

컨테이너 화차 언더프레임 구조강도 평가

Evaluation of Structural Strength for Underframe of Container Freight Car

*#윤성철¹, 권성태², 김원경³

*#S. C. Yoon¹(scyoon1@krii.re.kr), S. T. Kwon², W. K. Kim³

^{1,2,3} 한국철도기술연구원 철도시험인증연구센터

Key words : Strain gauge, Load test, Yield stress

1. 서론

컨테이너를 수송하기 위해 제작된 화차 언더프레임의 제작상태를 확인하기 위해 차체 하중시험을 실시하고자 한다. 차체하중 시험을 실시하여 응력, 변위 등을 측정하고 구조체의 강도 및 강성을 확인하여 안전성을 평가하는데 그 목적이 있다. 본 연구의 컨테이너 화차 모델은 차체길이 13,700mm, 폭 2,332mm, 차체높이 1,065mm 이며 운행 최고 속도는 120km/h 이다. 차체의 하중시험을 통해 강도를 확인하여 차체의 안전성을 평가하고자 한다.

화차 제원과 중량, 치수 등은 각각 Table 1, 2, 3과 같으며 정하중 시험의 평가 기준은 Table 4와 같다.

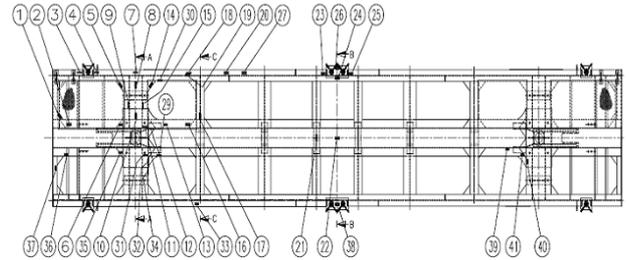


Fig. 1 Setting drawing of strain gauge

Table 1 Dimension of the freight car

항 목	치 수 (mm)	비 고
차체 길이	13,700	
차체 폭	2,332	
대차 중심간 거리	9,700	
연결기 높이	880	레일상면 기준
차체 높이	1,065	레일상면 기준

Table 2 Weight of the freight car

항 목	중 량	비 고
자 중	20,000 kg	
하 중	50,000 kg	
대차 중량	9,480kg	2set

Table 3 Materials of the freight car

재 질	항복강도(MPa)
SM490YA	363
SM490Y	324
SS400	245

2. 차체의 정하중 시험

2.1 스트레인게이지 및 다이얼게이지 취부

화차 구조체는 전후좌우방향으로 거의 대칭을 이루고 있으므로 Strain gauge는 1/4 부분에 집중적으로 취부하며, 측정점의 선택방법은 구조해석의 결과에서 높은 응력이 예측되는 부분, 형상 및 단면의 급변화 부분 등 구조상 응력집중이 예상되는 부분 등을 선정하였다. Strain gauge의 상세한 취부 위치는 Fig. 2와 같다.

2.2 평가기준

차체의 언더프레임은 구조용강관(SM490YA, SM490Y, SS400)으로 제작되어 있다. 수직하중과 수직압축하중 작용시 평가기준은 측정된 응력값이 재료의 항복강도 이내이어야 하며, 처짐량은 캠버량 이내이어야 한다.

Table 4 Evaluation standards

구 분	측 정 값	평가기준	비고
수직하중 시험	응력	재료의 항복강도 이내	
	처짐량	캠버량 이내	
압축하중 시험	응력	재료의 항복강도 이내	
	처짐량	캠버량 이내	

2.3 시험방법

2.3.1 수직하중시험

수직하중은 차체하중과 최대적재하중에 대한 구조체가 부담하는 하중으로 수직하중의 동적효과 0.3g를 고려하면, 화차에 20' 컨테이너 2 EA를 적재한 경우로서, 차체의 중량은 언더프레임 상면에 등분포로 부과하고, 컨테이너 중량은 록킹 장치에 집중하중으로 부여한다. 운행조건을 고려하여, 차체에 작용하는 동하중 계수 0.3g로 하여 수직하중을 결정하였다.

- 등분포 수직하중 = [(차체중량-구체중량) × (1.0g + 동하중계수)] = (10,527-6,679) × (1.3) = 5,002.4 kg
- 컨테이너 수직하중 = 20' 컨테이너 중량 2 EA × (1.0g + 동하중계수) = 24,000 × 2 × (1.3) = 62,400 kg

2.3.2 압축하중시험

압축하중시험은 센터피봇 부위를 지지하고 연결기 중심선을 따라 한쪽 연결기는 지지되고 반대편 차체 연결기에 압축하중을 고려하면, 공차 상태에서 차량 간의 연결 시에 발생하는 수평하중이 동시에 발생하는 경우로서, 차체중량을 적용한 수직하중 상태에서 연결기를 통해 압축력 220톤이 동시에 작용하는 하중 상태이다.

