

# 화차 안전성 평가를 위한 차체 정하중시험 및 진동시험

## A safety evaluation on the loading and vibration test of freight car

권 성태\*      정 종덕\*      김 원경\*\*      홍 용기\*\*      허 현무\*  
Kwon Sung-Tae    Chung, Jong-Duk    Kim, Won-kyung    Hong, Yung-Ki    Hu, Hun-Mu

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.

### 1. 서론

냉연코일강판으로 제작된 화차 언더프레임의 제작 검증을 위해 차체 하중 시험과 진동성능 시험을 실시하고자한다. 차체의 하중시험은 수직하중시험과 수평압축하중(220 ton)시험을 실시하였다. 본 시험의 목적은 차체의 하중시험을 통해 캠버량 측정, 강도 및 강성을 확인하여 차체의 안전성을 평가하고자 한다.

아울러, 동시에 진행된 진동성능시험은 경부선 본선 구간중 사상-동대구에서 공차조건으로 주행시 좌우 진동가속도와 상하 진동가속도를 측정하여 주행안전성을 확인하고자 한다.

### 2. 차체 정하중시험

#### 2.1 개요

본 하중 시험은 (주)고려차량에서 설계, 제작한 냉연코일강판 화차 언더프레임의 제작 검증을 위한 구체 하중 시험에 관한 절차와 시험결과를 기술한 것이다.

#### 2.2 화차의 재원 및 중량

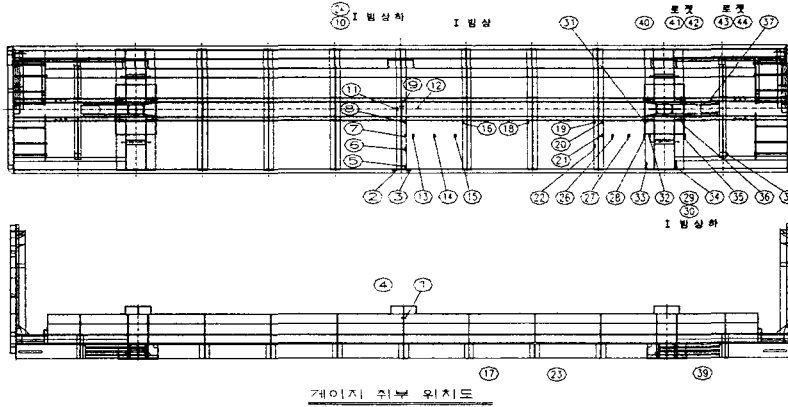
제 원		중 량	
항 목	치 수	항 목	치 수
차 체 길이	12,000 mm	자 중	24,000 kg
차 체 폭	2,800 mm	하 중	51,000 kg
대차 중심간 거리	8,200 mm	대차 중량	8,532 kg

\* 한국철도기술연구원 선임연구원

\*\* 한국철도기술연구원 책임연구원

### 2.3 스트레인 게이지 및 다이얼 게이지 취부

냉연코일강판 화차 구조체는 전후좌우방향으로 대칭이므로 1/4 영역에서 응력집중이 예상되는 지점에 40개의 Strain Gauge와 2개의 Rosette Gauge를 취부하여 총 44Ch 의 Bridge 회로를 구성하였다. 부착된 Gauge의 내역은 아래와 같다.



### 2.4 평가 기준

#### 2.4.1 재질의 기계적 성질

차체의 언더 후레임은 고장력강으로 되어 있으며 나머지 부위는 연강재로 기계적 성질은 아래와 같다.

재 질	항복 강도(kgf/mm <sup>2</sup> )	인장 강도(kgf/mm <sup>2</sup> )
SM490A	33	50 ~ 62
SS400	25	41

#### 2.4.2 판정 기준

구 분	측 정 값	평가기준
수직 하중 시험	응력	재질의 항복강도 이내
	처짐량	캠버량 이내
수평 압축 하중 시험	응력	재질의 항복강도 이내
	처짐량	캠버량 이내

### 2.5 시험 방법

#### 2.5.1 수직 하중시험

수직하중은 차체자중 및 최대적재 하중에 대한 구조체가 부담하는 하중으로 수직방향의 동적효과 0.3g를 고려하면 다음과 같이 결정되나, 차체의 특성상 정확한 하중 적재에 어려움이 있어, 본 시험에서는 중앙부에 22,400kg의 집중하중을 적재하는 방법으로 하중시험을 실시 하였다. 수직하중 = (공차하중 + 화물하중 - 대차중량) × (1+0.3g) - (구체중량)

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

2.5.2 수평 압축 하중시험

수평압축하중시험은 센터피봇위치를 지지하고 연결기 중심선을 따라 차체 양 끝에 압축 하중을 가한 후 응력을 측정했으며, 하중 값은 설계하중인 220,000kg으로 하였다. 수평압축하중시험에서는 시험의 안전성을 고려하여 22,600kg의 수직 하중을 부가하고 응력을 측정하였다.

