



## 콘크리트 충전 강관을 갖는 프리스트레스트 합성거더의 정모멘트 구간 거동

강병수<sup>1)</sup> · 성원진<sup>1)</sup> · 장영길<sup>2)</sup> · 이용학<sup>1)\*</sup>

<sup>1)</sup>건국대학교 토목공학과, <sup>2)</sup>서일대학 토목과

## Flexural Behaviors of PSC Composite Girders in Positive Moment Regions

Byeong-Su Kang<sup>1)</sup>, Won-Jin Sung<sup>1)</sup>, Young-Kil Chang<sup>2)</sup>, and Yong-Hak Lee<sup>1)\*</sup>

<sup>1)</sup>Dept. of Civil Engineering, Konkuk University, Seoul 143-701, Korea

<sup>2)</sup>Dept. of Civil Engineering, Seoil College, Seoul 131-702, Korea

**ABSTRACT** Prestressed composite girder with concrete infilled steel tubes (PSC-CFT girder) is new type of bridge girder which enhances the resisting capacities due to the double composite action of PSC composite girder and concrete infilled tube. The flexural behaviors of PSC-CFT girder in the positive moment regions are investigated based on the experimental observations recently performed on two of 4.4 m long specimens. The mechanical and structural roles and failure mechanism of the composite action are discussed through comparing the test results with those numerically predicted by the three methods of one- and three-dimensional nonlinear finite element analyses, and section analysis method.

**Keywords** concrete infilled tube, prestressed composite girder, positive flexural behavior, nonlinear finite element analysis

### 1. 서 론

최근 교량의 해석, 설계 및 시공기술의 향상으로 콘크리트, 강재 및 PS강재의 재료적 특성을 효과적으로 이용한 합성 및 복합 교량의 연구가 활발하게 진행되고 있다. 프리스트레스트의 도입에 의한 합성형교는 Dischinger<sup>1)</sup>에 의해 처음으로 소개되었으며, Tochacek and Mehta<sup>2)</sup>, Saadatmanesh 등<sup>3,4)</sup>에 의해 연구가 진행되어왔다. 일반적으로, 프리스트레스트의 도입에 의한 합성형교는 합성형교의 극한능력향상, 구조물의 탄성거동영역의 확대 및 강재량의 감소 등과 같은 장점이 있는 것으로 알려져 있다.

본 연구에서는 콘크리트, 강재 및 PS강재의 구조적 장점을 극대화하고, 콘크리트와 강관의 이중합성작용을 이용한 새로운 개념의 합성거더인 콘크리트 충전 강관을 갖는 프리스트레스트 합성거더(PSC-CFT girder)의 역학적 및 구조적 거동특성을 실험과 수치해석을 통해 분석하였다. PSC-CFT 거더의 정모멘트 하중 하에서의 거동특성을 파악하기 위해서 콘크리트가 충전된 하부 강관 내부에 쉬스관을 설치하여 PS강재를 Post-tensioning 방식으로 프리스트레스트를 도입한 지간장이 4.4 m인 2개의 실험체를 제작하여 휨 거동 실험을 수행하였다. 수치해

석적 측면에서 보 요소를 사용한 비선형 유한요소해석과 3차원 비선형 유한요소해석을 수행하여 PSC-CFT 거더의 하중-변위 관계, 하중-변형을 관계, 단계별 하중에 따른 중립축 변화 및 모멘트-곡률 관계를 예측하고 그 결과를 실험결과와 비교함으로써 거동성질을 규명하였다. 또한, 프리스트레스트의 도입 유무에 따른 극한강도의 증가에 관한 평가를 수치해석을 통해 분석하였다.

정모멘트를 받는 PSC-CFT 거더는 하부 콘크리트 충전 강관 안에 배치된 PS강재를 긴장하여 하부 인장 부재에 미리 압축응력을 생성한 후에 상부 콘크리트 바닥판을 타설함으로써 경간의 장대화, 처짐의 감소 및 강성의 증가의 장점이 있으며, 기존의 비부착 외부텐던을 이용하여 내하력을 증가시키는 방법에서 문제로 제시된 외부 환경에 의한 텐던의 부식 및 파손과 같은 문제점의 해결책으로 PS강재를 콘크리트가 충전된 하부강관에 배치하여 PS강재를 긴장 후 쉬스관에 모르타르를 충전하여 외부 환경으로부터 PS강재를 격리하였다.

### 2. 실험계획

#### 2.1 실험체 제작

실험체의 형상은 PSC-CFT 연속 합성형교의 정모멘트 받는 구간에 대한 휨 거동의 분석을 목적으로 Fig. 1에

\*Corresponding author E-mail : leeyo@konkuk.ac.kr  
Received May 2, 2005, Accepted September 30, 2006  
©2006 by Korea Concrete Institute

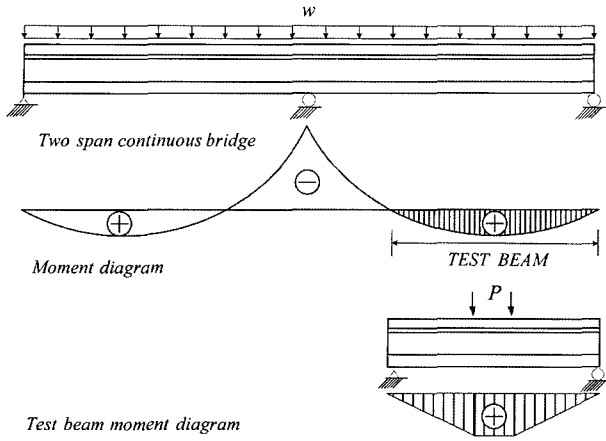


Fig. 1 Schematic description of Specimen A

Table 1 Design of mix proportion (w/c = 0.42%)

