

# 화차용 용접구조대차 엔드빔의 하중이력 측정

## Load history measurement of end beam of welded structure bogie for railway freight car

함영삼\*                      서정원\*\*                      이동형\*\*                      전용식\*\*\*  
Ham, Young-Sam      Seo, Jung-Won      Lee, Dong-Hyong      Jeon, Eung-Sik

---

### ABSTRACT

Among welded structure bogies in use for high speed freight car, a part of bogies manufactured in 1999 and 2000 have found problems that failure occurs in its end beam. In case of a freight car a difference of weight between empty and loading conditions are worse than in case of a passenger car. Moreover its brake system is tread brake without second suspension system. A failure of end beam is supposed to be due to loading by brake rather than vertical loading by freight. This failure can make brake system useless and may be a cause of derailment in the worst case.

In this study, in order to be proved the cause of failure and to solve the problem it is described that we have measured load history acted on end beam and set up the procedures.

---

### 1. 서론

대차는 철도차량에서 차륜과 차체를 연결시키는 장치로서 차량의 안전운행과 주행성능에 지대한 영향을 미치는 핵심 부품이다. 대차는 크게 대차 프레임, 현가장치, 제동장치, 윤축으로 구성되어 있고 정적 및 동적 하중이 복잡하게 작용하고 있으므로 실제 설계시 구조강도 해석 외에도 실제 운용하중 측정, 정하중 시험, 피로시험, 실차주행시험 등 다양한 시험 및 성능평가가 요구되고 있다.

현재 운행중인 고속화차용 용접구조대차 가운데 1999년과 2000년에 제작된 일부 대차가 Fig. 1 과 같은 위치의 End beam에서 균열이 발생하고 있어 안전운행에 지장을 초래하고 있다. 화차의 경우 객차에 비하여 영/공차의 하중차가 크고 하중조건 또한 열악하며, 대차의 구조 역시 일반 객차와는 달리 2차 현가장치가 없이 답면제동을 사용하고 있다. End Beam의 균열은 화물의 직접적인 하중인 수직하중보다는 제동부품하중의 영향인 것으로 추정되고 있는데, 이러한 End Beam의 파손은 제동장치의 작동을 불가능하게 하며 최악의 경우에는 탈선의 원인이 될 수도 있다.

본 논문에서는 균열발생의 원인을 규명하고 이에 대한 보완대책을 수립하기 위하여 End Beam에 작용하는 하중이력을 측정하는 방법과 절차에 대하여 기술하고자 한다.

---

\* 한국철도기술연구원 차량기계연구본부 책임연구원, 정회원  
\*\* 한국철도기술연구원 차량기계연구본부 선임연구원, 정회원  
\*\*\*한국철도기술연구원 차량기계연구본부 연구원, 비회원

## 2. 엔드빔 균열발생현황

### 2.1 발생통계

엔드빔의 균열발생현황을 2003년 6월까지 제천차량사무소의 통계로 보면 Table 1에서 보는 바와 같이 무개화차에서 주로 발생하고 있으며, 선로상태가 양호한 경부선과 호남선보다는 곡선과 구배가 많은 영동선과 태백선을 운행하는 차량들에서 주로 발생하고 있다. 연도별 발생량을 살펴보면 2002년에는 제동장치와 무관한 것으로 나타났으나, 2003년에는 P4a 제동장치를 채택한 차량에서 많이 발생하는 것으로 나타났는데 영차조건에서의 제동력이 KRF 제동장치보다 P4a 제동장치가 높은 것도 하나의 원인으로 예상할 수 있다.

