

부모멘트를 받는 프리스트레스트 합성형교의 휨 거동

Flexural Behaviors of Prestressed Composite Girder Bridges subjected to Negative Flexural Moment

강병수** 주영태*** 성원진* 신동훈* 이용학****
Kang, Byeong Su Joo, Young Tae Sung, Won Jin Shin, Dong Hun Lee, Yong Hak

Abstract

Prestressed composite girder bridges with concrete infilled steel tube at negative flexural moment region takes the advantages provided due to the interactive reaction in the steel tube and concrete interface layer, enhancing local buckling resistance and the concrete strength provided by the lateral confining effect of concrete. Two beams were tested to examine ultimate behaviors of prestressed composite girder bridges subjected to negative flexural moment. The experimental observations of the Prestressed composite girder bridges subjected to positive flexural moment are investigated and compared to the numerical results obtained by sectional analysis method, and 1-D. and 3-D. finite element analysis methods.

1. 서론

본 연구에서는 콘크리트와 강재, PS 강재의 구조적 장점을 극대화한 새로운 개념의 합성형교인 콘크리트 충전 강관을 갖는 프리스트레스트 합성형교(Prestressed Composite Girder Bridges with Concrete Infilled Steel Tubes ; 이하 PCFT 합성형교)의 부모멘트 구간의 휨 거동에 관한 실험을 수행하였다. 부모멘트를 받는 PCFT 합성형교는 하부 강관에 콘크리트를 충전하여 큰 압축력을 콘크리트가 부담하고, 콘크리트 바닥판의 인장응력을 감소하기 위해서 바닥판 콘크리트의 타설 후 상부 플랜지에 프리스트레스트를 도입하는 구조형식으로, 지점부의 큰 압축력으로 인한 하부 강관의 좌굴을 방지, 강관의 구속으로 인한 콘크리트의 구속효과로 인한 극한 내력의 증가 등과 같은 장점이 있다. PCFT 합성형교의 휨 실험을 통하여 PCFT 합성형교의 휨 거동을 관찰하고, 단면해석을 이용하여 극한 휨 강도를 산정하고, 1차원 유한요소해석 및 네 계수 파괴 포락선에 의한 콘크리트 3차원 구성모델과 von Mises 파괴 규준에 근거한 3차원 탄-소성 구성 모델을 이용한 비선형 3차원 유한요소해석을 통하여 PCFT 합성형교의 휨 거동을 예측하고, 수치해석결과와 실험결과를 비교 검토하는데 있다.

* 건국대학교 토목공학과 박사과정

** 건국대학교 산업기술연구원, 공학박사

*** (주) 마이다스아이티, 공학박사

**** 건국대학교 토목공학과 부교수, 정회원

2. 실험계획

2.1 실험체

실험체는 지간장이 3.6 m이고, 상부 콘크리트 바닥판은 상부 플랜지에 전단연결재로 합성되어 있고, 하부는 콘크리트로 충전된 강관으로 구성된다. 콘크리트 바닥판은 700 mm의 폭과 100 mm의 두께를 가진다. 상부 플랜지는 250 mm의 폭과 14 mm의 두께를 가진다. 하부 강관은 $\phi 165.2$ mm의 외경과 6.8 mm의 두께를 가진다. 콘크리트 바닥판과 상부 플랜지를 합성하기 위해 사용된 길이가 70 mm인 스티드는 $\phi 32$ mm의 머리지름과 $\phi 19$ mm 줄기지름을 가지며, 하중작용점과 지점 사이에 2열로 400 mm 간격으로 배치하였다. 콘크리트 바닥판에 $\phi 10$ mm인 이형철근 6개를 교축방향으로 100 mm 간격으로 배치하였으며, 교축직각방향으로는 $\phi 10$ mm인 이형철근을 보의 중앙에서 220 mm 떨어진 곳에서부터 440 mm 간격으로 배치하였다. PS 강재는 $\phi 12.7$ mm인 SWPC 7B PS 강재를 사용하였으며, 실험체당 3개의 PS 강재를 배치하였다. 부모멘트로 인한 상부 콘크리트의 인장응력을 줄이기 위해서 상부 콘크리트 바닥판을 타설한 후에 프리스트레스의 도입을 수행하였다. 상부 콘크리트 바닥판이 재령 22일 될 때, PS 강재를 긴장하였으며, 각각의 PS 강재는 항복강도의 약 70%까지 긴장을 하였다. 실험체의 상세는 그림 1과 같다.

