

평판화차의 차체 정하중시험 및 진동성능시험

Vibration performance test and static load test of body flat freight car

홍재성 * 함영삼 ** 김길동 *** 한석운 **** 차지범 *****
Hong, Jai-Sung Ham, Young-Sam Kim, Gil-Dong Han, Suk-Youn Cha, Ji-Bum

Abstract

The object of this study is to ensure the stability of flat freight cars using vibration performance test and static load test of body structures. We examined the flat car through static load test and dynamic characteristics analysis related traveling stability and vibration performance. In the results of static load test of body structures for flat car, all structures satisfied allowable stress of materials. The vibration performance test was satisfied with allowable standards. Although flat car exceed speed a little at some speed interval, it was estimated that the cause was not cars but rail.

1. 서 론

(주)태양금속에서는 평판화차를 새로이 제작하였는데 이 평판 화차에 대해 차체 정하중시험 및 진동성능시험등을 통해 그 성능 및 안전성을 확보하려는데 본 연구의 목적이 있다.

연구 내용으로서 우선 평판화차의 차체 정하중시험은 게이지(gauge) 부착위치 선정, 그라인딩(grinding), 게이지 부착 등의 준비 작업과 예비하중 시험을 거쳐 실시하였으며, 수직하중시험, 수평압축하중시험 및 굽힘고유진동수 측정시험을 하였다. 그리고 진동성능시험은 차체의 진동가속도(상하 및 좌우방향)와 대차의 진동가속도(상하 및 좌우방향)를 측정하였다.

2. 실 험

2.1 시험 장치

평판화차의 차체 정하중시험의 주요제원은 Table 1과 같다. 평판차 구조체는 전후좌우방향으로 대칭이므로 1/4 영역에서 응력 집중이 예상되는 지점에 3 Wire strain gauge를 취부하여 총 49채널의 Bridge회로를 구성하였다. 부착된 Gauge의 내역은 다음과 같고 부착위치는 Fig. 1에 표시하였으며, 다음에 설명하는 것은 다이얼게이지의 설치 내용이다.

① Center sill 17개 (Gage No. : 1, 2, 3, 4, 5, 6, 8, 9, 16, 17, 18, 22, 23, 38, 41, 47, 48)

*. *** 한국철도기술연구원 선임연구원 정희원

** , **** 한국철도기술연구원 책임연구원 정희원

***** 한국철도기술연구원 연구원 비희원

- ② Side sill 11개 (Gage No. : 11, 13, 14, 15, 19, 20, 21, 27, 28, 44, 49)
- ③ Bolster 16개 (Gage No. : 24, 25, 26, 29, 30, 31, 32, 33, 34, 35, 36, 37, 39, 40, 42, 43)
- ④ End sill 2개 (Gage No. : 45, 46)
- ⑤ Cross beam 3개 (Gage No. : 7, 10, 12)

본 하중시험 전, 차체 및 지그의 안정화를 위하여 예비하중시험을 실시하였다. 12.78 ton의 수직하중시험과 수직하중 작용시의 압축하중시험을 수행하였다. 주행안전성을 확인하기 위한 진동성능시험은 상하 및 좌우방향의 차체진동가속도를 측정하고 평가하는 것으로서 Table 2는 속도별 진동가속도 기준을 나타낸다.

2.2 시험방법

수직하중시험은 차체자중 및 최대적재하중에 대해서 구조체가 지지하는 하중으로 수직방향의 동적 효과 0.3g를 고려하여 다음과 같이 결정하였다.

- (자중+적재하중-대차중량)×1.3 - (차체중량+시험기중량) = (22,000+53,000-9,400)×1.3 - 12600 = 72,680 kg = 72.68 ton

구조체가 대차에 의해 지지되는 부위(Bolster center pivot)에서 지지하고 72.68 ton의 분포하중을 구조체 상면에 가하였고 차체의 양끝단과 중심위치에 총 6개의 Dial gauge를 설치하여 변위를 측정하였다. Fig. 2는 수직하중 시 평판화차에 부가되는 분포하중과 위치를 표시한 것으로서, 이때 분포하중을 가하는 수단으로는 계량된 규격철판을 사용하였다.

