

냉연코일강판 수송용 화차의 안전성 평가를 위한 차체 하중시험과 진동시험

김원경*(한국철도기술연구원), 정종덕(한국철도기술연구원), 윤성철(한국철도기술연구원),
홍용기(한국철도기술연구원)

A safety evaluation on the loading and vibration test for transport freight car of cold rolled coil sheet

W. K. Kim(KRRI), J. D. Chung(KRRI), S. C. Yoon(KRRI), Y. K. Hong(KRRI)

ABSTRACT

This paper describes the result of carbody and vibration test for freight car. The purpose of the test is to evaluate an safety which carbody structure shall be considered fully sufficient rigidity so as to load a freight car under maximum load and operating condition on line track.

The test carbody is constructed by RS korea co., LTD. in accordance with KNR specification. The test cases of the carbody is tested the vertical load and compressive load to verify the strength and stiffness. The vibration test is tested for analysis and evaluation of vibration, to allow for the fact that mechanical vibration in railway vehicles have specific characteristics.

Key Words : Freight car(화차), Vertical load(수직하중), Horizontal compressive load(수평압축하중), Deflection value(처짐량), Stress limit diagrams(응력한계도), Vibration acceleration(진동가속도), Peak to peak(전진폭)

1. 서론

냉연코일강판 수송용으로 제작된 화차 언더프레임의 제작 검증을 위해 차체 하중시험과 진동성능시험을 실시하고자한다. 차체의 하중시험은 수직하중시험과 수평압축하중시험을 실시하였다. 차체의 하중시험은 캠버량 측정, 강도 및 강성을 확인하여 차체의 안전성을 평가하고자 하며 아울러, 동시에 진행된 진동성능시험은 경부선 본선 구간중 사상-동대구에서 공차조건으로 주행시 좌우 진동가속도와 상하 진동가속도를 측정하여 주행안전성을 확인하고자 한다.

2. 차체 정하중시험

2.1 스트레인 게이지 및 다이얼 게이지 취부

화차 구조체는 전후좌우방향으로 대칭이므로 1/4 영역에서 응력집중이 예상되는 지점에 40 개의 Strain Gauge 와 2 개의 Rosette Gauge 를 취부하여 총 44Ch 의 Bridge 회로를 구성하였다. 부착된 Gauge

의 내역은 Fig. 1 과 같다.

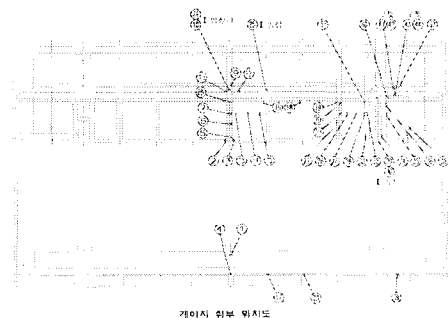


Fig. 1 Location of strain gauge

2.2 평가기준

차체의 언더 프레임은 고장력강(SM490A)으로 되어 있으며, 나머지 부위는 연강재(SS400)로 되어 있다.

수직하중과 수평압축하중 작용시 평가기준은 측

정한 응력값이 재료의 항복강도 이내이어야 하며, 처짐량은 캠버량 이내이어야 한다.

2.3 시험방법

2.3.1 수직 하중시험

수직하중은 차체자중 및 최대적재 하중에 대한 구조체가 부담하는 하중으로 수직방향의 동적효과 0.3g 를 고려하면 다음과 같이 결정되나, 차체의 특성상 정확한 하중 적재에 어려움이 있어, 본 시험에서는 중앙부에 22,400kg 의 집중하중을 적재하는 방법으로 하중시험을 실시 하였다.

수직하중시험은 5 개의 하중을 화물을 적재하는 방법으로 하중을 부가하고 차체의 양끝단과 중심위치에 총 6 개의 Dial Gauge 를 설치하여 처짐량을 측정하였다. 이때 부가되는 분포 하중은 차체 상면의 특성상 실제로 수송하게 되는 정량화된 열연코일을 사용하였으며 시험 횟수는 2 회 반복 실시 하였다.

2.3.2 수평 압축 하중시험

수평압축하중시험은 센터피봇위치를 지지하고 연결기 중심선을 따라 차체 양 끝에 압축하중을 가한 후 응력을 측정했으며, 하중 값은 시험의 안전성을 고려하여 22,400kg 의 수직 하중을 부가하고 응력을 측정하였다.

