

구조적 성능 향상을 위한 철차 하부 지지틀의 고찰
The Review of Underframe Structure to Improving Structural Performance

최 원 호*
Choi, Won-Ho

김 운 호**
Kim, Woon-Ho

엄 경 수***
Eom, Kyung-Soo

ABSTRACT

Nowadays stronger rules are applied to rolling stocks because of improvement of standards and thoughts to safety. So the designing lightweight rolling stock underframe structure is required to these rules. This review is about underframe structure which satisfies the condition of AAR Longitudinal static compressive force 360 ton comparing with difference of the former underframe structure.

1. 서론

최근 철도차량의 안전에 대한 기준과 의식이 향상됨에 따라 좀 더 강화되고 엄격해진 규격이 적용되고 있다. 이에 대응하기 위해서 경량화 된 철도 차량의 UNDER FRAME 구조와 형상을 설계해야 한다. 본 고찰은 종래의 UNDER FRAME 구조와 달리 미국 철도 협회 규격인 AAR 수평 압축 하중 360TON의 큰 하중에도 충분히 견딜 수 있는 철도 차량의 UNDER FRAME 구조와 형상에 관한 고찰이다.

일반적으로 철도차량의 수평 압축하중의 크기는 수요처에서 요구하는 사양 및 적용 규격에 따라 그 기준을 달리한다. 국내의 경우 50~80톤, 유럽의 경우 통상 80~200톤인데 비해, 미국이나 일본의 경우 360톤을 적용한다. 최근 해외 철도차량에서는 안정성 측면의 규격이 더 엄격해지고 STAINLESS 재질을 써서 경량화를 추구하여 경제적으로도 이익이 되고 또한 더 강한 하중을 견딜 수 있는 차체 구조를 원하고 있다. 철도 차량의 압축하중의 기준도 다양해지기 때문에 지속적인 제작기술 개발 및 품질개선이 이루어져야 할 뿐 아니라, 국제적으로 인증되는 안전성 검증 체계를 통해 품질 확보에 만전을 기하여야 한다. 대체적으로 철도 차량의 하중 조건은 국내 보다 유럽의 기준이 더 높고 유럽보다 미주의 기준이 더 높게 적용 된다. 세계 각국의 다양한 철도차량의 기준을 소화해 낼 수 있는 기술을 국내 철도 차량도 보유하기 위하여 여러 하중 조건에 맞는 차체 구조를 설계하고 있다.

본 내용에서는 수평 압축 하중 부분에서 AAR(Association of American Railroads : 360TON) 규격의 큰 하중에서도 견딜 수 있는 UNDER FRAME의 구조를 살펴보고 국내 철도차량의 세계화 추세에 부응하기 위해서 국제 규격에도 충분히 대응할 수 있는 UNDER FRAME 구조의 형상의 설계와 기존 UNDER FRAME의 구조와 개선된 UNDER FRAME의 구조와의 차이를 고찰하고자 한다.

* 책임저자 : (주)로템 기술연구소 연구원, 비회원

** (주)로템 기술연구소 주임연구원

*** (주)로템 기술연구소 책임연구원

2. 본론

2-1. 철도 차량의 안전성

철도 차량은 지정된 궤도를 따라 운행하며 중앙제어가 가능 하므로 안전성이 자동차에 비해 매우 높다. 이전까지는 사고 방지가 주된 목적이었다. 그러나 열차의 고속화와 해석 장비의 발달에 따라 만일의 사태에 대비한 구조적 에너지 흡수에 대한 연구가 활발히 이루어지고 있다.