- 등분포 수직하중 = (차체중량-구체중량) = (10,527-6,679) × (1.3) = 5,002.4 kg
- 연결기 압축하중 = 220,000 kg

2.3.3 처짐량 측정

차체의 양끝단과 중앙 등 한쪽 Side Sill 에 7개, 양쪽에 총 14개의 Dial gauge를 설치하여 처짐량을 측정하였다.

3. 하중시험결과

3.1 수직하중시험

최대하중은 67.4톤이며 하중은 0톤 → 51.9톤 → 67.4톤 → 0톤으로 하중을 단계별로 부가하였다. 각 하중을 가한 후 응력계 측정비로 응력을 측정하였다. 최대응력은 센터실과 볼스터 교차 부분에서 발생하였으며 67.4톤 하중시 응력값은 Table 5와 같이 모두 항복응력 이내에 있음을 알 수 있다.

Table 5 Stress of the vertical load

Gauge No.	응력값	재 질	항복응력(MPa)
38	96.49	SM490YA	363
30	-90.41	SM490YA	363
39	-87.47	SM490YA	363
41	-85.41	SM490YA	363



Fig. 2 Loading test equipment

3.2 압축하중시험

최대시험하중은 수직성분 5.0톤과 압축하중 220톤이며 하중은 0톤 → 5.0톤(수직성분) → 150톤 → 220톤 → 0톤으로 하중을 단계별로 부가하였다. 각 하중을 가한 후 응력계 측정비로 응력을 측정하였다. 최대응력은 볼스터 굴곡부위에서 발생하였으며 220톤 하중시 응력값은 Table 6과 같이 모두 항복응력 이내에 있음을 알 수 있다.

Table 6 Stress of the compressive load

Gauge No.	응력값	재 질	항복응력(MPa)
35	-245.54	SM490YA	363
6	-233.09	SM490YA	363
13	-216.43	SM490YA	363
30	-216.42	SM490YA	363



Fig. 3 Strain gauge of the underframe

3.3 합성응력 산출

수직하중과 압축하중이 동시에 작용한다고 가정하고 이 때, 발생한 응력이 재료의 항복응력을 초과하는 여부를 검토하였으며, 이를 위하여 수직하중과 수평압축하중의 시험데이터에 근거한 응력을 중첩시켜 합성응력을 산출하였다. 응력값은 Table 7과 같이 모두 항복응력 이내에 있음을 알 수 있다.

Table 7 Stress of the combined load

Gauge No.	응력값	재 질	항복응력(MPa)
30	-306.83	SM490YA	363
6	-292.51	SM490YA	363
35	-291.83	SM490YA	363
39	-255.64	SM490YA	363

3.4 처짐량

처짐량은 수직하중시 -12.25 mm, 압축하중시 중앙점에서 -1 mm, 좌우 끝단에서 0.25 mm 가 발생하였으므로 캠버량의 기준치 16 mm 이내에 있음을 알 수 있다.

4. 결론

수직하중과 압축하중 시험결과 컨테이너 화차의 차체는 최대 하중에서 발생하는 응력이 모두 사용 재료의 항복강도 이내에 존재하고 있음을 확인 할 수 있었다.

수직하중 작용시 최대응력이 발생한 부위는 센터실과 볼스터 교차부위에서 발생하였으며, 응력값은 시험시 96.5 MPa(38ch)이었다. 압축 하중 시 발생하는 최대 응력은 볼스터 굴곡부위로서 응력 값은 -245.5 MPa(35ch)이었다. 수직하중과 압축하중 작용시의 응력을 이용하여 합성응력을 계산하였으며, 최대 응력은 사이드실과 볼스터 교차부위로써 -306.8 MPa(30ch)이 발생하였으며 재료의 항복강도 이내였다.

수직하중과 압축하중 작용 시 최대 처짐량은 수직하중시 중앙부에서 발생하였으며 12.25 mm 로써 역 캠버가 발생하지 않았다.

참고문헌

1. 건설교통부, "철도차량 안전기준에 관한 규칙," 2005.
2. 건설교통부, "철도차량 안전기준에 관한 지침," 2005.
3. 건설교통부, "철도차량 성능시험 시행지침," 2005.
4. 윤성철 외 3인, "구조해석 및 시험에 의한 경량화 차체 구조강도 평가," 한국정밀공학회추계학술대회논문집, 2005.
5. Japanese Industrial Standards, "Test methods for static load of body structure of railway rolling stock," E 7105, 1989.