
PSC-Beam 교량의 연속화에 따른 거동해석 (2)

Behaviors of PSC-Beam Bridges According to Continuity of Spans (2)



곽 효 경*
Kwak, Hyo-Gyoung



서 영 재**
Seo, Young-Jae



정 찬 묵***
Jung, Chan-Mook



박 영 하****
Park, Young-Ha

ABSTRACT

The companion paper presents an analytical model to predict behaviors of PSC-Beam bridges according to continuity of spans. This paper aims at providing several examples of its application to PSC-Beam bridge. In this regard, many uncertainties affecting to the continuity of spans (such as the ultimate shrinkage strain of slab and girders, the prestressing creep of girders, and the time adopting prestressing force) are analyzed in detail. Moreover, to increase the serviceability and to remove the inherent structural defects including the cracking at interior supports, a necessity for the parametric studies of PSC-Beam bridges reflecting the construction sequence is emphasized.

Keywords : PSC-beam bridge, continuity of spans, creep, shrinkage, prestressing force

* 정희원, 한국과학기술원 토목공학과 조교수
** 한국과학기술원 토목공학과 박사과정
*** 우송대학교 토목공학과 조교수
**** 한국도로공사 도로연구소 선임연구원

• 본 논문에 대한 토의를 2000년 2월 29일까지 학회로 보내주시면 2000년 4월호에 토의회답을 게재하겠습니다.

1. 서 론

앞편의 연구에서는 PSC-Beam 교량의 연속화에 따른 거동을 해석하기 위한 해석모델을 제안하였으며, 이 해석모델을 토대로 바닥판의 철근양의 변화에 따른 영향을 살펴 보았다. 철근의 효과는 주형과 바닥판 콘크리트의 재령차이에 따라서 PSC-beam 교량 거동에 다른 영향을 나타내는 것을 알 수 있었다. 이와 같이 주형과 바닥판 콘크리트의 시간의존적 거동은 PSC-Beam 교량의 거동에 크게 영향을 나타나게 되므로 이 연구에서는 이들 콘크리트에 영향을 주는 효과에 대하여 알아보았다⁽¹⁾.

주형과 바닥판 콘크리트의 시간의존적 거동에 영향을 주는 효과로는 우선 각 콘크리트의 극한 크리프 계수와 극한 건조수축계수가 있다. 특히 주형의 크리프는 앞의 연구에서도 살펴보았듯이 주형의 수축변화에 크게 영향을 주게 된다. 주형의 수축변화, 즉 주형의 크리프에 영향을 주는 또 다른 효과로는 주형에 긴장력이 도입될 때의 주형 콘크리트의 재령을 들 수 있다. 콘크리트의 크리프는 하중이 작용할 때의 콘크리트의 재령에 크게 영향을 받기 때문에 긴장력이 도입되는 시간이 중요한 요인이 된다⁽²⁾.

해석은 앞 연구에서 제안된 해석모델을 사용하였으며 앞편의 논문에서 사용한 주형의 길이가 25m인

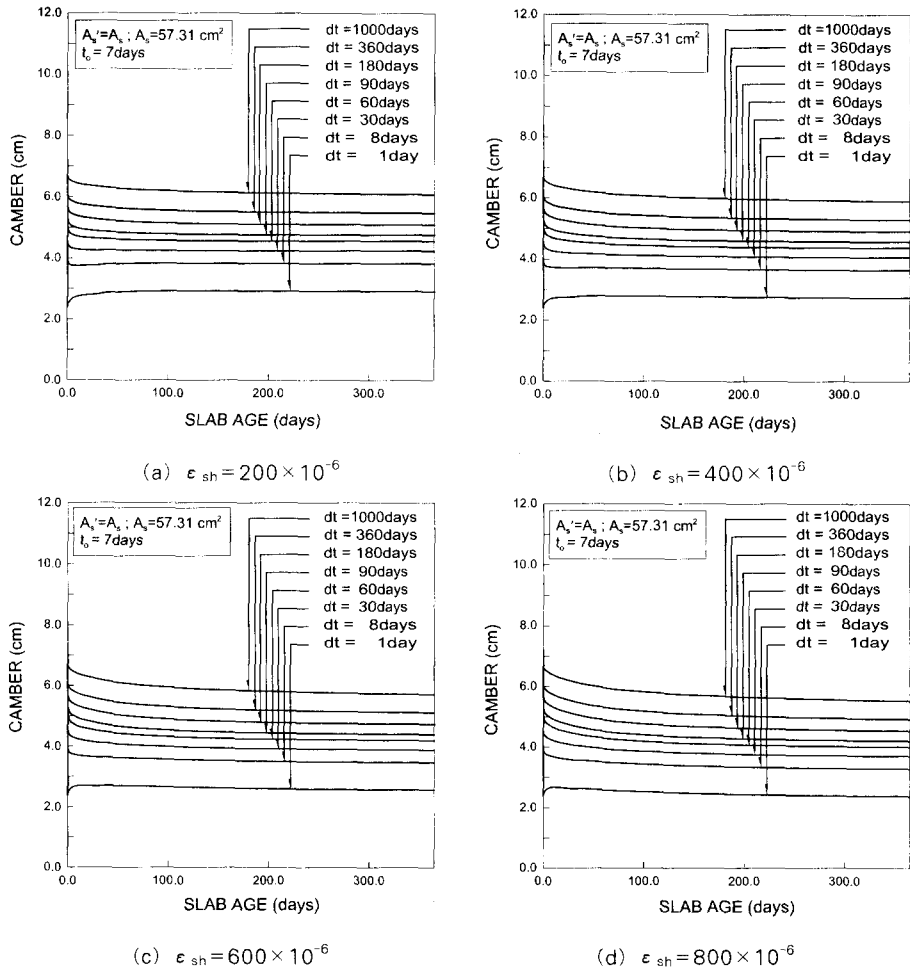


Fig. 1 Camber variation with the ultimate shrinkage strain of slab concrete

2경간 PSC-Beam교량에 대하여 수행되었다. 해석 단면과 해석조건은 전편의 논문과 동일한 값이 사용되었다.

