

유럽형 디젤 동차 차체의 강도 평가

The strength evaluation of European Diesel Multiple Unit (DMU)

최정용*
Choi, Jeong-Yong

김승택**
Kim, Seung-Tech

박근수**
Park, Geun-Soo

박형순**
Park, Hyung-Soon

Abstract

Recently it is a tendency that Diesel rolling stock is committing in the commuter's train route of the suburb for solving commuting traffic congestion. It has advantage which expense of diesel rolling stock is relatively cheaper than electric rail car or high-speed train. In addition, it can be using the exist route without large-scale facility investment. Because of this advantage, the demand of diesel rolling stock occupy regular portion from overseas railway car market.

GM/RT 2100 specifies the loads vehicle bodies shall be capable of withstanding, identifies how material data shall be used and presents the principles to be used for design verification by analysis. Therefore, in order to fulfill the structural requirements, Rotem Company has carried out Finite Element Analysis (FEA) to verify whether the carbody structure has enough strength to withstand the loads specified by GM/RT 2100.

This research contains the results obtained by the analysis. The analysis was carried out using I-DEAS 12 NX Series

1. 서론

최근 디젤차량은 출퇴근 교통혼잡을 해소하기 위해 교외의 통근열차 노선에 투입되는 추세이다. 전동차나 고속철에 비해 상대적으로 비용이 저렴하고 대규모 시설 투자 없이 기존노선을 이용할 수 있는 장점을 갖고있다. 이러한 장점들로 인해, 해외 철도차량 시장에서 디젤차량의 수요는 일정 부분을 차지하고 있으며, 철도차량 제작업체는 디젤차량에 대한 수주량 확대를 위해 적극적으로 나서고 있다. 이러한 관점에서 볼 때 가장 큰 철도차량시장을 형성하고 있는 유럽시장에 진출하는 것은 매우 중요한 의미를 갖는다.

유럽시장 진출과 관련하여 철도차량의 차체에 대한 여러 가지 유럽 규격 중 유럽 철도 시장의 선진국인 영연방 규격(British standard)인 GM/RT 2100 규격을 만족하는 차체를 개발함으로써, 이에 대한 시장 확대의 교두보를 확보하는데 그 의미가 크다고 할 수 있다. GM/RT 2100 규격은 철도차량 차체가 만족해야 하는 하중조건을 철도차량의 종류에 따라 나누어 정의하고 있다.

따라서 유럽형 디젤동차 차체설계 시 고려해야 하는 차체강도기준을 만족시키기 위해 GM/RT 2100 규격에 따라 디젤동차 차체에 대한 구조해석을 수행하였다.

* (주)로템 기술연구소 비회원

E-mail : ivthee@rotem.co.kr

TEL : (031)460-1306 FAX : (031)460-1799

** (주)로템 기술연구소

2. 구조해석

2-1. 유한요소모델

디젤 동차 차체의 제원은 표1, 2와 같으며 하중조건과 경계조건이 차체의 폭 방향으로 대칭이라고 가정하고 차체의 1/2을 유한요소로 모델링하였다. 구조해석을 위한 차체모델링에는 쉘요소를 사용하였으며, 국부적으로 연결기 설치 플레이트, 리프팅 패드 모델링에 솔리드 요소를 사용하였다. 완성된 모델은 총 236,051개의 요소와 236,213개의 절점으로 이루어져 있으며, 좌표축은 차체 길이방향을 z축, 높이방향을 y축, 폭방향을 x축으로 설정하였다. 그림1은 구조해석을 위한 유한요소해석 모델을 보여주고 있다.

표1. 디젤 동차 차체의 크기

No.	항목	제원 (mm)	비고
1	차체 길이	23,200	
2	차체 폭	2,840	
3	볼스터 중심간 거리	16,000	
4	지붕 높이	3,985	레일상면에서
5	연결기 높이	686	레일상면에서

