

유럽 충돌안전도 규격 적용 철도차량 차체 해석 기술 개발 Railway carbody analysis technology development for application Europe crashworthiness standard.

정지호* 박형순** 박근수** 이장욱**
Jeong, Ji Ho Park, Hyung Soon Park, Guen Soo Lee, Jang Wook

ABSTRACT

Recently railroad industry pulls a new interest with stability, fixed time characteristic, low environment pollution characteristic and mass transportation characteristic. With industrial development railroad it joins in, The many research and regulation production are coming to do. Specially like this activities are coming to be advanced actively from North America and Europe. From viewpoint of railway car production company, The vehicle production that a suitable Europe standard is essentiality for find a Europe market that The whole vehicle consuming hold it does a most big specific gravity. From this study, developed finite element model for analysis technology about crashworthiness of inside GM/RT 2100 standard and analyzed crash results.

1. 서론

자동차와 항공기에 의한 여객 및 화물 수송수단의 발달과 더불어 철도는 20세기 후반으로 들어오면서 사양길에 접어든 것으로 인식되었다. 그런데 20세기 후반부터 급격한 산업화와 가속화된 도시의 인구 집중현상으로 인하여 도시간의 교통량이 급속도로 증가함에 따라 도로 교통량이 한계에 도달하고 자동차 및 항공기에 의한 교통수단의 단점이 부각되었다. 특히 자동차의 급증으로 인한 교통 체증과 배기가스 및 소음 등의 환경공해는 물론 교통사고에 의한 인명 및 경제적, 사회적 손실 등의 문제가 전 세계적으로 심각한 문제로 등장하였다. 철도는 정시성, 안정성, 대량 수송성, 에너지 절감성, 저공해성, 고속성과 아울러 쾌적한 대중교통수단으로서 새로운 관심을 끌게 되었다.⁽¹⁾

철도차량은 항공기와 같이 비록 사고의 빈도는 낮지만 일단 사고 시 많은 인명과 재산의 손실을 입는 대형사고의 형태이고, 그 여파로 인해 국가적, 사회적인 후유증이 심각하다. 이러한 철도시스템 설계의 근본적인 원칙은 적극적 안정성, 즉 충돌사고가 발생하지 않게 철로, 열차의 관리 및 전체 시스템의 관리를 잘 함으로써 사고를 최소화하는데 있다. 하지만 철도시스템에 의해 완전히 통제하기 어려운 상황들에 기인해서 충돌이 있을 경우 발생하는 승객과 승무원의 상해를 최소화시키기 위해 차량 자체의 소극적 안정성을 고려함으로써 철도의 안전성을 상당히 향상시킬 수 있다. 이러한 목적을 충족시키기 위해 충돌 안전에 대한 종합적이며 집중적인 연구가 필요하게 되었고, 선진국들은 충돌사고 시 승객의 안전도를 확보하기 위한 연구가 지난 수십 년 전부터 꾸준히 진행되어 왔다.

* 정지호, 비회원, (주)로템

E-mail : crash94@rotem.co.kr

TEL : (031)460-1307, FAX : (031)460-1799

** 박형순, 정회원, (주)로템

** 박근수, 정회원, (주)로템

** 이장욱, 정회원, (주)로템

철도차량 제작에 있어 가장 큰 판매 시장을 형성하는 유럽의 진출을 위해 유럽 각국이 규정하고 있는 시험 및 해석 규격을 충족시키는 차량의 개발은 필수불가결하다고 할 수 있다. 본 연구에서는 이러한 유럽 규격 중 하나인 GM/RT 2100 규격 내 충돌 안전도 해석에 필요한 해석 기술 개발을 위해 해석용 차체의 유한 요소 모델을 개발하고 이를 충돌 규격에 맞추어 해석 수행 및 분석을 하였다.

2. 모델 구성

충돌 해석을 위해 본 연구에서는 유럽 규격을 가지는 디젤 전동객차를 그림 1과 같이 구성하였다. 전체 좌표계는 X, Y, Z축을 전·후, 좌·우 그리고 상·하 방향으로 설정하였고, XZ면을 좌·우 대칭면으로 갖는 1/2 모델로 구성되었다. 따라서 전체 변형 에너지와 반력은 모델 구성을 감안하여 2배수를 고려 해주어야 한다. 차체의 측면 구조, 하부 구조, 천정 구조, cab 구조 그리고 끝단은 모두 2차원 쉘 요소로 모델링 되었다. 또한 타고오름 방지 장치는 3차원 솔리드로 모델링 되었다.

