

# 프리스트레스를 가한 CFRP판으로 보강한 철근콘크리트 보의 휨성능 개선

## Improvement in Flexure Capacities of Reinforced Concrete Beams Strengthened with Prestressed CFRP Plates

김형수\*, 홍기남\*\*, 우상균\*\*\*, 송영철\*\*\*\*, 한상훈\*\*\*\*\*  
Kim, Hyeong Su Hong, Ki Nam Woo, Sang Kyun Song, Young Cheol Han Sang Hoon

### ABSTRACT

This thesis presents the results of a study on improvement in flexure capacities of reinforced concrete beams strengthened with prestressed CFRP plates. Test variables included the type of strengthening, steel ratio and prestressing level. The experimental results show that proposed methods can increase the flexure capacity such as strength, stiffness of the beam remarkably.

### 1. 서론

최근 들어 시공의 용이성과 내부식성이 뛰어난 탄소섬유보강판(이하, CFRP판)을 구조물에 부착하여 보강하는 보강공법이 현장에서 많이 적용되고 있다. 그러나, 이와 같이 CFRP판을 콘크리트 표면에 부착하는 방법은 단부박리나 계면박리 등의 조기파괴를 유발시킴으로서 보강효과가 기대에 미치지 못하는 경우가 발생한다. 따라서 본 연구에서는 이와 같은 표면부착공법의 문제점을 해결하기 위한 방법으로 프리스트레스를 가한 CFRP판을 단부에 정착시키는 방법을 검토하고자 한다.

### 2. 실험계획 및 방법

#### 2.1 실험계획

실험체는 1종 포틀랜드시멘트와 25mm이하의 굵은 골재를 사용하여 총 12개를 제작하였으며, 실험체에 대한 압축강도의 평균값은 27.0MPa로 나타났다. 그리고, 보강을 위해 사용된 CFRP판은 Swiss S사에서 개발한 두께가 1.4mm인 Laminate 150/2000 제품이며, 본 연구에서 사용한 CFRP판의 폭은 50mm이다. 접착제는 Swiss S사에서 CFRP판 접착을 위해 생산되는 에폭시 레진 220을 사용하였고, CFRP판으로 휨보강된 철근콘크리트 보의 성능 개선효과를 분석하기 위해 그림 1과 같은 실험체를 제작하였으며, CFRP판을 RC 보의 인장부에 부착한 후 실험을 수행하였다. 실험체의 보강은 기준실험체

\*정회원, 충북대학교 토목공학과 석사과정

\*\*정회원, 충북대학교 책임연구원

\*\*\*정회원, 한진 전력연구원 선임연구원

\*\*\*\*정회원, 한진 전력연구원 수석연구원

\*\*\*\*\*정회원, 충북대학교 토목공학과 교수

와 CFRP판을 에폭시를 이용해 표면부착한 방법, 그리고 CFRP판을 프리스트레싱 보강한 방법 등 3가지의 보강방법을 적용하여 실시하였다. 프리스트레싱 보강법의 프리스트레싱 레벨은 0.4%, 0.6%, 0.8%이다. 또한, 인장철근비에 실험변수를 두어 지름이 각기 다른 이형철근을 3개씩 배치하였다.

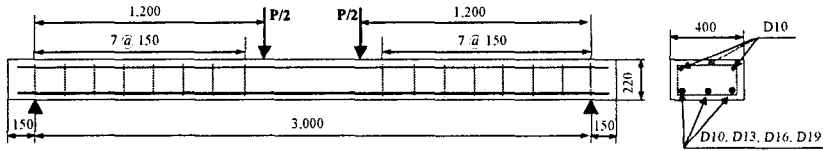


그림 1. 실험체 상세(단위:mm)

### 2.2 보강방법(프리스트레싱 보강하는 경우)

고정단쪽 정착판과 가동단쪽 정착판을 프리스트레싱 전에 콘크리트 모체에 앵커볼트를 이용하여 부착을 시키고, 보의 고정단 정착판에 CFRP판을 고정한 후 에폭시를 보의 하면과 CFRP판에 균일하게 바른 후 압착시킨다. 그 후 CFRP판을 유압장치를 이용하여 프리스트레싱을 가한 후, 가동단쪽 정착판을 고정한다. 이때 프리스트레싱 레벨(CFRP판의 변형률)을 측정하기 위해 CFRP판 중앙부분에 변형률 게이지를 부착하여 변형률 변화를 관찰한다.

### 2.3 실험방법

CFRP판으로 보강한 실험체의 휨실험을 위해 4점 처하방식으로 하였다. 또한, 보의 중앙부에 인장철근과 CFRP판에 게이지를 부착하여 변형률을 측정하였으며, 처짐을 측정하기 위해 변위계를 설치하여 변위 평균값을 취하였다. 또한, 데이터 로거(data logger)를 이용하여 실험체의 최종 파괴 시까지 실험체 중앙부에서의 처짐과 철근, 콘크리트 그리고 CFRP판의 변형률을 하중단계별로 측정하였다.