철도 차량이 자동차와 상이한 점은 다량의 열차편성에 따라 중량이 무겁다는 것과 평균 운동 속도가 고속이라는 점이다. 특히 고속철도의 경우에는 운동에너지가 승용차의 수천 배에 달한다. 기존의 UIC 나 AAR(360톤) 등의 규격에서는 충돌에 대한 조건을 “최소 압축하중 (150톤 또는 200톤) 이상에서 차에 영구변형이 없을 것 ” 이라고 규정함으로써 구조물의 강도와 강성을 증가시키는 방향으로 유도하고 있다. 이에 실제 충돌사고 자료를 바탕으로 하여 차체의 강성뿐 아니라 에너지 흡수 개념이 도입되고 있고 실제 적용하고 있다. 높은 압축하중에서도 국제 규격을 만족할 수 있는 구조를 설계하여 사전 에너지를 흡수하고 궁극적으로 충돌 시 차체가 변형하여, 운동 에너지를 흡수하되 승객은 손상을 입지 않도록 하는 것이다.

2-3, 철도차량의 구조 일반

차체는 UNDER FRAME, END FRAME, ROOF FRAME, SIDE FRAME 으로 크게 4가지의 큰 구조로 이루어진다. 4개의 FRAME 중 UNDER FRAME 의 하중과 강도를 지지 하는 비중은 차의 구조에 따라 약간의 차이는 있지만 70%이상이다. SIDE FRAME구조는 차량의 상하 하중(자중, 승객하중)을 우선적으로 부담하며, SIDE FRAME 등을 통해 전달되는 전후 충격하중, 차량의 하중 불균형 분포에 따른 비틀림 하중 등 각종 하중이 복합적으로 작용하여 강도적으로 매우 민감한 부위이다. ROOF FRAME은 위로 에어컨, 집전장치 등이 설치되는 것을 제외하면 하중에 대한 부담이 크지 않은 부위이다. END FRAME에는 차량과 차량을 통해 이동이 가능하도록 단부 출입문, 갱 웨이(Gangway) 및 다이어 프레임이 설치되며, 전동차의 운전 차의 경우에는 운전실이 차 단부 쪽에 위치하게 된다. UNDER FRAME 구조는 위로는 상 구조, 차 측, 단부구조의 토대를 제공하고 상 구조 및 차 측을 통해 전달되는 승객하중 및 차체하중을 지지하는 역할을 하며, 아래로는 대차의 피벗(Pivot)을 위한 기본 골조를 형성시켜 주는 역할 및 각종 상하기기 및 배관의 취부를 위한 골조 역할을 한다.

2-4, 기존 UNDER FRAME 구조와 향상된 UNDER FRAME 구조의 비교

1)기존 UNDER FRAME의 구조

Fig.1은 기존의 UNDER FRAME 구조를 도시한 도면으로서 부재는 ①SIDE SILL ⑦ CROSS BEAM ⑧ GUSSET으로 구성 되었으며 조립 방법은 부재간에는 SPOT 용접을 사용하며, 그 위에 ⑨ KEYSTONE PLATE를 올려놓고 ARC SPOT으로 용접 취부 하는 구조이다.

☞ 각 부분의 명칭은 다음과 같다.

① SIDE SILL ② INNER SIDE SILL ③ BODY BOLSTER ④ DRAFT SIL ⑤ END SILL ⑥ CENTER SILL ⑦CROSS BEAM ⑧ GUSSE⑨KEYSTONE PLATE ⑩CROSS BEARER ⑪ FLOOR PLATE

