

# 풀스팬 프리캐스트 세그먼트 교량의 해석 및 장기거동 해석

## Long Term Behavior and Analysis of Full Span Precast Segmental Bridge

오 병 환\*,            채 성 태\*\*,            정 상 화\*\*            박 지 언\*\*\*  
Oh, Byung-Hwan,    Chae, Seong-Tae,    Jung, Sang-Hwa,    Park, Ji-Eon

---

### Abstract

The newly proposed Precast Segmental Method (PSM), which makes use of precast elements for erection, is relatively new, efficient and fast method for the construction of prestressed box girder bridges. A precast segment of 25 m long pretensioned in the fabrication yard is transported by a special trailer and a launching truss to its final position. The segments are then connected in the site by post-tensioning to make a continuous prestressed concrete box girder bridges.

The purpose of this paper is to analyze and evaluate the design of precast prestressed concrete box girder bridges. The detailed analyses including time-dependent behavior of PSM bridges are conducted. The major results and findings, which have been obtained from finite element analysis of PSM bridge, are discussed in this paper and these results will be a good base for the design and analysis of a new precast bridges.

Key Word : Precast Segmental Method, Prestressed Concrete Box Girder Bridge, Pretension, Detension

---

### 1. 서론

본 연구의 대상 교량은 3-4m로 분할하여 제작된 세그먼트를 프리스트레스트 텐던으로 연결하여 상부구조를 완성하는 기존의 PSM(precast segmental method)의 프리캐스트 세그먼트 박스 거더 교량과 달리 1경간이 25 m인 교량의 상부구조를 제작장에서 일체로 제작하여 특수하게 제작된 가설 장비를 이용하여 교각에 설치하는 공법으로 시공된다.

---

\* 서울대학교 토목공학과 교수, 정회원, \*\* 서울대학교 토목공학과 박사과정수료

\*\*\* 동부건설 경부고속철도 3공구 PSM 현장소장

풀스팬 프리캐스트 세그먼트 공법으로 시공되는 본 교량의 가설은 25 m로 제작장에서 증기양생에 의해 제작된 세그먼트를 트레일러에 의해 가설 지점으로 이동한 후 가설 트러스로 세그먼트의 최종 위치에 설치한다. 이러한 세그먼트는 현장에서 포스트 텐션에 의해 지점부를 연속화하여 2경간 또는 3경간 연속 구조물로 시공함으로써 교량을 완성하게 된다. 따라서 본 연구 대상 교량의 건설 공법은 PSC박스 거더 교량을 프리캐스트화하여 제작,운반, 가설을 하는 신공법으로 프리캐스트의 품질 확보 및 신속한 시공 등으로 효율적인 공법으로 나타나고 있다.

본 연구는 세그먼트의 제작 및 시공 과정, 사용상태에서 발생하는 하중 조건 및 구조계의 변화를 종합적으로 고려하여 풀스팬 세그먼트의 안전성을 검토하고, 세그먼트 설치후 장기적인 거동을 분석하였다.

## 2. 세그먼트 교량의 제작 및 시공 과정

본 연구 대상 교량은 세그먼트 제작장에서 제작후 그림 2.1과 같은 시공 단계를 거쳐 구조물을 완성하게 된다. 이때 세그먼트는 가설 단계동안 구조계의 변화를 겪게되며 각 시공단계에서 서로 다른 검토가 필요하게 된다. 본 연구에서는 세그먼트의 제작 단계에서는 프리텐션힘이 도입되는 시점에서의 구조 거동, 단순 지지된 세그먼트의 시간에 따른 구조 거동, 세그먼트가 연속화된 경우 시간에 따른 거동 등을 분석하였다.

