

장지간 PSC 바닥판의 정적편칭강도

Punching Strength of Long-Span PSC Deck Slabs

황훈희* 조창빈** 윤혜진*** 김성태****
Hwang, Hoon Hee Joh, Changbin Yoon, Hye Jin Kim, Sung Tae

ABSTRACT

This study was performed to evaluate the static strength of long-span PSC deck slabs. In the previous study, the minimum thickness of PSC deck slabs in the composite two-girder bridge was proposed. To examine the structural behavior and safety of the PSC deck slabs designed in accordance with the proposed minimum thickness, 1/3 scaled PSC deck slabs in the composite two-girder bridge were tested under the static loading. The test results were compared with the predicted values proposed by the code and Matsui. Test results showed ultimate static strength of the PSC deck slabs designed in accordance with the proposed minimum thickness have enough margin of safety. The static failure mode of each test specimen was punching shear mode.

1. 서론

2거더교는 경제성, 시공성, 유지보수성과 간결한 미관 등의 장점으로 인해 강합성 교량의 합리적인 모델로 주목받고 있다. 강합성 2거더교의 장점을 극대화하고 장지간화에 따른 상부구조의 고정하중 증가 등의 부작용을 방지하기 위해서는 장지간에 적합한 바닥판 형식과 적절한 바닥판 두께의 선택이 매우 중요하다. 이 때문에, 교축직각방향(이하 횡방향)으로 프리스트레스를 도입한 PSC 바닥판은 구조적, 경제적으로 강합성 2거더교에 가장 적합한 형식으로 평가되고 있으며(김병석 등, 2000 ; 김병석 등, 2002), 이의 원활한 적용을 위해 개정될 도로교 설계기준의 의도에 따라 안전성, 사용성과 시공성을 확보할 수 있는 최소의 적정두께를 결정하기 위한 연구가 선행되었다(황훈희 등, 2004).

이 논문에서는 기존의 연구 성과에서 제안된 최소 수준 두께의 횡방향 PSC 바닥판을 적용한 2거더교 1/3 축소 모형실험체에 대한 정적 재하 실험을 수행하고, 결과에 대한 분석을 통하여 정적강도를 평가하였다. 제안된 최소 수준 두께를 갖는 횡방향 PSC 바닥판의 최종적인 정적파괴는 편칭전단 형태로 나타났으며, 설계가정에 대해 충분한 정적강도를 확보할 수 있는 것으로 나타났다.

2. 실험체의 설계 및 제작

실제 바닥판의 파괴에 이르는 응력-변형률 거동과 균열전파과정 등을 모사하기 위한 축소모델은

*정회원, 한국건설기술연구원 객원연구원, 단국대학교 박사과정 수료

**정회원, 한국건설기술연구원 선임연구원, 공학박사

***정회원, 한국건설기술연구원 연구원, 공학석사

****정회원, 한국건설기술연구원 연구원, 공학석사

극한강도모델(Ultimate Strength Model)로 제작되어야 한다. 이 모델이 만족해야 할 조건은 크게 기하학적 상사성, 재료적 상사성, 하중 상사성으로 구분된다. 실험교량의 거동을 최대한 재현하기 위해서 반복적인 배합설계와 압축강도 실험을 통하여 콘크리트의 골재치수 및 배합을 결정하였고, 열처리한 이형강선을 사용하여 실제 철근의 항복강도와 부착거동을 재현하였다.

재하프레임과 가력장비의 제원, 용량의 한계 내에서 파괴실험이 가능하고, 장시간화에 따른 거동을 평가하기 위해 충분하도록 원형교량의 지간을 8.1 m로 결정하였다. 제안식(황훈희 등, 2004)에 따른 바닥판 두께의 최소수준은 약 34 cm 이나 제작 가능한 실험체와의 상사율을 고려하여 원형 교량 바닥판의 두께는 34.5 cm로 결정되었다. 상사율에 따라 축소된 1/3축척 실험체의 상세를 표 1에 정리하였다.

표 1. 1/3축척 실험체의 상세

실험체명	지 간 (m)	두께 (cm)	교축방향 길이(m)	콘크리트 설계기준강도 (kg/cm^2)	철근의 항복응력 (kg/cm^2)	Jacking Stress (kg/cm^2)	비고
FS	2.7	11.5	5	400	4000	14400	완전프리스트레스
PS1	(8.1)	(34.5)	(40)			10700	허용인장응력

※()안은 원형교량기준

실험체는 동일한 제원과 단면상세를 가지며 설계하중 작용시 바닥판 하면에 발생하는 인장응력의 크기가 도로교 설계기준에서 규정하고 있는 콘크리트의 허용인장응력 이하가 되도록 설계된 PS1과 인장응력이 발생하지 않는 완전프리스트레스를 도입한 FS로 구분하여 제작하였다. 제작과정의 일부를 아래에 나타내었다.

