

# 신형전동차용 대차프레임 동응력시험 및 피로강도 평가

## Evaluation of Fatigue Strength and Dynamic Stress Test of Bogie Frame for New Electrical Multiple Unit

김원경\* 원시태\*\* 전창성\*\*\* 윤성철\*\*\*  
Kim, Weon-Kyung Won, Si-Tae Jun, Chang-Sung Yoon, Sung-Cheol

### ABSTRACT

For an evaluation of fatigue strength, the dynamic stress test of bogie frame for new electrical multiple unit was practiced in the real route line. And this results are summaries for a decision whether this vehicle can be operated safely for more than 25 years according to the international standard of the evaluation and its procedure.

### 1. 서론

철도차량용 주행장치인 대차는 차체의 하중을 지지하고, 승객 및 차량의 안전, 주행성능 및 승차감에 지대한 영향을 미치는 핵심 구조부품이다. 주행장치는 크게 대차프레임, 차륜 및 차축, 1차 2차 현가장치, 제동장치, 전동기 및 동력전달장치 등으로 구성된다. 대차의 구조물이라 할 수 있는 대차프레임은 형상이 복잡하고 하중을 직접 지지하며 하중조건도 정적 및 동적하중이 복합적으로 작용하고 있다. 본 연구에서는 새로 개발된 주행장치의 주요구성품인 대차프레임에 대한 동응력 시험결과 분석을 통해 피로강도를 확인하여 대차의 구조 안전성을 평가하였다.

### 2. 대차의 동 응력시험

측정구간은 인천국제공항철도 인천공항역 ~ 계양역(31km) 구간에서 실시하였으며 시험차량은 2708호(M'차) 전위대차이다. 총 14개의 스트레인게이지를 취부하여 14개의 데이터를 취득하였다.

채널	S/G(그림 1 참조)	채널	S/G(그림 1 참조)
1	4	8	37
2	12	9	42
3	18	10	45
4	23	11	46
5	26	12	5
6	27	13	50
7	29	14	59

표 1 채널별 스트레인게이지의 위치

\* 정회원, 서울산업대학교 철도차량시스템공학과(한국철도기술연구원 책임연구원)

E-mail : wkkim@krri.re.kr

TEL : (031)460-5510 FAX : (031)460-5509

\*\* 서울산업대학교 금영설계과 교수

\*\*\* 한국철도기술연구원

## 2.1 공차시험

공차시험은 기 개통된 인천공항역에서 계양역까지 31km를 2회 왕복하였다. 대차에 스트레인게이지를 취부한 사진과 시험장비 설치사진을 그림 3 ~ 5에 나타내었으며, 측정된 실동응력값을 그림 6 ~ 9에 나타내었다. 실동응력값은 2회 반복시험을 하여 평균된 값을 사용하였다. 반복시험시에 동응력 측정값은 비슷한 경향을 나타내었다. 2회차 하행시에 과속으로 인한 비상제동이 한번 체결되어 동응력값이 1회차 때보다 크게 나왔다. 동응력 측정값이 가장 크게 변동한 채널은 12번이었다. 측정된 동응력값을 채널별로 Rain-flow 알고리즘을 이용한 cycling counting하여, BS7608의 S/N curve에 의거 누적손상을 계산하여 표 2에 나타내었다. 각 위치별 BS7608의 Class도 표에 같이 나타내었다. 동응력값이 크게 변동한 채널 12번이 누적 손상도 가장 컸다.

채널	BS7608 Class	Damage (1회차 상행)	Damage (2회차 상행)	Damage (1회차 하행)	Damage (2회차 하행)	Damage (상하행 평균의 합)
1	B	1.59E-10	2.10E-10	1.04E-10	1.87E-10	3.30E-10
2	F	1.92E-08	2.98E-08	2.10E-08	3.22E-08	5.11E-08
3	F	7.94E-12	3.85E-11	1.93E-11	6.13E-11	6.35E-11
4	F	5.35E-09	8.62E-09	5.85E-09	1.59E-08	1.78E-08
5	F	2.25E-10	4.03E-10	3.70E-10	7.28E-10	8.63E-10
6	F	6.49E-09	9.24E-09	7.36E-09	1.03E-08	1.67E-08
7	F	3.49E-09	5.80E-09	4.35E-09	5.46E-09	9.55E-09
8	B	2.06E-11	2.58E-11	1.72E-11	2.86E-11	4.61E-11
9	F	7.58E-09	8.97E-09	9.74E-09	1.09E-08	1.86E-08
10	F	1.29E-08	1.69E-08	1.03E-08	1.37E-08	2.69E-08
11	F	7.01E-11	9.30E-10	8.14E-10	1.82E-10	9.98E-10
12	F	3.21E-07	4.33E-07	2.91E-07	6.32E-07	8.39E-07
13	F	2.61E-10	4.00E-10	4.24E-10	7.04E-10	8.94E-10
14	F	1.53E-09	6.51E-09	4.65E-09	6.48E-09	9.58E-09

