

루프 이음 프리캐스트 교량 바닥판의 균열

Cracking of Precast Bridge Decks with Loop Joints

류형근* 장승필** 김영진*** 김병석****
Ryu, Hyung Keun Chang, Sung Pil Kim Young Jin Kim, Byung Suk

ABSTRACT

In this paper, experimental test on the full scale model of steel and concrete composite plate girder with prefabricated slabs under hogging moments was conducted cautiously and observed in order to study cracking in precast decks. Details of prefabricated slab transverse joints were determined from previous research. A test specimen was overhanging simple support beam, totally 28 meter length. Through the 4-point flexural test, the behaviour of the composite girder under hogging moments was observed. From the test results, crack development and crack widths were observed.

1. 서론

합성형 교량에 프리캐스트 바닥판을 적용하고자 하는 연구가 서울대학교, 대우건설¹, 한국건설기술연구원³등에서 최근까지 지속되고 있으며, 류형근²등은 제안된 상세를 갖는 루프 이음 RC부재의 극한 강도를 정적 휨시험을 통해 확인한 바 있다. 한편, 프리캐스트 바닥판을 연속교에 적용하기 위해서는 내부지점부 근처에 도입되는 부모멘트로 인해 인장력하에 놓이게 되는 바닥판간 횡방향 이음부의 균열발생거동에 대한 연구가 필요한 것으로 판단된다. 바닥판의 내구성 및 사용성 측면에서 이러한 연구는 더욱 중요할 것으로 생각된다. 이 연구에서는 루프 이음 프리캐스트 바닥판 합성 거더에 대한 부모멘트 재하 실험을 통해 균열 거동 및 균열 특성을 실험적으로 고찰해 보았다.

2. 루프 이음 프리캐스트 바닥판 합성거더의 휨실험

2.1 사용재료

재료실험을 통해 콘크리트와 팽창 콘크리트 그리고 무수축 모르타에 대한 강도를 표 1에서와 같이 측정하였다. 미리 제작된 프리캐스트 바닥판은 일반 콘크리트를 적용하여 제작되었으며 표 1에 나타나 있는 강도는 28일 강도이고 실제 시험이 시작될 때는 바닥판이 제작된지 한달이 지난 상태이기 때문에 이후 강도증진이 약간 더 되었을 것으로 판단된다. 바닥판간 횡방향 이음부에는 팽창 콘크리트를

* 정회원, 서울대학교 지구환경시스템 공학부, 박사수료

** 정회원, 서울대학교 지구환경시스템 공학부, 교수

*** 정회원, 한국건설기술연구원, 선임연구원

**** 정회원, 한국건설기술연구원, 연구위원

타설하여 화학적 프리스트레싱을 기대하였고 이로부터 초기건조수축에 의한 효과를 최소화하고자 하였다. 한편 전단연결재와 바닥판간의 합성을 위한 전단포켓에는 채움재로서 무수축 모르터를 타설하였다. 표 1에 제시된 팽창 콘크리트와 무수축 모르터의 강도는 시험이 시작될 때, 즉 가력되었을 때의 강도를 의미한다. 한편 시험체에 적용된 플레이트 거더는 실제 교량에서 주부재로서 이용되고 있는 SM490강재를 사용하였다. 철근은 직경 22mm인 SD40을 적용하였고 항복강도는 400MPa이다.

