

분리형 ROOF STRUCTURE의 설계 고찰

A design study of the Separable Roof Structure

최윤석* 전시현**
Choi, Yun Suk Jeon, Si Heon

ABSTRACT

In this paper, we studied the optimized design of roof structure to be separable roof structure. Also, the design have to satisfy with the GM/RT 2100' missile protection tests to verify the safety of railway vehicle structure. The separable roof structure design could have easier assembly process than whole roof structure in case of the interior outfitting and so on. Optimized design have to have as good as whole roof structure about results from the structure analysis. We studied separable roof structure to be optimized along with GM/RT 2100. The separable roof structure showed that the results have the same level of structure analysis

1. 서론

현재 철도차량 차체에 적용하는 스테인레스강은 내부식성뿐만 아니라, 강도 및 제작적인 측면에서 많은 이점을 가지고 있어 널리 사용되고 있으며, 경량화 측면에서도 이점이 있는 재질이다. 또한 점차적으로 스테인레스강에 대한 제작 기술이 발달함에 따라 철도차량도 계속적으로 경량화가 이루어지고 있다 15여년간의 국내 철도차량 제작업체는 축적된 기술을 기반으로 경쟁력을 확보하면서 해외로의 진출을 모색하는 지금에, 대두되고 있는 내용은 최상의 품질과 제작의 효율성 등이 강조되고 있으며, 지금보다 진보한 기술 경쟁력을 확보할 필요성을 느끼게 되었다. 철도차량의 차체구조는 언더프레임(Under Frame), 차측(Side), 단부(End), 지붕(Roof)으로 구성되어 있으며, 각각이 부담하는 하중의 종류가 틀림에 따라 형상도 바꾸어 적용할 수 있다. 구성품 중 지붕(Roof Structure)은 위로 에어컨, 집전장치 등이 설치되는 것 외에 하중에 대한 부담이 다른 구조에 비해서 크지 않은 부위이다. 따라서 지붕 외판은 차측이나 단부 외판에 비해 박판을 사용할 수 있어 스테인레스 차량의 경량화와 제작 시 용접이 아닌 기계적 접합법을 사용하여도 현재의 구조성능을 만족할 수 있을 가능성이 큰 구성품이다. 최근 들어 제작의 효율성이 요구되면서 점차적으로 모듈화가 이루어지고 있으며, 현재 철도차량에서도 의장품의 경우 모듈화를 지향하고 있다. 제작 효율성을 높이고자 하는 목표로서 모듈화를 이루고 있지만 국내 철도차량은 모듈이란 용어에 부합하는 모듈품을 적용하고 있지 못하고 있다. 왜냐하면 의장품의 크기가 큼에 따라 차체 한쪽으로 모듈품을 넣을 방법의 부재로 인하여 분해 후 재조립하는 방법으로 모듈품을 차량에 조립하고 있다. 이런 비효율적인 방법을 해결하고자 분리할 수 있는 Roof Structure 설계의 필요성이 계속적으로 대두되고 있다.

본 논문에서는 철도차량 차체 구성품 중 GM/RT 2100의 안정성 항목을 만족하는 분리할 수 있는 Roof Structure의 최적화 설계에 대해서 기술하고자 한다. 기본대상 모델은 현재 해외로 수출되어지는 디젤동차이며, 의장품 작업 시 모듈품이 분해 후 재조립되는 과정으로 제작된 차량이다.

* 책임자자 : (주)로템 기술연구소 연구원, 정희원
E-mail : suk7485@rotem.co.kr TEL : (031) 460-1872 FAX : (031) 460-1789
** (주)로템 기술연구소 책임연구원

2. Simplified model of the Roof structure

2-1. Mass production model

해외로 수출되어지는 디젤동차의 양산 모델이 Fig.1에 제시되어 있으며, Roof의 바깥쪽은 HVAC자리를 포함한 차량에 필요한 장치를 설치할 수 있도록 설계되었고 안쪽은 물탱크, 중천정 등의 의장 작업을 위하여 다수의 프레임들이 추가되어 있다. 하지만 이는 Roof Structure의 강도와는 무관하여, 강도와 무관한 프레임을 제외한 Roof Structure를 단순화 하여 모델을 재설계하였다. 단순화 모델은 Fig.2에 나타나 있으며, 분리형 구조의 성능을 확인하였다.

