



고장력 인장봉으로 보강된 RC보의 휨거동에 관한 실험적 연구(2)

신경재¹⁾ · 곽명근^{2)*} · 배규웅²⁾ · 오영석³⁾ · 문정호⁴⁾

¹⁾경북대학교 건축학부, ²⁾한국건설기술연구원 건축연구부, ³⁾대전대학교 건축공학과, ⁴⁾한남대학교 건축공학과

An Experimental Study on Flexural Behavior of RC Beams Strengthened with Hi-Strength Bars(2)

Kyung-Jae Shin¹⁾, Myong-Keun Kwak^{2)*}, Kyu-Woong Bae²⁾, Young-Suk Oh³⁾, and Jung-Ho Moon⁴⁾

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

²⁾Building Research Dept, KICT, Goyang 411-410, Korea

³⁾Dept. of Architectural Engineering, Taejeon Univ., Taejeon 300-716, Korea

⁴⁾Dept. of Architectural Engineering, Hannam Univ., Taejeon 306-791, Korea

ABSTRACT The external unbonded strengthening offers advantages in speed and simplicity of installation over other strengthening techniques. Unlike externally bonded steel plate or carbon fiber sheet, surface preparation of the concrete for installation of high-tension bar is not required and installation is not affected by environmental conditions. Anchoring pin or anchoring plate are installed at the end of beam to connect the high-tension bar to concrete beam. The deviator are used in order that supplementary external bars would follow the curvature of the tested beam. A set of ten laboratory tests on reinforced concrete beam strengthened using the technique are reported. The main test parameters are the section area of strengthening bar, the depth of deviator and the number of deviators. The paper provides a general description of structural behavior of beams strengthened using the technique. The test result of strengthened beam are compared with those from a reference specimen. It is shown that the reinforcing technique can provide greater strength enhancements to unstrengthened beam and that the provision of deviator enhances efficiency. The ultimate moment of specimen with two deviators was higher than that of specimens with one deviator. It is also shown that the external bars enhance strength of beams in shear.

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

1. 서 론

모든 구조물은 시간이 경과함에 따라 내구성, 내하력 및 구조물의 수명이 감소하게 된다. 현존하는 국내 구조물의 대부분이 시공한지 오래되었으며 유지 및 관리의 소홀로 인하여 구조물 자체의 내하력이 상당히 저하된 것들이 많은 실정이다. 국내 대부분의 보강공사는 강판 및 탄소섬유쉬트 보강공사가 주를 이루어 왔으나 최근들어 사용재료, 시공 품질의 확보 및 유지 관리상의 문제점 야기로 인하여 사용사례가 줄어들고 있다. 이에 반하여 포스트텐션(post-tensioning)을 이용한 기존 구조체의 보강공법은 구조체에 대한 적응성과 보강효율이 높아 다양한 구조체의 보강에 활발하게 이용되고 있으며 구조적 및 경제적 측면에서 여러 장점이 있다²⁾. 국외에서는 이에 대한 실험적 연구^{6,8,10)}와 이론적 해석^{7,9,11)}이 진행 되어 포스트텐션 구조 보강공법에 대한 가능성을 제시하였다. 하지만,

국내에서 포스트텐션을 이용한 구조물 보강공사^{1,3)}를 본격적으로 시행한 것은 그리 오래되지 않았다. 최근에 건축물체의 그 적용범위가 확대되고 있지만, 긴장재의 정착 방법 및 보강방식에서 아직 초보적인 수준에 머무르고 있다.

본 연구에서는 이러한 포스트텐션을 이용한 보강공법에 주목하여 재료의 신뢰성이 우수한 고장력 인장봉을 사용한 RC 구조물 보강공법을 개발하였다⁵⁾. 또한, 고장력 인장봉의 새로운 정착방식⁴⁾을 개발하여 RC구조체의 보강공법에 활용할 수 있는 가능성을 검토하였다. 본 연구의 목적은 고장력 인장봉의 다양한 보강방식에 의한 구조성능실험을 수행하여 그 결과를 검토, 분석함으로써 이 공법의 실용화를 위한 기초자료를 제공하는데 있다.

2. 실험

2.1 실험체 계획

2.1.1 실험 개요

고장력 인장봉에 긴장력을 도입하여 외부를 휨 보강한

*Corresponding author E-mail : mkkwak@kict.re.kr
Received November 7, 2005, Accepted May 31, 2006
©2006 by Korea Concrete Institute

Table 1 Details of specimens

Specimens	Reinforcement	Arranged type	Depth (dp)	Diameter	Anchor type
RC01	—	—	—	—	—
T18V-H-R	Hi-bar	V	High (880 mm)	φ18	Penetrated bar
T22V-H-R				φ22	
T28V-H-R				φ28	
T18U-L-P	Hi-bar	U	Low (650 mm)	φ18	Penetrated pin
T22U-L-P		U		φ22	
T22V-L-P		V		φ22	
TD22U-L-P	Re-bar	U	Low (650 mm)	φ22	Penetrated pin
TD32U-L-P	Re-bar	U		φ32	Penetrated pin
T7WV-L-R	Steelwire	V		7wire	Penetrated bar

T18V-H-R
 Anchor type (P : pin, R : bar)
 Depth (H : high, L : low)
 Arranged type (U : u-shape, V : v-shape)
 Diameter (7 : Φ7, 18 : Φ18, 22 : Φ22, 32 : Φ32)

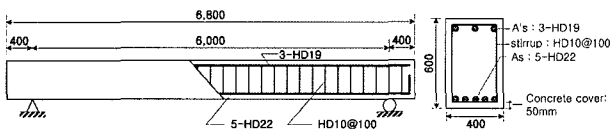


Fig. 1 Dimension of specimen (RC01)

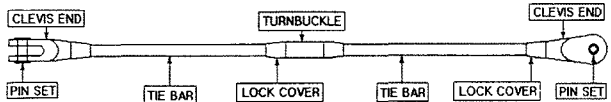


Fig. 2 High tension bar sets

철근콘크리트 보의 하중에 따른 휨거동 특성을 평가하기 위하여, 가력스팬 6,000 mm의 실대형 실험체를 각 변수별로 계획하여 단순지지보의 휨성능 실험을 수행하였다. 실험체의 각 변수별 일람은 Table 1과 같고 보강을 위한 표준 RC보 실험체는 Fig. 1과 같이 폭 400 mm, 총 600 mm로서 보강철근은 압축주철근으로 D19, 인장주철근으로 D22철근을 각각 사용하였다. 또한 휨파괴 이전에 전단파괴가 선행하는 것을 방지하기 위하여 D10의 전단철근을 100 mm 간격으로 배치하였다.