유한 요소 모델의 총 구성 요소의 개수는 솔리드 요소 1,958개, 쉘 요소 236,946개 그리고 절점 227,594개로 구성 되어졌다.

차량의 대차와 power-pack의 구성은 그림 2에서 나타나는 것처럼 집중하중을 부여하여 적용 하였다.

충돌 안전도 해석은 유한요소 동역학 해석 프로그램 LS-Dyna 970⁽²⁾을 사용하여 수행 되어졌다.

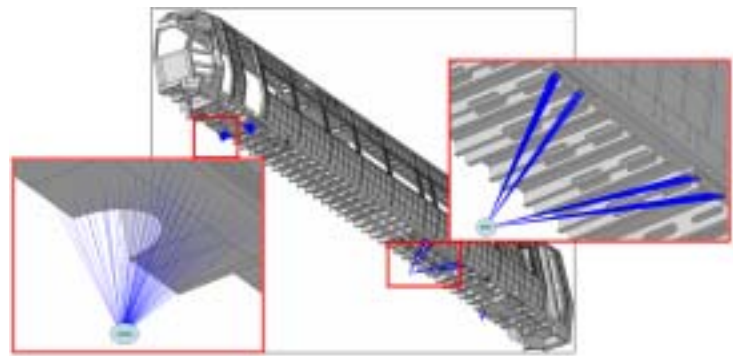
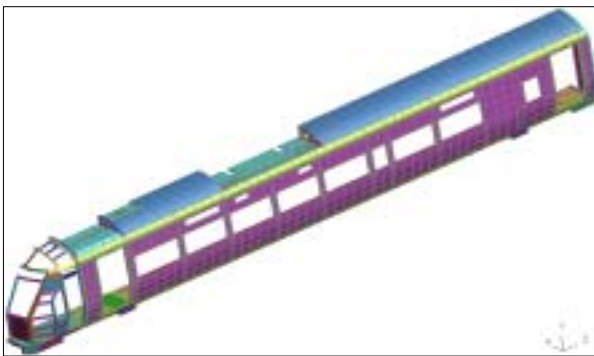


그림 1. 유럽형 디젤 동력 객차 유한 요소 모델(1/2 모델)

그림 2. 대차와 power-pack의 집중 하중 모델링

본 연구를 위해 사용 된 모델의 제원은 표 1과 같고, 구성 물질과 물성은 표 2와 같다.

표 1. 유럽형 디젤 동력객차 제원

No.	구 분	길 이	비 고
1	차체 길이	23,200 mm	
2	차체 폭	2,840 mm	
3	볼스터 중심간 거리	16,000 mm	
4	지붕 높이	3,985 mm	From top of rail
5	연결기 높이	686 mm	From top of rail

표 2. 구성 물질의 물성

No.	Material	Yield Strength	Tensile Strength	Young's Modulus	Elongation (%)	Poisson's Ratio	비 고
1	SMA490BP	>37.0kgf/mm ²	>50.0kgf/mm ²	21,000kgf/mm ²	15	0.3	Center Sill, Bolster,
2	SUS301L-LT	>22.0kgf/mm ²	>56.0kgf/mm ²	18,300kgf/mm ²	45	0.3	Cross Beam
3	SUS301L-DLT	>35.0kgf/mm ²	>70.0kgf/mm ²	18,300kgf/mm ²	40	0.3	Side panel, Roof panel
4	SUS301L-ST	>42.0kgf/mm ²	>77.0kgf/mm ²	18,300kgf/mm ²	35	0.3	Door, Window, Post, Cross Beam
5	SUS304	>21.0kgf/mm ²	>53.0kgf/mm ²	18,300kgf/mm ²	40	0.3	Stiffener

3. 적용 규격

본 연구를 위하여 GM/RT 2100 9절의 충돌안전도에 관한 규격을 적용하였다.

