

# 외부 프리스트레싱과 탄소섬유판을 결합한 콘크리트 구조물 보강

## Strengthening of Concrete Structures with External Post-Tensioning and CFRP Strips

임 동 환\* 박 성 환\*\* 김 용 일\*\*

Lim, Dong Hwan Park, Sung Hwan Kim, Yong Il

### ABSTRACT

Carbon fiber reinforced polymer(CFRP) have superior mechanical and chemical properties in comparison with conventional materials. And post-tensioning method has been used for structural reinforcement of RC structures due to easy installation and good effect of resisting capacity of structures. But the higher cost of CFRP and the loss of prestressing force with time are considered the major problems to use it. In this study, CFRP Strips and external post tensioning for rehabilitation of old concrete structures were adapted and optimal combination of these methods is considered. A total of 17 concrete members were made and tested. The types and numbers of CFRP strips and post-tensioning types were selected as major test variables. From test results, it is shown that the concrete members that post tensioned and bonded CFRP strips has a pronounced effect on the strength and deformational behavior. This present study indicates that external temporally post tensioning can reduce the amount of CFRP strips required and the combination of temporally post tensioning and CFRP strips may meet the strength and ductility requirements of old structures.

### 1. 서론

최근 들어 국내외에서는 탄소섬유판(CFRP Strips)으로 보강된 철근콘크리트 부재에 대한 실험 및 해석적인 연구가 다양하게 수행되어져 왔다. 탄소섬유판(CFRP Strips)으로 보강된 철근콘크리트 부재는 휨 및 전단 강성 등의 역학적 성능이 현저하게 개선되며, 노후 구조물의 저항능력을 2배 이상까지 향상시키는 것으로 보고되고 있으며, 이 탄소섬유판 외부 보강 방식은 차세대 보수·보강 기법으로 세계적으로 널리 인식되고 있는 실정이다. 그러나 위 방법으로 보강을 한다 하더라도 노후화로 인한 처짐을 방지할 수 없으며, 이미 발생한 처짐 및 균열 상태에서 더 이상의 균열 진전 및 처짐을 방지하는 목적으로 사용되고 있다. 따라서 본 연구에서는 외부 프리스트레싱 기법을 이용하여, 기 발생한 처짐 및 균열 상태를 회복하고, 탄소 섬유판을 부착하여 노후 구조물에 적용할 수 있는 최적의 합리적인 보수·보강 기법 및 장치를 개발함에 목적이 있다.

\* 정회원, 동서대학교 건설공학부 토목공학 전공 부교수

\*\* 정회원, 동서대학교 대학원 토목공학 전공 석사과정

## 2. 탄소섬유판 및 외부 프리스트레싱 강연선으로 보강된 철근콘크리트 부재의 휨 거동 실험

### 2.1 실험 부재

본 실험 연구에서는 탄소섬유판 보강 실험 부재와 마찬가지로 28일 압축강도가 40MPa이 발현될 수 있도록 배합설계를 수행하여, 길이 3000mm, 폭 200mm, 높이 350mm의 직사각형 보 6개를 현장에서 제작하여 실험을 수행하였으며, 탄소섬유판의 간격 및 탄소섬유판 면적을 주 실험변수로 채택하였다. 표 1은 본 실험에서 채택한 실험 시편의 종류와 실험 변수를 나타낸 것이다. 본 실험에서는 사용된 철근은 2D16(SD40)이며, 전단철근은 D13을 사용하였다. 그림 1은 본 실험에서 사용된 실험부재의 배근도를 각각 나타낸 것이다.