Specimen	Cement (N/m <sup>3</sup> )	Water (N/m <sup>3</sup> )	Fine aggregate (N/m <sup>3</sup> )	Coarse aggregate (N/m <sup>3</sup> )	Slump (mm)
Concrete slab	4670	1966	7290	8450	150
Concrete filled tube	4920	2075	7070	8190	200

보여진 2경간 연속교의 외부지점에서 변곡점사이의 정모멘트 구간의 모멘트를 조사하도록 결정하였다. Fig. 2의 실험체는 4.4 m의 지간장을 갖고, 폭 700 mm, 두께 100 mm의 상부 콘크리트 바닥판과 폭 250 mm, 두께 14 mm의 상부플랜지와 폭 300 mm, 두께 10 mm의 복부판과 외경  $\phi 165.2$  mm, 두께 6.8 mm의 하부 강관으로 구성되었다. 전단스터드는 기성제품을  $\phi 19-70$  mm 크기로 가공하여 하중작용점과 지점사이에서 2열로 200 mm 간격으로 배치하였으며, 순수 휨 구간인 하중작용점사이에는 이론적으로 전단력이 발생하지 않으므로 스테어를 배치하지 않았다. PS강재는 실험체 1개당 3가닥씩 배치하였으며, 실험체에 도입된 긴장력은 PS강재 항복강도의 70%까지 긴장하였다. PS강재의 유효 프리스트레스력은 정착장치의 활동으로 인해 발생된 3 mm 활동량만을 고려하였다.

### 3.2 재료

#### 3.2.1 콘크리트

Table 1은 압축강도 29.4 MPa인 강관 충전용 콘크리트와 상부 바닥판용 콘크리트에 대한 배합설계 결과를 나타낸다. 콘크리트 공시체는 상부 바닥판 콘크리트의 강도 측정과 하부 강관 충전콘크리트의 강도측정을 위해 각 20개씩 총 40개의  $\phi 150 \times 300$  mm 공시체를 제작하였다. 콘크리트 압축강도 시험은 KS F 2405의 규정에 따라 수행하였고, 콘크리트 인장강도 시험은 KS F 2423의 규정에 따라 수행하였다. 콘크리트의 응력-변형률 관계와 푸아송비( $\nu = 0.19$ )는 변형률계이치를 이용하여 추출하였으

Table 2 Mechanical properties of concrete

Types of specimen	Age at test (days)	Compressive strength $f'_c$ (MPa)	Tensile strength $f'_t$ (MPa)	Modulus of elasticity $E_c$ (MPa)
Slab concrete	30	28.0	2.8	23,100
Concrete filled tube	50	33.3	3.2	21,200

Table 3 Mechanical properties of steel

Specimen	Yield stress $f_y$ (MPa)	Tensile strength $f_u$ (MPa)	Modulus of elasticity $E_s$ (MPa)	Yield ratio (%)
SS400 (10 mm thick)	313	469	193,100	66.7
SS400 (14 mm thick)	308	465	196,200	66.3
SPPH 42 (6.8 mm thick)	358	415	175,300	85.9
SD35-D10	364	539	197,700	67.6
SWPC B PS $\phi 12.7$ mm	1721	1923	202,400	89.5

며, 그 결과는 Table 2와 같다.

#### 3.2.2 강재

Table 3은 실험체 제작에 사용된 강판, 강관, 철근 및 PS강재의 역학적 성능을 보여준다. 강판은 KS D 3503 규격의 강종 SS400인 강재로 두께 10 mm와 14 mm인 강판을 사용하였다. 강관은 KS D 3562 규격의 강종 SPPH42인 두께 6.8 mm 압력용 배관강관을 사용하였으며, KS B 0801의 규정에 따라 인장시험편을 제작하여 인장강도 시험을 수행하였다. 철근은 KS D 3504 규격의 이형철근 SD35인 호칭 D10의 철근을 사용하였다. PS강재는 KS D 7002 규격의 직경  $\phi 12.7$  mm인 SWPC 7B 강연선을 사용하였으며, 7연선의 가운데 있는 PS강선을 추출하여 PS강재의 인장강도 시험을 수행하였다.

### 3.3 하중재하 및 측정방법

실험체는 Fig. 1과 같이 일정 모멘트 구간을 가지도록 Fig. 3에 보여진 바와 같이 2점 가력으로 실험을 수행하였다. Fig. 4는 실험수행 과정을 보여주며, 하중재하는 변위제어를 통해 0.02 mm/sec의 속도로 재하하였다.

하중재하점과 중앙부 처짐을 측정하기 위해 실험체 하부에 3개의 변위계(LVDT 300 mm : L1, L2, L3)를 설치하였고, 강재보와 콘크리트 바닥판의 경계면에서 발생하는 전단슬립의 양을 측정하기 위해 양단부에 2개의 변위계(LVDT 50 mm : L4, L5)를 추가로 설치하였다.