2. 바닥판 콘크리트의 건조수축 효과

바닥판 콘크리트의 건조수축에 따른 PSC-Beam 교량의 거동을 살펴보기 위해 콘크리트의 재령초기에 PSC-Beam의 긴장이 이루어지는 주형의 재령이 7일이고 단면의 평형조건에 의해 계산된 철근 단면적, $A_s = 57.31 \text{ cm}^2$ 을 갖는 경우에 대하여 해석하였다. 해석결과는 시간에 따른 모멘트와 솟음의 변화

를 바닥판 콘크리트의 극한 건조수축률 200×10^{-6} , 400×10^{-6} , 600×10^{-6} , 800×10^{-6} 에 대하여 그림 1과 2에 각각 나타내었다.

해석결과를 살펴보면 그림 1의 솟음변화에서 볼 수 있듯이 바닥판 콘크리트를 타설할 때 바닥판 건조수축률의 차이에 따른 솟음의 차이는 거의 없는 것으로 나타나고 있다. 특히 $dt=1$ 일의 경우 바닥판 타설직후 주형의 재령이 상대적으로 작기 때문에 바닥판 타설이후 시간에 따른 주형의 크리프 변형이 크게 발생하여 시간이 지남에 따라 솟음이 계속 증가하고 있다. 반면에 dt 값이 증가함에 따라 바닥판 콘크리트의 건조수축과 크리프에 의해 솟음은 시간

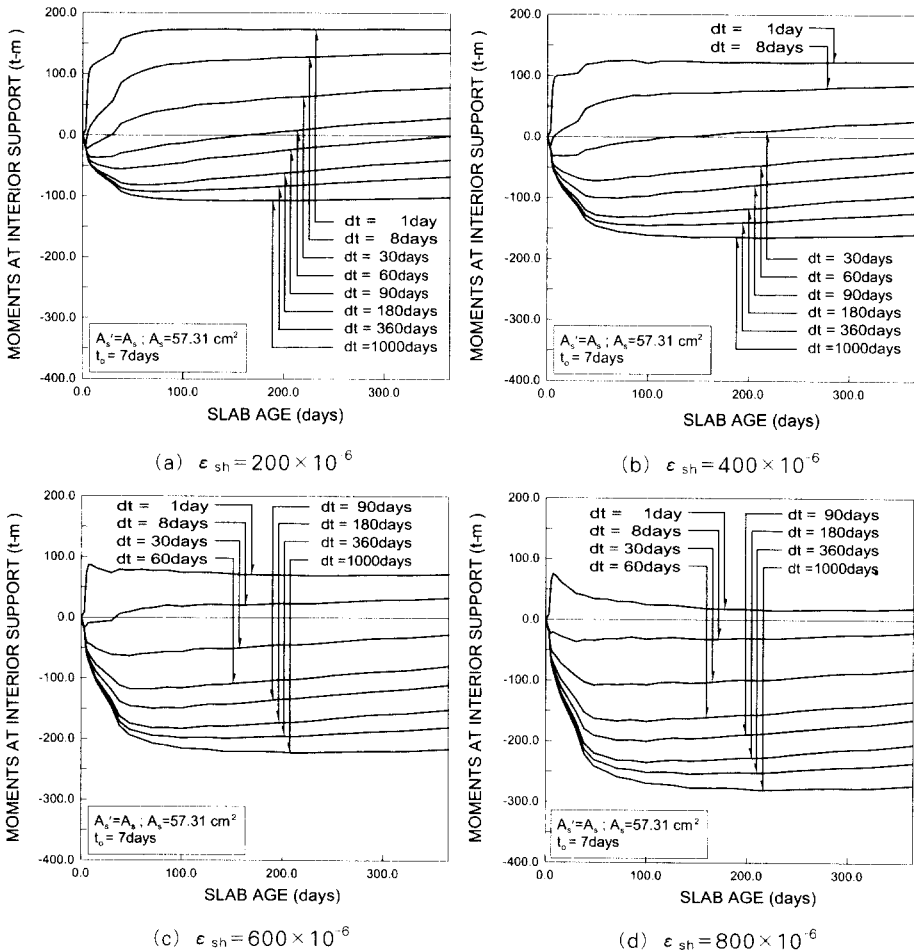


Fig. 2 Moment variation with the ultimate shrinkage strain of slab concrete

에 따라 감소하게 되며 특히 $dt=60$ 일에서는 주형과 바닥판의 장기거동 효과가 상쇄되어 바닥판 타설 후 장기거동에 의한 변화는 거의 나타나지 않았다.

한편 시간에 따라 솟음이 증가하는 $dt=1$ 일의 경우 바닥판 콘크리트의 극한 건조수축 변형률값이 커짐에 따라 바닥판의 수축은 더 커지게 되어 시간에 따라 증가하는 솟음을 더 크게 구속하게 되므로 시간에 따른 솟음의 증가율은 감소하게 된다. 반면에 시간에 따라 솟음이 감소하는 $dt=30$ 일 이상에서는 시간에 따라 증가하는 연직처짐을 구속하게 되므로 변위의 감소를 또한 바닥판 극한 건조수축계수의 증가에 따라 작아지고 있다. 이로부터 바닥판 건조수

축의 영향은 비록 그 크기는 작지만 시간에 따라 발생하는 변위를 억제하게 된다.

