

PSC 교량 부재의 시공이음부의 극한 휨강도 평가

Ultimate Flexural Strength Evaluation of Construction Joints in PSC Bridge Girders.

채 성 태* 오 병환** 김 병석*** 이 상희****
Chae, Sung Tae Oh, Byung Hwan Kim, Byung Suk Lee, Sang Hee

Abstract

Prestressed concrete(PSC) bridge structures with a number of continuous spans has been segmentally built in many countries. These methods include incremental launching method, movable scaffolding method, full staging method and balanced cantilever method. In these segmentally constructed prestressed concrete bridges, many construction joints exist and these construction joints are weak points in PSC bridges.

The prestress force can be introduced prestress force continuously through the construction joints of PSC bridge superstructure using tendon couplers. The main objective of this study is to evaluate the structural behavior and ultimate flexural strength of construction joints in PSC girder bridge members. To this end, a comprehensive experimental program has been set up and a series of full-scale tests have been performed. Ultimate flexural strength of construction joint in PSC members with tendon couplers is decreased by approximately 10% for non-coupled members.

1. 서론

프리스트레스트 콘크리트(Prestressed Concrete, PSC) 교량은 경제성, 내구성 및 유지관리의 편리성 등 여러 측면에서 경쟁력을 갖고 있어 세계적으로 널리 건설되고 있다. 이러한 프리스트레스트 콘크리트 교량의 시공은 다양한 방법에 의해 시공되고 있으며, 이들 교량에 적용되는 공법의 특성상 시공이음이 발생하게 된다. 특히 ILM공법 및 MSS 공법으로 시공되는 PSC 교량의 시공이음부는 시공법의 특성 및 텐던의 배치의 단순화를 위해 텐던 커플러를 사용하여 텐던을 연속화하여 사용하고 있다.

이러한 시공이음부는 구조적으로 취약한 부위이며 철근의 연속성이 결여되는 부위이다. 특히 이러한 시공이음부의 휨극한강도를 확보하는 것은 구조물의 안전성을 확보하기 위한 기본적인 사항이다. 텐던 커플러를 사용하여 교량의 상부구조에 프리스트레스 하중을 연속적으로 도입하고, 프리스트레스트 콘크리트 교량을 설계 시공하는 경우는 정착부의 배근을 간단히 할 수 있으며 텐던 사용량을 줄일 수 있으므로 경제적이고 효율적인 교량 시공이 가능하게 하는 장점이 있다.

*정회원, 하이콘엔지니어링 이사, 공학박사 chaest@highcon.co.kr

**정회원, 서울대학교 토목공학과 교수, 공학박사 civilcon@gong.snu.ac.kr

***정회원, 건설기술연구원 구조시스템그룹 장, 공학박사

****정회원, 하이콘엔지니어링 부사장, 공학박사 shlee@highcon.co.kr

본 연구는 프리스트레스트 콘크리트 부재의 시공이음부의 휨 극한 강도에 대한 실험을 수행함으로써 일반적인 시공이음부와 텐던 커플러를 사용한 PSC 교량 부재의 안전성 확보 여부를 평가하는데 그 목적이 있다. 이를 위해 프리스트레스트 콘크리트 부재를 실제시공단계에 따라 제작하여 파괴시험을 실시하였으며, 이를 통해 일반시공이음부와 텐던 커플러를 사용한 연결부의 구조거동을 분석하고, 시공이음부에서의 극한 휨강도를 평가하였다.

2. 파괴 실험

2.1 실험 부재

프리스트레스트 콘크리트 부재의 시공이음부의 구조 거동 분석에 대한 연구는 텐던의 긴장에 따른 응력 분포 및 구조 거동 특성 분석(참고문헌 1)과 부재의 파괴실험을 통한 극한 휨강도 특성을 분석함으로써 텐던커플러를 사용한 시공이음부의 안전성을 규명하고자 하였다. 이를 위해 긴장단계에서는 접속시공 이음부 부근에 나타나는 응력의 분포에 초점을 맞추어 게이지를 설치하였으며 극한 휨강도 특성을 분석하기 위한 부재의 처짐 및 강성의 변화를 알 수 있도록 실험 계획을 수립하였다. 실험에 사용된 부재는 프리스트레스트 콘크리트 박스 교량의 복부를 모사한 실제 크기의 부재를 제작하였으며 실험부재의 치수 및 부재의 종류는 그림 1과 2에 나타내었다.

