# CFTA거더의 정적 거동연구

Static Behavior of Concrete-Filled and Tied Steel Tubular Arch(CFTA) Girder

김 종 인* 김 두 기** 이 장 형*** 김 정 호****

Kim, Jong-In Kim, Doo-kie Lee, Jang-hyeong Kim, Jeong-Ho

**Abstract**

This study introduces the CFTA girder(Concrete-Filled and Tied Steel Tubular Arch Girder) which is a combined structural system of traditional CFT, arch, and prestress structures. Static load tests and structural behavior analyses were carried out for a 25m long CFTA girder. In the analysis, each load of 58kN, 88kN, 148kN, 207kN,and 298kN was applied incrementally at the positions of 1.0 m distances in both directions from the center of the girder. On each test, strain and displacement were measured. Linear static FEM analyses using Strand7 code were also performed to check the structural stability and to investigate the effects of prestressing(±20%) and material property(Young`s modulus) on the displacement and strain. The results of this study are summarized as follows: the initial strain & displacement under selfweight and prestressing were influenced with the variation of prestressing, but they were mainly effected only by Young`s modulus when additional loads were applied.

**요 지**

본 연구는 기존의 CFT구조, 아치구조, 프리스트레스구조를 조합을 통해 복합구조를 이루는 CFTA거더를 소개하고, 25m의 CFTA거더의 실험결과와 유한요소해석 프로그램인 Strand7을 이용하여 해석결과를 비교 분석하였다. 실험체의 정적재하실험으로 거더 중심부에서 양쪽으로 1m 이격한 거리에 58kN, 88kN, 148kN, 207kN, 298kN의 하중을 재하 하고, 발생하는 변위와 변형률을 측정하였다. 또한, 실험결과를 바탕으로 구조해석 프로그램인 Strand7로 구조안정성을 검토하고, 긴장재의 긴장력과 콘크리트의 탄성계수를 각각 20%증감하여 해석을 수행 하여 변형률과 변위값을 계산하였다. 초기 변위와 변형률은 긴장재의 긴장력의 증감에 따라 영향이 나타났으며, 추가적인 정적 하중이 재하 되었을 경우에는 콘크리트의 탄성계수만이 변위와 변형률에 영향을 미치는 것으로 확인 되었다.

**Keywords :** CFTA girder, Composite structure, Concrete-filled, Linear analysis

**핵심 용어 :** CFTA거더, 복합구조, 콘크리트충진, 선형해석

* 정회원, 대구대학교 토목공학과 교수

** 정회원, 군산대학교 토목공학과 부교수, 교신저자

*** (주)다솔컨설턴트 사원

**** 정회원, 한국건설기술연구원 수석연구원

E-mail : kim2kie@chol.com 063-469-4770

• 본 논문에 대한 토의를 2009년 6월 30일까지 학회로 보내주시면 2009년 9월호에 토론결과를 게재하겠습니다.

## 1. 서 론

교량에 관련한 연구는 대부분이 기존의 형식의 개선이나 시공 단계등의 개선을 통해 성능을 향상 시켜 거더의 효율성과 경제성을 높이기 위한 시도가 많이 이루어져 왔다. 기존의 구조재료의 장점을 극대화 할 수 있는 형상 및 재료배치를 적용하여 기존 중장경간 교량의 단점을 최소화 할 수 있는 새로운 교량용 거더 시스템 연구가 필요하다.

본 연구에서는 콘크리트를 충진한 CFT구조, 프리스트레스구조, 아치구조의 효율성을 극대화한 CFTA 거더의 정적거동을 검토를 위해 지간 25m의 실험체를 제작하여 정적재하실험을 수행하고, 실험에서 얻은 결과를 이용하여 구조해석프로그램 Strand7으로 해석을 수행하여 실험결과와 해석결과를 비교 분석함으로써 CFTA거더을 사용한 교량의 거동을 평가하였다.

