

철도차량의 충돌 조건 만족을 위한  
차체 프레임 개선 사례에 대한 고찰

**Review on the Modification of Carbody Structure to meet  
the Collision Condition Applied for Railway Vehicles**

박진수\*  
Jin-Soo Park

김구식\*\*  
Ku-Sik Kim

ABSTRACT

Currently in design and manufacturing of railway train overseas markets, criteria for a collision condition between vehicles is noted in design specification.

In the event of a train crash, it can be verified by crashworthiness analysis or an actual crash test for car's performance to keep the safety of passengers and to minimize the effect of damaged for vehicles.

In this paper, it is described for carbody structure to meet the allowable condition in collision analysis through improvement of shape, position and arrangement for carbody frame.

This report describes the shape of end frame for carbody structure and the results of analysis applied to actual cases for overseas.

1. 서론

현재 철도 차량의 설계 및 제작에 있어서 해외 전동차 시장은 차량간의 충돌에 대한 기준을 각 전동차의 설계 사양에 명기하여 제시하고 있다.

이러한 철도 차량의 충돌 사고 발생 시에 얼마만큼 승객을 안전하게 보호할 수 있으며, 차량의 손상에 미치는 영향을 최소화 할 수 있는지를 검증하기 위해 충돌 해석 혹은 실제 충돌 시험을 통해 차량의 성능을 입증하고 있다.

본 논문에서는 상기와 같이 철도차량 차체 설계 시에 적용되는 충돌 조건을 만족하기 위하여 차체(Carbody Structure) 프레임의 형상, 위치 혹은 배열 등의 개선을 통해 실제 충돌 해석에서 허용 조건을 만족한 사례를 보여주고자 한다.

본 보고서에서 서술되고 있는 철도차량 단부 구조체의 형상 및 해석 결과는 몇몇 해외 수출용 전동차에 실제 적용된 사례이다.

아래 서술되는 내용은 실제 인도, 뉴질랜드 등에 수출된 전동차의 구조체 설계 시, 초기 Concept 단계에서 차량의 강성 및 구조해석 등의 기준에 맞게 구성해놓은 일부 골조들을 초기 설계 대비 수요처에서 제시한 충돌 해석 기준 사양을 만족시키기 위해 차량의 전두부 및 단부측의 일부 프레임들을 삭제, 수정 혹은 추가함으로써 실제 충돌 해석시 사양에 제시된 안전 기준을 만족함을 보여주고 있다.

\* 비회원, 현대로템(주) 기술연구소, 주임연구원  
E-mail : js\_park@hyundai-rotem.co.kr  
TEL : (031)596-5314 FAX : (031)596-9757

\*\* 비회원, 현대로템(주) 기술연구소, 수석연구원

## 2. 본론

### 2.1 초기 설계

아래 그림1의 FEA Model에서 보는 바와 같이 초기 차량의 골조 설계 시에는 차체의 강성을 위한 각 프레임의 균등한 배열 및 창문 코너 등의 취약부에는 보강재 등을 추가하였다. 그러나 1차 충돌 해석시 차량의 전위 및 후위측의 충돌 흡수 구간에 있어서 수요처에서 제시한 사양을 만족하지 못함을 확인할 수 있었다.