2.4 시험결과

2.4.1 하중시험 결과

수직하중의 경우 최대 응력은 센터실과 자체 중심부의 횡량과의 교차부분에서 발생하였으며 측정 응력은 Table 1, 2 와 같이 모두 허용 응력 이내에 있음을 알 수 있었다.

Table 1 Data of vertical load test(69,840 kg)

1 차		2 차	
Gauge No.	Stress	Gauge No.	Stress
1	-5.64	1	-6.22
4	4.46	4	5.31
10	12.39	10	15.74
12	3.63	12	4.58
13	-2.17	13	-1.25

Table 3 Deflection value of vertical load and horizontal compressive load test

Dial Gauge No.			1	2	3	4	5	6
수직하중 (kg)	1 차	22,400	1.49	-1.38	2.76	2.72	1.41	2.38
		69,840	1.56	-1.06	9.34	2.64	0.06	9.29
수직하중 (kg)	2 차	22,600	-0.48	-2.10	5.08	-0.12	-1.18	5.01
		69,840	1.21	-2.02	8.52	1.07	-1.09	9.77
수평압축하중 (kg)	1 차	수직더미	-1.52	6.74	-2.89	7.00	5.11	-5.46
		압축						
수평압축하중 (kg)	2 차	수직더미	-1.14	6.81	-1.92	6.06	5.04	-5.18
		압축						

Table 2 Data of horizontal compressive load test (219,000 kg)

1 차		2 차	
Gauge No.	Stress	Gauge No.	Stress
4	-7.06	4	-7.36
10	-22.09	10	-22.19
12	-14.83	12	-14.44
30	-11.42	30	-11.93
40	-14.58	40	-14.75

2.4.2 하중작용시 처짐량

수직하중의 경우 최대하중 side sill 중앙부와 수평압축하중의 경우는 side sill 양끝단부 위에서 발생하였으며 처짐량은 Table 3 과 같다.

2.4.3 최대 평균 처짐량

Table 4 Maximum mean deflection value

하중종류	최대처짐량	위치	비고	
수직하중 (69,840kg)	1 차	9.32	side sill 중앙	좌우평균
	2 차	9.15	side sill 중앙	좌우평균
수평압축하중 (219,000kg)	1 차	6.87	side sill 양끝단부	전후평균
	2 차	6.44	side sill 양끝단부	전후평균

2.5 응력한계도

차량이 실제 운행중 계속적인 영향을 줄 수 있는 수직하중시의 응력값으로 예상되는 응력 진폭과 평균응력을 구하여 Fig. 2 와 같이 응력한계도를 작성하였으며, 평균응력과 변동응력은 다음과 같다.

$$\sigma_{\text{mean}} = X_1 + (X_2 - X_1) / 2 \quad (1)$$

$$\sigma_{\text{dyn}} = X_2 - X_1 \quad (2)$$

냉연코일 강관 화차의 정하중 시험시에는 차체의 구조상 분포하중으로 시험하기가 불가능하므로 시험하중으로 계량된 실제의 화물을 사용하였다. 따라서 변동응력 및 평균 응력 산정시에는 영차조건과 유사한 45,000kg 적재시의 발생응력과 영차하중에 0.3g 를 고려한 69,840kg 적재시 최대응력이

선형적으로 변화하므로 정하중 시험시 시험하중으로부터 차량의 영차조건인 X1 은 영차시의 최대 적재하중인 51,000kg 의 수직하중시의 응력을 계산하였으며 변동이 예상되는 변동하중은 X1 에 0.3g 를 부과한 하중을 X2 로 가정한 71,565kg 의 수직하중으로 가정하여 변동응력과 평균응력을 산정하였다.

Table 5 는 응력이 많이 발생한 부위의 평균응력과 변동응력이며, 이를 근거로 발생한 응력을 응력 한계도를 표시한 것이다.