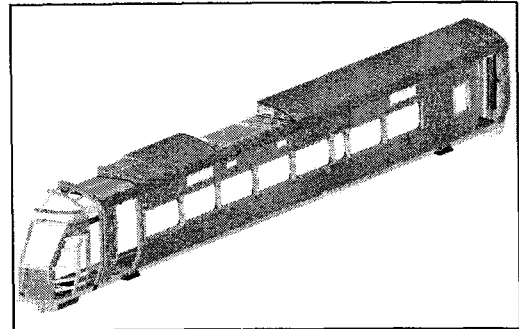


그림1. 유한요소해석 모델

표2. 디젤 동차 차체의 중량

No.	정의	항목	비고
1	W_{bare}	구체 중량	-
2	W_{tare}	공차 중량	-
3	$W_{M-bogie}$	M-대차 중량	-
4	$W_{T-bogie}$	T-대차 중량	-
5	W_{bogies}	총 대차 중량	-
6	$W_{passenger_F}$	승객 하중	좌석+입석 승객(2명/ m^2)
	$W_{passenger_C}$		좌석+입석 승객(4명/ m^2)

※ 승객 1인당 중량은 80kg

2-2. 하중조건

구조해석과 하중시험시 GM/RT 2100 규격에 따라 하중조건을 설정하고 하중크기를 계산하였다. 각각의 하중조건과 하중크기는 표3에 정리하였다.

GM/RT 2100 규격에 의하여 coupler level에서의 압축하중, coupler level에서의 인장하중, anti climber 에서의 압축하중, cantrail level에서의 압축하중, waistrail level에서의 압축하중, buffer 중심라인으로부터 350mm level에서의 압축하중 등 높이를 변화시키면서 차체에 압축/인장하중을 부가하도록 규정하고 있다. 또한 차체의 re-railing 하중조건인 경우 대차하중을 포함하여 차체의 한쪽 또는 양쪽을 lifting 하도록 규정하고 있다.

표3. 하중조건 및 하중크기

No.	하중조건	하중 크기	비고
1	수직하중	수직 $(W_{tare} + W_{passenger} - W_{bogies}) \times 1.5$	하중계수 1.5
2	Coupler level 압축하중	압축 1,500kN + 수직 (W_{tare})	
3	Coupler level 인장하중	인장 1,000kN + 수직 $(W_{tare} + W_{passenger} - W_{bogies}) \times 1.5$	하중계수 1.5
4	Anti climber 압축하중	압축 1,000kN + 수직 $(W_{tare} + W_{passenger_F} +)$	
5	Cantrail level 압축하중	압축 300kN + 수직 (W_{bare})	
6	Wastrail level 압축하중(I)	압축 150kN + 수직 (W_{bare})	Corner post
7	Wastrail level 압축하중(II)	압축 150kN + 수직 (W_{bare})	Collision post
8	Buffer 위 350mm 압축하중	압축하중 400kN + 수직 (W_{bare})	
9	Lifting 하중	수직하중 = 수직하중 $(W_{tare} - W_{bogies}) \times 1.1$ 대차하중 = $(W_{M-bogie} + W_{T-bogie}) \times 1.1$	하중계수 1.1

3. 재질의 기계적 성질 및 판정기준

본 연구에서는 차체의 안정성 판정기준을 GM/RT 2100에 명시된 규정에 따라 하중시험을 시행하는 하중조건은 1.0, 하중시험을 시행하지 않는 하중조건은 1.15의 안전계수를 적용하여 허용응력을 선정하였고, 본 논문에서는 전 하중조건에 대하여 1.15의 안전계수를 적용하였다. 또한, "구조해석시 발생하는 최대응력이 해당 재질의 허용응력 이하일 것"으로 정하였다.

차체의 주요 부재의 제작에 사용된 재질의 기계적 성질과 허용응력을 표4에 정리하였다.

표4. 재질의 기계적 성질 및 판정기준

재질	항복강도 (kgf/mm ²)	인장강도 (kgf/mm ²)	Young's modulus (kgf/mm ²)	허용응력 (kgf/mm ²)	사용부위
SUS301L- ST	≥ 42	≥ 77	18,300	< 35.7	Door, Window Post, Cross Beam
SUS301L-LT	≥ 22	≥ 56	18,300	< 18.7	Cross Beam, Stiffener
SUS301L-DLT	≥ 35	≥ 70	18,300	< 29.8	Side panel, Roof panel
SMA490BP	≥ 37	≥ 50	21,000	< 31.5	Center sill, Bolster

4. 구조해석 결과

각 하중조건별로 구조해석에서 최대응력이 발생하는 부위와 그 응력값을 표5에 정리하였다. 하중조건에 따른 응력분포는 그림2~13에 나타내었다.