상부 콘크리트 바닥판과 강재보에서의 변형률을 측정

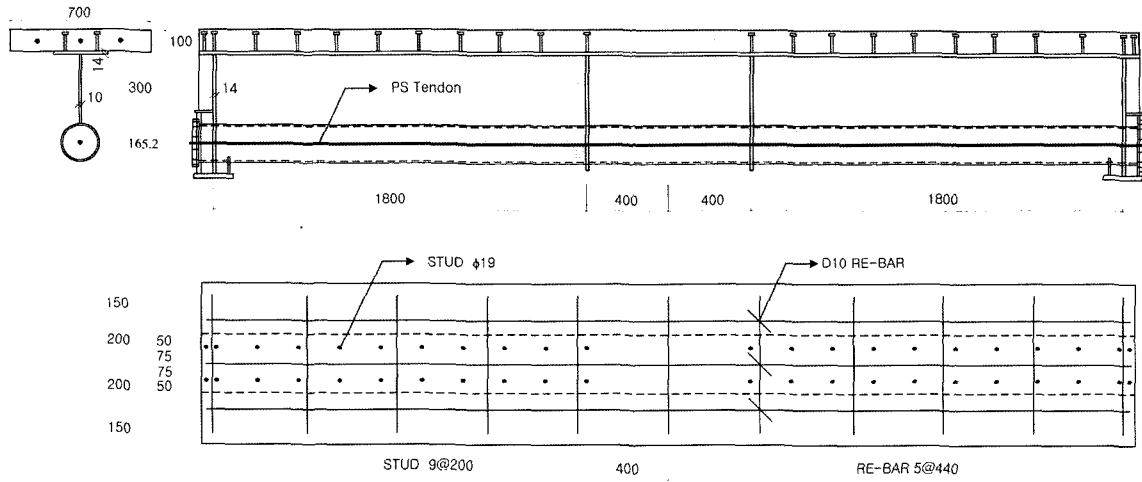


Fig. 2 Details of specimen A (unit : mm)

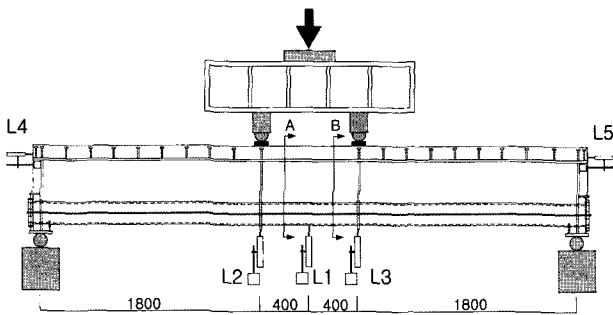


Fig. 3 Locations of LVDTs (unit : mm)

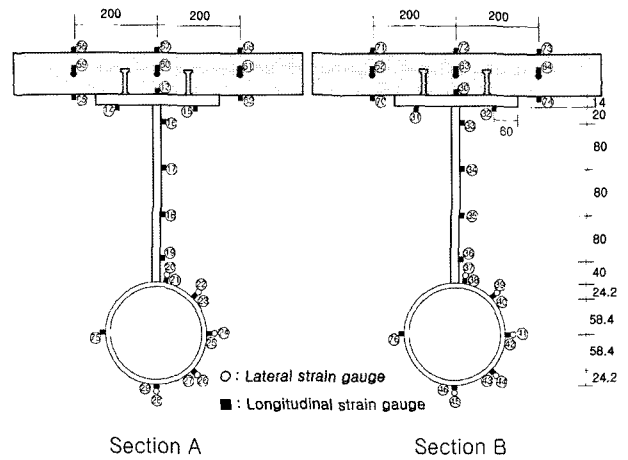


Fig. 5 Locations of strain gauges for cross section A and B (unit : mm)

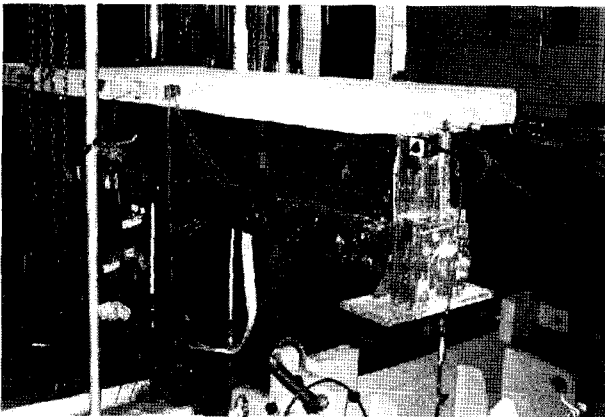


Fig. 4 Installation of specimen A

하기 위해 Fig. 5와 같이 실험체 중앙부에서 좌우로 200 mm 떨어져 위치한 단면에 변형률게이지를 부착하여 하중에 따른 변형률을 측정하였다.

#### 4. 극한 휨저항 능력

완전합성형보의 극한 휨 저항능력은 LRFD(미국, 하중 저항계수법)에 근거하여 콘크리트의 압축부에서 유효폭 전체에 대해 콘크리트의 압축응력분포를  $0.85f_{ck}$ 의 응력 사각형분포로 가정하고 인장부에서는 콘크리트의 인장

응력을 무시하여, 철근과 강재 및 PS강재의 응력 분포가 전단면에 대해 완전히 항복한 것으로 가정하여 계산하였다.

