

프리캐스트 바닥판과 PSC 거더 전단연결재의 수평전단강도 평가

(Evaluation of horizontal shear strength of the shear connectors
between precast decks and PSC girders)

현병학^{*} · 정철현^{**} · 심창수^{***} · 김영진^{****} · 이한주^{*****}

Hyun, Byung Hak · Chung, Chul Hun · Shim, Chang Su · Kim, Yung Jin · Lee, Han Jo

ABSTRACT

A new shear connection for the application of precast decks to PSC girders was proposed and push-off tests were conducted to evaluate the horizontal shear strength of the shear connection. Major parameters of the tests were connector type, shank area, vertical load, surface condition and bedding height. Judging from the test results, shear strength of the suggested shear connection was proportional to the shank area and yield strength of the connectors and was in inverse proportion to the bedding height. Shear connection with shear key at the surface showed better performance. An empirical equation for the evaluation of the shear strength of the shear connection without considering bond strength was proposed and it showed good correlation with the test results.

1. 서론

프리캐스트 바닥판과 PSC 거더와 같이 두 개의 프리캐스트 부재가 무수축모르터에 의해서 합성되는 경우 두 부재 사이의 수평전단강도는 합성작용을 위하여 매우 중요하다. 그러나, 국내 도로교설계 기준이나 AASHTO에서는 관련된 수평전단강도에 대한 기준이 없는 실정이다. 따라서, 프리캐스트 바닥판을 PSC 거더에 적용하기 위해 필요한 전단연결구조를 그림 1과 같이 제안하였고, 이를 설계하기 위해 필요한 수평전단강도를 산정하기 위해 push-off 실험을 수행하였다. 실험의 주요변수는 연결재 종류 및 단면적, 수직하중의 크기, 두 부재사이의 표면조건, 그리고 베딩층의 두께이다. 실험결과 전단연결부의 수평전단강도는 연결재의 단면적과 항복강도에 비례하고 베딩층의 두께에 반비례하였다. 경계면의 표면상태는 전단키를 가진 경우가 다른 접합면 표면상태에 비해서 수평전단강도가 크게 나타났다. 실험결과를 토대로 연결재의 단면적과 항복강도, 접합면 표면상태 및 베딩층 두께에 따른 전단연결구조의 전단강도평가식을 제안하였다.

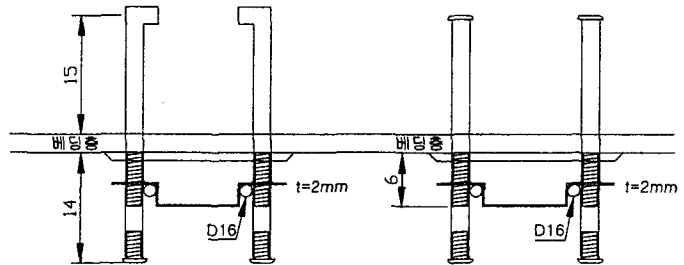


그림 1. 전단연결구조

- * 정희원, 단국대학교 토목환경공학과 박사과정
- ** 정희원, 단국대학교 토목환경공학과 교수
- *** 정희원, 중앙대학교 토목공학과 교수
- **** 정희원, 대우건설기술연구소 수석연구원
- ***** 정희원, 단국대학교 토목환경공학과 박사과정

2. 실험적 연구

2.1 실험부재

프리캐스트 콘크리트 바닥판과 PSC 거더 접합면에서의 수평전단강도를 평가하기 위하여 43개의 push-off 실험부재를 제작하였다. 실험부재는 PSC 거더를 모사한 하부실험체와 프리캐스트 콘크리트 바닥판을 모사한 상부실험체로 구성된다. 각 실험부재는 프리캐스트 콘크리트 바닥판 전단포켓부로 타설되는 무수축모르타르로 형성되는 베딩층에 의해 접합되며 제작된 실험부재의 대표적인 형상은 그림 2와 같다. 실험부재의 전단연결재는 직경 D13, D16, D19의 스티럽과 D16, D19, D22의 스티드를 각각 1열 배치와 2열 배치하였고, 접촉면 표면상태는 매끈한 경우, 매끈하면서 전단키를 설치한 경우, 표면을 거칠게 처리한 경우 각각에 대해서 제작하였다. 수직하중 최대값에서는 실험부재 자중+교량 상부슬래브의 자중+합성후 고정 사하중을 고려하였고, 평균값에서는 교량 상부슬래브의 자중을 고려하였으며, 최소값에서는 실험부재의 자중을 감안하여 등분포 하중으로 재하하였다. 베딩층의 두께는 10mm에서 30mm까지 변화시켜 부재를 제작하였다.