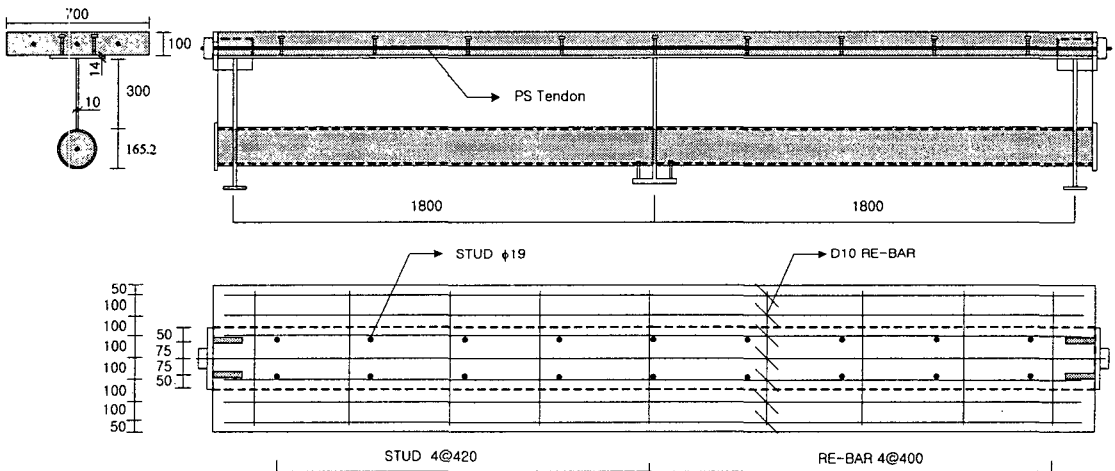


그림 1 실험체의 형상 (단위:mm)

3.2 실험방법

실험은 2942 kN 용량 MTS를 이용하여 1점 가력을 하였으며, 처짐량을 측정하기 위해서 가력점 하부와 가력부에서 양 지점으로 200 mm 떨어진 곳에 변위계를 설치하였다. 하중재하는 0.02 mm/sec의 변위제어로 수행하였다.

3.3 재료시험

실험체에 사용된 콘크리트는 상부 콘크리트 바닥판과 하부 강관 충전 콘크리트가 있으며, 이들 콘크리트의 배합표는 표 1과 같으며, 공시체의 압축강도 시험결과는 표 2와 같다. 각 두께별 강판(SS 400), 강관(SPPH 42), 철근(SD 35)과 PS강선(SWPC 7B)의 인장강도 시험결과는 표 3과 같다.

표 1 콘크리트 배합표 (단위: N/m^3)

시험편	설계강도	시멘트	물	잔골재	굵은골재	W/C (%)	슬럼프(mm)
콘크리트 바닥판	29.4	4670	1966	7290	8450	42	150
충전 콘크리트	(MPa)	4920	2075	7070	8190	42	200

표 2 압축강도 시험결과 (단위: MPa)

시험편	재령(day)	압축강도	인장강도	탄성계수	포아송 비
콘크리트 바닥판	30	28.0	2.8	23,100	0.19
충전 콘크리트	50	33.3	3.2	21,200	0.19

표 3 인장강도 시험결과 (단위: MPa)

시험편	항복강도	인장강도	탄성계수	항복비 (%)	연신율 (%)
SS400-10mm	313	469	193,100	66.7	30
SS400-14mm	308	465	196,200	66.3	29
SPPH 42-6.8mm	358	415	175,300	85.9	28
SD35-D10	364	539	197,700	67.6	27
SWPC 7B	1,721	1,923	202,400	88.6	-

3. 실험 결과 및 수치해석

3.1 수치해석 모델링

실험체에 대한 3차원 재료 비선형 거동예측은 네 계수 파괴포락선에 근거한 3차원 콘크리트 비선형 유한요소법을 사용하여 수행하였다. 3차원 유한요소 모델링은 중·횡방향으로 각각 대칭을 이루므로 그림 2와 같이 1/4모델링으로 하였으며, 콘크리트는 절점당 3개의 변위 자유도를 가지는 8절점 3차원 육면체 요소로 강재는 절점당 6개의 자유도를 가지는 4절점 민드린 쉘요소를 사용하였다.

