CFRP 긴장재로 긴장된 부분비부착 콘크리트 보의 피로 성능

Fatigue Capacity of Concrete Beams Prestressed with Partially Bonded CFRP Tendons

정 상 모* 이 차 돈** 박 상 렬*** 정 유 석**** 박 동 원****
Jeong, Sang Mo Lee, Cha Don Park, Sang Yeol Jeong, Yo Sok Park, Dong Won

ABSTRACT

CFRP tendons have been attempted in concrete structures as a substitute for steel tendons considering their many advantages such as the corrosion-resistance, light weight etc. However, the elastic behavior up to failure is likely to result in ductility problems. To overcome such problems, prestress concrete beams with partially bonded tendons have been developed and suggested. In this new system, the un-bonded part near the mid-span contributes to the improvement of ductility. And the bonded parts at both ends play a role as a safe anchorage. According to the previous research on the static behavior, the suggested method has demonstrated enough ductility and strength. However it is essential to verify the long-term safety for repetitive fatigue loads under service states. For this purpose, flexural fatigue loading tests were carried out in this research. This paper includes an experimental investigation on the static load-carrying capacities of the beams with or without fatigue tests. The results showed that the beams prestressed with partially bonded CFRP tendons possessed good fatigue capacity under the constant cyclic loads.

요 약

FRP는 내부식성의 특성을 가지며 가볍고 인장강도가 커서 최근에 강재긴장재 대신 콘크리트 구조물에 활용되고 있다. 그러나 파단 시까지 선형 탄성거동을 하는 FRP는 콘크리트 보에 적용시 취성적인 파괴 경향을 보여준다. 이에 연성확보를 위해 제안된 공법이 부분 비부착 공법이다. 부분비부착공법은 긴장재 일부를 비부착시켜 연성을 확보하고 나머지 부분을 부착시켜 안전하게 정착구 역할을 대신하는 공법으로 본 연구에서 획기적으로 제안한 공법이다. 제안된 공법은 선행 연구 및 실험에 의해 연성거동을 보여 주었다. 하지만 실구조물 적용 시 안전도를 확실히 하기 위해 장기간 사용 하중에 대한 피로 성능을 검증 해야만 한다. 따라서 본 연구에서는 부분 비부착된 보를 제작하여 정적실험 결과와 피로실험 후 정적 실험결과를 비교하여 피로에 대한 정적 능력을 검증하였다. 실험 결과, CFRP로 부분비부착된 프리스트레스 콘크리트 보는 피로하중에 대해 양호한 피로성능을 보여주었다.

*정회원, 한동대학교 교수,**정회원, 중앙대학교 교수,***정회원, 제주대학교 교수,****정회원, 한동대학교 대학원

1. 서 론

FRP는 우수한 비부식성, 높은 인장강도, 경량성으로 인해 강재 긴장재의 대체 재료로 주목 받고 있다. 하지만 재료가 파단 될 때 까지 선형-탄성 거동으로 인해 FRP긴장재가 적용된 구조물은 연성 문제를 야기 시킨다. 이러한 연성문제를 극복하기 위해 제안된 공법이 비부착 공법이다. 비부착한 긴장재는 위험단면의 거동에 따라 변형하는 부착 긴장재와 달리 부재 전 길이의 거동에 따라 평균적으로 변형하므로 취성 파괴를 방지 할 수 있다. 선행 연구에서도 이와 같은 결과를 보여준다. 하지만 완전 비부착 공법은 정착구 부분에 대한 안전성이 확보되어야하는 부담감이 존재 한다. 이에 따른 부담을 줄여 주기위해 제안된 것이 부분 비부착 공법이다. 부분 비부착 공법은 위험 단면에서는 긴장재를 비부착 시켜 연성 효과를 내도록 했으며 단부에는 나머지 긴장재 부분을 부착시킴으로써 정착구 역할을 할 수 있도록 한 새로운 시스템이라고 할 수 있다.

위와 같이 제안된 부분비부착 공법을 실구조물에 적용시 장기간 사용중의 반복하중에 대한 피로성능을 검증 하여야 한다. 이러한 목적으로 정적실험 및 피로실험 후 파괴시까지의 정적실험을 수행하여 피로성능 뿐만 아니라 부분 비부착보의 긴장재 양단의 정착부에서의 피로에 대한 안전도까지 확인하고자 하였다. 선행연구에서도 이미 정적거동 및 일부피로 성능을 평가한 바 있다. 본 논문에서는 공법의 확실한 검증을 위해 추가로 6개의 실험용 프리스트레스 콘크리트 보에 대하여 실시한 정적실험 및 피로실험의 계획, 수행, 결과평가 및 결론 등을 기술하였다.

