

긴장력 조절이 가능한 PSC 거더의 거동에 관한 연구

Behavior of Detensionable and Retensionable PSC Girder with Projected Flange

남 정 민* 김 진 근** 이 종 관***
Nam, Jung Min Kim, Jin Keun Lee, Jong Kwan

ABSTRACT

A In this paper, a new prestressed concrete girder system is presented which is designed using a detensionable and retensionable system. Experiments were carried out in order to comprehend the behavior of detensionable and retensionable prestressed concrete girder system. Tension control tests were performed for the detensionable and retensionable system followed by the static loading tests to check the applicability of the girder system. The test results were found in good agreement with the analytical results which clearly indicates the reliability of the concept of detensionable and retensionable prestress concrete girder with projected flange.

1. 서론

일반적으로 교량에 사용되는 프리스트레스트 콘크리트 거더(Prestressed Concrete Girder, 이하 PSC 거더)에 적용되는 긴장시스템은 긴장력이 도입되면 그 힘을 조절할 수 있는 기능이 없었다. PSC 거더에서 원활한 유지관리와 안전한 바닥판 교체를 위해서는 긴장력을 손쉽게 조절할 수 있는 시스템이 필요하며, 특히 사장교나 현수교 같은 케이블 교량은 시공단계에 따라 케이블의 장력이 변하게 되므로, 긴장력 조절이 필수적이다. 따라서 케이블 교량의 긴장력 조절 시스템을 PSC 거더에 적합하도록 개선하여 PSC 거더에서도 용이하게 긴장력을 조절할 수 있는 시스템을 개발하였다.

이 연구에서는 긴장력 조절이 가능한 PSC 거더(Detensionable and Retensionable PSC Girder with Projected Flange)의 개념을 검증하기 위하여 실제 크기의 거더를 제작하여 단계적인 긴장을 실시하면서 긴장력 조절이 가능한 시스템의 효과를 검증하였다. 그 후 정적 재하 실험을 통한 거더의 구조적 거동을 분석하였다.

2. 실험계획 및 방법

2.1. 실험개요

실험에 사용된 거더는 경간 20 m에, 거더의 높이 1.4 m이고 바닥판의 두께는 280 mm인 실물 교량에 해당되는 크기이다. 거더를 제작하여 단계적인 긴장에 의한 효과와 긴장력 이완 및 재긴장 실험을

* 정회원, 한국과학기술원 석사과정

** 정회원, 한국과학기술원 교수

*** 정회원, (주)한맥기술 상무

통하여 긴장력 조절이 가능한 시스템의 효과를 검증하였다. 또한, 실험체가 파괴되는 시점까지 재하하면서 처짐과 변형률 등을 측정하여 균열 하중과 극한 하중 등의 구조적 거동을 분석하였다. 이렇게 측정된 결과값과 이론적인 해석값을 비교, 분석하였다.

2.2. 실험체 계획 및 제작

이 연구를 위해 2개의 실물 실험체를 제작하였으며, 2개의 실험체는 바닥판의 형태에 따라 현장 타설의 경우와 반단면 PC 바닥판(Stay in Place Slab, 이하 SP-Slab)을 적용한 경우로 이루어져 있다.

실험체의 거더와 슬래브는 설계 강도는 각각 400 kgf/cm^2 와 270 kgf/cm^2 이고, 레미콘 제품을 사용하였다. 철근은 SD30의 D13, D16, D19 철근을 사용하였고, 강연선은 SWPC 7B를 사용하였다. 그림 1은 거더의 제작 과정을 나타낸다.

2.3. 실험방법 및 측정방법

이 실험체에는 그림 2와 같은 긴장력 조절 시스템(Detensionable and Retensionable System)이 사용 가능하도록 설계되어있다. 긴장력 조절 시스템은 Base Plate와 Anchor Head 사이의 Shim Plate를 삽입하여 Shim Plate의 높이로 긴장력을 조절하도록 만들어져 있다. 또한 Anchor Head에 요철을 두어 재긴장시 Jack이 정착할 수 있도록 고안되었다. 이 실험에서는 2차 긴장을 한 후에 긴장력 이완 및 재긴장 실험을 수행하였고, 실험체 중앙부에 부착된 변형률 게이지를 통하여 긴장력에 의해 발생된 변형률을 측정하였다.