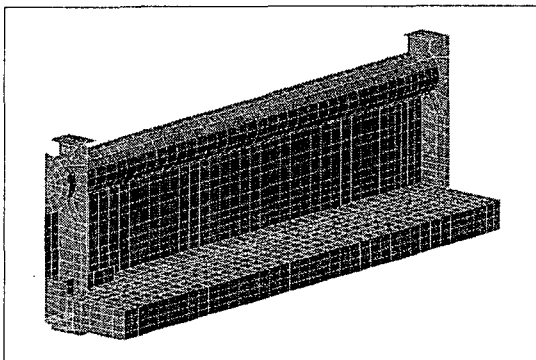


그림 2 3차원 유한요소 모델링

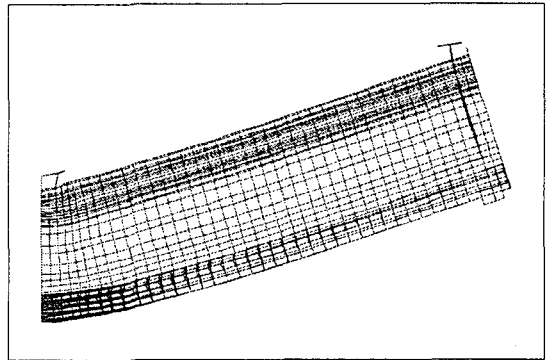


그림 3 극한하중에서의 3차원 변위형상

3.2 실험결과 및 수치해석 비교

그림 4는 실험 및 수치해석의 하중-변위 곡선을 보여준다. 그림 3은 PCFT 합성형교를 3차원 비선형 유한요소해석을 수행한 결과, 극한하중단계에서의 변위형상을 보여준다.

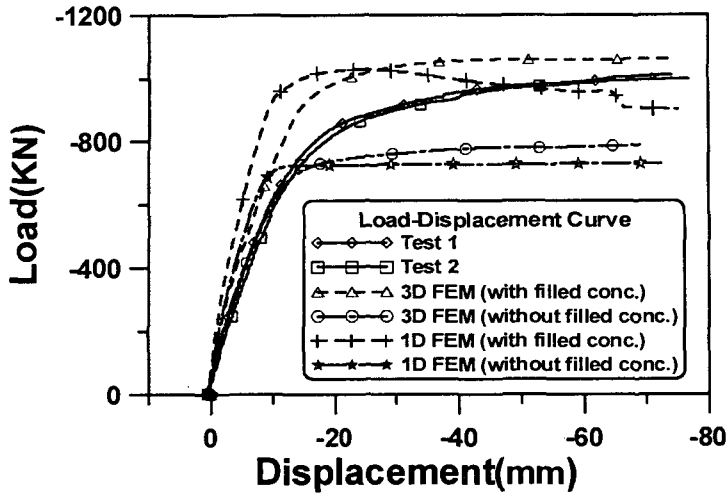


그림 4 하중-변위 곡선

4. 결론

부모멘트를 받는 PCFT 합성형교의 휨 거동을 분석하기 위하여 2개의 실험체를 제작하여 휨 거동 실험을 수행하였다. 해석적으로 PCFT 합성형교의 극한 휨강도를 산정하기 위하여 완전소성해석을 이용하여 극한 휨강도를 산정하였고, 1차원 유한요소해석 및 네 계수 파괴 포락선에 의한 콘크리트 3차원 구성모델과 von Mises 파괴 기준에 근거한 3차원 탄-소성 구성 모델을 이용한 비선형 3차원 비선형 유한요소해석을 통하여 PCFT 합성형교의 휨 거동을 예측한 결과를 실험결과와 비교 검토하였다.

PCFT 합성형교의 부모멘트 구간의 하부 강관에 콘크리트를 충전한 PCFT 합성형교는 강재와 콘크리트의 상호작용으로 인해 충전 콘크리트가 없는 경우보다 극한하중이 39-42% 정도 증가하였다.

참고 문헌

- Lodygowski, T. and Szumigala, M., "Engineering Models for Numerical Analysis of Composite Bending Members", *Mechanics of structures and machines*, Vol.20, No.3, 1992, pp.363-380.
- Mander, J. B., Priestly, J. N. and Park, R., "Theoretical Stress-Strain Model for Confined Concrete", *Journal of Structural Engineering*, ASCE, Vol.114, No.8, 1988, pp. 1804-1826.
- Popovics, S., "A Numerical Approach to the Complete Stress-Strain Curves for Concrete", *Cement Concrete Research*, Vol.3, No.5, 1973, pp. 583-599.
- Saul, R., "Bridges with Double Composite Action", *Journal of IABSE*, *Structural Engineering International*, Vol.6, 1996, pp. 32-36.
- Tang, J., Hino, s., Kuroda, I. and Ohta, T., "Modeling of Stress-Strain Relationships for Steel and Concrete in Concrete Filled Circular Steel Tubular Columns", *Steel Construction Engineering*, JSSC, Vol.3, No.11, 1996, pp. 35-46.
- Willam, K. and Warnke, P., "Constitutive Model for Triaxial Behavior of Concrete", *Seminar Concrete Structures Subjected to Triaxial Stresses*, ISMES, Bergamo, Italy, May 1974, IABSE-Report No.III, 1974, pp. 1-30.
- 주영태, 이용학, "콘크리트 3차원 구성모델을 위한 네 계수 파괴포락선의 개발", *대한토목학회 논문집*, Vol.19, No.I-1, 1999, pp. 79-88.