2) 수평 압축하중 360TON을 만족하는 UNDER FRAME 구조

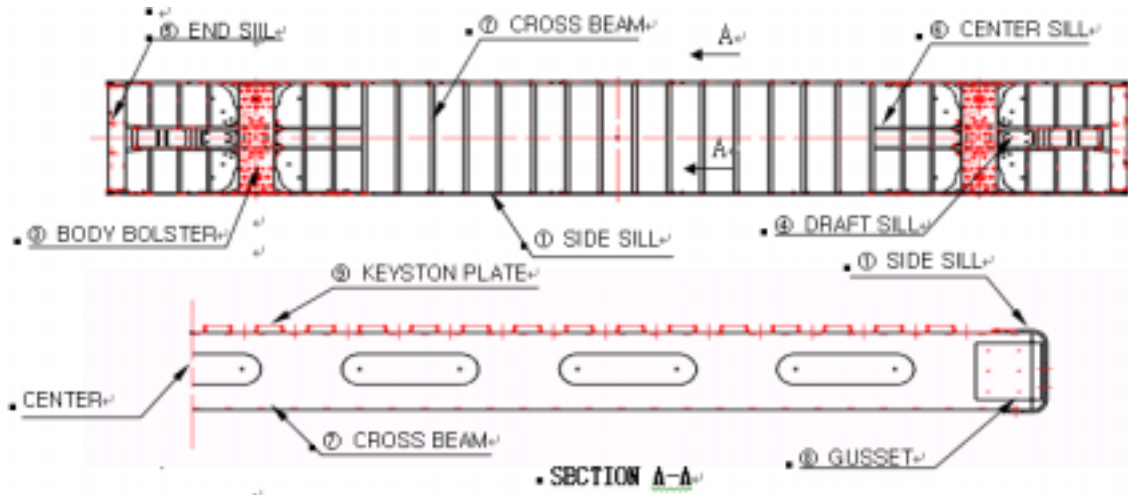


Fig.1. 기존의 UNDER FRAME 형상 및 조립 상태

fig.2는 수평 압축하중 360TON을 만족하는 UNDER FRAME 구조 및 형상을 나타내고 있다.

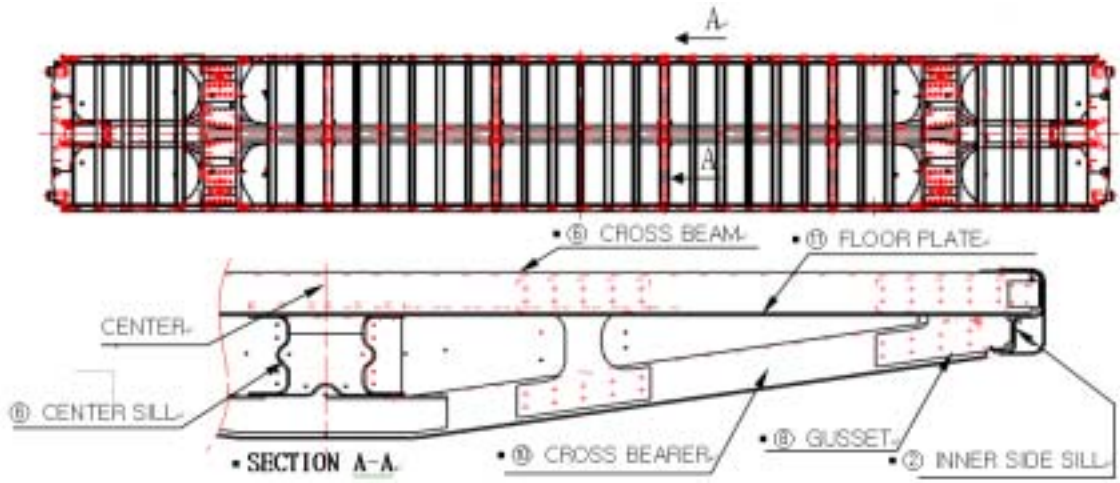


Fig.2 수평 압축하중 360TON을 만족하는 UNDER FRAME 구조 및 형상

2-5, 수평 압축하중 360TON을 만족하는 UNDER FRAME 구조 및 형상의 상세한 설명

수평 압축하중 360TON을 만족하는 UNDER FRAME 구조 및 형상은 종래의 구조와 달리 미국 철도 협회 규격인 AAR 수평 압축 하중 360TON 의 큰 하중에도 충분히 견딜 수 있는 철도 차량의 UNDER FRAME 구조이다.

