

CFTA거더의 선형거동 분석 및 안정성 평가

Linear Behavior Analysis and Stability Assessment of CFTA Girder

정민철* · 이선애** · 공정식***

Jeong, Min-Chul · Yi, Sun-Ae · Kong, Jung-Sik

요약

강관의 내부에 콘크리트를 충전한 콘크리트 충전 강관 구조(CFT 구조, Concrete Filled Steel Tubular Structure)는 강재와 콘크리트의 단점을 상호 보완하고, 장점을 극대화 할 수 있다는 이점 때문에 최근 실제 구조물의 시공에 적용하는 사례가 증가하고 있는 추세이다. 이와 같은 CFT 거더의 장점을 살리면서 CFT 거더보다 더 뛰어난 경제적, 구조적 효율성을 얻기 위해 기존의 CFT 구조에 아치 형식과 프리스트레스를 도입한 CFTA(Concrete Filled and Tied Tubular Arch) 거더에 관한 연구가 현재 진행 중이다. 본 연구에서는 CFTA 거더의 현장 실험과의 비교를 위해 ABAQUS 6.5-1을 이용하여 CFTA 거더의 유한요소 해석을 수행하였고, 이를 바탕으로 구조물의 선형거동을 분석하였다. 또한 구조물의 위험도 분석을 위해 본 구조물의 가장 약점으로 지적되고 있는 외부로 노출되어 있는 긴장재의 차량 충돌에 의한 사고를 가정하여 이를 고려한 유한 요소 해석을 수행하여 CFTA 구조물의 동적 및 정적 안전성 평가를 수행하고 그 결과를 분석하였다.

keywords : CFTA, 복합 구조물, 동적해석, 유한요소해석, ABAQUS,

1. 서론

교량의 설계 및 시공에 있어 보다 경제적이고 안정적인 결과를 얻기 위해 최근 전 세계적으로 기존의 교량 상부구조에 형상 및 재료의 효율화, 복합 재료의 활용 등을 적용, 빠른 시일 내에 실제 시공 현장에 적용할 수 있는 교량의 개발이 활발히 진행 중이다. 이 중, 강관의 내부에 콘크리트를 충전한 콘크리트 충전 강관 구조(CFT 구조, Concrete Filled Steel Tubular Structure)는 강재와 콘크리트의 단점을 상호 보완하고, 장점을 극대화 할 수 있다는 이점 때문에 최근 실제 구조물의 시공에 적용하는 사례가 증가하고 있는 추세이다. 이와 같은 CFT 거더의 장점을 살리면서 CFT 거더보다 더 뛰어난 경제적, 구조적 효율성을 얻기 위해 기존의 CFT 구조에 아치 형식과 프리스트레스를 도입한 CFTA(Concrete Filled and Tied Tubular Arch) 거더에 관한 연구가 현재 진행 중이다. CFTA 거더의 가장 큰 특징은 아치형상과 외부로 노출되어 있는 긴장재인데, 현재 연구과정에서 지적되고 있는 부분이 외부로 노출된 긴장재의 안전성에 관한 문제이다.

본 논문에서는 CFTA 거더를 이용한 교량의 상부구조를 모델링하여 유한요소 해석을 통한 구조물의 선형 거동 분석을 수행하였으며, 외부로 노출되어 있는 긴장재에 차량 충돌에 의한 사고를 고려한 유한요소해석을 통해 CFTA 구조물의 동적 및 정적 안전성 평가를 수행하고 그 결과를 분석하였다. 모델의 해석을 위해 유

* 학생회원 · 고려대학교 건축사회환경공학과 석·박사통과정 hoyo21@korea.ac.kr

** 고려대학교 건축사회환경공학과 석사과정 capritio@korea.com

*** 정회원 · 고려대학교 건축사회환경공학과공학과 교수 jskong@korea.ac.kr

한요소 해석 결과의 신뢰성이 높고, 일반적인 구조물의 유한요소 해석에 많이 사용되고 있는 ABAQUS 6.5-1을 사용하였다.

