

# 콘크리트 충전 타이드 아치형 강재 합성거더의 선형 거동 분석

## Behavior of Concrete-Filled and Tied Steel Tubular Arch Girder

이 학\* · 박 호\*\* · 이 은 호\*\*\* · 김 정 호\*\*\*\* · 공 정 식\*\*\*\*\*

Lee, Hak · Park, Ho · Lee, Eun-Ho · Kim, Jung-Ho · Kong, Jung-Sik

---

### ABSTRACT

Nowadays various studies related with superstructure of bridges are developed and they pursuit more effective section of bridges superstructure, material and economical application of composite materials. CFT structure(Concrete Filled Steel Tubular Structure) is developed type of composite structure that concrete is filled with steel box, and the deformation of the member, stiffness and internal force will be improved by confinement effect of steel box and concrete. This paper introduces new type of girder, CFTA girder(Concrete-Filled and Tied Steel Tubular Arch Girder) which is combined with traditional CFT structure ,arch effect and prestress through carrying out the structural analysis by computer programs. The computer programs which is used are ABAQUS and MIDAS, and the 12.2m girder which is applied same load and prestresses is analyzed and compared the results respectively.

**Keywords:** *CFTA girder(Concrete-Filled and Tied Steel Tubular Arch Girder), Composite material , Arch effect, prestress effect, confinement effect*

---

### 1. 서 론

최근 국내외 적으로 교량 상부구조와 관련된 다양한 연구개발이 진행되고 있으며, 기존 교량 상부구조의 형상 및 재료의 효율화, 복합재료의 활용 등을 통해 보다 안전하고 경제적이며, 주변 경관과의 조화 및 친환경 경적인 교량 건설이 진행 중이다. 그 중 콘크리트 충전강관 구조(Concrete Filled Steel Tubular Structure, CFT구조)는 대구경 강관내부를 콘크리트계 재료로 충전하는 구조형식으로서, 강관과 충전제간의 상호 구속 효과(Confinement effect)로 인해 부재의 변형성능과 강성 및 내력을 향상시킬 수 있다. 본 연구에서는 이러한 콘크리트 충전구조형식에 아치구조효과(Arch structure effect)와 강선 등을 이용한 프리스트레스 구조(Prestressed Structure; PS 구조)를 도입하여, 구조적, 경제적 효율성을 극대화한 새로운 형식의 거더를 소개 하고, 이에 대한 구조해석을 수행하는데 그 목적이 있다. 본 연구에서 사용된 구조해석프로그램은 ABAQUS 6-5와 MIDAS/CIVIL 2006이며, 지간 12.2m에 동등한 하중과 긴장력이 가해지는 구조물을 모델링하여 구조

---

\* 정희원 · 고려대학교 건축·사회환경시스템공학과 석사과정 Email:dlgkr@korea.ac.kr

\*\* 삼보기술단 구조부 대리 E-mail: snuph@hanmail.net

\*\*\* 삼보기술단 구조부 차장 E-mail: leeeunho@hotmail.com

\*\*\*\* 한국건설기술연구원 구조연구부 수석연구원 E-mail: jhkim@kict.re.kr

\*\*\*\*\* 정희원 · 고려대학교 건축·사회환경시스템공학과 조교수 E-mail:JSkong@korea.ac.kr

해석을 수행하여 각각의 구조해석 결과를 비교하였다.

## 2. CFTA 거더(Concrete-Filled and Tied Steel Tubular Arch Girder)

CFTA거더는 그림1에서 보는 바와 같이 폐단면의 강재 박스 내부를 콘크리트가 충전하는 방식으로 콘크리트의 상면이 일정한 높이를 유지하면서 아치 형상을 이루고 있으며, 하부에 노출되어 있는 강선에는 긴장력(Prestress)을 도입하여, 구조물의 경량화 및 안전성을 추구하였다. 본 형식의 구조물의 장점은 다음과 같으며, 아치 형상 및 구속효과, 프리스트레스 효과로 인한 응력분배, 모멘트 감소를 그림 1,2에 묘사하였다.

### 1) 콘크리트 충전구조(Concrete-Filled Steel Tubular, CFT)

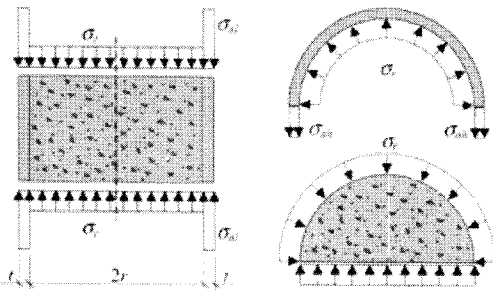
강재 내부를 콘크리트계 재료로 충전함으로써 강재와 콘크리트와의 상호 구속효과를 얻을 수 있고, 단면을 효율적으로 이용하여, 부재의 변형과 강성, 내력을 향상시키는 합성구조이다.

