

국내 철도차량 진동시험규격에 대한 연구

Study about Domestic Rolling Stocks Vibration Test Standards

심중호*

Shim, Jung-ho

ABSTRACT

The rolling stock which is used the most frequently by public transportation has to secure reliability and safety. In these, vibration is the important factor which causes of serious problem of rolling stock. By the way, rolling stocks vibration test specific activity that is using translating JIS standard is serious mistake, but it is actuality that is used until present more than ten years. Study wishes to analyze problem of standard of domestic rolling stocks and present countermeasure.

1. 서 론

대중교통으로 가장 많이 이용하고 있는 철도차량은 신뢰성과 안전이 확보하지 않으면 안 된다. 그중에서 진동은 철도차량의 중요한 문제를 야기 시키는 인자다. 그런데 JIS규격을 번역하여 사용하고 있는 철도차량 진동시험 규격이 심각한 오류가 있지만 십년 이상 제. 개정 없이 현재까지 사용되어지고 있는 게 현실이다. 본 연구에서는 국내 철도차량의 진동시험규격의 문제점을 분석하고 그에 따른 대책을 제시하고자 한다.

2. 철도차량 진동시험규격

국내. 외 철도차량 규격을 보면 진동시험규격이 많지 않다. 국내 규격을 보면 사인(정현)진동을 이용한 대표적인 규격으로 KS R 9144, KS R 9186이 있고 충격시험으로는 반사인파를 이용한 KS R 9146이 있다. 국내 철도차량의 모든 제품이 이 규격으로 내구성 평가를 받는다고 볼 수 있다.

국내 철도차량 규격 중 가장 많이 쓰는 규격은 KS R 9144 (철도차량부품의 진동시험방법)로 철도차량의 자체, 대차 등에 부착하는 기기 및 부품을 진동시험기에 부착하여 시험하는 일반적인 진동시험방법으로 철도차량 자체, 대차에 부착하는 부품, 기기에 100% 적용되는 시험규격이다.

또, 다른 국내규격으로 KS R 9186 (철도신호 보안부품 - 진동시험방법)로 철도의 신호 보안 설비의 신호기, 릴레이 설치 장치, 기구 상자, 동력 전철기, 레일 등에 설치하는 기기 및 부품(이하 부품이라 한다.)에 대하여 진동시험기에 설치하여 실시하는 일반적인 진동 시험(이하 진동 시험이라 한다.) 방법에 대하여 규정한다. 다만 차량에 탑재하는 신호 보안 부품에는 적용하지 않는다. 이 규격은 에 100% 적용되는 시험규격이다.

* (주)테스코 팀장, 정회원

E-mail : tesco21@tesco21.com

TEL : (031)259-6528 FAX : (031)259-6532

진동시험규격과 함께 충격시험이 이루어지고 있는데 KS R 9146 (철도차량 부품의 충격 시험방법) 이 규격은 철도차량의 차체, 대차의 용수철 윗부분에 부착하는 기기 및 부품을 충격시험기에 부착하여 실시하는 일반적인 충격시험방법으로 차체, 대차 등에 부착하는 기기 및 부품은 물론 지상에 설치되는 철도관련 모든 기기 및 부품에 사용하는 규격으로 최근에는 50%정도 적용되는 규격이다.

표 1. 국내철도차량진동 규격

구 분	시험 규격	시험 규격명	적용 범위
국내	KS R 9144	철도차량부품의 진동시험방법	철도차량에 장착하는 모든 기기 및 부품
	KS R 9186	철도신호 보안부품-진동시험방법	철도에 관련된 지상용 모든 기기 및 부품
	KS R 9146	철도차량부품의 충격 시험방법	철도차량에 장착하는 모든 기기 및 부품

3. 국내진동시험 규격 분석

모든 국내철도차량의 규격을 적용하고 있는 사인(정현)진동시험(KS)과 해외 모든 프로젝트에 적용하고 있는 해외규격(IEC, RIA)인 랜덤진동시험의 가장 큰 차이는 사인(정현)진동과 랜덤진동의 차이라 볼 수 있다.

