

# 아웃케이블 공법을 적용한 프리스트레스 철근콘크리트 보의 휨보강 성능

## Flexural Strengthening Capacities in Prestressed concrete Beams Applied to Outcable technique

박 완 신\* 윤 현 도\*\* 한 병 찬\*\*\* 황 선 경\*\*\*\* 임 재 형\*\*\*\*\* 문 정 호\*\*\*\*\*  
Park, Wan-Shin Yun, Hyun-Do Han, Byung-Chan Hwang, Sun-Kyung, Lim, Jea-Hyung, Moon, Jeong-Ho

### Abstract

A strengthening technique for reinforced concrete beams using external unbonded reinforcement offers advantages in speed and simplicity of installation over other, established, strengthening techniques. The purpose of this paper is to investigate the capabilities of a new retrofitting technique, namely external prestressing out cable, for flexural strengthening of beams. The paper provides a general description of structural behavior of beams strengthened using the technique. Results of four physical tests on strengthened reinforced concrete beams are reported and compared. It is shown that the technique can provide greater strength enhancement to lightly reinforced sections and that provision of deflectors enhances efficiency.

### 1. 서론

철근콘크리트 구조물은 사용 중 수축 및 진동, 구조설계 또는 시공상의 오류, 구조물의 노후화, 과다하중, 강도 저하 등 여러 요인들에 의하여 손상을 경험하며 보수·보강의 필요성이 제기된다. 손상된 콘크리트 구조물을 보수·보강하는 방법으로는 에폭시 주입법과 에폭시, 철판을 이용한 철판 압착 보강법, 복합재료(탄소섬유, 아라미드 섬유 등)의 부착법 및 프리스트레스 보강법 등이 있다. 전술한 보강방법 중 에폭시 보강 재료는 접착력이 뛰어나고 내화학적 및 내수성이 높아 광범위하게 사용되고 있는 반면, 그 효율성이 극히 제한되어 있으며 재료성능 표에 언급되어 있는 내용을 그대로 사용하고 있는 실정이다.

철판 압착 보강방법은 사용 중인 구조물을 상대적으로 신속하게 보강할 수 있으며 보강 후 부재크기의 변화가 매우 적고, 건축구조물의 인장, 압축, 전단부위 등 광범위하게 콘크리트 표면에 시공된다는 장점이 있는 반면, 열을 취급하는 공간의 부재 보강 또는 화재에 대해서는 불리한 보수보강법이라 할 수 있다.

이러한 문제점 때문에 최근 국내에서는 손상된 부재를 원상으로 회복하면서 보강할 수 있는 프리스트레스 보강공법에 대한 관심이 고조되고 있다. 기존의 포스트텐션 공법을 손상된 부재를 보강하기 위하여 직접 사용하는 경우에는 손상되지 않은 구조부재에 추가적으로 구조적인 손상이 발생할 수 있으므로, 인접부재에 손상을 주지 않는 새로운 형태의 부분 프리스트레스 공법에 관한 개발 및 성능평가가 요구된다.

그러므로 본 연구에서는 기존 프리스트레스 공법 및 아웃케이블 공법에 적용한 H형 보에 관한 실험적 연구를 수행하여 거동 및 강도 특성을 규명함으로써 구조적인 성능을 평가하고자 한다.

### 2. 실험

#### 2.1 시험체 계획

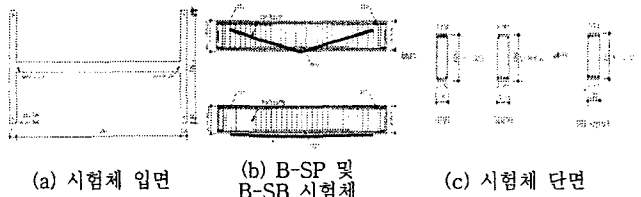
- \* 충남대학교 건축공학과 대학원 박사과정
  - \*\* 충남대학교 건축공학과 교수, 공박
  - \*\*\* 충남대학교 건축공학과 강사, 공박
  - \*\*\*\* 우송대학교 강의전담교수, 공박
  - \*\*\*\*\* 우송공업대학 건축공학과 교수, 공박
  - \*\*\*\*\* 한남대학교 건축공학과 교수, 공박
- 본 연구는 (주)보우 텍카보넥스 지원에 의한 연구결과물의 일부임

본 연구에서는 기존 포스트텐션 공법과 아웃 케이블 공법의 구조성능을 규명하기 위한 것으로 시험체는 부착 긴장재를 갖는 부재로 설계하였으며,  $\Phi M_n > 1.2M_{cr}$ 을 만족하도록 하였다. 시험체 일람 및 상세는 각각 표 1 및 그림 1과 같다.