Fig. 6은 정모멘트를 받는 합성단면의 극한하중상태에서 발생한 응력분포를 보여주며, 소성중립축이 상부 플랜지 내부에 위치할 경우, 압축력  $C$ 는 식 (1)과 같이 콘크리트 바닥판이 부담하는 압축력  $C_c$ 과 강재보의 플랜지가 부담하는 압축력  $C_s$ 의 합력으로 계산한다.

$$C = C_c + C_s \quad (1)$$

인장력  $T$ 는 강재보의 플랜지와 복부판 및 강관에 작용하는 인장력  $T_s$ 과 PS강재에 작용하는 인장력  $T_c$ 의 합으로서 다음과 같이 계산한다.

$$T = T_s + T_c \quad (2)$$

정역학적 평형조건( $\Sigma F = 0$ )으로부터 압축축 상면에서 소성중립축까지의 거리  $d_n$ 를 계산하면 다음과 같다.

$$d_n = t_c + \frac{C_s t_f}{(A_f f_{fy})} \quad (3)$$

완전합성단면의 극한 휨 모멘트는 소성중립축에 대한

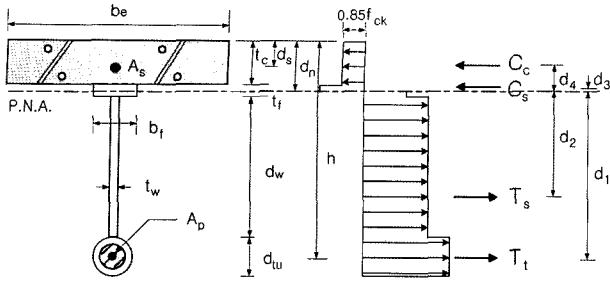


Fig. 6 Stress distribution of composite section under ultimate loads

각각의 모멘트의 합으로서 다음과 같이 계산한다.

$$M_n = T_f d_1 + T_c d_2 + C_s d_3 + C_c d_4 \quad (4)$$

여기서,

$$d_1 = (t_c + t_f + d_w + \frac{d_{tu}}{2}) - d_n$$

$$d_2 = \left( (A_f f_{fy} - C_s) \frac{1}{2} (t_c + t_f - d_n) \right)$$

$$+ A_w f_{wy} \left( h - \frac{d_{tu}}{2} - \frac{d_w}{2} - d_n \right)$$

$$+ A_{tu} f_{tuy} (h - d_n)$$

$$d_3 = \frac{1}{2} (d_n - t_c)$$

$$d_4 = \frac{1}{C_c} \left( 0.85 f_{ck} b_e t_c \left( d_n - \frac{t_c}{2} \right) + A_s f_{sy} (d_n - d_s) \right)$$

여기서,  $A_f$ ,  $A_s$ ,  $A_{tu}$ ,  $A_w$ 는 각각 플랜지, 철근, 강관 및 복부판의 단면적이며,  $f_{fy}$ ,  $f_{sy}$ ,  $f_{tu}$ ,  $f_{wy}$ 는 각각 플랜지, 철근, 강관 및 복부판의 항복강도를 나타내고,  $b_e$ ,  $t_c$ ,  $t_f$ 는 각각 콘크리트 바닥판의 유효폭, 콘크리트 바닥판의 두께 및 플랜지의 두께를 나타낸다.

## 5. 유한요소해석

### 5.1 보요소를 사용한 유한요소해석

보 요소를 사용한 비선형 유한요소해석은 부재의 단면을 분할하여 분할된 단면의 위치에 대응하는 응력-변형을 관계로부터 재료 비선형 특성을 부여하는 방법으로 수행하였다. 유한요소 모델링은 Fig. 7과 같으며 절점 당 3개의 자유도를 갖는 평면 보 요소를 사용하였다. 압축에 대한 콘크리트의 응력-변형을 관계는 Popovics<sup>5)</sup>에 의해 제안되어, 후에 Mander 등<sup>6)</sup>에 의해 수정된 식을 이용하였으며, 인장에 대한 콘크리트의 응력-변형을 관계는 Lodygowski and Szumigala<sup>7)</sup>가 제안한 식을 사용하였다. 철근과 강재의 응력-변형을 관계는 탄성-완전소성거동으로 가정하였고, PS강재의 응력-변형을 관계는 Mattock<sup>8)</sup>에 의해 제안된 Modified Ramberg-Osgood 함수를 사용하였다. PS강재는 요소 내에서 직선으로 배치된 것으로 가정하며 PS강재의 긴장력은 하중평형법에 의한 등가절

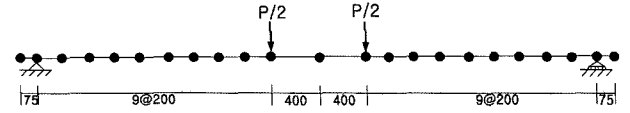


Fig. 7 Discretization of Specimen A for 1-D. FEM (Unit : mm)

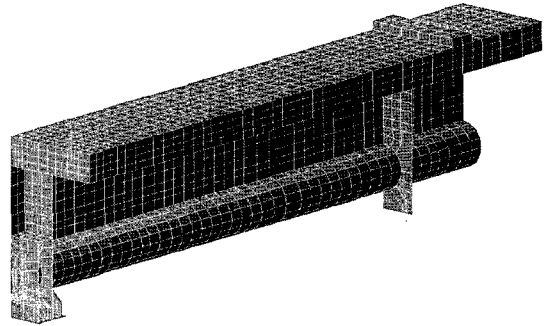


Fig. 8 Discretizations of Specimen A for 3-D. FEM

점하중을 절점에 작용하는 방법으로 모델링하였다.

