

포스트텐서닝 공법의 프리스트레스트 고강도 빔부재의 균열 및 극한 거동

An Cracking and Ultimate Behavior of Post-tensioned Prestressed High Strength Concrete Beams

이성철*

최영철**

오병환***

Lee, Seong Cheol Choi, Young Cheol Oh, Byung Hwan

ABSTRACT

Although many structures with high strength concrete have been recently constructed, the flexural behavior of reinforced and prestressed concrete beams with high strength concrete is not exactly defined.

This paper presents an experimental study on the flexural strength of the high strength concrete beams. Five large scale beams simply supported were tested and measured. Each beam was loaded by two symmetrical concentrated loads applied at 1.25m from the center of span. The concrete strength, the prestressed force and longitudinal tensile reinforcement ratio vary from beam to beam.

From the experimental tests, the flexural strength from tests is larger than the nominal flexural strength of codes. Moreover, the initial crack-load is affected by the prestressed force and the crack width and spacing are controlled by the longitudinal tensile reinforcement ratio.

1. 서론

RC 및 PSC 빔 부재의 휨 거동 규명 및 휨강도를 산정하기 위해서는 콘크리트의 압축부 응력-변형을 곡선이 필요하며, 따라서 고강도 콘크리트를 적용할 경우 정확한 휨 거동 규명 및 휨강도 산정을 위해서는 고강도 콘크리트의 압축부 응력 블록을 명확히 알아야만 한다. 근래에 콘크리트의 압축강도가 일부 선진외국에서 100MPa 이상까지 사용되고 있어 이를 사용하여 휨부재 설계식을 위한 응력-변형률 곡선의 이상화에 대한 여러 가지 이론들이 제안되어 있지만, 고강도 콘크리트와 초고강도 콘크리트에 대해 명확히 정의되어 있지 않다. 따라서 본 연구에서는 고강도 콘크리트를 적용한 RC 및 PSC 빔부재에 대한 실험을 수행하여 고강도 콘크리트 빔부재의 휨거동에 대해 규명하고자 한다.

*정회원, 서울대학교 지구환경시스템공학부 박사과정

**정회원, 서울대학교 지구환경시스템공학부 공학박사

***정회원, 서울대학교 토목공학과 교수

2. 프리스트레스트 고강도 콘크리트 빔부재의 휨 실험 개요

본 연구에서는 콘크리트 강도와 프리스트레스 양에 따른 대형 PSC 빔의 휨 실험을 바탕으로 휨 거동을 분석하였다. 콘크리트 강도 및 프리스트레스의 영향에 따른 휨거동 분석을 위하여 표 1과 실험변수를 설정하였다. 아래의 그림 1은 실험에 사용된 부재의 단면을 나타내고 있으며, 하중 재하 조건은 아래의 그림 2와 같이 4점 재하 방식을 통해 빔부재의 중앙부에 등모멘트 구간이 2.5m 발생하도록 하였다.

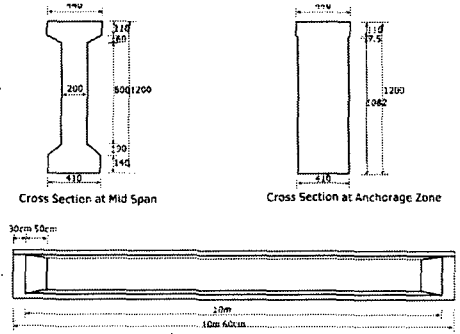


그림 1. 실험 부재 단면도

표 1. 실험변수

변수명	호칭강도 (MPa)	강선 면적 (A_p , cm^2)	강선비 ρ_p (%)	주철근 배근	주철근비 ρ_s (%)	M_n - 도로교 (kN-m)
F40P1	40	5.548	0.176	6×H16	0.377	1336.3
F60P0	60	0.000	0.000	9×H19	0.816	1386.7
F60P1	60	5.548	0.176	6×H16	0.377	1363.0
F60P2	60	8.322	0.263	-	0.000	1425.2
F80P1	80	5.548	0.176	6×H16	0.377	1384.8

