

도시철도용 표준화 대차프레임의 강도평가

Strength Assessment of Standardized Bogie Frame for Urban EMU

황동황* 최중호* 송시엽*
Hwang, Dong-Hwang Choi, Joong-Ho Song, See-Yeob

Abstract

Nowadays domestic demands for urban EMUs are gradually increased due to traffic jams and environmental problems. Therefore it has been required to make sure of manufacturing quality and to acquire cost effective bogie frames through mass production.

One of the major functions of bogie frames is to guarantee the static strength and durability. In this research, the comparison between FE analysis and actual load test results is performed for the bogie frame, which is manufactured by Rotem Company. The results show that the standardized bogie frame meets the strength requirements of domestic regulations.

1. 서론

최근 우리나라의 각 도시는 교통량의 증가로 인해 자동차의 통행속도가 점차 떨어지고 있으며, 이로 인한 배기가스 배출로 환경오염 등 각종 문제가 발생하고 있다. 따라서 각 지방자치단체별로 도시철도를 도입하여 운용중에 있거나 도입을 검토하고 있는 상태이다. 최근까지는 각 시행청별로 서로 다른 형태의 대차설계 및 납품이 이뤄졌으나, 향후에는 생산성 향상을 통한 경제성 확보, 품질 안정화 등의 목적으로 도시철도용 표준화 고유 모델 대차의 확보가 필요하게 되었다.

대차프레임의 주요 기능으로는 구체 및 승객하중의 지지, 견인력 및 제동력 전달, 안락한 승차감 제공 등이 있으며 일반적으로 도시철도용 대차프레임은 사이드프레임, 트랜섬, 각종 구성품 지지를 위한 브라켓으로 구성되어 있다.

본 논문에서는 대차프레임에 요구되는 주요 기능중의 하나인 구체 및 승객하중의 안전한 지지를 위한 대차의 정적 강도 평가를 도시철도법 제규정(건설교통부고시 도시철도차량 표준사양[이하 표준사양], 도시철도차량 안전 기준에 관한 규칙[이하 안전기준] 및 도시철도차량 성능 시험에 관한 기준[이하 성능시험])에 의거, 구조해석 및 하중시험을 통하여 검증하고자 한다.

* ㈜로템 기술연구소 응용기술연구원, 비회원

2. 모델링 및 구조해석

해석 대상 대차프레임은 하중조건이 가혹한 구동대차(Motorized bogie)로서 표준사양에서 대형 전동차(A형)에 해당되는 차량의 하중조건을 준용하였다.

구조해석에 사용된 프로그램은 상용 유한요소 해석 프로그램인 I-DEAS master series 9.0 이며 HP workstation x2100에서 수행되었다.

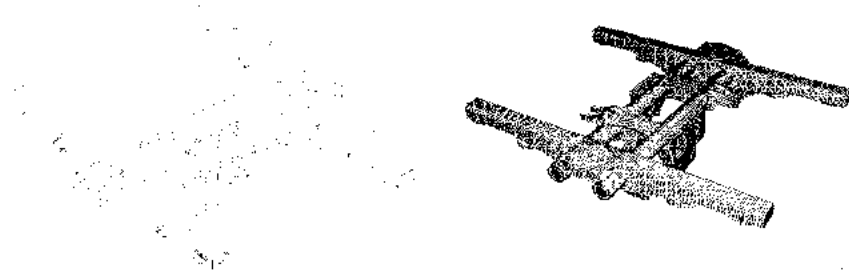


그림 1 표준화 대차의 모델링

2-1. 상하하중

대차프레임에 작용하는 최대 수직하중은 동하중 0.3g를 고려하여 결정되며 air spring 위치의 요소에 하중을 부가하였다.

2-2. 비틀림 하중

비틀림 하중은 궤도 불규칙성에 의해 발생하며, 그 크기는 상하 16.5mm의 높이차에 대응하는 하중이다. 먼저 air spring 위치에 수직 정하중을 가한 상태에서 대각 위치의 1차 스프링에 상방향으로 16.5mm 변위를 부가한다. 다음에 또 다른 대각 위치에 16.5mm 변위를 가하여 같은 방법으로 해석한다.

