

## 전동차 부수대차의 구조해석 연구

윤성철\*(한국철도기술연구원), 권성태(한국철도기술연구원),  
김원경(한국철도기술연구원), 창상훈(한국철도기술연구원)

### Structure Analysis of Secondary Bogie Frame for Electrical Multiple Unit

S. C. Yoon(KRRI), S. T. Kwon(KRRI), W. K. Kim(KRRI), S. H. Chang(KRRI)

#### ABSTRACT

This paper describes the result of structure analysis of secondary bogie frame. The purpose of the analysis is to evaluate an safety which secondary bogie frame shall be considered fully sufficient rigidity so as to satisfy proper system function under maximum load. Secondary bogie system consist of bogie frame, suspensions, wheel-sets, and brake system. Among these component, the bogie frame is most significant component subjected to the vehicle and passenger loads. The evaluation method is used the JIS E 4207 specification throughout the FEM analysis. The analysis results have been very safety and stable for design load conditions.

**Key Words** : Secondary bogie frame (부수대차), Finite Element Method (유한요소법), Stress analysis (응력해석)

#### 1. 서론

철도차량용 주행장치인 대차는 차체의 하중을 지지하고, 승객 및 차량의 안전, 주행성능 및 승차감에 지대한 영향을 미치는 핵심 구조부품이다. 주행장치는 크게 대차틀, 차륜 및 차축, 1차 2차 현가장치, 제동장치 등으로 구성되며, 대차의 구조물이라 할 수 있는 대차틀은 형상이 복잡하고 하중을 직접 지지할 뿐만 아니라 하중조건도 정적 및 동적하중이 복합적으로 작용하고 있어, 차체차중 및 승객하중에 의한 정하중과 곡선주행하중 및 불규칙한 선로와 차체, 주행장치, 운축의 운동모드에 의한 동하중을 받고 있다. 본 연구에서는 주행장치의 주요구성품인 대차틀중에서 부수대차에 대하여 구조해석을 통해 강도를 확인하여 대차의 구조 안정성을 평가하고 대차의 특성을 분석하고자 한다. 구조해석에 적용된 하중조건은 도시철도차량의 성능시험에 관한 기준을 적용하여 수직하중, 비틀림하중, 전후하중, 좌우하중, 브레이크하중의 시험하중에 대한 구조해석을 수행하였다.

#### 2. 대차의 구조해석

##### 2.1 해석 모델

본 해석은 볼스타리스형 용접구조이며 1차 현가장치인 Roll rubber spring과 2차 현가장치인 Air spring으로 구성된 부수대차 프레임에 대하여 유한요소법을 이용하여 대차프레임 강도평가를 시행하였다. 해석은 쉘요소와 솔리드 요소를 사용하였고 Roll rubber spring은 스프링요소를 사용하였다. 해석모델은 Fig. 1과 같다.

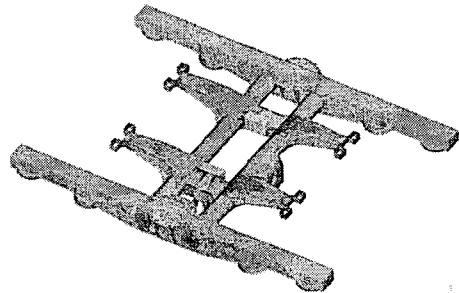


Fig. 1 Analysis model of secondary bogie frame

## 2.2 하중조건

전동차용 부수대차의 계산중량은 Table 1과 같으며 수직하중, 비틀림하중, 전후하중, 좌우하중, 브레이크하중의 시험하중은 Table 1로 부터 계산된다

Table 1 Weight of secondary bogie frame

구분	항 목	중 량	비 고
1	공차 중량	31.000	
2	최대 승객하중	24.000	
3	대차 하중	10,300	2 sets
4	스프링하중량	6,252	2 sets
5	대차당 하중	24,374	$[(1)+(2)-(4)]/2$

Table 2 Mechanical property of secondary bogie frame

재 질	허용응력	비 고
SWS490A	33kgf/mm <sup>2</sup>	side frame, transom support bracket, stiffener
STKM18B	32kgf/mm <sup>2</sup>	transom pipe
SS400	24kgf/mm <sup>2</sup>	bracket

부수대차 프레임에 작용하는 하중은 성능시험의 대차시험에 따라 다음과 같이 계산되며 Table 3의 하중조건을 적용하여 구조해석을 수행하였다.