2. 해석 모델

해석에 사용된 거더의 형상은 총 지간 25.6m, 폭 1.5m, 높이 1.5m이며, 이 위에 총 지간 25.4m, 폭 3.5m, 높이 0.24m의 슬라브가 올려져 있는 형태이다. 거더 하부에는 4개의 긴장재가 일정한 간격으로 연결되어 있으며, 중앙에 위치한 2개의 긴장재는 1차 긴장재, 양 끝부분에 위치한 2개의 긴장재는 2차 긴장재이다.

표 1 CFTA 거더의 재료 물성치

구분	단위질량	탄성계수	포아송비
강재	7.58t/m ³	210000	0.3
내부충전콘크리트	3.5t/m ³	31417	0.167
슬라브콘크리트	3.5t/m ³	27929	0.167
긴장재	7.938t/m ³	210000	0.3
슬라브철근	1.56t/m ³	200000	0.3

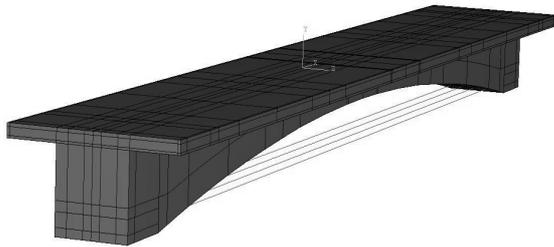


그림 1 ABAQUS에 구현된 CFTA 거더 모형

각각의 긴장재의 단면적은 1664.4mm²이고 가운데 위치한 2개의 긴장재는 1차 긴장재로써, 실제 실험 시에는 콘크리트 충전재와 강재의 자중이 가해진 후, 각각의 긴장재에 145ton 씩, 총 290ton의 초기 긴장력을 가해주도록 계획 되었다. 외측 두 개의 긴장재는 2차 긴장재로, 슬라브 자중이 가해진 후, 각각의 긴장재에 75ton 씩, 총 150ton의 초기 긴장력을 가해주도록 계획되었다. 해석에 사용된 재료의 물성치는 실제 건설기술연구원에서 진행된 현장 실험과 동일한 재료의 물성치를 사용하였다.

3. 선형거동 분석

기본적인 CFTA 거더의 모델링은 한국건설기술연구원에서 진행된 실제 실험 과정과 같은 방식으로 진행 되었다. 우선 콘크리트가 충전된 강재 모델에 2개에 긴장재에 의한 1차 긴장력이 가력된다. 1차 긴장력이 가력된 후 그 위에 슬라브가 타설되고 다시 1차 긴장재의 양 옆에 2개의 2차 긴장재에 총 150ton의 2차 긴장력이 가력되고, 100KN 가력하중이 슬라브상부에 가력되는 과정을 모델화하여 선형 거동 분석을 수행하였다. 선형해석에 의한 CFTA 구조물의 부재별 응력과 변형률 및 중앙부의 최대 처짐이 표2에 정리되어 있다.