표 1. 시험체 일람

시험체명	Load Block	$F_{se}$	보강방법	$L/d_n$	보강비	보강재 크기
B-SZ	-	-	무보강	-	0.152	-
B-SP	D:80ea L:50ea	D: T=6.70t/ea L: T=1.82t/ea	기존 포스트텐션	11.4 ( $d_n=46.5cm$ )	0.162	2- $\Phi$ 127
B-SB	D:80ea L:50ea	D: T=1.79t/ea L: T=0.49t/ea	아웃케이블	12 ( $d_n=45cm$ )	0.112	4-3연선
B-ST	Oil Jack	T=16t/ea (30 ton)	기존 포스트텐션	11.4 ( $d_n=46.5cm$ )	-	5- $\Phi$ 15.2

\* Note : 1. Load Block은 500x500x15mm 철관을 의미  
2.  $F_{se}$ 는 유효프리스트레스이며 Jacking Force는 예비 프리스트레싱 실험에 의해 결정



(a) 시험체 입면 (b) B-SP 및 B-SB 시험체 (c) 시험체 단면  
그림 1 H형 보 시험체 상세

### 2.2 정착구 및 긴장장치

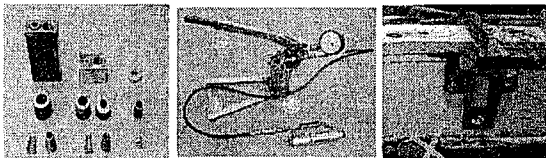
포스트텐션 부재의 휨실험에서는 부재의 외부에 정착구(wedge set)를 이용하여 긴장재에 긴장력을 유지시켜 주어야 한다. 정착구는 그림 2(a)에 나타난 바와 같이 쐐기와 고정구로 구성되어 있으며 독일에서 생산되는 제품을 사용하였다. 긴장장치는 그림 2(b)의 긴장력을 정확하게 가력할 수 있는 장치로 결정하였는데, 독일 Paul사에서 제작된 소형 긴장장치로 6tonf~20tonf(61kN~204kN)용량의 수동펌프를 사용하였으며 로드셀 설치상황은 그림 2(c)와 같다.

### 2.3 재료시험

시험체에 사용된 긴장재는  $\Phi 6mm$ 인 3연선(3-wire strand)으로 단면적은  $0.1982cm^2$ 이며 KS D 7002(ASTM A 416)와 PTI 위원회의 규정에 따라 국내의 K제강에서 생산되는 제품으로서 제작사 제시 자료를 참고하였다. 철근 및 콘크리트의 기계적 성질은 표 2 및 표 3과 같으며 철근, 콘크리트 및 긴장재의 응력-변형을 곡선은 그림 3(a), (b) 및 (c)와 같다.

### 2.4 실험방법

시험체에 도입하는 유효프리스트레스는 소정의 각각 응력이 시험체에 작용할 수 있도록 단부에서 긴장력을 수회에 걸쳐 가력하였으며, 크기는 단부에 설치되어 있는 긴장력 측정용 로드셀 값으로 결정하였다. 하중의 가력은 그림 4에 나타난 바와 같이 보의 상부에서 1,000kN(100tonf)용량의 오일잭을 이용하였다. 실험의 종료는 최대하중



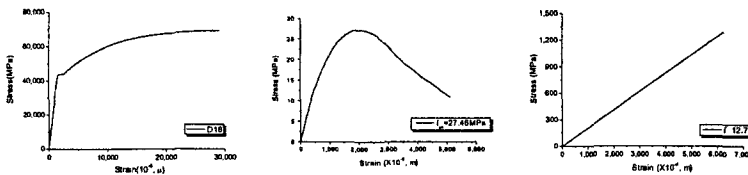
(a) 정착구 상세 (b) 긴장장치 (c) 로드셀 설치상황  
그림 2 정착구 및 긴장장치

표 2 철근의 기계적 성질

종류	항복강도, $\sigma_y$ (MPa)	인장강도, $\sigma_u$ (MPa)	항복변형, $\epsilon_y$ ( $\times 10^{-3}$ )	인장변형, $\epsilon_u$ ( $\times 10^{-3}$ )	탄성계수, $E_s$ (GPa)
D10	354.71	478.37	2,320	16,700	150
D16	414.43	541.23	2,710	15,700	150

표 3 콘크리트의 기계적 성질

콘크리트 압축강도, $f_{cu}$ (MPa)	극한변형률, $\epsilon_u$ ( $\times 10^{-3}$ )	콘크리트 탄성계수, $E_c$ (GPa)
27.46	5.130	23.9



(a) 철근 (b) 콘크리트 (c) 긴장재

그림 3 응력-변형을 관계곡선



그림 4 세팅상황

이후 가력하중이 감소될 때와 긴장재의 응력이 항복하중에 근접될 때로 설정하였다.

