

연속 프리스트레스트 콘크리트 거더교에서 건조수축과 크리프의 영향

Shrinkage and Creep Effects on Continuous Prestressed Concrete Girder Bridges

조 선 규* 윤 석 구** 이 종 민*** 최 연 왕**** 정 지 승*****
Cho, Sun Kyu Youn, Seok Goo Lee, Jong Min Choi, Yun Wang Chung, Jee Seung

ABSTRACT

The Prestressed concrete girder bridges(PSC girder bridges), consisting of prestressed concrete girders and cast-in-place deck slabs, are sensitive to creep and shrinkage of concrete. Shrinkage and creep produce additional internal forces and deformations in PSC girder bridges. The long-term behavior of the PSC girder bridges depends on time-dependent properties of materials, amount of prestressing, methods and sequences of construction and age at loading.

The purpose of this study is to predict the long-term behavior of PSC girder bridge. For this purpose, Computer program for Time-dependent analysis of PSC girder bridge has been developed. thereafter, Time-dependent analysis using developed computer program was carried out about 3-span continuous PSC girder bridges. Various construction timing sequences were used for parametric study.

1. 서론

PSC 합성거더교는 PSC 거더와 콘크리트 바닥판으로 구성된 콘크리트 합성교로서 크리프 및 건조수축과 같은 콘크리트의 장기거동으로 인해 시간의 경과에 따라 초기응력 및 초기변위값이 변화하게 된다. PSC 거더교를 연속교로 시공하는 경우에는 PSC 거더를 지상에서 제작한 후, 교각이나 교대에 거치하고 바닥판을 현장에서 타설하는 방식으로 시공되고 있다. 이때 PSC 거더와 바닥판 콘크리트의 재령차에 의해 두 부재에는 상이한 건조수축 및 크리프가 발생하게 된다. 이로 인해 구조물에는 연속화에 따른 2차 모멘트(secondary moment)가 발생하게 되어 추가적인 응력이 작용하게 된다. 다음 그림 1은 연속교에서 발생하는 2차 효과를 나타낸 것이다. 단순교에서는 일반적으로 크리프에 의해 솟음을 유발하며, 바닥판과 PSC 거더의 상이한 건조수축 변형률에 의해 하향 처짐을 유발한다. 연속교에서의 2차 효과는 콘크리트의 크리프와 두부재의 상이한 건조수축변형률에 의한 변위가 중간지점에서

* 정희원, 서울산업대학교 토목공학과 조교수

** 정희원, 서울산업대학교 토목공학과 전임강사

*** 학생회원, 서울산업대학교 토목공학과 대학원

**** 정희원, 세명대학교 토목공학과 부교수

***** 정희원, 동양대학교 토목환경공학과 전임강사

구속됨에 따라 지점반력이 변화하여 발생하게 된다. 일반적으로 바닥판의 타설시기가 빠른 경우에는 두 부재의 상이한 건조수축변형률은 작고 상대적으로 크리프 변형률은 커 2차효과에 의해 연속지점부에서 정모멘트를 유발하며, 바닥판의 타설시기가 늦은 경우에는 두 부재의 상이한 건조수축변형률의 차가 커져 부모멘트를 유발하게 된다.

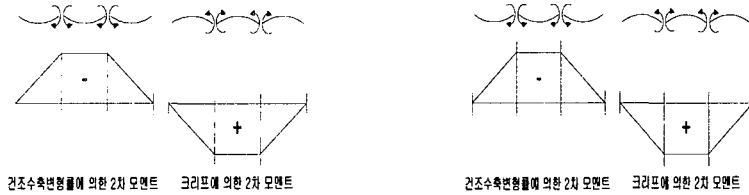


그림 1 크리프와 건조수축에 의한 2차 모멘트

본 연구에서는 이와 같은 콘크리트의 장기거동에 의해 발생하는 1차 효과와 2차 효과를 고려한 PSC 합성거더교의 장기거동 전용 해석프로그램을 개발하여, 시간중속의 재료특성을 반영한 PSC 합성 거더교의 시공시기에 따른 거동을 파악하는데 목적이 있다.