다음으로 바닥판의 건조수축에 따른 내부 지점부에서의 모멘트 변화를 살펴보면 시간이 경과함에 따라 주형의 크리프 효과가 소멸되지 않고 지속적으로 나타나고 있다. 또한 바닥판 콘크리트의 극한 건조수축계수가 증가하게 되면 초기에는 정모멘트의 증가를 나타내나 바닥판 콘크리트의 건조수축 효과에 의한 부모멘트의 증가량이 커지게 된다. 바닥판 콘크리트의 극한 건조수축 계수가 600×10^{-6} , 800×10^{-6} 으로 더욱 증가하게 되면 $dt=1$ 일 곡선의 초기 시간에서 정모멘트값을 나타내고 그 이후로는 바닥

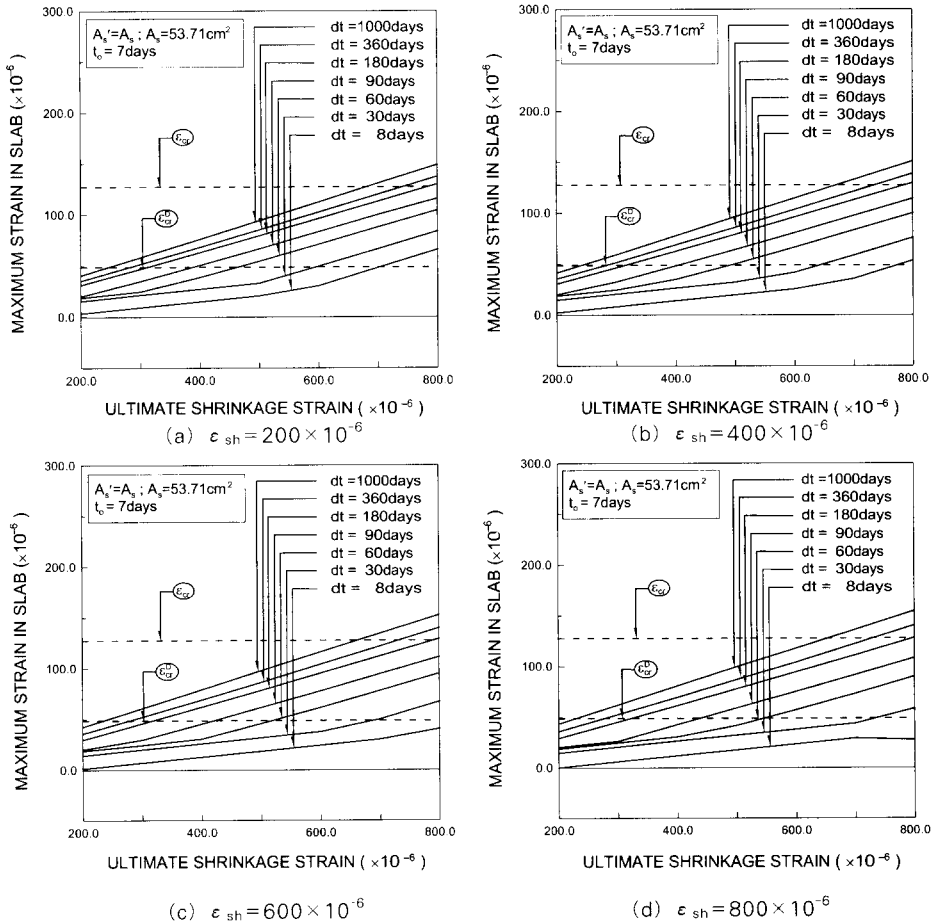


Fig. 3 The variation of maximum strain in slab with the ultimate shrinkage strain of girder concrete

판의 건조수축 현상에 의해서 모두 부모멘트가 증가하게 되며 dt 값이 증가할수록 부모멘트 최대값과 증가율 모두 커지게 되어 바닥판과 주형의 건조수축률 차이에 따른 영향이 지배적으로 나타나게 된다. 참고적으로 중앙부에서의 모멘트 변화는 참고문헌 3에 표시하였다.

3. 주형 콘크리트의 건조수축 효과

다음은 주형 콘크리트의 건조수축 효과가 전체 교량의 거동에 어떤 영향을 나타내는지 알아 보았다. 이를 위하여 주형의 극한 건조수축 변형률을 $200 \times$

10^{-6} , 400×10^{-6} , 600×10^{-6} , 800×10^{-6} 의 값으로 각각 변화시킴으로써 주형 콘크리트의 영향을 고려하였다.

그림 3의 변형률 변화로부터 $dt=8$ 일의 경우는 주형의 극한 건조수축 변형률이 증가할수록 최대 변형률의 값은 감소하나, $dt=1000$ 일의 경우는 증가함을 알 수 있다. 이는 앞서 언급한 바와 같이 바닥판이 타설될 때 주형 콘크리트의 재령에 따라 타설 후 발생하는 주형의 건조수축의 크기에 차이가 발생하기 때문이다.

