한국전산구조공학회
2002년도 가을 학술발표회 논문집

연속화된 Prestress 거더교의 거동연구

A Study on Behaviors of Prestressed Bridge Girders Made Continuous

구민세* 최인식** 김진헌***
Koo, Min-Se Choi, In-Sik Kim, Jin-Heon

ABSTRACT

To eliminate deck joints, continuous span bridges are becoming an attractive option. Defferent continuty methods and construction sequences have different time-dependent effects on the behavior of the bridge system. This paper is carried out to evaluate the restraint moments generated at intrerior span of bridges constructed with full-span prestessed concrete bridge. Especially, effects of creep and shrinkage between ACI209-95 and Eurocode 2 are compared in this paper. Time-dependent effects in prestressed concrete bridges include creep and shrinkage of concrete. Creep due to prestress makes the girders camber up and cause positive restraint moments. The most significant effect of shrinkage in continuous bridges is the differential shrinkage that occurs because of the difference in type and age of girder and deck concrete. Differential shrinkage between the precast girder and the deck typically causes negative restraint moments.

1. 서 론

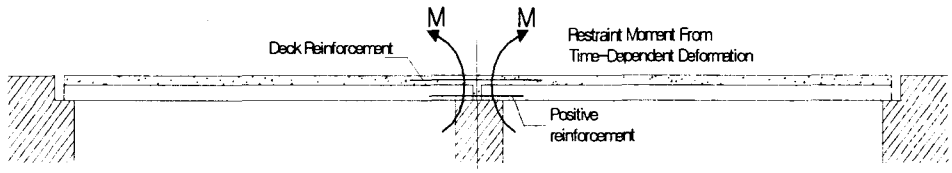
지금까지 시공된 PSC 연속보 교량은 대부분의 경우 내측지점에 발생하는 부모멘트에 대한 적절한 대응 없이 단순보형으로 정모멘트에만 대응되도록 시공되어 장대교의 경우 단경간으로 제작된 빔과 빔의 이음부를 신축이음부로 처리하였다. 그러나 신축이음부는 일정기간 사용후에는 교체해야하며 차량의 주행성 저하와 교량의 내구성에 문제점을 발생시키게 된다. 이러한 문제점을 해결하고 연속보의 구조적인 잇점을 얻기 위하여 단순보형으로 제작된 보를 가로보와 바닥판으로 연결하여 연속화하는 방법이 사용되어져 왔다. 그러나 이는 일정기간 후에 내측지점의 바닥판 콘크리트에 균열이 발생하여 구조물의 강성 및 내구성이 저하되는 단점이 있다. 특히 PSC 연속보교량의 경우 콘크리트의 크리프 및 건조수축에 의한 모멘트가 시간이 경과함에 따라 증가하므로 부모멘트구간의 바닥판에 균열이 발생하게 되며 결국 그 균열은 구조적으로 불리한 거동을 유발시킨다. 즉 단순보 또는 단순보에 가까운 거동을 하게하므로 정모멘트 구간에 큰 모멘트를 발생시킴은 물론 처짐 및 진동이 증가하게 되어 사용성과 내구성에 불리한 영향을 준다. PSC교의 연속성을 유지하기 위해서는 내측지점에 발생하는 부모멘트를 고려한 설계가 필요하다.

* 정회원 · 인하대학교 토목공학과 교수
** 인하대학교 토목공학과 박사과정
*** 인하대학교 토목공학과 석사과정

2. 구속모멘트

PSC거더와 현장타설바닥판으로 시공되는 연속교의 설계시 가장 중요한 것은 지점부근의 시간에 따른 거동을 정확히 예측하는 것으로써, 이때 구조물의 장기거동은 연속성을 주기 위해 사용한 시공방법, 콘크리트의 크리프와 건조수축, 온도변화, 작용하중 등 여러 가지의 영향을 받는다.

- 그림 1 - 단순지지된 Precast Girder



- 그림 2 - 바닥판이 타설된후 활하중과 시간의존 영향이 고려된후

그림1의 단순거더교인 경우 변형이 구속되지 않아 지점부에 2차 응력이 발생되지 않지만 그림2와 같이 지점부가 연속화 된 경우에는 부재가 구속되어 지점부에서 구속모멘트가 발생하게 된다.

