

외부강선을 이용한 부모멘트부 바닥판의 균열제어

Crack Control of the Precast Decks in Negative Moment Region using External Tendon

김영신* 정철현* 홍민기*** 박세진**** 김철영***** 이병주*****
Kim, Young Sin Chung, Chul Hun Hong, Min Ki Park, Se Jin Kim, Chul young Lee, Byung Joo

ABSTRACT

In order to apply precast decks to the continuous composite bridges, several experiments and analytical studies were performed. For the continuous composite bridges, special attention should be paid to the transverse joints in negative moment region. Judging from the results, combination of longitudinal internal prestressing tendon and the external tendon can be effectively used for the prevention of cracking in the negative moment region of precast decks.

1. 서론

프리캐스트 바닥판 교량은 교체 및 신설에서 모두 상당히 많은 적용성과 장점을 가지고 있지만 설계와 시공측면에서 세심한 주의가 요구되는 항목들이 존재하게 된다. 단순교의 경우에는 장기간 바닥판인 경우를 제외하고는 이음부 균열 제어 측면에서 용이하게 해결될 수 있지만 연속교의 경우에는 정모멘트 구간과 부모멘트 구간에 대해 동시에 균열제어를 보장해야 하는 어려움이 있다. 특히, 부모멘트 구간의 경우에는 활하중 합성이라 하더라도 트럭하중에 의해 콘크리트 바닥판에 인장이 발생하고 이를 초기에 도입하는 프리스트레스로 상쇄시켜서 이음부에서의 균열발생을 원천적으로 방지해야 한다. 이는 본 연구에서 대상으로 하는 프리캐스트 바닥판 교량에서 이음부는 철근을 갖지 않는 형태이기 때문에 균열폭 제어의 개념으로는 사용성을 확보하기 어렵기 때문에 인장응력 발생 제어에 기준을 두어야 한다. 이음부는 사용하중에 대해 축방향 응력, 휨응력, 그리고 전단응력을 모두 전달해야 하기 때문에 상부에 세심한 주의를 기울여야 하고 효과적인 하중전달 및 연속성 확보에 역점을 두어야 하는 중요한 부분이다. 연속교의 경우 내부강선과 함께 지점침하나 외부강선에 의한 프리스트레스 도입이 병행되는 것이 구조적 및 경제적으로 바람직하다고 판단된다⁽¹⁾⁽²⁾.

본 논문에서는 이러한 측면들을 고려하고, 미적인 우수성도 인정되는 개구제형 강합성형 교량에 프리캐스트 바닥판을 적용한 연속합성형 교량의 실용화의 일환으로 연구를 수행하였다. 단순교에 적용되는 프리캐스트 바닥판 이음부의 일체성 및 균열저항성 확보는 바닥판 내에 설치되는 내부텐던에 의한 압축력은 선행 연구에서 결정되었으며⁽¹⁾, 프리캐스트 바닥판을 개구제형 강합성형 연속교량에 적용하기 위해서는 부모멘트부 바닥판 상부의 균열저항성이 확보방안이 추가로 강구되어야 한다.

* 정회원, 명지대학교 토목환경공학과 박사과정

** 정회원, (주)대우건설 기술연구소 토목연구팀 책임연구원

*** 정회원, (주)대우건설 기술연구소 토목연구팀 주임연구원

**** 정회원, (주)대우건설 기술연구소 토목연구팀 연구원

***** 정회원, 명지대학교 토목환경공학과 교수

***** 정회원, 한국도로공사 도로연구소 책임연구원

따라서 본 연구에서는 부모멘트부(내부지점부)에 설치되는 프리캐스트 바닥판의 균열제어를 위해 내부지점부 부근에 부분적으로 외부강선에 의해 바닥판에 압축력을 도입하는 방법에 대해 연구를 수행하였다.