2-3. 전후하중

전후진동에 의한 하중은 수직 정하중의 $\pm 30\%$ 이다. 전후하중은 mono link bracket에 작용하며, 전진방향과 후진방향의 두 가지로 해석한다.

2-4. 좌우하중

좌우방향 하중은 주행 중 좌우진동에 의해 발생하는 하중으로 그 크기는 수직 정하중의 $\pm 30\%$ 이다. 좌우하중은 lateral buffer bracket에 작용하며, 좌측방향과 우측방향의 두 가지에 대하여 해석한다.

2-5. 구동장치 장착프레임 하중

구동장치 장착 프레임하중은 차량의 구동시 구동모터의 최대 토크에 대해 gear mounting bracket에 작용되는 반력이다. 하중은 전,후위 gear mounting bracket에 각각 전진 및 후진시에 발생하는 반력에 해당되는 하중을 가하여 해석한다.

2-6. 주 전동기 장착프레임 하중

모터의 상하진동 $\pm 4g$ 에 의해 발생하는 하중은 자중을 고려하여 상방향으로 3.0g, 하방향으로 5.0g이다.

2-7. 제동하중

제동에 의해 발생하는 하중은 피스톤의 압부력에 의한 제동반력과, brake shoe와 차륜 사이의 마찰에 의한 제동우력이 있다.

2-8. Lateral damper하중

Lateral damper에 의해 발생하는 하중은 주행중 차체의 좌우진동을 lateral damper가 부담함으로써 발생하는 하중이다.

표 1 하중조건 요약

No.	하중조건	응력 기호	하중크기 (kgf)	하중방향	비고
1	상하 하중	A	29,560	하방향	경하중(1.0g)
		B	38,428	하방향	동하중(1.3g)
2	비틀림 하중	C1	29,560	하방향	2,3 위 변위 16.5mm
		C2	29,560	하방향	1,4 위 변위 16.5mm
3	전후 하중	D1	8,868	전진시	
		D2	8,868	후진시	
4	좌우 하중	E1	8,868	좌측방향	
		E2	8,868	우측방향	
5	구동장치 장착 프레임 하중	F1	3,780	상하방향(전진시)	
		F2	3,780	상하방향(후진시)	
6	주전동기 장착 프레임 하중	G1	3,792	하방향(5.0g)	모터반력 467 kg 부가
		G2	2,492	상방향(3.0g)	
7	제동 하중	H1	[5,000+1,250]	전진시	마찰계수 : 0.25
		H2	[5,000+1,250]	후진시	
8	Lateral damper 하중	I1	1,837	좌측방향	
		I2	1,837	우측방향	

3. 재질의 기계적 성질 및 판정기준

표준화 대차프레임의 사용 재질은 대부분 SM490A이고 트랜섬은 STKM18B, 일부 브라켓들은 SS400으로 제작되며 각 재질의 기계적 성질은 표 3과 같다.

표 2 재질의 기계적 성질 [단위 : kgf/mm²]

No.	재 질	항복강도	인장강도	피로강도			비 고
				모재부	연삭부	용접부	
1	SM490A	33	50	16	11	7	side frame, transom support bracket, T/M bracket, stiffner
2	STKM18B	32	50	14			transom pipe
3	SS400	25	41	14			bracket

계산된 응력은 조합응력으로 환산하여 피로내구선도를 이용하여 무한수명 여부를 판정한다. 여기서 응력기호는 표 1에 정의되어 있다.

