

용접구조형 대차 엔드빔의 균열원인 규명

The cause examination of the crack of the end beam for welding structure type bogie

홍재성 * 함영삼 ** 이동형 * 서정원 *
Hong, Jai-Sung Ham, Young-Sam Lee, Dong-Hyong Seo, Jung-Won

Abstract

Bogie is the connection device between carbody and wheel in railway vehicles. It is the core part that exert a important effect on the passenger safety and running safety. Bogie largely consists of bogie frame, suspension, brake, wheel set. Static and Dynamic load have acted on it complexly. When the bogie is designed, finite element method, static load test, fatigue test, running test should be considered. Some bogie frame of high speed railway freight car have the problem. It's end beam was cracked. The crack of the end beam have a bad effect on brake system. In that case, the cars would be in danger of derailment.

1. 서 론

대차는 철도차량에서 차륜과 차체를 연결시키는 장치로서 여객 및 열차의 안전과 주행성능에 지대한 영향을 미치는 핵심 부품이다. 대차는 크게 대차프레임, 현가장치, 제동장치, 윤축으로 구성되어 있고 정적 및 동적 하중이 복잡하게 작용하고 있으므로 실제 설계시 구조강도 해석 외에도 실제 운용하중 측정, 정하중 시험, 피로시험, 실차주행시험등 다양한 시험 및 성능평가가 요구되고 있다. 현재 운행중인 고속화차용 용접대차중 일부 대차프레임의 엔드빔에 균열이 발생하고 있어 안전운행에 지장을 초래하고 있다. 균열이 발생하고 있는 엔드빔은 화물의 직접적인 하중인 수직하중보다는 제동시 답면제동장치를 지지하는 역할을 하고 있다. 이러한 엔드빔의 파손은 제동장치의 작동을 못하게 하며 최악의 경우에는 탈선의 원인이 될 수도 있다. 본 논문에서는 구조해석, 실차시험들을 통해 엔드빔의 균열 원인을 밝혀내고 그 대책을 보여준다.

2. 엔드빔 균열현상 및 정하중시험

2.1 엔드빔 균열현황 및 현상

2002, 2003년의 균열발생 현황은 70건이 발생하였다.

균열이 발생한 엔드빔에 대하여 보강작업을 실시하였으나 문제가 완전히 해결되지 못하고 재균열이 발생하고 있다. 표1 및 그림1, 2는 엔드빔 균열 현황 및 현상을 보여준다.

* 한국철도기술연구원 차량기계연구본부 선임연구원 정희원

** 한국철도기술연구원 차량기계연구본부 책임연구원 정희원

표 1 엔드빔 균열발생 현황

발생년도	차종	량수	제동형식		비고
			P4a	KRF-3	
2002	무개차	55	40	15	2003년 6월까지 제천차량사무소에서 발생한 통계임
	평판차	1	1	-	
2003	무개차	14	13	1	
계		70	54	16	



그림 1 50178호 엔드빔 균열



그림 2 엔드빔 1차 보강(브라켓 외측)

2.1 대차프레임 정하중시험

구조해석결과를 근거로 제작된 시제품 대차 프레임에 대하여 실시한 정하중시험을 실시하였다. 하중시험방법은 JIS E 4208(철도 차량용 대차의 하중시험 방법)에 의거하면서 하중조건은 최대한 가혹한 조건을 채택하였다. 표2, 3, 4는 탱크차의 중량, 물성치 및 시험 하중조건을 나타내었으며 그림 3, 4는 대차프레임의 정하중모습을 나타내었다.

표 2 시험 하중조건

응력기호	하중조건	하중(ton)	비고
S1	수직 정하중	34.8	최대적재시 대차당 수직하중
S2	수직 동하중	52.2	$W_t + (0.5 \times W_t)$
S3u, S3d	제동부품하중(상,하)	5.31	$10 \times W_f$ (제동브라켓당 0.66ton)
S4	좌우하중	10.4	$0.3 \times W_t$
S5	전후하중	13.9	$0.4 \times W_t$
S6	비틀림하중1	(63)	Axle Box 하단에 15mm liner 삽입
S7	비틀림하중2	(68.9)	Axle Box 상단에 15mm liner 삽입

※ W_t (대차당 수직 정하중) = 34.8 ton
 ※ W_f (제동부품 질량에 의한 하중) = 0.531 ton
 ※ 하중에서 ()는 최대변위에서의 하중으로 비틀림하중2의 변위는 12mm 발생