표5. 하중조건별 최대응력 발생부위와 응력값 (단위: kgf/mm²)

No.	하중조건	발생부위	최대 응력	재질	허용응력
1	수직하중	창문 코너	22.0	SUS301L- ST	31.5
2	Coupler level 압축하중	Bolster주변 side sill	27.7	SUS301L- ST	35.7
		Draft sill	29.8	SMA490BP	31.5
		Draft sill	31.2	SMA490BP	31.5
		전두부 출입문 상단코너	29.6	SUS301L- ST	35.7
3	Coupler level 인장하중	창문 코너	28.7	SUS301L- ST	35.7
		Side Frame Post	28.3	SUS301L- ST	35.7
4	Anti climber 압축하중	Cab door 상단 코너	30.1	SUS301L- ST	35.7
		Door 하단 코너	30.0	SUS301L- ST	35.7
5	Cantrail 압축하중	Collision Post 상단	28.8	SUS301L- ST	35.7
6	Waistrail 압축하중(I)	Corner Post	22.4	SUS301L- ST	35.7
7	Waistrail 압축하중(II)	Stiffener	30.9	SUS301L- ST	35.7
8	Buffer 위 350mm 압축하중	Collision Post 상단	30.7	SUS301L- ST	35.7
9	Lifting 하중	Side Post 상단	15.6	SUS301L- ST	35.7

4-1. 수직하중

그림2는 수직하중조건에서 응력분포를 보여준다. 구조해석 결과 최대응력은 Side Frame Window Corner 상단에서 발생했으며 응력값은 22.0 kgf/mm² 이다. Window Corner의 재질은 SUS301L-ST이며, 발생된 최대 응력값은 재질의 허용응력이내에 있다.



그림2. 수직하중 최대응력분포

4-2. Coupler 압축하중

그림3과 4는 각각 Coupler 압축하중조건에서 응력분포를 보여준다. 구조해석 결과 최대응력은 Draft Sill 하판에서 발생하며 응력값은 31.2 kgf/mm² 이다. Draft Sill 하판의 재질은 SMA490BP이며, 발생된 최대 응력값은 재질의 허용응력이내에 있다. 또한, 전두부 출입문 상단에서 29.6 kgf/mm² 응력이 발생되며, 전두부 출입문의 재질은 SUS301L-ST로 발생응력은 재질의 허용응력이내에 있음을 알 수 있다.

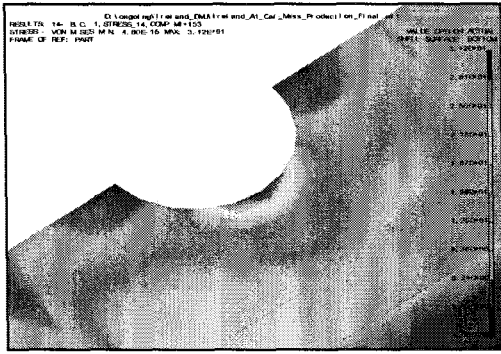


그림3. Coupler 압축하중 응력분포

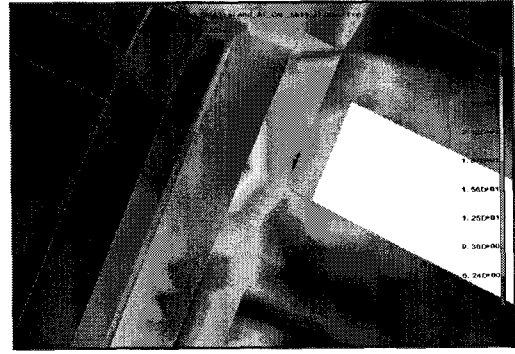


그림4. Coupler 압축하중 응력분포

4-3. Coupler 인장하중

그림5과 6는 각각 Coupler 인장하중조건에서 응력분포를 보여준다. 구조해석 결과 최대응력은 Side Frame Window Corner 상단에서 발생하며 응력값은 28.7 kgf/mm^2 이다. Side Frame Window Corner의 재질은 SUS301L-ST이며, 발생된 최대 응력값은 재질의 허용응력 이내에 있다. 또한, Side Frame Waist rail 에서 28.3 kgf/mm^2 응력이 발생되며, Side Frame Waist rail의 재질은 SUS301L-ST로 발생응력은 재질의 허용응력 이내에 있음을 알 수 있다.

