

프리캐스트 바닥판을 사용한 강합성거더교의 장기기동 해석

Evaluation of long term behavior of steel plate girder bridges with precast concrete decks

김수현* 이종민** 조선규*** 고동춘****
Kim, Su Hyun Lee, Jong Min Cho, Sun Kyu Go, Dong Choon

ABSTRACT

The precast concrete deck is one of suitable solutions for replacement and new construction in urban area. However, the precast concrete deck could be a weak point of the steel plate girder bridges structurally due to the connections between precast panels in the longitudinal direction. Thereafter, it is necessary for improvement of durability and load carrying capacity to introduce the prestress force in the longitudinal direction. Some cracks of connections at the precast concrete deck may be occurred due to live loads, the difference of temperature and long-term effects. The shrinkage and creep of concrete may significantly affect long-term behaviors which occur tensile stresses at the precast concrete deck of steel plate girder bridges.

In this study, the time-dependant analysis program has been developed to determine the initial prestress force in the longitudinal direction considering loss of stress at the precast concrete deck. Also it has been estimated the initial prestress force by construction stages and shapes of girder.

1. 서론

프리캐스트 바닥판은 도심지의 노후된 교량의 바닥판과 같은 급속시공을 요구하는 경우와 불리한 입지조건으로 작업이 곤란한 현장에 적용될 수 있는 적절한 방안이다. 그러나 프리캐스트 바닥판을 사용한 강합성거더교에서는 교축방향의 이음부로 인해 균열이 발생하고, 또한 교량에서 구조적으로 가장 취약한 부분이 될 수 있다. 따라서 바닥판의 내구성 및 내하성능의 향상을 위해 이음부에 교축방향의 프리스트레스를 도입하는 것이 필요하다.(장승필 외 3명, 1999) 바닥판의 이음부에서 균열이 발생하는 원인으로서는 활하중, 온도하중 그리고 콘크리트의 장기거동에 의한 바닥판에서의 인장응력을 들 수 있다. 일반적인 강합성거더교와는 달리 교축방향으로 프리스트레스를 도입하는 프리캐스트 바닥판을 사용한 경우에서 건조수축 뿐만 아니라 프리스트레스에 의한 크리프도 바닥판의 인장응력 발생에 큰 영향을 미칠 것이다.

본 연구에서는 프리캐스트 바닥판을 사용한 단순 강합성거더교에 대하여 콘크리트의 장기거동으로 인한 응력손실이 고려된 교축방향의 초기프리스트레스를 산정하기 위해 장기거동해석 프로그램을 작성하였다. 또한 개발된 프로그램을 이용하여 시공단계 및 거더의 형상 변화가 초기프리스트레스에 미치는 영향을 평가하였다.

* 서울산업대학교 철도전문대학원 석사과정, 비회원
** 서울산업대학교 철도전문대학원 박사과정, 비회원
*** 서울산업대학교 철도전문대학원 부교수, 정회원
E-mail : skcho@snut.ac.kr
TEL : (02)970-6512 FAX : (02)948-0043
**** (주) 포스코건설 상무이사, 정회원

2. 장기거동 해석 프로그램

2.1 해석 프로그램 개요 및 구성

장기거동해석 방법은 콘크리트의 재령효과를 고려할 수 있고 복잡한 단면에 적용이 우수한 시간의존적 해석방법인 AEMM(Age-adjusted Effective Modulus Method) relaxation procedure를 이용하였으며, 3차원 보요소를 이용한 유한요소법을 적용하여 축방향력의 변화(ΔN) 및 휨모멘트의 변화(ΔM) 등은 등가절점하중으로 치환하여 각각의 절점에 재하하는 방식으로 구조해석을 수행하였다. 또한 장기거동해석에 필요한 크리프계수 및 건조수축변형률은 철도설계기준(철도교편)에 따라 산정하였으며, PS강재의 릴렉세이션에 의한 긴장력의 감소는 Magura의 식을 사용하였다. 장기거동 해석시 시공단계와 고려사항은 각각 그림 1과 표 1에 나타내었다.

