

# 비선형 FEM 해석을 이용한 PSC I Typed 거더 교량의 구조거동 분석

## The Evaluation of Structural Behavior of PSC I Type Girder Bridge through Material Nonlinear FEM Analysis

심 종 성\*  
Jongsung, Sim

주 민 관\*\*  
Minkwan, Ju

김 규 선\*\*\*  
Gyuseon, Kim

문 도 영\*\*\*\*  
Doyoung, Moon

### ABSTRACT

Nowadays, many of PSC bridges has constructed because high performance and long span bridge is required. Therefore, it is required that the evaluation of PSC bridges which retain various structure performance.

In this study, nonlinear FEM analysis was performed with two parameter, concrete compressive strength and effective prestress force which is dominant factor for evaluating structural behavior of PSC bridge. Concrete compressive strength was adapted between 30Mpa and 100Mpa and effective prestress force was used the value which is considered effective rate for time-dependant effect. In the result of this study, it was showed that concrete compressive strength and effective prestress force is important factor for evaluating structural behavior of PSC bridge.

### 1. 서론

최근 교량 구조물의 고성능 및 장대화의 요구로 인해 많은 수의 PSC 교량의 가설이 활발히 이루어지고 있다. 따라서 다양한 성능의 PSC 교량의 구조거동 분석 및 내하력 측면에서의 평가가 필요하다. 그러나 일반적으로 교량구조물의 상태평가에 사용되고 있는 실재하 시험방법은 실험변수 및 시·공간적 제약으로 인해 PSC 교량의 다양한 구조적 정보를 모사하기에는 한계가 있다.

본 연구에서는 PSC 교량의 다양한 구조거동을 분석하기 위하여 실구조물의 거동을 비교적 유사하게 모사할 수 있는 비선형 FEM 해석을 통하여 PSC I Type 거더 교량에 대해 변수해석을 실시하였다. 변수로는 PSC 구조물의 거동을 지배하는 주요인자인 콘크리트 강도와 유효프리스트레스력을 선정하였다. 콘크리트 강도로는 국내 및 국외에서 일반적으로 사용되는 값과 고강도 콘크리트를 포함한 범위인 30Mpa에서 100Mpa 까지를 해석범위로 하였으며, 유효프리스트레스의 경우 실제 실험에서 얻어진 유효프리스트레스를 바탕으로 텐던의 시간에 따른 강도의 유효율을 고려하여 해석을 수행하였다. 본 논문에서 사용된 실험결과는 한국시설안전기술공단에서 수행된 실교량 파괴실험을 기준으로 결과와 비교·분석하였다.<sup>1)</sup>

### 2. 실험 및 해석결과

#### 2.1 실험개요

대상교량은 2차선 PSC I형 거더교량으로 길이 180m(6@30)의 4거더 교량이다. 파괴시험은 4개의 거

\* 정회원, 한양대학교 토목·환경공학과 교수

\*\* 정회원, 한양대학교 토목·환경공학과 박사과정

\*\*\* 정회원, 한국 시설안전기술공단 교량 2실 차장

\*\*\*\* 정회원, 한양대학교 토목·환경공학과 박사수료

더 중 좌의측 거더 1개소를 대상교량으로부터 분리하여 극한강도까지 실험을 수행하였다. 실험개요 및 비파괴시험에 의해 얻어진 재료의 역학적 특성은 각각 다음 그림 1과 표 1에 나타내었다.

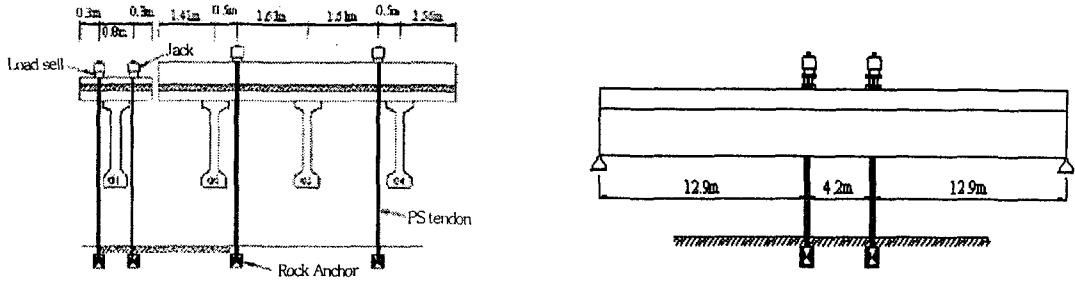


그림 1 실험개요

표 1 재료의 역학적 특성

Material	Properties
Concrete	Slab : $f_{ck} = 24 \text{ Mpa}$ , $E_c = 2.2 \times 10^5 \text{ Mpa}$
	Girder : $f_{ck} = 36 \text{ Mpa}$ , $E_c = 2.7 \times 10^5 \text{ Mpa}$
PS tendon (Low Relaxation)	Area of 8EA is $4.62 \times 10^{-4} \times 8 = 36.96 \times 10^{-4} \text{ m}^2$ $f_{pu} = 1,550 \text{ Mpa}$ , $f_{py} = 0.9 \times f_{pu} = 1,395 \text{ Mpa}$ , $E_s = 1.9 \times 10^5 \text{ Mpa}$

