

스테인리스 차체의 시험에 의한 구조강도 평가

An evaluation of structural strength by testing the carbody of stainless steel material

윤성철* 전창성** 김원경**
Yoon, Sung-Cheol Jun, Chang-Sung Kim, Won-kyung

ABSTRACT

This study introduces the testing results of the carbody. The load test was performed to evaluate the structural characteristic and stability of the stainless carbody. The carbody is made of stainless steel. The body structure consisted of side frame, under frame, roof frame, and end frame. Of these components, the side frame and under frame were the most important components considering the vehicle and passenger loads. Loading test were performed under the condition based on "Performance Test Standard for Electrical Multiple Unit". The test results showed that the body structure is safe and stable under the condition of designed load.

1. 서론

에너지와 재료의 절약을 위하여 차량구조물의 경량화에 대한 연구는 계속 되고 있다. 철도차량에 스테인리스강을 처음 사용한 것은 미국이며 지금으로부터 70년전 처음으로 제작되었고 일본의 경우 현재 경량 스테인리스제 차체가 주종을 이루고 있다. 국내의 경우 수도권과 광역시에서 다수 제작되어 현재 운행중에 있다. 스테인리스강으로 제작하는 주된 목적은 부식해결 및 보수의 편리성 때문이다. 그 후 부식해결 뿐 아니라 경량화를 위한 구조개선 연구를 거듭하면서 현재에 이르고 있다. 신차 제작시 구조나 형상을 변경하여 제작된 차량을 운행전에 시험을 실시하여 차체의 강도가 안전한가를 평가하였다. 하중시험에 적용된 하중조건은 도시철도차량의 성능시험에 관한 기준을 적용하였다. 본 연구의 도시철도차량 모델은 DC전원을 전차선을 통해 공급받는 통근형 직류전동차이다. 길이 17,500 mm, 폭 2,800mm 로서, 중형 전동차에 해당하는 차량이다.

2. 차체의 하중시험

차체의 고응력이 예상되는 부위와 형상변화 등에 의한 응력집중이 예상되는 부위에 스트레인 게이지를 부착하여 응력을 측정하였으며 시험항목으로는 수직하중, 수평압축하중, 3점지지시험, 비틀림하중시험을 실시하여 그 특성을 비교 분석하고자 한다.

차체 하중시험의 시험차량은 모두 하중조건이 제일 가혹한 차량인 동력차를 시험차량으로 선정하였으며 제원 및 중량은 표 1, 2와 같다.

* 정회원, 한국철도기술연구원, 철도시험인증연구센터

E-mail : scyoon1@krri.re.kr

TEL : (031)460-5512 FAX : (031)460-5509

** 한국철도기술연구원

2.1 하중조건

스테인리스 차체의 시험에 적용되는 하중조건과 크기는 수직하중은 44.3 ton이며, 수평압축하중은 수직하중 11.7 ton과 압축하중 50 ton이 작용하고, 3점 지지하중은 11.7 ton이고, 비틀림 하중은 4 ton·m로 적용하여 하중시험을 수행하였다.

스테인리스 전동차의 계산중량 및 시험을 위한 시험하중은 표 2, 3과 같다.

표 1. 스테인리스 차체의 제원

항 목	제 원(mm)
차체의 길이	17,500
차체의 폭	2,750
지붕 높이 (레일 상면에서)	3,600
볼스타 중심간 거리	12,400
연결기 높이 (레일 상면에서)	880±10

표 2. 스테인리스 차체의 중량

항 목	중 량
공차 중량	32.8 ton
Bareframe 중량	7.5 ton
대차 중량	13.6 ton
최대승객하중	24 ton
동하중 계수	0.2g

표 3. 하중크기

하중조건	하중크기
수직하중	44.3 ton
수평압축하중	수직하중(11.7 ton) + 압축하중(50 ton)
3점지지하중	11.7 ton
비틀림하중	4 ton·m



그림 1. 시험장비

2.2 차체 재질의 기계적 성질

전동차의 차체의 Bolster와 Center Sill은 고장력강이며 나머지 부분은 모두 스테인리스강으로 제작되었다.

표 4. 스테인리스 차체의 기계적 성질

재 질	허용강도	비 고
STS301L-LT	22 kgf/mm ²	Cross Beam, End Sill
STS301L-DLT	35 kgf/mm ²	Side Window Panel
STS301L-ST	42 kgf/mm ²	Entrance Frame, Car Line Roof Panel, Skip Plate Keystone Plate
STS301L-HT	70 kgf/mm ²	Cant Rail, Side Sill, Side Post
SMA490B	37 kgf/mm ²	Bolster, Cener Sill
STS304	21 kgf/mm ²	Bracket

3. 차체의 하중시험 결과

3.1 수직하중시험

수직 하중시험결과 측정응력이 12.0 kgf/mm² 이상인 측정점들은 표 5와 같으며 이 결과를 살펴보면 측정 응력들은 모두 허용응력 이내에 있음을 알 수 있으며 최대응력은 언더프레임의 볼스터와 센터실 연결부(스트레인 게이지 No. 66)에서 발생하였다.