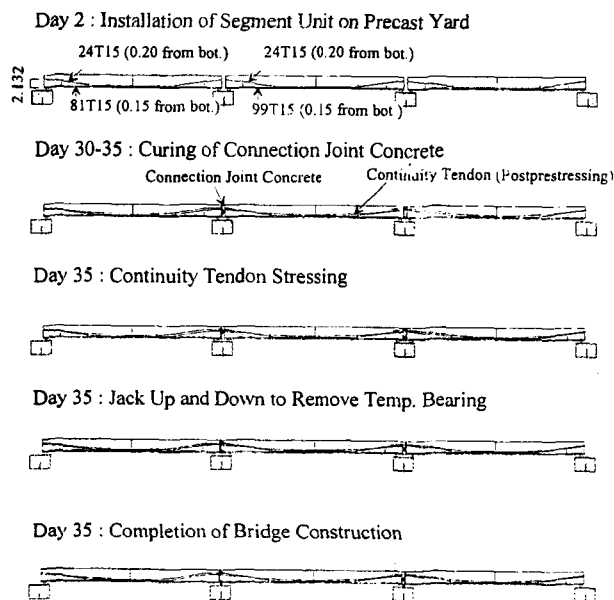


그림 2.1 PSM 교량의 시공 단계

### 3. 단순보로 지지된 세그먼트의 시간에 따른 거동 분석

#### 3.1 시간에 따른 콘크리트 및 강재의 변형도 특성

콘크리트는 시간에 따라 물리적, 화학적 성질이 변화하며 사용하중하에서 변형과 강도가 변하는 복합재료이다. 이러한 콘크리트의 시간의존적 특성이 프리스트레스트 콘크리트 교량의 거동에 영향을 미치며, 교량의 응력 및 처짐을 정확히 계산하기 위해서는 콘크리트의 시간의존적 특성을 고려하여야 한다. 콘크리트 구조물의 시간에 따른 거동을 해석하는데 있어 중요한 가정은 콘크리트의 총변형도를 여러 요인에 의한 개별 변형도의 합으로 간주하는 중첩의 원리이며, 각각의 변형도는 상호 영향을 미치지만 콘크리트 변형도에 대한 중첩의 가정은 콘크리트 구조물의 시간의존적 거동을 연구하는 데 널리 사용된다. 시간  $t$ 에서의 콘크리트의 총변형도  $\epsilon(t)$ 는 식(1)과 같다.

$$\epsilon(t) = \epsilon_{el}(t) + \epsilon_{cr}(t) + \epsilon_{sh}(t) \quad (1)$$

여기서,  $\epsilon_{el}(t)$  : 탄성변형도

$\epsilon_{cr}(t)$  : 크리프변형도

$\epsilon_{sh}(t)$  : 건조수축변형도

본 연구에서는 ACI 209 위원회의 콘크리트에 대한 시간의존적 특성을 사용하였으며 사용한 크리프 계수 및 건조수축에 대한 변형도는 식 (2), (3)과 같다.

$$C_{t-\tau} = \frac{(t-\tau)^{0.6}}{10+(t-\tau)^{0.6}} C_u \quad (2)$$

여기서,  $C_{t-\tau}$  : 크리프계수(초기변형도와  $(t-\tau)$ 일 후

크리프 변형도와와의 비)

$C_u$  : 극한 크리프 계수(초기변형도와 무한시간 후

크리프 변형도와와의 비)

$\tau$  : 지속하중재하시의 재령

$$\epsilon_{t-t_0}^{sh} = \frac{(t-t_0)}{f+(t-t_0)} \epsilon_u^{sh} \quad (3)$$

여기서,  $t_0$  : 콘크리트의 양생이 종료된 때의 재령

$f$  : 양생상태에 따른 상수

$\epsilon_u^{sh}$  : 극한 건조수축변형도

프리스트레스트 강재는 시간에 따라 PS강재에 도입된 긴장력이 감소하는 데 이를 릴락세이션이라 하며, 본 연구에서 적용한 PS강재의 릴락세이션은 식(4)와 같다.

$$\frac{f_p}{f_x} = 1 - \frac{\log t}{45} \frac{f_x}{f_{py}} - 0.55 \quad (4)$$

여기서,  $f_p$ : 유효긴장응력

$f_x$ : 초기긴장응력

$f_{py}$ : ps강재의 항복응력

### 3.2 세그먼트의 디텐션 순서에 따른 거동 특성

그림 2.1에서와 같이 25m로 제작장에서 제작된 세그먼트는 임시 교량 받침에 지지되며, 이미 설치된 세그먼트 위로 가설장비가 이동하면서 연속적으로 세그먼트를 설치하는 반복과정을 거치게 된다. 이러한 단계는 교량이 완전하게 연속화되지 않은 단순지지된 상태이며, 시간에 따라 구조적 거동이 변화하게 된다. 세그먼트는 프리텐션에 의해 프리스트레스트 강재의 긴장력이 일차적으로 도입되게 되며, 이를 디텐션(Detension)이라 한다. 이러한 디텐션과정동안 세그먼트는 일부 균열이 발생할 수 있으며 이를 최소화하기 위해 배치된 프리텐션 강재의 디텐션을 적절한 순서로 하여야 한다. 그림 2.1에 보여진 것과 같이 세그먼트 하부에는 직선텐던과 절곡이 된 텐던이 배치되어 있으며, 이들의 디텐션 과정에 따라 처짐값이 변화하게 되며 세그먼트는 최종적으로 상향 처짐을 유발하게 된다. 그림 3.1과 3.2에 절곡텐던과 직선텐던의 긴장력 도입순서를 달리하였을 때의 처짐과 세그먼트 상하연단의 응력을 나타내었다.