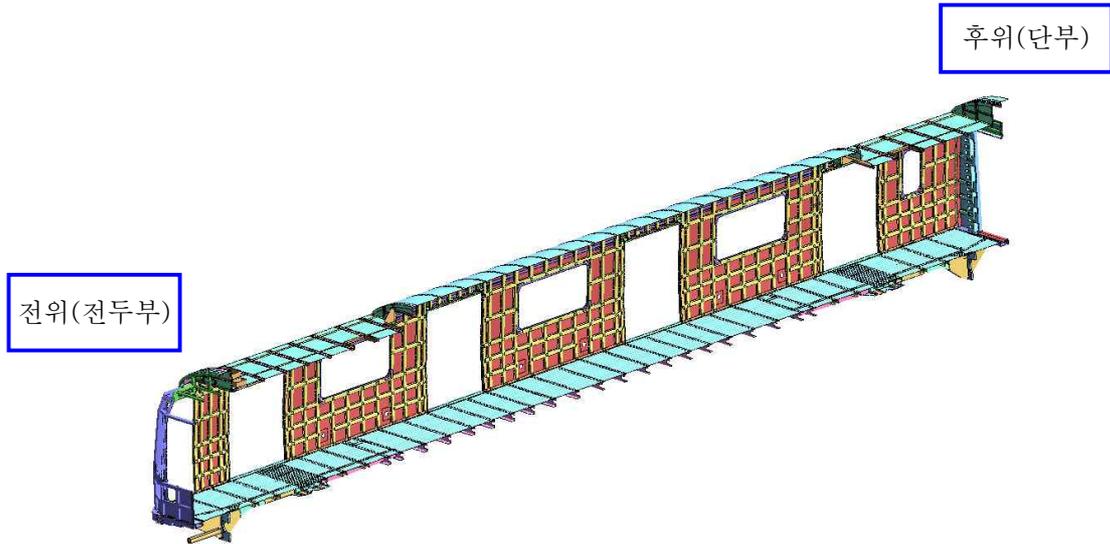


그림1. Finite Element Model of Carbody Structure (Half Model)

### 2.2 기존 설계 대비 변경사항

초기 Concept 단계에서의 설계 및 1차 충돌 해석 결과, 차량의 전두부 및 단부의 프레임 구조물들에 대한 변경이 필요함이 확인되었고, 해석 결과에 따라 아래의 그림에서 설명하고 있는 바와 같이 일부 프레임들을 삭제, 추가 및 수정하였으며, 그에 따른 충돌 재해석에 대한 결과는 다음 절에서 서술하고 있다.