그러나 주형의 건조수축에 의한 차이는 상대적으로 크게 나타나지 않으며 오히려 앞의 경우와 마찬가지로

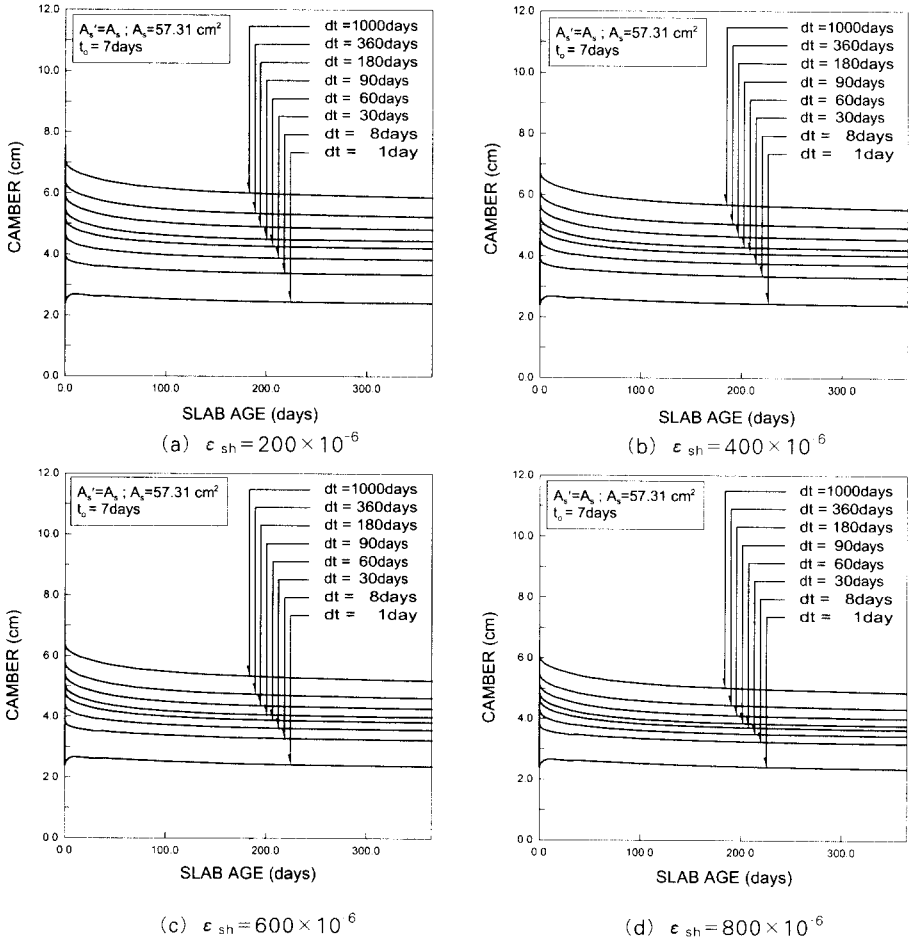


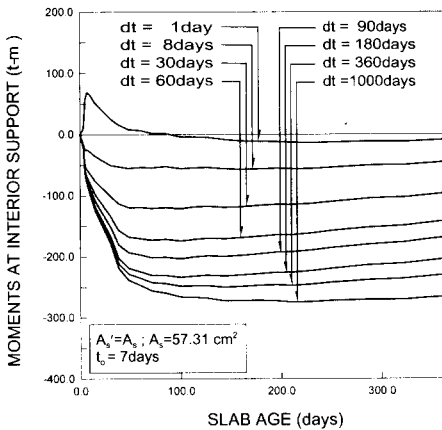
Fig. 4 Camber variation with the ultimate shrinkage strain of girder concrete

가지로 상부 슬래브와 주형의 재령차이에 의한 영향이 구조거동을 지배하고 있는 것을 알수 있다.

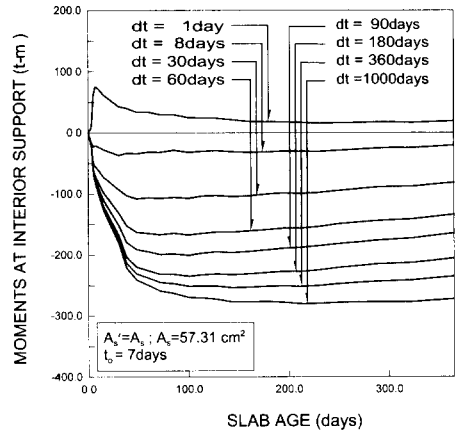
그림 4에 나타난 솟음의 변화는 dt 가 작을수록 주형의 극한 건조수축 변형률이 증가함에 따라 솟음량은 작기는 하지만 점차 감소하고 있다. 이는 주형의 시간의존적 거동인 크리프와 건조수축의 변형 중 주형의 극한 건조수축 변형률의 증가에 따라 건조수축에 의한 주형의 축소가 증가하기 때문이다.

그림 5에는 바닥판 콘크리트의 극한 건조수축 변형률이 800×10^{-6} 일 때 주형의 건조수축률 변화에 따른 모멘트 변화를 나타내었다. $dt=8$ 일의 경우는 주형의 극한 건조수축 변형률이 증가함에 따라 부모멘트는 감소하고, $dt=1000$ 일의 경우는 그 크기가

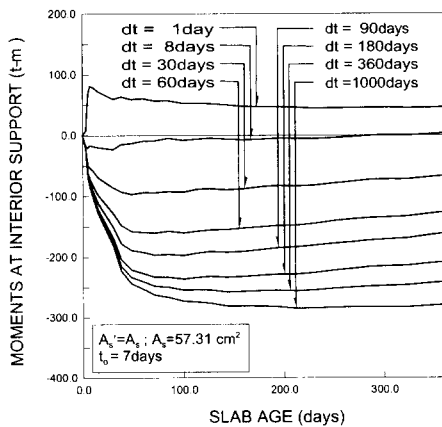
작기는 하나 부모멘트가 증가한다. $dt=8$ 일의 경우 주형의 건조수축률이 200×10^{-6} 이고 바닥판의 건조수축률이 800×10^{-6} 인 경우 건조수축의 차이가 상대적으로 크기 때문에 그림 5에 나타난 바와 같이 바닥판 건조수축에 의한 영향이 크게 되므로 시간이 경과함에 따라 부모멘트의 증가폭이 상대적으로 크게 나타나게 된다. 그러나 주형의 건조수축률이 800×10^{-6} 인 경우는 건조수축변형에 의한 주형의 수축이 상대적으로 증가하고 상부 슬래브와 주형의 건조수축률 차이가 작아지므로 크리프에 의한 영향이 증가하게 되어 정모멘트의 증가가 발생하고 있다. 이와는 반대로 $dt=1000$ 일에서는 주형의 시간의존적 거동이 거의 완료된 상태이므로 바닥판 콘크리트