2.2 실험체 및 실험방법

실험체는 허용응력설계법을 기준으로 한 현행 도로교 시방서에 의해 일반적인 플레이트 거더교로 설계된 교량을 모델로 하여 실 크기로 제작하였다. 대상교량은 DB-24로 설계된 1등교로서 폭은 12.145m이고 4차선 교량이다. 실험체는 5주형으로 이루어진 연속 합성 플레이트 거더교에서 주형 하나에 대해 제작되었다. 실험체에 적용된 프리캐스트 바닥판은 폭 2000mm, 길이 2040mm로서, 거더 길이 방향으로 총 14개의 바닥판이 설치되었다. 거더 전체 길이는 28m로서 4점 재하 휨실험을 수행할 수 있도록 시험체의 지지조건을 결정하였다. 시험체의 양쪽으로 11m의 내민보 구간이 존재하고 중앙 부분 6m 구간이 단순지지되어 있는 형식으로 시험체를 설치하여 부모멘트를 도입하였다. 전단연결재는 직경 22mm 스티드를 바닥판 한 개당 3개의 전단포켓에 3열로 배치하여 교축방향으로 등 간격 배치하였다. 주형의 지점부와 하중 재하부에는 전단력이 집중되는 것을 고려하여 수직 보강재를 설치하였고, 작용 하중에 대해 거더 복부판에서 발생할 수 있는 전단좌굴을 방지하기 위해 미리 계산된 간격으로 수직보강재를 설치하였다. 하중재하 단면에서는 수평변위 및 횡-비틀림 좌굴을 방지하기 위해 수평브레이싱을 설치하였다. 하중 재하는 국부적인 응력 집중을 방지하고 일정한 하중이 원하는 부분에서 재하되도록 하중재하판을 설치하여 그 위를 가력하였다.

3. 실험결과

3.1 탄성거동

200kN까지의 최초 하중 재하시에는 바닥판에 균열이 발생하지 않고 완전 비 균열단면으로서 탄성 거동을 확인하였다. 바닥판의 인장강도를 넘어서는 부모멘트가 발생되기 전까지 합성단면은 비균열단면으로 거동하게 되고 따라서 해석결과는 균열이 발생되기 전까지의 합성단면의 거동에 대한 것이다. 해석모델에서 바닥판과 거더는 모두 8절점 쉘 요소를 이용하여 모델링하였고, 전단연결재는 보요소를 이용하여 모사하였다. 200kN까지의 하중-처짐 이력 곡선과 수계산 및 유한 요소 해석결과를 그림 1에 나타내었다. 수 계산은 Bernoulli 보 이론을 이용하여 이루어졌다. 그림에서 알 수 있듯이 수계산의 결과가 3차원 유한요소 해석결과에 비하여 다소 적은 값을 보여주고 있음을 알 수 있으며, 유한요소해석 결과와 실험체의 하중-처짐 관계가 매우 유사한 것을 확인할 수 있다. 따라서 루프 이음 프리캐스트 바닥판을 적용한 합성 플레이트 거더가 부모멘트의 작용하에 놓여있더라도 작용 모멘트가 바닥판의 인장강도를 넘지 않는 경우에는 비균열 합성단면으로서 탄성거동을 보여준다고 할 수 있다.

3.2 균열 거동

바닥판의 인장강도를 초과하는 응력을 발생시키는 부모멘트로부터 균열하중을 계산한 결과 405kN의 균열 하중이 계산되었다. 실제 실험시 초기에 관측된 균열은 340kN에서 발생하였다. 특히 발생된 초기 균열은 바닥판간 횡방향 현장 타설 이음부의 가장자리에서 발생되었는데, 이 부분은 루프 이음의

겹침이 되지 않는 부분이고 현장타설 콘크리트와 프리캐스트 바닥판이 맞닿는 경계면이기도 하다(그림 2(a)). 바닥판간 횡방향 이음부에 팽창콘크리트를 적용하여 화학적 프리스트레싱을 기대하였으나, 계산된 균열하중의 84% 수준에서 초기 균열이 발생된 것으로 미루어 프리캐스트 바닥판과 현장 타설 이음부가 맞닿는 경계면에서 초기 건조수축이 발생되었을 것으로 판단된다. 즉 초기 건조수축에 의해 도입된 인장응력으로 인해 바닥판의 인장강도가 84%정도 감소된 것으로 판단해 볼 수 있다. 바닥판에 발생된 균열 분포를 그림 2(b)에 나타내었다. 그림 2(b)에 도시한 바닥판들은 일정 부모멘트를 받는 단순지지되어 있는 거더 중앙 위에 놓여있는 바닥판들이다. 따라서 일정 모멘트일때 발생된 균열폭과 간격등은 루프 이음 프리캐스트 바닥판의 균열분포특성을 파악하는데 매우 중요한 자료가 될 것으로 판단된다. 그림에서 보여지듯이 균열은 바닥판 가장자리에서 발생하여 중앙부로 전파되었다. 일정 모멘트 구간의 바닥판에서 발생한 균열하중 및 균열의 최소, 최대, 평균 균열간격을 표 2에 나타내었다. 최초 균열은 그림 2(a)에서처럼 발생하였지만, 외부 하중이 증가함에 따라 균열은 지속적으로 발전되었고 그림 2(b)에서와 같이 일정 간격으로 분포하였다. 특히 전단포켓의 횡방향 가장자리에서 발생된 균열도 점차적으로 진전되어 바닥판의 횡방향을 관통하였는데, 이로부터 나중에 시공되는 시공 이음부, 전단포켓과 바닥판간 횡방향 이음부에 현장 타설시에 주의가 필요하고 이부분에 대한 품질관리가 필요할 것으로 사료된다.