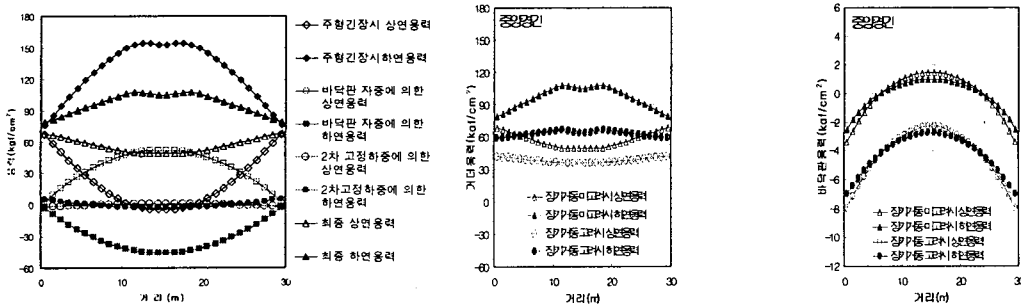
2. 장기거동해석

장기거동해석방법은 AEMM(age adjusted effective modulus method)을 이용한 RA방법을 적용하였으며, 해석프로그램은 3원 보요소를 이용한 유한요소법으로 작성하였다. 장기거동해석에 필요한 크리프계수 및 건조수축변형률은 도로교설계기준에 따라 산정하였으며, PS강재의 릴렉сей션에 의한 긴장력의 감소는 Magura의 식을 사용하였다. PSC 거더교의 장기거동에 의한 축방향력 및 휨모멘트의 변화량은 RA방법으로 계산한 후 등가절점하중으로 치환하여 구조해석을 수행하도록 하였다. 장기거동에 의한 축방향력(ΔN) 및 휨모멘트(ΔM) 다음 식 (1),(2)와 같다.

$$\Delta N = -\overline{E}_e [\phi(A_c \epsilon_{0i} + B_c x_i) + \epsilon_{sh} A_c] + \Delta f_p A_p \quad (1)$$

$$\Delta M = -\overline{E}_e [\phi(B_c \epsilon_{0i} + I_c x_i) + \epsilon_{sh} B_c] + \Delta f_p A_p y_p \quad (2)$$

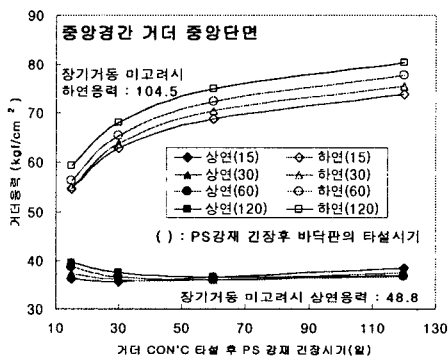
여기서, \overline{E}_e 는 수정유효탄성계수이며, A_c, B_c, I_c 는 각각 수정유효탄성계수에 의해 치환된 등가환산단면의 중립축에 대한 콘크리트단면만의 단면적 및 단면 1,2차모멘트이다. 또한 ϵ_{0i}, x_i 는 등가환산단면 중립축에서의 초기 변형률 및 곡률을 나타낸 것이며, ϵ_{sh} 는 건조수축 변형률, Δf_p 는 강재의 릴렉сей션에 의한 PS강재의 응력 감소량, A_p 는 PS강재의 단면적이다.



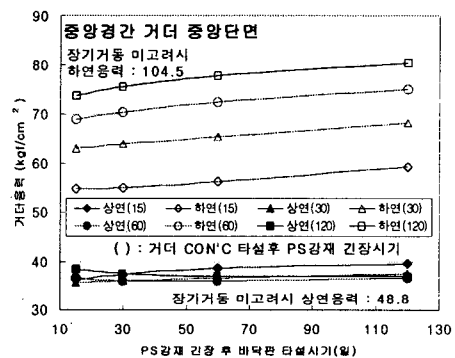
위의 그림 2는 개발된 해석프로그램을 이용해 지간장이 30m인 3경간 연속 PSC 거더교의 해석결과를 나타낸 것이다. PSC 거더의 단면은 지간장 30m PSC 표준단면을 사용하였으며, 재하하중은 거더의 자중, 프리스트레싱력, 바닥판 자중과 2차고정하중(포장하중)을 적용하였다.