Table 5 Mean stress and dynamic stress of high stress occurrence location

Gauge No.	45,000 (kg)	51,000 (kg)	69,840 (kg)	71,565 (kg)	평균응력 (kg f/mm ²)	변동응력 (kg f/mm ²)
1	-5.25	-5.74	-6.22	-6.71	-5.73	-0.97
4	5.07	5.19	5.31	5.43	5.19	0.24
10	12.90	14.32	15.74	17.16	14.32	2.84
14	2.23	3.62	5.07	6.49	3.65	2.84
24	5.33	5.71	6.08	6.46	5.70	0.75

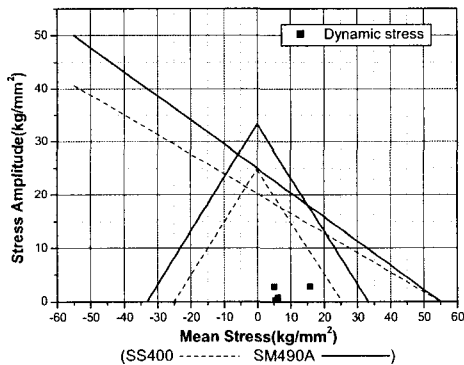


Fig. 2 Stress limit diagrams for the vertical load

2.6 결과 및 고찰

수직하중과 압축하중 시험결과를 살펴보면 냉연 코일강판 화차의 차체는 최대하중에서 발생하는 응력이 모두 사용 재질의 항복강도 이내에 존재하고 있음을 확인할 수 있었다. 수직하중과 압축하중 작용시 최대값은 센터실과 차량의 중심부 크로스빔이 교차하는 부분이며, 처짐량은 수직하중인 경우 센터실 중앙부, 압축하중인 경우 센터실 양끝단부에서 최대 처짐이 되었다.

차량의 적정 캠버량 산정을 위한 차체의 처짐

량은 최대수직하중일 때 side sill 중앙 부에서 좌우 평균 각각 9.32, 9.15mm 로 나타났으며, 이러한 수치는 차체의 캠버량을 10mm 정도로 부여하였을 경우 적절한 것으로 판단된다.

Table 6 Measurement maximum value of stress and deflection

항 목	측정최대값		기 준	
	인장	압축		
응력 (kg/mm ²)	수직하중	12.39	-5.64	33 kg/mm ² 이하
	압축하중	5.01	-22.09	33 kg/mm ² 이하
	조합하중	4.59	-13.51	33 kg/mm ² 이하
처짐량 (mm)	수직하중	9.32		캠버량 이하
	압축하중	6.87		캠버량 이하

3. 차체 진동시험

진동시험은 차체의 상하 및 좌우방향 진동가속도를 측정하며, 측정 부위는 후부대차 중심의 차체 상판위이다.

본선 측정구간은 경부선중 사상-동대구 구간으로 하였으며, 차체진동에서 고주파 진동을 제거하기 위한 필터는 10Hz 로 하였다. 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.

3.1 실주행시험

3.1.1 진동가속도 평가기준

상하 및 좌우방향의 차체진동가속도를 측정하고 평가하는 기준은 다음과 같다.

- 1) 차체진동에서 고주파 진동을 제거하기 위한 필터는 10Hz 로 한다.
- 2) 진동측정데이터는 측정구간을 100m 단위로 나누어 이 구간 내에서 최대치의 전진폭(Peak to Peak)을 취하여 그 때의 속도를 읽고, 이를 5km/h 단위의 같은 속도별로 모아서 평균한다.
- 3) 속도별 진동가속도 기준은 Table 7 과 같다.

Table 7 Vibration acceleration standard

방향	속도(km/h)		
	40 미만	80 미만	100 미만
상하방향	0.35	0.5	0.55
좌우방향	0.25	0.35	0.4

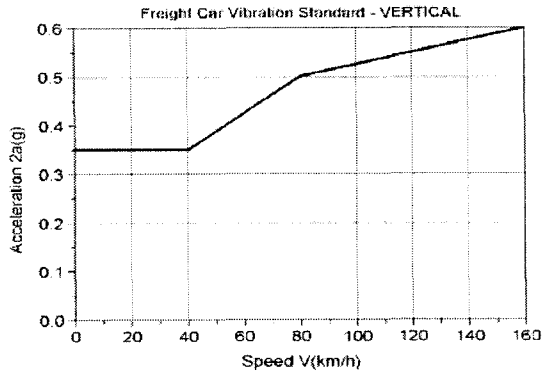


Fig. 3 Freight car vibration standard(VERTICAL)