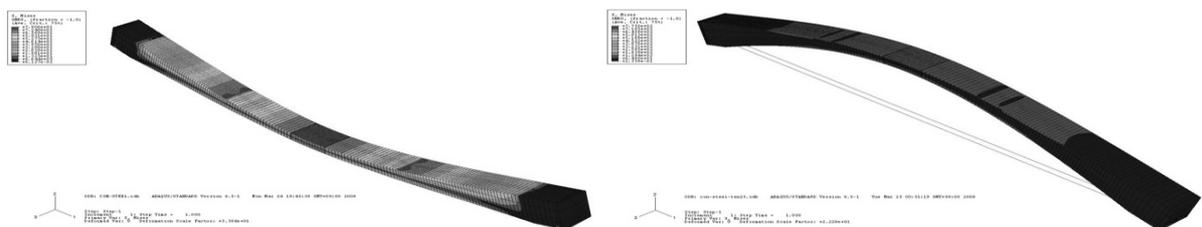


그림 2 콘크리트가 충전된 강재 거더 (좌) 1차긴장력도입 후의 거더(우) 모델의 선형 해석 결과

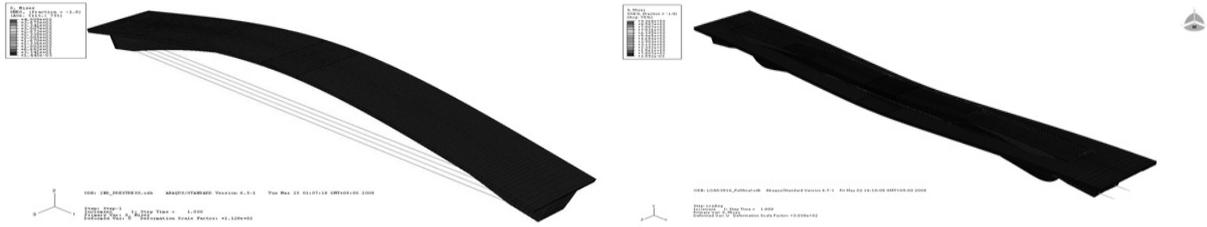


그림 3 2차긴장력도입 후의 거더(좌)와 100kN 가력하중 도입 후의 거더(우) 모델의 선형 해석 결과

표 2 CFTA 최종 모델 선형 해석 결과

적용하중	자중+1차긴장력+2차긴장력+가력하중(100kN)		
부재	위치(중앙부)	변형률	응력(MPa)
콘크리트	상부	-1.35E-04	-3.62887
	하부	-8.42E-05	-2.29634
강재	상부	-1.37E-04	-29.5214
	하부	-8.28E-05	-17.9612
슬라브	상부	-7.10E-05	-1.30489
	하부	-4.56E-05	-0.847421
철근	상부	-6.50E-05	-13.6585
	하부	-4.95E-05	-10.3912
1차긴장재		936.782	
2차긴장재		485.563	
중앙부 처짐		0.299462mm	

4. 동적 안정성 평가

동적해석은 CFTA 거더의 가장 취약 부분인 긴장재 부분의 차량 충돌에 의한 충격에 대해서 20ms의 시간 간격의 변화에 따른 해석을 수행하였다. 유한 요소 모델의 동적 해석으로부터 시간 변화에 따른 충격량의 변화, 에너지 변화 및 응력·변형률 관계 및 충돌에 따른 구조물의 선형 거동 해석에 따른 변위 등의 데이터 분석을 수행하였다. 한편 충돌 차량의 경우 실제 트럭의 무게와 크기를 고려하여 직육면체의 모형으로 이상화하였으며, 한국도로공사의 100km/hr의 고속도로 제한속도를 고려하여 동적 해석의 모델링을 수행하였다.