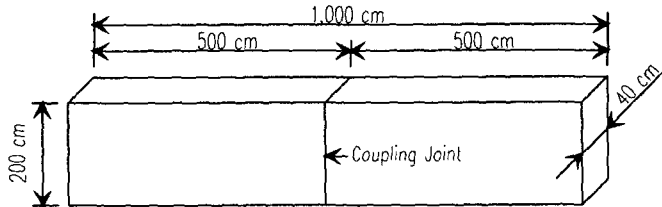
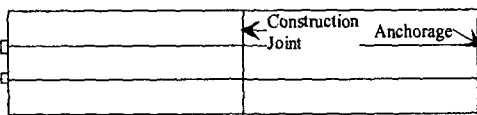
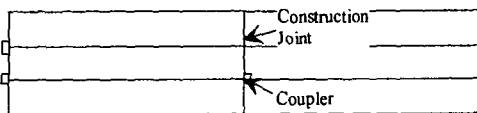


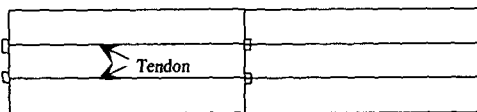
그림 1 시공이음부의 실험 부재 제원



(a) Specimen 1(SP1) Tendon coupling Ratio 0%



(b) Specimen 2(SP2) Tendon coupling Ratio 50%



(c) Specimen 3(SP3) Tendon coupling Ratio 100%



그림 2 실험부재 종류와 사용 텐던 커플러

2.2 게이지 설치

프리스트레스트 콘크리트 부재의 시공이음부에서의 구조 거동을 분석하기 위해 시공이음부를 따라 진동현식 변형률게이지(VRTG)와 전기저항식 변형률 게이지(ERTG)를 설치하여 하중에 따른 변화 양상을 파악하였다. 또한 시공이음부 하단에는 처짐계를 설치하여 하중가력에 따른 부재의 처짐을 측정하였다.

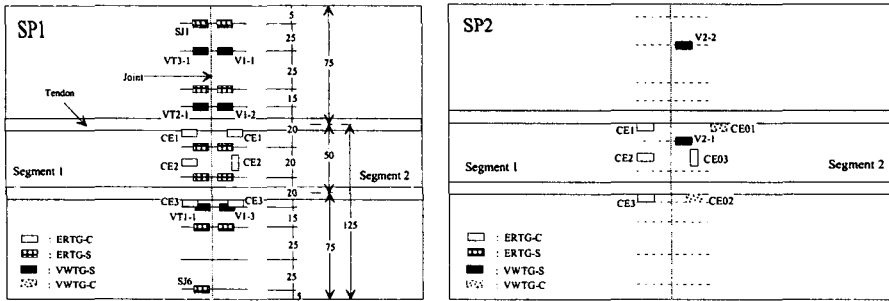


그림 3 시공이음부 게이지 설치 계획

2.3 파괴 시험 방법

파괴 시험은 지지부 양단에 힌지와 롤러를 설치하여 단순지지되도록 하였으며, 하중의 재하점은 2점으로 하여 그림 4와 같이 4점 재하방법을 사용하였다. 작용하중으로 인한 부재의 횡좌굴 및 이탈을 방지하기 위해 부재의 측면에는 볼 지그(ball zig)를 설치하였다.

하중의 가력은 350 ton 용량의 가력장치(actuator)를 2대 사용하였으며, 극한하중의 80%정도까지는 하중제어 방법을 그 이상의 하중에서는 변위 제어방식을 사용하여 시험을 수행하였다. 하중은 5 ton 또는 10 ton 씩 증가하며 초기균열의 발생직후 및 극한하중의 80%에 도달한 후와 극한하중 도달직후 하중을 제거하고 다시 하중을 가력하는 방법으로 시험을 수행하였다.