2. 외부강선 시스템의 결정

본 연구에서는 연속교 내부지점부 바닥판에 압축력을 도입하기 위해 그림 1과 같이 4가지 외부강선 배치형태에 대해서 검토한 결과를 토대로 효과적인 배치형상 및 프리스트레스 도입량을 결정하였다.

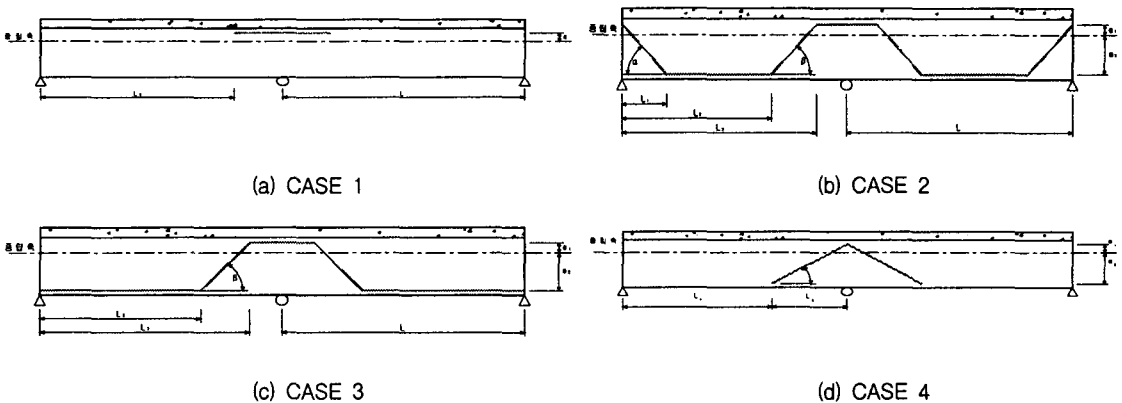


그림 1 외부강선의 배치형태

그림 1의 4가지 배치형태에 대한 검토결과⁽²⁾, 부모멘트부 바닥판에 목표치로 하는 압축응력을 도입 하는데 CASE 2가 가장 작은 긴장력이 소요되는 것으로 나타났다. 그러나 CASE 2와 CASE 3의 방법은 외부강선의 길이가 경간 전체에 배치되므로 CASE 1과 CASE 4에 비해서 강선길이가 7배 이상 길어지게 되고, 편향부도 다수 존재하게되어 경제성 및 시공성이 떨어지는 배치형태인 것으로 판단된다. CASE 4의 경우는 오히려 바닥판에 인장응력이 발생하게 되어 비효율적인 배치형태인 것으로 나타났다. CASE 1의 경우는 외부강선의 단면내 배치위치 및 배치길이를 효과적으로 조정하면 압축응력을 도입하고자 하는 바닥판 부모멘트 영역에 거의 일정한 크기의 압축력을 도입할 수 있음이 확인되었다. 따라서, 본 연구에서는 효율성과 경제성 및 시공성 측면에서 고려하여 CASE 1의 배치형태를 적용하는 것으로 결정하였다⁽²⁾.

그림 1의 CASE 1과 같이 부모멘트 구간에만 외부강선을 직선 배치하는 경우 구조물 전단면에 걸쳐서 중립축이 일정하므로 그림 2와 같이 도식화가 가능하다. 참고로, 본 연구에서 대상으로 하는 프리캐스트 바닥판을 갖는 개구제 강주형 합성형교는 합성단면의 형상이 전경간에 걸쳐서 일정하다⁽²⁾.