GM/RT 2100 9절의 주요 내용은 2가지로 분류되어 있다. 첫째는 상호 마주보는 차량의 대칭 충돌 시 최소 1MJ 이상의 에너지가 흡수 되어야 하며, 전체 충돌 과정 중 차체 전 구역에서 영구변형량이 최대 1m를 넘지 않아야 하고, 충돌 반력이 최고 3000kN을 넘지 않아야 한다. 둘째는 차량 연결기 중심에서 상방향으로 350mm 또는 바닥면에서 150mm 중 상대적으로 더 높은 위치를 기준으로 충돌 시 흡수되는 에너지가 최소 0.5MJ를 초과하여야 한다.⁽³⁾

4. 해석 조건

해석의 연산 시간을 줄이기 위해 1/2 모델을 고정벽에 충돌 하였다. 전체 충돌은 23km/h로, 부분 충돌 해석은 16.3km/h의 초기 속도로 해석이 수행 되어졌다. 부분 충돌 모델은 차체 바닥에서 150mm를 기준으로 상방향(+Z 방향) 부분만 충돌 되어 졌다. 차량 자체의 간섭을 방지하기 위해 해석 모델 전체에 접촉면 설정 요소를 부여 하였고, 차체와 고정벽면 사이에도 접촉면 설정 요소를 부여 하였다. 또한 1/2 모델의 대칭 효과를 얻기 위해 모델의 대칭점들에 자유도를 구속하는 조건을 부여 하였다.

5. 결과

5.1 전체 충돌

그림 3은 전체 충돌 과정의 내부에너지, 운동에너지 그리고 전체 에너지를 나타내고 있다. 충돌 시 최대 흡수 에너지는 1/2 모델 기준 0.527MJ이고, 전체 모델 기준 약 1,054MJ이 흡수 되었다. 모델의 거동은 그림 4에서 보여 지는 것처럼 전두부를 제외하고 변형이 발생하지 않았다. 즉, 승객 탑승 전 구간에서 어떤 영구 변형도 일어나지 않음을 알 수 있다. 그림 5는 각 충돌 시간별 거동을 나타내고 있다. 그림 6은 충돌 시 고정벽의 반력을 나타낸다. 최대 반력은 약 1,484.9kN으로 전체 모델 기준 약 2,969.8kN 정도이다. 해석 연산과정상 들어오는 노이즈를 제거하기 위해 60Hz로 필터링 한 결과 120ms에서 최대 1,438.0kN, 전체 모델 기준 2,878.0kN으로 나타났다. 그림 7은 전두부(타고오름 방지 장치)의 최대 변형 양을 나타내고 있다. 150msec(재 반동 시)에서 길이 방향으로 최대값 529.9mm를 나타낸다. 표 3은 전체 결과를 요약하여 나타냈다.

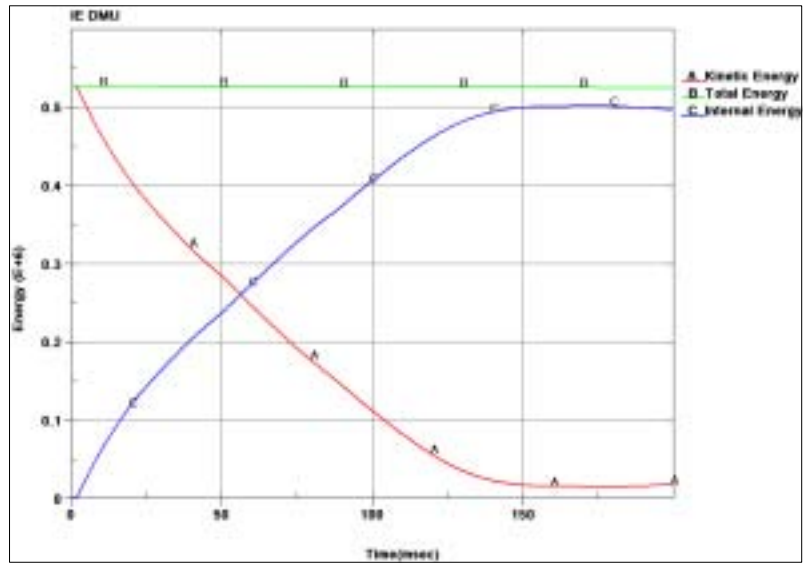


그림 3. 에너지 흡수 곡선(1/2 모델)



그림 4. 차체 변형 양상(150 msec)