2. 실 험

2.1. 실험체 제작

실험을 위한 실험체는 총 6개로서 3 Type의 보를 2개씩 제작하여 3개는 정적실험용으로 나머지 3개는 피로실험용으로 계획하였다. 실험체 내용은 완전부착, 부분비부착, 구속여부 등으로 구분하여 표1 에 나타내었다. 실험체 형상은 단면 150x250mm^{2}에 길이 3,000mm로서 그림1 에 구체적으로 표현하였다. 특히 C2PUC 실험체는 과대철근보에 압축부를 구속하여 연성효과를 유도하도록 새롭게 제안한 공법이다.

표 1 실험체 상세

번호	시험체명	재료						보실험체	
		콘크리트	긴장재						
		압축강도 (MPa)	직경	개수	철근비 (ρ/ρ_b)	긴장력	부착여부	web 구속	긴장방식
1	C1FUU	35	9.5	1	1.08	0.45	완전비부착	비구속	포스트텐션
2	C1PUU	35	9.5	1	1.26	0.33	부분비부착	비구속	프리텐션
3	C2PUC	35	9.5	2	2.47	0.35	부분비부착	구속	프리텐션

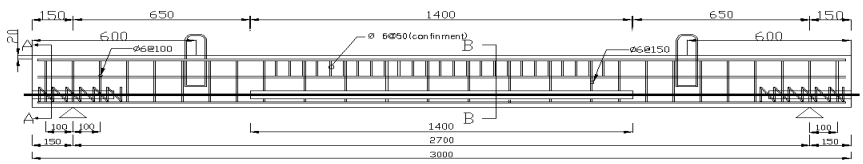

그림 1 부분 비부착 실험체 형상 (C2PUC)

2.2. 실험 수행

피로실험을 위해서는 반복하중의 규모 및 반복 횟수를 선정하여야 한다. 재하하중 반복횟수 기준에 대하여는 본 실험 자체가 향후 실구조물 규모의 실험에 대비한 소형 실험체의 예비실험 성격이므로, 실구조물 재하횟수의 1/2인 100만회를 기준으로 선정하였다. 이상과 같은 규모의 반복횟수를 기준으로 피로실험을 수행하여도 소기의 목적은 충분히 달성할 수 있을 것으로 판단하였다.

작용하중 기준으로서 프리스트레스트 콘크리트의 경우 사용하중은 균열하중 이하인 경우가 일반적이다. 세 번째 실험체인 C2PUC의 경우 극한하중이 3점하중의 경우 50 kN 정도이며 균열 하중은 28.4 kN 로 극한하중의 57%정도이다. 이들을 종합적으로 고려하여 작용하중을 예상균열 하중의 60% 수준인 15 kN을 선정하였으며, 최소하중은 1.0 kN 을 기준으로 선정 하였다. 재하하중의 간격은 Actuator의 성능에 에 맞추어 1 kN으로 정하였다. 반복하중의 가력속도는 하중범위가 작다는 점을 고려하여 비교적 빠른 5 Hz로 재하 하였다.

2.3. 실험결과 및 분석

실험체의 피로성능을 검정하기 위해 정적실험값과 피로실험 마친 보의 파괴 시까지의 정적실험값을 비교할 필요가 있다. 이를 목적으로 실험체 C1FUU, C1PUU, C2PUC에 대한 측정 결과를 그림 2, 그림3, 그림4 에 나타내었다.

완전 비부착 보인 실험체 C1FUU의 실험결과인 그림2 에 의하면 100만회 재하 후에도 중앙부 처짐이 1.83mm까지 직선적으로 증가함을 보여준다. 따라서 재하 후에도 처짐 강성 저하가 미소하여 결론적으로는 양호한 피로 거동을 보여준다. 그리고 정착구 부분에서의 슬립이나 부착파괴도 일어나지 않은 것으로 관찰 되었다. 정적실험 한 보와 피로실험 한 보의 결과를 비교 해볼 경우 피로실험용 보가 오히려 더 양호한 성능을 보여 주었다. 그러나 피로실험용보의 파괴모드는 콘크리트 압축파괴가 아니라 인장부 철근의 파단으로 피로현상에 의해 취약해진 것으로 판단되어 실제 적용 시 이를 고려해야 할 것으로 파악되었다.