### 5.2 3차원 비선형 유한요소해석

3차원 비선형 유한요소해석은 건국대학교 콘크리트 구조연구실에서 콘크리트 비선형 거동해석과 구성모델링 연구를 목적으로 개발·사용 중인 New-MICROFEM을 사용하여 수행하였다. 콘크리트 구성모델은 콘크리트의 탄성영역, 경화 및 연화영역을 포괄하는 3차원 콘크리트 거동을 예측하기 위한 Willam and Warnke<sup>9)</sup>의 편차평면 근사식을 이용하여 개발된 네 계수 파괴포락선<sup>10)</sup>을 사용하였으며, 강재의 구성모델은 von Mises 파괴규준을 사용하여 강재의 거동을 탄성거동과 완전소성거동으로 가정한 탄-소성모델을 사용하였다. 철근과 PS강재의 구성모델은 Rankine의 파괴규준을 사용하여 철근 및 PS강재의 거동을 탄성거동과 완전소성거동으로 가정한 탄-소성모델을 적용하였다.

실험체의 3차원 유한요소 모델링은 실험체의 기하학적 대칭성을 고려하여 Fig. 8과 같이 전체형상을 1/4로 분할하여 모델링을 하였으며, 콘크리트는 절점당 3개의 자유도를 가지는 8절점 3차원 육면체 요소를 사용하였으며, 강재는 절점당 5개의 자유도를 갖는 4절점 Mindlin 쉘요소를 사용하였고, 철근 및 PS강재는 절점당 3개의 자유도를 갖는 2절점 트러스 요소를 사용하였다. 긴장력의 도입은 2절점 트러스 요소로 모델링된 PS강재에 온도하중을 주어 등가의 프리스트레스를 도입하는 방법으로 모델링하였다.

## 6. 결과 및 분석

### 6.1 실험결과 및 파괴양상

Table 4는 실험체의 항복하중, 극한하중, 항복하중시 변

**Table 4** Test results of specimen A

Specimen	$P_y$ (kN)	$P_u$ (kN)	$\delta_c$ (mm)	$\delta_y$ (mm)	$\delta_u$ (mm)
Specimen A-1	864	1,063	1.6	-15.7	-41.0
Specimen A-2	807	1,006	1.8	-13.9	-35.8

$P_y$ : Yield load,  $\delta_y$ : Displacement under yield load  
 $P_u$ : Ultimate load,  $\delta_u$ : Displacement under ultimate load  
 $\delta_c$ : Deflection due to prestressing force

**Table 5** Ultimate loads of specimen A

Specimen	$P_{ue}$ (kN)	$P_{us}$ (kN)	$P_{u1}$ (kN)	$P_{u3}$ (kN)	$\frac{P_{us}}{P_{ue}}$	$\frac{P_{u1}}{P_{ue}}$	$\frac{P_{u3}}{P_{ue}}$
Specimen A-1	1,063	1,042	1,014	1,020	0.98	0.95	0.96
Specimen A-2	1,006				1.04	1.01	1.01

e : Experiment, 1 : 1-D. FEM  
s : Sectional analysis, 3 : 3-D. FEM

위, 극한하중시 변위 및 프리스트레스의 도입으로 인한 슛움량을 보여준다. 실험체의 항복하중의 산정은 초기접선과 극한하중과 수평으로 접하는 평행선의 교차점에 대응하는 변위를 항복변위로 정의하였고 그 항복변위에 대응하는 내력을 항복하중으로 정의하였다. Table 4의 처짐은 하중재하점 위치에서 측정된 L2와 L3의 변위계의 평균값을 사용하였다.

Table 5는 극한하중에 대한 실험결과와 수치해석결과를 비교한 것으로, 실험에 의한 극한하중과 수치해석결과에 의한 극한하중은 전체적으로 5% 이내의 차이로 비교적 잘 일치하였다.

Table 6은 프리스트레스의 도입 유무에 따른 극한강도의 증가효과를 수치해석적으로 분석한 결과를 보여주며, 프리스트레스의 도입에 의한 극한강도의 증가는 26-27%를 보였다.

Table 7은 프리스트레스의 도입 유무에 따른 연성도의 증가효과를 3차원 비선형 유한요소해석으로 분석한 결과를 보여주며, 프리스트레스를 도입한 경우의 연성도는 2.4이며, 프리스트레스를 도입하지 않은 경우는 1.9로 나타났다. 따라서 프리스트레스의 도입에 따른 연성도의 증가효과를 보였다.