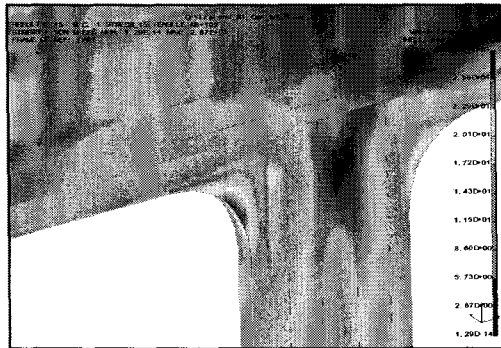


그림5. coupler 인장하중 응력분포

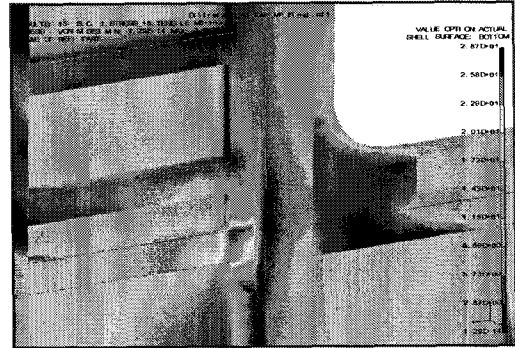


그림6. coupler 인장하중 응력분포

4-4. Anti Climber 압축하중

그림7과 8는 각각 Anti Climber 압축하중조건에서 응력분포를 보여준다. 구조해석 결과 최대응력은 전두부 출입문 상단 Frame에서 발생하며 응력값은 30.1 kgf/mm^2 이다. 상단 Frame의 재질은 SUS301L-ST이며, 발생된 최대 응력값은 재질의 허용응력 이내에 있다. 또한, Side Frame Rear 출입문 하단에서 30.0 kgf/mm^2 응력이 발생되며, Side Frame Rear 출입문 하단의 재질은 SUS301L-ST로 발생응력은 재질의 허용응력 이내에 있음을 알 수 있다.

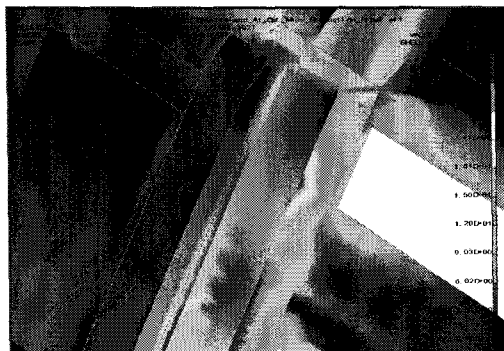


그림7. anti climber 압축하중 응력분포

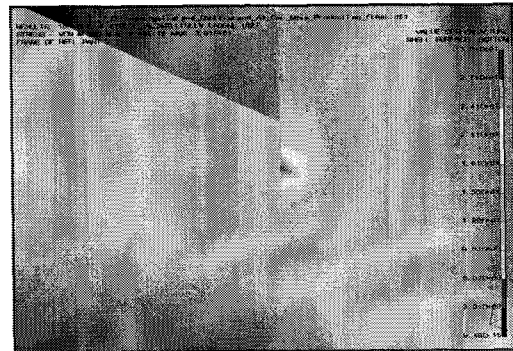


그림8. anti climber 압축하중 응력분포

4-5. Cantrail 압축하중

그림9는 cantrail 압축하중조건에서 응력분포를 보여준다. 구조해석 결과 최대응력은 End Structure 부근 Roof Frame Purline 끝단에서 발생하며 응력값은 28.8 kgf/mm² 이다. Purline의 재질은 SUS301L-ST이며, 발생된 최대 응력값은 재질의 허용응력이내에 있다.



그림9. cantrail 압축하중 응력분포

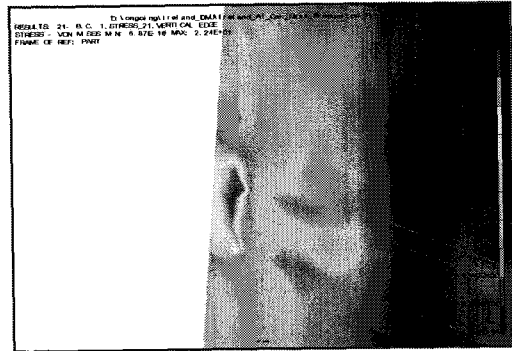


그림10. waistrail 압축하중(I) 응력분포

4-6. Waistrail 압축하중(I, II)

그림10은 Waist rail 압축하중조건(I)에서 응력분포를 보여준다. 구조해석 결과 최대응력은 End Structure Corner Post 에서 발생하며 응력값은 22.4 kgf/mm² 이다. Corner Post의 재질은 SUS301L-ST이며, 발생된 최대 응력값은 재질의 허용응력이내에 있다.