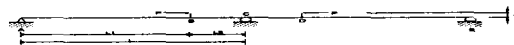


그림 2 직선배치의 도식화 (e : 실험체 중립축에서 정착구 중심까지의 편심거리)

구조물은 B-D구간에는 긴장력 P 만큼의 압축력과 B점과 D점에 각각 $P \cdot e$ 만큼의 모멘트가 작용하는 보로 볼 수 있다. 이 때 C지점의 바닥판에 5 kgf/cm^2 만큼의 압축응력을 발생시키는 긴장력 P 는

아래와 같이 구할 수 있는데 정착구의 위치에 따른 긴장력의 변화를 구하기 위하여 L_1, L_2 를 변수로 하며, 편심거리(e)는 약 2cm이다. 긴장력의 초기손실이나 장기거동에 의한 손실은 무시한다. B, D 지점의 모멘트에 의해서 발생하는 지점 반력은 아래와 같다.

$$R_c = P \cdot e \frac{(2 \cdot L_1 L_2 + L_2^2)}{L^3}, \quad R_A = R_E = -\frac{R_c}{2} \quad (1)$$

따라서 C 지점에 발생하는 정모멘트는

$$M_c = P \cdot e - R_A \cdot L \quad (2)$$

이고, C 지점의 바닥판에 발생하는 압축응력은 아래 식과 같으며, 이때 식을 만족하는 하중 P 가 외부강선에 의해 도입되는 긴장력이다.

$$\sigma_c = \frac{P}{A} + \frac{M_c}{I} \cdot y \quad (3)$$

외부강선 정착구의 단면특성은 <그림 3>과 <그림 4>와 같고, <그림 5>와 같은 해석모델을 이용해 유한요소해석을 실시해 지압, 할렬, 배면인장 등의 국부응력, 국부적인 휨 및 전단에 대해서 안전성을 검토하여 상세단면을 결정하였다⁽²⁾. 본 연구에서 정착구는 SM490 강재를 사용하고, 정착구의 지름은 36mm이다. 정착구의 정착판에는 큰 긴장력이 전달되므로 두 개의 보강판($t=20\text{mm}$)을 사용해서 정착판에 발생하는 집중응력에 대하여 보강을 실시하였고, 정착판은 $t=20\text{mm}$ 를 사용했다. 정착구 저판은 주형의 복부와 F10T M22 볼트를 사용하여서 주형 복부와 연결하였다.



그림 3 외부정착구 측면도

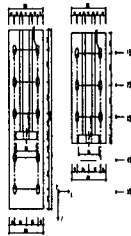


그림 4 Bolt 구멍위치

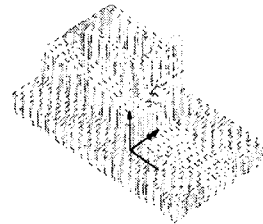


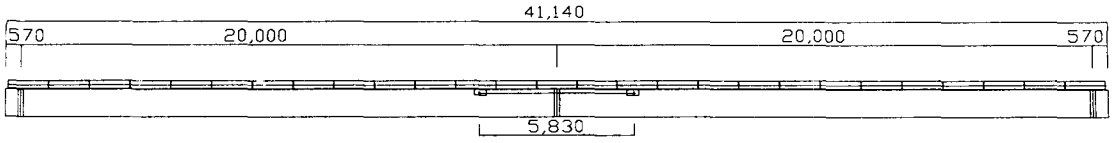
그림 5 외부정착구의 유한요소 모델

3. 모형교량 실험

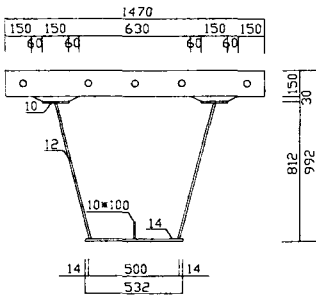
프리캐스트 바닥판(설계강도 350 kg/cm^2)을 갖는 개구제 강주형 2경간 연속합성형교의 모형교량실험을 통해 부모멘트부에서 프리캐스트 바닥판의 균열발생 시점, 균열저항 능력 및 균열발생 후의 거동을 평가하였다. 2경간 연속교인 모형교량의 단면형상은 그림 6과 같다. 모형교량은 예비설계를 통해서 단면을 결정하고 구조해석을 수행하여 간 단면의 거동을 파악한 후 실시설계를 수행하여 최종단면을 결정하였다.