## 2. CFTA 거더의 개념 및 실험

### 2.1 CFTA거더의 특징

CFTA거더의 특징은 최근 많은 연구가 진행되고 있는 콘크리트 충진 강관 구조를 택하면서 추가로 거더에 아치 형상을 부여하고 외부 긴장재를 배치한 것이다. 이것은 재료의 합성화에 의한 이점뿐만 아니라 기하학적인 형상을 통한 장점도 도입하여 거더의 구조적 효율성 및 경제성을 보다 증대시켰다.

### 2.2 CFTA거더 설계

실험을 위한 CFTA거더의 제작은 시공성 검토 및 구조안전성 검증을 위한 실험체로 제작하였다. 축소모형이 아닌 총길이 25.6m, 지간 25m의 실교량을 고려하여 내측거더를 기준으로 실험체를 제작하였다.

Table 1 CFTA거더의 사용재료

| 재료 | 단위질량 ($kg/m^2$) | 압축강도 (MPa) | 인장강도 (MPa) | 탄성계수 (MPa) |
|---|---|---|---|---|
| 충진재 | 2,500 | 35 | - | 27,223 |
| 바닥판 | 2,500 | 16 | - | 18,800 |
| 강재 | 7,850 | - | 400 | 210,000 |
| 긴장재 | 7,850 | - | 1,600 | 200,000 |

### 2.3 CFTA거더 제작

실험체의 제작에 적용되었던 CFTA거더를 이용한 교량 시공방법의 공정을 Fig. 1에 순서도이다.

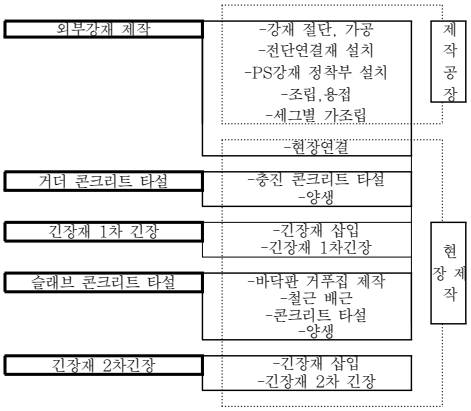


Fig. 1 CFTA거더 교량의 시공단계

### 2.4 CFTA거더 실험

실험체는 PS강재 긴장 및 하중 재하시의 변위, 변형률 등을 계측하였다. 하중재하는 실험체중앙부 좌우로 1m씩 떨어진 위치에서 하중을 재하 하였다. 도입되는 재하하중은 점진적으로 증가시키며 하중을 가하였다. Table 2와 같이 지점에서 거더 하면에서 32mm 지점에서 변형률을 측정하였고, 하부에서 변위를 측정하였다.

Table 2 변형률계 설치 위치

| 지점부터 의거리 (m) | 콘크리트 매립(하) | PS 강재 | 로드셀 단부 |
|---|---|---|---|
| -0.3 | - | - | LC-(1,2) |
| 4.50 | C-1-B(1,2) | S-1-B(1,2) | - |
| 9.50 | C-2-B(1,2) | S-2-B(1,2) | - |
| 12.50 | C-3-B(1,2) | S-3-B(1,2) | - |
| 15.50 | C-4-B(1,2) | S-4-B(1,2) | - |
| 20.80 | C-5-B(1,2) | S-5-B(1,2) | - |
| 25.00 | - | | - |

Table 3 변위계 설치 위치

| 지점부터의거리(m) | 게이지 번호 | 콘크리트 매립 |
|---|---|---|
| -0.3 | - | - |
| 4.50 | 1 | DP-1 |
| 9.50 | 2 | DP-2 |
| 12.50 | 3 | DP-3 |
| 15.50 | 4 | DP-4 |
| 20.80 | 5 | DP-5 |
| 25.60 | - | - |

### 2.5 CFTA거더 실험결과

재하하중에 대한 정적거동을 검토하기 위해 정적재하실험을 하였다. Table 4, Table 5은 제작단계에서 발생하는 변형률을 포함하지 않고, 재하하중이 0kN일 때의 변형률을 0으로 가정하여 측정하였다.