### 2) 아치 구조(Arch Structure)

역학적, 미학적 우수성으로 고대에서 현재에 이르기까지 다양한 형식으로 구조물에 적용되어 왔으며, 외력을 부재 내 압축력으로 흡수하여 모멘트를 경감시키며, 아치형상의 삼각적 효과와 넓은 시야확보로 미적 교량설계를 추구할 수 있다.

### 3) 프리스트레스 구조(Prestressed Structure)

콘크리트의 단점인 인장강도의 취약과 균열을 최소화하고, 장점인 압축강도를 극대화하며, 균열 및 처짐의 제어가 용이하여 교량 구조물에 다양하게 적용되고 있다.



Stress conditions in CFT

그림 1 CFTA 거더의 구속효과

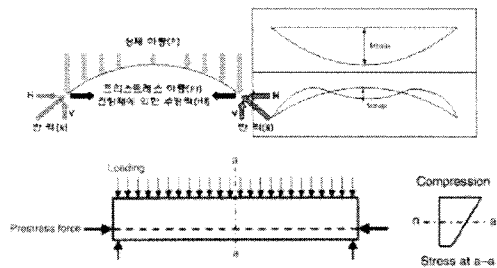


그림 2. 아치 효과에 의한 모멘트 감소 및 프리스트레스 효과

## 3. CFTA 거더 모델링

CFTA거더의 입체도 및 구성 재료는 그림 3,4와 같으며, 그림 3에서와 같이 거더의 양단은 높이 620mm로 콘크리트로 채워져 있으며, 중앙부로 갈수록 두께 180mm를 유지하면서 아치 형상을 그리게 된다. 긴장재는 양단에서 520mm까지만 삽입되어 있고, 그 이후부터는 아치 형상으로 인해 외부에 노출되게 된다. 콘크리트 아치 위의 강박스 부분은 빈 공간이며, 일정간격으로 다이아프램(Diaphragm)이 장착되어, 상부의 하중을 콘크리트 아치로 전달하는 역할을 하게 된다. 본 연구에서는 마이다스를 이용하여 Frame해석을 수행하고, ABAQUS를 이용하여 FEM해석을 하였다. 두 프로그램 다 동일한 구조물을 모델링하였으며, 지간이 12.2m

이며, 양단의 높이는 620mm, 중앙부 높이는 180mm, 너비 500mm, 가력하중은 거더 중앙부에서 양쪽으로 1m 떨어진 지점에 각각 35KN의 하중을 가하였고, 마이다스의 경우, 단면이 277.5mm<sup>2</sup>인 2개의 긴장재에 각각 206.53KN의 긴장력을 주었으며, 아바쿠스의 경우 Initial Condition 을 이용하여 744.48MPa의 초기 긴장력을 가하였다. 또한 강재 위에 두께 8cm인 콘크리트 슬라브를 장착하였는데, 이는 추후에 있을 실험체 모형 실험에서 긴장재의 긴장력을 더 부과하기 위해, 사하중을 증가시킨 것이다. 단부로부터 거리에 대한 부재단면의 높이는 표1과 같다. 또한 마이다스 및 아바쿠스 모델링 시 부여한 부재의 물성치와 하중은 표2와 같다.

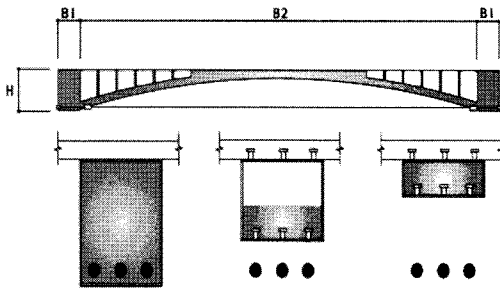


그림 3 CFTA 거더의 입체도

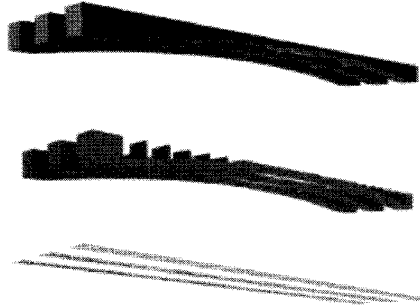


그림 4. CFTA거더의 구성 재료(강박스, 콘크리트, 긴장재)

표1 단면 변화 치수표 (단위 : m)

단부로부터거리	0	0.5	0.6	1.1	1.6	2.1	2.6	3.35	4.1	5.1	6.1
부재단면의 높이	0.62	0.62	0.604	0.531	0.464	0.404	0.352	0.286	0.236	0.194	0.18