긴장력 이완 및 재긴장 실험이 종료된 후에는 정적 재하실험을 수행하였으며 그림 3에 나타난 바와 같이 거더 중앙으로부터 양쪽으로 0.5 m 떨어진 지점에서 200 tonf 용량의 Actuator 2 대를 사용하여 극한하중까지 재하 하였다.

재하 실험을 할 때 거더의 거동을 측정하기 위하여 그림 4, 5와 같이 경간 중앙 등에서의 콘크리트의 변형률 및 철근의 변형률을 측정하였으며, LVDT를 이용하여 중앙지점, 1/4지점 및 양 지점에서의 처짐을 측정하였다.

실험체 거더 철근 제작
철근 조립 및 쉬스판 배치
거푸집 조립
거더 콘크리트 타설 및 양생
1차 긴장 후 인양
SP-Slab 설치
2차 긴장 및 슬래브 철근 조립
슬래브 양생
재하 실험

그림 1 실험체 제작 순서

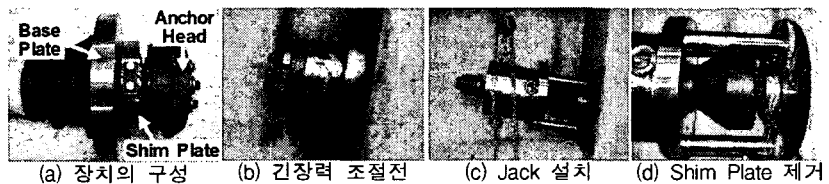


그림 2 긴장력 조절 시스템

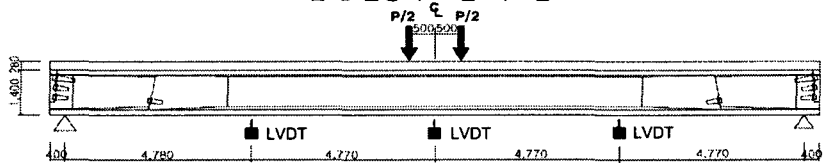


그림 3 하중 재하 위치 및 LVDT 위치 (단위: mm)

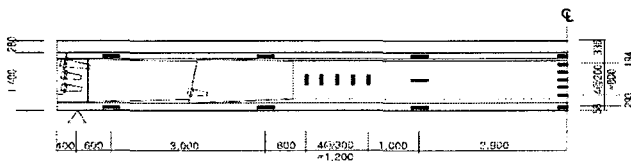


그림 4 철근 변형률 게이지 위치 (단위: mm)

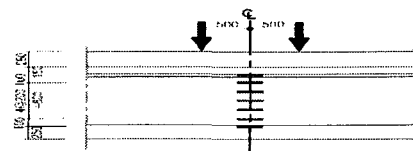


그림 5 콘크리트 변형률 게이지 위치 (단위: mm)

3. 실험결과 및 고찰

3.1. 긴장력 조절(Detension & Retension) 실험

긴장력 이완 및 재긴장 실험은 거더의 반단면만 긴장력을 제거한 후 재긴장하는 방법으로 3회 반복 수행되었다. 2차 긴장시 반단면에 가하였던 92 tonf의 하중만큼 긴장력을 이완(Detension)시킨 후에 재긴장(Retension)하게 되면 변형률이 최초의 0 값으로 회복됨을 그림 6을 통해서 확인할 수 있었으며 실험 과정에서 긴장력 조절 시스템의 Shim Plate의 제거 및 재조립도 원활하였다.