국내진동시험규격은 가장 대표적인 규격으로 KS R 9144(철도차량부품의 진동시험방법)규격을 토대로 분석하고자 한다.

이 규격은 공진과 기능시험은 함께 실시하면서 시료가 동작 상태에서 시험이 진행된다. 이때 공진의 유무를 확인하여 공진이 있는 경우와 공진이 없는 경우를 적용하여 시험을 진행하게 된다. 좀 더 세부적으로 들어가 공진, 기능시험과 내구성시험에 대해 알아보자.

3.1 공진, 기능시험

표 2. 공진시험 규격

기호	진동수 범위 Hz	진동의 크기
1 여객차 부착 품	1 ~ 5	온진폭 5mm
	5 ~ 30	가속도 온진폭 4.9 m/s ²
2 여객차, 기관차 부착 품	1 ~ 5	온진폭 10mm
	5 ~ 30	가속도 온진폭 9.81 m/s ²
3 기관차, 화차, 2축차의 부착 품	3 ~ 7	온진폭 10mm
	7 ~ 40	가속도 온진폭 19.6 m/s ²
4 대차프레임 부착 품	5 ~ 11	온진폭 10mm
	11 ~ 50	가속도 온진폭 49.0 m/s ²
5 대차프레임, 스프링 아래 부분 부착 품	7 ~ 16	온진폭 10mm
	16 ~ 60	가속도 온진폭 98.1 m/s ²
6 스프링아래부분 부착 품	10 ~ 25	온진폭 10mm
	25 ~ 70	가속도 온진폭 245 m/s ²

가속도 온진폭, 진동의 온진폭 및 진동수와의 관계를 식으로 표시하면 (앞에 2는 온진폭)

$$2\alpha = \frac{4\pi^2}{1000} \times 2a \times f^2 \approx 2a \left(\frac{f}{5}\right)^2 \quad \text{----- (1)}$$

여기에서 2α : 가속도 온진폭(m/s²), $2a$: 온진폭(mm), f : 진동수(Hz)

식(1)은 가속도 온진폭을 구하는 공식으로 결과 값에 따라 충격의 차이가 달라진다.

그런데 식(1)을 계산하면 문제가 없지만 국내규격 중 전기.전자에 해당하는 KS C 0240과 자동차에 관련된 규격에서 계산식을 정리하여 보면 전기. 전자 규격과 철도차량 규격이 같다는 것을 알 수 있다.

표 3. 각 진동규격별 가속도 계산식 비교

철도차량 규격	전기. 전자 규격
KS R 9144, KS R 9186	KS C 0240
$2\alpha = \frac{4\pi^2}{1000} \times 2a \times f^2 \approx 2a \left(\frac{f}{5}\right)^2$	$a = (2\pi f)^2 d \times 10^{-3}$
2α : 가속도 온진폭(m/s ²), $2a$: 온진폭(mm), f : 진동수(Hz)	a : 가속도 진폭(m/s ²) d : 편진폭 (mm) f : 진동수 (Hz)

$$\left(\frac{4\pi^2}{1000}\right) \times 2a \times f^2 = (4 \times \pi)^2 \times 2a \times 0.001 \times f^2 = 2^2 \times \pi^2 \times f^2 \times 0.001 \times 2a = (2\pi f)^2 \times 2a \times 0.001$$

$$2\alpha = \frac{4\pi^2}{1000} \times 2a \times f^2 = (2\pi f)^2 d \times 10^{-3}$$

3.2 내구성 시험

공진. 기능시험 후 공진 유. 무에 따라서 시험방법이 달라진다.

공진이 없는 경우는 기호2 에 해당할 경우 10Hz에 온 진폭 3.5mm, 가속도 온 진폭 13.7m/s² 로 상하 4 시간, 좌우2시간, 전후2시간을 시험하게 된다.