- 1) 수직하중 = 수직정하중 ? 1.3g (대차당 수직정하중에 동적효과 0.3g를 고려한 하중)
- 2) 비틀림하중 = 수직정하중 (레일의 불균형에 의해 발생하는 하중)
- 3) 전후하중 = 수직정하중? 0.3g (주행중 전후진동에 의해 발생하는 하중)
- 4) 좌우하중 = 수직정하중? 0.3g (주행중 좌우진동에 의해 발생하는 하중)
- 5) 브레이크하중 = 제동반력 + 제동우력 (제동에 의해 발생하는 하중)

Table 3 Load condition of secondary bogie frame

No.	하중조건	응력 기호	하중크기	하중방향	비 고
1	수직하중	A	24,374 kg	하방향	정하중(1.0g)
		B	31,686 kg	하방향	동하중(1.3g)
2	비틀림 하중	C1	24,374 kg	하방향	2,3위 변위 16.5mm
		C2	24,374 kg	하방향	1,4위 변위 16.5mm

3	전후하중	D1	7,312 kg	전진시	
		D2	7,312 kg	후진시	
4	좌우하중	E1	7,312 kg	좌측방향	
		E2	7,312 kg	우측방향	
5	브레이크 하중	H1	1,544 kg ? 4	전진시	
		H2	1,544 kg ? 4	후진시	

## 2.3 판정기준

부수대차 프레임의 강도는 Table 2의 대차 각 부위별 재질의 허용응력이하 이어야 하며 아래의 조합응력 계산식에서 조합응력으로 환산하여 피로내구선도상의 위치에 따라 안전성을 평가한다.

### ◎ 주행시

#### ○ 평균응력

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

#### ○ 응력진폭

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

### ◎ 제동시

#### ○ 평균응력

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

#### ○ 응력진폭

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

## 3. 구조해석 결과

부수대차 프레임의 해석결과 평균응력 및 응력진폭은 Fig. 2~4와 같다. 최대평균응력은 제동시 side

frame의 중앙 하단의 모재부(절점번호 18963, shell top)에서 평균응력은 9.68 kgf/mm<sup>2</sup>이고 응력진폭은 3.38 kgf/mm<sup>2</sup>로 나타났고, 최대응력진폭은 mono link bracket의 grinding부(절점번호 94844, shell bottom)에서 평균응력은 1.38 kgf/mm<sup>2</sup>, 응력진폭은 10.3 kgf/mm<sup>2</sup>로 나타나고 있다. 높은 응력이 발생하는 위치는 Fig. 7에 나타내었고 Fig. 5, 6에 나타난 부수대차 프레임의 피로내구선도를 살펴보면 각 부위들은 모두 안전역에 위치하고 있음을 알 수 있다.