보강 실험체는 보강재료의 종류, 보강재의 직경, 정착구 형상, 보강깊이, 보강재의 배치형상에 따라 총 9개의 실험체를 제작하였다. 본 연구에서 사용된 고장력 강봉은 Fig. 2와 같은 형상을 가지는 S사의 인장봉을 사용하였고, 강봉과 강봉을 연결하는 턴버클을 회전시킴으로써 소정의 긴장력을 강봉에 제공할 수 있다. 실험시 강봉에 도입된 긴장력은 강봉의 소재 실험에서 구한 항복응력의 30%를 도입하였다.

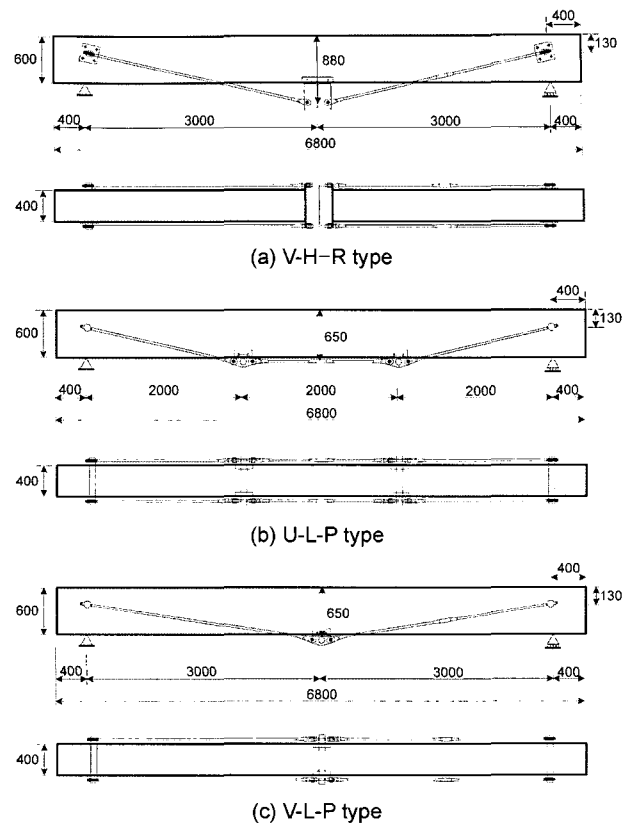


Fig. 3 Specimen details (hi-strength bar type)

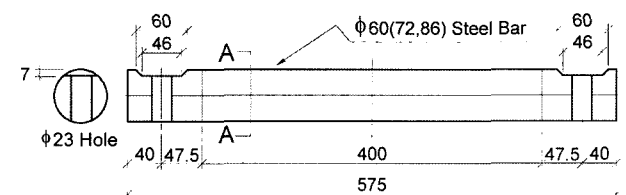


Fig. 4 Anchorage details (penetrated pin type)

2.1.2 강봉보강 실험체

강봉보강 실험체는 고장력 강봉, 정착핀, 새들의 3부분으로 구성되며, 실험체 형상은 Fig. 3과 같다. 고장력 강봉은 지름이 φ18, φ22 및 φ28인 3종류를 사용하였다. 강봉 보강 실험체의 경우에는 강봉의 배치 형상에 따라 2쌍의 강봉으로 구성되는 V형과 3쌍의 강봉으로 구성되는 U형으로 분류되며, 실험체 정착부는 실험체의 단부로부터 400 mm, 압축연단에서 130 mm 위치에 구멍을 형성하여 Fig. 4와 같은 규격을 가지는 관통핀에 강봉을 관통시켜 연결한 관통핀 형식과 Fig. 5와 같이 정착부에 강판을 앵커로 고정시키고 인장봉을 연결한 관통봉 형식의 2가지 형상으로 계획하였다.

2.1.3 철근보강 실험체

철근 보강 실험체는 U-L-P 계열 실험체와 동일한 보강 방식을 가지며 긴장제로서 강봉 대신 철근을 사용한 것으로 사용된 보강 철근은 HD22, HD32의 고강도 철근을 사용하였다. 철근보강 실험체 상세는 Fig. 6과 같다.

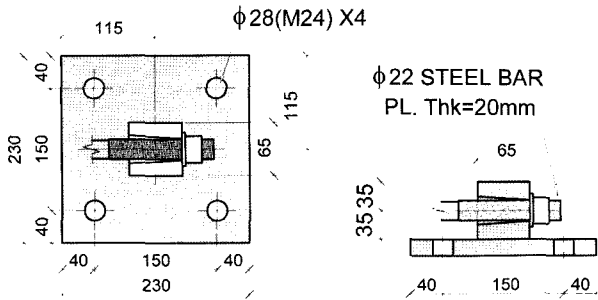


Fig. 5 Anchorage details (penetrated bar type)

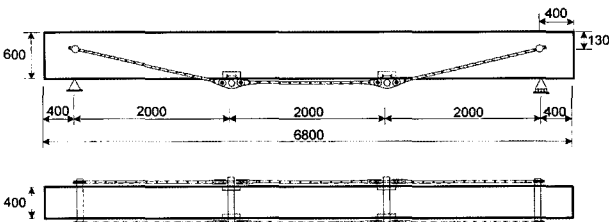


Fig. 6 Specimen details (reinforced bar type)