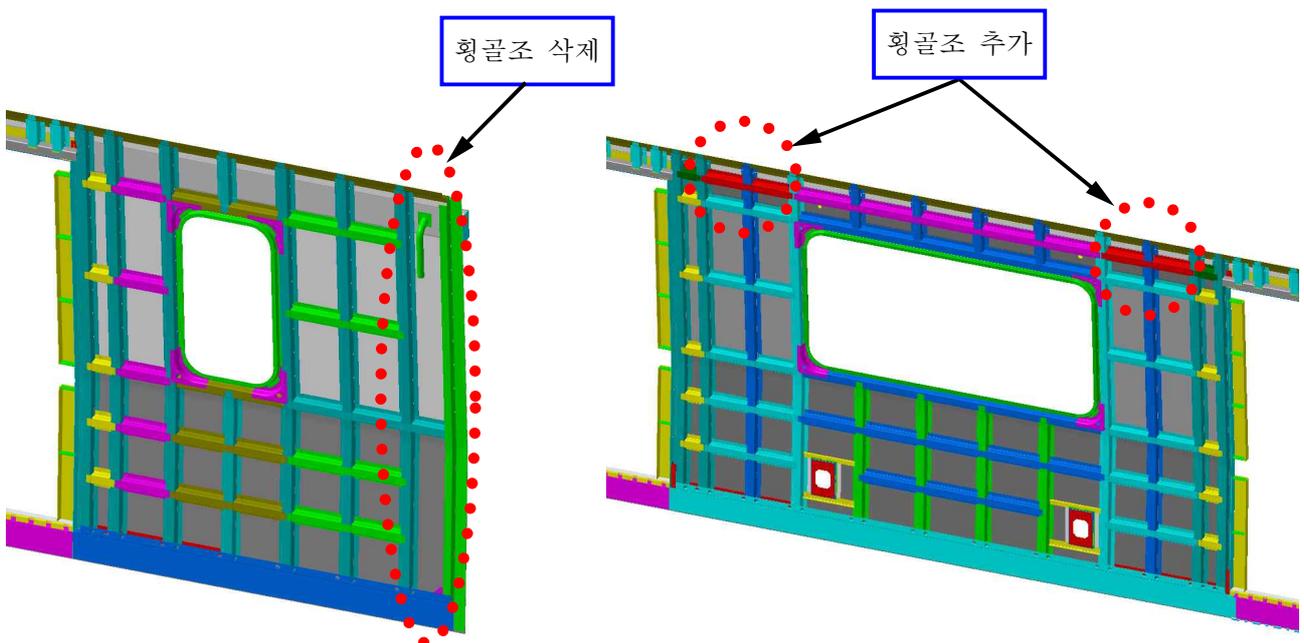


그림2. Side Frame(단부, Window Block) 구조 변경 사항

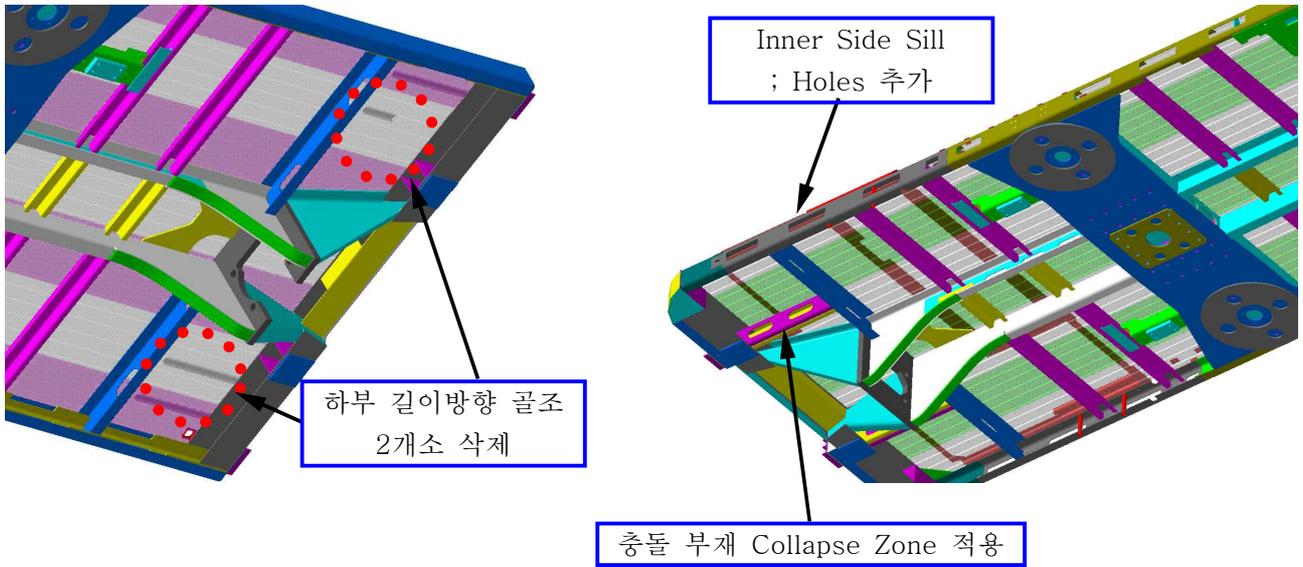


그림3. 언더프레임 전/후위측 하부 변경사항 및 Collapse Zone

### 2.3 충돌 해석

#### 2.3.1 충돌 조건

충돌 조건은 아래 그림4, 5에서 보는 바와 같이 Collision Analysis, Overriding Analysis 각각에 대하여 구조체의 형상은 차량 폭 방향 센터 기준으로 대칭이므로 Half Model을 적용하였다.

