# 고속화차용 용접대차의 구조강도해석

# The structural analysis of bogie for high speed freight car

황원주* 함영삼** 권성태** 허현무** 전웅식*

Hwang, Won-Ju Haam, Young-Sam Kwon, Sung-Tae Hur, Hyun-Moo Chun, Eung-Sik

**ABSTRACT**

Barber bogie and Y25 bogie is the main bogie of freight car which is used in the Korean railway. In case of Barber bogie and a mixed formation the maximum speed limit of empty car is 70 ㎞/h and that of loaded car is 90 ㎞/h, and also it runs a speed of 110 ㎞/h in time of an exclusive formation of Y25 bogie. The car named as high speed freight car at present is Y25 bogie which modeled on the Y25 bogie or Europe developed in 1993. Y25 bogie has no problem about the running capacity up to the speed of 110 ㎞/h, but it works as limiting factors to the increasing cost of maintenance and repair expenses which caused by repair of bogie and the cost of materials. This study is going to describe the contents examined by analysis and tests, aimed at being used as an index of plan in the future through the strength test of high speed freight car which is used now.

Keywords : high speed freight car, Y25 bogie, Barber bogie

## 1. 서론

한국철도에서 사용되고 있는 화차용 대차는 Barber 대차와 용접구조 대차가 주종을 이루고 있는데 이들의 제한최고속도는 Barber 대차와 혼합편성시는 공차가 70km/h, 영차가 90km/h이고 용접대차 전용편성시는 110km/h로 운행하고 있다. 현재 고속화차라고 부르고 있는 차량은 유럽의 Y25 대차(Bogie)를 기본으로 한 용접구조형 대차로서 1993년에 개발된 것인데 110km/h까지의 주행성능에는 문제가 없으나 대차의 분해검수에 투입되는 검수인공과 페데스탈 방식의 축상 마찰마모부 재료비 등으로 인한 유지보수비용 증가가 검수 및 속도향상의 제한요소로 작용하고 있다. 본 연구에서는 현재 사용하고 있는 고속화차용 대차 후레임의 강도를 평가하여 향후의 설계지표로 활용하고자 이론해석과 실차시험을 통하여 검토한 내용에 대하여 기술하고자 한다.

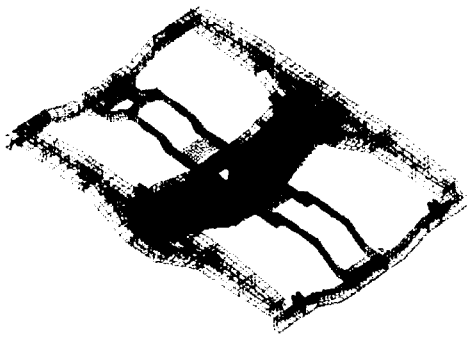

Fig. 1 대차 프레임 유한요소 모델(full model)

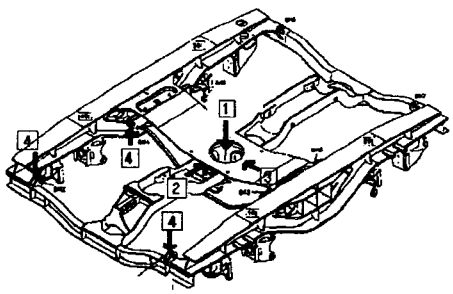

Fig. 2 Case별 하중 작용위치

* 한국철도기술연구원 차량연구본부 연구원

** 한국철도기술연구원 차량연구본부 선임연구원

## 2. 대차프레임 구조해석

### 2.1 개요

대차는 차체의 하중을 지지하고, 여객 및 열차의 안전, 주행성능 및 승차감에 지대한 영향을 미치는 핵심 구조 부품이다. 우리나라에서도 늦은 감은 있지만 화물 열차의 고속화를 위하여 1991년부터 1993년까지 유럽의 Y25 대차를 기본으로 하는 고속화차용 용접대차를 제작하여 130㎞/h 속도까지의 주행성능시험을 실시하고 실용화하고 있다. 이러한 시점에서 고속화차의 향후 설계지표로 활용하기 위한 기초자료로 사용하고자 고속화차용 대차중에서 Y25 대차 프레임을 대상으로 하여 유한요소 해석을 수행하였다.

대차프레임의 유한요소 모형에는 shell 요소를 사용하였고, 해석에 있어서 모든 하중 조건에 대해 half 모델로 해석하였다. 여기서 사용한 해석 코드(code)는 NISA II Ver. 8.0 이다. 11445개의 절점(node)과 11120개의 요소(element)가 사용되었다. Fig. 1은 용접대차 프레임 유한요소 모델을 나타내고 있다.