Table 6은 정적재하하중으로 인한 CFTA거더의 변위로 Fig. 2에서 보는 바와 같이 변위계측 장치로 측정하였다.

Table 4 콘크리트의 변형률 (단위:E-6)

| Load(kN) | C-3-B1 | C-3-B2 | 평균 |
|---|---|---|---|
| 0 | 0 | 0 | 0 |
| 58 | 23.70 | 20.85 | 22.27 |
| 88 | 36.02 | 33.18 | 34.60 |
| 148 | 65.40 | 56.87 | 61.13 |
| 207 | 96.68 | 83.41 | 90.05 |
| 298 | 148.82 | 128.91 | 138.87 |

Table 5 강재의 변형률 (단위:E-6)

| Load(kN) | S-3-B1 | S-3-B2 | 평균 |
|---|---|---|---|
| 0 | 0 | 0 | 0 |
| 58 | 18.96 | 19.91 | 19.43 |
| 88 | 41.70 | 40.76 | 41.23 |
| 148 | 72.04 | 72.99 | 72.52 |
| 207 | 98.58 | 98.58 | 98.58 |
| 298 | 157.35 | 160.19 | 158.77 |

Table 6 측정된 변위값 (단위 : mm)

| Load(kN) | DP-1 | DP-2 | DP-3 | DP-4 | DP-5 |
|---|---|---|---|---|---|
| 0 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| 58 | 1.57 | 3.21 | 3.84 | 3.27 | 1.50 |
| 88 | 2.45 | 5.04 | 5.94 | 5.16 | 2.34 |
| 148 | 4.34 | 9.03 | 10.65 | 9.18 | 4.12 |
| 207 | 6.49 | 13.62 | 15.84 | 13.77 | 6.14 |
| 298 | 10.34 | 21.39 | 24.69 | 21.48 | 9.65 |

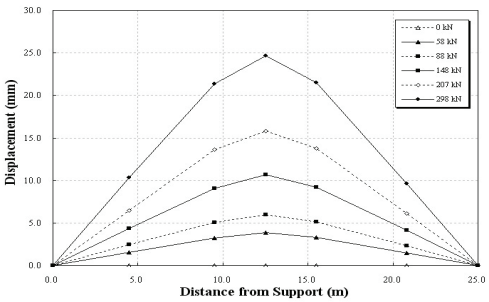


Fig. 2 실험체의 위치에 따른 변위곡선

Fig. 2에 보인 바와 같이 하중재하로 인해 콘크리트 하부 균열등의 발생으로 인해 변위가 중앙부에 집중되는 현상이 점차 커지는 것을 확인할 수 있다.

## 4. 실험결과 및 고찰

### 4.1 CFTA거더의 모델링

실험체의 경간은 25.6m이고, 지간은 25m이다. 바닥판의 폭은 3.5m, 강재의 폭은 3.5m, 거더의 높이는 1.74m중 0.24m는 바닥판의 높이로 구성되어있다. 제작된 CFTA거더 모델을 FEM해석프로그램인 Strand7을 이용하여 해석을 수행하였다.

### 4.2 CFTA거더의 재료 특성

CFTA거더 모델의 구성요소는 성분별 물성값을 적용하여 해석을 수행하였다. 실제 재하실험 결과와 비교에 있어서는 엄격한 기준을 적용하기 위해 실험에 사용한 물성값을 사용하였다.

### 4.3 CFTA거더의 해석 모델링

CFTA거더의 구성 성분은 콘크리트를 감싸고 있는 강재박스, 콘크리트 충진재, 슬래브, 긴장재, 로드블록이다.