표 5. 수직하중의 응력측정 결과

S/G No.	단계별 수직하중					재 질	허용응력 kgf/mm ²
	초기	5.85톤	11.7톤	44.3톤	잔류		
66	-0.06	-2.47	-4.57	-16.13	0.02	SMA490B	37
37	0.00	-2.89	-5.02	-15.67	0.05	SMA490B	37
8	-0.05	-2.65	-4.15	-13.10	0.02	STS301L-DLT	35
39	0.02	-2.30	-4.01	-13.10	0.07	SMA490B	37
7	-0.01	-2.35	-3.78	-12.73	0.01	STS301L-DLT	35

3.2 수평압축하중시험

수평압축 하중시험결과 측정응력이 7.0 kgf/mm² 이상인 측정점들은 표 6과 같으며 이 결과들을 살펴보면 응력 측정 결과값들은 모두 허용응력 이내에 있음을 알 수 있으며 최대응력은 센터실과 볼스터의 접합 부위(스트레인 게이지 No. 38)에서 발생하였다.

표 6. 수평압축하중의 응력측정 결과

S/G No.	초기	수직 11.7톤				잔류	재 질	허용응력 kgf/mm ²
		압축 0톤	압축 25톤	압축 50톤	압축 60톤			
38	0.00	-1.56	-4.51	-7.37	-8.78	-0.16	SMA490B	37
37	0.02	-4.90	-6.43	-7.83	-8.62	-0.19	SMA490B	37
39	0.02	-4.14	-5.83	-7.33	-8.13	-0.18	SMA490B	37
66	-0.09	-4.68	-6.06	-7.26	-7.88	-0.15	SMA490B	37
64	-0.09	-0.94	-3.43	-6.49	-7.88	-0.12	SMA490B	37

3.3 3점지지시험

3점지지시험결과 측정응력이 7.0 kgf/mm² 이상인 측정점들은 표 7과 같으며 이 결과들을 살펴보면 측정 응력들은 모두 허용응력 이내에 있음을 알 수 있으며 최대응력은 창문하부 코너(스트레인 게이지 No. 31)

에서 발생하였다.

표 7. 3점지지시험의 응력측정 결과

S/G No.	초기	수직 11.7톤 4점지지	수직 11.7톤 3점지지	잔류	재 질	허용응력 kgf/mm ²
31	-0.06	-3.18	-13.69	-0.05	STS301L-DLT	35
18	-0.11	0.42	-10.14	-0.16	STS301L-DLT	35
62	-0.06	-3.79	-10.09	-0.13	STS301L-HF	70
19	-0.02	-1.54	-9.65	-0.06	STS301L-ST	42
15	-0.06	-0.26	-7.82	-0.10	STS301L-DLT	35

3.4 비틀림하중시험

비틀림 하중시험결과 측정응력이 2.0 kgf/mm² 이상인 측정점들은 표 8과 같으며, 이 결과들을 살펴보면 측정 응력들은 모두 허용응력 이내에 있음을 알 수 있다. 부가된 하중에서의 최대응력은 출입문 하부 코너(스트레인 게이지 No. 31)에서 발생하였다.

표 8. 비틀림 하중시험의 응력측정 결과

S/G No.	0 톤	4 톤·m	하중제거	재 질	허용응력 kgf/mm ²
31	0.06	-2.63	0.03	STS301L-DLT	35
18	0.05	-2.45	0.01	STS301L-DLT	35
37	0.05	-2.34	0.03	SMA490B	37
42	0.03	-2.20	0.03	STS301L-LT	22

4. 결 론

본 연구는 스테이리스로 제작된 차체에 대한 구조안전성을 살펴보기 위하여 수직하중, 수평압축하중, 비틀림하중, 3점지지시험을 실시하였다. 4가지 시험결과에 대하여 검토하여 보면

- 1) 수직하중시험시 최대응력은 언더프레임의 볼스터와 센터실 연결부에서 -16.13 kgf/mm² 이 발생하였고, 수평압축하중시 최대응력은 센터실과 볼스터의 접합부위에서 -8.78 kgf/mm² 이 발생하였다.
- 2) 3점지지시험시 최대응력은 창문하부 코너에서 -13.69 kgf/mm² 이 발생하였고, 비틀림하중시 최대응력은 출입문 하부 코너에서 -2.63 kgf/mm² 이 발생하였다.
- 3) 하중시험결과 최대응력은 수직하중시험 일 때 볼스터와 센터실 연결부에서 발생하였고, 3점지지시험 일 때 창문하부 코너에서 발생됨을 알 수 있었으나 모두 사용재질의 허용응력 범위 이내에 있어 강도적으로 안전하다고 판단된다.

참고문헌

1. 알루미늄 구조체의 구조해석 및 하중시험, 윤성철 외 3인, 한국철도학회추계학술대회논문집, 2003
2. Japanese Industrial Standards, "Test methods for static load of body structure of railway rolling stock ", E 7105, 1989
3. 건설교통부, "도시철도차량의 성능시험에 관한 기준", 구조체 하중시험, 2000