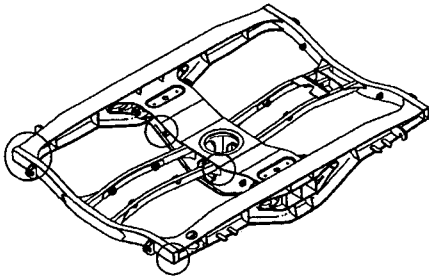


Fig. 1 대차프레임의 균열발생위치

Table 1 엔드빔의 균열발생현황

발생년도	차종	량수	제동형식	
			P4a	KRF-3
2002	무개차	55	40	15
	평판차	1	1	-
2003	무개차	14	13	1
계		70	54	16

### 2.2 균열현상

Fig. 2 ~ 5와 같이 균열이 발생한 엔드빔에 대하여 보강작업을 실시하였으나 문제가 완전히 해결되지 않고 재균열이 발생하고 있다.

## 3. 대차프레임 강도검토

### 3.1 구조해석결과

한국철도학회 2003년도 추계학술대회 차량기계(피로구조해석)세션의 “화차대차용 비틀림 흡수구조형 제륜자 홀더행거의 적용을 위한 유한요소해석” 결과를 보면 대차의 모든 Model이 정적 구조강도가 허용응력에 대해 충분히 안전하다고 할 수 있다. 행거브라켓 주변에 짧은 보강판을 부착한 Model보다 End Beam 전체에 보강판을 부착한 Model이 구조적으로 안전하며, End Beam 전체에 보강판을 부착한 Model보다는 End Beam을 Side Frame의 하부가 아닌 끝단에 직접 연결한 Model이 더 안전한 구조인 것을 볼 수 있다.

아울러 Center Beam과 Bolster의 연결부위도 제작과정에서 발생할 수 있는 용접불량 등의 문제가 없다면 모든 Model이 구조적으로 안전하다고 볼 수 있다.

### 3.2 정하중시험

구조해석결과를 근거로 제작된 시제품 대차 프레임에 대하여 정하중시험을 실시하였다. 게이지 부착위치 선정, 그라인딩, 게이지 부착 등의 준비작업을 거쳐 하중시험을 수행하였는데, 하중시험 방법은 JIS E 4208(철도 차량용 대차의 하중시험 방법)에 의거하면서 하중조건은 최대한 가혹한 조건을 채택하였다. 시험결과를 요약하면 다음과 같다.(고속화차용 용접대차 프레임 개선모델의

강도평가, 한국철도학회 추계학술대회 논문집, pp. 235~239, 2001. 10)

- (1) 시험 결과에 의한 합성응력의 최대치는 Bolster 내부 Stiffener에서 발생하였으며, 이는 재료의 허용응력 범위와 피로내구한도를 만족한다.
- (2) 응력 한계도에서 대차 프레임의 모든 부위가 충분한 피로강도를 갖고 있음을 알 수 있다.
- (3) 가혹한 하중조건시험 결과로부터 End Beam의 Hanger Bracket 부위는 다른 부위에 비해 상대적으로 다소 취약함을 알 수 있었다.
- (4) 제동부품하중과 같이 Hanger Bracket에 직접 가해지는 하중이 End Beam에 가장 큰 영향을 미치고 있음을 알 수 있다.

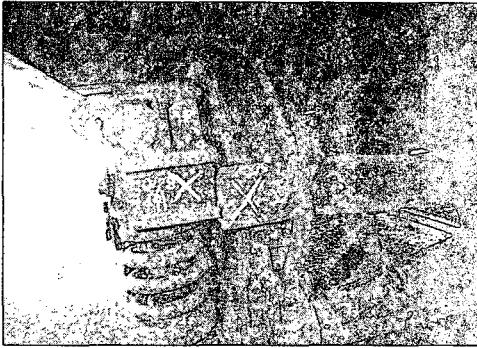


Fig. 2 50178호 엔드빔 균열

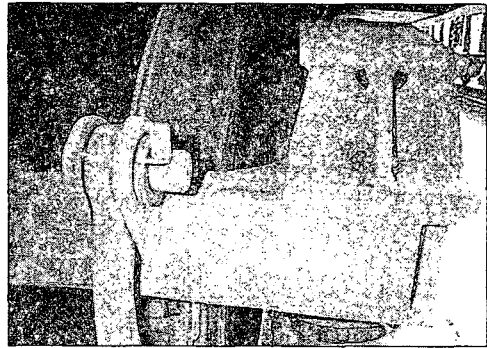


Fig. 3 엔드빔 1차 보강(브라켓 외측)