2.1 크리프계수와 건조수축변형도

2.1.1 ACI209-95의 제안식

(1) 크리프계수

하중이 재하된 후 시간 t에서 크리프계수는 다음과 같이 계산된다.

$$C_t = \left[\frac{t^{0.6}}{(10\,days) + t^{0.6}}\right] C_u \qquad (1)$$

여기서 $C_u = 2.35\,\gamma_{cr}$ 이며, 표준조건에서 $\gamma_{cr} = 1.0$ 이다.

(2) 건조수축변형도

7일 동안 습윤양생된 콘크리트는 대기에 노출된 이후 재령 t에서 구속되지 않은 건조수축 변형도는 다음과 같이 계산된다.

$$\varepsilon_{sh}(t) = \left[\frac{t}{(35\,days) + t}\right] \varepsilon_{sh} \qquad (2)$$

1~3일 동안 증기양생된 경우에는 대기에 노출된 이후의 재령 t에 대해 다음과 같이 계산한다.

$$\varepsilon_{sh}(t) = \left[\frac{t}{(55\,days)+t}\right]\varepsilon_{sh} \qquad (3)$$

여기서 $\varepsilon_{sh} = 780\times10^{-6}\gamma_{sh}$ 이며, 표준조건에서 $\gamma_{sh} = 1.0$ 이다.

2.1.2. 콘크리트구조 설계기준 제안식

콘크리트구조 설계기준은 유럽규준(Eurocode 2, ENV 1992-1-1 : 1991)의 크리프와 건조수축에 대한 제안식을 도입하고 있다.

(1) 크리프계수

시간 t_0에서 작용응력 $f_c(t_0)$에 의한 콘크리트의 순간 변형 및 크리프 변형을 함께 고려한 전체 변형률 $\varepsilon_c(t,t_0)$는 다음과 같이 계산된다.

$$\varepsilon(t,t_0) = f_c(t_0)\left[\frac{1}{E_{ci}(t_0)} + \frac{\Phi(t,t_0)}{E_{ci}(28)}\right] \qquad (4)$$

여기서 $E_{ci}(t)$는 재령 t에서 콘크리트의 초기 접선탄성계수(tangent modulus of elasticity)이다.

$$\Phi(t,t_0) = \Phi_0(t_0)\beta_c(t - t_0) \qquad (5)$$

$\Phi_0(t)$는 상대습도와 평균압축강도 그리고 재하재령에 의한 개념적인 크리프계수 또는 극한 크리프계수로 다음과 같이 계산된다.

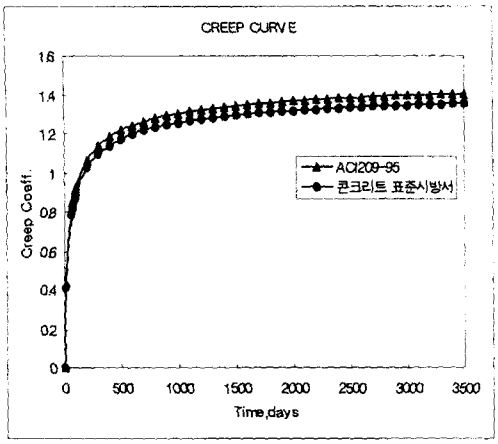
$$\Phi_0(t) = \Phi_{RH}\beta(f_{cu})\beta(t_0) \qquad (6)$$

(2)건조수축변형도

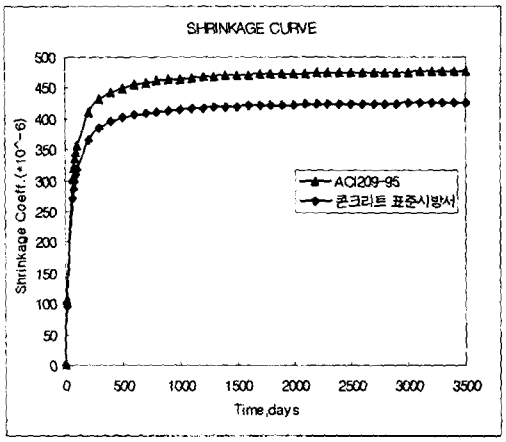
콘크리트의 건조수축변형률은 대기의 평균상대습도, 부재의 크기 등을 고려하여 다음과 같이 계산할 수 있다.