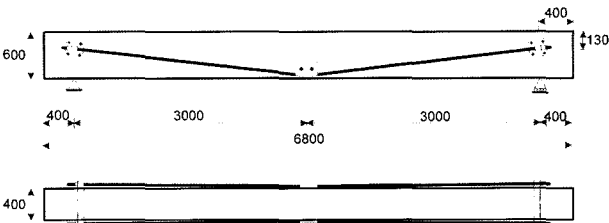


Fig. 7 Specimen details (steel wire type)

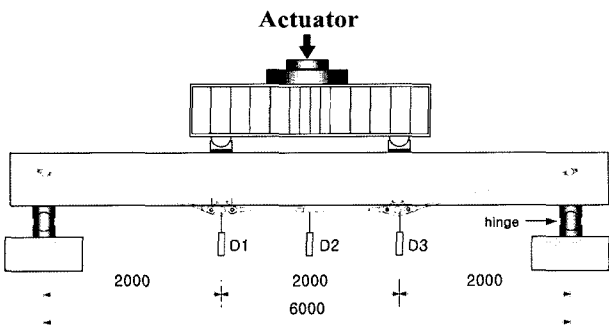


Fig. 8 Loading and measurement methods

2.1.4 강선 보강 실험체

강선 보강 실험체는 V-L-P 보강 방식을 가지며 긴장재로서 강봉 대신 7연선 고강도 강선(K사의 SWPC 7B)을 사용하였다. 강선 보강 실험체 상세는 Fig. 7과 같다. 실험체는 중심부의 Deviator 는 두 개의 앵커볼트로 콘크리트 부재에 지지되고 강선은 좌우로는 미끄러지도록 하여 보강재에 수직반력만 작용하도록 하였다.

2.2 가력 및 측정 방법

가력장치는 Fig. 8과 같이 3,500 kN 용량의 액츄에이터 (Actuator)를 사용하였으며 가력보를 사용하여 3등분점 2

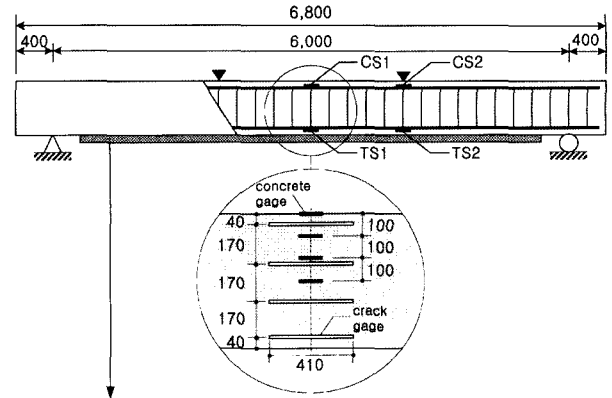


Fig. 9(a) Installations of W.S.G. and crack gage

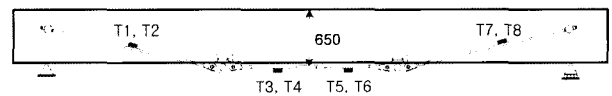


Fig. 9(b) Installations of W.S.G.

Fig. 9 Installations

점 가력을 하였다. 실험체의 변위는 각 하중점과 스패의 중앙부에 변위계(LVDT 200 mm : D1, D2, D3)를 설치하여 측정하였다. 철근, 콘크리트, 보강재(CFS, 강판, 강봉, 철근)의 변형을 측정을 위한 W.S.G.(wire strain gage)는 Figs. 9(a), (b)와 같이 부착하였다.

2.3 재료시험

실험체에 사용된 고장력 인장봉, 철근, 콘크리트의 재료 시험 결과는 Table 2와 같다.

3. 실험 결과 및 고찰

3.1 실험 결과

고장력 인장봉을 사용한 RC보의 휨 실험 결과를 Table

Table 2 Mechanical properties of materials

Types	Diameter (mm)	Yield stress (MPa)	Tensile stress (MPa)	Elongation (%)	Yield ratio (%)
Re-bar (internal)	HD19	405.5	619.4	21	65
	HD22	443.1	605.2	20	73
Re-bar (external)	HD22	436.8	569.8	22	76
	HD32	411.0	581.2	22	70
Hi-bar	φ18	588.4	739.8	15	79
	φ22	623.4	746.6	17	83
	φ28	541.2	686.8	14	78
Concrete		31.2 MPa			

Table 3 Test results

Specimens	Stiffness (kN/mm)		Strength (kN)		
	under crack	after crack	Crack	Yield	Ultimate
RC01	38.7	14.1	55.9	443.2	479.5
T18V-H-R	29.5	19.2	112.8	606.1	680.6
T22V-H-R	31.2	21.4	114.7	676.7	739.4
T28V-H-R	29.9	22.4	133.4	727.7	867.9
T18U-L-P	46.5	19.5	106.9	588.4	676.7
T22U-L-P	38.6	18.7	109.8	634.5	735.5
TD22U-L-P	35.1	22.2	99.0	620.8	750.2
TD32U-L-P	33.9	21.1	151.0	754.1	864.9
T22V-L-P	32.1	20.1	136.3	589.4	708.0
T7WV-L-R	34.0	16.9	141.2	598.2	622.7

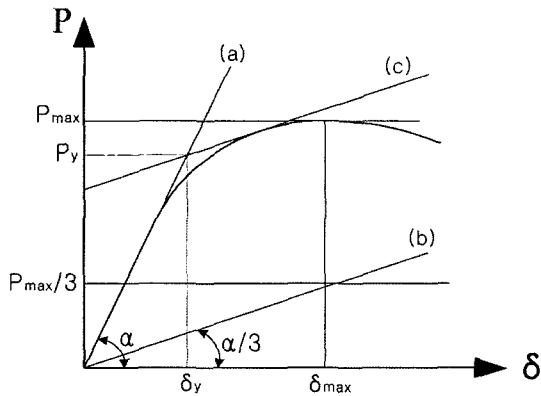


Fig. 10 Definition of yield load

3에 나타내었다. Table 3에서 항복하중은 Fig. 10과 같이 원점과 최대하중의 1/3되는 점을 연결한 선분 (a)를 초기 접선강성 값으로 하고, 이 선분과 변위축이 이루는 각의 1/3이 되는 선분(b)를 원점에서 그은 후, 실험값과 외접하도록 평행이동 시켜 선분 (c)를 만들고, 처음에 그은 초기접선강성 선분 (a)와 만나는 접점으로 구한 값이다.