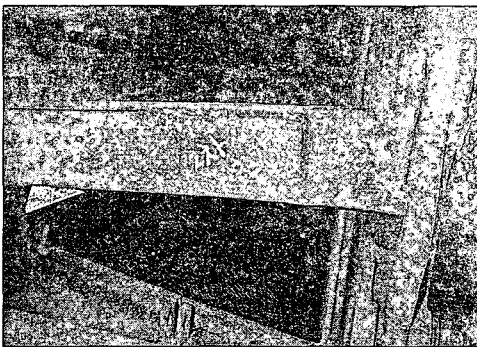


Fig. 4 엔드빔 2차 보강(브라켓 내측)



Fig. 5 사이드후레임 연결부 모서리 보강

#### 4. 엔드빔의 하중이력 측정

##### 4.1 하중측정센서

End Beam에 전달되는 하중을 측정하기 위해 Holder Hanger에 Strain Gauge를 부착하여 Full Bridge 회로를 구성하였으며, 수직방향과 수평방향의 하중을 측정할 수 있도록 각 면에 2개씩, 총 8개의 Gauge를 부착하였다.

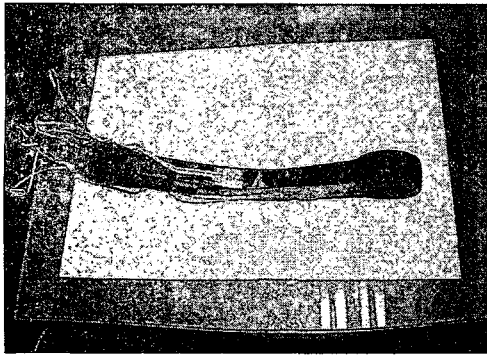


Fig. 6 압축하중 측정용 수직방향 게이지

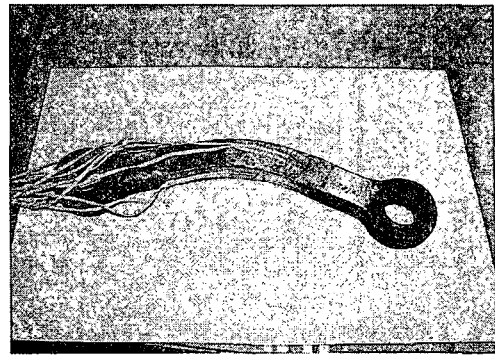


Fig. 7 굽힘하중 측정용 수평방향 게이지

#### 4.2 하중시험

Calibration을 위하여 End Beam에 Holder Hanger를 장착하고 수직압축하중과 비틀림을 가당한 굽힘하중시험을 실시하였다.