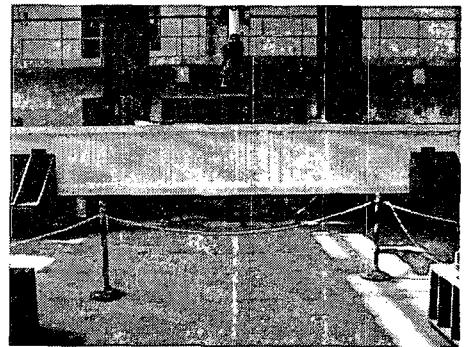


그림 2. 하중재하 모습

3. 프리스트레스트 고강도 콘크리트 빔부재의 휨 실험 결과

3.1 하중-처짐 곡선 및 휨강도 분석

고강도 콘크리트를 적용한 PSC 및 RC 빔부재에 대한 휨실험을 수행한 결과 하중-처짐 곡선은 그림 3과 같다. 그림에서 보듯이 콘크리트 강도가 증가함에 따라 최대 하중이 조금씩 커지는 것을 확인할 수 있으며, 하부 인장 주철근 대신 강선을 도입한 F60P2의 경우, 설계 최대 하중은 거의 비슷하게 하였으나 F60P0 및 F60P1에 비해 조금 작게 나온 것을 알 수 있다. 또한 모든 부재에 걸쳐서 실험 결과에 의한 휨강도가 도로교 설계기준 및 AASHTO LRFD에 의한 계산 결과값보다 크게 나왔다. 그림 4에서 보듯이 콘크리트 강도가 증가함에 따라 고강도 PSC 부재의 휨강도가 증가하는 것을 확인할 수 있으며, 설계 휨강도는 거의 비슷하게 하더라도, 하부 인장철근을 강선, 즉 프리스트레스로 대체할 경우 휨강도가 감소하는 것을 알 수 있다.

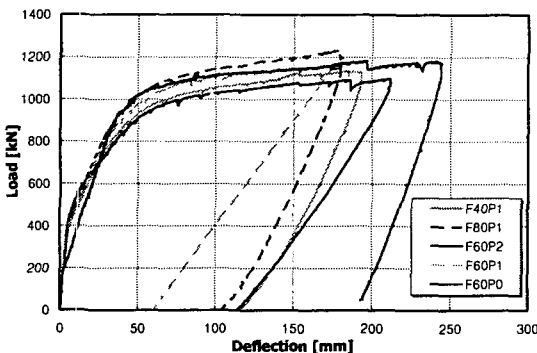


그림 3. 하중-처짐 곡선

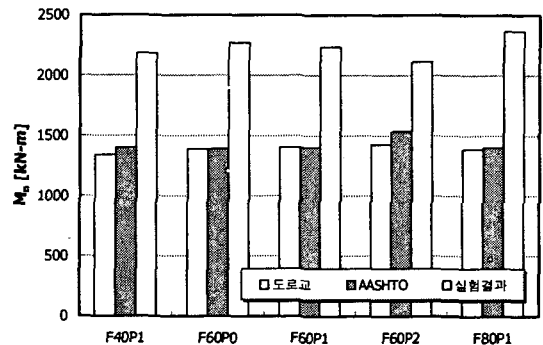


그림 4. 휨강도 비교

3.2 균열 양상 및 중립축의 변화

그림 5는 하중이 500kN 재하됐을 때의 균열양상을 도시한 것으로서, 각 하중단계에 따른 균열 양상을 살펴 보면, 하중단계에 따른 균열 양상 자체는 콘크리트 강도보다는 하부 인장 주철근 및 프리스트레스 도입에 큰 영향을 받는 것을 알 수 있다. 특히, 하중이 500kN 재하했을 때 하부 인장철근을 강선으로 대체한 F60P2의 경우 프리스트레스 도입이 없고 하부 인장철근을 배근한 F60P0보다 균열이 훨씬 작게 발생했음을 알 수 있다. 따라서 프리스트레스를 도입할 경우 고강도 콘크리트의 초기 휨균열 제어에 어느 정도 기여를 하는 것으로 사료된다.