3.1.1 V-H-R 계열 실험체

강봉을 V자형으로 배치하고 High형 지지대를 설치한 V-H-R 계열 실험체의 실험 결과를 Figs. 11 및 12에 나타내었다. 강봉직경 $\phi 18$ 을 사용한 T18V-H-R 실험체의 경우, 가력하중 154.7 kN에서 초기균열이 발생한 이후 가력점 내부 휨 균열이 진전되기 시작하였다. 이후 하중의 증가와 함께 가력점 외측 1,000 mm 정도까지 휨-전단 균열이 미세하게 분포하였다. 항복이후 내력이 지속적으로 상승하다가 양쪽 가력점 부근에서 거의 동시에 압괴가 발생하기 시작하였고 상부 압축축의 압괴로 인한 최대하중 도달 이전에 좌측 인장강봉과 턴버클의 분리로 가력이 종료되었다.

T22V-H-R의 경우 가력점 외측 단부방향으로의 휨-전단 균열이 거의 발생하지 않아 상대적으로 우수한 전단

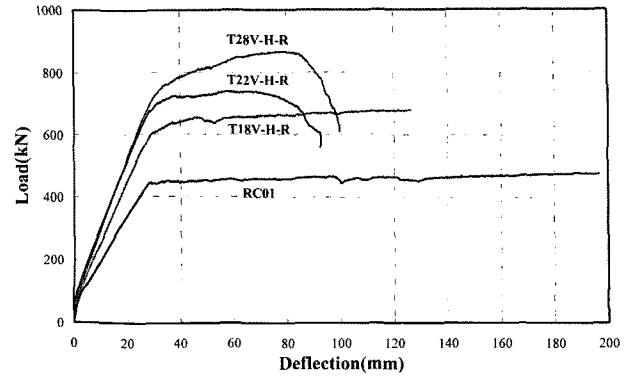


Fig. 11 Load-deflection relationship (V-H-R)

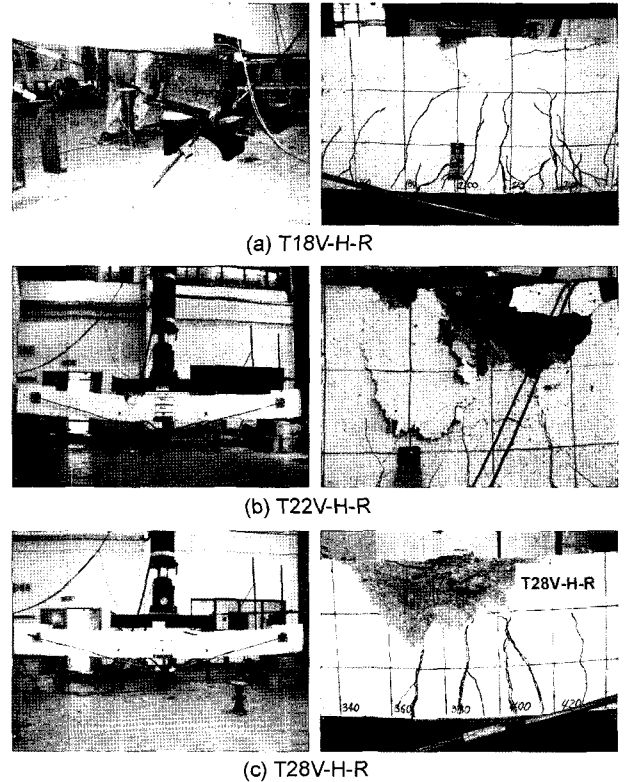


Fig. 12 Failure mode and crack pattern (V-H-R type)

보강효과를 나타내었다. 하중의 증가와 함께 중앙부 처짐 값이 $L/200$ 정도에서 항복이 시작된 후, 비교적 초기에 최대내력에 도달하였으며 이후, 하중의 증가 없이 변위만 지속적으로 증가하다 상부 콘크리트의 압괴로 가력이 종료하였다. T28V-H-R은 강봉 연결부의 결함에 의한 강봉의 조기 파단을 방지하기 위하여 강봉 양단부를 5 mm 씩 절삭한 강봉을 사용하였다. 실험 결과, 강봉의 조기 파단 없이 항복이후에도 완만하게 하중이 증가하면서 최대내력에 도달하였으며 최대내력 도달 이후, 상부 콘크리트의 압괴로 가력이 종료되었다.

3.1.2 U-L-P 계열 실험체

외부 긴장재의 2점 지지방식인 U형, Low 계열(U-L-P) 실험체의 실험 결과를 Figs. 13, 14 및 15에 나타내었다.

