

장기 거동을 고려한 교각의 모멘트 감소 기법

A Method to Reduce Moment due to Time-Dependent Behavior of Bridge Piers

양 인 환*
Yang, In Hwan

김 홍 기**
Kim, Hong Gi

ABSTRACT

The short piers of bridge which is constructed by cantilever method may not be flexible enough to accommodate longitudinal movement of box girders. The constraint effects of longitudinal movement of box girders can introduce large stresses, and consequently large moments into short piers. This study is aimed at proposing a method to reduce moment of short piers in bridge constructed by cantilever method. Numerical analyses are carried out depending on the parameters such as control force and height of piers. Numerical results of the study represent that long-term moment of piers can be controlled effectively by employing the proposed method.

1. 서론

프리스트레스드 콘크리트 박스 거더 교량 중에서 연속 라멘교 형식의 캔틸레버 공법(Free Cantilever Method)으로 시공되는 교량 (FCM 교량)이 증가하고 있는 추세이다. FCM 교량은 자중이 커서 지진시 큰 관성력이 유발되므로, 상부구조와 하부구조가 일체화된 라멘 구조형식의 FCM 교량은 내진설계 및 내풍설계 측면에서 유리한 형식이다. 반면에, 연속거더교 형식에 비하여 라멘 구조형식의 FCM 교량은 고차 부정정 구조물이므로 콘크리트의 건조수축, 크리프 온도 등에 의한 영향을 많이 받는 교량 형식이다. 상부구조와 하부구조가 강결된 라멘 구조형식의 FCM 교량에서 연결텐던 긴장에 의한 캔틸레버 구조체의 연결은 콘크리트의 크리프 및 건조수축 등의 변형으로 인해 시간에 따른 상부구조의 변형 및 모멘트 변화를 유발한다. 또한, 라멘 구조는 상부구조와 하부구조가 일체화되어 있으므로 상부구조의 모멘트가 하부구조로 분배되며, 교각 하단에 시간에 따른 모멘트가 추가로 발생하여 구조적으로 불리한 영향을 미친다. 따라서, 캔틸레버 공법에 의해 시공되는 PSC 박스 거더 교량의 시간에 따른 교각의 과도한 단면력을 효율적으로 제어하기 위한 기법이 필요한 실정이다.

본 연구에서는 FCM 교량을 설계할 때, 콘크리트의 크리프와 건조수축에 의한 하부구조의 모멘트를 감소시킬 수 있는 기법을 제안하였다. 제안 기법은 교량의 거동해석을 통한 장기거동 예측을 통하여 교량의 시공중 사전 보정(pre-compensation)을 수행하는 알고리즘으로 구성되었으며, 교량의 시공과정 동안 사전 보정에 의한 제어 조치를 일괄적으로 수행하도록 구성하였다¹⁾.

* 정회원, 대림산업(주) 기술연구소 선임연구원, 공학박사

** 정회원, 대림산업(주) 일산대교 현장, 과장

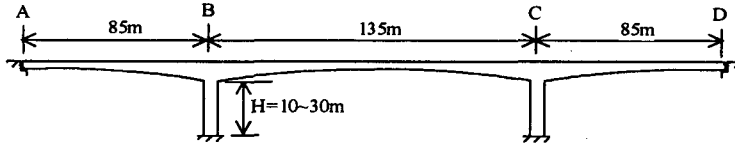
2. 제어 기법

FCM 교량 가설은 캔틸레버 가설단계와 캔틸레버 연결단계로 이루어진다. 다경간 FCM 교량의 경우에도 이 두 단계의 반복과정을 통하여 구조물을 완성시킨다. 캔틸레버 가설단계시 교각 주두부 중심을 기준으로 대칭 시공되므로 교각 하단부의 모멘트는 거의 발생하지 않는다. 캔틸레버 연결후 정정 구조시스템은 부정정 구조시스템으로 변환된다. 캔틸레버 연결시 두 개의 캔틸레버 사이에 연결세그먼트(key-segment)를 타설한 후에 연결 텐던을 긴장한다. 연결텐던 긴장시 상부의 박스 거더는 수축변형을 유발한다. 거더의 변형은 교각의 변형과 더불어 교각의 하단에 모멘트를 유발한다. 부정정 구조시스템에서 교각 하단의 모멘트는 교각의 높이 조건 및 단면 조건에 영향을 받는다. 또한, 캔틸레버 연결 등의 교량 가설 중에 발생한 교각의 모멘트는 교량의 완공 후에도 콘크리트의 크리프와 건조수축효과에 의해 영향을 받는다^{2,3)}.