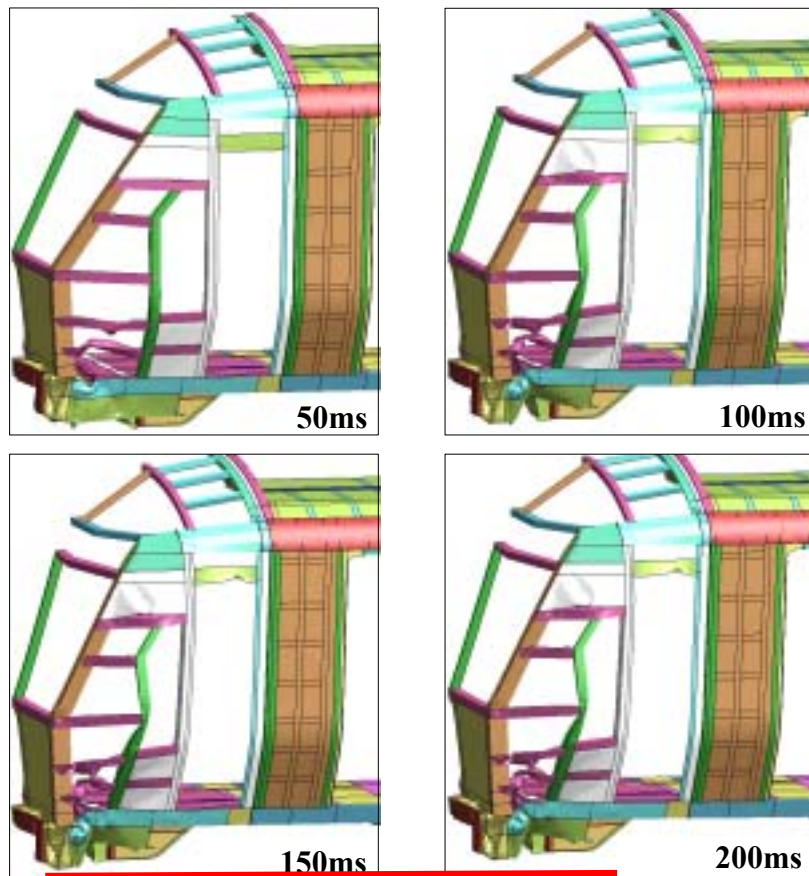


그림 5. 시간별 변형 양상

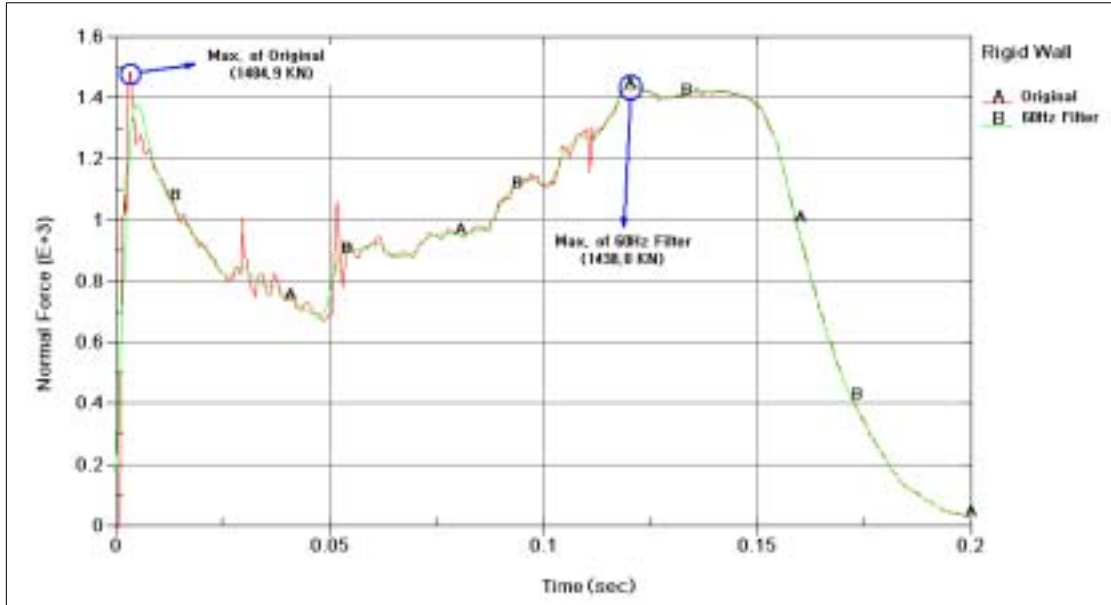


그림 6. 고정벽 반력 곡선(1/2 모델)