1) 기존 UNDER FRAME 기술 및 현안

기존 전동차의 UNDER FRMAE은 ① SIDE SILL과 ⑦ CROSS BEAM 사이에 ⑧ GUSSET을 사용하여 SPOT용접한 후에 ⑨ KEYSTONE PLATE를 ⑦ CROSS BEAM 위에 올려 놓고 ARC SPOT하는 방식으로서, 이때 적용되는 수평 압축 하중은 통상 50~200톤 이하다. 그러나 미국, 남미 등 AAR 규격 360톤 이상의 수평 압축 하중을 요구하는 철도차량의 UNDER FRAME에는 종래의 구조로는 하중 조건을 충족시키기에는 어려움이 있다. 종래의 UNDER FRAME 구조 형상 으로는 수평 압축 하중360톤 이상의 큰 하중을 받는 철도 차량을 제작하기가 매우 어렵고 세계화 시장에 진출하기 위해서는 AAR 강도 기준에 만족하면서도 경량화 된 철도 차량용UNDER FRAME을 개발해야 했다.

2) 충돌 시 수평 압축하중 진행 방향 도시

차량 충돌 시 압축하중 진행 방향은 Fig.3 에서 나타내고 있는 것처럼, ⑤ END SILL → ④ DRAFT SILL → ③ BODY BOLSTER → ① SIDE SILL 및 ⑥ CENTER SILL 방향으로 전달된다. (U/F 재질은 STAINLESS 또는 MILD STEEL)