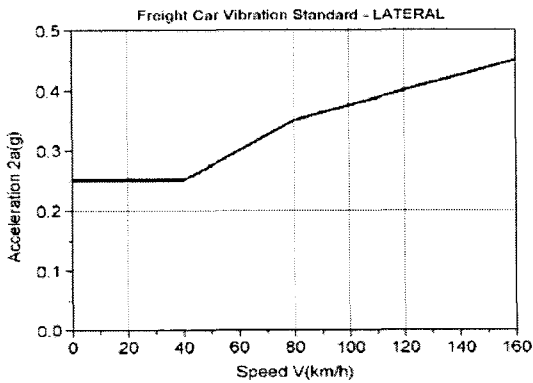


Fig. 4 Freight car vibration standard(LATERAL)

3.1.2 진동가속도 측정 결과

화차의 차체 진동가속도 측정결과는 아래 그림과 같으며 측정결과 상하방향과 좌우방향의 모든 진동가속도의 평균값이 제작설명서의 기준을 만족하고 있었다.

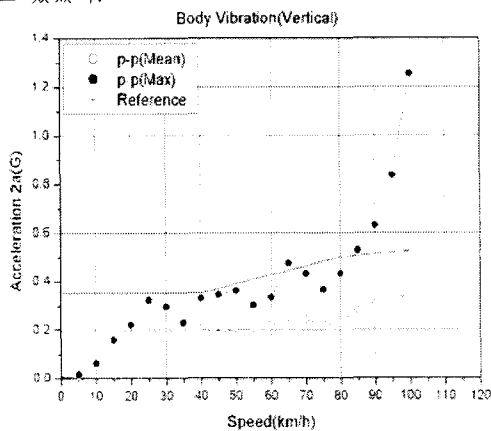


Fig. 5 Body vibration(VERTICAL)

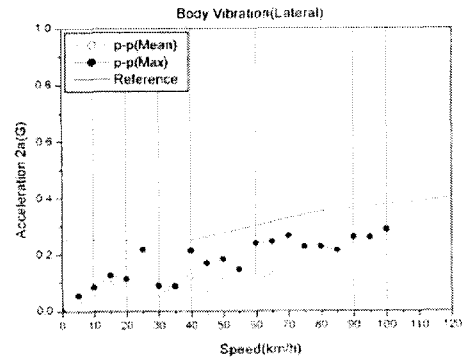


Fig. 6 Body vibration(Lateral)

4. 결론

냉연코일강관 수송용으로 제작된 화차 언더프레임의 제작 검증을 위해 차체 하중 시험과 진동성능 시험을 수행한 결과는 다음과 같다.

1) 수직하중과 압축하중 시험결과를 살펴보면 냉연코일강관 화차의 차체는 최대하중에서 발생하는 응력이 모두 사용 재질의 항복강도 이내에 존재하고 있음을 확인할 수 있었다.

정하중시험시 최대응력이 발생한 부위는 센터실과 차량의 중심부의 가로부재인 크로스 중앙부에 교차하는 부위에서 발생하였으며, 응력값은 15.74 kg/mm²이었으며 또한, 수평압축하중시 발생하는 최대 응력도 수직하중과 동일한 위치에서 발생하였으며 그때의 응력값은 22.09 kg/mm²이었다.

2) 차량의 적정 캠버량 산정을 위한 차체의 처짐량은 최대수직하중일 때 사이드실 중앙부에서 평균 9.2mm 로 나타났으며, 이러한 수치는 차체의 캠버량을 10mm 로 정도로 부여하였을 경우 적절한 것으로 판단된다

3) 수직하중과 수평압축하중 작용시의 응력을 이용하여 합성응력을 계산하였으며, 수직하중 작용시의 응력으로 평균응력과 응력진폭을 계산하고, 응력한계도를 작성하였다. 합성응력과 응력한계도 나타난 응력을 종합적으로 검토한 결과 차체 프레임의 모든 부위가 충분한 피로강도를 가지고 있음을 알 수 있었다.

4) 공차조건으로 실시한 진동성능시험은 차체의 진동가속도 측정결과 상하방향과 좌우방향 모든 진동가속도의 평균값이 속도별 성능기준을 만족하고 있음을 알 수 있었다.