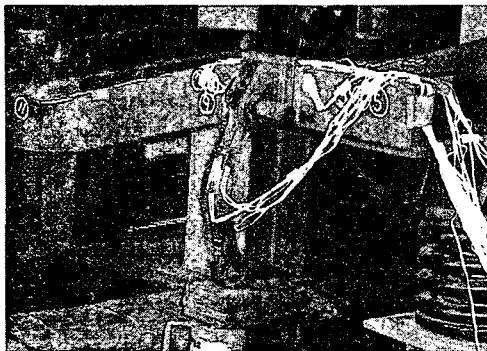


Fig. 8 수직압축하중시험

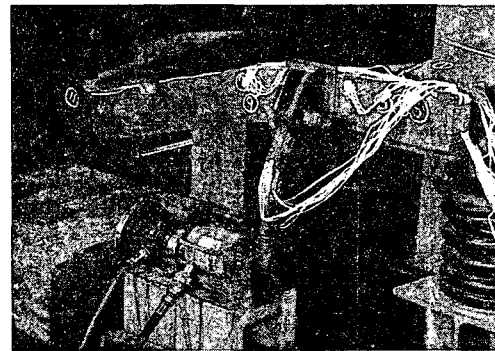


Fig. 9 굽힘하중시험

#### 4.3 하중측정 Calibration 결과

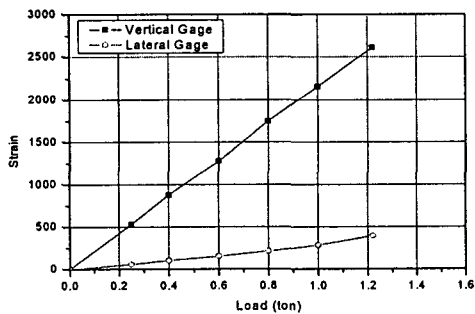


Fig. 10 수직하중시험 결과(Left)

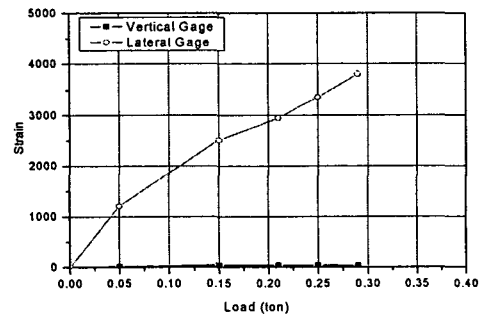


Fig. 11 굽힘하중시험 결과(Left)

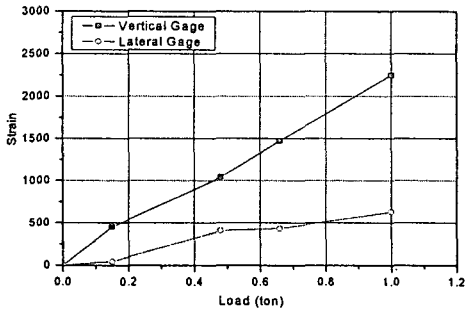


Fig. 12 수직하중시험 결과(Right)

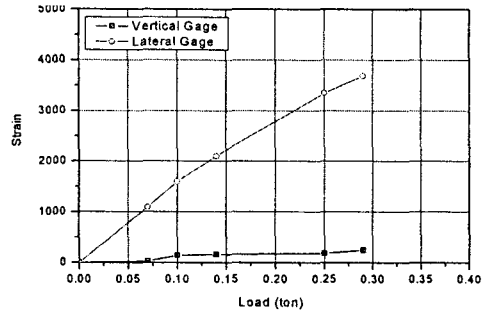


Fig. 13 굽힘하중시험 결과(Right)

Table 2 하중측정센서의 교정계수

(단위 :  $\mu \epsilon / \text{ton}$ )

하중 \ 게이지	Left		Right	
	수직게이지	수평게이지	수직게이지	수평게이지
수직하중	2,150	314	2,189	665
굽힘하중	112	12,400	780	12,532

#### 4.4 홀더행거 하중에 따른 엔드빔의 응력시험

홀더행거에 작용하는 하중에 따라 발생하는 엔드빔의 응력을 측정하기 위하여 정하중시험을 실시하였다. 엔드빔의 스트레인 게이지 부착위치는 Fig. 14, 15와 같고, 응력시험결과는 Table 3과 같다.

Table 3 엔드빔 응력시험 결과

(단위 :  $\text{kg}/\text{mm}^2$ )

게이지 번호	단축게이지 응력		Rosette gauge 주응력					
	수직하중 (1.2t)	굽힘하중 (0.29t)	수직하중			굽힘하중		
			$\sigma_1$	$\sigma_2$	$\theta_{1,2}$	$\sigma_1$	$\sigma_2$	$\theta_{1,2}$
1	-2.19	0.12						
2	6.97	2.73						
3	5.88	1.23	6.80	0.52	수평기준 $-27^\circ$ 	2.03	1.27	수평기준 $-5^\circ$ 
4	0.18	0.68						
5	4.94	1.64						
6	4.01	-1.68						
7	-2.35	0.12	3.18	-3.39	수평기준 $61^\circ$ 	0.6	-1.3	수평기준 $-36^\circ$ 
8	3.54	-1.43						
9	2.19	-0.6						
10	1.88	-0.66						
11	0.18	-0.32						