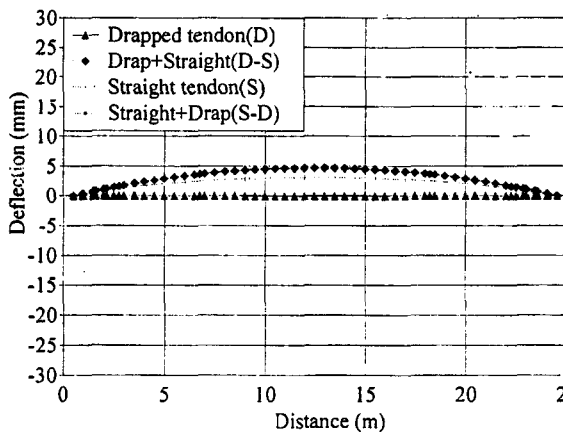


그림 3.1 긴장력 도입 순서에 따른 처짐

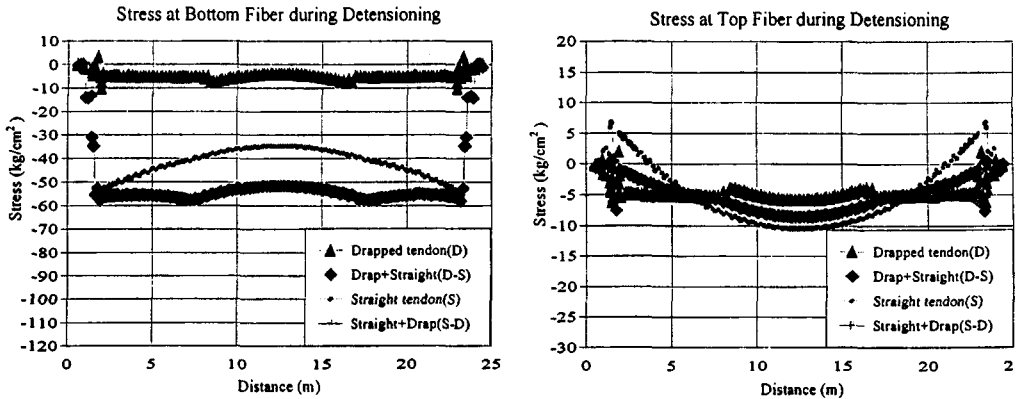


그림 3.2 긴장력 도입순서에 따른 세그먼트 상하연단에서의 응력

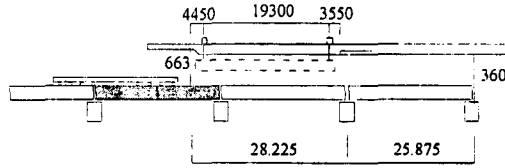
그림 3.1과 3.2 에서와 같이 긴장력의 도입 순서에 따라 디텐션과정에는 세그먼트의 상부에는 인장응력이 나타나게 되며 적절한 순서에 따라 긴장력을 도입하는 것이 바람직하다. 세그먼트 제작시 긴장력은 우선 절곡 텐던, 직선 텐던의 순서로 도입하는 것이 콘크리트 단면에 발생하는 응력의 측면에서 유리한 것으로 나타났다.

#### 4. 단순 지지된 세그먼트의 장기거동 및 가설하중 작용시의 구조 해석

단순 지지된 세그먼트는 최종적으로 연속화되기까지 상당한 시간동안 단순보로서의 거동을 하게 되며, 이때 적절한 연속화 시점 및 가설단계에서 세그먼트(총600ton) 및 운반차량(110ton), 가설트러스와 같은 큰 중량의 가설하중이 작용하게 된다. 그림 4.1에 단순지지된 세그먼트에 작용하는 하중의 경우를 나타내었다. 그림 4.2에는 시간에 따른 세그먼트 중앙에서의 처짐과 축방향 변형을 나타내었다. 단순지지된 세그먼트는 시간에 따라 처짐이 증가하게 되고 가설후 200일이 경과된 시점에서의 세그먼트 중앙부의 처짐은 13.2 mm에 이르는 것으로 나타났으며, 1000일이 경과된 시점에서는 15.1 mm의 상향 처짐을 유발하는 것으로 나타났다.