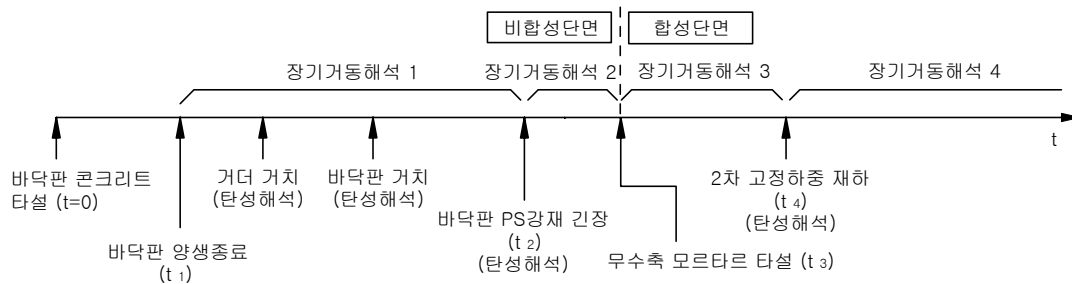


그림 1. 해석프로그램에 적용된 시공단계

표 1. 장기거동해석시 해석단면 및 고려사항

	해석단면	고려 사항
장기거동 해석 1		<ul style="list-style-type: none"> $t_1 \sim t_2$까지 건조수축
장기거동 해석 2		<ul style="list-style-type: none"> $t_2 \sim t_3$까지 건조수축 $t_2 \sim t_3$까지 PS강재의 릴렉세이션 $t_1 \sim t_2$까지 건조수축에 대한 크리프 t_2의 프리스트레스에 대한 크리프
장기거동 해석 3		<ul style="list-style-type: none"> $t_3 \sim t_4$까지 건조수축 $t_3 \sim t_4$까지 PS강재의 릴렉세이션 $t_1 \sim t_2$까지 건조수축에 대한 크리프 $t_2 \sim t_3$까지 건조수축에 대한 크리프 t_2의 프리스트레스에 대한 크리프
장기거동 해석 4		<ul style="list-style-type: none"> $t_4 \sim t_\infty$까지 건조수축 $t_4 \sim t_\infty$까지 PS강재의 릴렉세이션 $t_1 \sim t_2$까지 건조수축에 대한 크리프 $t_2 \sim t_3$까지 건조수축에 대한 크리프 t_2의 프리스트레스에 대한 크리프 $t_3 \sim t_4$까지 발생한 장기변형에 대한 크리프 2차 고정하중에 대한 크리프

2.2 프로그램 검증

본 연구에서 개발된 프로그램을 검증하기 위하여 참고문헌(5)의 실험결과와 비교하였다. 그림 2와 그림 3은 각각 합성후 프리스트레스의 크기와 처짐에 대한 실험결과를 해석결과와 비교한 것으로서, 실험결과와 잘 일치하는 것을 알 수 있다.

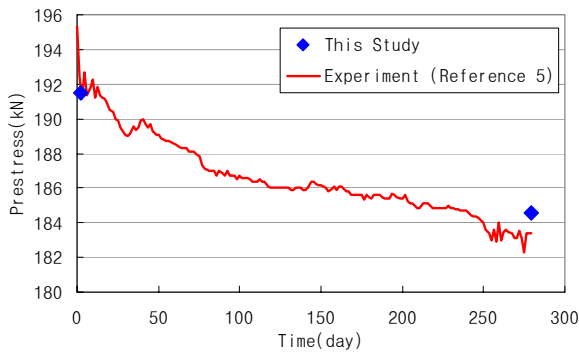


그림 2. 합성후 프리스트레스 크기 비교

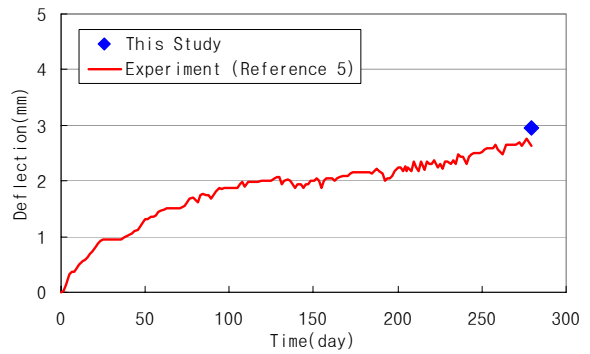


그림 3. 처짐량 비교

3. 장기거동 평가

3.1 해석 조건

장기거동 해석을 위해 바닥판의 두께는 22cm이고 지간장 40m인 단순 강합성거더교를 사용하였으며, PS강재의 긴장시기는 20, 30, 40, 50일, 모르타르 타설시기는 1, 7, 14일, 콘크리트 강도는 300, 350, 400 kgf/cm^2 , 초기프리스트레스와 콘크리트강도의 비는 0.1, 0.2, 0.3, 거더의 중심간격은 220, 260, 300m, 하부플랜지의 폭은 60, 70, 80cm, 복부판의 높이는 190, 210, 230, 250cm, 복부판의 두께는 0.8, 1.2, 1.6, 2.0cm를 변수로 두어 재령 70년까지의 장기거동 해석을 수행하였다.