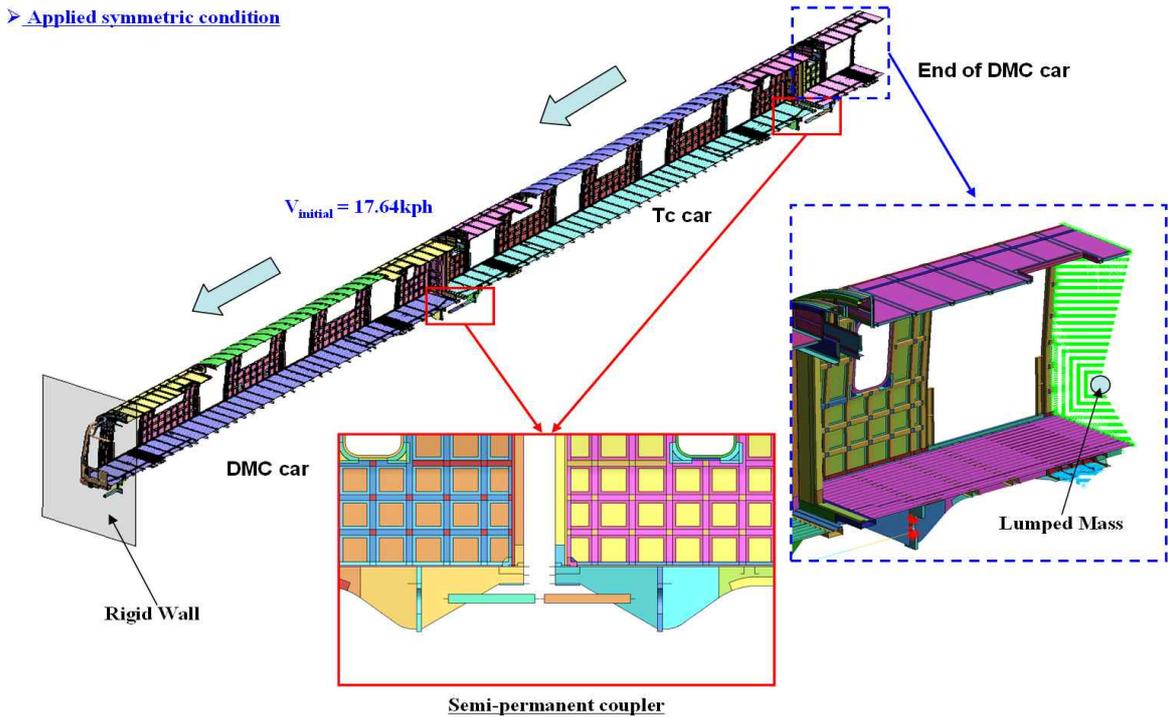


그림4. Crash Condition for Head on Collision Analysis (Half Model)