수평압축하중시험은 지그를 이용하여 구조체의 한쪽 끝을 고정시키고 수직방향의 Dummy 하중이 부가된 상태에서 다른 한쪽을 유압작기로 압축하여 완충기의 최대용량인 220 ton을 가하고 응력을 측정하는 것인데, 본 시험에서는 안전을 위하여 200톤까지만 하중을 가하였고 나머지 20톤에 해당하는 부분은 선형적으로 응력을 증가시켜 계산하였다. Fig. 3은 수평압축하중시험 시 하중 부하 방법을 나타낸다.

- 수직 Dummy 하중 = 12.78 ton
- 수평압축하중 = 220 ton

굽힘고유진동수 측정시험은 수직하중시험을 할 때와 같이 양쪽 Body bolster 중심부를 지지하고 구조체의 중앙부 아래에 1 ton의 하중을 가하였다가 순간적으로 하중을 제거함으로써 구조체에 자유진동을 발생시켜 굽힘고유진동수를 측정하였다. Fig. 4는 굽힘고유진동수 측정시험의 하중부하 방법을 나타낸다.

평판차의 진동성능시험은 평판차는 공차조건이 진동성능에 보다 악조건이므로 공차만 편성하여 시험을 실시하였다. 시험항목은 차체 및 대차의 진동가속도(상하 및 좌우방향)이며 시험차종은 신조 평판화차 6량(공차)이며, 측정 구간은 장항선 화양-천안 및 경부선 천안-대전간으로 하고, 차체진동에 서 고주파 진동을 제거하기 위한 필터는 10Hz로 하였으며, 측정데이터는 측정구간을 100m 단위로 나누고 이 구간 내에서 최대치의 전진폭(Peak to Peak)을 취하여 그 때의 속도를 읽고, 이를 5km/h 단위의 같은 속도별로 모아서 평균하였다. 진동가속도 평가기준은 상하 및 좌우방향의 차체진동속도를 측정하고 평가하였다.

Table 1 평판화차의 주요제원

항 목	치수 및 중량	비 고
차체 길이	15,090mm	
차체폭	2,800mm	
대차 중심간 거리	11,290mm	
연결기 높이	880mm	레일 상면 기준
재질	SWS490YA (항복강도 37kg/mm ²)	Center sill, Side sill, End sill, Body bolster, Cross tie
자 중	22,000 kg	
하 중	53,000 kg	
대차 중량	9,400 kg	2 set 합계
구체 중량	약 9,220 kg	

Table 2 속도별 진동가속도 기준

단위 : 2a(g)