### 2.2 하중조건

본 Y25대차의 설계최대중량은 전체 74,500kg이다. 하지만 시험에 사용된 Y25 용접대차에 적용된 중량은 차체가 7300kg, 대차가 9200kg, 적재용량이 19700kg으로 전체중량이 36200kg이다. Table 1에 정적해석하중조건이 나타나 있다. 수직정하중은 차축에 실리는 하중이며, 수직동하중은 상하진동에 의한 동적 효과 0.4를 고려한 하중이다. 전후하중은 전후방향의 진동을 고려하여 수직 정하중의 40%이며, 좌우하중은 주행중 좌우진동에 의해 발생되는 하중으로 수직 정하중의 40%이다. 제동하중은 브레이크 슈와 휠사이의 마찰력과 제동압부력에 의해서 발생하는 하중이다. Fig. 2는 하중 작용위치의 그림이다.

Table 1. 하중조건

| Load Case | 하중이름 | | 작용하중(kg) | 비고 | 작용위치 |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 수직 정하중 | **시험하중** | **9,050** | 전체중량/4 (half model) | ① |
| | | 설계최대하중 | 18,625 | | |
| 2 | 수직 동하중 | **시험하중** | **12,670** | 정하중×1.4 | ① |
| | | 설계최대하중 | 26,075 | | |
| 3 | 복합하중 | **시험하중** | **$A_1$** | **수직방향(12670), 전면방향(3620)** | ①,② |
| | | 설계최대하중 | $A_2$ | 수직방향(26075), 전면방향(7450) | |
| 4 | 복합하중 | **시험하중** | **$B_1$** | **수직방향(12670), 좌측방향(3620)** | ①,③ |
| | | 설계최대하중 | $B_2$ | 수직방향(26075), 좌측방향(7450) | |
| 5 | 제동하중 | | 2875.2 | 브라켓에 작용하는 힘 | ④ |

### 2.3 경계조건

직교좌표계를 사용하여 대차 프레임의 길이, 폭, 수직방향을 x, y, z축으로 설정하였다. 반모델(half model)이기 때문에 대칭 경계조건을 사용하였다. 그리고, 대차프레임의 1차 현수장치 위치를 x방향으로만 변위가 있게 하였다. Case 1,2의 경우 볼스터의 center pivot 위치에 하중을 가했다. Case 3에서 전면방향 하중은 볼스터의 센터피봇의 전면에, case 4에서 좌측면 방향 하중은 좌측면에 하중을 가했다. Case 5는 힘이 전달되는 제동 브라켓에 하중을 가한다.

### 2.4 재질의 기계적 성질

대차프레임은 크게 사이드프레임(side frame), 센터빔(center beam), 볼스터(bolster)와 트랜섬(transom), 엔드빔(end beam)등으로 구성되어 있다. 사이드프레임, 볼스터, 트랜섬, 엔드빔은 SWS490A로 센터빔, 제동브라켓은 SS400으로 되어 있다. Table 2은 재질의 기계적 성질을 나타내고 있다.

Table 2. 재질의 기계적 성질

| 번호 | 재 질 | 항복강도 | 인장강도 | 포와송비 | 영 계수 (Young's modulus) |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 | SWS490A | 33 | 50 | 0.3 | $2.1\times10^4$ |
| 2 | SS400 | 25 | 41 | 0.3 | $2.1\times10^4$ |

2.5 해석 결과

Fig.3~Fig.8은 해석결과를 나타내고 있다. case1,2,3,4의 경우 최대응력이 볼스터의 스티프너에서 발생함을 확인할수 있다. 여기서, 최대응력은 항복응력안에 있어 충분히 안정된 것으로 판단된다. case5의 경우 브레이크 행거 브라켓에 최대응력이 발생하였다.