◎ 주행시

· 평균응력

$$\sigma_{MR} = A + \frac{(C1-A) + (C2-A)}{2} + \frac{(D1+D2)}{2} + \frac{(E1+E2)}{2} + \frac{(F1+F2)}{2} + \frac{(G1+G2)}{2}$$

· 응력진폭

$$\sigma_{AR}^2 = [B-A]^2 + \left[\frac{(C1-A) - (C2-A)}{2} \right]^2 + \left[\frac{(D1-D2)}{2} \right]^2 + \left[\frac{(E1-E2)}{2} \right]^2 + \left[\frac{(F1-F2)}{2} \right]^2 + \left[\frac{(G1-G2)}{2} \right]^2$$

◎ 계동시

· 평균응력

$$\sigma_{MB} = A + \frac{(C1-A) + (C2-A)}{2} + \frac{(D1+D2)}{2} + \frac{(E1+E2)}{2} + \frac{(G1+G2)}{2} + \frac{(H1+H2)}{2}$$

· 응력진폭

$$\sigma_{AB}^2 = [B-A]^2 + \left[\frac{(C1-A) - (C2-A)}{2} \right]^2 + \left[\frac{(D1-D2)}{2} \right]^2 + \left[\frac{(E1-E2)}{2} \right]^2 + \left[\frac{(G1-G2)}{2} \right]^2 + \left[\frac{(H1-H2)}{2} \right]^2$$

4. 구조해석 및 경하중 시험 결과 비교

각 하중조건별 최대응력은 표 4와 같으며, 응력분포는 Fig. 3~9에 나타내었다. 표 4에서 보는 바와 같이 최대응력은 수직 등하중 작용시 air spring seat의 용접부에서 나타나고 있다. 그러나 모든 하중조건에서 발생한 최대 응력은 재질의 항복강도보다 충분히 작은 값을 얻을 수 있다.

조합응력결과를 살펴보면 고응력을 나타내고 있는 부위는 mono link bracket의 모세부, air spring seat의 용접부, brake bracket의 연삭부 등이며 모두 각 부위별 안전역에 위치해 있다.

표 4 하중조건별 최대응력

[단위 : kgf/mm^2]

No.	하중조건	최대응력		항복강도	재질	비고
		해석	시험			
1	상하 하중	14.73	14.06	33.0	SM490A	Side frame
2	비탈림 하중	12.10	11.04	33.0	SM490A	Brake hanger bracket
3	전후하중	8.21	6.32	33.0	SM490A	Monolink bracket
4	좌우하중	10.47	7.16	33.0	SM490A	Trussom support bkt.
5	구동장치 장착크래임 하중	5.31	5.82	33.0	SM490A	Gear hanger bracket
6	주연장치 장착크래임 하중	8.86	6.40	32.0	SM490A	T/M mount bracket
7	제동하중	2.76	4.05	33.0	SM490A	Brake hanger bracket
8	Lateral damper 하중	6.38	4.84	25.0	SS400	Lateral damper bracket

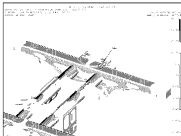


그림 2. 상하하중 작용시 응력분포

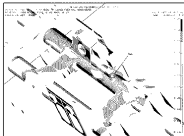


그림 3. 전후하중 작용시 응력분포



그림 4. 하중시험 환경



그림 5. 충격측정/하중제어 장비

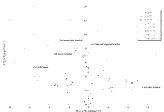


그림 6. 피로내구시험도(구동시)

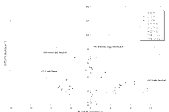


그림 7. 피로내구시험도(제동시)

5. 결론

표준화 대차의 구조해석 및 하중시험을 통하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 고충력 발생부위는 brake bracket 중앙 좌측부(모재), air spring seat(용접) 그리고 mono link bracket(용접) 등이며 측정된 충격은 제철의 허용충격보다 작은 값이다.
- (2) 조합충력 계산결과 최대 평균충격은 제동시 brake bracket(용접부)에서 발생된 11.39kg/mm^2 이며, 최대 충격전폭은 구동시 mono link bracket (모재부)에서 발생된 7.73kg/mm^2 이다.
- (3) 해석 및 시험결과 모든 조합충격은 피로내구선도상의 안전역에 위치하고 있다.

참고문헌

1. "도시철도차량 표준시양", 1998, 건설교통부
2. "도시철도차량 안전 기준에 관한 규칙", 2000, 건설교통부
3. "도시철도차량 성능 시험에 관한 기준", 2000, 건설교통부
4. "철도 차량용 대차 스톱 - 설계 용리", 1996, KS R 9210