콘크리트 충진재는 8절점 요소를 이용하여 모델링하였으며, 슬래브 바닥판은 8절점 요소(Brick)를 사

용하고, 와이어 매쉬는 해석시간의 절약을 위해서 생략 하였다. 슬래브 바닥판은 단면을 작성하여 폭3.5m를 Extrude하였다. 강재의 경우에는 두께는 매우 얇으므로 4절점 요소(Plate)를 사용하였으며, 긴장재는 Beam요소로 인장력만 받는 Truss타입으로 모델링을 하였다. 긴장재의 단면적은 1664.4mm$^2$로 하였으며, 긴장재와 강재가 만나는 새들(곡선구간+직선구간)에 Link로 Y축을 구속하고, 긴장재는 측면에서 균등한 간격으로 위치하였다. 그리고 긴장장치 세부적인 모델링은 해석시간을 단축하기 위해서 생략하였다.

### 4.4 해석을 위한 지지조건 및 하중

CFTA거더의 실험에서는 자중이 작용하는 상태에서 긴장력을 주고, 그 후에 재하하중이 작용한다. 하지만 본 해석에서는 하중을 동시에 적용하였다.

지점의 한쪽은 X축, Y축, Z축을 고정시키고, 나머지 지점은 Y축, Z축만 고정 시켜 Pin-Roller방식으로 해석 하고, 단위질량과 중력가속도, 생성된 부재의 부피, 면적을 자동으로 계산하여 가해지게 되며, 물성값를 Table 7에 따르며, 중력가속도는 9.8m/s$^2$을 적용하고, Strand7을 이용하여 해석 시 자중을 고려한 상태에서 긴장재는 1차 471MPa, 2차 923MPa의 긴장력이 되도록 하였다. 가력하중은 거더의 바닥판 중앙에서 각 1m씩 이격된 위치에 면적 0.35m$^2$ 두 곳과 면적 0.7m$^2$에 하중을 재하 하고, Table 8과 같은 변수를 적용하여 해석을 수행하였다.

Table 7 선형-탄성 해석을 위한 물성값

| 부 재 | 단위질량 (kg/m$^2$) | 탄성계수 (MPa) | 푸아송비 |
|---|---|---|---|
| 바닥판 | 2,500 | 18,800 | 0.167 |
| 강재 | 7,850 | 210,000 | 0.3 |
| 콘크리트 충진재 | 2,500 | 27,223 | 0.167 |
| 긴장재 | 7,850 | 200,000 | 0.3 |

Table 8 CFTA거더의 수정변수

| Model | 긴장재의 긴장력(kN) | | 충진콘크리트 탄성계수(MPa) |
|---|---|---|---|
| | 1차긴장력 | 2차긴장력 | |
| Model-0 | $2.08\times10^6$ | $1.15\times10^6$ | 27,723 |
| Model-1 | $1.67\times10^6$ | $0.92\times10^6$ | 27,723 |
| Model-2 | $2.50\times10^6$ | $1.38\times10^6$ | 27,723 |
| Model-3 | $2.08\times10^6$ | $1.15\times10^6$ | 21,778 |
| Model-4 | $2.08\times10^6$ | $1.15\times10^6$ | 32,667 |

### 4.5 해석결과

#### 4.5.1 변형률

CFTA거더의 해석을 수행하여 Table 9, Table 10에 측정된 변형률 결과를 나타내었다.

Table 9 S-3-B에서 측정된 변형률(단위:E-6)

| Load(kN) | Model-0 | Model-1 | Model-2 | Model-3 | Model-4 |
|---|---|---|---|---|---|
| 0 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| 58 | 33.69 | 33.69 | 33.69 | 35.77 | 31.93 |
| 88 | 51.12 | 51.11 | 51.11 | 55.27 | 48.44 |
| 148 | 85.97 | 85.96 | 85.96 | 91.27 | 81.46 |
| 207 | 120.24 | 120.23 | 120.23 | 127.66 | 113.93 |
| 298 | 173.10 | 173.08 | 173.09 | 183.77 | 164.01 |

Table 10 C-3-B에서 측정된 변형률(단위:E-6)

| Load(kN) | Model-0 | Model-1 | Model-2 | Model-3 | Model-4 |
|---|---|---|---|---|---|
| 0 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| 58 | 29.20 | 29.19 | 29.19 | 31.10 | 27.58 |
| 88 | 44.30 | 44.29 | 44.29 | 47.18 | 41.84 |
| 148 | 74.50 | 74.49 | 74.50 | 79.34 | 70.38 |
| 207 | 104.20 | 104.19 | 104.19 | 110.97 | 98.44 |
| 298 | 150.01 | 150.00 | 150.00 | 159.76 | 141.71 |