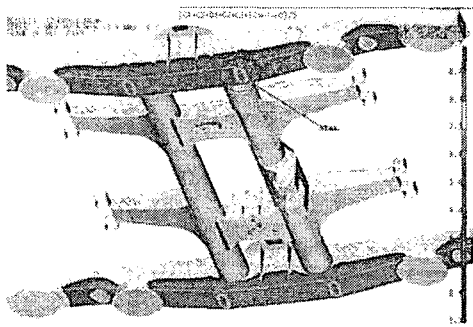


Fig. 2 Mean stress distribution - max. principal

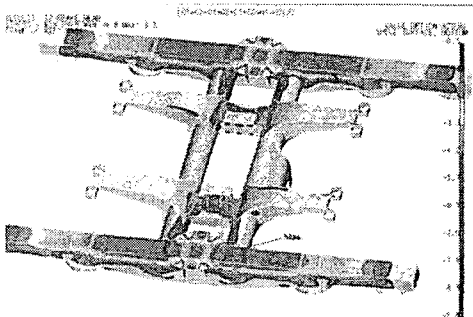


Fig. 3 Mean stress distribution - min. principal

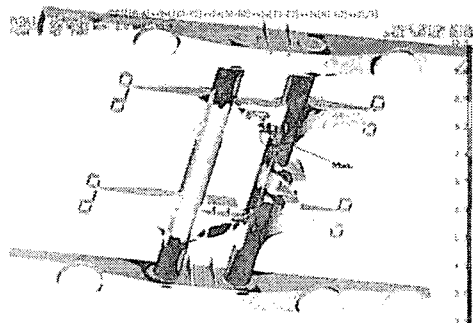


Fig. 4 Stress amplitude distribution

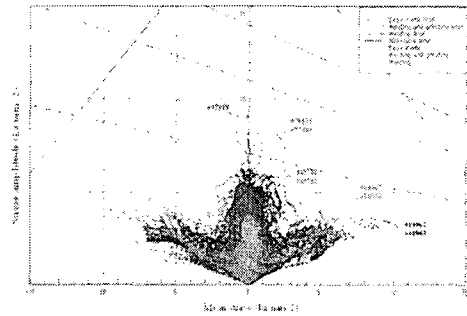


Fig. 5 Fatigue endurance diagram of braking mod (top of shell)

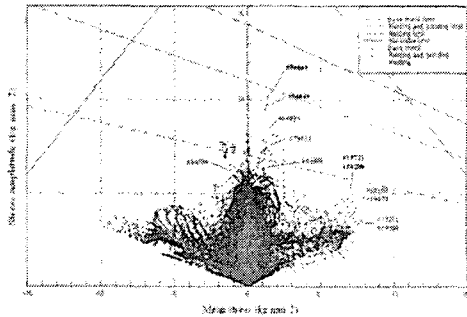


Fig. 6 Fatigue endurance diagram of braking mod (bottom of shell)

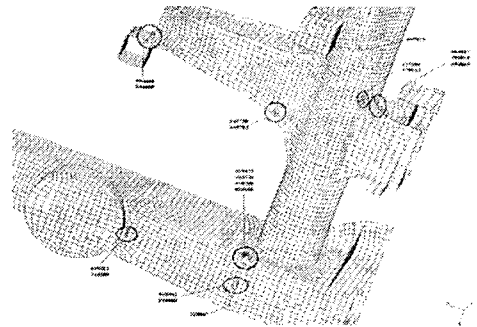


Fig. 7 Node location of high stress

#### 4. 결론

도시철도차량의 부수대차에 대하여 구조해석을 수행한 결과는 다음과 같다.

- 1) 구조해석 결과 최대평균응력은 제동시 side frame의 중앙 하단의 모재부(절점번호 18963, shell top)에서 평균응력은 9.68 kgf/mm<sup>2</sup>이고 응력진폭은

3.38 kgf/mm<sup>2</sup>로 나타났고, 최대응력진폭은 mono link bracket의 grinding부(절점번호 94844, shell bottom)에서 평균응력은 1.38 kgf/mm<sup>2</sup>, 응력진폭은 10.3 kgf/mm<sup>2</sup>로 나타났다.

2) 부수대차 프레임의 조합응력은 모두 피로대구 선도에서 안전영역에 있어 피로강도를 만족하는 것으로 나타났다

### 참고문헌

1. 건설교통부, 도시철도차량의 성능시험에 관한 기준? 대차 하중시험, 2000
2. 건설교통부, 도시철도차량 안전기준에 관한 규칙? 주행장치의 안전기준, 2000
3. 한국표준협회, 철도차량용 대차 스톱 설계 통칙? R 9210, 1996
4. 건설교통부, 도시철도차량 표준사양? 1998
5. Japanese Industrial Standards, Truck Frames for Railway Rolling Stock-General Rules for Design? E 4207, 1992
6. Japanese Industrial Standards, Test Methods of Static Load for Truck Frames and Truck Bolsters of Railway Rolling Stock” , E 4208, 1988