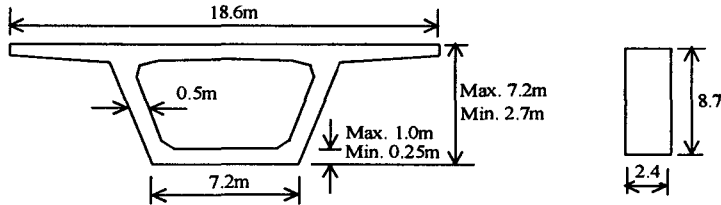
FCM 교량은 캔틸레버 연결시 교각 하단에 모멘트 ($-M_2$)가 발생한다. 캔틸레버 연결 전에 제어하중을 사전에 재하하여 교각에 모멘트 M_1 을 유발시킨다. 제어하중을 적용한 경우, 최종모멘트는 교각의 모멘트 $M=M_1-M_2$ 가 되며, 제어하중을 적용하지 않은 경우의 모멘트 M_2 보다 작게 된다. 따라서, 정밀 구조해석을 통하여 모멘트 ($-M_2$)에 대응하는 M_1 을 산정하여 모멘트 M_1 에 대응하는 보정하중을 재하함으로써 교각의 최종 모멘트 M 을 효율적으로 제어할 수 있다.

3. 수치 해석

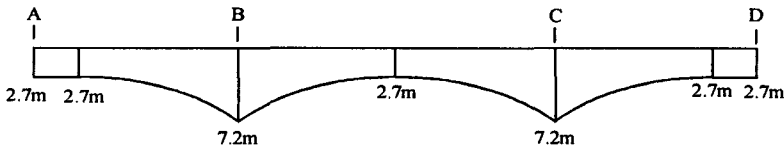
3경간 FCM 교량을 수치해석 예제로 하여 교각의 높이 및 제어하중의 도입에 따른 교각에 발생하는 모멘트의 특성을 분석하였다. 교량은 3경간이고 경간은 먼저 교각을 중심으로 캔틸레버 공법에 의해 좌우 대칭 형상으로 가설되며, 각각의 박스 거더 세그먼트는 거더의 상부 슬래브에 배치되는 캔틸레버 텐던에 의해 순차적으로 긴장된다. 캔틸레버 가설후 경간 중앙에서 연결 세그먼트를 타설한 다음, 두 개의 캔틸레버는 박스 거더의 하부 슬래브에 배치되는 연속 텐던에 의해 연결되어 일체화된다. 중앙경간의 길이는 135m이며, 측경간의 길이는 85m이다(그림 1). 박스 거더의 형고는 교각 위치에서 7.2m이며, 경간 중앙에서 2.7m이다. 교각 주두부로부터 캔틸레버는 15개의 세그먼트로 이루어지며, 세그먼트의 길이는 4m이다. 또한, 교각의 높이는 동일 단면적에 대해 10m~30m까지 변화를 주었다. 교각의 높이가 10m일 때 제어하중의 크기에 따른 교각 모멘트 해석결과를 그림 2에 나타내었다. 도입되는 제어하중의 크기는 500kN~1000kN 범위로 하여 100kN씩 증가시켰다. 교량 완성 단계에서의 제어하중 도입에 따른 교각 하단 모멘트의 크기는 거의 제어하중 크기에 비례하여 감소하고 있다. 이는 교량 완성 단계동안 제어하중에 의한 모멘트가 선형적으로 증가하기 때문이라고 판단된다. 반면에, 교량 완성 10,000일 후의 모멘트 크기 변화는 제어하중에 비례하여 선형적으로 감소하고 있지는 않다. 이는 10,000일 동안 콘크리트의 비선형적 크리프와 건조수축 특성에 의한 모멘트 재분배 특성 때문이라고 판단된다. 또한, 상부구조의 설계조건과 시공순서는 동일한 조건에서 교각 높이가 10m, 15m, 20m, 25m, 30m일때, 제어하중을 적용하지 않은 경우와 제어하중을 1000kN 적용한 경우에 대하여 수치해석을 수행하였다. 교량 완공시와 완공후 10,000일 후 시간에 따른 교각 하단의 모멘트 변화를 그림 3에 나타내었다. 교량완성 단계시 교각 높이가 10m일 때의 교각하단 모멘트의 크기는 51,257kN-m로써, 교각 높이가 30m일 때의 교각하단 모멘트인 33,655kN-m에 비해 52% 크게 나타났다. 이는 부정정 구조시스템에서 교각의 높이가 작을수록 상대적으로 교각의 유연도는 감소하므로, 연속텐던을 긴장할 때의 부정정력에 따른 모멘트가 증가하기 때문이다.