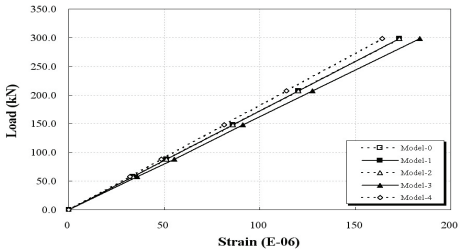


Fig. 3 S-3-B에서 측정된 변형률

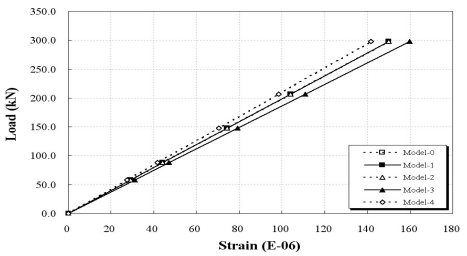


Fig. 4 C-3-B에서 측정된 하중-변형률

4.5.2 변위

재하하중은 앞에서 언급한 바와 같이 거더 중앙에서 1m이격된 지점에 하중을 재하였다.

Table 11 Model별 DP-3 측정된 변위(단위:mm)

| Load(kN) | Model-0 | Model-1 | Model-2 | Model-3 | Model-4 |
|---|---|---|---|---|---|
| 0 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0 |
| 58 | 4.01 | 4.01 | 4.01 | 4.16 | 3.88 |
| 88 | 6.08 | 6.08 | 6.08 | 6.31 | 5.88 |
| 148 | 10.23 | 10.23 | 10.23 | 10.62 | 9.89 |
| 207 | 14.31 | 14.31 | 14.31 | 14.85 | 13.84 |
| 298 | 20.60 | 20.60 | 20.60 | 21.38 | 19.92 |

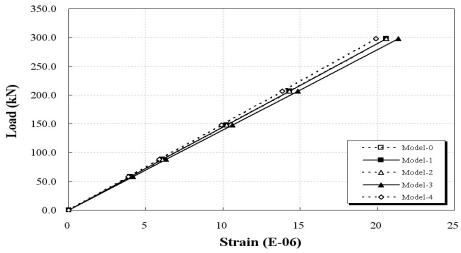


Fig. 5 Model별 DP-3 측정된 변위

## 5. CFTA거더의 결과 분석

### 5.1 CFTA거더의 하중-변형률 분석

Table 12, 13은 실험과 선형해석에 따른 강재와 콘크리트의 변형률을 비교한 것을 나타낸 것이다.

Table 12 실험-해석결과 콘크리트 변형률 비교(단위:E-6)

| Load(kN) | Exp-Concrete | Num-Concrete | 변형률차 |
|---|---|---|---|
| 0 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| 58 | 22.27 | 29.19 | -6.92 |
| 88 | 34.60 | 44.29 | -9.69 |
| 148 | 61.14 | 74.49 | -13.35 |
| 207 | 90.05 | 104.19 | -14.14 |
| 298 | 138.86 | 150.00 | -11.14 |

Table 13 실험-해석결과 강재 변형률 비교(단위:E-6)

| Load(kN) | Exp-DP-1 | Num-DP-1 | 변형률차 |
|---|---|---|---|
| 0 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| 58 | 29.19 | 33.69 | -4.50 |
| 88 | 44.29 | 51.11 | -6.82 |
| 148 | 74.49 | 85.96 | -11.47 |
| 207 | 104.19 | 120.23 | -16.04 |
| 298 | 150.00 | 173.08 | -23.08 |

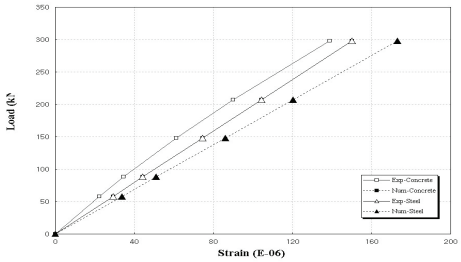


Fig. 6 하중에따른 변형률곡선

### 5.2 CFTA거더의 하중-변위 분석

실험와 선형해석에 따른 DP-3지점 결과이다.