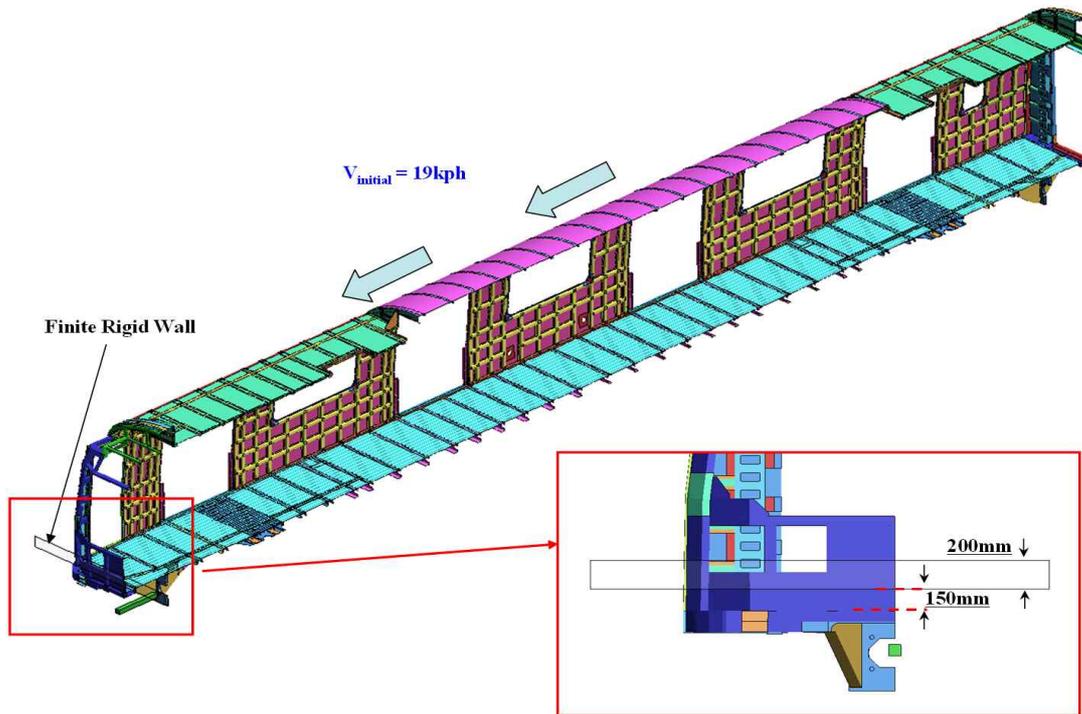


그림5. Crash Condition for Overriding Analysis (Half Model)

### 2.3.2 적용 규격

충돌 해석에 적용된 규격은 수요처의 기술 사양서에 명기된 GM/RT 2100(Structural Requirements for Railway Vehicles)을 적용하였다.

도표1. 충돌 해석 Spec. (GM/RT 2100)

Item	Load Case	Description	Remarks
GM/RT 2100	Head on collision	Train unit crashing into a rigid wall at the speed of 17.64 km/hr.	GM/RT 2100 Clause 9.3
	Overriding collision	DMC-car cab end at 150mm above the structural floor crashing into rigid wall at the speed of 19.0 km/hr.	GM/RT 2100 Clause 9.4

※ GM/RT 2100 Clause 9.3

As a second alternative to section 9.1 for multiple units and other vehicles normally part of a fixed consist train, a total energy absorption of 2 MJ per vehicle shall be distributed between the vehicle ends throughout the train in accordance with a theoretical simulation of a collision between similar trains and in such a way as to maximize the closing speed attained while inflicting minimum damage to the passenger compartment. The force limits are unchanged.

※ GM/RT 2100 Clause 9.4

For the ends of vehicles which might form the end of a train a minimum of 0.5 MJ shall be absorbed by the vehicle structure when loaded beyond the proof load across the body end at a height of 350mm above the coupler centreline (or 150mm above the structural floor if this is higher) to simulate an overriding collision.

### 2.3.3 해석 결과

#### 2.3.3.1 Collision Analysis

아래 그림6에서와 같이 차량 충돌 후 전두부 및 차간 연결부가 단계적으로 충돌 에너지를 흡수하며 압축되고 있음을 알 수 있다. 도표2에 표기된 각 항목의 해석치는 그림6과 그림7에 나타나 있다. 도표2에서 보는 바와 같이 모든 항목에 대한 해석 결과는 그 기준치를 만족하고 있음을 알 수 있다.