표 2 시험 구간 공차 시험 1회 왕복시의 손상

## 2.2 만차시험

만차시험은 채널별로 cycling counting한 시험결과를 표 3에 나타내었다. 공차시험 경우보다 가혹한 조건이므로 동응력값의 변동분도 공차경우보다 크며 누적손상값도 크게 나왔다. 공차 때와 마찬가지로 채널 12번에서 가장 큰 값이 계산되었다.

채널	BS7608 Class	Damage (1회차 상행)	Damage (2회차 상행)	Damage (1회차 하행)	Damage (2회차 하행)	Damage (상하행 평균의 합)
1	B	8.82E-10	9.07E-10	3.26E-10	2.82E-10	1.20E-09
2	F	8.75E-08	5.88E-08	5.33E-08	4.81E-08	1.24E-07
3	F	1.39E-10	1.82E-11	1.27E-10	4.77E-11	1.66E-10
4	F	3.77E-08	1.17E-08	4.12E-08	2.56E-08	5.81E-08
5	F	1.08E-09	1.33E-10	7.85E-10	4.08E-10	1.20E-09
6	F	2.47E-08	1.16E-08	1.67E-08	1.34E-08	3.32E-08
7	F	1.67E-08	1.05E-08	9.49E-09	6.04E-09	2.14E-08
8	B	7.59E-11	5.04E-11	5.60E-11	4.83E-11	1.15E-10
9	F	3.55E-08	1.62E-08	1.75E-08	1.54E-08	4.23E-08
10	F	3.80E-08	2.80E-08	2.69E-08	2.16E-08	5.73E-08
11	F	7.58E-10	6.50E-11	4.71E-10	1.48E-10	7.21E-10
12	F	1.36E-06	1.11E-06	1.36E-06	1.42E-06	2.62E-06
13	F	1.34E-09	6.13E-10	7.60E-10	6.86E-10	1.70E-09
14	F	1.39E-08	2.55E-09	4.51E-09	2.23E-09	1.16E-08

표 3 시험 구간 만차 시험 1회 왕복시의 손상

### 2.3 25년 운행시의 누적손상

본 시험의 목적은 대차프레임의 내구수명인 25년 동안 균열발생 여부를 예측하여 대차의 강도적인 안전성을 검토하는 것이다. 25년간의 누적손상이 1보다 작은 값이면 이론적으로 대차프레임에서 균열이 발생하지 않는다고 예측할 수 있다.

인천국제공항의 운영계획을 참고로 하여 25년동안의 운행 횟수를 예측하면 일반형 전동차 1일 운행계획은 18편성 총 182왕복 (2010년 일반형 기준), 1개 편성당 1일 평균 운행 회수 10.1회, 불가용 시간은 3개월마다 3일씩 월상검사와 3년마다 15일씩 중정비검사를 감안하여 3년을 주기로 1개 편성당 다음과 같은 왕복회수가 산출된다.

$$[365\text{일} \times 3\text{년} - 3\text{일} \times 12\text{회(월상검사회수)} - 15\text{일(중정비회수)}] \times 10.1\text{회} = 10544.4\text{회}$$

이를 25년으로 환산하면,  $10544.4 \times 25 / 3 = 87870\text{왕복}$  이다.

위의 시험결과는 기개통된 31km에 대한 시험결과이다. 미개통구간(30.5km)을 포함한 전구간(61.5km)에 대한 누적손상은 기개통된 구간의 누적손상값에서 선형적으로 예측하여 계산하였다.

$$1\text{회 왕복시 전구간 누적손상} = \text{기개통된 구간의 1왕복 누적손상} \times 61.5\text{km} / 31\text{km}$$

이상의 계산 결과를 다음 표 4에 나타내었다.