사전에 공장에서 제작된 프리캐스트 바닥판 및 개구제 강주형 블록을 실험장소로 운반하여 개구제 강주형을 조립한 후, 그림 7과 같이 프리캐스트 바닥판(총 27개)을 강주형위에 거치시킨다. 바닥판 거치후, 바닥판간 이음부에 무수축 모르터를 타설해 접합하고, 그림 8과 같이 바닥판내에 사전에 삽입된 내부텐던을 긴장해 바닥판에 25 kg/cm^2 의 압축력을 도입한다. 프리캐스트 바닥판과 주형은 그림 9와 같이 바닥판에 사전에 설치된 전단포켓에 무수축 모르터를 타설하여 합성시킨다. 합성이후 내부지점부

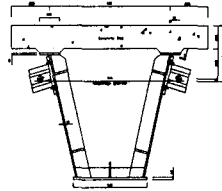
부근에 설치된 외부강선을 긴장해 부모멘트부 바닥판에 5 kg/cm²의 추가 압축력을 도입한다.



(a) 종방향 단면형상



(a) 단면형상



(b) 외부정착구의 형상

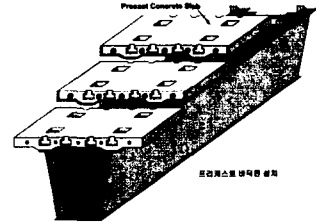


그림 7 프리캐스트 바닥판의 거치

그림 6 모형교량의 단면형상

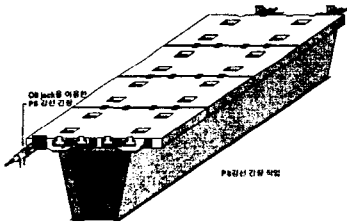


그림 8 내부텐던의 긴장

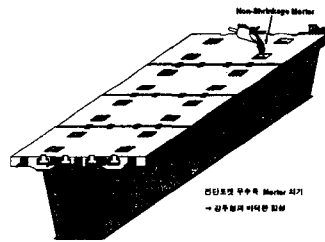


그림 9 바닥판과 주형의 합성



그림 10 바닥판과 주형의 합성

제작이 완료된 모형교량 시험체와 내부지점부에 설치된 외부강선의 형상은 그림 10과 같고, 재하 하중은 60ton까지 하중제어 방식으로 2ton씩 단계별로 증가시켰으며, 이후부터는 파괴시까지 변위제어 방식으로 하중을 증가시켰다. 하중제하 위치는 각 경간 중앙부 2지점으로서 그림 11과 같다.



그림 11 하중제하 위치

4. 실험결과

외부강선을 통해 13.5tonf의 긴장력 도입시 부모멘트 바닥판 표면부에서 측정된 압축응력은 그림 12로서, 약 6.5 kgf/cm²의 압축응력이 도입되었다.