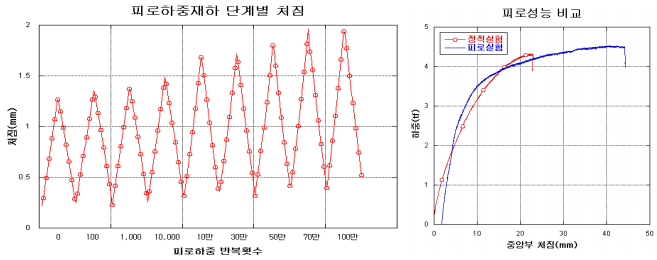

그림 2 C1FUU 피로거동 및 피로성능

부분 비부착 긴장재가 1개인 C1PUU 실험체의 경우 피로 실험 후의 보 중앙부 영구 처짐이 5.26mm이 발생 되었으며 10만회 가력 후 보의 중앙 상단 10cm이하까지 균열진행이 관찰 되었다. 이것은 당초 계획 했던 긴장력이 충분히 도입하지 못했음에 이유를 찾을 수 있다. 그리고 피로 실험 후 정적 실험에서도 피로보의 파괴 형태는 인장 철근의 파단으로 인한 파괴로 관찰 되었다. 하지만 피로실험 중에서도 보가 복원이 되었다는 점, 피로 실험 도중 상당한 균열이 진전 되었지만 파괴는 일어나지 않았다는 점 그리고 정적 실험결과와 피로 실험 이후의 정적실험에서 보여주는 결과가 유사하다는 점에서 C1PUU 실험체의 피로에 대한 성능은 양호 하다고 판단된다.

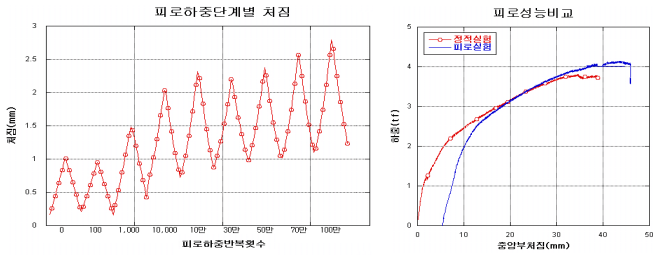

그림 3 C1PUU 피로거동 및 피로성능

부분 비부착 긴장재가 2개인 C2PUC 실험체의 경우 피로 실험후의 영구 처짐이 1.58mm로 가장 작게 측정 되었으며 피로 실험 이후의 정적 실험 결과, 정적실험만 수행한 결과와 가장 흡사하게 거동하였다. 피로실험 후 부분 부착시킨 긴장재 양단의 정착부에 슬립이나 부착파괴 또한 관찰되지 않았으며 파괴 모드 역시 실험수행전 기대 했던 휨 파괴였다. 이에 본 연구에서 제안한 압축부를 구속시킨 과대철근보의 피로성능은 여타 실험체에 비해 매우 양호하게 발휘 되는 것으로 평가 되었다.

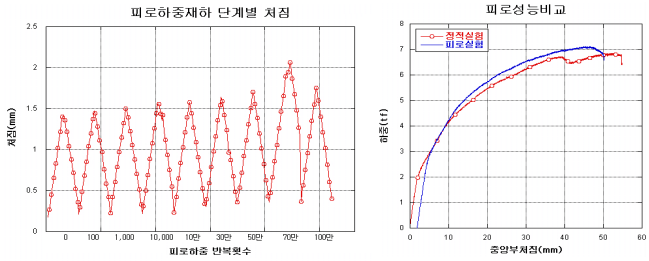

그림 4 C2PUC 피로거동 및 피로성능

3. 결 론

본 실험연구를 통하여 다음과 같은 결론을 얻었다..

(1) C1FUU 및 C1PUU 콘크리트보는 피로 실험후 정적실험에서의 파괴 모드가 휨파괴가 아닌 인장 철근의 파괴로 인한 것으로 관찰 되었다. 이는 인장철근이 피로에 더 취약하며 실제 적용 시 이에 대한 고려가 필요하다..

(2) C2PUC 실험체의 경우 정착부에서의 슬립이나 부착파괴가 관찰되지 않은 점, 정적실험과 피로실험후의 정적실험결과가 유사한 점, 파괴모드가 휨 파괴 모드 였다는 점을 고려 할 경우 본 연구에서 제안한 공법은 피로하중에 대해 매우 양호한 성능을 가지고 있는 것으로 판단된다.

감사의 글

본 연구는 건설교통부 건설핵심기술연구개발사업(2005년~2008년)의 재정적 지원을 받은 “FRP 긴장재의 실용적 활용연구(과제번호:C105A1000005-05A0300-00520)”연구 결과 중 일부로 이에 감사드립니다.

참고문헌

1. 정상모,이차돈,박상렬,조만영,정우태,Ye Kyaw, “CFRP 긴장재로 프리스트레스된 콘크리트보의 피로거동” 구조물 진단학회 학술발표회 논문, 2006