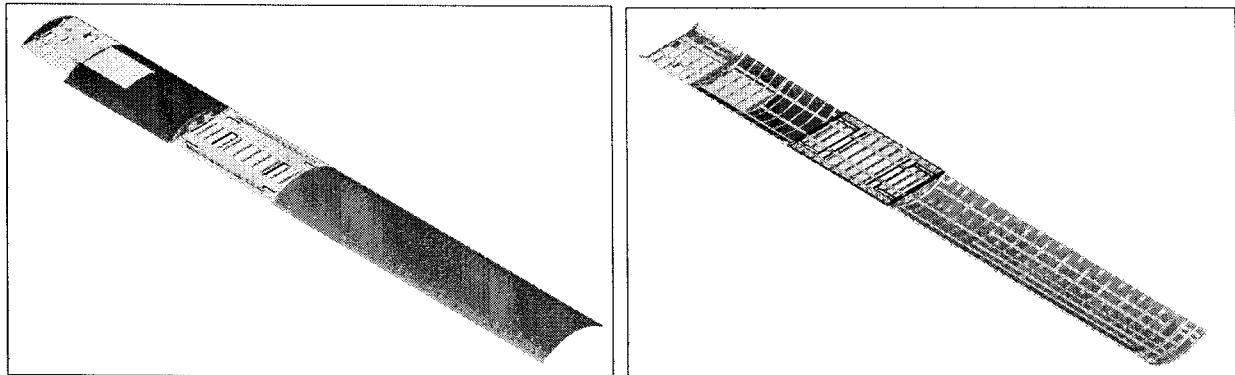


Fig.1 ISO VIEW of mass production model

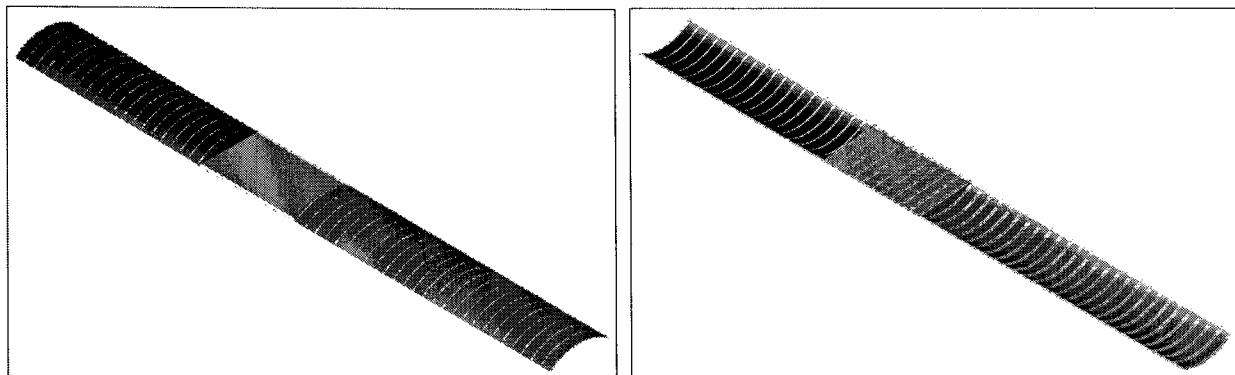


Fig.2 ISO VIEW of simplified model

양산 전에 차체는 충분한 안전성 검증을 하며, 검증으로는 수직하중, 수평하중, 비틀림 하중시험을 행한다. 현재 양산되는 차량은 모든 검증을 통과했으며, 이를 근거로 설계된 단순화 모델 또한 이와 유사한 결과를 가지고 있다는 가정을 한다.

GM/RT 2100에 규정된 Missile Protection은 CAB과 ROOF의 안전성 검증을 위함이며, Roof Structure는 이에 대한 사항만 만족한다면 안전하다는 가정을 한다. Missile Protection의 내용은 100kg Concrete cube를 3m높이에서 자유낙하 하였을 때 Roof Structure는 관통되지 않아야 한다. 현차 Roof는 Panel과 Frame의 조합이며, HVAC부위는 취약부로 분류하여 2mm의 두께를 적용하였다. 그 외의 부분은 0.8mm를 적용하였으며, 이때 재질은 SUS301L-ST였다. 현차는 충분한 강도를 유지하였고, 자유낙하 시 가장 취약할 것이라는 부분을 목표로 Missile Protection Test를 시행 하였다. 이는 분리형 Roof Structure의 검증을 한다고 하였을 때 결과에 크게 영향을 미치지 않으며, 또한 현차의 시험결과를 바탕으로 집중하중이 아닌 Roof Structure 전체의 등분포하중을 적용하여 진행 하였다.