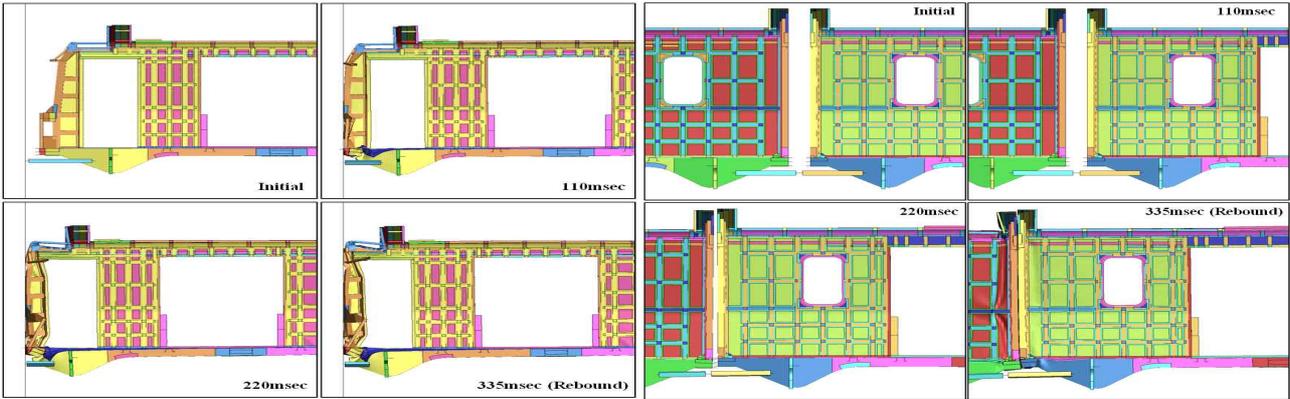


그림6. Deformed Configurations for Collision Analysis

도표2. Analysis Results for Head on Collision (Train Unit Collision)

항목	해석 결과					기준	비고
Energy Absorption	2.01 MJ					More than 2 MJ	그림6.
Maximum Collapse Force	2.984.8 kN					Less than 3,000 kN	그림6.
Maximum Deformation	DMC 1st		TC		DMC 2nd	No Criterion	그림7.
	Front	Rear	Front	Rear	Front		
	658 mm	230 mm	85 mm	90 mm	96 mm		

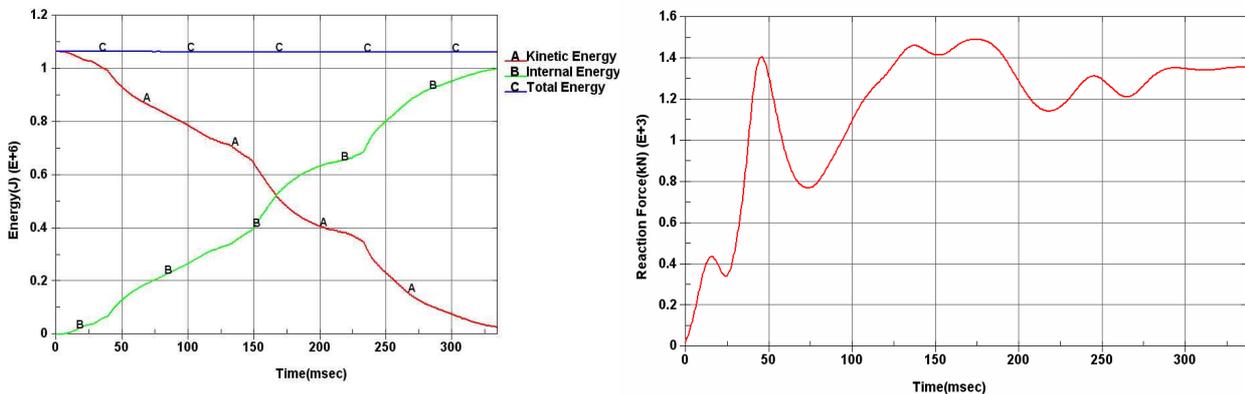


그림7. Global Energy Curves & Rigid Wall Reaction Force Curve for Head on Collision Analysis