(a) Span Arrangement



(b) Cross Section Geometry of Girder and Pier



(c) Variation of Girder Depth

그림 1 수치해석 교량

또한, 해석 10,000일 후에는 교각 높이가 10m일 때의 교각 하단의 모멘트 크기는 71,240kN-m이며, 교각 높이가 30m일 때의 교각하단의 모멘트인 39,978kN-m에 비해 모멘트의 크기는 78% 크게 나타났다. 이는 교각의 높이가 작을수록 유연도는 감소하므로, 콘크리트의 건조수축과 크리프에 의한 상부 거더의 교축 방향 변형량에 의한 모멘트 재분배 효과에 의해 교각 하단의 모멘트가 증가하기 때문이다. 따라서, 연속 라멘교 형식의 FCM 교량은 교각의 높이가 작을수록 유연도가 감소하므로 교량 시공중의 연속텐던의 프리스트레싱과 시공후의 콘크리트의 크리프 및 건조수축 효과에 의해 교각의 모멘트는 증가하는 것으로 나타났다.

교량 완공시와 완공후 10,000일 후 시간에 따른 교각 하단의 모멘트 변화를 그림 4에 나타내었다. 제어하중을 도입하지 않은 경우와 1000kN 도입한 경우에 대하여 10,000일 후 해석단계에서의 교각 모멘트를 비교하여 그림 5에 나타내었다. 제어하중을 도입하지 않은 경우에 비해 제어하중을 도입한 경우의 모멘트는 감소하고 있다. 이는 제어하중에 의해 도입된 모멘트가 연결 텐던의 프리스트레싱, 콘크리트의 크리프와 건조수축 효과에 의한 모멘트를 상쇄시켜 모멘트 크기를 줄이기 때문이다. 또한, 동일한 제어하중에 대해 교각의 높이가 클수록 모멘트 크기는 감소하고 있다. 이는 제어하중의 크기가 같을지라도 캔틸레버 상태에서 제어하중에 의해 도입되는 교각 모멘트는 증가하여 프리스트레싱, 콘크리트의 크리프와 건조수축에 의한 모멘트를 상쇄시키는 효과가 더욱 크기 때문이다.

4. 결론

본 연구에서는 캔틸레버 공법으로 시공되는 교량에서 콘크리트의 크리프와 건조수축에 의한 하부 구조의 모멘트를 감소시킬 수 있는 기법에 대하여 연구하였다. 제안기법을 적용한 교량의 구조적 특성을 분석하기 위하여 유한요소 해석을 통한 수치해석을 수행하였다. 수치해석결과는 교각 하단의 모

멘트는 교각의 높이가 작을수록 유연도가 감소하여, 상대적으로 모멘트가 증가하고 있는 것으로 나타났다. 또한, 제어하중을 도입하지 않은 경우에 비해 제어하중을 도입한 경우의 모멘트는 감소하고 있는 것으로 나타났다. 이는 제어하중에 의해 도입된 모멘트가 캔틸레버 연속화 텐던의 프리스트레싱 및 콘크리트의 크리프와 건조수축 효과에 의한 모멘트를 상쇄시켜 모멘트 크기를 줄이기 때문이라고 판단된다. 따라서, 교각의 높이가 낮거나 유연도가 적어 시간에 따른 과도한 교각 모멘트가 예상되는 경우, 본 연구에서 제안한 기법에 의해 모멘트의 크기를 효율적으로 제어할 수 있다고 사료된다.