강봉직경 $\phi 18$ 을 사용한 T18U-L-P 실험체의 경우, 가력하중 155.8 kN에서 초기균열이 발생한 이후 우측 가력

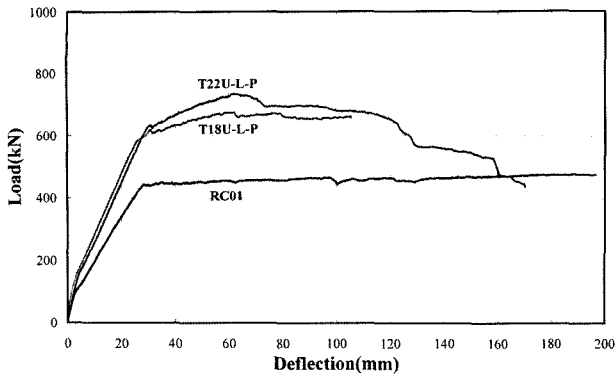


Fig. 13 Load-deflection relationship (U-L-P)

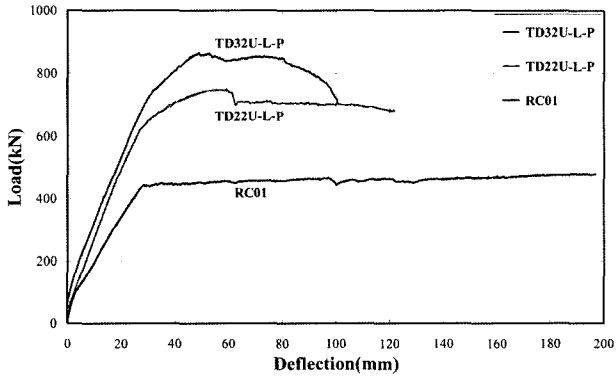


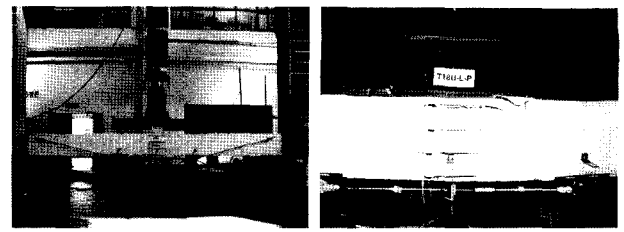
Fig. 14 Load-deflection relationship (TDU-L-P)

점에 휨균열이 집중하기 시작하였다. 균열은 가력점 내부에 집중되었으며 휨-전단 균열은 발생하지 않았다. 항복이후 우측 가력점에 균열이 집중되어 가력점 압축측 콘크리트가 압괴하기 시작하였으며 중앙부로 수평방향 균열이 진전되면서 가력이 종료되었다.

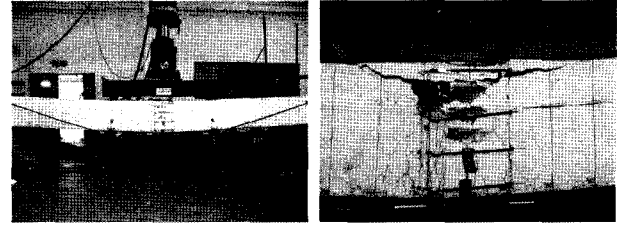
T22U-L-P의 경우, 최초균열은 158.1 kN의 가력하중에서 실험체 중앙부에서 발생하였다. 이후, 하중의 증가와 함께 중앙부의 휨균열 진전으로 항복내력에 도달 한 후 30% 정도의 내력이 상승한 후 최대내력에 도달 하였으며, 최대내력 도달 이후에도 급격한 하중의 감소가 없이 매우 연성적인 거동을 나타내었다. 최대내력시 중앙부 수직변위는 70 mm로서 강봉 보강 실험체 중 가장 큰 변형능력을 나타내었다.

외부 긴장재를 고장력 강봉 대신에 철근 HD22를 사용한 TD22U-L-P 실험체의 경우, 191.8 kN의 비교적 높은 가력하중에서 최초균열이 발생하였으며 T22U-L-P 실험체에 비해 실험체의 항복이후 강성저하폭이 상대적으로 적게 나타났다. 특히 중앙부 보강 철근의 경우 최대 변형률이 $44,322 \times 10^{-6}$ 으로 강봉 보강 실험체와 비교하여 상당히 큰 변형을 수반하였다. 이는 강봉과 철근재료 연성차이에 기인한 것으로 실제 파괴시 강봉의 변형률이 $15,000 \times 10^{-6}$ 정도임을 고려하면, 철근보강 방법이 보다 효율적으로 거동하고 있음을 알 수 있다.

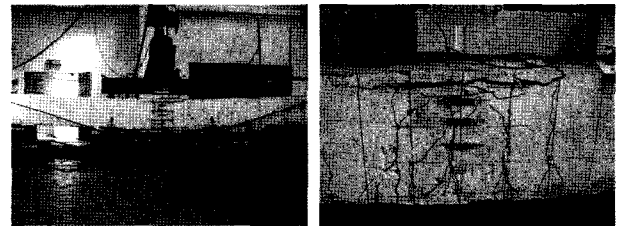
TD32U-L-P 실험체의 경우에는 중앙부 압축 콘크리트의 파괴로 가력이 종료되었으며 최종 파괴시 보강철근의 변형률이 $2,500 \times 10^{-6}$ 정도에 머무르고 있음을 알 수 있



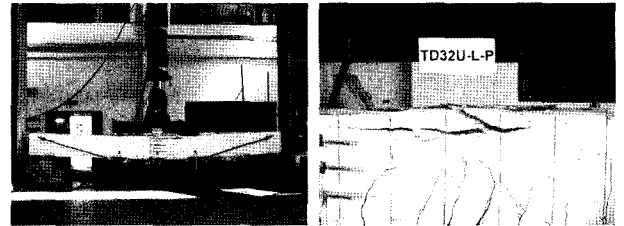
(a) T18U-L-P



(b) T22U-L-P



(c) TD22U-L-P



(d) TD32U-L-P

Fig. 15 Failure mode and crack pattern (U-L-P type)

는데, RC보 실험체의 휨내력에 비해서 철근의 보강량이 상대적으로 과다하여 외부 긴장재가 충분한 내력을 발휘하기 이전에 상부 압축측 콘크리트의 압괴로 조기에 가력이 종료되었기 때문인 것으로 사료된다.

3.1.3 T22V-L-P, T7WV-L-P

T22V-L-P의 실험 결과, 가력하중 141.5 kN에서 초기균열이 발생하였고 균열은 가력점 내부에 집중적으로 나타났으며 지점과 가력점 사이의 휨-전단균열은 관측되지 않았다. 균열의 확산은 양쪽 가력점에서 동시에 상부로 진전되면서 우측 가력점 부근의 압축 콘크리트의 파괴로 가력을 종료하였다. 실험체의 최대내력은 707.7 kN으로서 기준 실험체에 대해 47%의 내력상승을 보였고, 실험 종료시 중앙부 최대변위가 140 mm로서, 비교적 연성적인 거동을 나타내었다.