채널	BS7608 class	전구간 1왕복 누적손상 (공차)	전구간 1왕복 누적손상 (만차)	25년 누적손상 (공차)	25년 누적손상 (만차)
1	B	6.54E-10	2.38E-09	5.75E-05	2.09E-04
2	F	1.01E-07	2.46E-07	8.91E-03	2.16E-02
3	F	1.26E-10	3.29E-10	1.11E-05	2.89E-05
4	F	3.54E-08	1.15E-07	3.11E-03	1.01E-02
5	F	1.71E-09	2.39E-09	1.50E-04	2.10E-04
6	F	3.31E-08	6.59E-08	2.91E-03	5.79E-03
7	F	1.89E-08	4.24E-08	1.66E-03	3.73E-03
8	B	9.15E-11	2.29E-10	8.04E-06	2.01E-05
9	F	3.68E-08	8.39E-08	3.24E-03	7.38E-03
10	F	5.34E-08	1.14E-07	4.69E-03	9.98E-03
11	F	1.98E-09	1.43E-09	1.74E-04	1.26E-04
12	F	1.66E-06	5.20E-06	1.46E-01	4.57E-01
13	F	1.77E-09	3.37E-09	1.56E-04	2.96E-04
14	F	1.90E-08	2.30E-08	1.67E-03	2.02E-03

표 4 25년 운행시의 누적손상

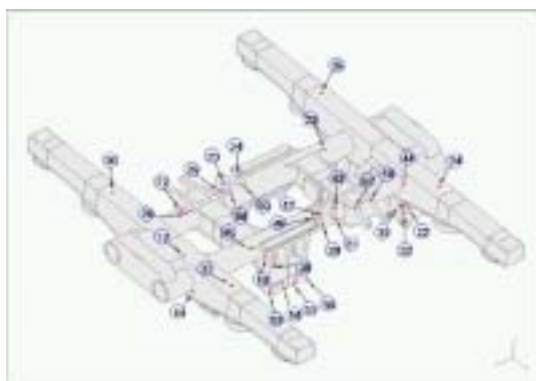


그림 1 스트레인 게이지 취부(상)



그림 2 스트레인 게이지 취부(하)



그림 3 스트레인게이지가 취부된 대차



그림 4 전동차에 조립된 대차



그림 5 계측장비

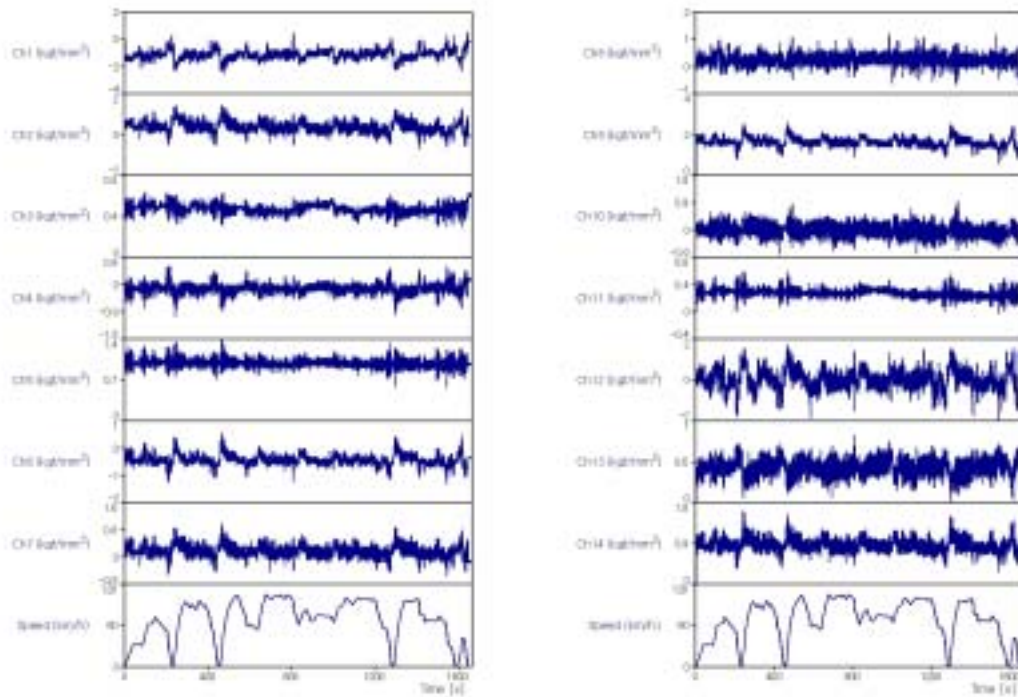


그림 6 실동응력 측정값(공차 상행, 1차)