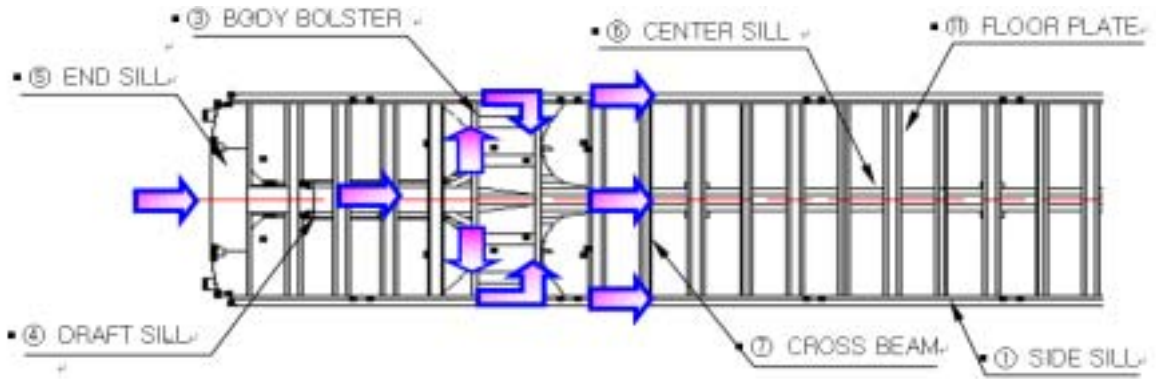


Fig.3 충돌 시 수평 압축 하중의 전달 경로

3) AAR 기준을 만족하는 UNDER FRAME 구조의 조립 방법

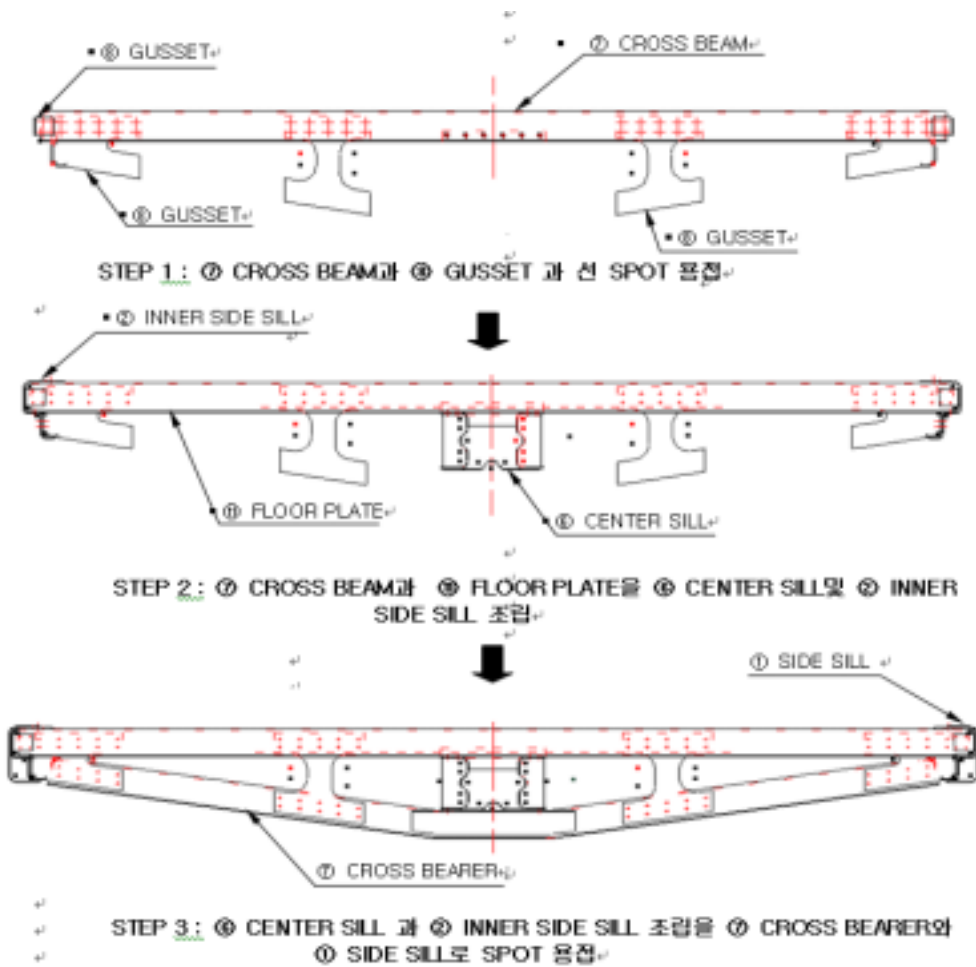

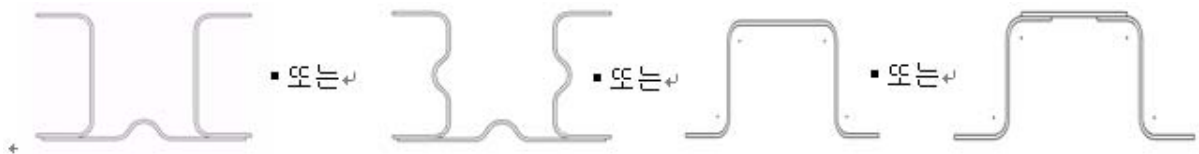


Fig.4 AAR기준을 만족하는 UNDER FRAME의 조립 방법

4) AAR 기준을 만족하는 UNDER FRAME 구조의 특징

(1) ① SIDE SILL이 이중형의 구조로서 ② INNER SIDE SILL이  형상을 가지고 있다.

(2) ⑥ CENTER SILL 형상의 도시



(3) ① SIDE SILL과 ⑥ CENTER SILL을 지지하는 ⑦ CROSS BEARER을 가진다.