A-1 실험체의 파괴양상은 하중 800 kN(처짐 13.5 mm)에서 하부강관의 하단부가 항복하였으며, 하중 966 kN(처짐 21.6 mm)에서 바닥판의 상부에 교축직각방향의 균열이 발생하였으며, 하중 1,046 kN(처짐 33.5 mm)에서 상부 바닥판이 부풀어 올라오면서 극한하중을 지난 후 하중 1,053 kN(처짐 44.0 mm)에서 Fig. 9에서 나타난 결과와 같이 상부 플랜지와 복부판에 국부좌굴이 발생한 후 갑작스럽게 상부 콘크리트 바닥판이 1차 취성파괴를 하

**Table 6** Effects of prestressing on specimen A

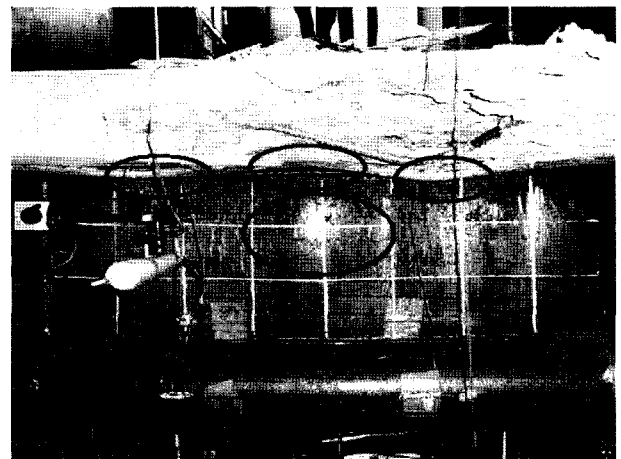
	Sectional analysis	1-D. FEM	3-D. FEM
$P_u$ (kN)	1,042	1,014	1,020
$P_u^A$	826	798	808
$\frac{P_u}{P_u^A}$	1.26	1.27	1.26

$P_u$  : with PS tendon  
 $P_u^A$  : without PS tendon

**Table 7** Effects of prestressing on ductility

	$P_y$ (kN)	$P_u$ (kN)	$\delta_y$ (mm)	$\delta_u$ (mm)	$\frac{\delta_u}{\delta_y}$
Case 1	836	1,020	-15.3*	-36.7*	2.4
Case 2	664	810	-12.6	-23.6	1.9

\* : Deflection including initial value  
Case 1 : with PS tendon, Case 2 : without PS tendon



**Fig. 9** Local failures observed at web and upper flange of specimen A-1

였으며, 하중 849 kN(처짐 51.4 mm)에서 상부 콘크리트 바닥판은 완전히 파괴되었다. A-2 실험체의 파괴양상은 A-1 실험체의 파괴양상과 유사했으며, A-1 및 A-2 실험체는 합성거더의 전형적인 파괴양상을 보였다.

**6.2 하중-처짐 곡선 및 하중-변형률 곡선**

Fig. 10은 실험체의 실험결과와 수치해석결과에 대한 하중-처짐 곡선을 비교한 결과로서, 3차원 유한요소해석에 의한 하중-처짐 예측결과가 실험결과와 매우 잘 일치함을 보여준다. 보 요소를 사용한 유한요소해석결과는 3차원 유한요소해석결과에 비해 낮은 예측정도를 보여준다.

Fig. 11은 A-1 실험체의 단면 B에서 측정된 하중-변형을 곡선과 수치해석에 의한 하중-변형을 곡선을 비교하였으며, 전반적으로 수치해석결과와 실험결과는 잘 일치하고 있음을 알 수 있다. 실험체의 단면 B에서 변형률계이지 위치는 Fig. 5와 같다.

### 6.3 중립축 및 모멘트-곡률 관계

Fig. 12는 모멘트-곡률 관계에 대한 A-1 실험체의 실험결과와 수치해석에 의한 결과를 보여주며 비교적 잘

일치함을 알 수 있다.

Fig. 13은 하중단계에 따른 A-1 실험체의 실험결과에 의한 중립축의 위치 변화와 수치해석에 의한 중립축의 위치 변화를 보여준다. 3차원 유한요소해석으로부터 구한 중립축의 위치는 A-1 실험체의 단면 B에서 측정된 중립축의 위치와 비교적 잘 일치하였고, 보 요소를 사용한 유한요소해석으로부터 구한 중립축의 위치는 초기 프리스트레스 도입 단계를 제외하고는 실험결과에서 측정된 중립축의 위치와 비교적 큰 차이를 보이고 있는데 이는 Fig. 10의 하중-처짐 관계에서 볼 수 있듯이 보요소