2-2. Analysis of Simplified model

단순화 모델을 대상으로 한 구조해석을 수행한다. 이 때, 경계조건은 GM/RT 2100의 Missile Protection을 기준으로 3000N의 분포하중을 주었으며, Roof Structure의 4면을 모두 구속하였다. SUS301L-ST의 경우 항복강도는 690MPa이며, 결과 값은 446Mpa(Fig.3)로 현차는 충분한 강도를 가지고 있다.

Von Mises stress (nodal values),1

N_m2

4.46e+008
4.02e+008
3.57e+008
3.13e+008
2.68e+008
2.23e+008
1.79e+008
1.34e+008
8.96e+007
4.5e+007
3.81e+005
On Boundary

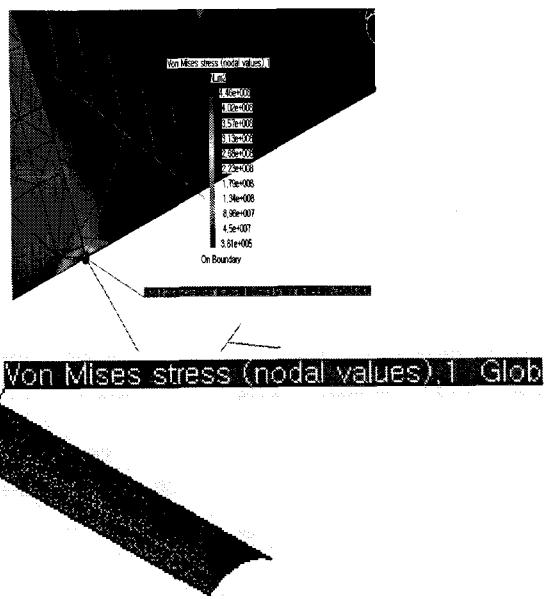


Fig.3 Von Mises stress of Simplified model

2-3. 분리형 Roof Structure model

분리형 Roof Structure model의 경우 HVAC부분의 Roof Structure를 분리하여 Bolting되는 구조로 설계되어 있다. Bolt의 수량과 사이즈는 요구되는 강도에 맞춰서 적용할 수 있으며, 일반적으로 사용되어지고 있는 M12x25(Fig.5) 64EA와 Cage-nut(Fig.4)를 사용한다.

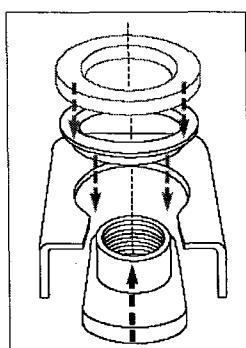


Fig.4 Cage Nut

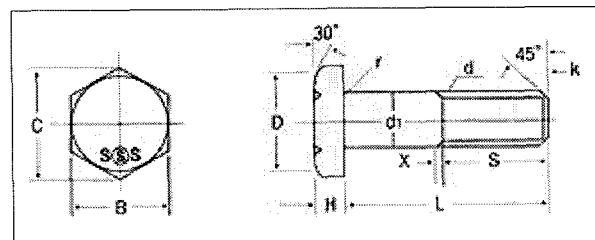


Fig.5 Hexagon Bolt

모델에서 가장 중요한 것은 볼트로 접합하는 것이 용접의 경우와 비교해서 몇%까지의 성능을 가질 수 있는가이며, 현재 전기기관차에 적용되고 있는 Roof Structure를 기본으로 설계되었으므로 분리형 Roof Structure의 타당성을 제시한다.