### 3. 실험결과

#### 3.1 파괴양상

그림 5는 H형대를 갖는 보 시험체의 파괴양상을 나타낸 것이다. 그림 5(a)의 B-SZ 시험체 파괴양상은 최대 휨모멘트가 발생된 보 중앙의 하부에서 초기 휨균열이 집중적으로 발생한 후 하중이 증가됨에 따라 점차적으로 중앙하부의 휨균열은 상부로 진전되는 양상을 보였으며 인장철근의 항복 이후 중앙부에서 부근에서 휨균열이 사인장 균열로 전이되는 휨-전단균열이 발생하였고 최대하중시 콘크리트 압축연단에서 압축파괴가 발생하여 피복이 박리되어 급작스럽게 파괴되는 취성적인 양상을 보였다. 그림 5(b)의 B-SP 시험체 파괴양상은 예상파괴하중의 60%로 선재하(preloading)하였으며 최대 휨모멘트가 발생하는 보 중앙의 하부에서 초기 휨균열이 발생한 후 하중이 증가됨에 따라 점차적으로 균열이 양쪽 단부로 고르게 퍼져나갔으며, 하중이 증가됨에 따라 중앙부와 단부 사이에서 발생한 휨균열이 전단균열로 전이되는 휨-전단균열이 발생하였다. 이후 중앙하부의 인장철근은 항복하였고 중앙 하부의 균열폭은 넓어졌으며 균열은 급작스럽게 상부로 진전하였고 최대하중 도달시 콘크리트 압축연단에서 압축파괴가 발생하여 파괴되는 양상을 보였다. 그림 6(c)의 B-SB 시험체 파괴양상은 선재하(preloading)시 최대 휨모멘트가 발생하는 보 중앙의 하부에서 초기 휨균열이 발생한 후 하중이 증가됨에 따라 점차적으로 균열이 양쪽 단부로 고르게 퍼져나갔다. 특히, B-SP 시험체에서 발생하는 휨-전단균열이 거의 발생하지 않았으며 중앙하부의 인장철근 항복시, 중앙 하부의 균열폭이 넓어지고 균열은 급작스럽게 상부로 진전하였다. 최종하중시 콘크리트 압축연단에서 압축파괴가 발생하였으며, 실험종료까지 균열이 단부 부근으로 진전되었다. 그림 (d)의 B-ST 시험체 파괴양상을 나타낸 것으로 도입되는 긴장력에 의해 인접부재에 미치는 영향을 검토하기 위하여 제작되었으며 사용된 긴장재에 긴장력이 도입되었음에도 불구하고 인장력이 발생하는 부분(단부지점과 정착단부 사이)에서는 균열이 발생하지 않았다.

#### 3.2 하중-변위 관계

그림 5는 보강유무와 보강방법에 따른 H형 보의 하중-변위 관계 곡선을 나타낸 것이다. B-SZ 시험체의 경우, 초기휨균열 발생시 강성은 0.68로 나타났다. 초기 휨균열 발생 후 강성이 감소하여 철근항복시 강성은 0.42로 초기 휨균열 발생시 강성에 비해 38.24% 감소하였다. 철근항복이후 부재는 강성이 급격하게 감소하였고, 상당히 큰 처짐을 유발하며 연성적으로 거동하는 것으로 나타났다. B-SP 시험체의 경우, 초기 휨균열 발생시 강성은 0.73로 나타났다. 철근항복시 강성은 0.62로 초기 휨균열 발생시 강성에 비해 12.33% 감소하였다. 철근항복이후 부재는 강성이 급격하게 감소하였고 상당히 큰 처짐을 나타냈으며 최대하중 20.21tonf에 도달한 후 내력이 급격하게 감소하여 콘크리트 압축연단에서 압축파괴가 발생하여 취성적인 경향을 보였다. B-SB 시험체의 경우, 초기 휨균열 발생시 강성은 0.72로 나타났다. 초기 휨균열 발생 후 강성이 감소하는 경향을 보였으며 철근항복시 강성은 0.26으로 초기 휨균열 발생시 강성에 비해 63.89% 감소하였다. 철근항복이후 부재는 강성이 급격하게 감소하였고 상당히 큰 처짐을 유발하며 연성적으로 거동하는 것으로 나타났다. 또한, B-SB 시험체의 경우, 초기 휨균열발생

