

신형식 거더의 고강도 콘크리트 적용 시 비선형 거동 분석

Non-linear Behavior of New Type Girder Filled by High-Strength Concrete

최 성 우* 이 학** 공 정 식***
Choi, Sung Woo Lee, Hak Kong, Jung Sik

ABSTRACT

Recently, many studies about a high-strength concrete and composite structures are being progressed to get the more economic and stable result in the construction of structure all over the world. One of those studies is about CFTA(Concrete Filled and Tied Steel Tubular Arch) girder that applies an arch structure and a pre-stressed structure to CFT(Concrete Filled Steel Tubular) Structure which is filled with a concrete and improve the stiffness and strength of the structure by the confinement effect of fillers to maximize the efficiency of structure and economic. In this study, non-linear behavior of CFTA girders filled with a general concrete and the high-strength concrete respectively were analyzed by using ABAQUS 6.5-1 and results were compared.

요 약

구조물의 시공에 있어 더욱 경제적이고 안정적인 결과를 얻기 위해 최근 전 세계적으로 고성능 콘크리트와 복합재료에 관한 연구가 활발히 이루어지고 있다. 그 중 하나로 대구경의 강관 내부를 콘크리트계 재료로 충전하여 충전재간의 상호 구속효과(Confinement effect)로 인해 부재의 변형성능과 강성 및 내력을 향상시키는 콘크리트 충전 강관구조(Concrete Filled Steel Tubular Structure, CFT 구조)에 아치구조 효과와 강선 등을 이용한 프리스트레스 구조를 도입하여, 구조적, 경제적 효율성을 극대화 시킨 새로운 형식의 거더인 CFTA 거더(Concrete Filled and Tied Steel Tubular Arch 거더)가 있다. 본 연구에서는 구조해석 프로그램인 ABAQUS 6.5-1을 사용하여 CFTA 거더에 일반 콘크리트와 여러 강도의 고강도 콘크리트를 충전한 모델의 비선형 거동을 분석하고 각각의 결과를 비교 분석하였다.

*정회원, 고려대학교 건축사회환경공학과 대학원

**정회원, 한국건설기술연구원

***정회원, 고려대학교 건축사회환경공학과 부교수

1. 서론

최근 전 세계적으로 기존보다 안전하고 경제적이며, 주변 경관과 조화를 이루는 친환경적인 교량의 건설을 위하여 교량 상부구조의 형상 및 재료의 효율화, 복합구조 등에 관한 연구가 활발하게 진행되고 있다. 한 예로 SCP 거더의 경우, PSC 거더와 유사한 단면형상을 가지면서 강재 거더에 콘크리트를 충전하고 PS를 도입하는 형태를 띠고 있다. 이처럼, 구조의 형상 및 재료의 배치, 긴장력 도입 등을 통한 성능 향상을 통해 기존 교량 상부구조의 단점을 최소화하고, 거더의 높이를 낮추어 경제적인 면은 물론 미적인 부분에서도 상당한 이점을 얻을 수 있는 새로운 형식의 교량 상부구조에 대한 연구가 활발히 이루어지고 있다.

1.2. 연구배경 및 목적

앞서 언급한 바와 같이, 현재 새로운 형식의 합성구조나 교량용 거더 시스템에 관한 많은 연구가 진행되고 있다. 하지만 그 중 대부분이 가까운 시일 내에 시공현장에서 적용되기 어렵기 때문에, 빠른 시일 내에 적용이 가능한, 기존의 구조 부재의 단점을 최소화 할 수 있는 구조 형식의 개발이 필요하다. 이러한 필요성에 의하여 연구되고 있는 것들 중 하나로 콘크리트 충전 아치형 강재 거더의 긴장을 통해 구조적, 경제적 효율성을 향상시킨 새로운 형식의 복합 구조 거더(Concrete Filled steel tubular Tied Arch composite girder, 이하 CFTA 거더)를 들 수 있는데, 본 연구에서는 이러한 CFTA 거더에 일반 강도(30Mpa)의 콘크리트와 고강도 콘크리트(150Mpa, 200Mpa)를 충전하여 각각의 비선형 거동 분석을 실시한 후, 내부 충전 콘크리트의 강도에 따라 어떠한 차이점이 있는지 알아보하고자 한다.

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

CFTA 거더는 폐단면의 강재 박스 내부에 콘크리트를 충전하는 방식으로 콘크리트의 상면은 일정한 높이를 유지하는 반면, 하부는 아치 형상을 이루고 있으며, 하부에 노출되어 있는 강선에는 긴장력(Prestress)을 도입하여, 구조물의 경량화 및 안전성을 높일 수 있도록 하였다.