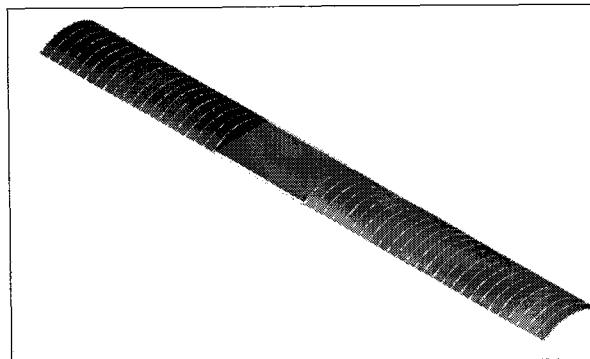
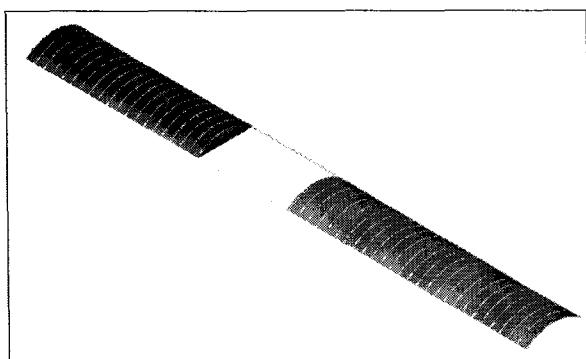
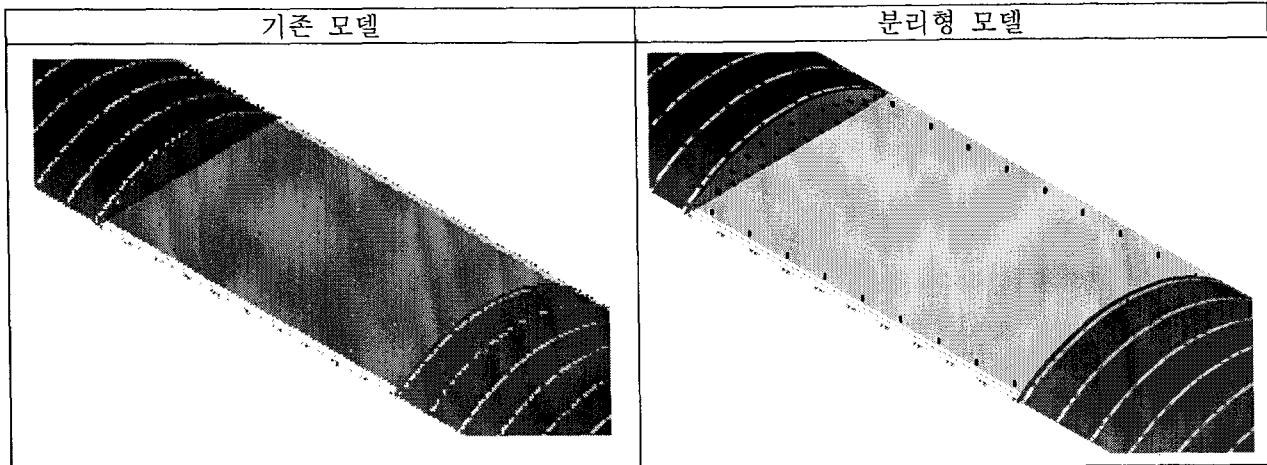


Fig. 6 분리형 Roof Structure Concept

2-4. 기존 모델과 분리형 모델의 비교



기존 모델과 분리형 모델은 외형상으로 변화가 없으며, 용접 접합을 이용한 부분에 있어, 볼트로 변경한 것을 대표할 수 있다. 최근 접합법이 다양화됨에 따라 적용할 수 있는 선택의 폭도 넓어지고 있다. 분리형 모델에서 정량적으로 결과 값을 도출하지는 못하였으나, 정성적으로 분리형 Roof Structure의 설계도 결과적으로 가능하다는 것을 확인하였다.