2.1 대차프레임 정하중시험 결과

제동부품하중이 8개의 Hanger bracket에 나누어 작용하는 경우와 가장 가혹한 조건으로 가정하여 하나의 Hanger bracket에 모두 작용하는 경우로 나누어 합성응력을 산출하고 이를 응력 한계도로 나타내어 비교하였다

제동부품하중이 8개의 Hanger bracket에 나누어 작용하는 경우, Bolster 내부 Stiffener의 모재부(28번)에서 가장 큰 응력이 발생하였으나 발생응력이 압축응력이고 모재부 피로한도 이내에 있다.

제동부품하중이 하나의 Hanger bracket에 모두 작용하는 경우, End beam의 Hanger bracket 주위에 응력집중이 크게 발생하였고, Hanger bracket의 위쪽부위에서는 모재부 피로한도를 초과하였으나 제동부품하중이 하나의 Hanger bracket에 집중되는 경우는 현실적으로 불가능하므로 무시할 수 있다.

응력 한계도에서 대차 프레임의 모든 부위가 충분한 피로강도를 갖고 있음을 알 수 있다.

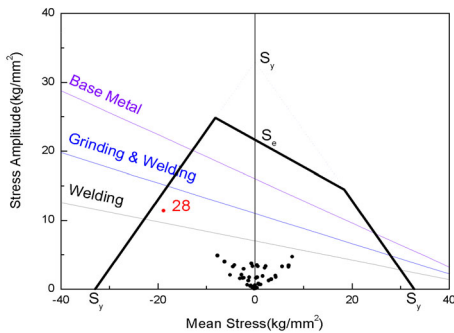


그림3 제동부품하중 분산시 응력한계도(0.66 ton)

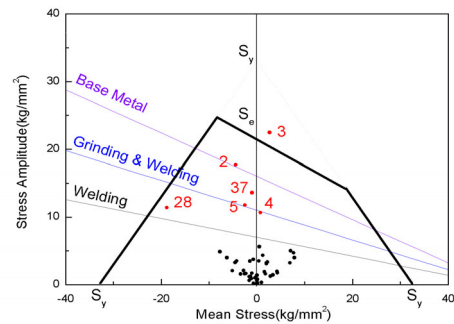


그림4 제동부품하중 집중시 응력한계도(5.31 ton)

3 실차시험

실차시험시 2가지 종류의 대차 엔드빔(기존품, 개선 엔드빔)에 대하여 실동응력을 측정하였다. 실차시험의 구간은 공차인 경우 제천 → 철암, 영차인 경우 철암 → 제천 → 도담으로 하였다.

3.1 시험장치의 구성

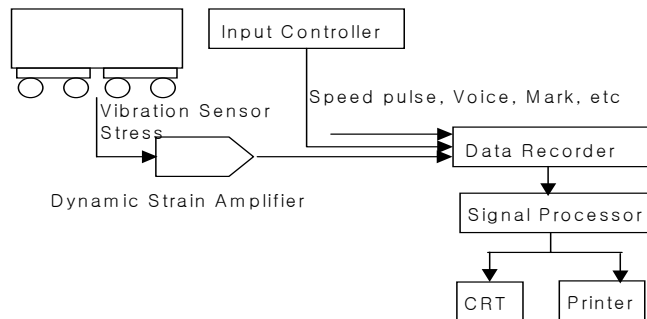


그림 5 시험장치의 구성

본 실차시험은 대차 엔드빔의 실동응력을 측정하여 피로수명을 해석하기 위한 시험으로 엔드빔의 주요 취약부위를 선정하고 스트레인 게이지(Strain gage)를 부착하여 얻어진 신호를 시험차(99991호)에 설치된 시험기기를 통해 측정하였다. 차량이 주행중 선정된 부위의 스트레인 게이지에서 발생된 응력(변형량)은 Dynamic Strain Amplifier를 통해 증폭한 후 Tape recorder에 저장하는 방법으로 시험을 하였다. 응력을 측정하기 위한 시험장치의 구성은 그림 5와 같다.

