

틸팅차량 언더프레임의 구조안전성 평가

정종철* · 이상진* · 조세현*

Evaluation for structural safety of TTX under structure

Jong-Cheol Jeong, Sang-Jin Lee, Sea-Hyun Cho

Abstract

This study has evaluated the analysis results for the under structure of Korean tilting train(TTX). TTX has many equipments which are attached below the composite carbody. Loads due to equipments on the under structure are very complex and various types as operating condition. So applied loads are considered weight of equipments and acceleration. From the analysis, the structural safety of under structure was assessed.

Key Words: Composites Carbody, Under structure(Underframe), TTX, FEM.

1. 서론

한국형 고속 틸팅열차(TTX)는 결과적으로 기존 선로에서의 운행 속도를 증가시키기 위한 목적으로 개발되고 있는 차량이다. 따라서 보다 가벼우면서 충분한 강도를 확보 할 수 있도록 일반적으로 적용해 오던 제작 방법과 복합소재를 활용한 방법을 혼합한 하이브리드(Hybrid) 차체를 제작하게 되었다.

국내 최초로 철도차량 차체에 적용된 하이브리드 차체의 안전성 확보를 위해 기본설계→예비설계→상세설계 단계를 거쳐 설계를 완성하였으며 보다 주요한 구조부위 등은 실험 및 해석적인 방법을 통해 안전성 여부를 검증 하였다. 기본설계에서 차량의 외형, 각종 기기들의 배치, 기본소재 물성 값, 제작성 및 설계요구조건 등을 고려하여 각 부분의 단면구성(구조), 제작방법 및 조립방법 등을 결정하고, 예비설계에서는 유한요소 해석을

이용한 반복계산을 통해 기본설계에서 수행된 개략적 치수를 변화시키면서 하중조건에 따른 응력 분포 치짐량 등을 확인하여 최종 확정짓는다. 상세설계단계에서는 앞서 확정된 치수 및 두께 등을 통해 설계도면과 제작도면을 완성한다.

제작 완료된 차체는 도시철도 차량의 성능시험에 관한 기준 및 JIS E 7105에 따른 인증시험을 통해 차체의 성능평가 및 설계절차의 타당성 검토 등을 수행한다.

본 논문에서는 틸팅 열차 차체의 상하부분에 취부되는 각종 기기들로 인한 언더프레임 및 브라켓의 구조적 안전성 평가를 수행하였다. 안전성 평가는 해석적인 방법을 통해 이뤄졌으며 구조체 하중시험 결과와 비교를 통해 정확성이 입증된 해석모델을 사용하였다.

2. 차체 일반

* (주)한국하이바 철도차량사업부

한국형 고속 틸팅열차(TTX)는 6량 1편성이며 편성 구성은 Mcp+M+T+T+M+Mcp로 구성된다.

이중 본 논문에서는 M-Car에 취부되는 여러 가지 기기들 중 100kg이상의 중량을 갖는 기기들의 고정부를 중심으로 검토하였다. M-Car의 제원은 표 1과 같고 주요 기기목록은 표 2와 같다.

표 1. 틸팅 차량 차체의 일반 제원

항 목	제 원
길이	23,030mm
폭	2,970mm
지붕 높이)	3,690mm
대차중심간 거리	15,900mm
연결기 높이	880±10mm

표 2. 주요 상하기기 종류

기 기 명	중 량[kgf]
Main Converter/Inverter	2,450
B.O.U Rack	472
Re-Railer	253
Carbody Tilting Electronics	125

3. 하중조건

언더프레임에 작용하는 하중은 크게 두 가지이다. 하나는 바닥판 상면으로부터 적용되는 승객 하중, 실내설비 등에 의한 하중이고 다른 하나는 표 2와 같이 언더프레임에 직접 부착되는 상하기기에 의한 하중이다. 상하기기에 의한 하중은 출발 또는 급정지 시 발생하는 가속도와 곡선 부주행 시 발생하는 횡 가속도 그리고 상하진동에 의한 가속도 등을 고려하였으며 수직하중은 성능 시험서에 근거하여 다음과 같이 계산한다.

$$\begin{aligned}
 & \text{[공차중량+승객하중-대차중량-기기중량]} \times \text{상하진} \\
 & \text{동가속도계수-구조체중량} \\
 & = [46\text{ton} + 6.3\text{ton} - 18.2\text{ton} - 3.65\text{ton}] \times 1.2 - \\
 & 8.85\text{ton} \\
 & = 27.7 \text{ ton}
 \end{aligned}$$

100kg 이하의 중량을 갖는 기기들은 수직하중의 항목으로 적용하였다.