속도 \ 방향	40 미만	80	120	160
상하방향	0.35	0.5	0.55	0.6
좌우방향	0.25	0.35	0.4	0.45

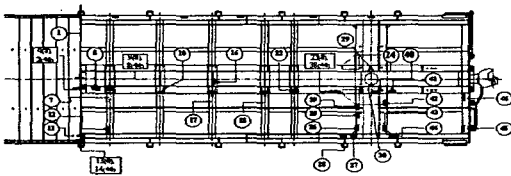


Fig. 1 구조체의 Strain gauge 취부도

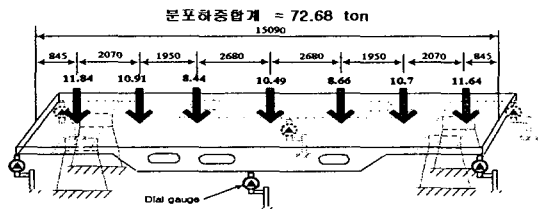


Fig. 2 평판화차 수직하중시험의 분포하중값과 위치

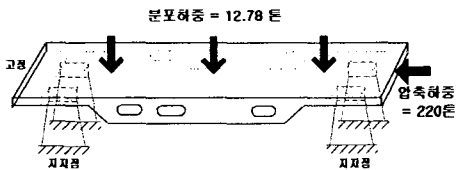


Fig. 3 수평압축하중시험 하중부하방법

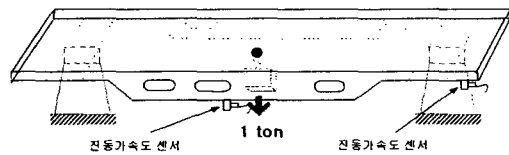


Fig. 4 굽힘고유진동수 측정시험의 하중부하방법

3 시험 결과

3.1 수직하중과 수평압축하중 시험결과

수직하중은 최대하중조건인 72.68톤의 수직하중을 주었을 때에 응력값을 측정하였으며 수평압축하중의 경우 압축하중 220톤을 가하였을 때를 가정하여 200톤에서의 응력값을 선형적으로 증가시켜 계산하였다. 시험결과 높은 응력이 발생하는 부위의 응력값은 Table 3과 같다. 수직하중의 경우 최대응력은 사이드실과 만나는 엔드실의 끝단인 45번 게이지 위치에서 발생하였으며 크기는 11.53kg/mm²이었다. 압축하중시의 최대인장응력은 볼스터의 하판 부위인 35번 게이지 위치에서 25.7kg/mm²이 발생하였으며, 최대압축응력은 센터실인 41번 위치에서 -28.91kg/mm²으로, 이들 최대응력이 발생하는 부위의 항복강도는 37kg/mm²이다. Table 4는 수직하중과 수평압축하중시 처짐량을 나타낸 것이며 Table 5는 수직과 수평압축하중시 최대처짐량을 좌우측 평균하여 표시한 것이다. 수직하중의 경우 최대하중 72.68톤에서 사이드실 중앙부인 ②번, ④번 다이얼 게이지에서 각각 -19.3mm, -19.8mm로 측정되었으며, 수평압축하중의 경우도 사이드실 중앙부에서 -6.5mm, -6.47mm로 측정되어 모든 하중조건에서 캠버량 25mm 이내의 처짐이 발생하는 것을 확인할 수 있었다.

3.2 굽힘고유진동수 시험결과

굽힘 고유진동수측성된 결과를 데이터 레코더에 저장하였다가 PCscan III Streamer Program으로 주파수분석하였다. Power Spectrum Analysis 결과 굽힘고유진동수는 10.071Hz인 것으로 판명되었다.

3.3 합성응력 산출

수직하중과 수평압축하중의 시험 데이터를 근거로 하여 응력을 중첩시켜 합성응력을 산출하였다. 수직하중 및 압축하중 시험에서 각각 고응력이 발생했던 부위를 선정하여 수직하중시험과 압축 하중 시험 결과로부터 합성응력을 산출하였다. 합성응력 계산결과 볼스터의 하판 부위에서 최대값이 발생하였으며 이때의 응력값은 재료의 항복응력 이내에 있음을 확인할 수 있었다. Fig. 5는 응력한계도를 나타내고 있다.

3.4 진동성능시험 결과

평판차의 진동가속도 평가기준은 Fig. 6, 7과 같이 장항선과 경부선 그리고 영·공차 조건 모두 철도청 제작설명서의 기준을 만족하고 있다. 평판차의 경우 90km/h 속도까지 주행한 장항선에서는 기준치 이내의 진동성능을 나타냈다. 경부선에서 110km/h로 주행할 때에는 Fig. 6에서 보는 바와 같이 기준값(110km/h에서 0.5375g)을 8.8%(0.0475g)정도 초과하였지만 115km/h 이상 속도에서는 다시 안정되는 모습을 볼 수 있으며, 이와 같은 시험결과는 차량의 상태보다는 선로의 상태에 영향받은 것을 의미한다. 또한 주행안전성 면에서 상하방향 진동가속도보다 중요한 요소인 좌우방향 진동은 모두 기준치 이내의 성능을 보여 주었다. 평판차에서 대차 중심부 상면과 사이드 위치에서의 진동을 Curve Fitting하여 비교해 본 결과 중앙부가 평균적으로 26~27% 정도 양호한 것을 볼 수 있었다.

Table 3 수직하중과 수평압축하중 시험결과(고응력 부위)

Gauge No.	수직하중 (72.68 ton)	Gauge No.	수평압축하중 (220 ton)	Gauge No.	수평압축하중 (220 ton)
1	-7.21	1	-16.12	29	-9.2
4	6.45	3	-8.52	30	-10.42
11	8.1	4	-11.98	31	-8.09
13	6.69	8	-7.49	35	25.7
14	7.95	9	-9.78	37	-11.89
36	-9.06	10	-16.69	39	-14.42
45	11.53	17	-12.04	41	-28.91
		24	8.41	42	9.4
		25	-12.48	44	8.94
		28	-12.77	45	-20.53
		29	-9.2	46	11.21

Table 4 수직하중과 수평압축하중시 처짐량

(단위 : mm)

다이얼게이지 No.		1	2	3	4	5	6	
수직하중 (ton)	12.78	3.19	-8.32	4.38	4.35	-9.05	4.35	
	72.68	5.6	-19.3	4.9	5.73	-19.8	4.75	
수평하중 (ton)	수직더미	12.78	1.5	-3.8	1.2	1.9	-3.4	1.55
	압축	220	3.3	-6.5	3.4	3.6	-6.47	3.34