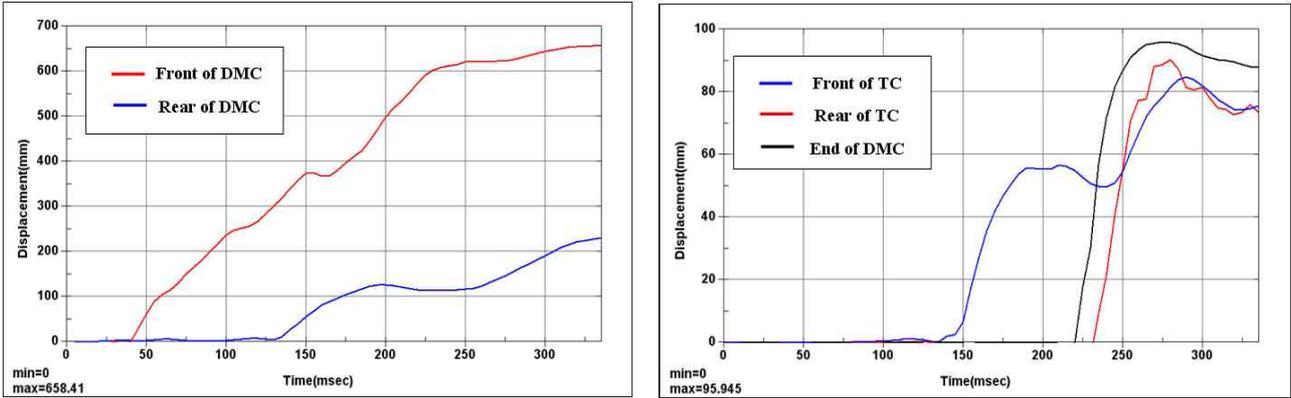


그림8. Displacement vs. Time Curve for Head on Collision Analysis

### 2.3.3.2 Overriding Analysis

아래 그림9에서 차량 충돌 후 전두부의 Overriding Analysis를 단계적으로 보여주고 있다. 도표3에 표기된 각 항목의 해석치는 그림10과 그림11에 나타나 있다. 도표3에서 보는 바와 같이 모든 항목에 대한 해석 결과는 그 기준치를 만족하고 있음을 알 수 있다.

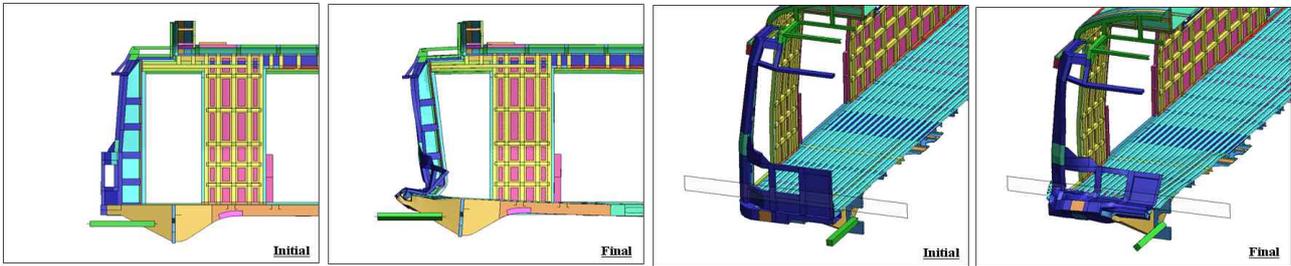


그림9. Deformed Configuration for Overriding Analysis

도표3. Analysis Results for Overriding Condition

항목	해석 결과	기준	비고
Energy Absorption	0.52 MJ	More than 0.5 MJ	그림8.
Maximum Collapse Force	1,996.4 kN	Less than 3,000 kN	그림9.
Maximum Deformation	730 mm	Less than 1,000 mm	그림9.