하중 적용과 관련하여 수직하중의 경우엔 Keystone Plate위에 균일 분포하중으로 적용하였으며, 각 기기에 의한 하중은 취부되는 곳에 가속도 향을 고려한 집중하중으로 적용하였다. 수직하중과 기기 중량에 의한 하중은 동시에 적용되도록 하였다.

4. 해석모델

해석 모델은 그림 1과 같다. 앞서 설명한 바와 같이 해석모델 및 해석방법에 대한 정확성은 성능 시험서에 따른 구조체 하중시험(정하중시험) 결과와 비교를 통해 검증 하였다.

해석에 사용된 요소는 3-D 쉘 요소이며 144,030개의 요소와 147,695의 노드로 구성되어 있다. HyperMesh를 사용하여 전처리 하였으며 사용된 해석 솔버는 ABAQUS이다.



그림 1. 유한요소 해석 모델 형상

5. 판정 기준

한국형 고속 틸팅차량은 구성 재질에 따라 크게 차체와 언더프레임으로 나뉜다. 차체는 주로 복합소재로 이루어져 있으며 언더프레임은 금속 재질로 되어 있다. 따라서 구조물의 안전성 평가는 크게 두 부분으로 구분하여 적용하였다. 각 부분의 평가 기준은 성능시험서의 기준에 의하여 재질의 항복응력 이하로 설정하였다. 각각의 재질별 허용응력 기준을 표 3에 나타내었다.

표 3. 재질별 허용응력 범위

재 질	항복응력 [MPa]	허용응력 [MPa]
SMA490B	362 이상	362 이하
STS304	205 이상	205 이하
STS301L-LT	215 이상	215 이하
STS301L-HT	686 이상	686 이하
Composites	539 이하 (인장응력)	539 이하 (인장응력)

5. 해석 결과

복합소재 차체에 걸리는 응력분포 결과를 그림 2에 나타내었다. 가장 큰 응력집중을 보이는 부분은 창문 모서리 부분으로 최대 45MPa 정도이며 전반적으로는 20MPa 이하임을 확인하였다. 복합소재의 인장응력이 539MPa임을 고려할 때 충분히 안전한 범위에 있음을 확인할 수 있다.

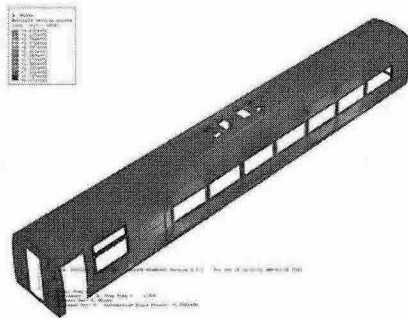


그림 2. 복합소재 차체의 응력분포

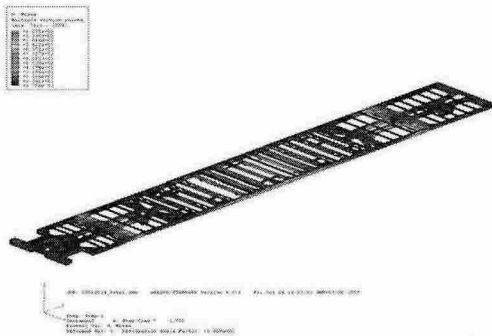


그림 3 언더프레임의 응력분포

언더프레임 전체 응력분포는 그림 3과 같다. 중량이 큰 Main Converter/Inverter(C/I) 부착 위치와 양쪽 볼스타지 부근에서 응력집중을 보이며 최대응력은 Main C/I가 부착되는 #17, #18 번 크로스 빔에서 125MPa 정도 걸리는 것을 확인하였다. Main C/I는 #17~#23까지의 크로스 빔에 부착된다. 이 부분의 크로스 빔 재질은 SMA490B로 두께는 9mm이다. 해석결과 상세 응력분포를 그림 4에 나타내었다. 최대응력은 125.5MPa이며 #18번 크로스 빔의 홀 주변에서 발생함을 확인하였다. 브라켓에 걸리는 최대 응력은 6.6MPa로 확인되었다.