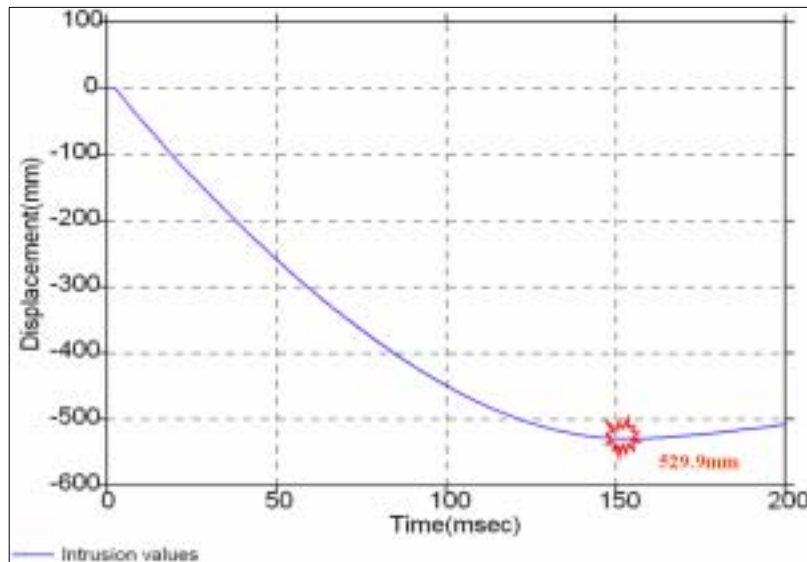


그림 7. 충돌 최대 변형량

표 2. 충돌 해석 결과

	해석 결과	규정	Pass / Fail
흡수 에너지	1.054 MJ	1 MJ 이상	Pass
최대 변형량	529.9 mm	1,000 mm 이하	Pass
최대 반력	60Hz 필터링 : 2,876.0 kN (해석 값 : 2,969.8 kN)	3,000 kN 이하	Pass

5.2 부분 충돌

그림 8은 전체 충돌 과정의 내부에너지, 운동에너지 그리고 전체 에너지를 보여 준다. 충돌 시 최대 흡수 에너지는 1/2 모델 기준 0.261MJ이고, 전체 모델 기준 약 0.522MJ이 흡수 되었다. 그림 9는 각 충돌 시간별 변형 양상을 나타내고 있다. 충돌 시 최대 반력은 약 1,471.6kN이며 변형량은 최대 247.5mm이다.