균열 발생 이후 가력하중을 점차적으로 증가시키면서 발생된 균열 중 이음부 근처에서 발생된 균열과 바닥판 내에 발생된 균열에 오메가 게이지를 부착하여 균열폭을 측정하고 그 모멘트-균열폭 관계를 그림 3에 도시하였다. 최대 균열폭은 CR3에서 측정되었고 CR3의 부착위치는 일정 모멘트 구간 시험체의 바닥판간 횡방향 이음부에서 프리캐스트 바닥판과 현장타설 부분 사이이다. 이들 계속된 모멘트-균열폭 곡선으로부터 일반적으로 사용성을 헤치지 않는 범위로서 허용되고 있는 균열폭 0.3mm를 어떠한 균열에서도 넘지 않는 재하 하중의 크기는 13200kN·m 수준이었고, 0.2mm를 넘지 않는 재하 하중의 크기는 9900kN·m 수준으로 파악되었다. 도로교 설계 기준에서 제시하고 있는 활하중 재하 기준에 따르면, 차선당 종방향으로는 DB차량 하중 1대를 재하하거나 1차선분의 DL하중을 재하하여 불리한 응력을 주는 것을 기준으로 산정하도록 되어 있다. 이 연구에서 수행한 실험체를 1차선분으로 생각하면, 1등급에 적용되는 DB24하중에 충격계수 1.3을 곱하여 산정된 하중, 550kN을 하나의 집중하중으로서 생각하여 실험체에 발생하는 최대 균열폭을 측정한 결과, 0.14mm의 균열폭이 발생하였다. 실질적인 교량에서는 여러개의 병렬 거더가 바닥판과 주형으로 연결되어 있으므로 하중의 횡분배가 이루어지기 때문에, 유효폭의 바닥판을 갖는 하나의 합성거더에 적용한 활하중 산정법은 다소 과장된 측면이 있을 수 있다. 그러함에도 불구하고 도로교 설계 기준에서 제시하고 있는 활하중을 재하였을 때 발생하는 균열폭은 일반적으로 사용성 측면에서 허용되고 있는 균열폭을 넘지 않는 수준임을 알 수 있다. 특히 이 실험체는 일반적인 연속교 형식으로 지지되어 있는 거더가 아닌 쉐일레버 형식으로 지지되어 있는 거더에 대한 것이므로 일반적인 연속교에 비해 작용하중에 대한 발생 인장응력이 더 높은 수준임을 감안한다면, 루프 이음부를 갖는 프리캐스트 바닥판 연속 합성형 거더 교량의 적용이 사용성을 헤치지 않는 범위에서 이루어질 수 있을 것으로 판단된다.