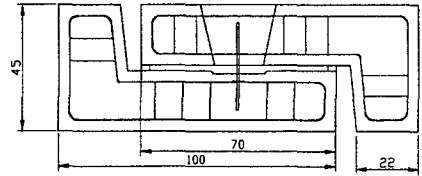


그림 2. 실험부재

2.2 재료성질 및 하중재하

콘크리트의 배합 설계강도는 35MPa이며, 무수축모르타르의 압축강도는 40MPa이다. 스티드의 인장강도 실험으로부터 구한 평균 인장강도는 485 MPa이다. 스티럽 철근의 항복강도는 412MPa이다. 하중재하시 수평하중은 600mm x 400mm인 재하판을 통해서 1mm/150sec의 변위제어 방식으로 하중을 재하하였다. 실험을 수행하는 동안 실험부재 양쪽에 설치된 LVDT를 통해서 프리캐스트 콘크리트 바닥판과 PSC 거더의 상대변위 변화량을 나타내는 하중-슬립곡선을 측정하였으며, 하중재하 형상은 그림 3과 같다.

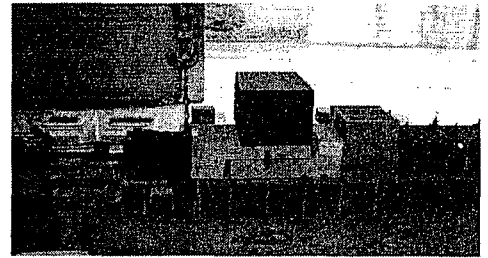


그림 3. 수평전단실험 전경

2.3 실험 결과

기존의 설계식과 연구 결과에서 제시된 평가식(Fatmir Menkulasi 2002)은 부재상호간의 마찰과 전단연결재의 못 작용 그리고 콘크리트의 강도 등을 동시에 고려하고 있다. 이 논문에서는 새롭게 제안된 전단연결구조의 전단강도에 영향을 미치는 각 변수들의 영향을 고려하여 부착과 마찰을 제외한 전단연결재만의 전단강도를 평가하였다. 주요 변수는 연결재의 단면적 및 인장강도, 수직하중, 베딩층의 두께 그리고 접촉면 표면상태 수준으로 실험 주요변수로 선정하여 평가식을 제안하였다. 콘크리트 강도의 경우에 프리캐스트 바닥판은 프리스트레스를 받는 구조부재로 일반적으로 35MPa 이상의 압축강도를 확보해야 한다. 이러한 경우 콘크리트 압축강도가 전단연결부의 전단강도에 미치는 영향이 미미하기 때문에 변수화하지 않았다.

실험에서 사용한 스티럽과 스티드의 재료강도와 단면적의 곱에 비례해서 일반적인 전단연결재의 강도가 결정되는데 실험에서 구한 전단강도와 $Asfy$ 의 관계를 나타내면 그림 4와 같다. 여기서, 수직하중은 평균값을 재하하고 접촉면의 표면조건이 전단키인 경우에 대해서 결과를 나타냈다.

전단연결부의 전단강도에 영향을 미치는 변수에서 수직하중의 크기가 있는데 이는 마찰저항을 크게 할 뿐 아니라 연결재의

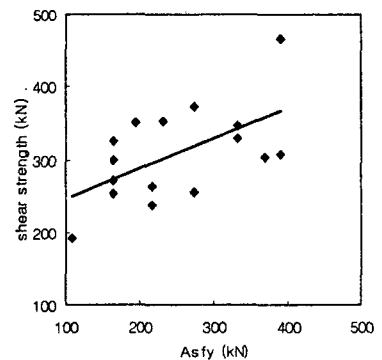


그림 4. 연결재의 전단강도

전단거동에도 영향을 주게 된다. 연결재의 축방향으로 압축력이 작용할 경우 전단강도가 높아지게 된다. 실험에서 이 영향을 평가해보면 그림 5와 같다. 실험결과에 나타나듯이 수직하중과 전단강도가 비례하는 경향을 나타냈으나 콘크리트와 콘크리트 부재사이의 전단강도는 변동성이 크기 때문에 하한값을 기준으로한 설계식이 제안되어야 할 것으로 판단된다.