## 3. 실험결과 및 분석

표 1. 휨 실험결과

실험체	초기균열 (kN)	기준실험체 예상파괴하중(kN)	철근항복 시		최대하중 시			파괴모드
			하중(kN)	처짐(mm)	하중(kN)	처짐(mm)	증가율(%)	
MU-III	11.1	74.3	60.0	18.3	74.1	69.7	-	휨파괴
M0-III	14.0	74.3	74.3	20.2	89.6	35.2	20.6	계면박리
M4-III	32.1	74.3	92.2	22.1	112.7	50.1	51.7	인장파괴
M6-III	33.6	74.3	98.2	22.9	118.4	42.2	59.4	인장파괴
M8-III	39.8	74.3	112.4	25.0	125.1	36.8	68.4	인장파괴
M4-I	29.7	30.3	72.0	22.0	81.7	41.7	169.6	인장파괴
M6-I	31.8	30.3	74.1	20.6	87.3	54.8	188.1	인장파괴
M8-I	35.5	30.3	80.1	21.7	90.6	49.5	199.0	정착판박락
M6-II	39.1	51.7	95.6	23.4	109.2	34.9	111.2	정착판박락
M8-II	35.8	51.7	104.3	28.6	116.3	40.4	125.0	인장파괴
M6-IV	37.0	99.5	137.8	29.2	146.0	36.4	46.7	인장파괴
M8-IV	32.2	99.5	137.1	28.8	151.9	41.4	52.7	인장파괴

M 4 - II  
① ② ③

① : 콘크리트강도,  $f_{ck}$  (M=27.0MPa)

② : 보강방법 및 프리스트레싱 레벨, (U=무보강, 0=표면부착, 4=0.4%, 6=0.6%, 8=0.8%)

③ : 인장철근비, (I=0.30%, II=0.55%, III=0.86%, IV=1.26%)

표 1에 나타난 것과 같이 본 실험에서는 기준실험체로 MU-III 실험체만을 제작하여 실험을 실시하였다. MU-III 실험체에 대한 실험결과와 철근콘크리트 설계식을 이용하여 계산한 휨강도 값을 비교할 때 그 차이가 매우 미소하여 설계식으로도 충분한 정확도를 가지고 무보강 실험체의 휨강도를 예측할 수 있는 것으로 나타났다. 따라서 표 1에 나타난 실험체 중에서 기준실험체가 없는 실험체는 철근콘크리트 설계식을 기준으로 산정한 기준 휨강도 값을 가지고 휨강도 개선효과 등을 평가하여 제시하였다.

### 3.1 보강방법에 따른 영향

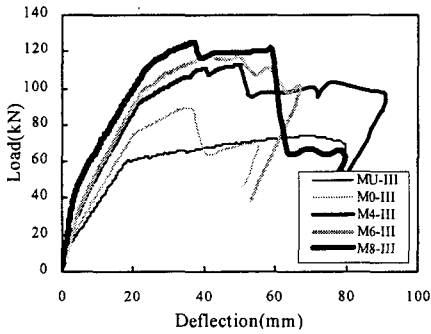


그림 2. 보강방법에 따른 하중-처짐 곡선

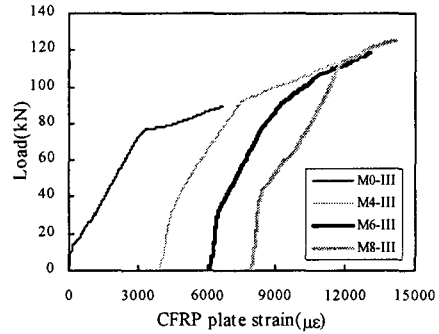


그림 3. 프리스트레싱 레벨에 따른 하중-CFRP판 변형률 곡선

그림 2에서 보는 바와 같이 프리스트레싱 보강방법을 적용하는 경우 다른 보강방법에 비해 극한하중이 크게 증가하며, 표면부착한 경우에 비해 연성이 크게 증가함을 알 수 있다. 그리고, 그림 3에서 보듯이 M0-III에서는 CFRP판의 변형률이 50% 수준까지 성능을 발휘한 것으로 나타났으나, 프리스트레싱 보강하는 경우 CFRP판의 재료성능을 거의 100% 활용할 수 있다는 것을 알 수 있다.