그림 4.3에는 그림 4.1에 주어진 하중 조건에서의 세그먼트 상하연단에 발생하는 콘크리트의 응력을 나타내었으며, 세그먼트에 발생하는 콘크리트의 응력은 콘크리트 표준시방서에 주어진 허용응력이내인 것으로 나타났다.

L.C. 1 ; SEGMENT LIFT (BENDING)



L.C. 2 ; SEGMENT LIFT (SHEAR)

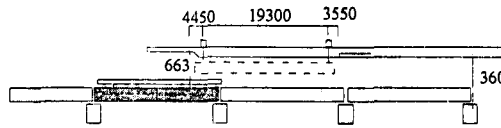


그림 4.1 세그먼트에 작용하는 가설하중

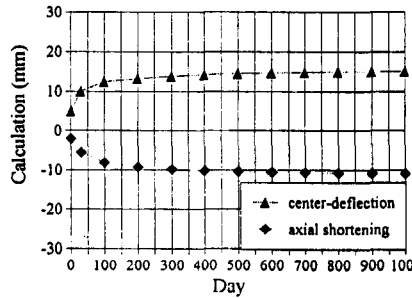


그림 4.2 단순지지된 세그먼트의 처짐 및 축방향 변형

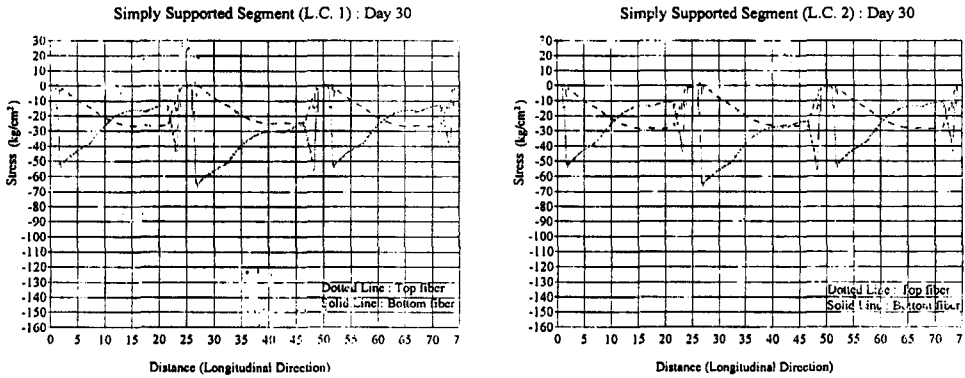


그림 4.3 가설하중작용시 세그먼트 상하연단응력

## 5. 사용하중상태에 대한 검토

단순 지지된 세그먼트를 연속화하여 사용하중상태에서의 철도하중이 작용하는 경우에 대한 구조 해석을 수행하였으며 이때의 하중 작용 상태를 그림 5.1에 나타내었으며, 그림 5.2에는 세그먼트 가설후 10,000일 경과후 각 하중 경우에 있어서의 단면에 발생하는 콘

크리트 응력을 나타내었다. 단면에 발생하는 콘크리트의 응력은 허용응력이내인 것으로 나타났다.