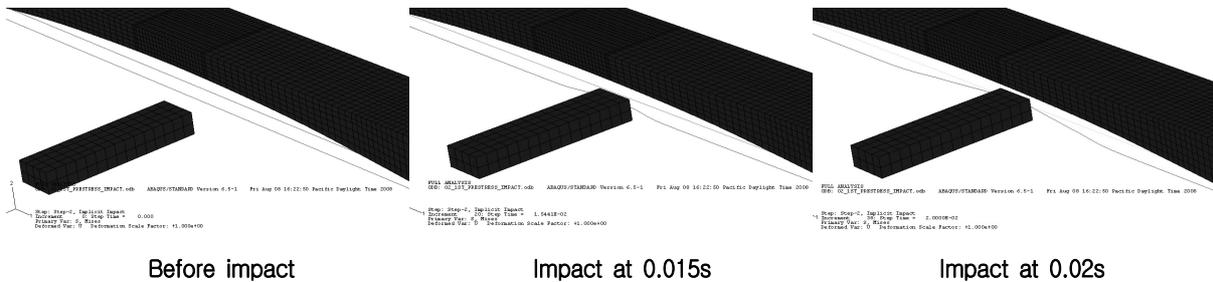


그림 4 시간에 따른 텐던과 충돌체의 충돌 거동

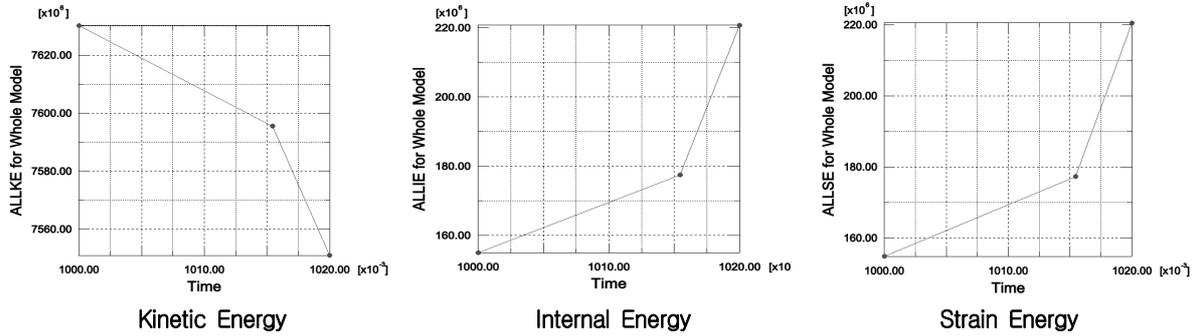


그림 5 충격이 가해지는 동안의 다양한 에너지의 변화

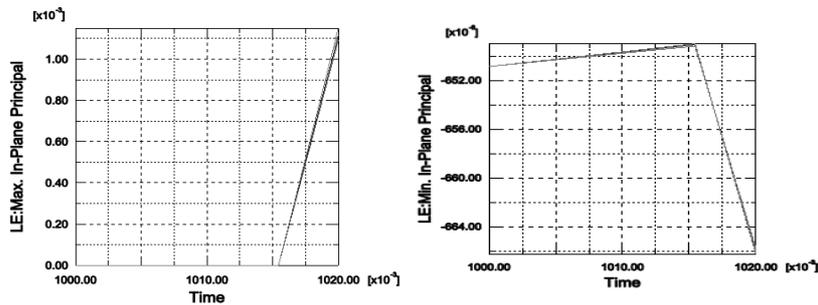


그림 5 긴장재 중앙부의 시간-변형률 이력 곡선

5. 결론

본 연구에서는 CFTA 거더의 현장 실험과의 비교를 위해 ABAQUS 6.5-1을 이용하여 CFTA 거더의 유한 요소 해석을 수행하였고, 이를 바탕으로 구조물의 선형거동을 분석하였다. 또한 구조물의 위험도 분석을 위해 외부로 노출되어 있는 긴장재의 차량 충돌에 의한 사고를 가정하여 이를 고려한 유한 요소 해석을 수행하여 CFTA 구조물의 동적 및 정적 안전성 평가를 수행하였다. 동적 해석 부분에서 본 연구에서 제시된 모델의 해석은 수치해석 모델링이 새로운 형식의 교량의 취약점에 대한 판단과 더불어 보편적인 설계 및 해석 분야의 향상을 위한 강력한 툴로 사용될 수 있다는 것을 보여주었다. 본 연구의 해석 결과는 동적 해석을 위한 현장에서의 충격 실험 결과 및 기타 관련 연구의 바탕이 될 것이다.

감사의 글

본 연구는 건설교통부 건설핵심기술연구개발(05건설핵심D11)일환인 “고성능·다기능콘크리트개발및활용기술” 과제 및 ‘CFTA거더의 안전성 및 경제성평가’(06건설핵심D14) 과제로 수행되었으며 이에 감사드립니다.

참고문헌

- 이학, 박호, 이은호, 김정호, 공정식 (2007) 콘크리트 충전 타이드 아치형 강재 합성 거더의 선형 거동 분
준계전산구조공학회 학술대회 논문집, pp.688~693.
- 유성원, 홍경욱 (2000) A부분 부착 강성모델을 이용한 외부 프리스트레스 콘크리트보의 휨해석 및 휨성능
 개선 **대한토목학회 논문집**, pp.813~821.
- Trinh Tahi Trung, Jung Hoon, Kim** (2008) Dynamic Behavior and Reliability Assessment of a CFTA
 girder subjected to Truck Collision, *International Journal of Steel Structures*