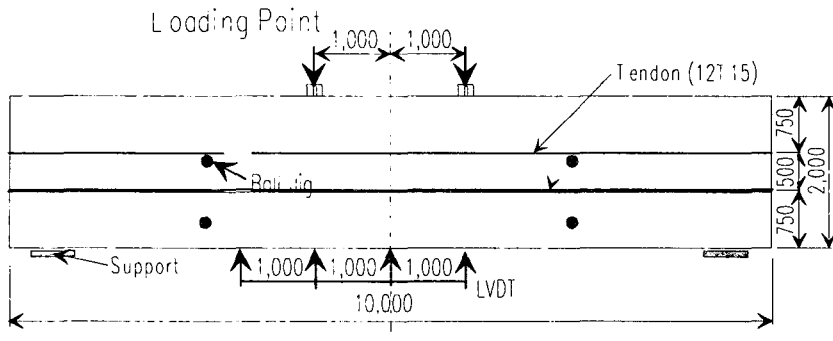


그림 4 정적하중재하시험도

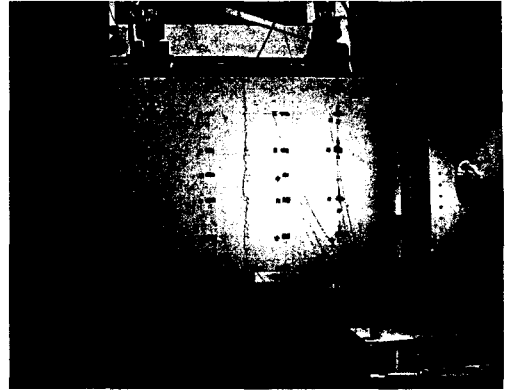


그림 5 재하 실험

3. 파괴 시험 결과 및 분석

프리스트레스트 콘크리트 부재의 시공이음부에 대해, 일반적인 시공이음부와 텐던 커플러를 사용하여 시공이음부의 텐던을 연속처리한 프리스트레스트 콘크리트 부재의 극한 휨강도의 차이를 살펴보기 위해 파괴시험을 수행하였다. 총 시편의 개수는 5개이며 부재 4와 5는 각각 부재2와 3과 동일한 텐던의 배치를 가지고 있으며 도입된 프리스트레스 힘의 크기가 다르다. 하중의 증가에 따라 부재 중앙에서의 처짐 곡선을 그림 6에 나타내었으며, 시험부재에 발생한 균열의 형태를 그림 7에 나타내었다.

텐던커플러를 사용하지 않은 부재인 SP1의 경우는 텐던 커플러를 사용한 부재인 SP2-SP3에 비해 구조물의 초기 강성은 다소 큰 것으로 나타났다. 즉 초기 하중이 작용하는 단계에서 처짐은 텐던접속 장치를 사용하지 않은 부재가 다소 작게 나타나고 있다. 그러나 단면의 손상이 발생한 상태인 시공이음부를 가로지르는 초기 균열이 발생된 상태에서는 대부분의 부재에 있어 처짐은 거의 비슷한 것으로 나타났다. 따라서 텐던 커플러를 사용한 경우에는 초기 처짐이 연속된 텐던을 사용한 부재에 비해 미소하게 크게 나타나나 이후의 거동에는 큰 차이는 없는 것으로 나타났다. 시험부재에 하중을 가력하여도 하중이 작용하지 않고 처짐이 크게 될 때 부재가 극한 휨강도에 도달된 것으로 간주하였다.

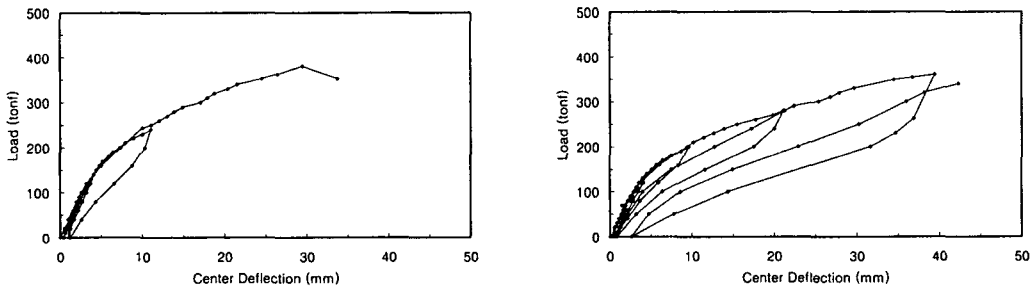
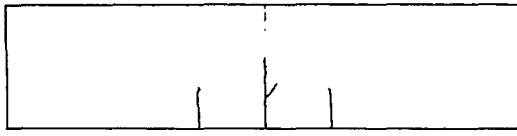


그림 6 부재중앙에서의 하중-변위 곡선(SP1, SP3)

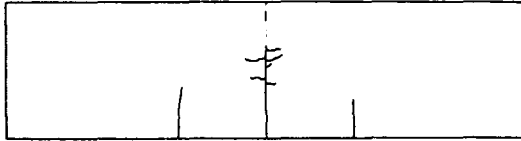


(a) 200 ton 하중 재하

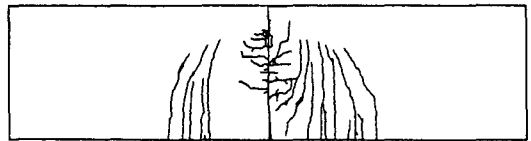


(b) 파괴시

그림 7(a) 부재 SP1의 균열 형상



(a) 200 ton 하중 재하



(b) 파괴시

그림 7(b) 부재 SP3의 균열 형상

텐던 커플러를 사용하지 않은 SP1의 경우 하중 재하 시험에 의한 극한 휨강도에 도달한 총작용하중은 381 ton으로 나타났으며, 텐던접속장치를 사용한 부재 SP2-SP5에 대한 하중 재하 시험에 따라 극한 휨강도에 도달한 값은 333-362 ton으로 나타났다. 이때 각 실험 부재의 극한 휨모멘트는 그림 8과 같다.