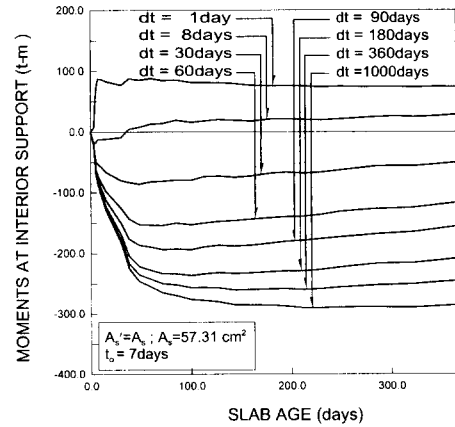
(a) $\epsilon_{sh} = 200 \times 10^{-6}$



(b) $\epsilon_{sh} = 400 \times 10^{-6}$



(c) $\epsilon_{sh} = 600 \times 10^{-6}$



(d) $\epsilon_{sh} = 800 \times 10^{-6}$

Fig. 5 Moment variation with the ultimate shrinkage strain of girder concrete

리트의 건조수축에 의하여 바닥판에는 인장응력이 주형에는 압축응력이 발생하게 된다⁽⁴⁾.

4. 크리프 효과

프리스트레스를 받는 주형의 경우 시간에 따른 솟음의 변화는 주형 콘크리트의 크리프에 크게 영향을 받으므로 콘크리트의 크리프에 따른 전체 교량의 거동을 알아보았다. 전체 교량의 장기 거동에 미치는 크리프의 영향을 알아 보기 위하여 극한 크리프 계수를 바닥판과 주형에 모두 2.0과 3.0으로 가정하

여 해석하였다. 이때 사용된 극한 건조수축 변형률은 바닥판과 주형 콘크리트에 대하여 400×10^{-6} 을 사용하였다.

그림 6에 솟음 변화의 경우 바닥판과 주형의 재령차이가 클수록 극한 크리프 계수의 증가에 따른 솟음의 증가량이 더 크게 나타나고 있다. 이는 바닥판을 타설하게 되면 긴장력에 의한 상향력이 감소하기 때문에 바닥판이 늦게 타설되는 dt 값이 큰 경우가 솟음이 더 크게 된다. 주형의 재령에 따라 콘크리트 바닥판 타설후 발생하는 솟음의 변화가 상향, 또는 하향으로 나타나므로 효과적인 솟음의 관리를