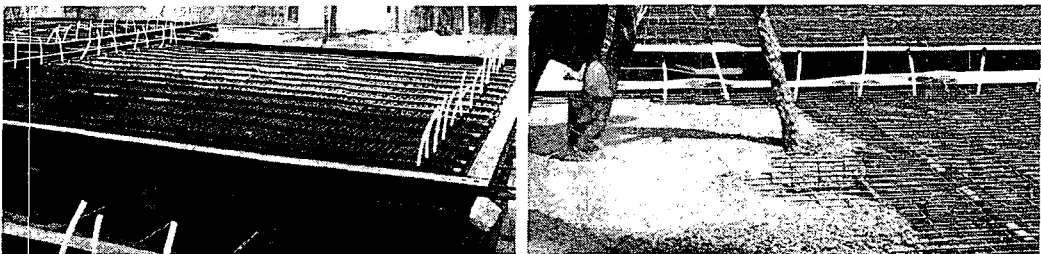


그림 1. 철근과 긴장재의 배근 및 콘크리트 타설

3. 정적재하실험

장지간 PSC 바닥판의 정적 극한강도를 평가하기 위해 정적하중 재하에 의한 파괴실험을 수행하였다. 피로실험과의 연계성을 고려하여 정적 재하가 가능한 운하중 실험장비를 이용하였다. 유한요소해석 결과에 따르면 거더의 강성이 충분하여 지점 조건이 바닥판의 정적 거동에 미치는 영향은 미미한 수준으로 나타났으므로 정적 및 피로파괴시의 안전을 고려하여 실험체를 4개의 받침블럭 위에 볼트로 고정하였다. 재하면의 크기를 일정하게 유지하기 위해 도로교 설계기준의 DB-24 하중에 대한 운하중 분포폭을 상사하여 19.2(cm)×7.7(cm) 제원의 강제 재하판을 제작하였으며, 접촉면의 응력집중을 완

화시키기 위해 고무패드를 설치하였다. 바닥판 하면의 처짐을 측정하기 위하여 총 11개의 변위센서를 설치하였다. 정적실험을 위한 실험체의 설치모습을 그림 2에 나타내었다.

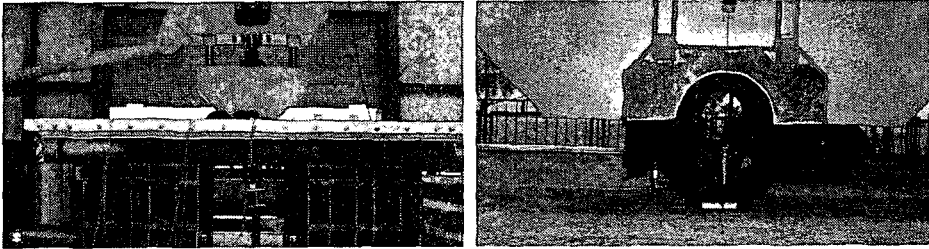


그림 2. 실험체의 설치모습

실험체와 받침블럭과의 유격 등으로 인한 측정오차를 최소화하기 위해 낮은 수준의 하중을 반복적으로 가하여 실험체를 안정화하였다. 하중은 처짐제어 방식에 의해 단계적으로 증가시켰으며 3 tonf 단위로 균열의 진전상태를 확인하였다. 바닥판 하면의 초기 균열은 교축직각 방향과 나란하게 발생하였으며 하중의 증가에 따라 점차 교축 방향에 근접한 균열이 방사형으로 형성되고 최종적으로 방사형 균열의 끝단을 둘러싸는 원형 또는 다원형의 균열의 발생과 함께 갑작스러운 콘크리트의 탈락현상이 나타나는 것으로 관찰되었다. 한편, 하중증가에 따른 바닥판 상면의 균열은 발생하지 않았으며 갑작스러운 재하면의 함몰이 관찰되었다. 이와 같은 편칭전단 형태의 균열 양상은 두 실험체에서 동일하게 관찰되었으므로 FS 실험체에 대해 그림 3에 나타내었다.