표 2 각 부재별 물성치 및 가력하중

	콘크리트	강재	슬라브
탄성계수(KN/mm <sup>2</sup> )	22.625	200	25
포와송비	0.16	0.3	0.16
단위질량(kg/m <sup>3</sup> )	2100	7700	2300
가력하중(KN)		70	
중력가속도(m/s <sup>2</sup> )		9.81	
긴장력(MPa)		744.48	

### 3.1 MIDAS 모델링

Frame해석은 CFTA 거더의 아치효과를 연속적으로 기입하는데 어려움이 있으므로, 단부거리 0m부터 12.2m까지 20개의 단면을 각각 기입하여, 각 요소의 단면특성을 정의하였고, 거더는 단면의 변화가 크고, 아치 효과를 고려하기 위해 중립축을 따라 보 요소로 모델링하였다. 따라서 거더의 일반적인 모델링 형상인 직선이 아니라 아치 형상을 이루게 된다. 긴장재는 콘크리트 단면외부에 위치하고, 거더에 수직 처짐이 발생할 때에도 좌우로만 팽창할 뿐 거더와 같이 수직변위를 발생시키지 않으므로, 긴장재 도심의 위치에 트러스 요소로 모델링하였으며, 보 요소와는 양단부에서 Rigid link로 연결시켜 변위를 구속하였다. 결과적으로 거더의 전체적인 모델링형상은 그림3과 같이 Tied-Arch를 이룬다.



그림 3 MIDAS 모델링



그림 4 ABAQUS 모델링

### 3.2 ABAQUS 모델링

ABAQUS는 FEM해석을 하였으므로, 표1의 단면 변화 치수표와 단면도를 이용하여, 그림 4와 같이 각각의 좌표를 정하여 모델링을 하였다. 내부의 콘크리트 충전제는 Solid타입으로 그렸으며, 외부의 강상자(Steel Box)는 두께 5mm의 Shell요소로, 하부를 통과하는 긴장재는 MIDAS모델링과 같은 형식으로 긴장재 도시에 위치하는 트러스 요소로 모델링하였다. 콘크리트 요소와 강재는 모두 Tie접합을 하였으며, 긴장재 역시 그리우팅을 하지 않으므로, 강재와 Tie접합을 하였다. 지점조건은 양단에서 10cm안쪽 부근의 마이다스와 마찬가지로, 왼쪽은 pin고정으로 3방향 변위를 구속하였고, 다른 한쪽은 roller로 하였다.

## 4. 해석 결과

### 4.1 MIDAS 해석 결과

MIDAS에 의한 CFTA 거더의 구조해석 결과는 표3과 같다. 마이다스해석은 가해지는 세 종류의 하중, 즉 자중, 가력하중, 긴장력을 각각 따로 해석을 수행하여, 각각 나오는 결과 값을 더해 합성응력을 구할 수 있도록 하였으며 응력과 변위를 측정할 지점은 거더 정중상부의 상단과 하단이다. 거더 중앙부의 수직치짐은 4.528mm이다.

표 3 MIDAS, ABAQUS 해석결과

부재	하중	MIDAS		ABAQUS		허용압축응력 (MPa)	허용인장응력 (MPa)
		상부응력 (MPa)	하부응력 (MPa)	상부응력 (MPa)	하부응력 (MPa)		
콘크리트	자중	-1.877	6.549	-0.5358	0.9919	12	2.739
	긴장력	2.208	-17.104	2.0639	-10.5214		
	가력하중	-3.678	12.911	-3.2437	10.0677		
	합성응력	-3.347	2.357	-2.5424	0.7144		
강재	자중	19.121	61.170	-5.067	9.322	-140	140
	긴장력	24.981	-159.044	28.07	-98.43		
	가력하중	-37.492	120.593	-51.45	95.66		
	합성응력	-31.631	22.719	-28.44	5.4082		
슬라브	자중	-6.851	-2.39	-1.1856	-0.9337	-10.8	2.589
	긴장력	13.346	3.123	8.6131	6.9693		
	가력하중	-13.469	-4.686	-12.043	-10.141		
	합성응력	-6.973	-3.954	-4.614	-4.1698		
긴장재	도입긴장력	744.48		643.5		-1280	1280
	자중	59.805		9.526			
	가력하중	110.490		88.29			
	최종응력	914.776		741.2			

## 4.2 ABAQUS 해석결과

아바쿠스 해석 역시 마이다스와 마찬가지로 자중, 긴장력, 가력 세 종류의 힘을 따로 하고, 완성계 해석으로 이 세 종류의 힘을 같이 가하여 해석도 수행하였다. 예상대로 따로 한 경우와 한꺼번에 한 경우 결과값은 거의 유사하였다. ABAQUS해석에서 긴장력은 마이다스와는 달리 Initial Condition을 이용하여, 미리 긴장계에 744.48MPa의 긴장력을 가한 상태에서 하중을 가하도록 하였다. 이에 상응하는 결과 응력과 변위는 각 부재의 상단과 하단의 요소에서 얻었다. 아바쿠스 해석에 의한 거더의 수직변위는 4.969mm이다. 그림 5.6은 아바쿠스 해석에 콘크리트의 변위 및 응력을 묘사한 것이다.