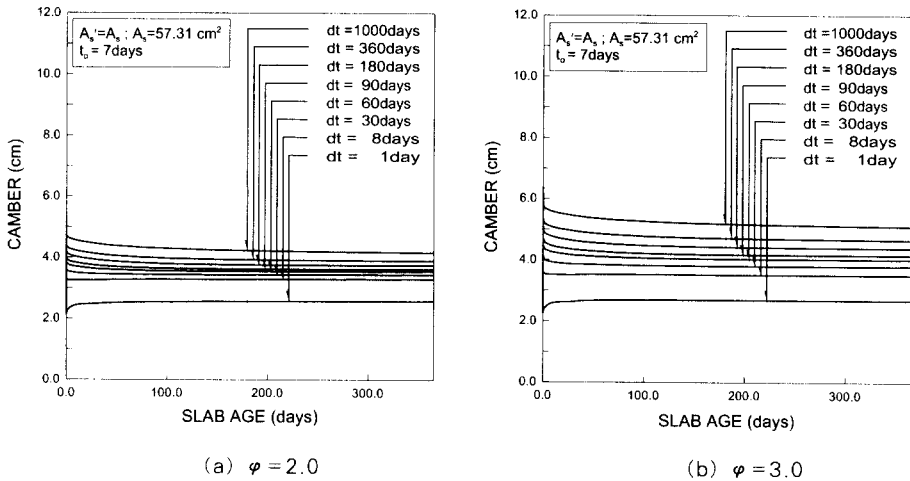


Fig. 6 Camber variation with the ultimate creep coefficient

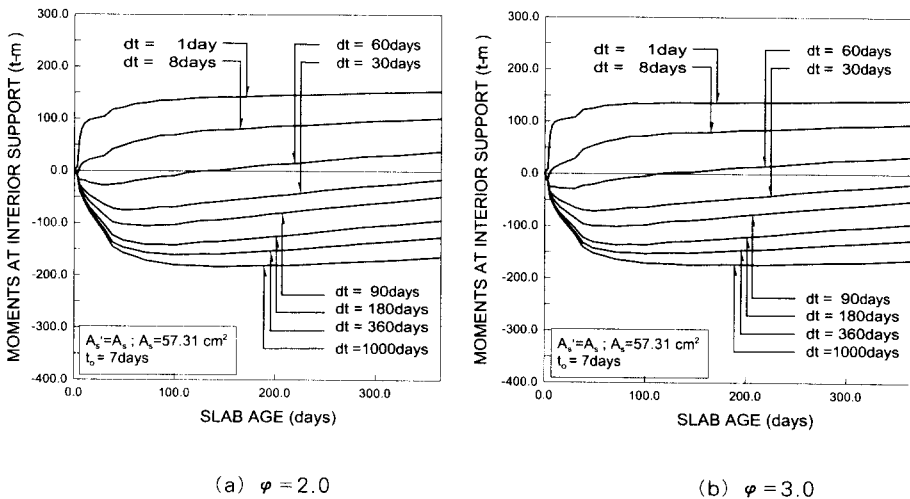


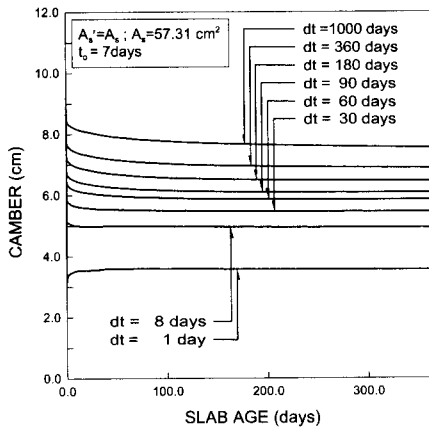
Fig. 7 Moment variation with the ultimate creep coefficient

위해서는 $dt=30$ 일이내에 바닥판 콘크리트를 타설하는 것이 바람직하다.

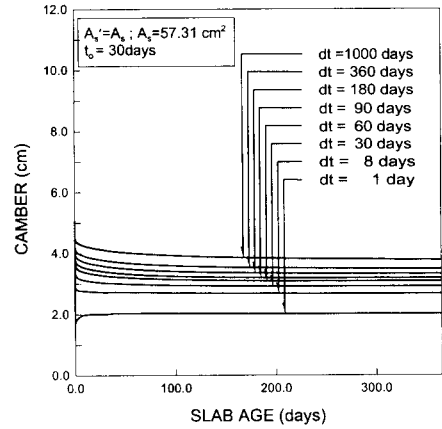
다음으로 모멘트의 극한 크리프 계수에 따른 변화를 살펴보면(그림 7 참조) 극한 크리프 계수가 증가할수록 바닥판 콘크리트의 재령 초기에는 정모멘트가 크게 발생하여 곡선의 재령 초기 부분의 기울기가 증가하고 있다. 반면에 바닥판 콘크리트의 재령이 커질수록 부모멘트가 증가하게 되는데 이는 주형의 시간의존적 거동이 거의 완료되었기 때문에 바닥판의 시간의존적 거동이 주형보다 상대적으로 크게 영향을 나타내기 때문이다.

5. 긴장력 도입시간의 효과

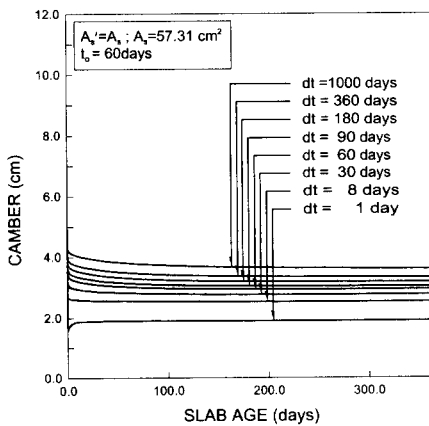
앞의 결과로부터 상부 슬래브의 균열발생과 직접적인 관계가 있는 것은 상부 슬래브의 건조수축률과 슬래브와 주형의 재령차이임을 알 수 있었다. 따라서 주형의 재령에 따른 영향이 상대적으로 크게 나타나므로 주형의 긴장시기에 따른 영향 또한 크게 나타나게 된다⁽⁵⁾. 이를 위하여 주형에 긴장력을 도입할 때의 주형 콘크리트의 재령에 따른 효과를 알아보기 위하여 재령 30일, 60일, 180일을 추가하여 해석하였다. 해석에 사용된 계수는 바닥판과 주



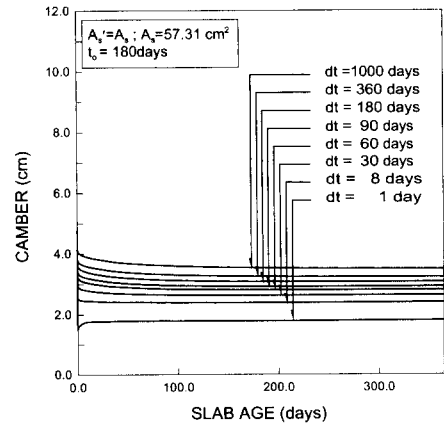
(a) $t_0 = 7$ days



(b) $t_0 = 30$ days



(c) $t_0 = 60$ days



(d) $t_0 = 180$ days

Fig. 8 Camber, variation with the time adopting prestressing force

형의 극한 건조수축 변형률이 모두 400×10^{-6} 이고 극한 크리프 계수는 모두 4로 가정하였다.

그림 8에 나타난 수축변화의 경우 긴장력 도입직 후 발생하는 수축은 긴장력을 도입할 때 주형의 재령이 클수록 강성이 증가하므로 수축은 작게 되고 또한 시간의존적 변형도 감소하게 된다. 전체 교량의 수축량은 바닥판이 타설되기전 주형의 초기 수축에 크게 영향을 받는 반면 바닥판 콘크리트 타설 후 바닥판의 거동에 따른 영향은 크지 않음을 알 수 있다. 이는 바닥판의 크기가 일정하므로 바닥판의 영향이 나타나는 바닥판 타설이후의 거동은 일정하게 유지되기 때문으로 시간의 경과에 따른 윗방향 또는

아랫방향의 수축변화는 긴장력 도입후 얼마의 시간 경과후 상부 슬래브를 타설하는가에 따라 다르게 나타나는 것을 알 수 있다.