## 2.2. 비선형해석 재료모델 및 개요

### 1) 콘크리트

본 연구에서 적용된 콘크리트 모델은 고강도 콘크리트의 압축 소성거동을 적절히 표현하기 위하여 Thorenfeldt 등이 제안한 압축응력 모델을 이용하였다. 또한 콘크리트의 인장모델의 경우 tension stiffening 효과를 반영하기 위하여 Shima and Okamura가 제안한 인장모델이 적용되었다.<sup>5)</sup>

### 2) 긴장재

본 연구에서는 PS강재의 응력-변형을 관계를 표현하기 위하여 약 1% 내외의 실제적인 응력-변형을 곡선을 모델링할 수 있는 Ramberg-Osgood함수를 이용하여 Mattock가 제안한 모델을 사용하였다.

### 3) 해석개요

본 해석은 범용구조해석 프로그램인 ABAQUS를 사용하였으며, 해석에 사용된 각 재료의 물성치는 상기한 표 1의 값을 사용하였다. 구조모델링의 경우 solid mesh의 지나친 강성강화 현상을 방지하기 위하여 거더와 바닥판 각각 solid와 shell로 모델링 하였으며, PS강재는 콘크리트 내에 Layered 삽입된 rebar로 모델링 하였다. PS강재의 유효프리스트레스력은 현장실험법인 균열개폐법에 의한 값(611 Mpa)을 rebar의 Initial prestress로 적용하였다. 다음의 그림 4는 대상교량의 유한요소모델을 나타내고 있다.<sup>2)</sup>

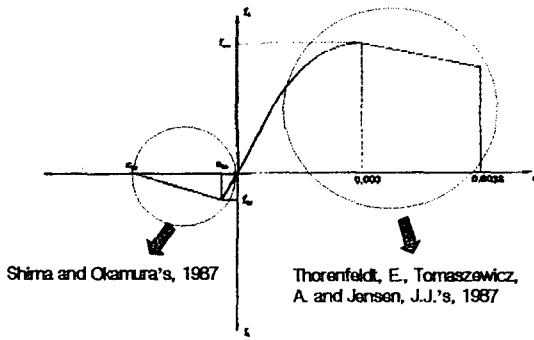


그림 2 콘크리트 압축-인장모델

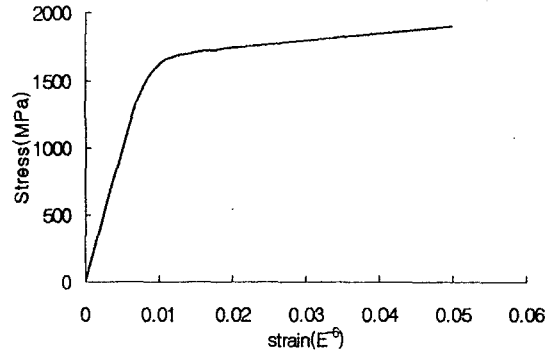


그림 3 PS Tendon의 인장모델

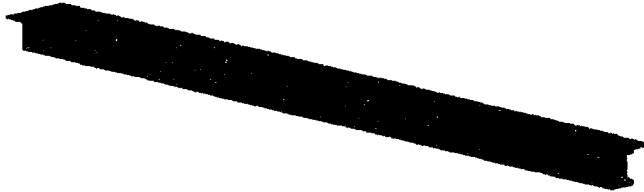


그림 4 대상교량의 유한요소 모델

### 2.3. 비선형 해석결과

다음 그림5는 실제 파괴실험과 비선형 FEM 해석에 의한 하중-변위곡선을 나타내고 있다. 본 그래프에서 나타나듯이 실험값과 해석 값이 강성 및 하중흐름면에서 거의 유사한 경향을 보이는 것으로 나타났다. 해석의 경우 300KN 부근에서 소성흐름이 발생하였는데 이는 PS 텐던에 의한 하연의 압축 작용이 점차 축방향 인장력에 의한 응력상쇄로 인해 연화되는 것으로 판단된다. PS tendon은 930KN 부근에서 항복에 도달하여 연화현상이 발생한 것으로 나타났다. 또한 초기거동은 실험치와 유사하지만 하중이 극한상태에 도달함에 따라 실험값과의 gab이 다소 발생하였다. 이는 완전부착을 가정한 해석 값에 비해 실제 PSC의 구조거동은 비부착 강선의 존재에 의해 구조적 이격 현상이 발생한 것으로 판단된다.