프리캐스트 바닥판을 PSC 거더위에 설치하는 경우에는 어느 정도의 베딩층을 둘 수 밖에 없게 되는데 이 두께에 따라서 전단연결부의 전단강도는 영향을 받게 된다. 프리캐스트 바닥판을 강거더에 합성시키는 선행연구(대우건설 등 2000)에서 베딩층증가에 따라 전단강도의 감소가 확인되었는데 실험에서도 그림 6과 7에서 보는 바와 같이 베딩두께가 증가함에 따라 전단강도가 감소하는 경향을 보여주고 있다. 따라서, 전단강도 평가식에서 베딩두께의 영향이 반영되어야 한다.

표면상태에 따른 전단연결부의 전단강도를 그림 8과 9에 나타내었다. 표면상태는 매끈한 면, 거칠게 처리한 면, 그리고 전단키를 둔 면에 대한 변수에 대해서 평가해본 결과 전단키를 처리한 것이 가장 양호한 강도를 나타냈다. 따라서 전단키를 두는 것이 프리캐스트 바닥판을 가진 PSC 거더교의 설계에서 추천할 수 있는 상세(정철현 등 2003)라고 판단된다.

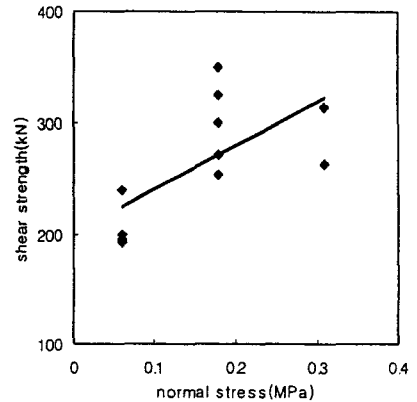


그림 6. 수직하중과 전단강도

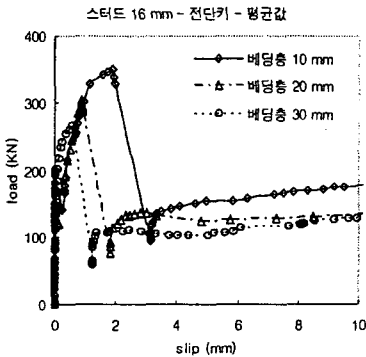


그림 7. 베딩층과 하중-슬립곡선

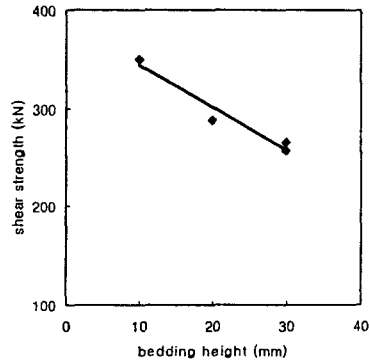


그림 7. 베딩층두께에 따른 전단강도

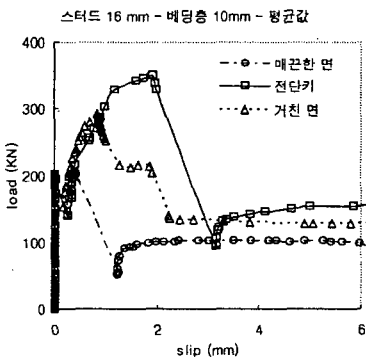


그림 9. 접촉면과 하중-슬립곡선

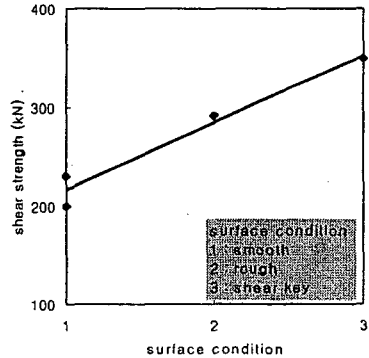


그림 9. 접촉면과 전단강도의 관계

3. 수평전단강도 평가식

전단연결부의 전단강도 평가식을 제안하는데 있어 실험변수로 선택된 것 중에서 모든 변수를 포함하는 평가식은 난해할 뿐 설계식 제시에 별 도움이 되지 않기 때문에 몇 가지 원칙하에서 평가식을 제안하였다. 우선, 전단연결재의 단면적과 항복강도에 비례하고 베딩층의 두께는 그림10과 같이 반비례함이 명백하기 때문에 이를 설계식에 반영하고 표면상태는 전단키를 기본으로 하고 수직하중은 평균값을 기준으로 하였다. 식 (1)에 평가된 전단강도 식을 제시하였고 실험결과와 비교한 결과 그림 11과 같이 잘 일치하는 경향을 보여주고 있다. 최종적으로 전단연결부의 설계식 제안을 위해서는 부착이 전단강도를 지배하는 경우와 전단연결재의 전단저항이 큰 영향을 미치는 경우를 모두 고려하여 부착강도 항목이 포함된 일반화된 설계식을 제시할 필요가 있다.