한편, 현행 도로교 설계 기준에서는 인장력을 받는 바닥판에서 콘크리트의 단면을 무시하고 설계를 하는 경우에는 바닥판 콘크리트 단면적의 2% 이상의 교축방향 철근을 배근하여야 하며 이 경우 교축방향 철근의 총주변장의 바닥판 콘크리트의 단면적에 대한 비, 즉 주장은 0.045cm/cm² 이상으로 하도록 되어 있다. 그러나 이러한 철근 배근의 규정이 바닥판 시공을 어렵게 하고 특히 루프 이음의 경우 겹이음으로 시공이 되므로 바닥판 부분에서 2% 배근을 할 경우 이음부 부분에서는 4%이상 배근되는 문제점이 있다. 이 연구에서는 기본적으로 현행 도로교 설계 기준을 만족시키기 위해 시험체 제

작을 2% 배근 규정을 만족하도록 설계 하였다. 그러나 최근의 AASHTO LRFD 시방서나 Eurocode 에서는 인장을 받는 바닥판의 철근 배근을 바닥판 단면적의 1% 이상이 되면 만족하는 것으로 규정을 두고 있기 때문에 이에 대한 연구가 좀 더 필요할 것으로 판단된다.

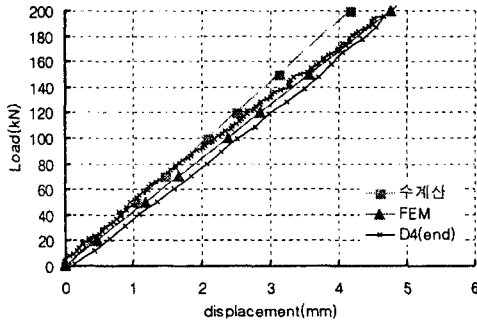


그림 1 탄성상태(200kN 재하)하중-처짐 곡선

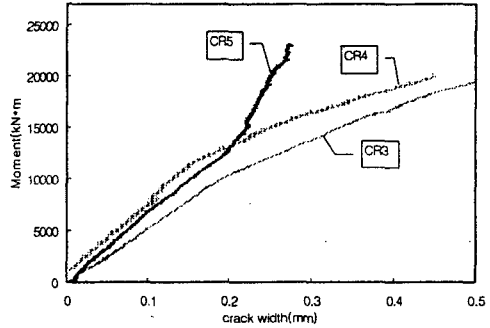
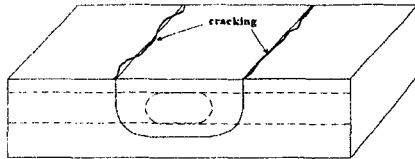
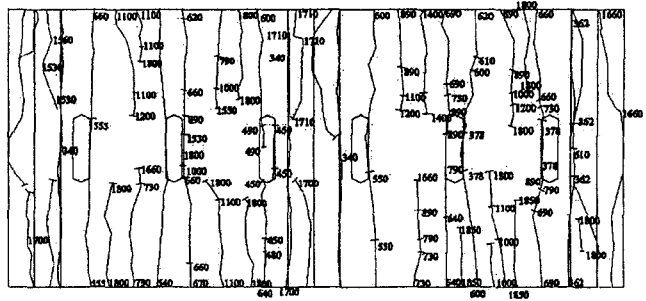


그림 3. 모멘트-균열폭 곡선



(a) 루프 이음부 부근 발생 균열



(b) 일정 부모멘트를 받는 바닥판의 균열 분포

그림 2 균열 분포도

표 1 재료 강도 (units : kgf/cm²)

	1	2	3	평균
바닥판	293	351	414	353
횡방향 이음부 (팽창콘크리트)	605	576	501	561
전단포켓 채움재 (무수축 모르타)	417	420	430	422

표 2 균열하중 및 균열간격

균열하중 (theory)	균열하중 (Test)	Err (Test/theory)	최소 균열간격(mm)	최대 균열간격(mm)	평균 균열간격(mm)
405kN	340kN	0.84	77	280	165

참고문헌

1. 대우건설(1998). "프리캐스트 콘크리트 교량 바닥판의 개발 및 실용화", '96연구개발사업 제2차년도 연차보고서.
2. 류형근, 장승필, 김영진 (2003), "루프 이음부를 갖는 프리캐스트 RC바닥판의 휨거동에 관한 실험적 연구", 대한토목학회 논문집 5월, pp.479-486
3. 한국건설기술연구원 (2002, 2003), "장수명 합리화 교량 바닥판 개발(I)", Bridge200