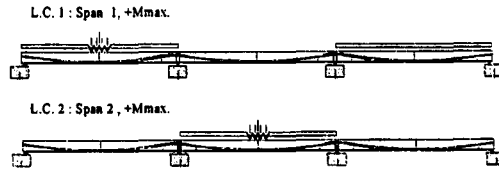


그림 5.1 사용하중상태에서 열차하중이 작용하는 경우

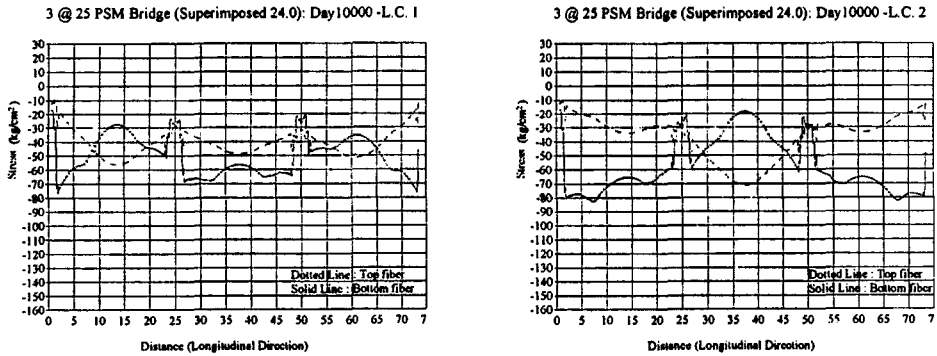


그림 5.2 사용하중상태에서의 콘크리트 응력

사용하중상태에서 세그먼트 가설후 10,000일 경과후의 세그먼트 교량의 처짐량을 계산한 결과 최대처짐량은 17.4 mm로 나타났으며, 그림 5.3에 그 결과를 나타내었다.

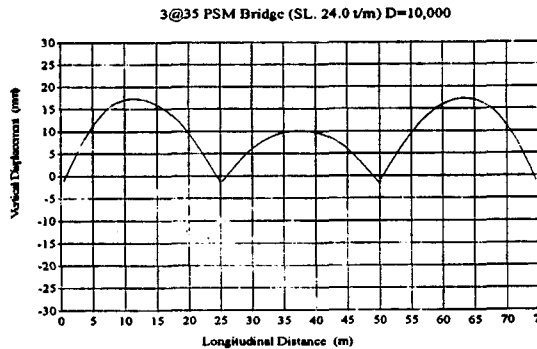


그림 5.3 사용하중상태에서의 처짐량

## 6. 결론

본 연구에서는 폴스팬 프리캐스트 세그먼트 공법으로 시공되는 프리스트레스트 박스 거더 교량의 시공단계에 따른 구조 거동 평가에 의한 합리적인 해석 및 시공 방법을 제시하였다. 장지간의 프리캐스트 거더로 시공되는 PSC 박스 교량에 대해 기존의 설계기

준에 따라 검토하였을 때 시공중 안전성의 확보여부를 검토하였다. 현재 이공법으로 시공되고 있는 경부고속철도 폴스팬 프리캐스트 프리스트레스트 박스 거더 교량에 대한 시공 단계별 구조해석 및 장기거동을 분석한 결과를 요약하면 다음과 같다.

- 1) 세그먼트의 제작시 프리텐션에 의한 긴장력을 도입하는 경우 디테션의 순서를 절곡텐던, 직선텐던의 순서로 하는 것이 구조적으로 유리한 것으로 사료된다.
- 2) 중차량 및 세그먼트 운반하중에 의해 단순 지지된 세그먼트에 발생하는 응력은 허용응력 이내로 나타났으며, 가설후 200일이 경과된 시점에서 상향 처짐량은 약 13mm 인 것으로 나타났다.
- 3) 사용하중상태에서 열차하중이 작용하는 경우 단면에 발생하는 콘크리트 응력은 콘크리트 표준시방서의 허용응력이내인 것으로 나타났으며, 세그먼트 가설후 10,000일에서의 처짐량은 약 17 mm로 허용처짐값이내인 것으로 나타났다.
- 4) 본 연구 대상 교량의 건설 공법은 PSC박스 거더 교량을 프리캐스트화하여 제작,운반,가설을 하는 국내에서 처음으로 시공하는 신공법으로 프리캐스트의 품질 확보 및 신속한 시공 등으로 효율적인 공법으로 나타나고 있으며, 본 연구에서 제시된 결과는 향후 이러한 공법으로 시공되는 교량에 도움이 될 것으로 사료된다.

#### 참고문헌

1. ACI209R-92 "Prediction of Creep, Shrinkage, and Temperature Effects in Concrete Structures", ACI Manual of Concrete Practice, 1996
2. 건설교통부, "콘크리트 표준 시방서", 1996
3. 오 병환 외, "경부고속철도 폴스팬프리캐스트 PSC 박스 거더 교량(PSM)의 합리적인 설계 및 시공 기법 연구보고서", 서울대학교공학연구소, 1997
4. Collins, Mitchell, "Prestressed Concrete Structures", Prentice Hall, 1991
5. Young-Jin Kang, "Nonlinear Geometric Material and Time Dependent Analysis of Reinforced and Prestressed Concrete Frames", Report No. UCB/SESM 77-1, 1977