Table 14 DP-3지점 실험-해석결과 변위 비교(단위:mm)

| Load(kN) | Exp-DP-3 | Num-DP-3 | 변위차 |
|---|---|---|---|
| 0 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| 58 | 3.84 | 4.01 | -0.17 |
| 88 | 5.94 | 6.08 | -0.14 |
| 148 | 10.65 | 10.23 | 0.42 |
| 207 | 15.84 | 14.31 | 1.53 |
| 298 | 24.69 | 20.60 | 4.09 |

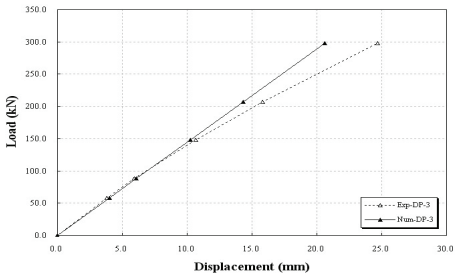


Fig. 7 DP-3지점 실험 및 해석결과 변위 비교

### 5.3 변수에 따른 Model별 거동분석

5.3.1 변형률

Table 15은 하중 및 자중이 0일 때 변형률을 0으로 가정한 경우 강재의 변형률을 나타낸 것이다.

Table 16은 하중 및 자중을 적용 시 변형률을 0으로 가정한 경우강재의 변형률을 나타낸 것이다.

Table 15 Model별 강재의 변형률(단위:E-6)

| Load(kN) | Model-0 | Model-1 | Model-2 | Model-3 | Model-4 |
|---|---|---|---|---|---|
| 0 | 334.43 | 197.88 | 470.98 | 355.83 | 315.64 |
| 58 | 300.74 | 164.19 | 437.29 | 320.06 | 283.71 |
| 88 | 283.32 | 146.77 | 419.87 | 301.56 | 267.2 |
| 148 | 248.47 | 111.92 | 385.02 | 264.56 | 234.18 |
| 207 | 214.2 | 77.65 | 350.75 | 228.17 | 201.71 |
| 298 | 161.35 | 24.8 | 295.89 | 172.06 | 151.63 |

Table 16 Model별 강재의 변형률(단위:E-6)

| Load(kN) | Model-0 | Model-1 | Model-2 | Model-3 | Model-4 |
|---|---|---|---|---|---|
| 0 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| 58 | 33.69 | 33.69 | 33.69 | 35.77 | 31.93 |
| 88 | 51.11 | 51.11 | 51.11 | 54.27 | 48.44 |
| 148 | 85.96 | 85.96 | 85.96 | 91.27 | 81.46 |
| 207 | 120.23 | 120.23 | 120.23 | 127.66 | 113.93 |
| 298 | 173.08 | 173.08 | 173.09 | 183.77 | 164.01 |

Table 17은 하중 및 자중을 적용 시 변형률을 0으로 가정한 경우 콘크리트의 변형률을 나타낸 것이다.

Table 17 Model별 콘크리트의의 변형률(단위:E-6)

| Load(kN) | Model-0 | Model-1 | Model-2 | Model-3 | Model-4 |
|---|---|---|---|---|---|
| 0 | 302.00 | 181.26 | 422.74 | 322.15 | 284.33 |
| 58 | 272.81 | 152.07 | 393.55 | 291.05 | 256.75 |
| 88 | 257.71 | 136.97 | 378.45 | 274.97 | 242.49 |
| 148 | 227.51 | 106.77 | 348.24 | 242.81 | 213.95 |
| 207 | 197.81 | 77.07 | 318.55 | 211.18 | 185.89 |
| 298 | 152.00 | 31.26 | 272.74 | 162.39 | 142.62 |

하중 및 자중 적용 시 변형률을 0으로 가정한 경우 콘크리트의 변형률을 나타내었다. 긴장재의 긴장력 및 콘크리트 탄성계수를 실험체의 물성값을 적용하였다.