2-5, 해석모델(I-dears)을 이용한 비교

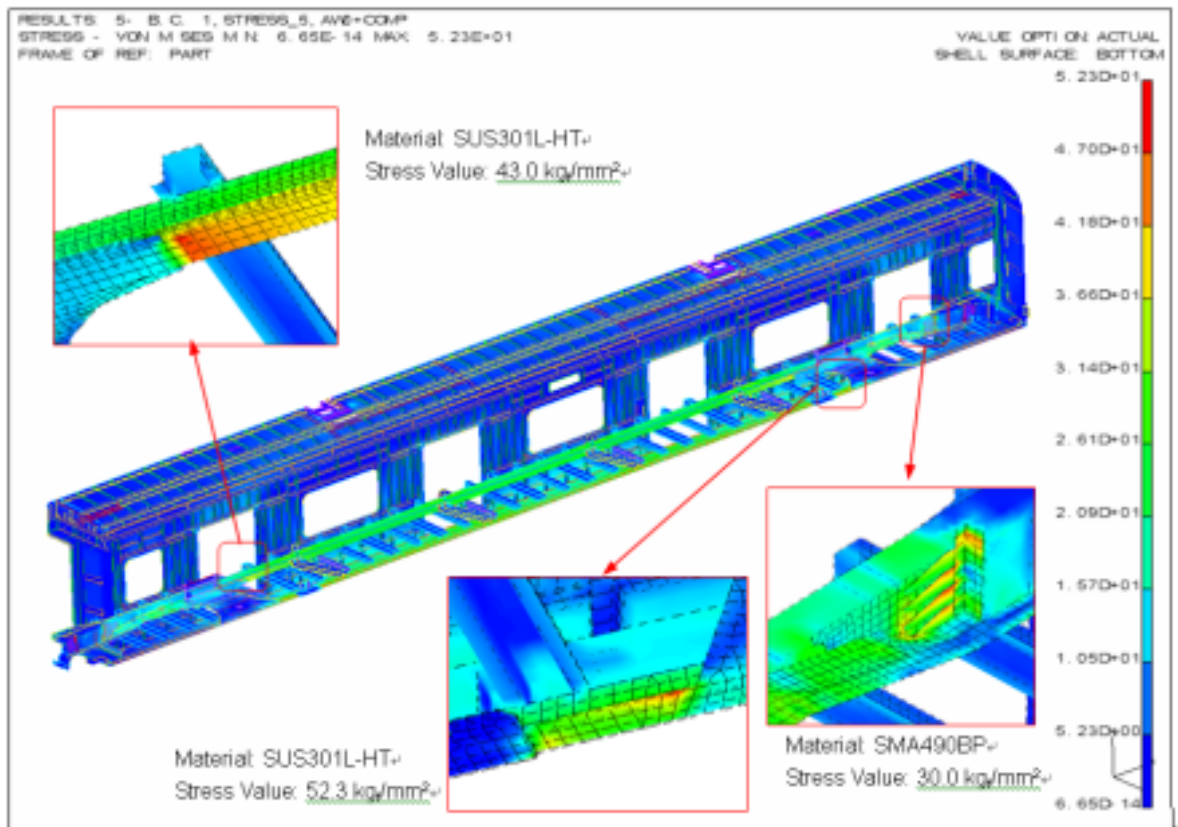


Fig.5 AAR 기준을 만족하는 UNDER FRAME에 360TON 하중을 가한 해석 모델

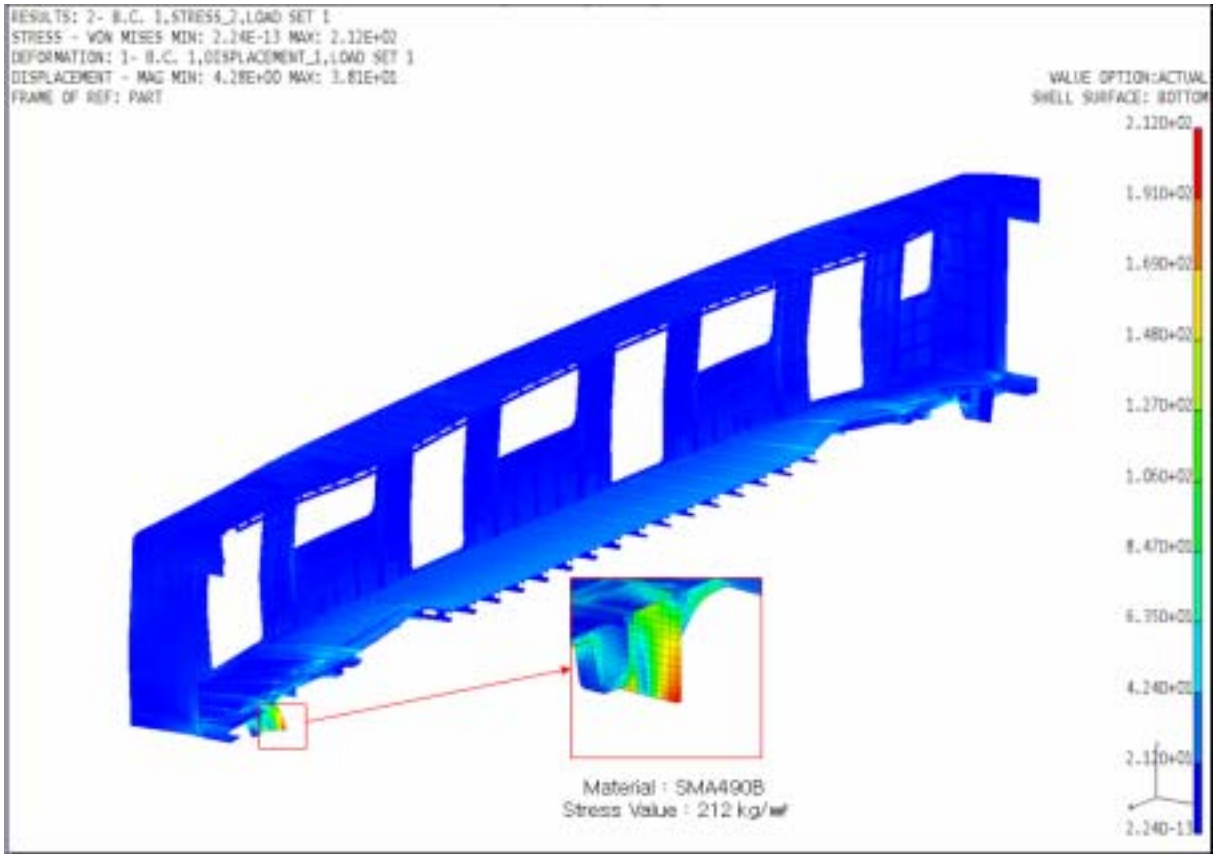


Fig.6 기존 철도 차량의 UNDER FRAME에 360TON 하중을 가한 해석 모델

Fig.6에서 보듯이 기존 철도 차량의 UNDER FRAME에 360TON 하중을 가한 UNDER FRAME은 360TON의 하중을 버티지 못하고 재료의 허용 응력도 벗어나 차량의 비틀림 현상이 나타난다. 하지만 Fig.5의 AAR 기준을 만족하는 UNDER FRAME은 360TON의 하중을 충분히 흡수하고 있다.

3.결론

UNDER FRAME중에서 수평 압축하중을 가장 많이 받는 부분이 센터 실이다. 기존의 UNDER FRAME은 중앙으로 길게 지나가는 센터 실이 없었다. 또한 사이드 실의 경우 종전의 사이드 실은 단순한 “C” 자형으로서 이사이에 크로스 빔을 조립하는 구조인데 비하여 360톤용 사이드 실은 “C” 와 “L” 이 일체로 결합된 특수한 형상의 이중 사이드 실을 갖는 구조이다. 