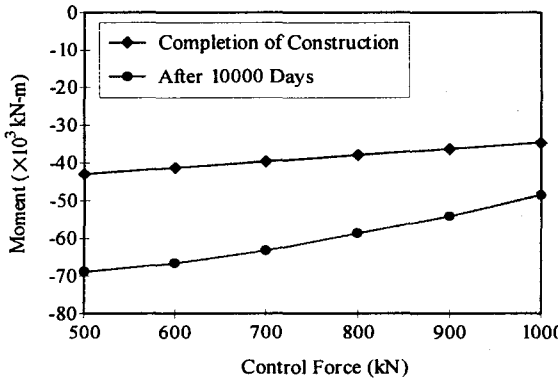


그림 2 제어하중에 따른 모멘트(교각높이=10m)

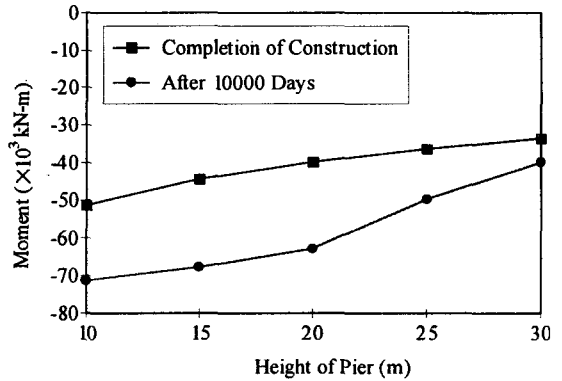


그림 3 교각 모멘트의 변화 (제어하중 = 0)

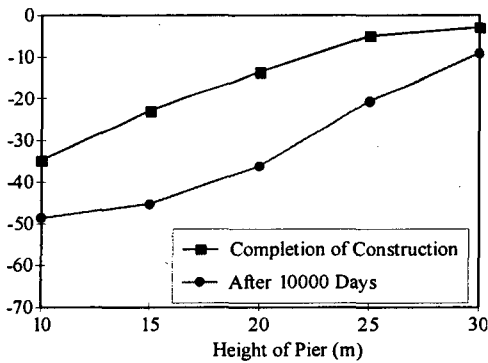


그림 4 교각 모멘트의 변화
(제어하중 = 1,000kN)

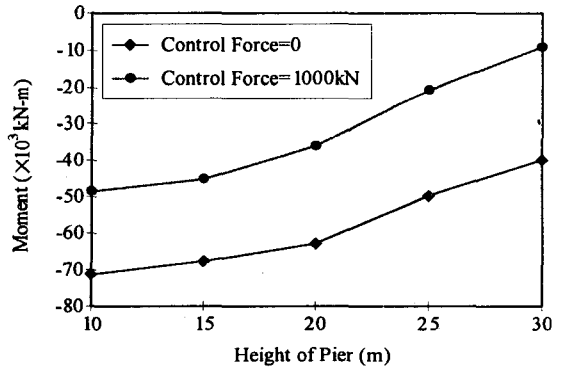


그림 5 제어하중에 따른 모멘트 비교 (t=10,000일)

참고문헌

1. Yang, I. H., Kim, H. G. (2004), "A Realistic Method to Reduce Stresses of Pier due to Time-Dependent Effects," *Proceedings of fib Symposium 2004*.
2. Mathivat, J. (1979), *The Cantilever Construction of Prestressed Concrete Bridges*, John Wiley and Sons.
3. Bishara, A. G. and Papakonstantinou, N. G.(1990), "Analysis of Cast-In-Place Concrete Segmental Cantilever Bridges", *Journal of Structural Engineering*, ASCE, Vol. 124, No. 3, pp.278-287.