### 3.2 인장철근비에 따른 영향

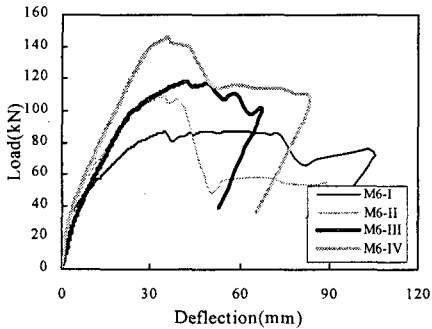


그림 4. 인장철근비에 따른 하중-처짐 곡선

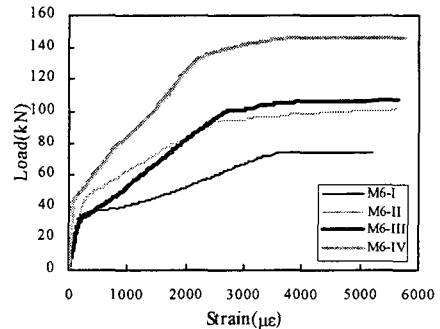


그림 5. 인장철근비에 따른 하중-철근변형률 곡선

그림 4에서는 인장철근비의 증가에 따라 최대하중은 증가하였지만, 동일한 보강방법이라도 CFRP 판의 파괴형태가 달라질 수 있음을 의미하는 것이며, M6-II의 경우는 정착판의 탈락으로 인해 파괴됨으로 연성이 다른 실험체에 비해 상당히 작은 것으로 나타났다. 그림 5에서 실험 시작 시 오차로 인해 일정한 결과를 얻지 못하였지만 철근의 항복시점은 인장철근비에 의해 결정됨을 알 수 있다.

### 3.3 프리스트레싱 레벨에 따른 영향

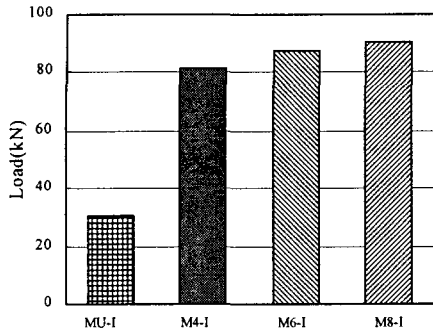


그림 6. 프리스트레싱 레벨에 따른 최대하중 비교(철근비 0.30%)

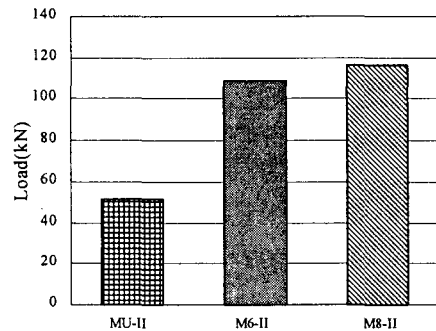


그림 7. 프리스트레싱 레벨에 따른 최대하중 비교(철근비 0.55%)

그림 6과 7은 프리스트레싱 레벨에 따른 최대하중을 비교한 것이다. 인장철근비가 0.30%인 경우가 0.55%의 인장철근비를 가진 경우보다 기준실험체 대비 최대하중 증가율이 크게 나타났다. 그러나, 각 철근비에서 프리스트레싱 보강에 의한 절대 하중 증가량은 거의 동일한 것으로 나타났으며, 이것은 모든 실험체에서 CFRP판의 재료성능이 100% 발휘되는 것이며, 각 실험체에서 CFRP판의 재료성능에 해당하는 휨성능이 증가하였다고 볼 수 있다.

### 4. 결론

본 연구에서는 CFRP판의 보강방법을 달리하여 보강을 수행하였으며, 표면부착 보강한 실험체의 취성적인 파괴를 방지하고 연성거동 확보를 위해 프리스트레싱 보강한 실험체에 대한 휨실험을 통해 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- 1) 프리스트레싱 보강한 경우가 표면부착한 경우보다 휨성능 증대효과가 크게 나타났다. 또한, 표면부착 보강한 경우는 CFRP판의 변형률이 약 0.67%에서 계면박리 파괴가 일어난 반면, 프리스트레싱 보강한 경우는 극한 변형률을 넘어 항복인장강도에 가까운 약 1.3~1.5%에서 파괴됨을 알 수 있었다.
- 2) CFRP판의 프리스트레싱 보강을 통해 콘크리트의 초기균열 발생시점을 상당히 지연시킬 수 있다는 것을 확인할 수 있었고, 프리스트레싱 보강한 경우 프리스트레싱 레벨이 증가함에 따라 파괴하중이 증가하였다. 인장철근비가 작을수록 보강효과가 크게 나타남을 알 수 있었다. 또한, CFRP판의 효과적인 프리스트레싱 보강을 위해서는 앵커볼트의 길이나 보강길이에 요구되는 적정 프리스트레싱 레벨을 결정하는 것이 중요하며, 이는 향후 연구를 통해 정량적인 평가가 가능할 것으로 판단된다.

### 5. 참고문헌

- 1) International Symposium on Latest Achievement of Technology and Research on Retrofitting Concrete Structures, Proceedings and Technical Report on JCI Technical Committee, Japan Concrete Institute, 2003.
- 2) Quantrill, R. J., and Hollaway, L. C., "The Flexural Rehabilitation of Reinforced Concrete Beams by the Use of Prestressed Advanced Composite Plates", Composites Science and Technology, Vol. 58, pp. 1259~1275, 1998.