(a) 바닥판 하면

(b) 바닥판 상면

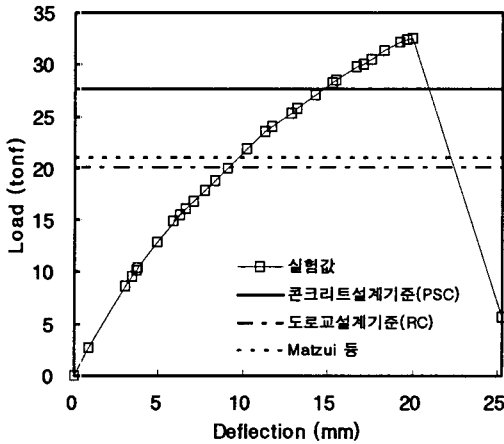
그림 3. FS 실험체의 파괴 모습

4. 정적강도의 평가

프리스트레스가 도입된 바닥판의 정적 강도를 예측할 수 있는 제안식들과 실험결과와의 비교를 통해서 2거더교에 적용된 횡방향 PSC 바닥판 시험체의 정적 극한강도를 평가하였다.

시험체의 극한강도에 대한 예측값은 편칭전단 형태로 발생하는 바닥판의 극한하중을 비교적 정확하게 추정하는 것으로 알려진 Matsui(1997)의 제안식과 콘크리트 구조설계기준에서 규정하고 있는 2방향 슬래브의 전단강도 추정식으로부터 구하였다. 콘크리트 구조설계기준에서는 2방향 PSC 슬래브의 전단강도 추정식의 적용범위를 콘크리트 설계기준강도가 350 kg/cm^2 이하일 때로 제한하고, 그 이상

의 강도를 갖는 콘크리트를 사용할 때는 도로교 설계기준과 동일한 2방향 RC 슬래브의 전단강도 추정식을 사용하도록 하고 있다. 실험체의 콘크리트 설계기준강도는 400 kg/cm^2 으로서 그 적용범위를 넘어서나 프리스트레스 효과를 고려할 수 있는 점을 감안하여 두 식의 추정값과 모두 비교하였다. 예측값과 실험값의 비교를 아래의 그림 4에 나타내었다.



(a) FS 실험체

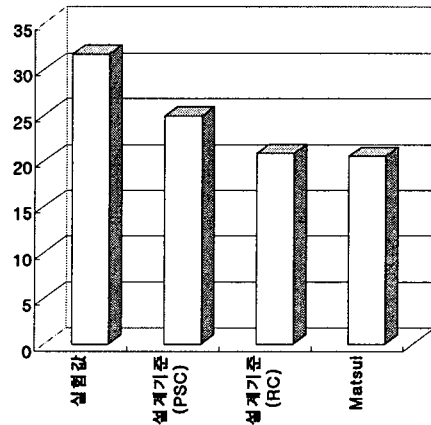


그림 4. 극한강도 비교

5. 결론

기존의 연구성과에서 제안된 최소 수준 두께의 횡방향 PSC 바닥판을 적용한 2거더교 1/3 축척 모형실험체에 대한 정적 재하 실험을 수행하고, 실험값과 예측값을 비교하여 정적강도를 평가하였다.

파괴시까지의 균열 형태와 하중-처짐 곡선의 고찰로부터 장시간 PSC 바닥판의 정적파괴는 편칭전단 형태로 나타남을 확인하였다. 완전프리스트레스를 도입한 FS 실험체와 바닥판 하면 콘크리트의 인장응력을 허용한 PS1 실험체의 정적 극한강도는 Matsui 등의 제안식은 물론 설계기준에서 추정하는 값보다도 크게 나타나고 있으므로 충분한 정적 강도를 확보할 수 있는 것으로 판단된다.

참고문헌

1. 건설교통부(2005) 도로교 설계기준, 한국도로교통협회
2. 김병석 등(2000) 합리화 2주형교용 바닥판 개발에 관한 연구(I), 한국건설기술연구원
3. 김병석 등(2002) 합리화 2주형교용 바닥판 개발에 관한 연구(II), 한국건설기술연구원
4. 황훈희, 조창빈, 이용우(2004) 강합성 2거더교 PSC 바닥판의 두께, 대한토목학회 2004년도 정기 학술대회 논문집, 대한토목학회, pp. 178-183
5. Matsui(1997) 床版の技術開發 -耐久性の向上, 施工合理化. 橋梁と基礎, Vol.31, No.8, pp.84~94.