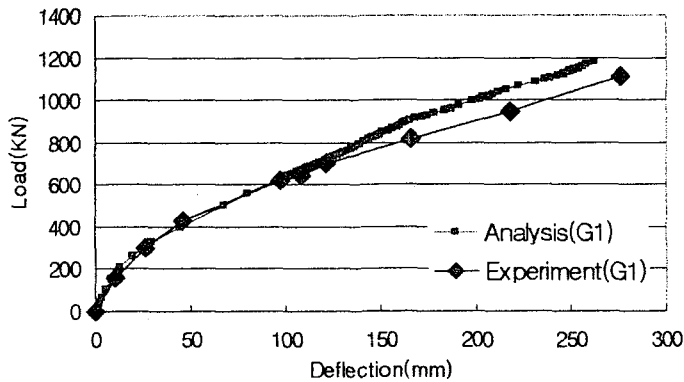


그림 5. 하중-처짐곡선

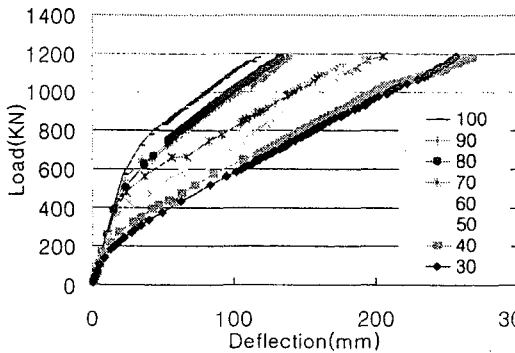


그림 6 Fck의 변화에 따른 하중-처짐곡선

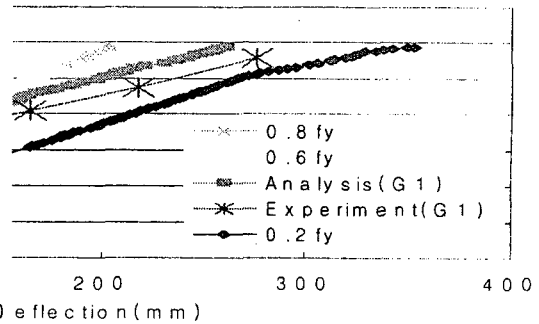


그림 7 Pe의 변화에 따른 하중-처짐곡선

그림 6은 콘크리트 압축강도 변화에 따른 하중-처짐 곡선을 나타내고 있다. 그림에서 보이듯이 압축강도를 30Mpa에서 100Mpa까지 변화시킨 결과 세 단계의 거동양상을 나타내었다. 이는 기존의 연구 결과에서와 같이 30Mpa에서 40Mpa까지는 거의 유사한 경향을 보였으나, 50Mpa 이상부터는 다소 그룹화된 구조거동을 나타내었다. 유효프리스트레스력에 의한 구조거동의 경우 유효프리스트레스력이 증가함에 따라 균열하중은 크게 나타났으나 유효프리스트레스력에 관계없이 균열하중은 일정한 값을 나타내었다.

### 3. 결론

본 논문은 PSC 거더 교량의 거동에 지배적인 인자인 콘크리트와 유효 프리스트레스력의 영향에 대한 변수연구를 통해 PSC 거더 교량의 구조거동을 분석하였으며 그 결론은 다음과 같다.

- 1) 비선형 FEM 해석결과, 강성 및 하중흐름면에서 파괴실험결과와 잘 일치함을 나타내었다. 따라서 본 논문에서 제안된 PSC 거더교량의 비선형 FEM 모델의 적합성이 확인되었다.
- 2) 압축강도에 대한 변수해석결과, 압축강도의 증가에 따라 비례적인 강성증진 경향과는 달리 각기 일정한 압축강도에서 그룹화된 강성효과를 나타내었다. 이는 압축강도에 따른 PSC 거더 교량의 해석 및 분석시 거동특성에 대한 기초자료로서 활용될 수 있을 것으로 판단된다.
- 3) 유효 프리스트레스력에 의한 해석결과, 균열하중은 변화하지만 균열이 발생하는 처짐은 일정한 값을 보임을 알 수 있었다. 이는 유효 프리스트레스력이 PSC 교량의 사용성 평가에 중요한 인자임을 확인할 수 있었다.

### 참고문헌

1. 한국 시설안전기술공단, 교량 정밀안전진단 및 통과허용하중 산정기법 개선 보고서, 1999.
2. 주민관, PSC I Typed Girder Bridge의 내하력 평가기법에 관한 고찰, 석사논문, 한양대학교, 2002.
3. John J. Roller와 3인, "Performance of Prestressed high Strength Concrete Bridge Girders", PCI Journal, Vol. 33, No. 1, 1993, pp. 34~45.
4. D. Hibbitt, B. Karlsson and P. Sorensen, ABAQUS Theory Manual, Version 6.3.1, USA, 1995.
5. X. An, K. Maekawa and H. Okamura, "Numerical simulation of size effect in shear strength of RC beams," J. Mater. Conc. Struct. Pavements, JSCE, Vol. 35, No. 564, 1997, pp. 297-316.