3. 연속 PSC 거더교의 해석 및 고찰

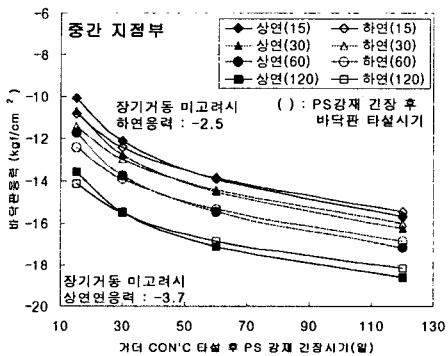
연속 PSC 거더교의 장기거동에서 각 시공시기의 영향을 파악하기 위하여 지간장 30m인 3경간 연속 PSC 거더교에 대해 해석을 수행하였다. 시공단계는 PS강재의 긴장시, 바닥판 타설시, 2차고정하중 재하시로 구분하였으며, PS강재의 긴장시기는 거더 콘크리트 타설 후 15,30,60,120일, 바닥판 타설시기는 PS강재 긴장 후 15,30,60,120일에 대해 각각 해석을 수행하였으며, 2차 고정하중의 재하시기는 거더 콘크리트 타설 후 300일로 고정하였다.



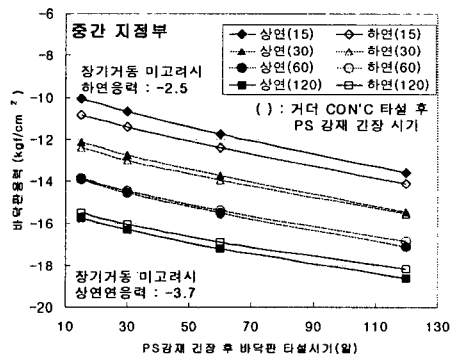
(a) PS강재의 긴장시기별 거더의 응력변화



(b) 바닥판 타설시기별 거더의 응력변화



(c) PS강재의 긴장시기별 바닥판의 응력변화

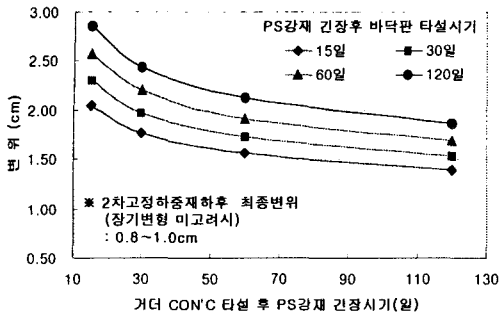


(d) 바닥판 타설시기별 바닥판의 응력변화

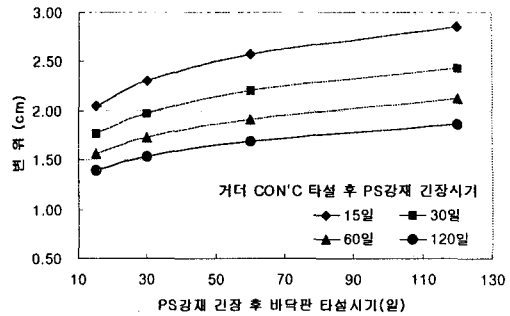
그림 3. 각 시공시기에 따른 부재의 응력

해석결과 PSC 거더의 장기거동에 의한 응력변화량은 하연에서 약 20~50 kgf/cm^2 정도 압축응력이 감소하는 것으로 나타났으며, 상연에서는 10~15 kgf/cm^2 정도 감소하는 것으로 나타나 하연에서의 압축응력감소량이 상연에 비해 큰 것으로 나타났다. 또한 그림 3.(a),(b)에서와 같이 PSC 거더에서의 응력변화는 바닥판의 타설기보다는 PS강재의 긴장시기에 따라 크게 변화하는 것으로 나타났으며, PS강재의 긴장시기가 빠를수록 응력의 감소량은 크게 발생하였다. 이는 초기재령이 낮은 거더의 콘크리트에 프리스트레싱력을 가함에 따라 크립 변형률의 증가 및 2차효과에 의한 정모멘트의 증가로 인한 것이라 판단된다.(그림 1 참조) 바닥판의 경우는 약 7~16 kgf/cm^2 정도 인장응력이 증가하는 것으로 나타났으며, PS강재의 긴장시기와 바닥판의 타설시기가 늦어짐에 따라 인장응력이 증가하는 것으로 나

타났다. 이는 거더 콘크리트 타설 후 바닥판 콘크리트의 타설시기가 늦어짐에 따라 두 부재의 상이한 건조수축변형률의 증가로 인해 바닥판의 인장응력이 증가하는 것으로 판단된다.



(a) PS강재의 긴장시기에 따른 변위