$$\varepsilon_{sh}(t,t_s) = \varepsilon_{sho}\beta_s(t-t_s) = \varepsilon_s(f_{cu})\beta_{RH}\beta_s(t-t_s) \qquad (7)$$

여기서 $\varepsilon_{sho} = \varepsilon_s(f_{cu})\beta_{RH}$ 는 극한 건조수축변형도이며, 각 계수는 아래와 같이 계산된다. $\varepsilon_s(f_{cu})$는 평균압축강도와 시멘트의 종류에 따른 건조수축변형률이다.



-그림 3 - CREEP



-그림 4 - SHRINKAGE

그림 3은 ACI209-95와 콘크리트구조설계기준(Eurocode 2)의 크리프의 비교를 보면 두 시방서의 기준의 차이가 크지 않음을 알 수 있다. 그림 4는 건조수축변형도의 두 시방서의 비교 그래프를 나타낸 것이며, ACI209-95의 값이 콘크리트구조설계기준(Eurocode 2)의 값들보다 크게 나온다는 결과를 그림에서 얻을 수 있다.

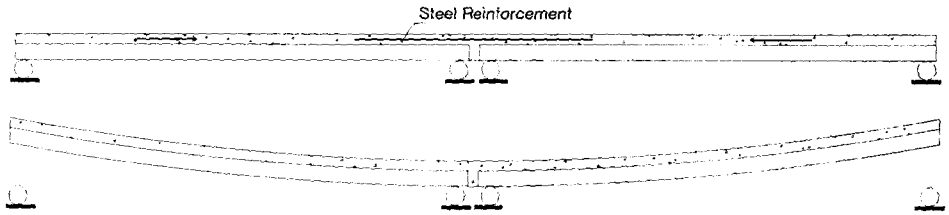
2.2. 크리프와 건조수축에 의한 구속모멘트

2.2.1. Creep

Creep는 Prestressing 하중과 사하중이 원인이 되어 생기게된다. Prestressing에 의한 Creep는 사하중에 의한 영향에 반대가 되며, Prestressing이 거더의 솟음을 일으키므로 Positive 구속모멘트를 발생시킨다. 사하중에 의한 Creep는 반대로 Negative 구속모멘트를 발생 시키게된다.

2.2.2 건조수축변형

건조수축변형은 연속보에서 가장 큰 영향을 준다. Precast 거더는 이미 대부분의 건조수축이 일어나 있는 상태지만 현장타설된 바닥판은 건조수축이 계속 진행되게 된다. 여기서 Precast 거더와 현장타설 바닥판의 건조수축의 차가 생기게 되는데, 이러한 Precast 거더와 현장타설 바닥판의 건조수축의 차를 거더가 구속하고있기 때문에 연속교에 아래 그림5와 같은 거동을 일으키게된다.