CFTA 거더의 입체도 및 구성 재료는 그림 1, 2와 같으며, 그림 1에서와 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 외부로 노출된다. 콘크리트 아치 위의 강박스 부분은 빈 공간이며, 일정간격으로 다이어프램(Diaphragm)이 장착되어, 상부의 하중을 콘크리트 아치로 전달하는 역할을 하게 된다. 총 길이가 12.2m, 너비는 500mm이며, 비선형 해석을 수행해야함으로 최대 변위를 500mm로 한 변위 제어하중이 재하 되었고 Initial Condition을 이용하여 744.48MPa의 초기 긴장력을 가하였다. 또한 아바쿠스 모델링 시 부여한 부재의 물성치와 하중은 다음의 표 1과 같다.

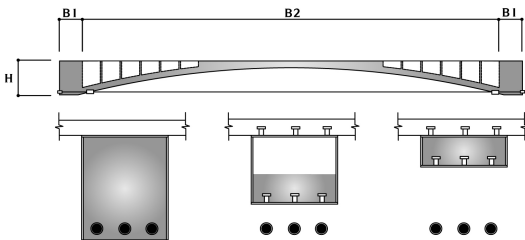


그림 1. CFTA 거더의 입체도



그림 2. CFTA 거더의 구성 재료(강박스, 콘크리트, 긴장재)

표 1. 각 부재별 물성치 및 가력하중

	콘크리트(내부 충전재, 슬라브)			강재
	30Mpa	150Mpa	200Mpa	
탄성계수(Mpa)	26844	43168	47304	200000
포와송비	0.16	0.16	0.16	0.3
단위질량(kg/m ³)	2500	2500	2500	7700
중력가속도(m/s ²)	9.81			
긴장력(MPa)	744.48			

3. 해석 결과

고강도 콘크리트가 일반콘크리트에 비해 각각 5배, 6.7배의 압축강도를 갖는 것에 비해 하중-변위곡선의 양상은 크게 차이가 나지 않는 것으로 나타났다. 이는 일반 콘크리트에 비해 단순히 6배, 6.7 배의 하중을 더 버틸 수 있을 것이라는 예상과는 달리 고강도 콘크리트의 비선형거동은 일반콘크리트의 거동과 다른 것으로 판단된다. 고강도 콘크리트와 일반 콘크리트의 비선형 거동의 차이점을 알아보기 위해 각 콘크리트 부재의 중앙부를 대상으로 하중-변형률 곡선을 그림 3.1~3.4에 도출해보았다.