(b) 바닥판 타설시기에 따른 변위

그림 3 각 시공시기에 따른 변위

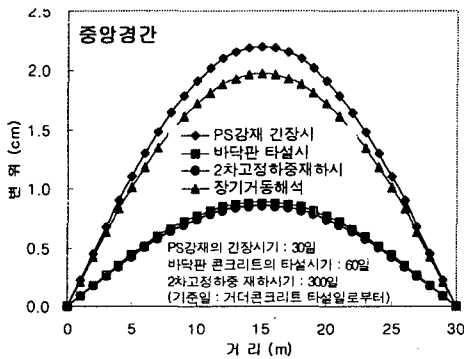


그림 4 각 시공시기별 변위도(중양경간)

위의 그림 3은 PS강재의 긴장시기와 바닥판 콘크리트의 타설시기에 따른 변위의 변화를 나타낸 것이며, 그림 4는 중앙경간에서의 각 시공단계별 변위를 나타낸 것이다. 각 시공시기별 PSC 거더교의 장기거동을 고려한 최종변위는 탄성해석에 의한 최종변위보다 약 0.5~2.0 cm 정도의 솟음이 발생하는 것으로 나타났다. 각 시공시기의 영향으로는 PS강재의 긴장시기가 빠를수록 솟음은 크게 발생하였으며, 바닥판의 타설시기가 늦을수록 솟음량은 증가하는 것으로 나타났다. 이는 PS강재의 긴장시기가 빠를수록 거더 콘크리트의 재령이 낮아 크리프 변형이 증가하여 솟음량이 증가하는 것으로 판단된다. 또한 바닥판의 타설이 빠른 경우에는 바닥판 타설에 의해 거더의 크리프 변형을 억제하여 솟음량이 작아지는 것으로 판단된다.

4. 결론

3경간 연속 PSC거더교의 장기거동해석결과 각 시공단계의 시공시기가 변화함에 따라 거더에서의 응력은 약 10~50 kgf/cm² 정도 압축응력이 감소하는 것으로 나타났으며, PS강재의 긴장시기가 늦어짐에 따라 압축응력의 감소량은 작아지는 것으로 나타났다. 바닥판의 경우는 약 7~16 kgf/cm² 정도 인장응력이 증가하는 것으로 나타났으며, PS강재의 긴장시기와 바닥판의 타설시기가 늦어짐에 따라 인장응력이 증가하는 것으로 나타났다. 장기거동에 의한 중앙지간 중앙단면에서의 최종변위는 탄성해석에 비해 약 0.5~2.0 cm 정도의 솟음이 발생하는 것으로 나타났으며, PS강재의 긴장시기가 늦을수록, 바닥판 콘크리트의 타설시기가 빠를수록 솟음량은 작게 발생하는 것으로 나타났다.

참고문헌

1. 건설교통부, 도로교설계기준, 2000
2. R.I.Gilbert, Time Effects in Concrete Structures, Elsevier, 1988
3. Mamdouh M. Elbadry and A. Ghali "Serviceability Design of Continuous Prestressed Concrete Structures" PCI Journal, Vol.34, No.1, January/February 1989, pp.54-91