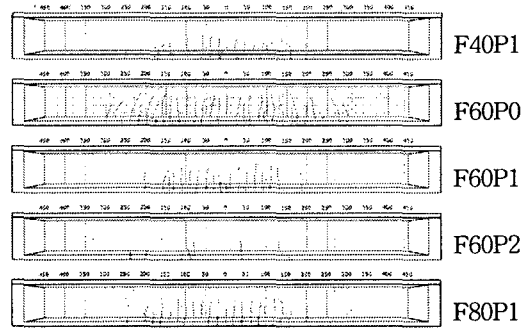


그림 5. 하중 재하 500kN 시의 균열 양상

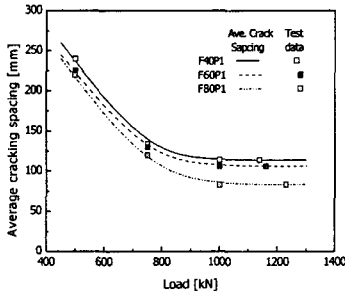


그림 6. 재하 하중에 따른 평균 균열 간격 [콘크리트 강도의 영향]

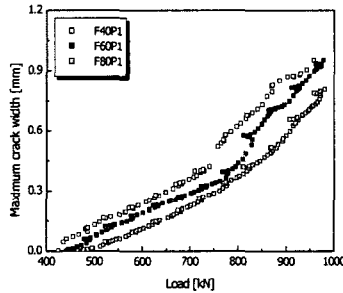


그림 7. 재하 하중에 따른 최대 균열폭 [콘크리트 강도의 영향]

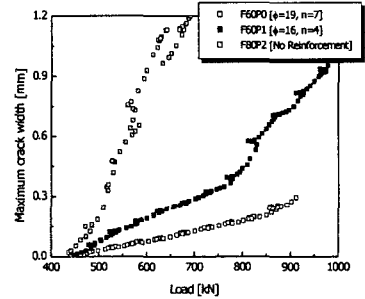


그림 8. 재하 하중에 따른 최대 균열폭 [철근의 영향]

그림 6은 재하 하중에 따른 평균 균열 간격을 도시한 것으로서, 재하 하중이 증가함에 따라 인장을 받는 부재의 하부에 균열이 발생하면서 평균 균열 간격이 점점 작아지며, 어느 단계 이상의 하중이 가해지면 균열 간격은 크게 바뀌지 않는 것을 알 수 있다. 또한 콘크리트 강도가 증가함에 따라 균열 간격이 감소함을 알 수 있다. 그림 7은 재하 하중에 따른 최대 균열폭을 도시한 것으로서 하중이 증가함에 따라 증가하는 것을 확인할 수 있으며, 같은 하중 하에서 콘크리트 강도가 증가할수록 철근과의 부착응력 증대 등으로 인해 최대 균열폭이 감소하는 것으로 나타났다. 그림 8은 동일한 콘크리트 강도하

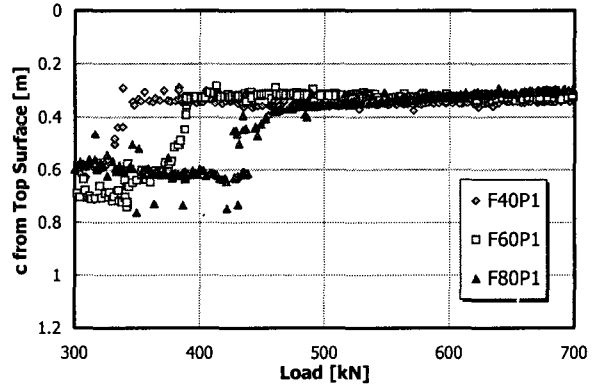


그림 9. 재하하중에 따른 중립축 변화 [콘크리트 강도 영향]