Table 5 수직과 수평압축하중시 최대 평균처짐량

(단위 : mm)

하중의 종류	최대 처짐량	위치	비고
수직하중 (72.68 ton)	-19.55	사이드실 중앙부	최우 평균
수평압축하중(220 ton)	-6.485	사이드실 중앙부	최우 평균

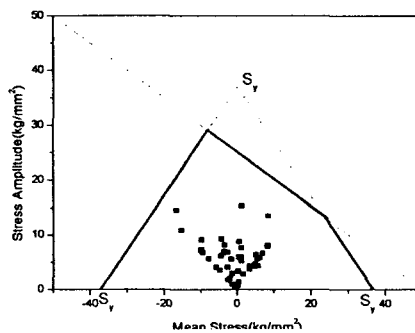


Fig. 5 수직,수평압축하중을 고려한 응력한계도

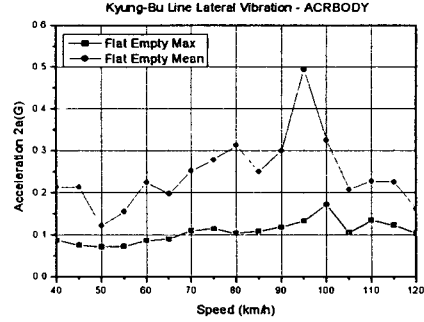
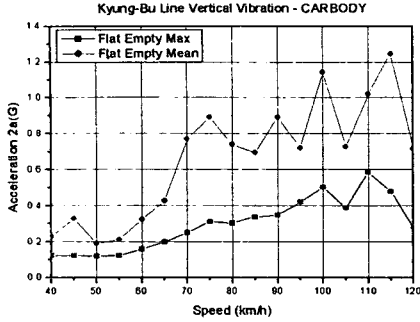


Fig. 6 평판차 경부선 차체 상하방향 진동가속도

Fig. 7 평판차 경부선 차체 좌우방향 진동가속도

4. 결론

평판화차 차체의 정하중시험 결과와 진동성능시험에 대하여 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- (1) 각 하중별 시험결과 모든 부위에서 응력값은 허용응력범위 내에 존재하였다. 또한, 합성응력의 경우 최대값은 센터실에서 발생하였으며, 이는 재료의 허용응력 범위와 피로내구한도를 만족한다.
- (2) 응력한계도에서 차체 프레임의 모든 부위가 충분한 피로강도를 갖고 있음을 알 수 있다. 이는 평판화차용 차체가 정상상태 운행에 필요한 충분한 강도를 가지고 있는 것으로 판단된다.
- (3) 처짐량은 20mm 미만, 캠버량을 25mm로 부여한다면 차량안정성에 문제없을 것으로 판단된다.
- (4) 굽힘고유진동수는 화차의 기준은 없지만 객차기준인 10Hz 이상을 만족하고 있다.
- (5) 평판차의 경우 90km/h 속도까지 주행한 장항선에서는 기준치 이내의 진동성능을 나타냈고, 경부선에서 110km/h로 주행할 때에는 기준값(110km/h에서 0.5375g)을 8.8%(0.0475g)정도 초과하였지만 115km/h 이상 속도에서는 다시 안정되는 모습을 볼 수 있으며, 이와 같은 시험결과는 차량의 상태보다는 선로의 상태에 영향 받은 것을 의미한다.
- (6) 주행안전성 면에서 상하방향 진동가속도보다 중요한 요소인 좌우방향 진동은 모두 기준치 이내의 성능을 보여 주었다.
- (7) 평판차에서 대차 중심부 상면과 사이드 위치에서의 진동을 Curve Fitting하여 비교해 본 결과 중앙부가 평균적으로 26~27% 정도 양호한 것을 볼 수 있었다.

5. 참고 문헌

1. 철도청, 평판차 제작설명서, 특수설명서 제2001-11호
2. 본규격협회, 철도차량용 대차프레임 설계통칙, JIS E 4207, 1992
3. 일본규격협회, 철도차량용 대차의 하중시험방법, JIS E 4208, 1988
4. 일본규격협회, 철도차량構体の 하중시험방법, JIS E 7105, 1989
5. 철도기술연구원, 철도차량의 진동측정방법, 철도기술연구보 VOL23 NO1, pp.190~195, 1989