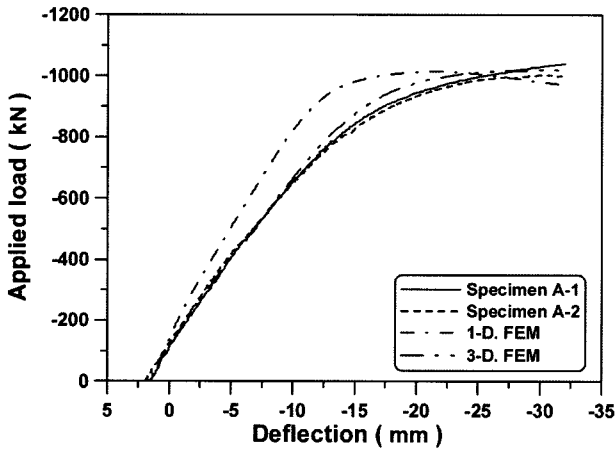


Fig. 10 Applied load vs. deflection curves

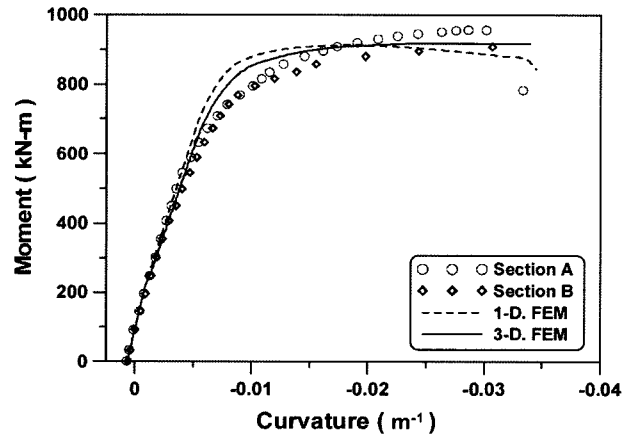
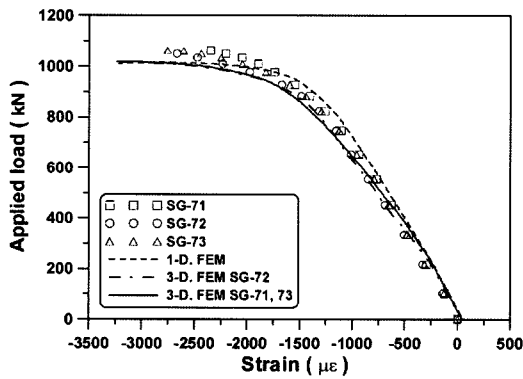
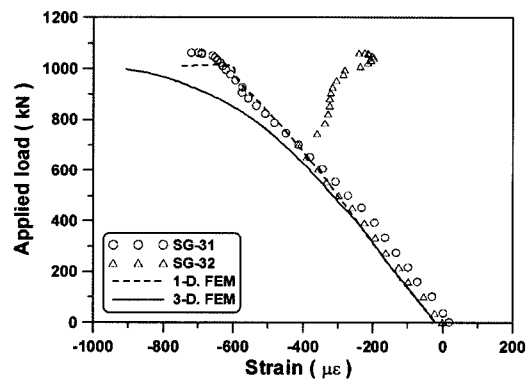


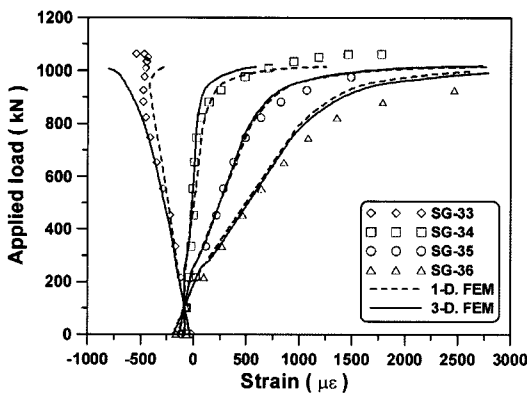
Fig. 12 Moment vs. curvature relationships of Specimen A-1