3.2. 정적 재하실험

3.2.1. 하중-처짐

거더 중앙 지점의 하중-처짐 곡선은 그림 7에 제시되어 있다 140 tonf을 지나면서 휨균열이 발생하고 전단균열이 증가하여 약 250 tonf 근처에서 강선이 항복하기 시작하여 실험체 A는 286 tonf에서 실험체 B는 304 tonf에서 슬래브의 압축파쇄가 일어났다. 표 1에서 알 수 있듯이 실험값과 해석값이 상당히 유사한 것으로 판명되었다. 실험체의 해석을 위하여 균열 하중 및 균열 처짐은 선형·탄성이론을 적용한 3DS 프로그램을 극한 하중은 비선형 해석프로그램인 Response-2000을 사용하였다. 해석단면은 실험체 A는 현장타설 바닥판의 경우를 이용하였으므로 해석값과 상당히 유사한 결과를 보였다. 그러나, 실험체 B의 경우는 반단면 SP-Slab를 거치시키고 2차 긴장을 하였다. 반단면 비합성 상태로 긴장하였으므로 편심거리가 짧아지게 되고 긴장력 도입 효율의 증대되었다. 이로 인해 균열하중과 극한하중에 대한 실험값이 해석값을 상회하는 것으로 판단된다.

3.2.2. 하중-변형률

그림 8은 하중 단계에 따른 각각의 높이에서 변형률 분포를 나타낸 것이며 그림 9, 10은 하중에 따른 실험체 A의 중앙부 변형률을 나타낸 것이다. 하중이 증가함에 따라 중립축이 이동하여 플랜지 하단으로부터 약 1.3 m까지 증가한다. 균열발생시점인 140 tonf 지점에서 인장측 철근은 급격한 변형률의 증가를 보이며, 슬래브 상단의 압축 변형률은 240 tonf 근처에서 항복변형률에 도달함으로써 슬래브의 철근도 충분히 활용되고 있음을 알 수 있다. 하중이 286 tonf으로 증가하면 슬래브 상단 콘크리트의 변형률이 0.003을 초과하며 압축파괴가 일어남을 알 수 있다. 그림 11는 1/4지점의 전단철근 변형률을 나타낸 것으로, 하중이 약 220 tonf을 지나는 순간부터 인장변형률이 급격히 증가함을 알 수 있다. SP-Slab를 적용한 바닥판의 실험체 B의 변형률 역시 실험체 A와 유사한 양상을 보였다.

3.2.3. 하중-균열

하중을 재하할 때의 실험체 A에 발생된 균열을 그림 12에 나타내었으며, 균열 하중 141 tonf 이후로 휨균열이 증가하고, 하중이 220 tonf을 지나면서 전단균열이 진전되는 현상을 보였다.

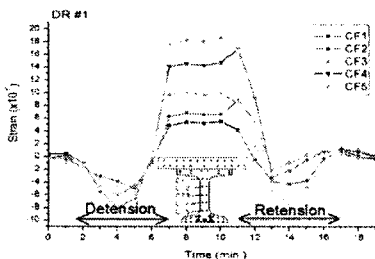


그림 6 긴장력 조절 실험

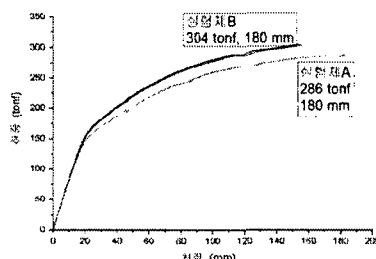


그림 7 거더 중앙지점의 하중-처짐 곡선

표 1 해석값과 실험값의 비교

종 류	해석값	실험체 A	실험체 B
균열하중	140 tonf	141 tonf (1.01)	147 tonf (1.05)
균열처짐	19.2 mm	19.0 mm (0.99)	19.4 mm (1.01)
극한하중	284 tonf	286 tonf (1.01)	304 tonf (1.07)
극한처짐	173 mm	180 mm (1.04)	156 mm (0.90)