에서 하부 주인장 철근량을 달리 배근하였을 경우 각 하중 단계별 최대 균열폭을 도시한 것이다. 그림에서 보듯이 하부 주인장 철근량이 많을수록 균열폭이 감소하는 것을 알 수 있다. 따라서, 콘크리트 강도의 증가 및 하부 주인장 철근량의 증가는 균열 제어에 기여를 하는 것을 알 수 있다. 그림 9는 재하 하중에 따른 중립축의 변화 양상을 콘크리트 강도에 따라 도시한 것이다. 그림에서 중립축의 위치

가 올라가는 것은 휨에 의한 콘크리트 하부의 균열로 인한 것이며, 콘크리트 압축강도가 증가함에 따라 인장 강도 또한 증가하므로 콘크리트 강도가 클수록 중립축이 변화할 때의 하중 크기가 커지는 것을 확인할 수 있다. 초기 콘크리트 휨 균열 이후 최종까지 하중이 증가하더라도 중립축의 위치는 크게 바뀌지 않으며, 다만 그에 따른 균열폭의 증가 및 곡률의 증가가 발생하는 것으로 사료된다. 또한, 최종 중립축의 위치는 그 차이가 작기는 하지만 콘크리트 강도가 증가할 수록 상면으로 조금 올라가는 것을 볼 수 있다.

4. 결론

본 논문에서는 고강도 PSC 빔부재에 대한 전단 실험을 수행한 결과 다음과 같은 결론을 도출하였다.

- (1) 지간 10m의 실물 부재 대형 시험체를 5개 제작하여 실험한 결과 최종 파괴시 200mm에 가까운 과도한 처짐 발생 후 콘크리트 압축파괴가 발생하였다.
- (2) 강제배근이 동일한 경우 콘크리트 강도가 40MPa에서 80MPa로 증가할 경우 최대 파괴 하중이 약 10% 증가하였다.
- (3) 콘크리트 압축강도가 클수록, 프리스트레싱 도입량이 클수록 초기 균열하중이 증가하는 현상을 규명하였다.
- (4) 고강도 PSC 빔부재의 휨실험결과 현 설계기준식에 의한 공칭 휨강도가 실제 파괴하중을 다소 과소평가하는 것으로 나타났다.
- (5) 프리스트레싱 강제량과 보통 철근의 조합비율에 따라 동일한 공칭휨강도로 설계한 경우 실측휨강도 크기가 다르게 나타나고 있어 안전여유가 다르게 됨을 규명하였으며, 하부 주인장 철근 대신 PS 강선으로 대체할 경우 실측 휨강도의 안전여유도, 즉 실험결과/설계식의 값이 작아지는 것으로 나타났다.
- (6) 초기 균열하중 이후 재하하중이 증가함에 따라 균열과 균열사이 새로운 균열(multiple cracks)이 발생하고 어느 하중 이후에는 부재의 균열이 안정화되어 균열간격이 일정하게 되었다.
- (7) 콘크리트 강도가 증가할수록 콘크리트와 철근과의 부착응력 증가로 최대 균열폭이 감소하며, 주인장 철근량이 많을수록 균열폭이 감소하였다.
- (8) 균열 발생시 단면의 힘의 평형과 변형도 적합조건에 의해 단면의 중립축이 위로 상승하며 본 실험결과 압축강도가 증가할수록 높은 하중에서 중립축 변화가 발생하였으며 어느 하중 이후 일정한 값을 보였다.
- (9) 프리스트레싱 도입량에 따라 균열하중을 제어할 수 있을 뿐 아니라 프리스트레싱 철근의 양도 균열폭의 제어에 어느 정도 기여를 하는 것으로 나타났다.

감사의 글

The support from NRL(National Research Laboratory) Program of Korea is greatly appreciated.

참고문헌

1. L. F. A. Bernardo and S. M. R. Lopes, "Neural Axis Depth versus Flexural Ductility in High-Strength Concrete Beams", ASCE, vol. 130, No3, 2004
2. AASHTO LRFD Bridge Design Specification, AASHTO, 2004
3. 도로교설계기준, 한국도로교통협회, 2005