표 1 실험부재 및 실험변수

Specimens	CFRP			Prestressing	
	Type	Numbers	Length	Force	Type
CON -0 - N	—	—	—	—	—
EPR -0.00 - C	—	—	—	5 ton	Curved
CPA1 -0.90 - C	A (B = 50mm)	1	0.9L	5 ton	Curved
CPA2 -0.90 - C	A (B = 50mm)	2	0.9L	5 ton	Curved
CPB1 -0.90 - C	B (B = 100mm)	1	0.9L	5 ton	Curved
CPA2 -0.65 - C	A (B = 50mm)	2	0.65L	5 ton	Curved

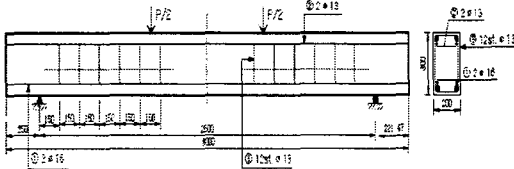


그림 1 실험부재의 배근도

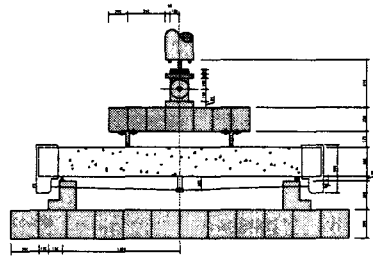


그림 2.9 실험장치도

### 2.2 실험방법

본 실험에서는 탄소섬유판을 부착하기 이전에 프리스트레싱 긴장력을 외부에서 도입하여 균열 및 처짐을 회복하고 난 이후 탄소섬유판을 부착하여 보강을 수행하였다. 본 연구에서는 직경 mm의 제 7강연선을 이용하여 초기 외부 프리스트레싱을 도입하였으며, 부재의 균열 및 처짐을 회복할 수 있는 하중을 계산하여 이를 도입하였다. 계산 결과 위 균열을 제어하기 위한 프리스트레스 긴장력은 약 3ton으로 계산 되었으며, 모노 프리스트레스 인장기를 통하여 하중을 도입하였다. 본 실험에서는 탄소 섬유판 부착 실험에서와 마찬가지로 500KN 용량의 유압 액츄에이터(Hydraulic Actuator)를 사용하여 4점 재하방식으로 하중을 단계적으로 제하하였다.(그림 2), 각 실험부재에는 변위계(LVDT), 콘크리트

스트레인게이지, 철근 스트레인게이지, 탄소섬유판 스트레인게이지 및 다이얼게이지 부착하여 변형을 및 변위 등을 분석하였다. 위 측정값은 Data Aquisition Software를 통해 처리 분석되었다.

### 3. 탄소섬유판 및 외부 프리스트레스 강연선으로 보강된 철근콘크리트 부재의 휨 거동

#### 3.1 보의 극한강도

표 2 는 본 실험에서 사용된 부재의 균열 및 극한 강도를 나타낸 것으로서, 외부 프리스트레싱의 효과 및 탄소섬유판의 보강 면적 및 보강 폭에 따라 극한 강도는 매우 다른 양상을 나타내고 있다.

표 2 본 실험에서 사용된 부재의 균열 강도 및 극한 강도

Specimen	Compressive (MPa)	Cracking (KN)	Ultimate (KN)	Failure Mode
CON-0-N	280	27.44	112.67	Fracture
EPRA-0.00-C	280	27.44	201.23	Fracture
CPA1-0.90-C	280	49	206.07	Debonding
CPA2-0.90-C	280	82.32	249.43	Debonding
CPB1-0.90-C	280	58.8	253.10	Debonding
CPA2-0.65-C	280	82.32	201.65	Debonding

위 표 에서 볼 수 있듯이, 외부 프리스트레싱에 의한 휨 보강 효과는 매우 우수하며, 이러한 외부 프리스트레싱에 의한 기존 균열의 회복 및 처짐에 대한 회복 효과는 매우 우수한 것으로 나타났다. 또한 위 외부 프리스트레싱을 한 이후 탄소섬유판을 부착했을 때에는 휨보강 효과가 매우 탁월하여 프리스트레싱으로 처짐을 회복하고 그 이후 탄소섬유판을 부착하는 보강 형태는 역학적으로 그 보강 효과가 탁월하여 매우 우수한 보강 방식으로 사료된다. 또한 탄소섬유판의 보강 면적이 증가 할수록 극한강도는 크게 향상되는 것으로 나타났다. 따라서 전술한 바와 같이 외부 프리스트레싱 방법과 탄소섬유판을 보강하는 혼합식 보강 방식은 역학적 성능 개선 뿐 아니라 미관 및 경제성에 상당한 이점이 있는 것으로 사료된다. 또한 탄소 섬유판의 부착 길이는 전단파괴를 방지하기 위하여 지간의 90% 정도를 부착하는 것이 역학적으로 유리하며, 탄소섬유판의 면적에 따라 극한강도의 증진율은 다소 차이가 있으나 50mm 폭의 섬유판을 여러장 사용하는 하는 것보다 100mm 폭의 섬유판을 사용하는 것이 유리한 것으로 판단된다.