표 4. 진동내구시험(공진 상태인 경우)

구 분	진동수	B종			
		온진폭 mm	시험시간 h		
			상.하	좌.우	전.후
공진상태인 경우	공진진동수	2.8a	1	0.5	0.5
공진상태가 아닌 경우	각 주파수 표5. 참조	표5. 참조	3	1.5	1.5

하지만 공진이 있는 경우는 가속도 온 진폭에 해당하는 온 진폭을 2α mm라고 할때, 각 종류는 표 4. 따라 시험한다.

표 5. 진동내구시험(공진이 없는 경우)

기 호	주파수	B 종				
		온진폭 mm	가속도 온진폭 m/s ²	시험 시간 h		
				상.하	좌.우	전.후
1	10	1.75	6.86	4	2	2
2		3.5	13.7			
3	20	1.8	28.4			
4	30	2.0	70.6			
5	40	2.3	144			
6	50	3.5	343			

위 표에서 공진상태인 경우 공진 진동수에서 온 진폭이 2.8a일때 가속도 온 진폭을 식(1)에 따라 구하면

2a는 온 진폭임을 표시하므로 2a=1로 볼 때 $2.8a = 2.8/2 = 1.4$ 로 온 진폭에 1.4를 넣어 계산을 하면 된다. (이 표현법으로 인해 계산상에 많은 혼돈을 주고 있어 수정이 필요하다고 볼 수 있다.)
 쉽게 풀이하기 위해 내구성시험 중 가장 많이 사용하고 있는 2종 B를 토대로 풀어보면

공진 진동수가 10Hz인 경우 : 온 진폭 가속도 = $(1.4 \times 3.5) \times (\frac{10}{5})^2 = 19.6m/s^2$

공진 진동수가 20Hz인 경우 : 온 진폭 가속도 = $(1.4 \times 3.5) \times (\frac{20}{5})^2 = 78.4m/s^2$

공진 진동수가 30Hz인 경우 : 온 진폭 가속도 = $(1.4 \times 30) \times (\frac{30}{5})^2 = 176.4m/s^2$

위 계산을 통해 공진 상태인 경우 공진 진동수의 변경으로 인해 가속도 온 진폭 값이 4배, 9배 상승하는 것을 볼 수 있다.

표 6. 진동내구시험 비교

구 분	주파수 Hz	가속도 온진폭 m/s ²	온진폭 mm
공진상태가 아닌 경우 (공진이 없는 경우)	10	13.7	3.5
공진상태 경우 (공진이 있는 경우)	10	19.6	4.9
	20	78.4	
	30	176.4	

KS R 9144 규격에서 적용되어지고 있는 진동주파수는 1~70 Hz (1종~6종)로 공진이 없는 경우, 제품 부착 부위에 따라 고정주파수(10, 20, 30, 40, 50 Hz)로 시험을 하고 있는데 합리적인 근거가 없어 개선을 하기가 어렵다.

그 사례로 철도차량(무궁화호)을 측정하여 FFT로 분석한 데이터는 그림1, 2, 3과 같다.

아래 데이터 세로축은 PSD level이고 가로축은 주파수이다.

저주파일 경우 충격값이 높게 나오지만 전체적으로 사선으로 떨어지다가 100~200 Hz 사이에 충격값이 높게 나오고 있다. 그림1, 2, 3을 보고 판단할 수 있는 것은 주파수가 150 Hz정도까지는 시험을 해야 된다는 것이고 공진이 없는 경우의 고정 주파수의 근거자료를 찾아 볼 수 없었다.

