2) 무보강 실험체 (RC)에 대한 보강 실험체 (T18V, T22V)의 강도를 비교해 보면 항복하중은 평균 30%, 최대 하중은 평균 37%의 증가를 보였다.
 - 3) 강봉 보강 시험체의 경우 중립축은 무보강 시험체에 비해 낮게 나타나고 있으며, 하부 인장측 콘크리트의 균열 발생 이후에도 강봉의 긴장력 작용으로 인해 중립축의 변화는 크게 나타나지 않았다.
 - 4) 연속지지 시험체는 과소 배근된 전단 보강근의 영향으로 비교적 조기에 전단파괴가 발생하였으나 고장력 인장봉의 전단 보강 효과로 인해 약 50% 정도의 추가적 내력 상승을 보였고, 균열 발생 이후에도 중립축의 변화는 거의 나타나지 않았다.
 - 5) 단순지지 보강 시험체에서는 강봉의 최대 강도는 재료 시험에서의 항복강도에 근접하고 있으나, 하중과 기하학적인 변수에 따라 강봉 항복강도 이하가 될 수 있으므로 설계 시 이를 고려해야 한다.
 - 6) 연속지지 시험체에서는 강봉의 최대 변형률이 재료의 항복변형률에 크게 미치지 못한 상태에서 1차 전단파괴되었다. 전단 보강에 대한 강봉 보강의 효과는 매우 미미한 것으로 나타났다. 그러나 1차 전단파괴 후 붕괴되지 않고 강봉의 저항으로 인해 파괴에 이르기까지 강도와 변형 능력의 증대를 보여 주고 있다.

감사의 글

이 논문은 건설교통부 건설핵심기술 연구개발사업(과제번호: 03산학연 A06-01) 연구비 지원으로 수행되었으며 이에 감사의 말씀을 드립니다.

참고문헌

1. 박용걸, 박영훈, 이승용, “외부 후 긴장 공법을 이용한 강합성보의 보강에 관한 연구”, 한국강구조학회 논문집, 12권 5호, 2000, pp.549~558.
2. Naaman, A. E. and Alkhalil, 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, pp.641~651.
3. Harajli, M. H., “Effect of Span-to-Depth Ratio on the Ultimate Steel Stress in Unbonded Prestressed Concrete Members”, *ACI Structural Journal*, Vol.87, No.3, 1990, pp.305~312.
4. Harajli, M. H., “Strengthening of Concrete Beams by External Prestressing”, *PCI Journal*, Vol.38, No.6, 1993, pp.76~88.
5. Naaman, A. E. and Alkhalil, F. M., “Stress at Ultimate in Unbonded Post-Tensioning Tendons: Part 2-Proposed Methodology”, *ACI Structural Journal*, Vol.88, No.6, 1991, pp.683~692.
6. Harajli, M. H., Khairallah, N., and Nassif, H., “Externally

- Prestressed Members: Evaluation of Second-Order Effects”, *J. of Struct. Engr.*, Vol.125, No.10, 1990, pp.1151~1161.
7. Harajli, M. H. and Hijazi, S. A., “Evaluation of the Ultimate Steel Stress in Partially Prestressed Concrete Members”, *PCI Journal*, Vol.36, No.1, 1991, pp.62~82.
 8. 민락기, 오창열, “포스트텐셔닝을 이용한 기존 구조물의 보강”, *콘크리트학회지*, 8권 4호, 1996, pp.65~75.
 9. 문정호, 박성운, “포스트텐션 바다관 시스템의 설계와 공법·시공 사례”, *MIDAS 구조기술강좌*, 2004. 2, pp.21~27.
 10. 한국건설교통기술평가원, “고장력 인장봉과 인장력 측정장치를 이용한 건축구조물 보강방법개발”, 2003년 연차 실적보고서, 2005.
 11. 신경재, 광명근, 배규웅, 오영석, 문정호, “고장력 인장봉으로 보강된 RC보의 휨거동에 관한 실험적 연구(2)”, *콘크리트학회지*, 18권 5호, 2006, pp.603~610.

요 약 현재 상용되고 있는 강관 보강법이나 탄소섬유 시트 부착 보강법과는 달리, 고장력 인장봉을 이용한 외부 비부착 방식의 보강법은 설치가 간단하고 시공 시간이 짧은 등의 장점이 있다. 또한 외부 비부착 보강법은 콘크리트 표면처리가 필요 없고 에폭시 등의 접착제를 사용하지 않아 환경에 미치는 영향도 적다. 지난 연구에 이어 본 연구에서는 보강된 RC보에 관한 총 9개의 실대형 시험체를 변수별로 제작하여 여러 변수가 실제 구조물에 미치는 영향을 검토하였다. 시험체의 주요 변수는 보강재의 크기와 전단 보강근의 간격, 지지 조건이다. 본 논문에서는 보강된 RC 보의 구조적 거동을 무보강 시험체와 비교하여 기술하였다. 실험 결과 고장력 인장봉으로 보강된 RC보는 무보강 시험체와 비교하여 강도와 휨 성능에서 탁월한 효과를 나타내었으며 전단 보강근이 과소 배근된 시험체에서도 고장력 인장봉에 의한 전단 내력 효과를 보였다.

핵심용어 : 고장력 인장봉, 프리스트레스, 포스트텐션, 비부착 강봉, 보강