3.2 거더 강성의 영향 평가

거더 강성의 영향을 평가하기 위하여 다른 모든 조건은 동일하고 하부플랜지, 복부판의 높이 및 두께를 변수로 하여 장기거동 해석을 수행하여 건조수축 및 크리프의 거더 강성에 대한 최종프리스트레스를 각각 그림 4와 5에 나타내었다.

본 연구에서 적용한 RA방법에서는 콘크리트에 발생하는 응력계산시 장기거동에 의해 발생하는 변형을 모두 구속시키는 경우의 인장응력에 장기거동에 의해 부재단면에 발생하는 축방향력 ΔN 과 휨모멘트 ΔM 을 재하하여 압축응력을 더해줌으로써 각 단면의 응력을 계산하게 된다. 따라서 초기프리스트레스의 감소량은 다음 식 (1)의 S 에 반비례하게 된다.

$$f = \frac{P}{A} + \frac{P \cdot \bar{y}}{I} y = P \left(\frac{I + A \cdot \bar{y} \cdot y}{AI} \right) = P \cdot S \quad (1)$$

여기서, P = 콘크리트의 장기거동에 의해 발생하는 축방향력

A I = 수정유효탄성계수에 의해 치환된 합성단면의 환산단면적과 단면이차모멘트

\bar{y} = 합성단면의 중립축으로부터 긴장력의 위치까지의 거리

y = 합성단면의 중립축으로부터 바닥판 상연 또는 하연까지의 거리

$$S = (I + A \cdot \bar{y} \cdot y) / AI$$

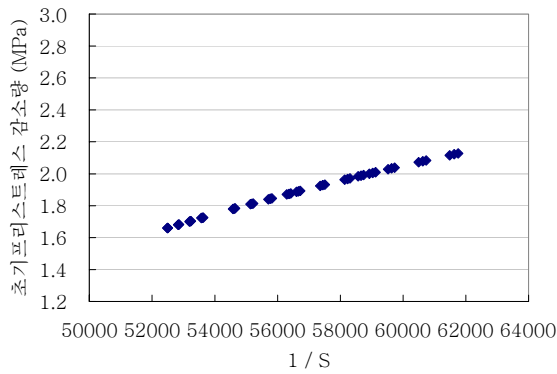


그림 4 건조수축의 거더 강성에 대한 초기프리스트레스 감소량

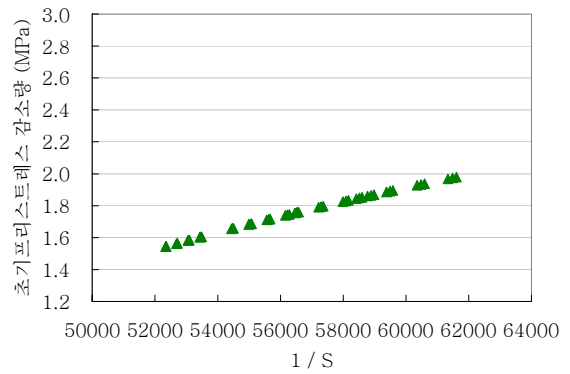


그림 5 크리프의 거더 강성에 대한 초기프리스트레스 감소량

변형률의 분포는 변하지 않고 일정한 조건에서 콘크리트의 건조수축, 크리프 및 PS강재의 릴렉세이션에 의한 변형률이 변화되면, 그 변화량만큼 반대방향으로 탄성변형률이 변화되어 평형상태가 유지되어야 한다. 그림 4와 5에서 거더 강성이 작아질수록 건조수축 및 크리프에 의한 최종프리스트레스는 증가하는 것으로 나타났다. 이는 초기프리스트레스가 동일한 경우에 강성이 작아지면 축방향력 ΔN 과 휨모멘트 ΔM 에 의해 발생하는 바닥판 하연의 압축응력이 인장응력보다 커짐에 따라 응력의 변화량이 감소하여 최종프리스트레스는 증가되는 것으로 판단된다.

3.3 바닥판 크기의 영향 평가

바닥판 크기의 영향을 평가하기 위하여 다른 모든 조건은 동일하고 바닥판 폭, 하부플랜지 폭, 복부판의 높이 및 두께를 변수로 하여 장기거동 해석을 수행하여 건조수축 및 크리프의 거더 강성과 바닥판 단면적에 대한 최종프리스트레스를 각각 그림 6과 7에 나타내었다.