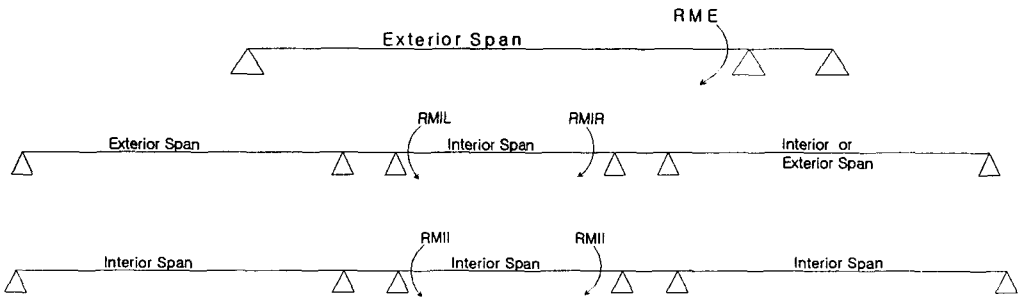
- 그림 5 - 2경간 합성단면에서 건조수축의 차이에 의한 변형

3. 해석방법

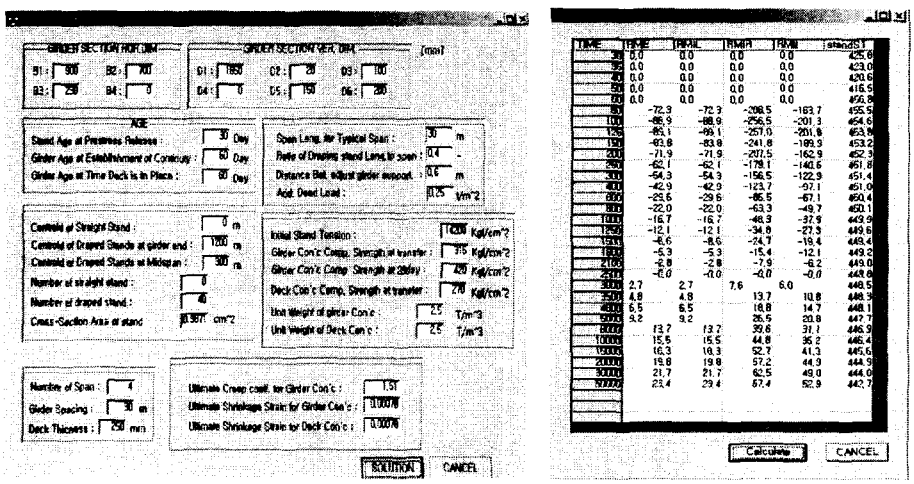
3.1 해석프로그램

이 논문에 사용된 해석 프로그램은 TRB보고서(3)에 사용된 BRIDGERM을 기초로하여 구성되어 있으며 BRIDGERM이 Pre-tensioning 방식의 교량에만 적용되는데 비해 본 논문의 프로그램은 Post-tensioning 방식까지 적용이 가능하고, 완벽한 시간이력구속모멘트를 구할 수 있다. 또한 Post-tensioning방식의 긴장력의 시간 단계별로 고려한 값을 크리프계산에 적용하여 정확한 크리프계산을 수행할 수 있다. 또한 기존 연속화 방식에서 고려하지 못한 지점을 분리한 구속모멘트의 계산이 가능하게 하였고, 콘크리트설계기준과 ACI209-95의 각 시방서에서 제시된 각각의 크리프계수와 건조수축 변형도에 대한 지점부에 발생하는 구속모멘트의 크기를 계산하여 비교가 가능하게 하였다.

본 프로그램내의 구속모멘트의 표기방식은 그림 6에 표시하였다,



- 그림 6 - 프로그램에서 계산에 사용된 구속모멘트 표기방식



(a) (b)

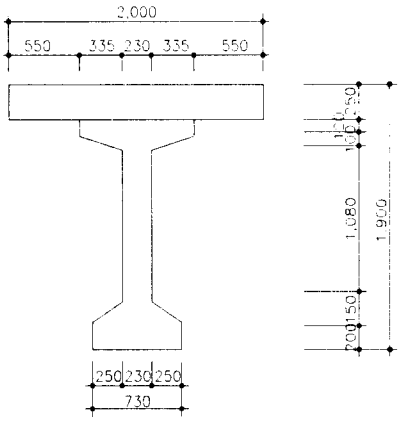
- 그림7 -

그림 7의 (a)와(b)는 프로그램의 입력창과 결과창 그림이다.

3.2 해석모델

해석에 사용된 교량은 최근 단경간 Precast 거더를 연속화하여 만든 서울교를 택하였으며 30m짜리 Precast 거더 4개를 현장 타설 바닥판으로 연결한 교량이다. 단면과 재원은 다음과 같다.