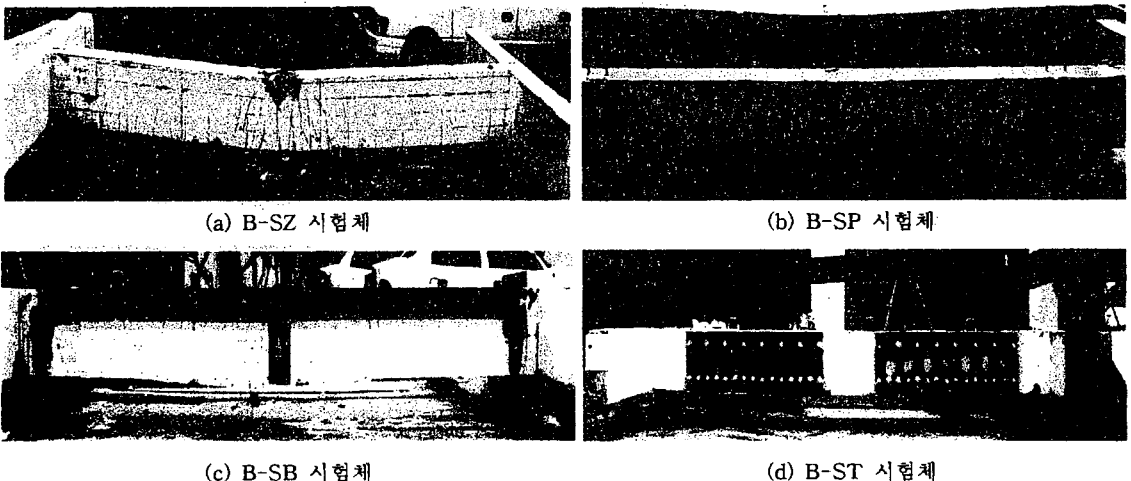


그림 5 파괴양상

시 강성, 철근 항복시 강성은 B-SP 시험체에 비하여 0.99배로 나타났고, 항복하중 및 최대하중은 각각 3.47%, 7.97% 감소하는 것으로 나타났다. 그러나 최종파괴의 형태에서는 B-SP가 압축측 콘크리트의 압괴파괴인 것에 비하여 B-SB는 긴장재가 항복응력에 도달하는 인장파괴의 형태를 나타냈다. 따라서 실험결과에 의하면 항복내력인 설계내력으로 비교할 때 두 공법의 성능은 동일한 것으로 판단할 수 있으나, 최대내력이 B-SP보다 B-SB가 작은 이유는 긴장재를 지지하는 중앙부 새들이 뽑히는 현상이 조기에 발생하고 있었기 때문인 것으로 사료된다. 이 때문에 아웃 케이블 공법으로 보강할 경우에는 긴장재를 지지하는 중앙부 새들의 시공상태를 보완하는 것이 바람직하다고 사료된다.

### 3.3 긴장력-변형을 관계

그림 7은 보 시험체(B-ST)의 최대하중시 인장변형률을 나타낸 것으로 변형률은 약  $50 \times 10^{-6}$  strain이고 단부구속의 상태는 긴장력이 증가하면서 미소하지만 그림 8에 나타난 바와 같이 단부회전변위가 계속적으로 증가하는 것으로 나타났다. 따라서 균열발생이 가능한 콘크리트 변형률  $140.2 \times 10^{-6}$  strain보다 작게 나타났으므로 균열이 발생하지 않음을 알 수 있다.