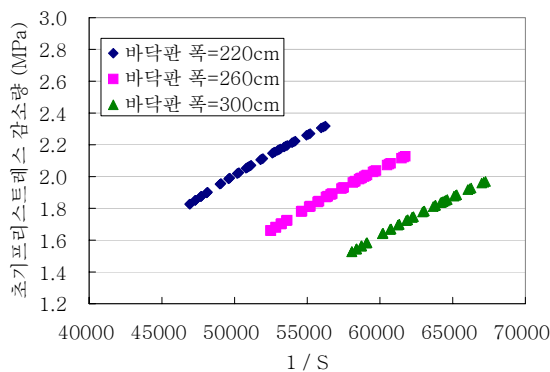


그림 6 건조수축에 의한 거더 강성과 바닥판 단면적에 대한 초기프리스트레스 감소량

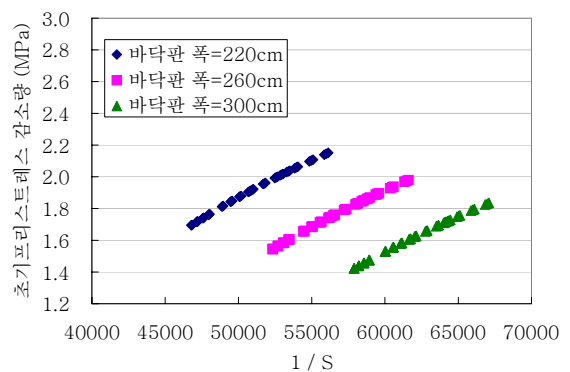


그림 7 크리프에 의한 거더 강성과 바닥판 단면적에 대한 초기프리스트레스 감소량

그림 6과 7에서 바닥판 폭이 작아질수록 건조수축 및 크리프에 의한 최종프리스트레스는 감소하는 것으로 나타났다. 이는 거더 강성이 동일한 경우에 바닥판의 면적이 감소하여 이에 비례하는 축방향력 ΔN 도 감소하면서 바닥판 하연의 인장응력이 압축응력보다 커짐에 따라 응력의 변화량이 증가하여 최종프리스트레스는 감소되는 것으로 판단된다.

3.4 철근비의 영향 평가

철근비의 영향을 평가하기 위하여 다른 모든 조건은 동일하고 철근비, 바닥판 폭, 하부플랜지 폭, 복부판의 높이 및 두께를 변수로 하여 장기거동 해석을 수행하여 건조수축 및 크리프의 거더 강성과 바닥판 단면적에 대한 최종프리스트레스를 각각 그림 8과 9에 나타내었다.

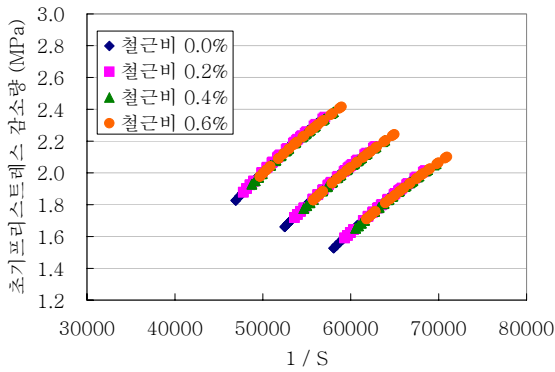


그림 8 건조수축에 의한 거더 강성과 바닥판 단면적에 대한 초기프리스트레스 감소량

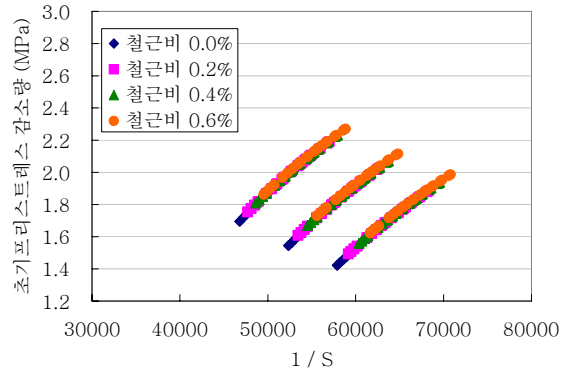


그림 9 크리프에 의한 거더 강성과 바닥판 단면적에 대한 초기프리스트레스 감소량

그림 8과 9에서 철근비가 증가할수록 최종프리스트레스는 감소하는 것으로 나타났다. 이는 거더 강성이 동일한 경우에 철근비의 증가로 인한 바닥판 단면적의 감소로 축방향력 ΔN^i 이 감소하여 바닥판 하연의 인장응력이 압축응력보다 커짐에 따라 응력의 변화량이 증가하여 최종프리스트레스는 감소되는 것으로 판단된다.