다음으로 모멘트 변화를 살펴보면 주형에 긴장력을 도입한 후 1일이후에 바닥판이 타설되는 경우 긴장력 도입시 주형의 재령이 증가할수록 정모멘트는 감소하고, 주형에 긴장력을 도입한 후 1000일 이후에 바닥판이 타설되는 경우에는 부멘트가 작아지는 현상을 보이고 있다. 이는 주형의 재령이 클수록 주형의 시간의존적 거동이 완료되었다고 가정할 수 있고 따라서 전체 교량의 장기거동에 주형의 시간의존적 거동은 거의 영향을 나타내지 못하기 때문이다.

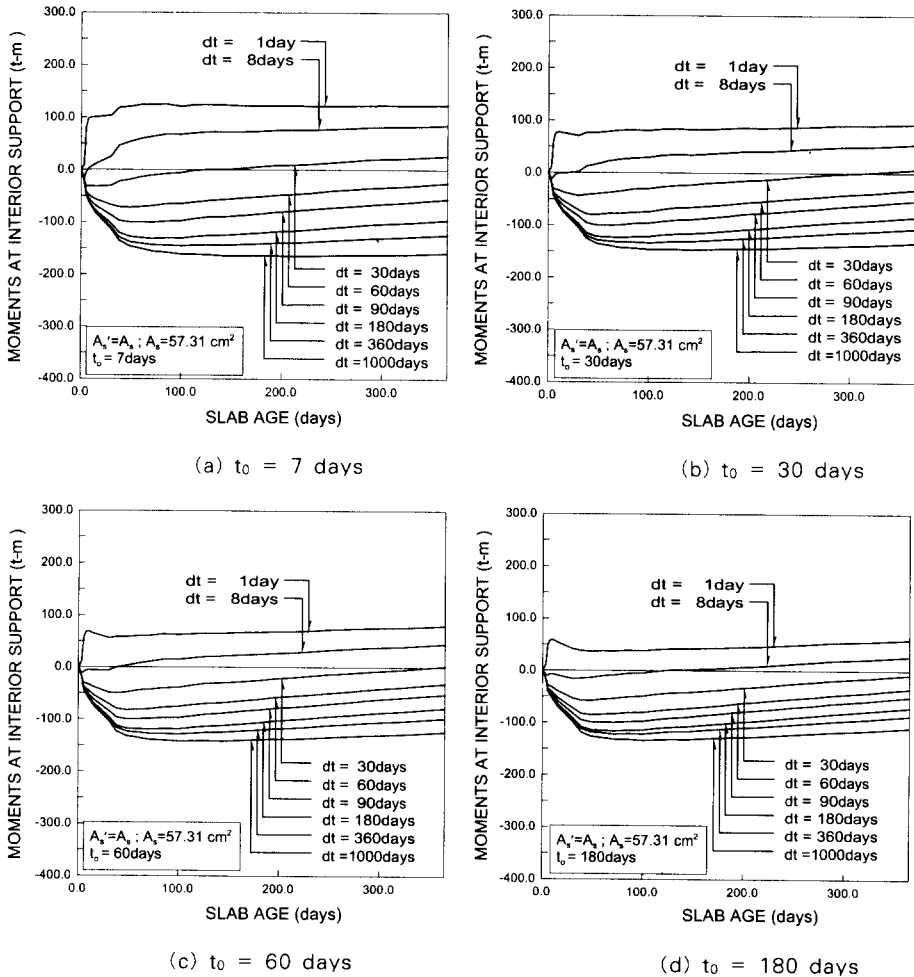


Fig. 9 Moment variation with the time adopting prestressing force

6. 시공공정에 따른 솟음의 변화

일반적인 PSC-Beam 교량의 시공공정은 먼저 프리스트레스트 보에 긴장력을 가하고 일정한 시간이 후에 보를 교량의 위치에 거치시킨 후 바닥판을 타

하였다.

해석결과를 살펴보면 교량의 솟음의 경우 주형의 크리프 거동에 영향을 지배적으로 받기 때문에 긴장력 도입시 콘크리트의 재령에 크게 영향을 받게 되므로 PSC-Beam 교량의 시간에 따른 솟음량의 변화