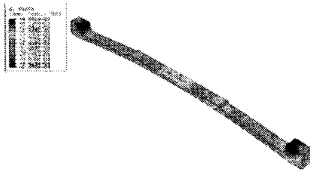


그림 5 아바쿠스 von mises결과

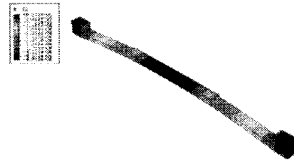


그림 6 아바쿠스 변위 결과

## 5. 결론

본 연구의 목적은 새로운 거더형식인 CF타거더를 소개하고, 이에 대하여, 동일한 크기와 하중을 받는 모델을 구조해석 프로그램인 ABAQUS와 MIDAS를 통해 모델링 하고, 각각 구조해석을 수행하는 것이다. 아바쿠스로 해석된 CF타 거더에서 아치 형상을 그리고 있는 콘크리트 부의 응력을 보면, 압축부는 -2.5424MPa이고, 인장부는 0.7144MPa이다. 또한 강재의 압축부 응력은 -28.44MPa, 인장부 응력은 5.4082MPa이다. 이는 압축과 인장을 동시에 받고 있어 모멘트를 발휘하는 일반적인 거더에 비해 아치 형상과 긴장력을 받는 CF타거더는 하부의 응력이 감소하여, 중립축을 하부로 이동시켜, 모멘트를 감소시키는 경향을 보인다. 일반적으로 상부와 하부가 부호가 다른 같은 절댓값의 응력을 받는 거더의 상부응력 대 하부응력의 비율 -1, 상부와 하부가 순수 압축 또는 인장을 받는 거더의 비율 1로 하면, 콘크리트는 -0.28로, 모멘트를 받는 일반적인 거더에 비해 어느 정도의 아치 효과와 긴장 효과가 있는 것으로 사료된다.

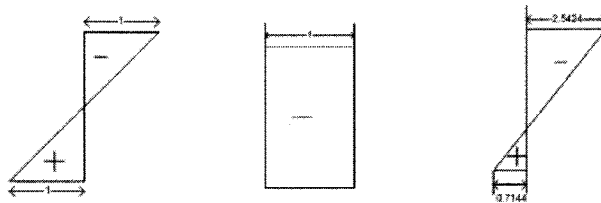


그림 7 모멘트를 받는 거더와 순수압축을 받는 거더와 CF타 거더의 상부, 하부 응력 비

ABAQUS와 MIDAS를 같은 모델을 대상으로 구조해석을 수행하였음에도 서로 다른 양상의 결과가 도출되었다. 아바쿠스는 마이다스에 비해 자중이 매우 작게 나왔으며, 긴장계에 걸리는 긴장력도 작게 나왔으며, 마이다스의 경우, 축력과 모멘트에 의한 응력 계산으로 각 부분에 걸리는 응력이 대체적으로 크게 나왔다. 그러므로 앞으로 이에 대한 수정조치 및 개선을 해야 할 것이다. 본 연구는 추후에 있을 12.2m 실험체 모형 제작 설계도면에 따라 모델링 및 구조해석을 수행하였으며, ABAQUS에 의한 비선형 해석을 수행하여, 실험

체와의 결과값을 비교하여, 구조물의 안전성에 대한 연구를 더욱 진전할 것이다.

### 감사의 글

본 연구는 건설교통부의 건설핵심기술연구개발사업의 일환인 “CFTA 거더의 안전성 및 경제성 평가” 연구 과제로 수행되었으며, 이에 관계자 여러분들에게 감사드립니다

### 참고문헌

박 호, 박명균, 박경훈, 김정호(2006) 콘크리트 충전된 타이드 이치형 강재 합성거더의 개발, 대한토목학회 학술발표대회 논문집, pp.2289~2292

유 성원, 홍경욱(2000) 부분 부착 강성모델을 이용한 외부 프리스트레스트 콘크리트의 보의 휨해석 및 휨성능 개선, 대한토목학회논문집, pp.813~821

오병환, 유성원(2003) 강선 형상과 편향부 수에 따른 외부 강선을 가진 PSC보의 휨거동 실험, 대한토목학회 논문집, pp.795~804