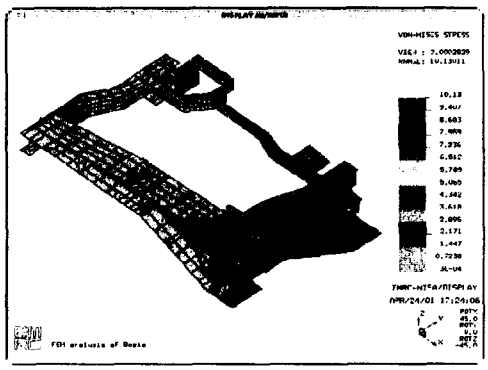

Fig. 3 Case 2에 대한 응력분포(half model)

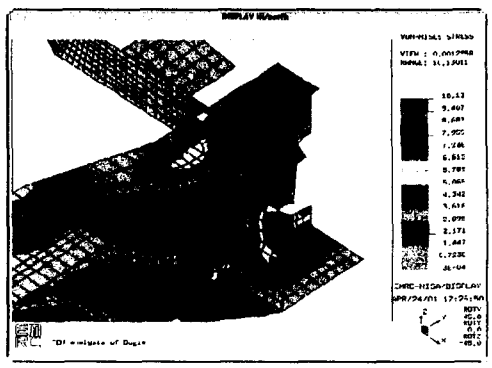

Fig. 4 Case 2에 대한 최대응력 확대

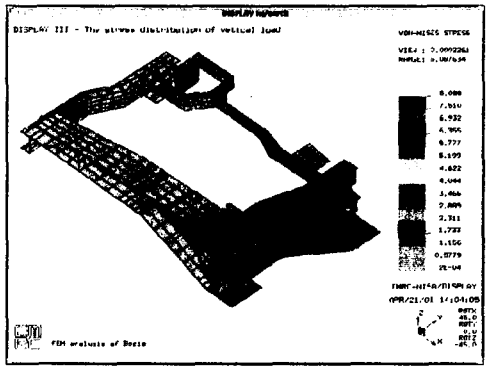

Fig. 5 Case 4에 대한 응력 분포(half model)

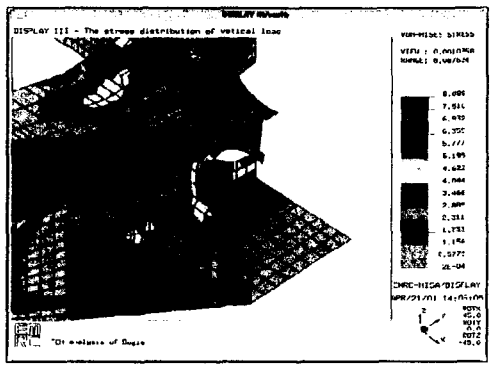

Fig. 6 Case 4에 대한 최대응력 확대

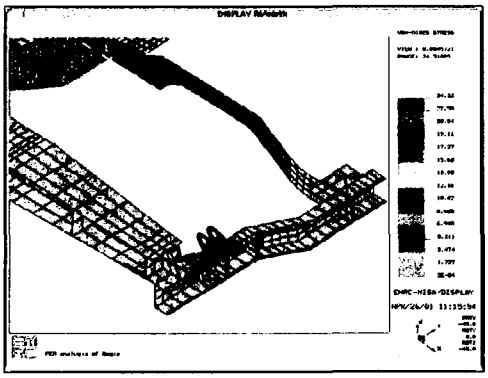

Fig. 7 Case 5에 대한 응력 분포

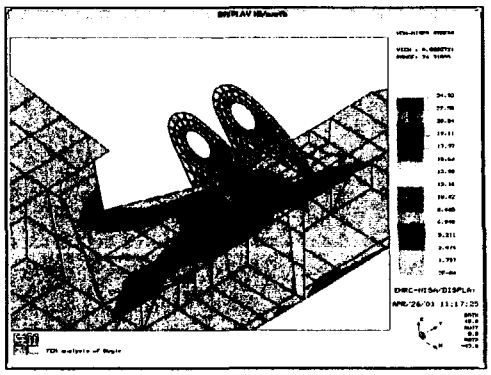

Fig. 8 응력 집중부분 확대(brake hanger braket)

해석결과를 정리하면 Table 3과 같다.

Table 3. 해석결과 정리

| Load Case | 작용하중 (kg) | 최대응력 (kg/㎟) | 안전율 | 최대응력 발생부위 |
|---|---|---|---|---|
| 1 | **9,050** | 7.2 | **4.58** | 볼스터의 Stiffner |
| | 18,625 | 14.9 | 2.21 | |
| 2 | **12,670** | **10.1** | **3.26** | 볼스터의 Stiffner |
| | 26,075 | 20.8 | 1.58 | |
| 3 | **$A_1$** | **10.4** | **3.1** | 볼스터의 Stiffner |
| | $A_2$ | 21.45 | 1.53 | |
| 4 | **$B_1$** | **11.6** | **2.8** | 볼스터의 Stiffner |
| | $B_2$ | 25.98 | 1.27 | |
| 5 | 2875.2 | 24.34 | 1.03 | 브라켓(brake hanger braket) |