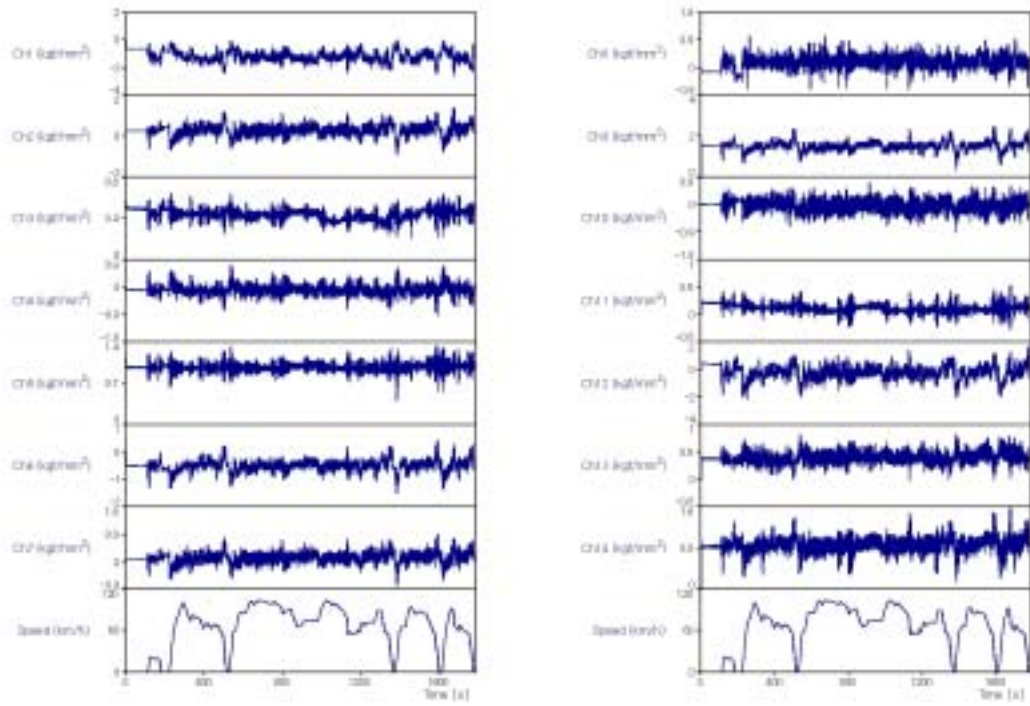


그림 7 실동응력 측정값(공차 하행, 1차)