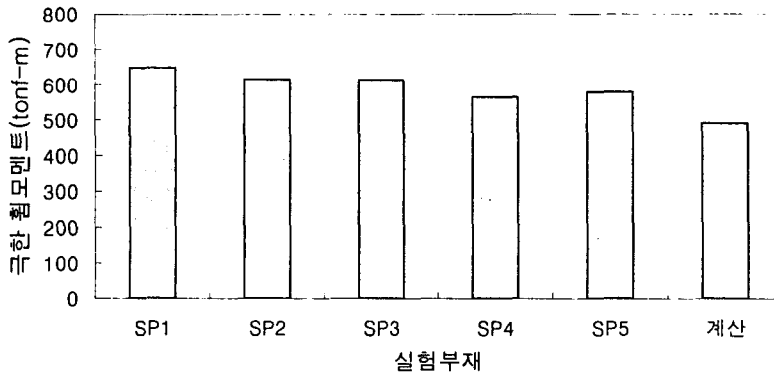


그림 8 시공이음부에서의 극한 휨강도

일반적인 프리스트레스트 콘크리트 부재의 시공이음부에서의 극한 휨강도는 텐던커플러를 사용한 시공이음부의 극한 휨강도에 비해 약 5-14%정도 크게 나타났다. 이는 텐던 커플러를 사용한 프리스트레스트 콘크리트 부재의 시공이음부에서의 극한 휨강도가 일반적인 시공이음부에 비해 약 10% 정도 작아지는 것을 의미한다. 그리고 텐던 커플러를 사용한 시험 부재의 극한 휨강도는 계산에 의한 값보

다 15-25%정도 크게 나타나고 있고, 일반적인 시공이음부의 경우는 32% 정도 큰 것으로 나타났다. 따라서 프리스트레스트 콘크리트 교량에 있어 일반적인 시공이음부 뿐 아니라 텐던 커플러를 적용하여 설계, 시공하여도 극한 안전도상의 큰 문제는 없는 것으로 판단된다.

4. 결론

다양한 시공방법에 의해 건설되고 있는 프리스트레스트 콘크리트 교량에 있어 공법의 특성상 발생하는 시공이음부는 구조적으로 취약한 부분이 된다. 이러한 부위에 대한 국부적인 이상은 구조물 전체의 안전을 위협하는 요소가 되기 때문에 실제 구조물에서는 극한 상태를 안전도를 기본적으로 확보하여야 한다. 본 연구는 프리스트레스트 콘크리트 교량의 일반적인 시공이음부와 텐던 커플러를 사용한 시공이음부의 극한 휨강도를 평가하기 위해 실제의 시공 방법과 동일하게 실물 크기의 실험 부재를 제작하여 파괴시험을 실시하였다. 하중 단계별로 구조 거동을 분석하기 위해 탄성영역에서부터 극한 상태까지 하중을 가력하여 각 단계별로 거동을 고찰하여 시공이음부의 구조적 거동을 분석하였다. 그 결과 프리스트레스트 콘크리트 교량에서의 시공이음부의 극한 휨강도는 텐던 커플러를 사용할 경우 일반적인 이음부에 비해 그 크기가 다소 작아지는 것으로 나타났으나 계산에 의한 값보다는 큰 것으로 나타나 사용상 큰 문제는 없는 것으로 나타났다.

참고문헌

1. B.H. Oh, S.T. Chae, "Structural Behavior of Tendon Coupling Joints in Prestressed Concrete Bridge Girders", ACI structural Journal, Jan.-Feb. 2001, pp.87-95
2. Michael P. Collins, Denis Mitchell(1991), "Prestressed Concrete Structures", Prenticehall Inc.
3. Jorg Schlaich, Hartmut Scheef(1982), "Concrete Box Girder Bridges", IABSE
4. Christan Menn(1986), "Prestressed Concrete Bridges", Springer-Verlag, Wien
5. Leonhardt, F.(1964),"Prestressed Concrete-Design and Construction",Wilhelm & Sons, Berlin
6. Leonhardt, F.(1977), "Vorlesungen uber Massivbau", Springer Verlag, Berlin
7. F. Seible(1985), "Coupling Joints of Prestressing Tendons in Continuous Post-Tensioned Concrete Bridges", TRB, TRR 1044, pp. 43-49
8. J.E.Breen, et al.(1994), "Anchorage Zone Reinforcement for Post-Tensioned Concrete Girders", Research Report No. 356, The University of Texas at Austin