T7WV-L-R은 외부 긴장재로 7연선 강선을 사용하였고, 강선의 초기장력은 항복강도의 70%(163.8 kN)를 도입하였다. 실험 결과, 강봉 보강 실험체와는 달리 가력점 외부 전단스팬에서 휨-전단균열이 관측되었다. 무보강 RC보와 유사하게 중앙부 최대변위 30 mm(L/200)정도에서

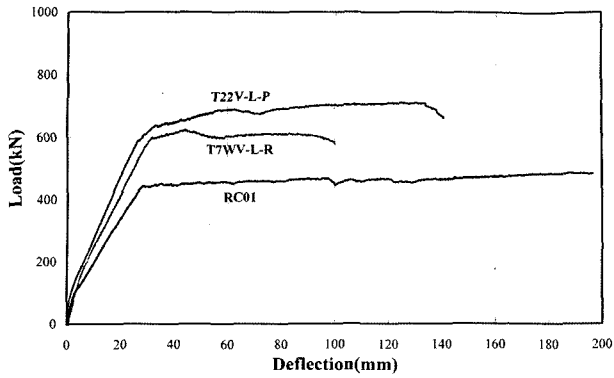


Fig. 16 Load-deflection relationship (V-L-P, WV-L-R)

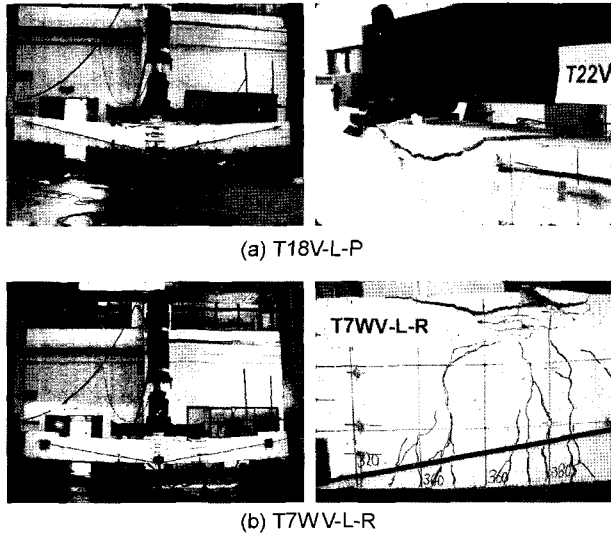


Fig. 17 Failure mode and crack pattern (V-L-P, WV-L-R type)

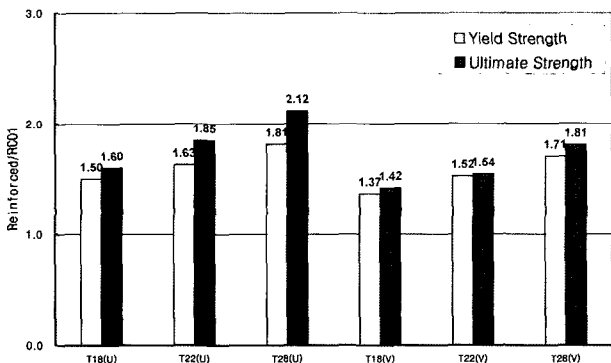


Fig. 18 Evaluation of strength upon bar diameter

항복하기 시작하였으며, 항복이후 비교적 조기에 최대내력에 도달하였으며, 이후 하중의 증가 없이 변형만 지속하다가 우측가력점의 압괴로 가력이 종료되었다.

3.2 강도 평가

3.2.1 강봉 직경

강봉 직경에 따른 각 실험체별 강도를 무보강 실험체와 비교하여 Fig. 18에 나타내었다. 그림에서 U형으로 표시한 실험체는 V-H-R형식과 동일한 강봉보강 깊이 880 mm를 갖는 U형 보강 실험체이다. 비교 결과 항복과 최대

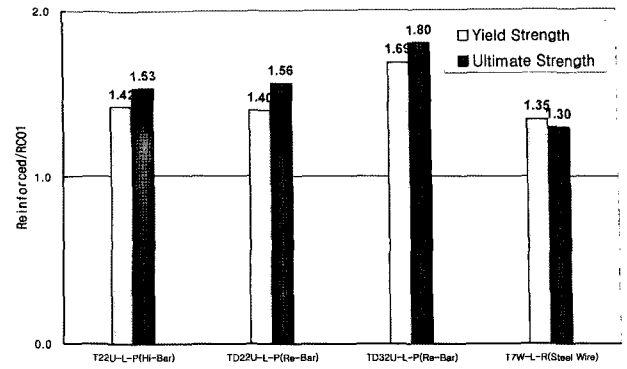


Fig. 19 Evaluation of strength for tensioned materials

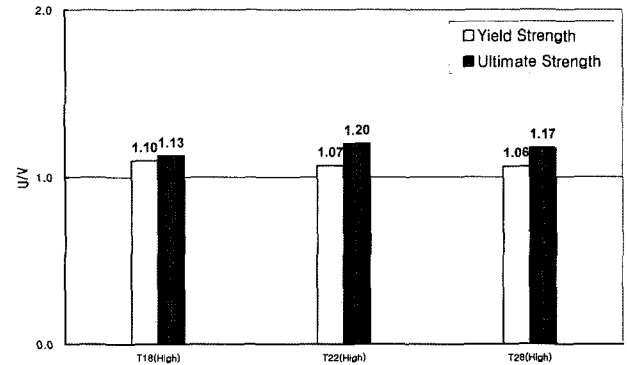


Fig. 20 Evaluation of strength upon bar arrangements

에서 각각 1.37~1.82, 1.42~1.12의 분포를 나타내어 강봉 직경에 따라 비례적으로 강도가 증가함을 알 수 있다. 특히 강봉의 배치형식이 U형인 실험체를 V형 실험체와 비교하면 동일 직경일 경우 U형이 강도 증진효과가 더 우수한 것으로 나타났다.