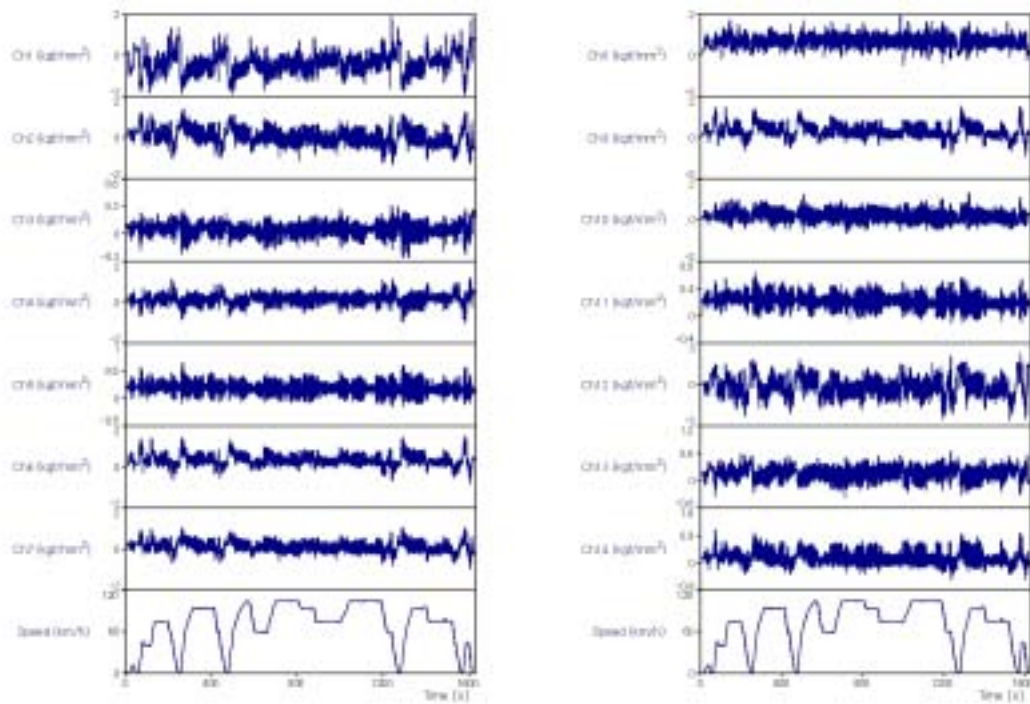


그림 8 실동응력 측정값(만차 상행, 1차)

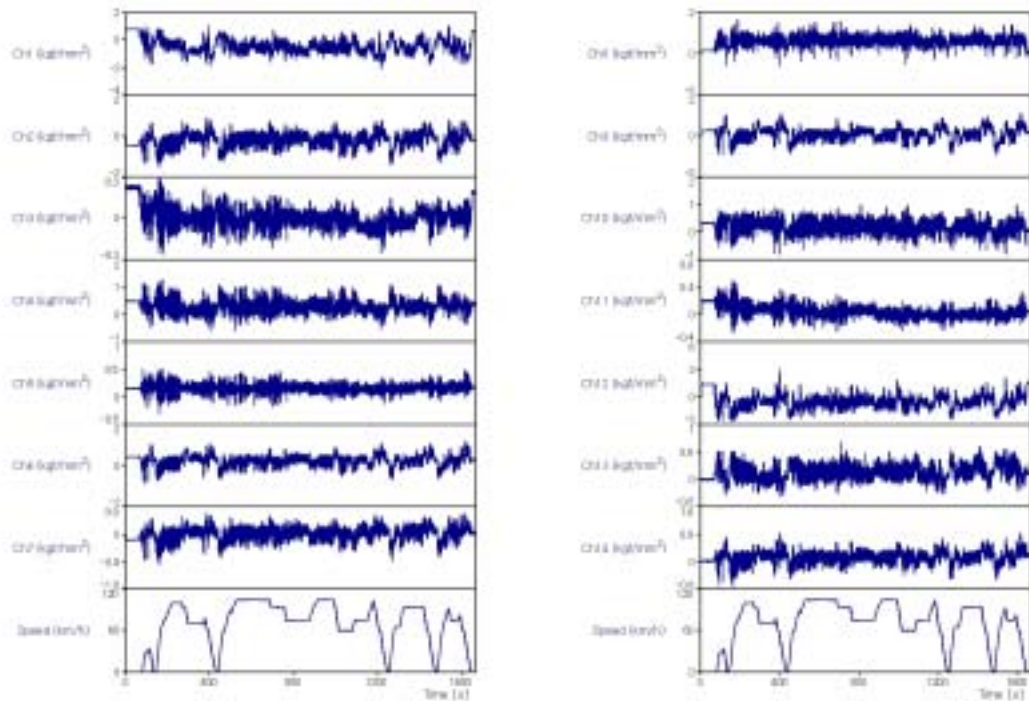


그림 9 실동응력 측정값(만차 하행, 1차)

### 3. 결론

인천국제공항철도 대차의 동응력 측정결과 25년동안 최대 누적손상은 표 4를 참고로 하여 채널 12번에서 발생하였으며, 최악의 조건인 만차상태로 25년동안 운행하였을 때 누적손상은 0.457로 1보다 충분히 작다. 따라서, 25년 동안 용접부에서 균열이 발생하지 않을 것으로 예상되며, 강도적 안전성을 가질 것으로 예상된다.

### 4. 참고문헌

1. Fatigue design and assessment of steel structures. BS7608 : 1993
2. 건설교통부, “도시철도차량의 성능시험에 관한 기준”, 대차 하중시험, 2000
3. 한국표준협회, “철도차량용 대차 스톱 설계 통칙”, R 9210, 1996