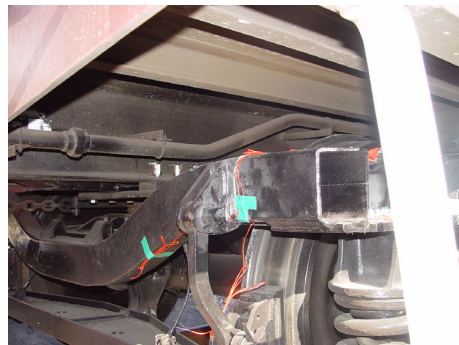
3.2 게이지 취부위치

본 연구에서 엔드빔에 스트레인 게이지를 취부한 위치는 구조해석 결과 가장 취약한 부위와 차량의 현황 및 실태조사시 균열이 발생되고 있는 부위를 중심으로 종합적으로 검토하여 선정하였다. 또한, 제동 및 곡선주행시 엔드빔에 전달되는 수직 및 비틀림 하중을 측정하기 위하여 Strain gage를 부착한 Holder hanger를 이용하였다.

2가지 종류의 대차 엔드빔(기존품, 개선 엔드 빔)에 대하여 게이지 취부위치는 그림 6과 같다.



50205호 (기존차량)



50157호 (개선차량)

그림 6 게이지 취부위치

4. 시험결과

4.1 1차시험결과 분석

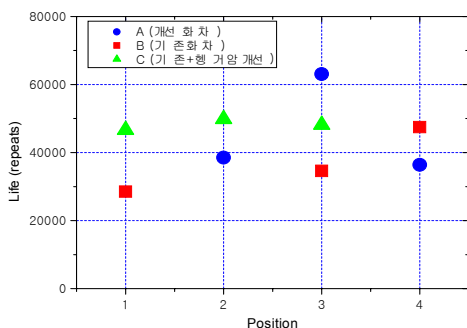


그림 7 엔드빔 수명 계산 결과(공차)

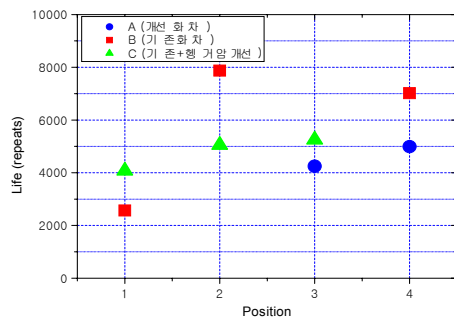


그림 8 엔드빔 수명계산 결과 (영차)

그림 7은 공차시 측정된 실동하중을 분석하여 수명계산을 수행한 결과이고, 그림 8은 영차시 수명 계산결과이다.

차량별 수명 계산결과를 보면 영차 및 공차 모두 현재 파손이 많이 발생하고 있는 기존차의 엔드빔 중앙위치인 1번 위치에서 가장 짧은 수명을 나타내고 있으며, 개선차의 경우 기존화차와 비교하여 큰 수명의 증가가 없는 것으로 나타났다.

4.2 2차 시험 결과 분석

1차 시험결과를 기반으로 하여 볼스터 및 사이드 프레임, 센터 빔 등에 추가로 게이지를 부착하여 개선차와 기존차의 실동응력의 차이를 보고자 하였으며, 엔드빔은 1차시험에서 응력이 크게 발생하지 않는 부분은 제외하고 크게 발생하는 부분은 추가하여 게이지를 부착하였다.

그림 9는 공차시 측정된 실동하중(장락 -> 연하 (36.7 km))을 분석하여 수명을 계산한 결과이고, 그림 10은 영차시(철암 -> 함백 (56km)) 실동하중을 분석하여 수명계산한 결과를 비교한 그림이다. 공차와 영차시 측정결과를 살펴보면 기존화차의 경우 엔드빔과 사이드 프레임의 연결부인 용접부 근처에서 가장 짧은 수명을 나타내고 있고, 개선화차의 경우 행거 암 연결부위 측면 위치에서 가장 짧은 수명을 나타내고 있다.

2차 시험결과를 살펴보면, 공차의 경우 기존화차와 개선화차가 비슷한 최소의 수명을 나타내고 있지만, 사용년수로 환산하면 두 차량 모두 내구년한 20년이상을 나타내므로 공차의 수명계산 결과는 전체 수명에 미미한 영향을 나타내고 있다. 반면에 영차의 경우는 전체 수명에 크게 영향을 미치며, 기존화차가 개선화차와 비교하여 취약부위에서 1/2정도의 수명을 나타내고 있다.