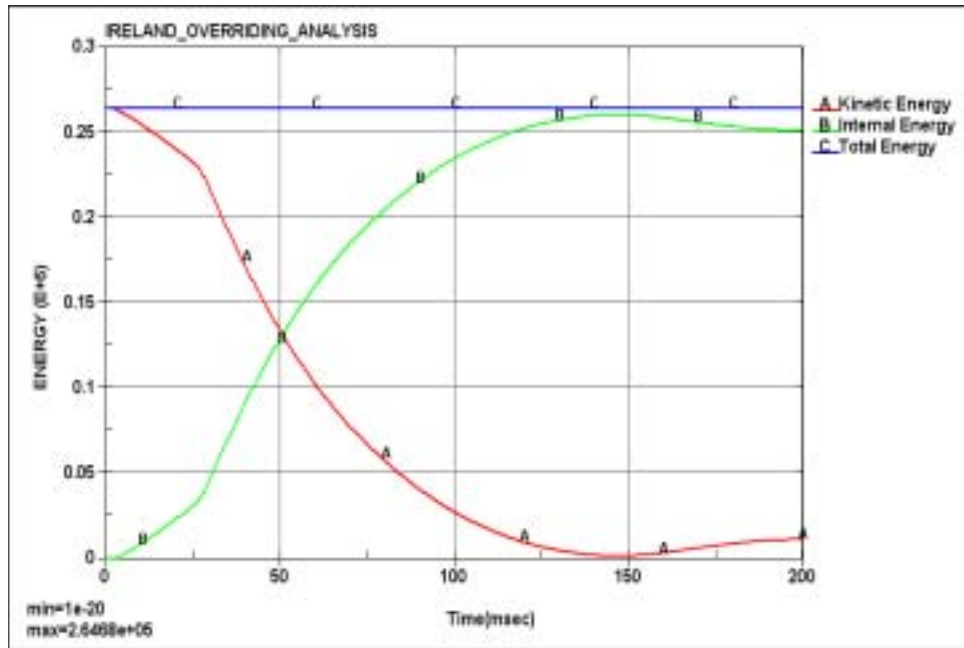


그림 8. 에너지 흡수 곡선(1/2 모델)

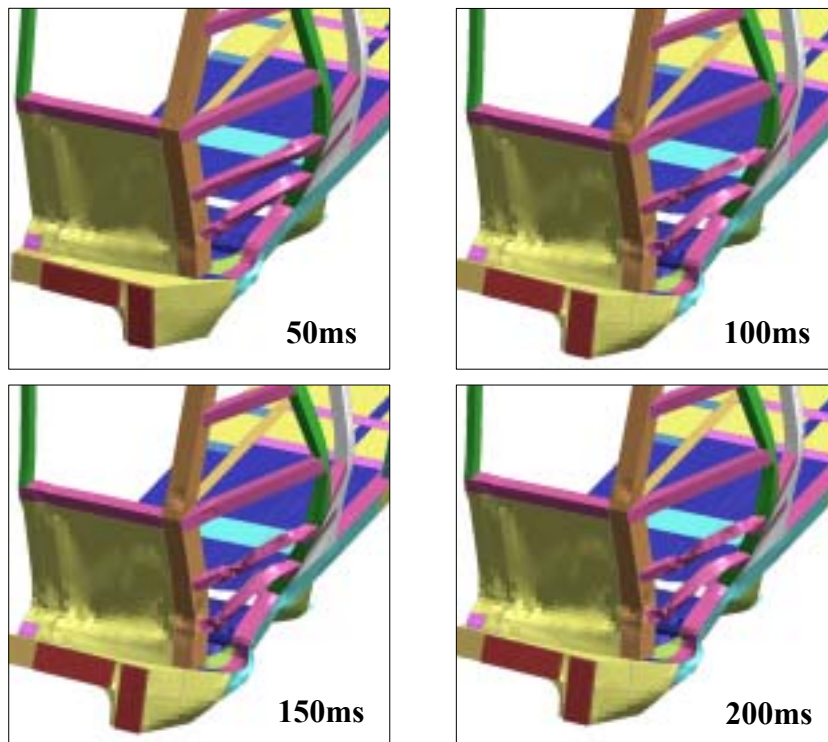


그림 9. 시간별 변형 양상

6. 결론

본 연구에서는 GM/RT 2100 규격 중 충돌 안전도에 관해 규정하고 있는 조건에 따라 디젤 동력객차의 충돌 해석을 실시하여 차체의 안전도를 평가하였다. 전체 충돌 해석의 경우 에너지 흡수량은 약 1.054MJ로서 1.0MJ초과 규격을 만족하였고, 대부분의 에너지 흡수가 차체의 전두부의 변형으로 이루어졌다. 또한, 최대 변형량은 529.9mm로 1m의 기준을 충족하였고, 최대 반력도 2876.0kN(60Hz 필터링 기준)으로 3,000kN이하의 규정을 만족하였다. 부분 충돌의 경우 흡수 에너지가 0.522MJ로서 규정을 충

족하였으며, 전두부의 거동이 충돌하지 않는 하단부 방향으로 처지는 경향을 볼 수 있었다. 충돌해석을 통해 얻어진 결과와 검증된 내용은 향후 GM/RT 2100 규격이 적용되는 철도차량의 차체설계에 일정한 기준을 제공할 것이다.

참고문헌

1. 김유일, 1997, “고속 열차의 충돌 안전도 해석 기술 현황”, Journal, 대한기계학회
2. 'LS-DYNA Applications v970' Livermore Software Technology Corporation.
3. “GM/RT 2100”, 1994, Railway Group Standard, clause 9.