3.2.2 긴장 재료

Fig. 19는 긴장재료에 따른 각 실험체별 강도를 무보강 실험체와 비교하여 나타낸 것이다. 비교 결과 D22 철근을 사용한 TD22-U-L-P 실험체의 경우 $\phi 18$ 직경의 강봉을 긴장재로 사용한 T18-U-L-P와 거의 유사한 하중-변위 거동을 나타내었으며 무보강 실험체에 대해 거의 동등한 강도상승을 나타내어 우수한 보강 성능을 가진 것으로 나타났고, 철근 직경이 증가함에 따라 보강 효과가 증가되었다. 7W 강선을 긴장재로 사용한 T7WV-L-P 실험체의 경우에는 무보강 실험체에 비해 최대강도가 1.30배 상승하였다.

3.2.3 강봉 배치 형태

Fig. 20은 강봉 배치형태에 따른 실험체별 보강 효과를 파악하기 위하여 동일한 강봉직경에 따라 V형 보강 방식과 U보강 방식을 비교한 것이다. 비교 결과 U형 보강방식은 V형 보강방식에 비해 1.07~1.20배 상승하여 보강 효과가 좀 더 우수한 것으로 나타났다.

3.2.4 강봉 보강 깊이

Fig. 21은 강봉 보강깊이에 따른 실험체별 보강 효과

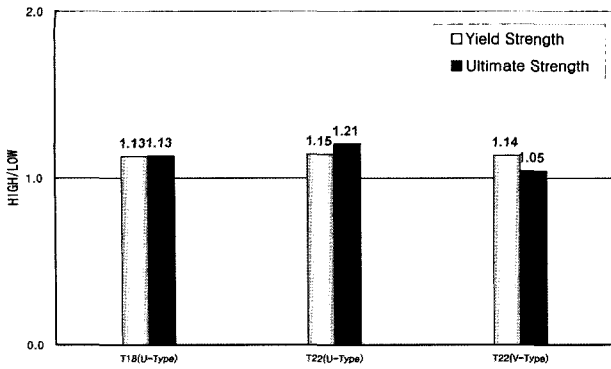


Fig. 21 Evaluation of strength upon strengthen depth

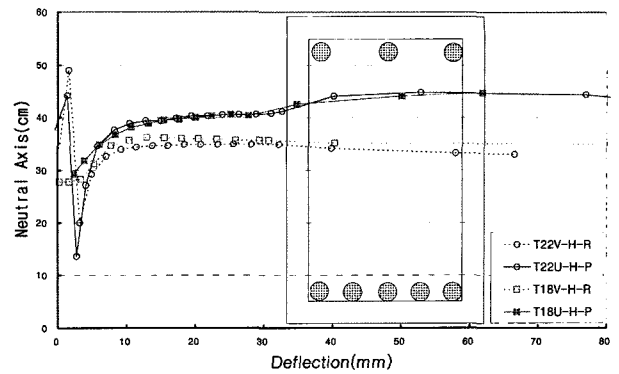


Fig. 23 Comparison of neutral axis for U and V-type

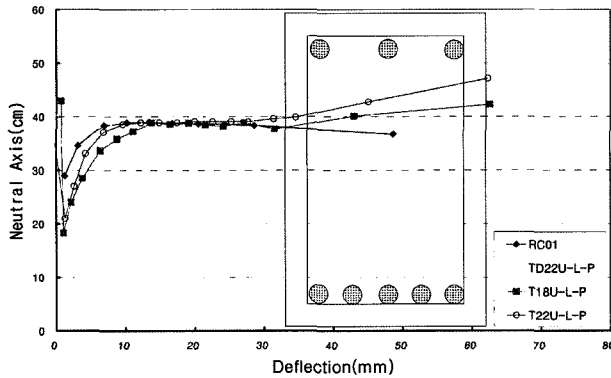


Fig. 22 Comparison of neutral axis for U-L-P

를 파악하기 위하여 동일한 강봉직경에 따라 Low형과 High형을 비교한 것이다. 비교 결과 High형은 Low형에 비해 1.05~1.21배 상승하여 보강 효과가 약간 증대되는 효과를 가져왔지만 그 영향은 예상보다 크지 않음을 알 수 있다.

3.3 중립축 비교

3.3.1 U-L-P형식의 하중에 따른 중립축 비교

Fig. 22는 U-L-P형식의 하중에 따른 중립축을 비교한 것으로, 강봉의 직경 및 강봉의 종류에 따른 전체적인 중립축의 거동은 가력초기 단계에서 일시적으로 중립축이 인장측으로 이동하였다가 중앙부 처짐 값 10 mm를 전후하여 하부인장 콘크리트의 균열발생으로 중립축이 하부 인장면에서 400 mm 위치에서 일정한 상태를 유지하는 거동을 나타내고 있다. 이후 처짐 값 30 mm 근방에서 하부 인장철근의 항복으로 중립축이 상부 압축측으로 급격하게 이동한 후, 최대하중에 도달하고 있음을 알 수 있다. 항복하중 이후 최대하중 도달시까지의 중립축의 이동은 보강강봉의 지름에 선형적으로 비례하여 증가하고 있음을 알 수 있는데, 이와 같은 중립축의 이동경향은 하부 인장측의 인장봉의 보강량에 따라서 큰 영향을 받고 있음을 알 수 있다.

한편, 무보강 실험체의 경우, 보강 시험체와 유사한 거동을 나타낸 후, 항복하중을 전후하여 하부 인장철근의 항복 및 상부 압축 콘크리트의 압괴가 동시에 진행된다면 서 최종적으로는 중립축이 하부 인장측으로 이동하면

최대하중에 도달하고 있음을 알 수 있다.