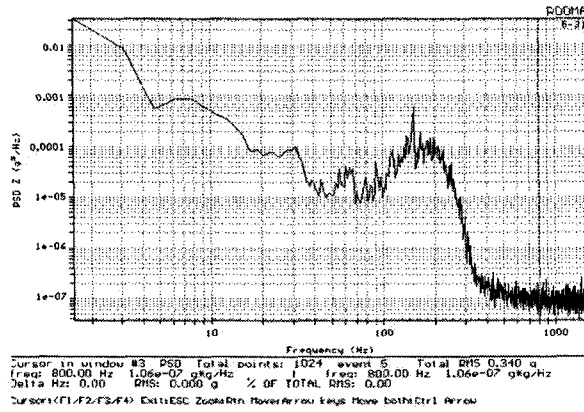


그림1. 객실바닥 상하방향 진동측정 데이터(평균)

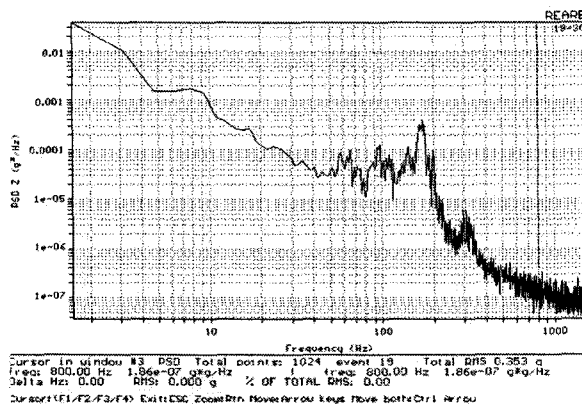


그림2. 객실바닥 좌우방향 진동측정 데이터(평균)

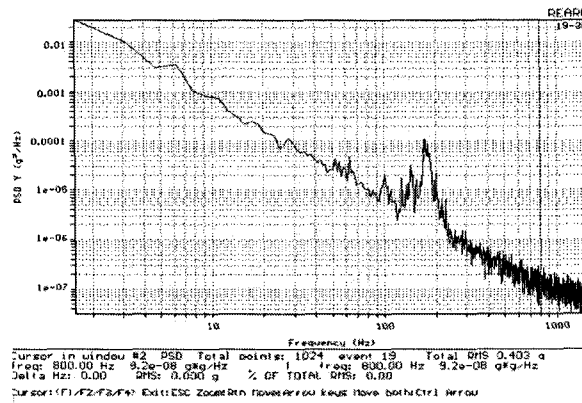


그림3. 객실뒤쪽 바닥 전후방향 진동측정 데이터(평균)

위와 같이 실제적인 철도차량에서는 주파수가 150Hz까지 영향을 줄 수 있다는 것과 공진진동수가 상승하면 온 진폭 가속도 값도 같이 높아지는 경우가 있을 수 없지만 현재의 국내철도차량 규격은 공진진동수가 높을수록 온 진폭 가속도 값이 상승하여 공진시험 시 공진주파수가 높은 제품인 경우 공진주파수가 낮은 제품보다 9배 이상의 진동 충격을 받아 치명적인 손상을 주게 되어 시험규격으로서 신뢰할 수 없는 규격이라 할 수 있다. 참고적으로 진동주파수가 높아지면 가속도 온 진폭이 높아야 한다는 이론적 근거를 찾아 볼 수가 없다.

해결 방법을 제시하면

- (1) 주파수는 공진주파수, 진폭이 아닌 가속도 값으로 규격화를 시킨다.
- (2) 내구성시험에는 가속도 온 진폭, 진동의 온 진폭 및 진동수와의 관계식을 적용시키지 않고 공진상태가 아닌 경우의 가속도 온 진폭 값을 적용 한다
- (3) 공진이 없는 경우의 고정주파수를 현재까지의 공진데이터를 가지고 가장 많이 나온 공진주파수로

변경한다.

(4) 측정된 데이터를 근거로 진동주파수를 개정한다.