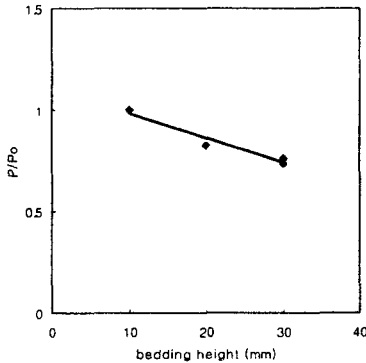


그림 10. 베딩층 두께를 고려한 감소계수

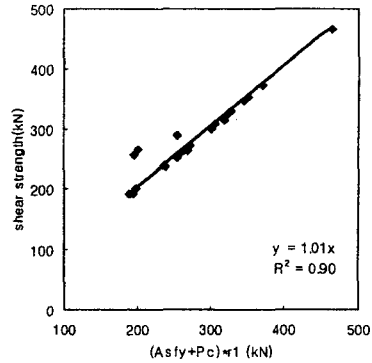


그림 11. 전단연결부의 전단강도 평가식

$$V_s = 1.01 (A_s f_y + P_c) (1.1 - 0.012 t_b) \quad (1)$$

여기서, V_s 는 전단연결부의 평균강도(kN), A_s 는 연결재의 단면적(mm²), f_y 는 연결재의 항복강도(MPa), P_c 는 경계면에 작용하는 수직하중(kN), 그리고 t_b 는 베딩층의 두께(mm)를 나타낸다.

4. 결론

프리캐스트 바닥판을 PSC 거더에 적용하기 위해 필요한 전단연결구조를 제안하였고 이를 설계하기 위해 필요한 수평전단강도를 산정하기 위해 push-off 실험이 수행되었다. 실험의 주요변수는 연결재 종류 및 단면적, 수직하중의 크기, 표면조건, 베딩층의 두께이다. 실험결과를 분석하면 전단연결부의 수평전단강도는 연결재의 단면적과 항복강도에 비례하고 베딩층의 두께에 반비례하였다. 경계면의 표면상태는 전단키를 가진 경우가 가장 양호한 거동을 보였고 수직하중의 크기는 영향을 미치고 있지만 설계식에 반영할 필요는 없는 것으로 나타났다. 부착의 영향을 제외한 제안된 전단연결구조의 전단저항을 고려한 전단강도 평가식을 제안하였고 실험결과와 잘 일치하는 결과를 보였다.

참고문헌

1. 대우건설, 한국도로공사, 서울대학교(2000) 프리캐스트 콘크리트 교량 바닥판의 개발 및 실용화, 96연구개발사업 최종보고서, 건설교통부, 한국건설기술연구원.
2. 정철현, 심창수, 현병학, 김영진, 박세진(2003) 전단연결재가 있는 프리캐스트 콘크리트 바닥판과 PSC-거더 접합면의 수평전단강도. 대한토목학회 학술발표회, pp. 345-348.
3. Fatmir Menkulasi (2002) *Horizontal Shear Connectors for Precast Prestressed Bridge Deck Panels*, Virginia Polytechnic Institute and State University