### 3. 하중시험

주행중에 발생하는 실동응력(service stress)의 측정이 필요하므로 실차시험을 하였다. 해석을 통해 취약부위를 선정하고, 스트레인 게이지를 부착하여 측정하였다. 시험에 적용된 대차의 실제 사진과 게이지 부착위치는 Fig. 9, 10에 나타내었다. 실차 시험은 경부선의 삼랑진-사상 구간에서 최

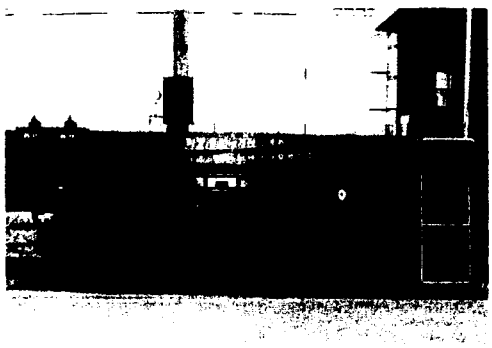

Fig. 9 시험에 적용된 Y25 대차의 실제 모습

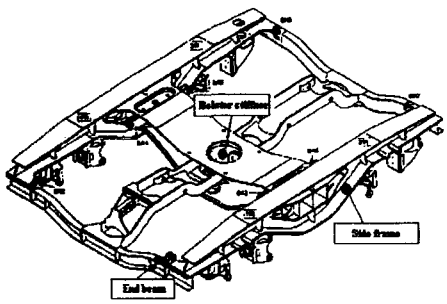


Fig. 10 게이지 부착 위치

고속도 100～130km/h로 영·공차 각각 2왕복을 주행하여 변형률을 측정하였다. 변형률을 측정하기 위한 strain gage의 부착위치는 앞서 해석에 근거하여 응력집중 부위인 bolster와 트랜섬이 연결되는 스티프너(stiffness)의 안쪽 구멍부분과 브레이크 행어 브라켓(brake hanger braket)이 있는 엔드빔, 그리고 사이드 프레임에 부착하였다. Case 1과 같은 조건으로 시험한 결과 볼스터에서의 스티프너에서의 변형률이 255 $\mu\varepsilon$의 값이 나왔다. 이는 응력으로 환산하였을 때 약 5.35 kg/㎟으로 해석 결과와 비교하여 보면 동일조건에서 해석응력이 시험응력결과 보다 11%정도 크게 나왔음을 알 수 있었다.

## 4. 결론

고속화차용 Y25 대차프레임의 구조해석 및 시험을 통하여 다음과 같은 결과를 얻었다.

(1) 고속화차 대차 프레임의 구조해석 결과 case 1,2,3,4에서 모두 볼스터의 스티프너에서 최대응력이 발생하였으며, case5의 경우 브레이크 행거 브라켓에서 발생하였다. 각각 최대응력은 재질의 허용응력 범위안에서 발생하였다.

(2) 수직 정하중 해석과 수직방향 하중시험의 볼스터 취약부위에서 전후방향 응력값은 11%정도 해석결과값이 크게 나옴을 확인할수 있었으며, 이 경우에 Von-Mises 최대응력은 허용응력보다 작았고 안전율이 약 4.58 이었다.

(3) 설계최대 하중시에도 최대응력(Von-Misses)이 해석 하중조건에 대해 허용응력 안에서 발생하였다.

## 참고문헌


1. 함영삼외, "고속화차 개발사양 제시 및 핵심장치 개발(1단계)", KRRI 연구00-46, pp1～17, 2000
2. 최경진외, "철도차량의 제동성능 향상에 관한 연구", 철도청, pp61～69, 1996.8
3. 이상록외, "다축하중을 받는 대차프레임의 피로해석에 관한 연구", 한국철도학회논문, pp330～337, 2000.
4. 박기준외, "표준전동차 대차틀 피로강도평가(Ⅰ)", 한국철도학회논문집, 제 3권, 제3호, KSR 0007, pp170～177,2000
5. 홍용기외, "종합안전진단기법 및 방재 시스템에 관한 연구", 1차년도 보고서, 철도청, pp51～91, 1995. 12
6. 현대정공주식회사, "고속화차 대차프레임 구조해석 보고서", 승인기술자료
7. Center for Engineering and Computer Technology, "NISA Ⅱ User's manual", Vol. Ⅰ, EMRC
8. Center for Engineering and Computer Technology, "DisplayⅢ User's manual", Vol. Ⅰ, EMRC
9. Center for Engineering and Computer Technology, "DisplayⅢ User's manual", Vol. Ⅱ, EMRC0