3.3.3 U형 및 V형식의 하중에 따른 중립축 비교

Fig. 23은 High형식의 실험체 중에서 강봉의 배치형태인 U형 및 V형의 하중에 따른 중립축을 비교하여 나타낸 것이다. 그림에서 점선은 중앙 1점 지지형식인 V형을 나타내며, 실선은 가력점에 2점 지지방식인 U형 실험체를 나타내고 있다. 그림에서 알 수 있듯이, 균열발생 전후 단계 및 항복이후 최대하중에 이르는 전체적인 거동은 강봉의 배치형식에 관계없이 유사하게 나타나고 있지만, 중립축의 위치가 V형식이 U형식에 비해서 초기 균열발생하중, 균열발생 이후에도 상당히 낮게 위치하고 있음을 알 수 있는데, 이는 V형식의 보강방법이 상대적으로 인장철근의 보강에 직접적인 영향을 미치고 있음을 알 수 있다.

4. 결 론

외부 포스트텐션 보강재로서 고장력 인장봉을 사용한 RC보 실험체의 휨실험으로부터 다음과 같은 결론을 도출하였다.

- 1) 강봉을 이용한 RC보의 보강공법은 강성의 경우 균열 전의 강성에는 큰 영향을 미치지 않았지만 균열 후의 강성을 증가시키는 효과를 가져왔으며, 강도의 경우에는 무보강 RC실험체 대비 항복강도 32~82%, 최대강도 54~112%의 향상을 가져와 강도측면에서 보강효과가 대단히 우수한 것으로 나타났다.
- 2) V-H-R 타입 강봉보강 실험체도 무보강 실험체에 비해서 강성, 내력 및 전단보강효과 등 구조성능이 현저히 증가하였으나, U-H-R 타입에 비해서는 그 성능이 약간 저하하는 것으로 나타났다.
- 3) 건축물의 층고를 고려해서 보강깊이(d_p)를 줄인 U-L-P 타입 강봉보강 실험체의 경우도 강성, 내력, 보강효과 및 변형능력은 U-H-P 타입 실험체와 거의 유사하게 우수한 성능을 나타냈다.
- 4) 강봉 대신 철근을 사용해 경제적으로 유리한 TDU-L-P 타입의 경우에도 그 성능이 강봉 보강 정도의

우수한 구조성능을 나타내었다. 이러한 결과는 시 각적 효과를 중시하지 않는 천정마감이 있는 보의 보강에 철근을 사용하면 강봉과 동일한 성능을 확보할 수 있을 것으로 판단된다.

참고문헌

1. 민락기, 오창열, “포스트텐셔닝을 이용한 기존 구조물 보강”, 콘크리트학회지, Vol.8, No.4, 1996. 8, pp.65~75.
2. 박용걸, 박영훈, 이승용, “외부 후 긴장 공법을 이용한 강합성보의 보강에 관한 연구”, 한국강구조학회 논문집, Vol.12, No.5, 2000. 10, pp.549~558.
3. 문정호, 박성운, “포스트텐션 바닥한 시스템의 설계와 공법·시공 사례”, Midas 구조기술강좌, 2004. 2, pp.21~27.
4. 신경재, 김남형, “외부 포스트텐션 시스템용 정착부의 실험적 연구”, 대한건축학회 논문집(구조계), 21권 12호, 2005. 12, pp.51~60.
5. 한국건설교통기술평가원, “고장력 인장봉과 인장력 측정장치를 이용한 건축구조물 보강방법 개발”, 2003년 연차 실적보고서, 2004. 10.
6. 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, Sep.-Oct., pp.641~651.
7. Naaman, A. E. and Alkhairi, F. M., “Stress at ultimate in unbonded post-tensioning tendons: part 2- proposed methodology”, *ACI Structural Journal*, Vol.88, No.6, 1991, Nov.-Dec., pp.683~692.
8. 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, May-Jun., pp.305~312.
9. Harajli, M., Khairallah, N., and Nassif, H., “Externally prestressed members: evaluation of second-order effects”, Vol.125, No.10 1999, Oct., pp.1151~1161.
10. Harajli, M. H., “Strengthening of concrete beams by external prestressing”, *PCI Journal*, Vol.38, No.6 1993, Nov.-Dec., pp.76~88.
11. 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, Jan.-Feb., pp.62~82.

요 약 철근콘크리트 구조물의 외부 비부착 보강방식은 다른 보강기법과 비교하여 설치가 빠르며 간단하다는 장점을 가진다. 고장력 인장봉을 사용한 보강방식은 강판 또는 탄소섬유쉬트 부착공법과는 달리 설치를 위한 콘크리트 표면가공이 필요치 않고 환경적인 조건에 영향을 받지 않는다. 본 연구를 통해 개발된 보강방식은 정착핀 또는 정착판을 통하여 보의 단부에서 고장력 인장봉과 RC보를 연결하는 보강방식이다. 여기에 편심기를 통하여 외부보강 강봉이 RC보의 곡률에 대응하도록 하였다. 본 논문에서는 보강된 RC보에 관한 총 10개의 실험체 제작하여 실험을 실시하였다. 실험의 주요 변수는 보강재료의 직경, 강봉 보강의 깊이와 개수이다. 본 논문에서는 본 연구를 통하여 개발된 보강공법으로 보강된 RC보의 구조적 거동을 기술하였으며, 보강된 RC보의 실험 결과를 무보강 실험체와 비교하였다. 실험결과 제안된 보강방법은 무보강 실험체와 비교하여 매우 우수한 강도 증진효과를 나타내었고 편심장치의 사용은 효율성을 향상시켰다. 또한, 두개의 편심기를 사용한 실험체는 1개의 편심장치를 사용한 실험체에 비해 모멘트 성능이 우수하였고, 외부보강 강봉은 보의 휨강도 뿐만 아니라 전단강도를 향상시키는 결과도 가져왔다.

핵심용어 고장력 인장봉, 편심기, 프리스트레스, 포스트텐션, 비부착 강봉