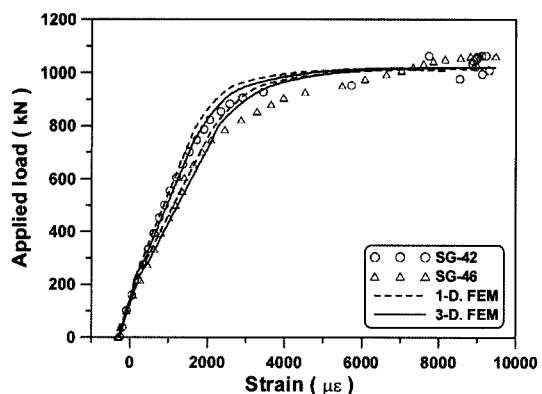
(a) Top concrete



(b) Fange



(c) Web



(d) Bottom steel tube

Fig. 11 Applied load vs. strain curves of specimen A-1

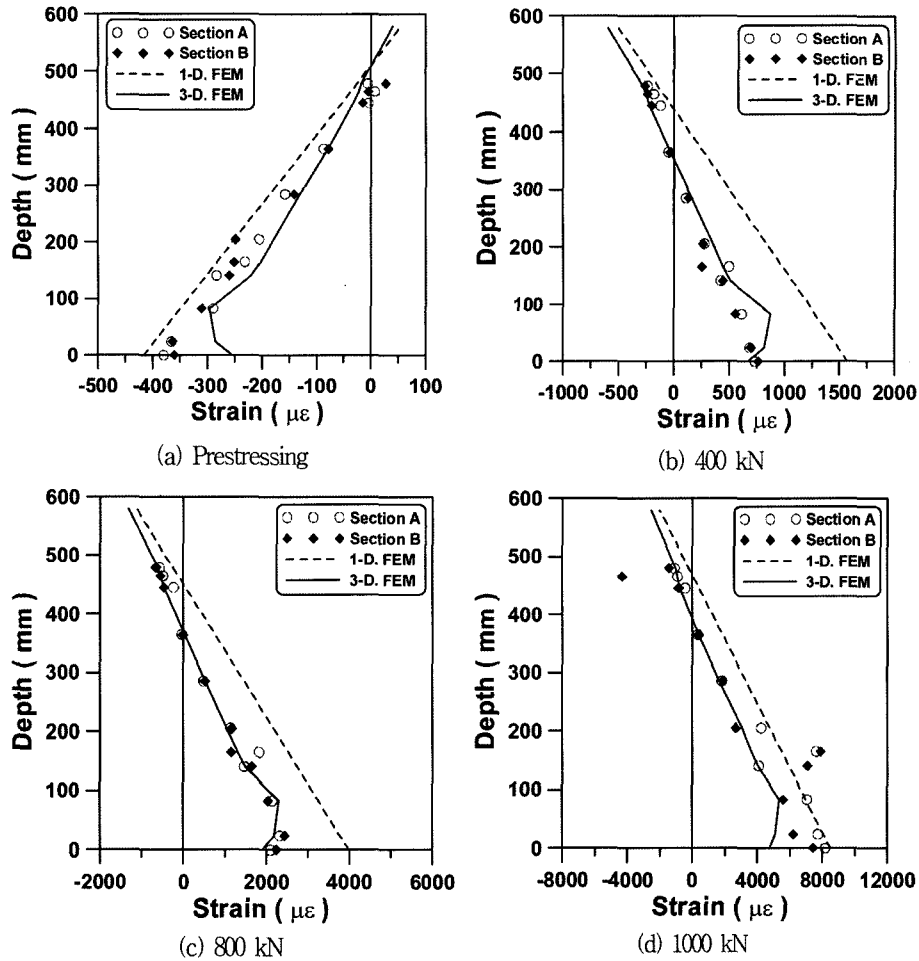


Fig. 13. Comparisons of predicted and measured N.A. of Specimen A-1

를 사용한 유한요소해석결과가 초기를 제외하고는 실험 결과와 비교적 차이가 크기 때문인 것으로 생각된다.

## 7. 결 론

콘크리트 충전 강관을 갖는 프리스트레스트 합성거더의 정모멘트 구간에서의 휨 거동특성을 규명하기 위해 실험실 실험과 실험체의 거동예측을 위한 수치해석을 각각 수행하였다. 실험적 측면에서 콘크리트 충전 강관을 갖는 프리스트레스트 합성거더의 정모멘트 구간 형상을 모사한 2개의 실험체를 제작하여 2점 가력 휨 거동 실험을 수행하였다. 수치해석적 측면에서 재료 비선형성을 고려한 보 요소를 사용한 유한요소해석과 2절점 트러스, 4절점 Mindlin 쉘요소와 8절점 육면체요소를 사용한 3차원 유한요소해석을 각각 수행하여 실험결과와 비교함으로써 다음의 결과를 얻었다

- 1) 콘크리트 충전 강관을 갖는 프리스트레스트 강합성 거더의 거동은 일반적인 보 이론을 따르는 거동현상을 보여주며, 파괴메커니즘 또한 콘크리트, PS강재, 철근, 강재 등으로 구성되는 합성형 구조체의 전형적인 파괴특성을 따르고 있음을 확인하였다.

- 2) 재료비선형성을 고려한 수치해석결과는 실험체의 실험결과와 비교적 잘 일치하였으며, 유한요소해법 및 단면해석법에 대한 거동예측방법의 정확성과 적용성을 검증하였다.
- 3) 하부 강관 내부에 배치된 PS강재의 프리스트레스의 도입 유무에 따른 구조물의 저항성능 증가와 연성도 증가를 수치해석적 방법으로 확인하였다.

## 참고문헌

1. Dischinger, F., "Composite Steel Bridges Prestressed by High Strength Cables", *Der Bauingenieur*, No. 11, 1949, pp.321~322.
2. Tochacek, M. and Mehta, C. L., "Economical Design of Prestressed Plate Girder", *Journal of the Structural Division, ASCE*, Vol.98, No.6, 1972, pp.1273~1289.
3. Saadatmanesh, H., Albrecht, P. and Ayyub, B. M., "Experimental Study of Prestressed Composite Beams", *Journal of Structural Engineering, ASCE*, Vol.115, No.9, 1989, pp.2349~2364.
4. Saadatmanesh, H., Albrecht, P., and Ayyub, B. M., "Analytical Study of Prestressed Composite Beams", *Journal of Structural Engineering, ASCE*, Vol.115, No.9, 1989,

- pp.2364~2381.
5. Popovics, S., "A Numerical Approach to the Complete Stress-Strain Curves for Concrete", *Cement and Concrete Research*, Vol.3, No.5, 1973, pp.583~599.
  6. 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.
  7. 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.
  8. Mattock, Alan H., "Flexural Strength of Prestressed Concrete Sections by Programmable Calculator", *PCI Journal*, Vol.24, No.1 Jan.-Feb., 1979, pp.32~54.
  9. 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.
  10. 이용학, "콘크리트 3차원 구성모델을 위한 네 계수 파괴 포락선의 개발", 대한토목학회 논문집, Vol.19, No.1-1, 1999, pp.79~88.

---

**요 약** 콘크리트 충전 강관을 갖는 프리스트레스트 합성거더(PSC-CFT girder)는 PSC 합성거더와 콘크리트 충전 강관의 이중합성작용으로 인하여 구조물의 저항능력을 증대시킨 새로운 개념의 교량형식이다. 정모멘트 구간에서 콘크리트 충전 강관을 갖는 합성거더의 휨 거동은 지간장 4.4 m인 2개의 실험체를 제작하여 수행한 실험결과로부터 분석하였다. 보요소를 사용한 비선형 유한요소해석, 3차원 비선형 유한요소해석 및 단면해석법에 의해 예측된 수치해석결과와 실험결과와의 비교를 통해 PSC 합성거더와 콘크리트 충전 강관의 합성작용에 대한 역학적 및 구조적 역할과 파괴메커니즘을 비교하였다.

**핵심용어** 콘크리트 충전 강관, PSC 합성거더, 정모멘트 구간 거동, 비선형 유한요소해석