Table 18 Model별 콘크리트의의 변형률 (단위:E-6)

| Load(kN) | Model-0 | Model-1 | Model-2 | Model-3 | Model-4 |
|---|---|---|---|---|---|
| 0 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| 58 | 29.19 | 29.19 | 29.19 | 31.10 | 27.58 |
| 88 | 44.29 | 44.29 | 44.29 | 47.18 | 41.84 |
| 148 | 74.49 | 74.49 | 74.50 | 79.34 | 70.38 |
| 207 | 104.19 | 104.19 | 104.19 | 110.97 | 98.44 |
| 298 | 150.00 | 150.00 | 150.00 | 159.76 | 141.71 |

5.3.2 변위

하중 및 자중이 0일 때 변위를 0으로 가정한 경우 변위를 나타내었다. 긴장력 및 콘크리트 탄성계수를 실험체의 물성값을 적용하였다.

Table 19 Model에 따른 초기변위(단위:mm)

| Distance (m) | Model-0 | Model-1 | Model-2 | Model-3 | Model-4 |
|---|---|---|---|---|---|
| 0 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| 4.5 | 19.13 | 10.65 | 27.62 | 20.26 | 18.18 |
| 9.5 | 34.08 | 18.52 | 49.64 | 35.89 | 32.52 |
| 12.5 | 36.99 | 20.00 | 53.99 | 38.91 | 35.33 |
| 15.5 | 34.07 | 18.52 | 49.63 | 35.88 | 32.52 |
| 20.8 | 17.95 | 10.00 | 25.90 | 19.01 | 17.05 |

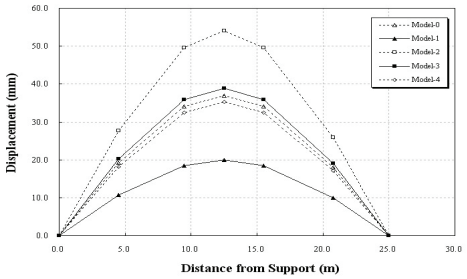


Fig. 8 Model에 따른 초기변위

하중 및 자중이 0일 때 변위를 0으로 가정한 경우 변위를 나타내었다.

Table 20 Model에 따른 DP-3지점의 변위 (단위:mm)

| Load(kN) | Model-0 | Model-1 | Model-2 | Model-3 | Model-4 |
|---|---|---|---|---|---|
| 0 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| 58 | 4.01 | 4.01 | 4.01 | 4.16 | 3.88 |
| 88 | 6.08 | 6.08 | 6.08 | 6.31 | 5.88 |
| 148 | 10.23 | 10.23 | 10.23 | 10.62 | 9.89 |
| 207 | 14.31 | 14.31 | 14.31 | 14.85 | 13.84 |
| 298 | 20.60 | 20.60 | 20.60 | 21.38 | 19.92 |