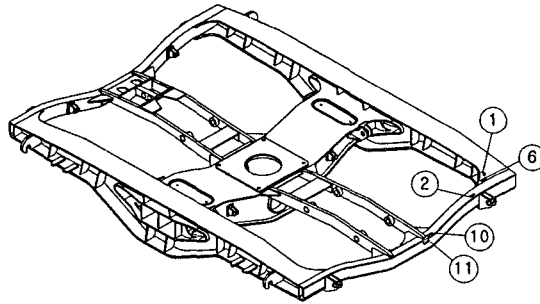


Fig. 14 대차프레임의 스트레인 게이지 부착위치

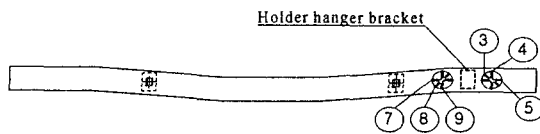


Fig. 15 엔드빔의 3축게이지 부착위치

### 5. 향후 추진내용

본 연구는 현재 진행중인 내용이다. 2003년 10월중에 지금까지 준비한 하중측정센서를 실제차량에 투입하여 화물차량의 운행조건이 가장 열악한 선로 가운데 하나인 태백선에서 본 선주행시험을 실시할 예정이다. 이때의 시험 항목은 대차 엔드빔의 실동응력, 대차 엔드빔 홀더행거의 동하중, 대차의 진동가속도 등이며, 시험대상차종은 무개화차로서 균열이 발생하는 기존화차 1량, 로템에서 보완한 엔드빔을 적용한 화차 1량, 철도연에서 제안한 홀더행거를 적용한 화차 1량 등 3량을 동시편성하여 비교시험을 실시할 계획이다. 이 시험결과에서 하중이력을 취득하게 되면 Fig. 16과 같은 절차로서 수명평가를 수행하게 된다.

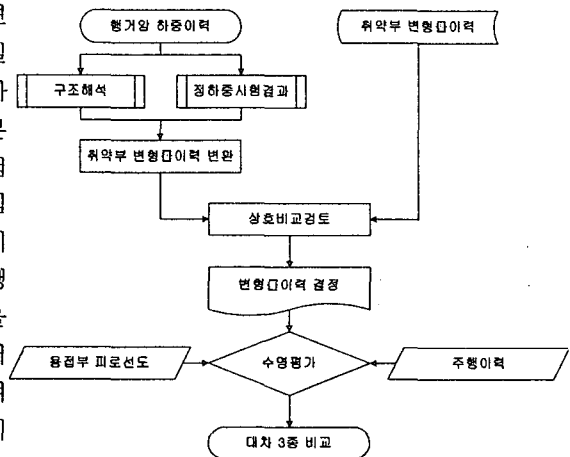


Fig. 16 수명평가 절차도

### 참고문헌

1. 함영삼 외, "고속화차 개발사양 제시 및 핵심장치 개발", 한국철도기술연구원 보고서, 2000. 12
2. 함영삼 외, "화차의 동특성 해석과 진동성능시험 및 구조체 하중시험", 한국철도기술연구원 보고서, 2002. 6
3. 황원주, 함영삼, 권성태, 허현무, 전용식, 고속화차용 용접대차의 구조강도 해석, 한국철도학회 춘계학술대회논문집, pp. 217~221, 2001. 5
4. 황원주, 함영삼, 강부병, 전용식, 고속화차용 용접대차 프레임 개선모델의 강도평가, 한국철도학회 추계학술대회논문집, pp. 235~239, 2001. 10