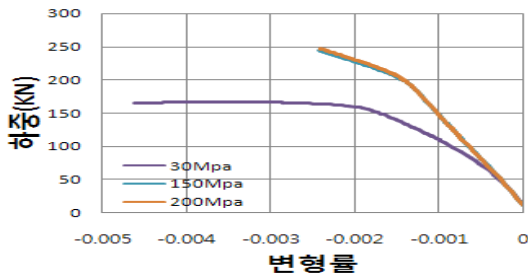


그림 3.1. 슬라브 상부의 가력하중-변형률 곡선

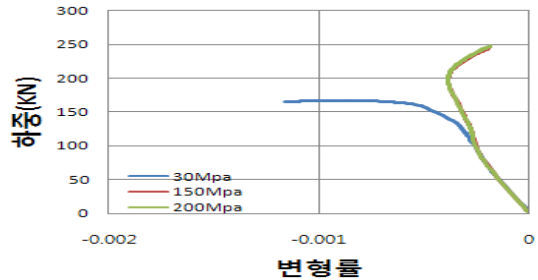


그림 3.2. 슬라브 하부의 가력하중-변형률 곡선

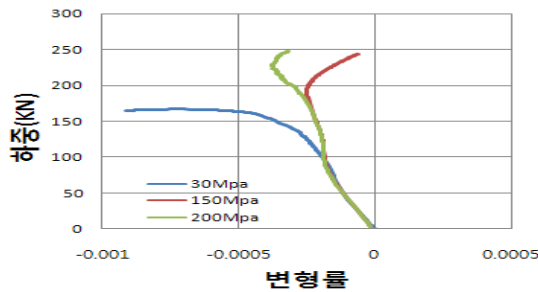


그림 3.3. 콘크리트 상부의 가력하중-변형률 곡선

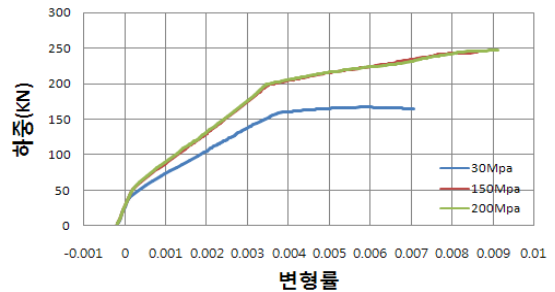


그림 3.4. 콘크리트 하부의 가력하중-변형률 곡선

그림 3.1~3.4에서 보는 바와 같이, 슬라브 상부와 콘크리트 충전재 하부에 대한 하중-변형률 곡선은 크기만 다를 뿐 같은 양상을 갖는 반면 슬라브 하부와 콘크리트 충전재 상부는 일반콘크리트와 초고강도 콘크리트의 양상이 전혀 다름을 알 수 있다. 즉, 30Mpa 강도의 일반콘크리트의 경우, 슬라브 하부와 콘크리트 충전재 상부는 가력초기부터 해석종료 시점까지 압축응력을 일괄적으로 받는 것으로 나타났지만 초고강도콘크리트의 경우 가력하중 약 200KN을 시점으로 압축응력에서 인장응력을 받는 것을 알 수 있다. 이는 부재에 고강도 콘크리트를 충전하였을 경우, 가력하중이 증가함에 따라 중립축이 상승하고, 이로 인해 슬라브 하부와 콘크리트 충전재 상부는 중립축

하부에 위치하게 되어 인장응력을 받게 된다는 것을 보여주고 있다. 이와 같은 비선형 거동 시, CFTA의 중립축 변화를 알아보기 위하여 가력 하중별 각각의 강도의 콘크리트의 중앙 단면 중립축 변화를 그림 4에 나타내었다. 중간의 불연속 구간은 거더에 하중이 가해지는 도중, 거더가 상향 형태에서 하향 형태로 바뀌는 지점이 해석 프로그램이 표시하는 지점에 포함되지 않아서 발생하는 것으로 추정된다. 따라서 유효한 중립축 구간은 중립축이 충전재 내부에 발생하게 되는 가력하중이 약 25KN이 되는 지점부터 시작되는 것으로 판단된다. 일반 콘크리트의 경우, 해석이 끝났을 때의 중립축의 위치가 여전히 충전재 내에 위치하는 것에 반해, 고강도 콘크리트의 경우, 중립축의 위치가 슬라브까지 올라간 것을 알 수 있다. 이는 충전 콘크리트의 인장파괴를 발생 시킬 수 있으며, 비경제적인 설계임에 틀림없다. 그리고 일반 콘크리트와 고강도 콘크리트의 거동이 명확한 차이점을 보이는 반면, 고강도 콘크리트인 150Mpa와 200Mpa의 콘크리트는 거의 유사하게 거동하는 것을 볼 수 있었는데, 이는 같은 고강도 콘크리트인 것에서 발생하는 유사점도 있을 것이라 판단되지만 콘크리트의 강도 외에 다른 부재들이 조건이 같은데서 발생하는 현상일 가능성이 크다고 사료된다. 따라서 사용되는 콘크리트의 강도에 맞추어 강재와 같은 다른 부재의 강도도 적절하게 설정되어야 효과적인 거동을 기대할 수 있을 것이다.

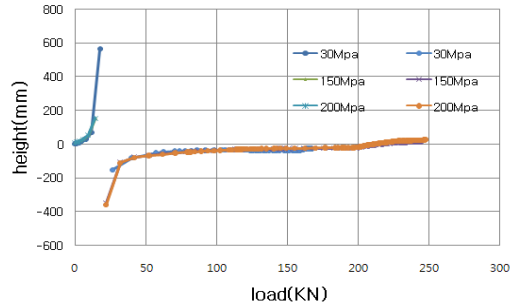


그림 4. 가력 하중에 따른 중립축의 변화

해석 결과에서 알 수 있듯이, 일반 콘크리트와 고강도 콘크리트의 거동은 큰 차이점을 보이고 있다. 따라서 일반 콘크리트의 설계 기준을 가지고 고강도 콘크리트 구조물을 설계한다면 매우 비효율적이며 신뢰성이 떨어질 것으로 판단된다. 효과적인 고강도 콘크리트의 활용을 위해서 고강도 콘크리트 구조물의 설계를 위한 지침이나 설계 기준의 마련이 시급하다고 생각된다.

감사의 글

본 논문은 건설교통부의 건설핵심기술 연구개발사업의 일환인 “CFTA 거더의 안정성 및 경제성 평가” 연구과제로 수행되었으며, 이에 관계자 여러분들에게 감사의 말씀을 전합니다.

참고문헌

1. 이 학, 박 호, 이은호, 김정호, 공정식 “콘크리트 충전 타이드 아치형 강재 합성 거더의 선형 거동 분석”, 춘계 전산구조공학회 학술대회 논문집, 2007. pp688~693
2. 박 호, 박명균, 박경훈, 김정호 “콘크리트 충전된 타이드 아치형 강재 합성거더의 개발”, 대한토목학회 학술 발표대회 논문집, 2006. pp2289~2292
2. 유성원, 홍경욱 “부분 부착 강성모델을 이용한 외부 프리스트레스트 콘크리트의 보의 휨해석 및 휨성능 개선”, 대한토목학회논문집, 2000. pp813~821
3. 오병환, 유성원 “강선 형상과 편향부 수에 따른 외부 강선을 가진 PSC보의 휨거동 실험”, 대한토목학회논문집, 2000. pp795~804