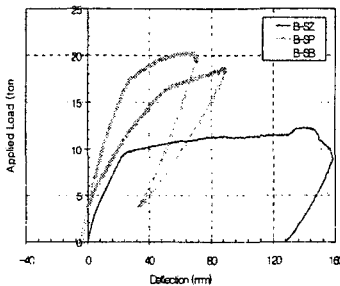


그림 6 하중-변위 관계 곡선

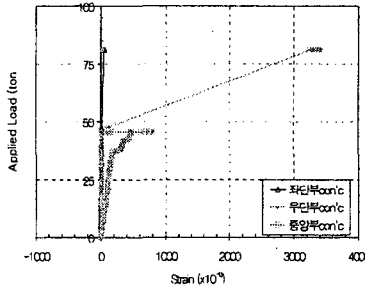


그림 7 B-ST시험체의 긴장력-변형률

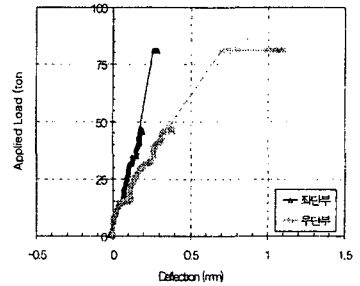


그림 8 B-ST 시험체의 긴장력-단부회전각

## 4. 결론

1. B-SZ 시험체 파괴양상은 최대 휨모멘트가 발생된 보 중앙의 하부에서 초기 휨균열이 집중적으로 발생한 후 하중이 증가됨에 따라 점차적으로 중앙하부의 휨균열은 상부로 진전하여 휨 전단균열이 발생하였고 최대하중시 콘크리트 압축연단에서 압괴가 발생하여 급작스럽게 파괴되는 취성적인 양상을 보였다. B-SP 시험체의 파괴양상은 B-SZ시험체의 파괴양상과 유사하나 균열을 보 경간 전체에 걸쳐 분산시키는 효과를 보였고 B-SB시험체의 파괴양상은 B-SP시험체의 파괴양상과 유사하나 하중작용시 휨-전단균열이 거의 발생하지 않았다.
2. B-SB 시험체의 경우, 초기 휨균열 및 철근 항복시 강성은 B-SP 시험체에 비하여 0.99배로 나타났고, 항복하중 및 최대하중은 각각 3.47%, 7.97% 감소하는 것으로 나타났다. 이는 긴장재를 지지하는 중앙부 새들이 뽑히는 현상이 조기에 발생하고 있었기 때문인 것으로 사료된다.
3. 보 시험체(B-ST)의 최대하중시 인장변형률 약  $50 \times 10^{-6}$  strain이고 단부구속의 상태는 긴장력이 증가하면서 미소하지만 단부회전변위가 계속적으로 증가하는 것으로 나타났으며 균열발생이 가능한 콘크리트 변형률  $140.2 \times 10^{-6}$  strain보다 작게 나타나 균열이 발생하지 않음을 알 수 있다.

### 참고문헌

- [1] 한국콘크리트학회·대한건축학회, "건설교통부 제정 콘크리트구조설계기준", 기문당, 1999.
- [2] ACI committee 318, "Building Code Requirements for Reinforced Concrete(318-95) and Commentary(ACIR-99)." American Concrete Institute, Farmington Hills, Mich., 1999.
- [3] Machida Atsuhiko, Bamrungwong Chakree, "Flexural Behaviour of Two-Span Partially Continuous Prestressed Concrete Beam with External Tendons.", International Association for Bridge and Structural Engineering (IABSE) Colloquium, Concrete Model Code for Asia, Structural Concrete: Design, Materials and Construction, and Maintenance, Phuket-Thailand, March 17-18 1999, pp. 191-196.
- [4] A. Ghallab and A. W. Beeby, "Deflection of prestressed concrete beams externally strengthened using Parafil ropes.", Magazine of Concrete Research, Vol.55, No.1, Feb. 2003, pp. 1-17.
- [5] J. Cairns and S. F. A. Rafecqi, "Analysis of reinforced concrete beams strengthened by external unbonded bars.", Magazine of Concrete Research, Vol.54, No.2, Apr. 2002, pp. 141-153.
- [6] Freyermuth, C. L., "Rational application of the elongation tolerance for post-tensioning tendons." ACI Journal, Nov.-Dec., 1991, pp 730-737.
- [7] Park, R., "Ductility Evaluation from Laboratory and Analytical Testing State of the Art Report," Proceedings of Ninth World Conference on Earthquake Engineering, V. VII, Tokyo-Kyoto, Japan, Aug. 1988, pp. 605-616.
- [8] Abrams, D., "Laboratory Definitions of Behavior for Structural Components and Building Systems," Earthquake-Resistance Concrete Structures: Inelastic Response and Design, SP-127, S. Ghosh, ed., American Concrete Institute, Farmington Hills, Mich., 1991, pp. 91-152.