그림11은 Waist rail 압축하중조건(II)에서 응력분포를 보여준다. 구조해석 결과 최대응력은 End Structure Stiffener에서 발생하며 응력값은 30.9 kgf/mm² 이다. Stiffener의 재질은 SUS301L-ST이며, 발생된 최대 응력값은 재질의 허용응력이내에 있다.

4-7. Buffer 위 350mm 압축하중

그림12는 Buffer 위 350mm 압축하중조건에서 응력분포를 보여준다. 구조해석 결과 최대응력은 End Structure Collision Post내 Stiffener에서 발생하며 응력값은 30.7 kgf/mm² 이다. Stiffener의 재질은 SUS301L-ST이며, 발생된 최대 응력값은 재질의 허용응력이내에 있다.

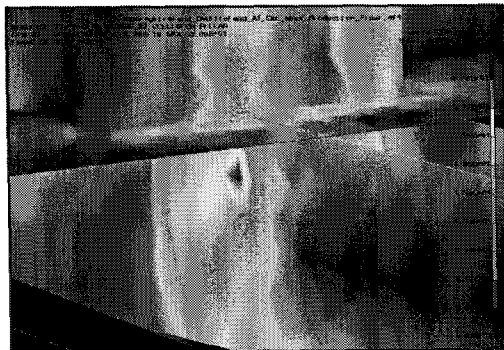


그림11. waistrail 압축하중(II) 응력분포

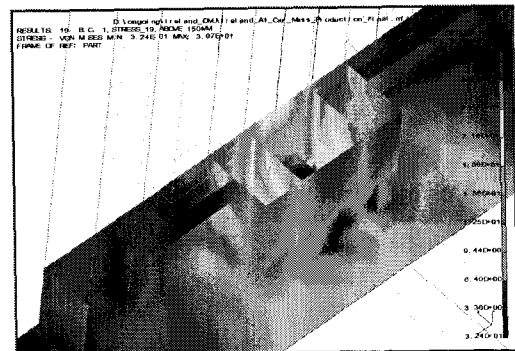


그림12. buffer 위 350mm 압축하중 응력분포

4-8. Lifting 하중

그림13은 Lifting 하중조건에서 응력분포를 보여준다. 구조해석 결과 최대응력은 Side Frame Post 끝단에서 발생하며 응력값은 15.6 kgf/mm² 이다. Side Post의 재질은 SUS301L-ST이며, 발생된 최대 응력값은 재질의 허용응력이내에 있다.

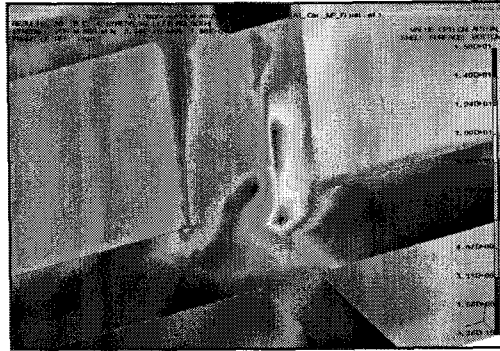


그림13. lifting 하중조건 응력분포

5. 결론

본 연구에서는 GM/RT 2100 규격에서 규정하고 있는 하중조건에 따라 디젤 동차 차체의 구조해석을 실시하였다.

차체설계와 구조해석 과정에서 각각의 하중조건에 대해 얻어진 응력레벨에 따라 고 응력부는 사용부재의 재질변경, 두께변경 또는 구조변경, 추가보강 등을 통하여 허용응력 이내로 응력레벨을 낮추었으며 저 응력부는 차체의 경량화를 위해 재질의 두께변경 또는 구조변경을 통하여 중량을 줄였다.

차체의 구조해석의 결과로부터 차체가 충분한 강도를 확보하고 있으며, GM/RT 2100에서 규정하는 구조체의 안전성 판정기준을 만족하고 있음을 알 수 있다.

구조해석을 통해 얻어진 결과는 향후 GM/RT 2100 규격이 적용되는 철도차량의 차체설계에 일정한 기준을 제공할 것이다.

참고문헌

1. Railway Group Standard GM/RT 2100 (issue three, October 2000), Structural Requirements for Railway Vehicles