3. 모듈품 조립을 고려한 설계

3-1. 분리형 모델의 필요성

현차의 경우 용접으로 차체조립이 끝난 후, 차량 안쪽에 구성되어지는 의장품을 조립하는 프로세스를 고수하고 있다. 이에 대한 문제점으로는, 점차적으로 모듈화를 추구하는 현 시장에서, 차량에 장착하기 위한 제품 구매 시, 모듈품을 구매하고 다시 분해하여, 차량 안쪽으로 이동 후 재조립하는 추가적인 MH를 초래하게 된다. 보다 좋은 업무 효율을 위해 이런 문제점을 없애고자 분리형 Roof Structure의 필요성이 대두된 것이다. 분리형 모델의 장점은 모듈품을 구매 후 분해 없이 차량 안쪽으로 진입 후 설치가 가능하다. 이에 따라 금전적, 시간적 다방면으로 효율성을 가져올 수 있다. 현차에 적용되는 의장품이 Fig.7와 Fig.8에 있으며, 구매 시 모듈품으로 분류되어 있다. 하지만 차량 안쪽으로 이동하기 위해 분해가 불가피한 품목으로서, 현재 양산조차도 분해, 조립의 과정으로 조립되어 해외로 수출되어지고 있다.

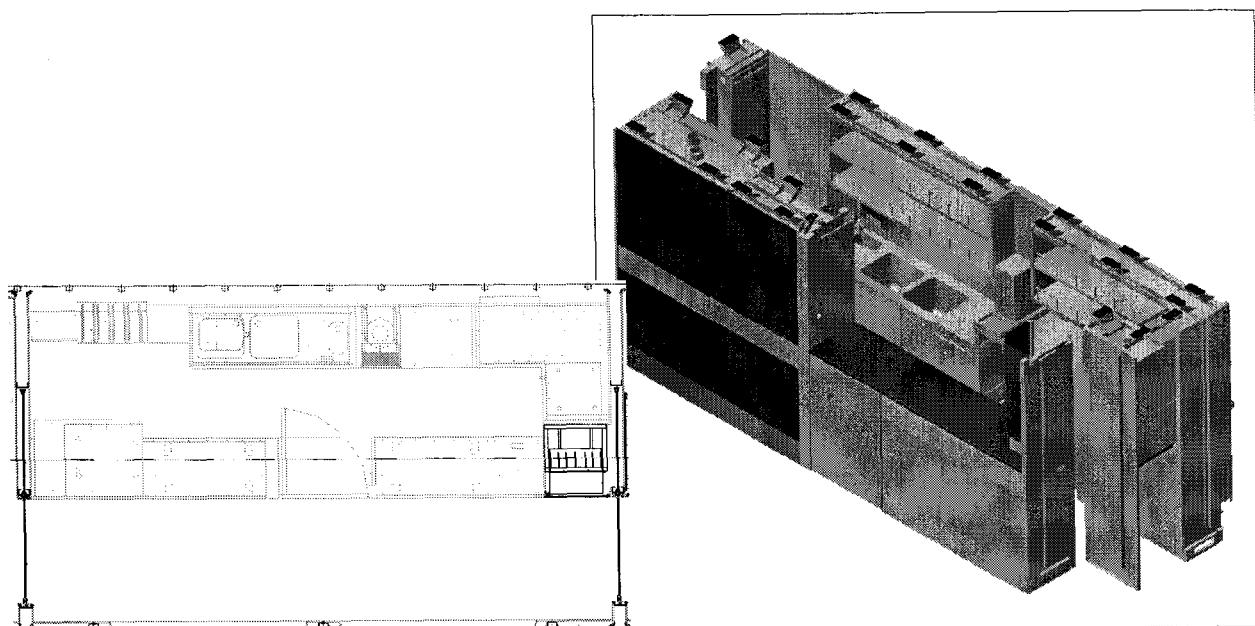