(a) 4경간 연속보 (4@30m)



(b) 거더 단면

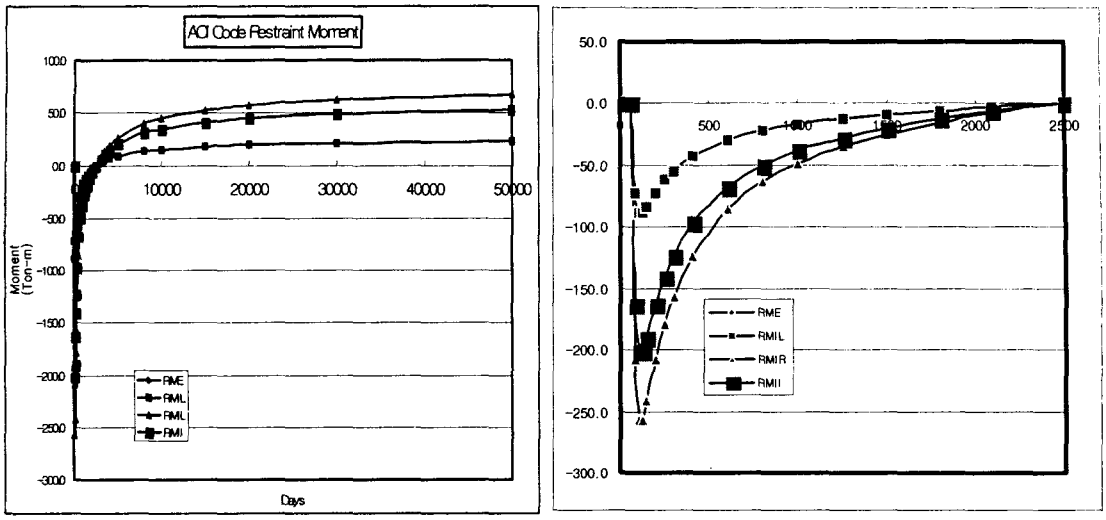
표 1 재료의 성질

콘크리트	거 더	400 Kg/㎠
	바닥판	270 Kg/㎠
콘크리트 단위중량	거 더	2.5 t/㎥
	바닥판	2.3 t/㎥
긴장재	SWPC 7B 7연선 40개	
극한 Creep 계수	1.51	
극한 건조수축 변형률	거 더	0.00078
	바닥판	0.00078
시간 (Days)	긴장력도입	30일
	연속화	60일
	추가 사하중작용	60일

- 그림8 - 해석모델

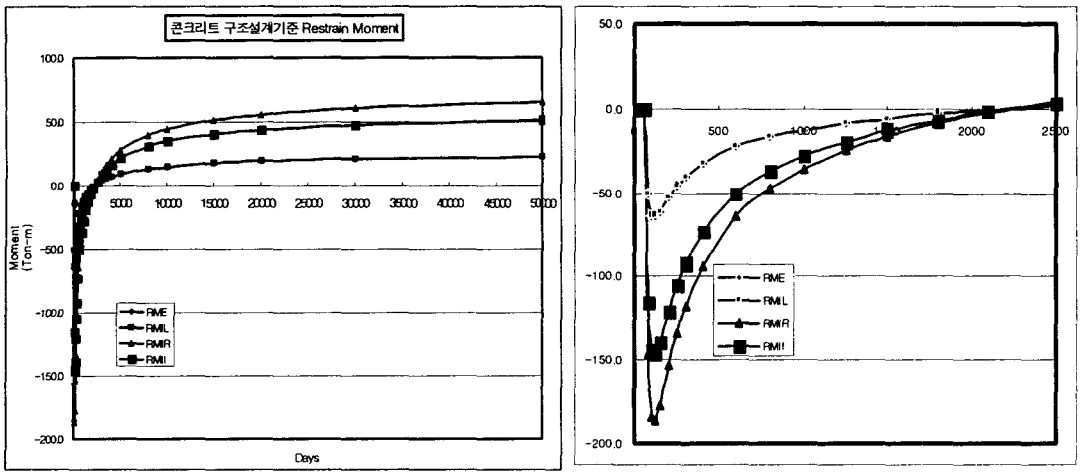
4. 해석결과

콘크리트설계기준과 ACI209-95의 크리프계수와 건조수축 변형도를 적용하여 프로그램을 실행하여 그림 9과 그림 10같은 결과를 얻게된다.