#### 3.2 하중-처짐 관계 특성

그림 3은 본 실험부재의 응력 변형을 특성을 비교하여 도시한 그림으로서, 탄소섬유판 및 외부 프리스트레싱을 혼합하여 보강한 철근 콘크리트 부재는 탄소섬유판으로 보강된 철근 콘크리트 부재보다 훨씬 높은 하중에 이르기 까지 선형구간이 확대 되며, 강성 및 극한 내력이 크게 증진되는 것으로 나타났다. 또한 탄소섬유판이 부착으로 탈락하여 파괴되는 극한상태에 이르기 까지 거의 선형적으로 하중이 증가하며, 보의 탄성계수도 매우 증가하고 있는 것으로 나타났다. 따라서 위와 같이 혼합하여 보강한

철근 콘크리트 보의 파기에 이르기 까지 선형적으로 거동하여 보의 극한내력 뿐 아니라 역학적 거동이 매우 우수한 것으로 나타나고 있다.

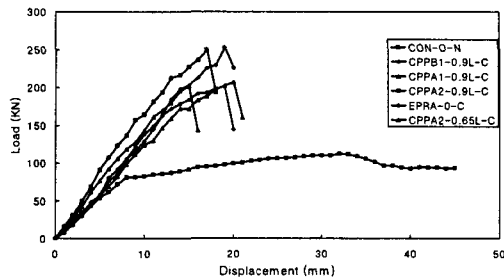


그림 3 각 부재의 응력-변형률 특성 비교

#### 4. 결론

4.1 외부 프리스트레싱 이후 탄소섬유판으로 보강된 철근 콘크리트 부재는 탄소섬유판의 보강면적에 따라 다소의 차이는 있으나 그 극한내력이 253kN으로 나타나 전혀 보강하지 않은 보에 비해 3배 이상의 극한 내력 증진율을 보이고 있으며, 외부 프리스트레싱 만으로 보강한 보에 비해 약 30%의 강도 증진을 나타내고 있다.

4.2 탄소섬유판 및 외부 프리스트레싱은 혼합하여 보강한 부재는 탄소섬유판으로 보강된 철근 콘크리트 부재보다 훨씬 높은 하중에 이르기 까지 선형구간이 확대 되며, 강성 및 극한 내력이 크게 증진되는 것으로 나타났다.

#### 참고문헌

1. Brena, S. F., Bramblett, R. M., Benouaich, M. A., Wood, S. L. and Kreger, M. E., "Use of Carbon Fiber Reinforced Concrete Beams", *Report No. 17761, Center for Transportation Research, University of Texas at Austin*, 1991.
2. Spadea, F., Bencardino, F. and Swamy, R. N., "Structural Behavior of composite RC Beams with Externally Bonded CFRP", *Journal of Composites for construction*, Vol. 2, No. 3, Aug., 1998, pp. 132-137.
3. Buyukozturk O. and Hearing B., "Failure behaviour of precracked concrete Beams retrofitted with FRP", *Journal of Composites for construction*, Vol.2, No. 3, 1998, pp.38-44.
4. El-Mihilmy, M. T., Tedesco, J. W. "Analysis of reinforced concrete beams strengthened with FRP laminates", *Journal of Structural Engineering*, Vol.126, No.6, 2000, pp.6684-91.
5. El-Mihilmy, M. T. and Tedesco, J. W., "Prediction of anchorage failure for reinforced concrete beams strengthened with fiber-reinforced polymer plates", *ACI Structural Journal*, Vol.98, No.3, 2001, pp.2001-14.
6. Teng, J.G., Chen, J. F., Smith, S. T. and Lam, L. "FRP-strengthened RC structures", Chichester, *John Wiley & Sons*, 2002.