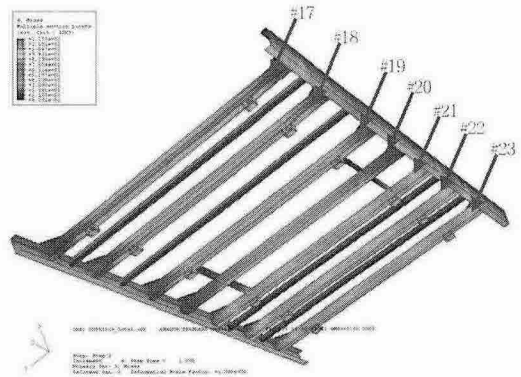


그림 4 Main C/I 부착부분의 응력분포

Re-Railer 및 B.O.U(front)는 #12~#16번 크로스 빔에 부착된다. 해석결과 이 부분의 응력분포는 크로스 빔보다 사이드 실에 집중되는 형태로 확인되며 크로스 빔에서의 응력은 전반적으로 30MPa이하로 나타남을 확인하였다. 브라켓에 걸리는 최대 응력은 Re-Railer의 경우 16MPa, B.O.U의 경우 21MPa로 확인되었다.

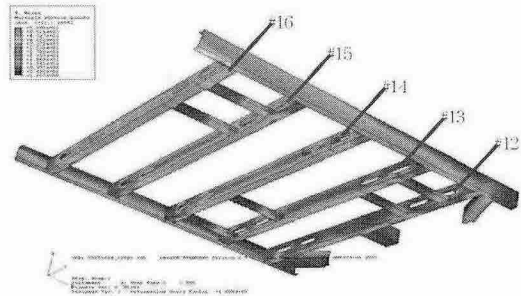


그림 5. Re-Railer 및 B.O.U 부착부분 응력분포

Tilting electronic 및 B.O.U(rear)는 #24~#28번 크로스 빔에 부착된다. 해석결과 이 부분의 응력 분포는 크로스 빔보다 사이드 실에 집중되는 형태로 확인되며 크로스 빔에서의 응력은 전반적으로 35MPa이하로 나타남을 확인하였다. 브라켓에 걸리는 최대 응력은 Tilting electronic의 경우 19.5MPa, B.O.U의 경우 26.4MPa로 확인되었다.

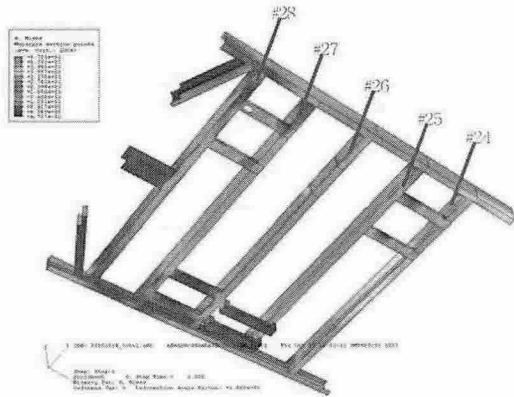


그림 6. Tilting electronic 및 B.O.U 부분 응력분포

6. 결 론

본 논문에서는 틸팅 열차 차체의 상하부분에 취부되는 각종 기기들의 브라켓에 대한 구조적인 안전성 평가를 해석적인 방법을 통해 수행하였으며 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 모든 기기들은 운행 발생하는 여러 방향의 가속도를 고려하여 자체 중량의 2배의 하중이 작용한다고 가정하였다.
- 2) 취부되는 각종 기기들로 인해 브라켓과 언더프레임에 발생하는 응력은 허용응력 이하로 확인 되었다.

후 기

본 연구는 건설교통부 철도기술연구개발사업의 지원에 의하여 수행되었으며 이에 감사드립니다.

참고문헌

1. JIS E 7105, "Test method for static load of body structures of railway rolling stock", 1994
2. TTX 시스템 기술 사양서
3. 도시철도차량의 성능 시험에 관한기준