(a) (b)

- 그림 9 -



(a) (b)

- 그림 10 -

그림 9과 그림 10의 (a),(b)는 ACI209-95와 콘크리트 구조설계기준의 구속모멘트를 계산결과를 나타내는 그림으로써 각 그림의 그림(b)는 그림(a)의 연속화이후재령 2500일까지를 자세히 나타낸 그림이다.

그림 9과 10에서 보면 연속화이후 초기에는 급한 기울기의 Negative 구속모멘트가 작용하다가 시간이 흐를수록 완만한 곡선형태의 Positive 구속모멘트로 바뀌는 것을 알 수 있다. 이것은 초기에는 Negative 구속모멘트의 원인이 되는 건조수축의 주된 영향으로 작용한 것으로 판단되고 시간이 경과됨에 따라 건조수축변형도의 차이가 작아지고 크리프의 영향이 작용하게 되어 Positive구속모멘트가 발생되어 다음과 결과를 얻을 수 있음을 알 수 있다. 여기서, Positive구속모멘트의 경우 같은 두 개의 시방서에서 시간의 경과

에 따라 Positive 구속모멘트가 증가하다 점점 수렴하는 경향을 보이는데 그 값의 차이가 크지 않음을 알 수 있다. 이것은 그림3에서 두 시방서의 크리프의 차이가 적었고 그 차이가 구속모멘트의 계산값에 큰 차이를 발생시키지 못했음을 나타내는 결과다. 하지만 Negative 구속모멘트의 경우 연속화 이후 재령 125일에서 두 시방서의 Negative 구속모멘트의 차이가 50 Ton-m정도의 차이를 나타내며 이것은 그림4에 건조수축변형도의 값의 차이가 실제 구속모멘트의 계산에서는 큰 영향을 미치게 된다는 결과를 나타내는 것이다.

6. 결 론

1. Post-Tension 연속보의 경우 구속모멘트는 연속화 초기에는 건조수축변형도가 주된 영향을 미치지만 시간이 경과됨에 따라 건조수축변형도의 영향이 작아지고 크리프의 영향이 미치게 됨을 알 수 있다.
2. 현 콘크리트 구조설계기준은 유럽규준(Eurocode 2, ENV 1992-1-1 : 1991)의 크리프와 건조수축에 대한 제안식을 도입하고 있는데 이는 ACI209-95의 기준식을 적용한것보다 과소평가될 수 있다. 이를 보완 할 수 있는 적절한 설계기준의 마련이 필요하다고 판단된다.
3. Precast 거더와 현장타설 바닥판의 재령차가 적으면 건조수축의 영향이 작아지므로 Negative 구속모멘트의 발생값이 작아지고 크리프의 영향이 더 크게 작용하게되므로 Positive구속모멘트가 커지게 된다는 것을 예측할 수 있다. 앞으로 연속보의 거더와 바닥판의 재령의 차이에 대한 연구가 수반되어야 한다.

참고문헌

1. ACI Committee 209 (1995), *Prediction of Creep, Shrinkage, and Temperature Effect in Concrete Structure*, American Concrete Institute, Detroit.
2. Ma, Zhongguo(John), Tadros, Maher K., Mantu Baishya, and Xiaoming Huo "Restraint Moments in Precast/Prestressed Concrete Continuous Bridges," PCI JOURNAL, Vol.43, No 6 Nov.-Dec. 1998, pp.40~57
3. "DESIGN OF PRECAST PRESTRESSED BRIDGE GIRDERS MADE CONTINUOUS," TRABSPOTATION RESEARCH BOARD(1989)
4. Amir Mirmiran, Siddharth Kulkarni, Reid Castrodale, Richard Miller ,and Makarand Hastak "Nonlinear Continuity Analysis of Precast, Prestressed Concrete Girders with Cast-in-Place Decks and Diaphragms Bridges," PCI JOURNAL, Vol.46, No. 5 Sep.-Oct. 2001, pp.60~77
5. 박 찬(2001) " 2경간 PSC빔교의 연속화에 따른 구속모멘트의 시간의존해석", 공학석사 학위논문, 인하대학교
6. 신현묵(1997), 프리스트레스 콘크리트, 동명사
7. R. I. Gilbert (1998), *Time effects in concrete structures*, ELSEVIER.