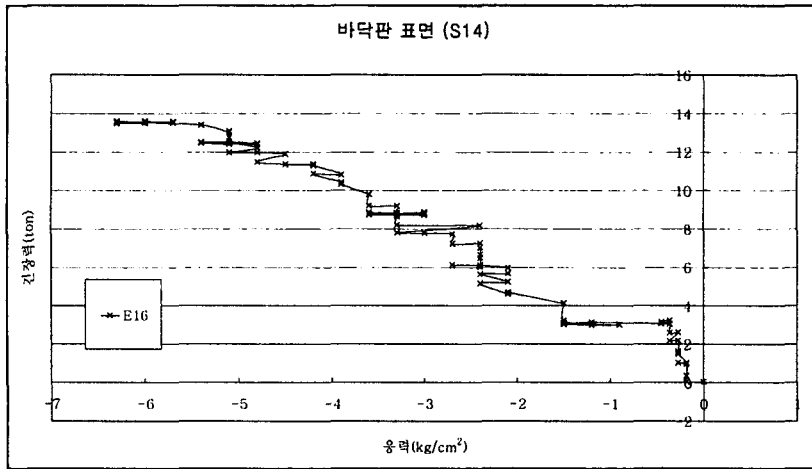


그림 12 부모멘트부 바닥판에 도입된 응력

부모멘트부 바닥판에서 발생된 균열현황은 그림 13으로서 최초균열은 26tonf 하중재하시 바닥판간 이음부에서 발생되었으나, 하중이 증가하면서 균열이 이음부에서 집중되지 않고 이음부가 아닌 프리캐스트 바닥판내로도 분산되는 양상을 보여 바닥판내에서 하중분배가 원활히 이루어지는 것으로 나타났다. 균열하중은 설계에서 예상된 21tonf 보다 큰 하중수준인 26tonf인 것으로 나타나 균열에 대한 저항성도 충분히 확보되는 것으로 판단된다.

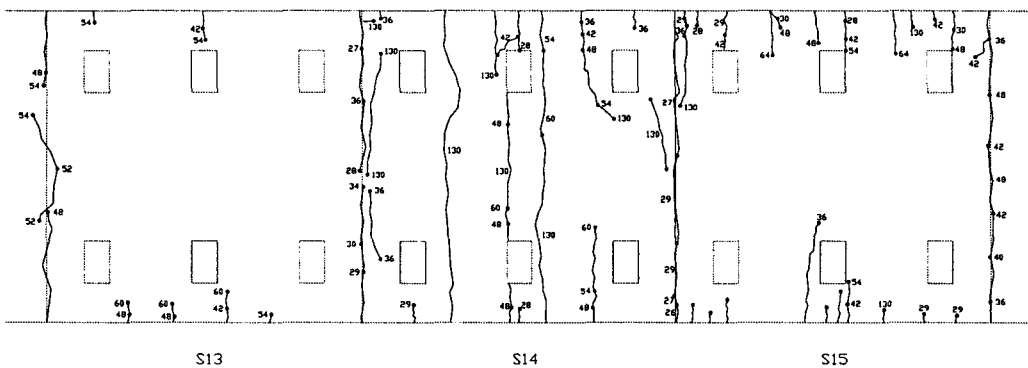


그림 13 부모멘트부 바닥판의 균열발생 현황

5. 결론

본 연구에서는 이론적 연구를 통해서 프리캐스트 바닥판을 갖는 개구제 강주형 연속 합성형교에서 부모멘트부 바닥판에 압축력을 도입하기 위한 부분 외부강선 시스템을 결정하였으며, 40m 경간을 갖는 2경간 연속인 모형교량실험을 통해서 유효성을 입증하였다. 실험결과 부모멘트부 바닥판 이음부에서 최초 발생된 균열하중은 26tonf으로서 28tonf 이후부터는 균열이 이음부에 집중되지 않고 바닥판내

로 분산되는 결과를 보였다. 본 연구에서 수행된 모형교량에 현장타설 바닥판을 적용하는 경우의 예상 균열하중은 12.5tonf이며, 프리캐스트 바닥판을 적용시 예상 균열하중은 21tonf 수준이다. 따라서 내부 지점부 부근에 부분적으로 외부 긴장력을 도입함으로써 프리캐스트 바닥판을 갖는 개구제 강주형 연속 합성형교의 지점부 부모멘트에 대한 바닥판의 균열을 효과적으로 제어할 수 있는 것으로 판단된다.

참고문헌

1. 한국도로공사·(주)대우건설 기술연구소, “신형식 강합성형 교량 개발에 관한 연구,” 2001년도 최종 연구보고서.
2. 한국도로공사·명지대학교, “외부강선을 도입한 개구제형 강합성형 교량의 실험적 연구,” 2001년도 연구보고서.
3. 이필구, 심창수, 장승필, 정철현, “프리캐스트 바닥판을 갖는 연속합성보의 실험,” 대한토목학회 논문집, 2001. 9. 제21권, 제5-A호, p.583-592.