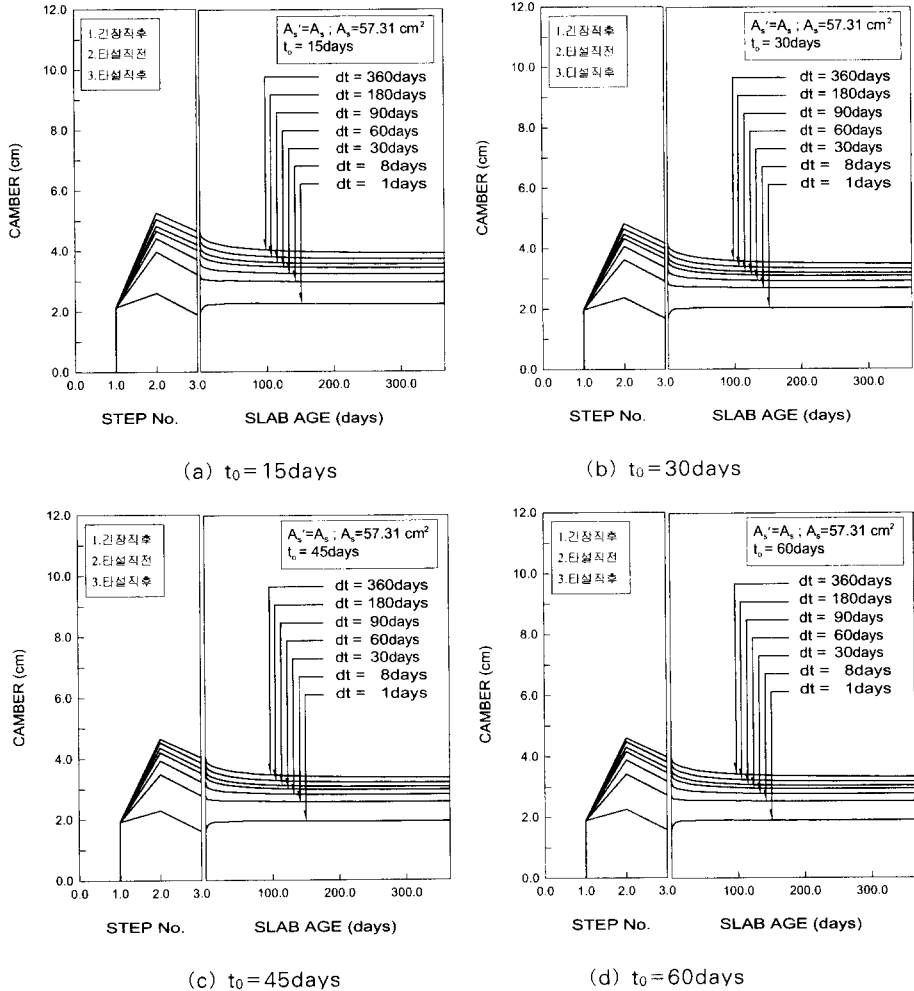


Fig. 10 Camber variation with the time adopting prestressing force

설하게 된다. 이러한 세 공정에 따른 경간중앙에서의 솟음변화와 바닥판 타설후 시간에 따른 솟음의 변화를 긴장력 도입시간이 15일, 30일, 45일, 60 일인 경우에 대하여 그림 10에 나타내었다. 이 때의 바닥판 콘크리트와 주형의 극한 건조수축 변형률은 400×10^{-6} 이고 극한 크리프 계수는 4로 각각 가정

는 바닥판의 타설시까지 유발되는 PSC-Beam의 솟음량에 차이에 의한 결과임을 알 수 있다. 또한 PSC-Beam의 재령과 슬래브 타설시간까지의 재령차(dt)에 따른 영향으로 이 재령차가 작은 경우 PSC-Beam에 잔존하는 크리프 변형의 영향으로 윗 방향의 솟음이 발생하지만 재령차가 큰 경우 PSC-

Beam의 크리프 변형이 거의 완료되므로 RC부재의 연속화에 따른 거동과 유사하게 아랫방향의 처짐이 유발되고 있다.

7. 결 론

지금까지 2경간 PSC-Beam교량의 연속화에 따른 거동에 영향을 주는 여러 효과에 대하여 알아보았다. 먼저 바닥판 콘크리트의 건조수축의 영향은 시간에 따른 솟음의 변화에는 거의 없었으나 지점부 모멘트의 시간에 따른 변화의 경우 부모멘트를 증가시켰다. 주형 콘크리트의 건조수축의 경우는 바닥판의 건조수축과는 달리 솟음을 감소시켰으며 모멘트의 변화도 반대의 효과를 나타내고 있다. 이는 주형의 건조수축이 클수록 지점부의 회전변위는 반시계 방향을 나타내므로 이에 저항하는 연결재에 의하여 정의 모멘트가 유발되기 때문이다. 다음으로 크리프의 효과는 솟음크기에 가장 큰 영향을 나타내며 모멘트에는 거의 영향을 나타내지 않았다. 긴장력 도입시간은 주형 콘크리트의 재령효과를 의미하게 되므로 솟음과 모멘트 변화 모두에 영향을 나타내며 긴장력 도입시간이 큰 경우 주형 콘크리트의 시간의 존적 특성이 거의 완료된 상태이므로 긴장력 도입시간이 30일 이상에서 이 영향은 작게 된다.

이와 같은 결론들로부터 바닥판과 주형의 시간의 존적 거동차이를 작게 하기위해 바닥판 콘크리트의 타설은 주형의 재령과 큰 차이가 나지 않도록 하는 것이 필요하며 긴장력 도입시간은 솟음의 시간에 따른 변화가 최소가 되도록 주형의 재령이 25일이나가 가장 적합하였다.

감사의 글

이 연구는 한국도로공사의 지원(과제명: 합성형 교량의 설계, 시공 및 유지관리 기술개발 연구)에 의하여 수행되었음

참고문헌

1. Xanthakos, P.P., Theory and Design of Bridges, John Wiley & Sons, New York, 1994
2. Nawy, Edward G., Prestressed Concrete, Prentice Hall, 1996.
3. 한국도로공사, 합성형 교량의 설계, 시공 및 유지관리 기술개발 연구, 1998.
4. Babaei, Khossrow and Hawkins, Neil M., Evaluation of Bridge Deck Protective Strategies, NCHRP Report 297, National Research Council, 1987.
5. Neville, A.M., Dilger, W.H. and Brooks, J.J., Creep of Plain and Structural Concrete, Construction Press, 1983.

요 약

앞편의 논문에서 PSC-beam 교량의 주형을 연속화함에 따라 발생하는 거동을 예측하기 위한 해석적 모델이 제안되었다. 이 논문에서는 앞편의 논문에서 다루지 않은 추가적인 영향을 고려하여 교량의 거동을 해석하였다. 즉 경간을 연속함으로써 발생하는 거동에 영향을 주는 원인인 바닥판과 주형 콘크리트의 극한 건조수축, 주형 콘크리트의 크리프, 긴장력 도입시간 등이 고려되었다. 끝으로 교량의 사용성을 증가시키고 내부지점의 균열을 포함한 구조적인 문제를 제거하기 위하여 시공단계를 고려한 PSC-beam 교량 거동에 관한 연구가 필요함이 강조되었다.

(접수일자 : 1999. 3. 9)