2.6 시험 결과

2.6.1 수직하중과 수평압축하중 시험결과

수직하중의 경우 최대 응력은 센터실과 차체 중심부의 횡량과의 교차부분에서 발생하였으며 측정응력은 아래 표와 같이 모두 허용 응력 이내에 있음을 알 수 있었다.

수직 하중시험(69,840 kg)				수평압축 하중시험(219,000 kg)			
1 차		2 차		1 차		2 차	
Gauge No.	응력값	Gauge No.	응력값	Gauge No.	응력값	Gauge No.	응력값
1	-5.64	1	-6.22	4	-7.06	4	-7.36
4	4.46	4	5.31	10	-22.09	10	-22.19
10	12.39	10	15.74	12	-14.83	12	-14.44
12	3.63	12	4.58	30	-11.42	30	-11.93
13	-2.17	13	-1.25	40	-14.58	40	-14.75

2.6.2 수직하중과 수평압축하중의 처짐량

수직하중의 경우 최대하중 side sill 중앙부와 수평압축하중의 경우는 side sill 양끝단부 위에서 발생하였으며 처짐량은 아래표와 같다.

Dial Gauge No.		1	2	3	4	5	6	
수직하중 (kg)	1차	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)	2차	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)	1차	수직더미 22,600	-1.52	6.74	-2.89	7.00	5.11	-5.46
		압축 219,000						
수평압축하중 (kg)	2차	수직더미 22,600	-1.14	6.81	-1.92	6.06	5.04	-5.48
		압축 223,000						

2.6.3 수직과 수평압축하중시 최대 평균처짐량

단위 : mm

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

## 2.7 응력한계도

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

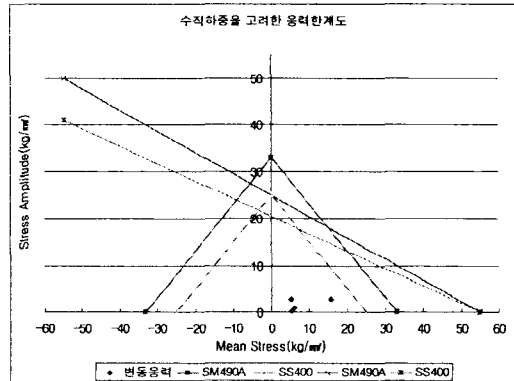
$$\sigma_{mean} = X_1 + \frac{X_2 - X_1}{2} : \text{평균응력}$$

$$\sigma_{dyn} = X_2 - X_1 : \text{변동응력}$$

냉연코일 강판 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 0.3g를 고려한 69,840kg 적재시 최대응력이 선형적으로 변화하므로 정하중 시험시 시험하중으로부터 차량의 영차조건인  $X_1$ 은 영차시의 최대 적재하중인 51,000kg의 수직하중시의 응력을 계산하였으며 변동이 예상되는 변동하중은  $X_1$ 에 0.3g를 부과한 하중을  $X_2$ 로 가정한 71,565kg의 수직하중으로 가정하여 변동응력과 평균응력을 산정하였다.

아래표는 응력이 많이 발생한 부위의 평균응력과 변동응력이며, 이를 근거로 발생한 응력을 응력한계도를 표시한 것이다.

게이지 번호	45,000 (kg)	51,000 (kg)	69,840 (kg)	71,565 (kg)	평균 응력 (kgf/mm <sup>2</sup> )	변동 응력 (kgf/mm <sup>2</sup> )
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



## 2.8 결과 고찰

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

차량의 적정 캠버량 산정을 위한 차체의 처짐량은 최대수직하중일 때 side sill 중앙 부에서 좌우평균 각각 9.32, 9.15mm로 나타났으며, 이러한 수치는 차체의 캠버량을 10mm로 정도로 부여하였을 경우 적절한 것으로 판단된다.

항 목	측정최대값		기 준	최대값 발생부위	
	인장	압축			
응력 (kg/mm <sup>2</sup> )	수직하중	12.39	-5.64	33kg/mm <sup>2</sup> 이하	센터실과 차량의 중심부 크로스빔이 교차하는 부분
	압축하중	5.01	-22.09	33kg/mm <sup>2</sup> 이하	센터실과 차량의 중심부 크로스빔이 교차하는 부분
	조합하중	4.59	-13.51	33kg/mm <sup>2</sup> 이하	②번 횡량 CENTER SILL H-BEAM 하부 밑면
처짐량 (mm)	수직하중	9.32		캠버량 이하	센터실 중앙부
	압축하중	6.87		캠버량 이하	센터실 양끝단부