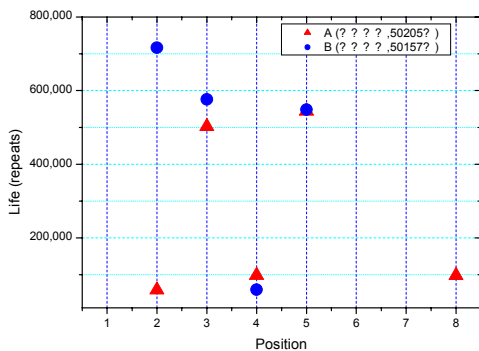


그림 9 엔드빔 수명계산 결과(공차, 2차 시험)

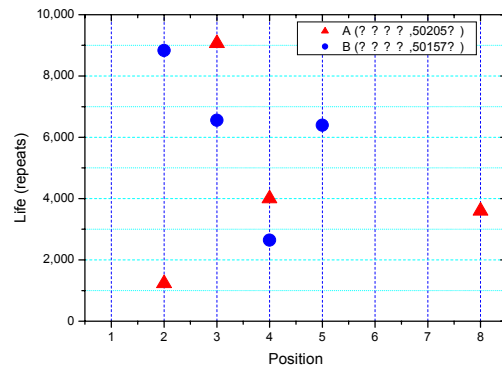


그림 10 엔드빔 수명 계산 결과 (영차, 2차시험)

5. 결 론

5.1 1차시험

가. 엔드빔의 단면적을 늘려서 제작한 개선차량이 기존대차보다 수명은 증가하였으나, 기대에 못 미치는 성과를 나타냄.

나. 개선차량은 제동시에 탁월한 효과를 발휘함.

- 다. 대차의 수명에 영향을 미치는 가장 큰 요인은 제동시의 제동하중이 아니고 주행 중 발생하는 진동이 지배적임.
- 라. 곡선에서 제동작용시 발생하는 비틀림응력은 무시할만한 수준임.
- 마. 개선되지 않은 부분을 포함하여 대차의 전반적인 응력분포를 파악할 필요가 있음.

5.2 2차시험

태백선과 영동선 등 장대레일이 부설되지 않은 선로를 주행할 때 다음과 같은 현상이 발생하였다.

5.2.1 기존차량과 개선차량 공통사항

- 레일 이음매 통과시 충격 및 비틀림이 발생하여 25m 마다 응력이 큰 폭으로 증가하였다.
- 용접 불량 등 구조적인 제작 결함으로 인하여 응력 집중부에서 균열이 발생하는 것으로 예측된다.

5.2.2 개선차량

- 개선차량은 상기원인 외에 이음매가 없는 선로를 주행할 때에도 기존 차량보다 큰 응력진폭을 나타내고 있다. 이러한 현상은 대차 프레임이 변형된 경우에 발생할 수 있을 것으로 추측된다.
- 기존차량과 개선차량의 변경되지 않는 부분의 발생응력을 비교하여 보면 개선차량의 응력이 더 크게 발생하였다. 이러한 원인은 과도한 횡강성 때문일 것으로 판단된다.

5.2.3 엔드빔 수명평가

- 기존차량의 엔드빔에서 가장 취약한 위치는 행거브라켓의 외측부에 보강판을 추가하면서 용접했던 부위로서 차량의 내용년수를 만족하지 못하는 것으로 평가되었다.
- 개선차량의 엔드빔에서 비틀림으로 인한 응력이 나타나고 있지만, 가장 취약한 위치인 행거브라켓의 용접부 외측 하부는 차량의 내용년수 내에서의 파손위험은 없는 것으로 평가되었다.

5. 참고 문헌

- (1) 철도기술연구소, 철도차량의 진동측정방법, 철도기술연구보 VOL23 NO1, pp.190~195, 1989
- (2) 함영삼 등, 고속 컨테이너화차 차체의 구조강도 평가, 한국철도학회 2001년도 춘계학술대회논문집, pp.212~213, 2001.5
- (3) 함영삼 등, 고속화차용 용접대차의 구조강도 해석, 한국철도학회 2001년도 춘계학술대회논문집, pp.217~221, 2001.5
- (4) 함영삼 등, 화물수송용 철도차량 현가장치의 설계변수와 진동성능에 관한 연구, 대한기계학회 2001년도 춘계학술대회논문집 B, pp.507~512, 2001.6
- (5) 함영삼 등, 고속화차용 용접대차 프레임 개선모델의 강도평가, 한국철도학회 2001년도 추계학술대회논문집, pp.235~239, 2001.10