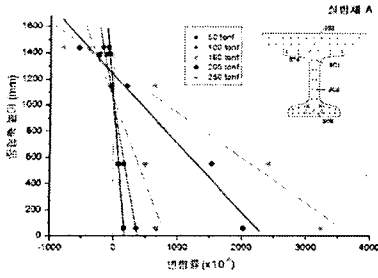


그림 8 하중 단계별 중립축 위치

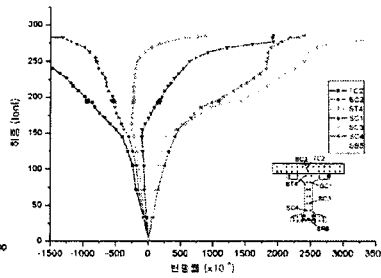


그림 9 철근의 하중-변형률 곡선

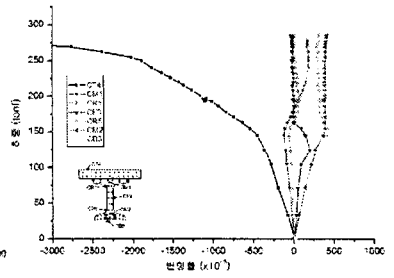


그림 10 콘크리트의 하중-변형률 곡선

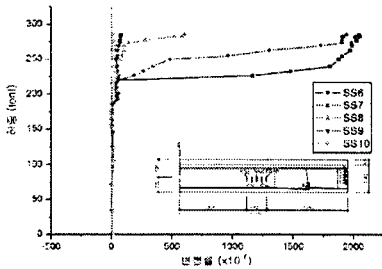


그림 11 전단철근의 하중-변형률 곡선

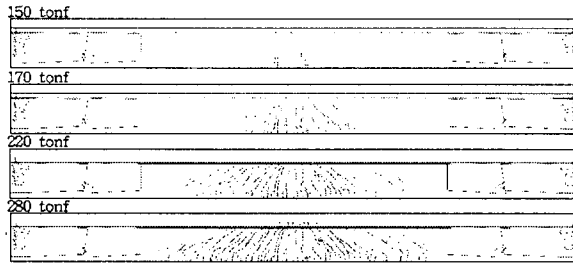


그림 12 하중 단계별 균열도

4. 결론

이 연구를 통해 얻은 결론은 다음과 같다.

- 1) 긴장력 조절 실험을 통해서 긴장력을 제거하고 재긴장 함으로써 단계적인 긴장과 긴장력 조절이 가능한 시스템의 효과를 검증하였으며, 시공단계에 따라 용이하게 긴장력을 조절함으로써 PSC 거더의 효율성을 증대시킬 수 있다고 판단된다.
- 2) 정적 실험 결과 긴장력 조절이 가능한 PSC 거더는 극한내하력인 284 tonf 이상의 하중을 견딜 수 있는 것으로 판단되며, 실험을 통하여 얻은 균열하중과 극한하중이 해석값과 상당히 유사하게 나타났다.
- 3) 실험 결과에서 인장측 철근의 변형률이 급격하게 변화되는 시기는 그 위치에서 휨균열이 발생한 시기와 일치하였다, 또한 1/4 지점의 전단 철근의 변형률이 급격하게 변화되는 시기는 그 위치에서 전단균열이 발생한 시기와 일치하였다.

참고문헌

1. 소용두(2004), 다단 타설 긴장식 PSC 거더의 개발에 관한 연구, 한국과학기술원 토목공학과 석사논문.
2. 한만엽, 황의승, 김성겸(2000), IPC 거더의 구조적 거동에 관한 연구, 토목학회논문집, 제 20권 제 4-A호, pp. 525~533.
3. 신현묵(2003), 프리스트레스트 콘크리트, 동명사.
4. 건설교통부(2005), 도로교 설계기준·해설, 대한토목학회.
5. 한국과학기술원 외(2006), Prestressed Concrete Girder 연구 성과 보고서.
6. Collins M.P., Mitchell D.(1991), PS Concrete Structures, Prentice Hall.
7. Richard M.B., Jay A.P.(1997), Design of Highway Bridges, Wiley.