Fig.7 Catering module

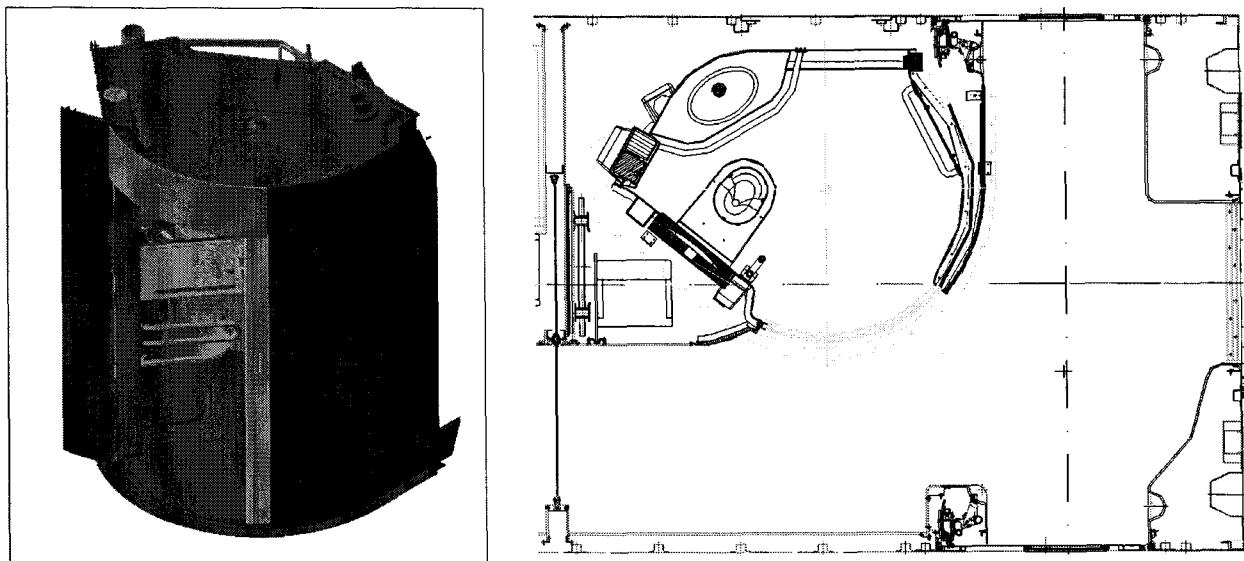


Fig.8 Toilet module

현차의 Catering module은 4910x1591x2070의 크기를 가지고 있으며, Toilet module은 2163x1950x2273의 크기로서 차체조립 후 차량 안쪽으로 들어갈 수가 없다. 분리형 Roof Structure의 경우, 현재 철도차량에서 적용하는 어떤 모듈품도 진입이 가능한 형태로 설계가 가능하다.

3-2. 분리형 Roof Structure의 기대효과

최근의 해외 철도차량 제작사는 차량하부에 있던 기기장치 부품들을 상부로 이동 설치하는 개념을 도입하였다. 분리가 가능한 Roof Structure의 구조로 설계된 전기기관차의 경우는 Roof Structure의 조립을 내측작업이 모두 끝난 후 마무리 작업에 순서를 두고 있다. 물론 EMU와 DMU의 차량은 전기기관차와는 구조적으로 틀리지만, 유사하게 적용 할 수 있을 것으로 기대된다. Fig.9는 해외 선진업체에서 적용하는 모듈화된 전기기관차의 형상을 나타낸다.