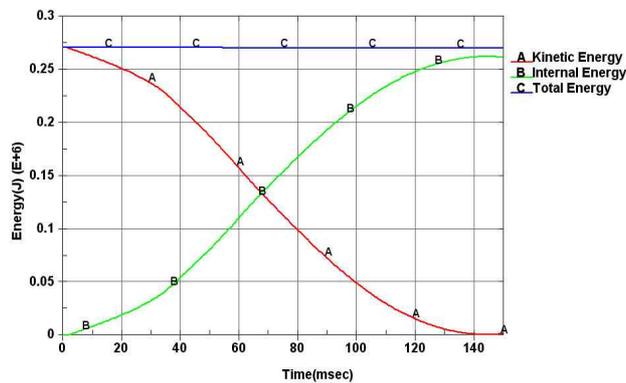


그림10. Global Energy Curves for Overriding Analysis

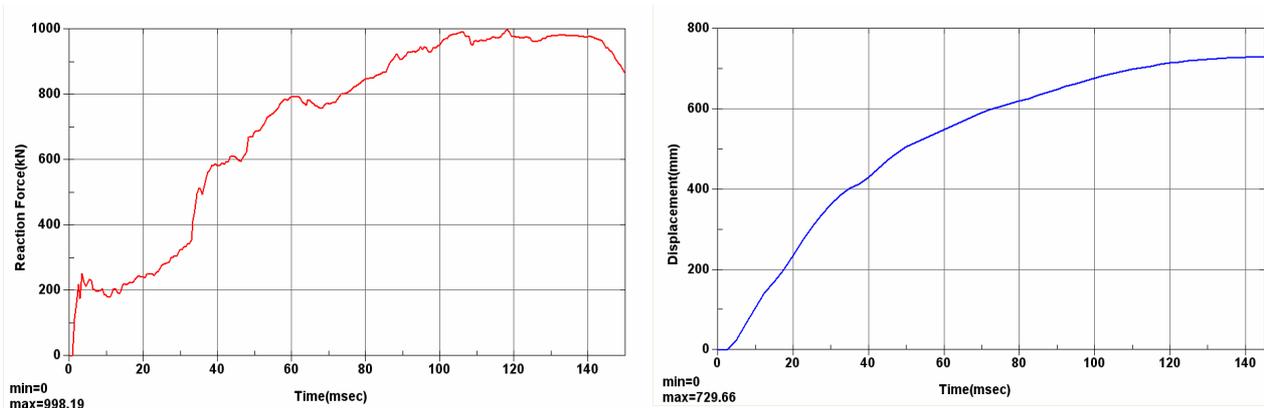


그림11. Rigid Wall Reaction Force Curve & Displacement vs. Time Curve for Overriding Analysis

### 3. 결론

본론에서 언급했듯이 초기 설계 시에 적용된 차체 프레임 구조는 충돌 해석 시 수요처에서 제시한 사양 기준을 만족하지 못하였다. 그에 따른 재해석을 위하여 해당 부위에 프레임 추가, 삭제, 위치, 형상 변경 등 아주 간단한 방법을 통해 구조적으로 접근한바 기준 사양을 만족시킬 수 있었다.

이와 같이 추후 급변의 충돌해석 규격과 동일한 규격이 적용되는 철도차량의 설계 시에는 본 보고서에서 검증된 차체 전두부 및 단부의 구조적 형상을 표준화하여 적용할 수 있기에 설계 및 제작 측면에서의 효율성을 확보할 수 있을 것이다.

본 논문에서는 실제 해외 수출용 전동차의 차체 구조에 적용된 사례로서, 충돌 흡수 구조에 대해 간략히 설명하였고 충돌 해석을 통한 안정성을 검증하였다. 추후 국내 전동차에서도 동일한 사양 발생 시 효율적으로 대응될 수 있도록 보다 정밀하고 다양한 방법의 해석 및 시험을 통해 실제 적용 방안을 수립하여 보다 안전한 철도차량의 제작에 적용이 되어야 할 것이다.

### 참고문헌

1. ERTS Clause 6.11: BMRC Tender No.2 RS-DM - Volume 3  
*"Employer's Requirements- Technical Specification Clause 6.11.5."*
2. Group Standard GM/RT 2100 Issue Three, "Structural Requirements for Railway Vehicles"
3. 현대로템(주), "Collision Analysis of Carbody Structure"(REDE110453)