그리고 센터 실과 사이드 실을 적당한 간격으로 연결하여 수평 압축하중 360톤 하중을 UNDER FRAME에 고루 분산 시키는 크로스 베어링이 추가로 설치된 구조이다.

기존의 UNDER FRAME구조는 UNDER FRAME의 수평 압축 방향(길이방향)의 하중을 사이드 실이 모두 감당해야 하므로 종전의 크기로 제작할 경우 UNDER FRAME이 파손될 우려가 높다. 따라서 큰 하중에 충분히 견디기 위해서는 사이드 실크기가 매우 커져야하는데 이 경우 재료의 두께 제약이 있고 사이드 실과 각종 크로스 빔들의 조립 구조로 볼 때 크기나 구조가 복잡해질 경우 롤 포밍(압출)에 의한 제작이 매우 어렵다.

하지만 새로운 구조의 UNDER FRAME을 설계함으로써 국제적 규격(AAR)을 만족할 수 있었고 세계적 수준의 철도 차량 기술을 확보 할 수 있었다.

참고 문헌

1. 현대정공 기술 논문집
2. 연구 개발 기술 세미나 발표 자료집 (주)ROTEM
3. AAR(Association of American Railroads)
4. (UIC 566)International Union of Railway
5. (주)ROTEM, (2005), “브라질 센트랄 전동차”