### 3. 차체 진동시험

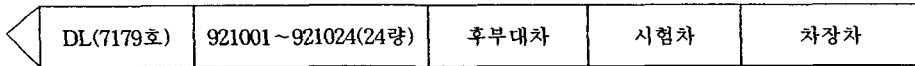
#### 3.1 개요

- 1) 시험항목 : 차체의 진동가속도(상하 및 좌우방향)
- 2) 측정위치 : 후부대차 중심의 차체 상판위
- 3) 측정 및 분석방법

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

#### 4) 열차편성

DL(7179)+냉연코일강관 화차25량+시험차(99991)+차장차



- 5) 시험열차번호 : 6964T ( 가야 - 사상 - 동대구 )

### 3.2 실주행시험

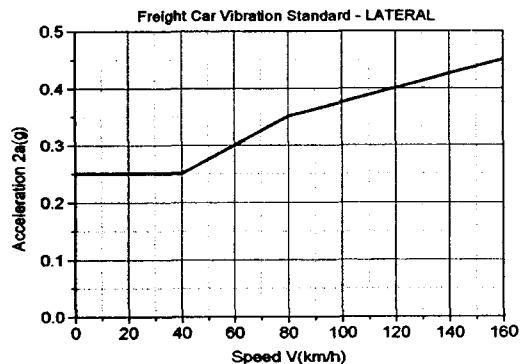
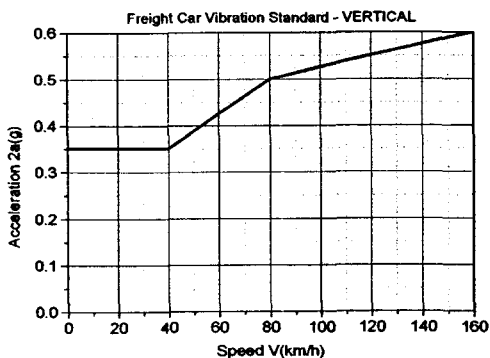
#### 3.2.1 진동가속도 평가기준

상하 및 좌우방향의 차체진동가속도를 측정하고 평가하는 기준은 다음과 같다.

- 1) 차체진동에서 고주파 진동을 제거하기 위한 필터는 10Hz로 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 아래 표와 같다.

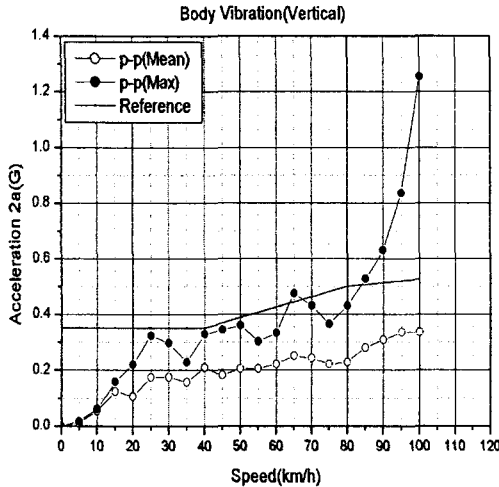
단위 : 2a(g)

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

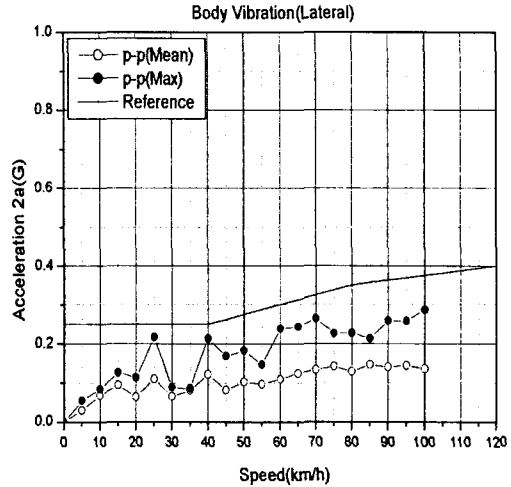


### 3.2.2 진동가속도 측정 결과

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



<상하방향의 진동가속도 측정결과>



<좌우방향의 진동가속도 측정결과>

## 4. 결론

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

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

정하중시험시 최대응력이 발생한 부위는 센터실과 차량의 중심부의 가로부재인 크로스 중앙부에 교차하는 부위에서 발생하였으며, 응력값은 15.74 kg/mm<sup>2</sup>이었으며 또한, 수평압축하중시 발생하는 최대응력도 수직하중과 동일한 위치에서 발생하였으며 그때의 응력값은 22.09 kg/mm<sup>2</sup>이었다.

2) 차량의 적정 캠버량 산정을 위한 차체의 처짐량은 최대수직하중일 때 사이드실 중앙부에서 평균 9.2mm로 나타났으며, 이러한 수치는 차체의 캠버량을 10mm로 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.