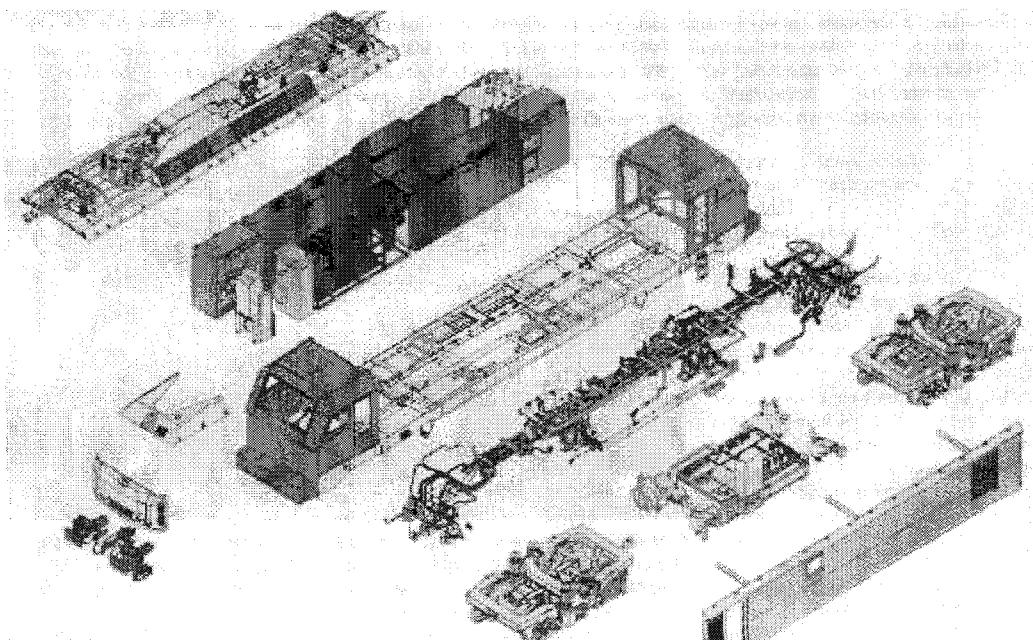


Fig.9 전기기관차 다이어그램

철도차량 의장품 설치와 분해를 위해 분리형 Roof Structure의 적용은 불가피하며, 현재는 철도차량이 운송수단으로만 인식되고 있으나, 향후 쇼핑의 공간이나 여가시간을 보낼 수 있는 공간으로 확대되어 진다면 차량 내부에 설치되어야 하는 품목들은 다양화 될 것이다. 현재 구조에서도 분리형 Roof Structure가 효율적인 점을 강조하며, 분리형 구조로 설계 될 경우 구조적으로는 문제가 없음을 확인했

다. 향후 모든 차량에 적용이 가능한 구조로 설계기법의 정립이 필요하며, 볼트뿐만 아니라 작업성을 충분히 고려하여, 효율적인 방법을 찾아야 할 것이다. 점차적으로 확대되고 있고, 확대의 장점을 가지고 있는 모듈품에 대한 효율적인 설치를 위해 꼭 적용되어야 할 부분이다. HVAC 또한 모듈품이므로 분리된 Roof Structure조차도 HVAC에 모듈화 될 수 있다는 부분도 언급한다.

4. 결론 및 향후 연구과제

본 논문에서는 분리형 Roof Structure를 적용하여 보다 효율적인 조립 프로세스를 찾는 방법을 중심으로 기술하였다. Roof Structure에서 중요시 되는 GM/RT 2100의 Missile protection에 대한 항목뿐만 더 가혹한 조건에서도 Roof Structure는 견딜 수 있도록 설계되어 있어 앞으로, 경량화와 작업효율성을 동시에 만족할 수 있는 설계가 가능할 것으로 기대된다. 그러나 차량의 운행상태에서는 차량 자체의 속력을 고려하고, 또한 언더프레임(Under Frame), 차측(Side), 단부(End)가 모두 조립된 경우 결과 값이 어떻게 달라지는지 검토해야 할 것이다. 향후 개선된 설계와 접합법을 적용하여 결과 값의 정확도와 경량화를 통해 좀 더 구체적인 설계기법을 정립해야 할 것이다. 또한 모듈화가 가속되어 짐에 따라 구조적 강도만을 위한 설계가 아닌, 전체 차량을 만들기 위한 설계기법을 선보야 할 것이다. 설계의 다양화에 따라 조립프로세스도 다양성을 가져야 할 것이며, 보다 효율성을 추구해야 할 것이다.

향후 연구과제로는 해석을 이용한 결과로는 작업성을 확인 할 수 없으므로, 작업성 확보를 위한 타당성 검토가 필요하다. 또한 기존 설계품을 이용하여 제한된 연구를 수행하였으므로, 향후 프로젝트에서는 설계초기에 분리형 Roof구조로 적용하는 연구가 필요하다고 판단된다.

참고문헌

1. 정종덕 외 4인, (2002),"도시철도차량의 스테인리스와 알루미늄 구조체 하중시험에 대한 안전성 평가 ", 2002년 한국철도학회 추계학술지, pp.126
2. Railway Group Standard, GM/RT 2100, (2000), "Structural Requirements for Railway Vehicles"
3. International Union of Railway, UIC 566 OR, "Loadings of Coach Bodies and their Components"
4. Federal Motor Vehicle Safety Standard 216, "Roof crush resistance"
5. KS R 1146, (2002), "천장 강도 시험 방법"
6. Railvolution(2006),"The Professional Two-Monthly Magazine Of Rail Transport Worldwide",Volume 7,pp31
7. (주)ROTEM, (2006), “아일랜드 전동차”
8. 연구 개발 기술 세미나 발표 자료집 (주)ROTEM