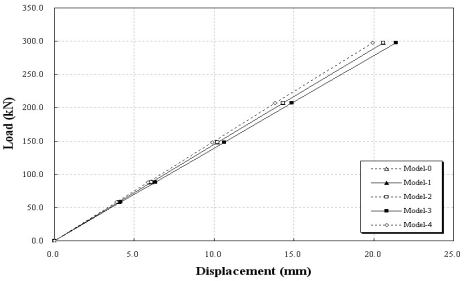


Fig. 9 Model에 따른 DP-3지점의 변위

## 5. 결 론

본 연구에서는 다양한 구조재료의 새로운 조합으로

이루어진 콘크리트 충진 CFTA거더의 구조안정성 검토를 위해 실험결과와 Strand7을 이용한 해석결과를 비교 분석한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) 유한요소해석에 의한 선형해석의 경우 하중증가에 따라 긴장재의 긴장력과 충진 콘크리트 탄성계수의 증감에도 불구하고, 변형률과 변위가 하중에 비례하여 증가함을 알 수 있었다.
2) CFTA 거더의 변수로 두었던 긴장재의 긴장력, 콘크리트의 탄성계수를 각각 20%로 증감시켜 해석을 수행한 결과 긴장력에 따른 영향은 초기 변위와 변형률에 영향을 미치나 추가적인 정적 하중에 대해서는 콘크리트의 탄성계수만이 영향을 주는 것으로 관찰 되었다.
3) CFTA거더는 실험결과 재하하중이 148kN까지는 변위의 변화가 선형거동을 하였으나, 그 이상의 하중을 받을 때는 선형거동에서 벗어나는 것으로 관찰되어 재하하중 148kN까지의 변위는 선형해석으로 거동을 예측할 수 있는 것으로 판단된다.

향후 CFTA거더를 사용한 교량의 보다 안정적 평가를 위해서는 비선형해석 등의 추가적인 연구가 지속되어야 할 것으로 본다.

## 감사의 글

본 연구는 국토해양부가 출연하고 한국건설교통기술평가원에서 위탁시행한 2006년도 건설기술혁신사업(06건설핵심D14)의 지원으로 이루어졌으며, 이에 깊은 감사를 드립니다.

## 참고문헌

1. 박호, 박명균, 박경훈, 김정호, "콘크리트 충전된 타이드 아치형 합성거더의 개발", 대한토목학회 학술발표논문집, 2006, pp. 2289-2292.
2. 박호, 이은호, 박경훈, 박명균, "시공단계를 고려한 CFTA 거더 교량의 해석", 대한토목학회 학술발표논문집, 2007, pp. 3920-3923.
3. 오병환, 유성원, 조윤구, 서정인, "강선 형상과 편향부수에 따른 외부 강선을 가진 PSC 보의 휨거동 실험", 대한토목학회논문집, 제23권, 제4A호, 2003, pp. 795-804.
4. 이학, 이상윤, 박경훈, 공정식, "CFTA (Concrete-Filled and Tid Steel Tubular Arch Girder)거더의 선형거동에 관한연구", 대한토목학회 학술발표논문집, 2007, pp. 4016-4019.
5. 이학, "CFTA복합거더의 거동 분석", 석사학위논문, 고려대학교, 2008.
6. 김동조, "콘크리트 구속효과를 고려한 CFT단주의 강도", 인하대학교 석사학위논문, 2003.
7. 김정호, 박경훈, 황윤국, 최영민, 조효남, "강재로 구속된 프리스트레스트 콘크리트 합성거더의 개발을 위한 실험연구", 한국강구조학회논문집, 한국강구조학회 제 14권, 제 5호, 2002, pp. 593-602.
8. 김정호, 박경훈, 황윤국, 이상윤, "강재로 구속된 프리스트레스트 콘크리트 합성거더의 정적 및 피로거동", 한국강구조학회논문집, 한국강구조학회, 제16권 제6호, 2004, pp. 725-736.
9. 대한토목학회, 교량설계핵심기술연구단, "도로교 설계기준 해설", 기문당, 2008. 1.
10. AASHTO "LRFD Bridge Design Specifications", 4th Edition, Washington D.C. 2007.
11. Chu-Kia Wang, Charles G. Salmon, "Reinforced Concrete Design", Addison Wesley, 1998.
12. Jian Cai, Zhen-Qiang He, "Axial load behavior of square CFT stub column with binding bars", Journal of Constructional Steel Research 62, Science Direct, 2005, pp. 472-483.
13. Dung M.Lue, Jui-Ling Liu, Tsong Wen, "Experimental Study on rectangular CFT columns with high strength concrete", Journal of Constructional Steel Research 63, Science Direct, 2007, pp. 37-44.
14. Daryl L. Logan, "A First Course in the Finite Element Method", 4th Edition, Brooks/Cole, 2006.

(접수일자 : 2009년 2월 5일)
(심사완료일자 : 2009년 4월 15일)