3.5 초기프리스트레스 및 콘크리트 강도의 영향 평가

초기프리스트레스 및 콘크리트 강도의 영향을 평가하기 위하여 다른 모든 조건은 동일하고 초기프리스트레스와 콘크리트 강도의 비, 바닥판 폭, 복부판의 높이 및 두께를 변수로 하여 장기거동 해석을 수행하여 건조수축 및 크리프의 거더 강성과 바닥판 단면적 및 유효탄성계수에 대한 초기프리스트레스 감소량과 감소율을 각각 그림 10과 11에 나타내었다.

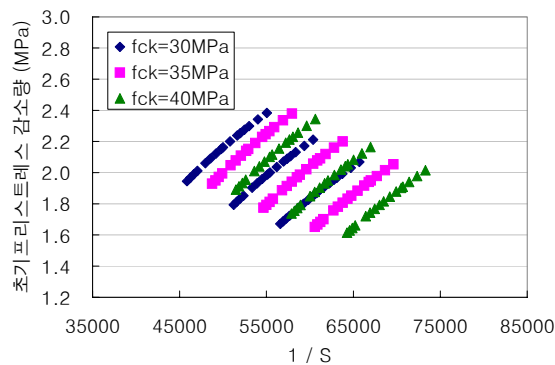


그림 10 건조수축에 의한 거더 강성과 바닥판 단면적 및 유효탄성계수에 대한 초기프리스트레스 감소량

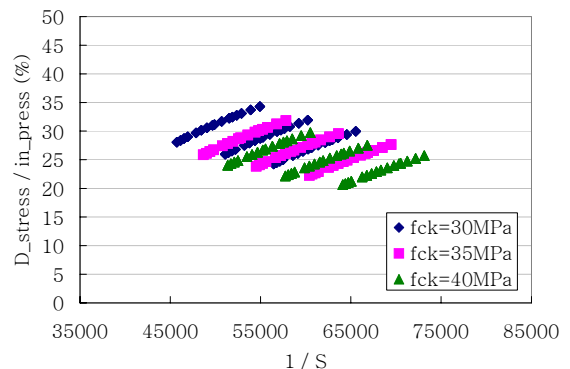


그림 11 크리프에 의한 거더 강성과 바닥판 단면적 및 유효탄성계수에 대한 초기프리스트레스 감소율

그림 10에서 콘크리트 강도가 증가할수록 초기프리스트레스 감소량은 감소하는 것으로 나타났다. 이는 거더 강성과 바닥판 단면적이 동일한 경우에 유효탄성계수에 큰 영향을 미치는 콘크리트 강도가 증

가하면서 바닥판 하연의 압축응력이 인장응력보다 커짐에 따라 응력의 변화량이 감소하여 최종프리스트레스는 증가되는 것으로 판단된다.

4. 결론

본 연구는 프리캐스트 바닥판을 사용한 단순 강합성거더교에 대하여 콘크리트의 장기거동으로 인한 응력손실이 고려된 초기프리스트레스를 산정을 위하여 수행되었다. 연구를 통해 프리캐스트 바닥판을 사용하는 단순 강합성거더교에서는 일반적인 강합성거더교와는 달리 건조수축뿐만 아니라 크리프에 의한 인장응력도 바닥판의 인장응력 발생에 큰 영향을 미치고 있음을 확인하였다.

거더 강성이 작아질수록 건조수축 및 크리프에 의한 콘크리트의 장기거동에 의한 초기프리스트레스의 손실은 감소하는 것으로 나타났으며, 바닥판 폭이 작아지는 경우에는 건조수축 및 크리프에 의한 초기프리스트레스의 손실이 증가하는 것으로 나타났다. 또한 철근비가 증가하는 경우에는 초기프리스트레스의 감소량은 증가하는 것으로 나타났다.

향후 개발된 프로그램을 이용하여 연속 강합성거더교에 대하여 각 시공단계에 따른 프리캐스트 바닥판의 초기프리스트레스 산정을 위한 해석을 수행할 예정이다.

참고문헌

1. 대한토목학회 (2004) “철도설계기준(철도교편)”
2. CEB (1991), CEB-FIP MODEL CODE 1990, Final Draft, July.
3. Bazant, Z. P. (1972), "Prediction of Concrete Creep Effects Using Age-Adjusted Effective Modulus Method," Proceedings, ACI Journal, Vol. 69, pp. 212-217.
4. Gilbert, R. I., (1988), "Time Effects in Concrete Structures," Elsevier, New York, pp. 167-182.
5. 장승필, 심창수, 최규용, 정철현 (1999), “프리캐스트 교량바닥판의 종방향 프리스트레스 손실량”, 대한토목학회 논문집, 제19권 1-6호, pp.917-927