(5) 가속도-진폭(은 진폭, 편 진폭)-주파수를 자유롭게 입력하여 계산이 될 수 있게끔 엑셀을 이용하여 만들었다.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	
진동 Factor 계산식																
1																
2	총격값(g) 구하기								진폭(D) 구하기							
3	주파수F	편진폭d	은진폭D	가속도m/s ²	총격값g				주파수F	가속도m/s ²	총격값g	편진폭d	은진폭D			
4	5	5		4.9298	0	0.503	0		5	4.9	4.96978	0	9.9396		0	
5	5	10		9.8596	0	1.0061	0		5	9.8	9.93955	0	19.879		0	
6				0	0	0	0				#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	
7				0	0	0	0				#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	
8				0	0	0	0				#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	
9				0	0	0	0				#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	
10				0	0	0	0				#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	
11				0	0	0	0				#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	
12				0	0	0	0				#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	
13				0	0	0	0				#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	
14				0	0	0	0				#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	
15																
16	주파수(F) 구하기															
17	편진폭d	은진폭D	가속도m/s ²	총격값g	주파수F											
18	5	10	4.9	0.5	4.9849	4.9849	4.98486	4.9849								
19	10	10	9.8	1	4.9849	4.9849	7.04966	7.0497								
20					#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!								
21					#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!								
22					#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!								
23					#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!								
24					#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!								
25					#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!								
26					#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!								
27					#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!								

그림 4. 가속도-진폭(은 진폭, 편 진폭)-주파수 자동계산 프로그램

4. 결 론

본 연구에서는 국내 철도차량 진동시험 규격에 대해 분석을 하여 국내규격의 문제점을 확인하였다. 신 개념의 철도차량이 개발되어지고 확산되어지는 시점에서 국내 진동 규격(사인스위프) 대부분 내용이 잘못되어 있음을 알 수 있다. 규격에 명시된 내용대로 시험하면 시험자체가 되지 않아 엔지니어가 임의대로 판단하여 시험하는 문제점으로 시험규격의 신뢰성이 없고 지속적으로 발전하고 있는 철도산업의 크나큰 장애물이 되고 있다. 국내철도차량 진동규격을 최대한 빨리 KS R 9144, KS R 9186 규격을 단기적으로는 개정하여야 하고 장기적으로는 합리적이고 과학적인 랜덤진동시험으로 제정하여 시행하여야 한다. 이미 세계적으로 유명한 회사들이나 MIL-STD규격, 자동차시험 및 유통환경(물류)시험에서는 랜덤시험을 적용하고 있고 시장불량과 가장 근사한 문제점을 확인하여 많은 개선이 이루어지고 있다. 현재 추세는 랜덤진동을 어떻게 더 합리적이고 과학적으로 시장필드와 동일한 조건으로 짧은 시간에 규격을 제. 개정 할 것인가가 이슈화 되고 있지만 선박과 철도차량에만 사인스위프 시험규격이 적용되고 있다. 차후 진동시험은 합리적이고 통계적인 랜덤 진동시험으로 대체 되어야 하고 각 차량에 맞는 진동시험의 규격이 필요 할 때이다.

추후 연구과제는 잘못된 국내 KS규격에 대해 조사하고 원인. 분석을 통해 제. 개정 할 수 있는 연구에 박차를 가하고자 한다.

참고문헌

1. 김종걸, 심중호 (2006)“국내.외 철도차량 진동규격 비교분석 연구”안전경영과학회, 학술대회논문집
2. 김종걸, 심중호 (2006) “철도차량 진동규격 현황”안전경영과학회, 학술대회논문집
3. 건설교통부 (2000), 도시철도차량의 성능시험에 관한 기준
4. 한국표준협회 (2004) “KS R 9144, 철도 차량 부품의 진동 시험방법”
5. 한국표준협회 (2002) “KS R 9156, 철도차량용 전자기기의 시험통칙”
6. 한국표준협회 (2003) “KS C 0240, 환경시험 방법(전기.전자) 정현파 진동시험 방법”
7. 한국표준협회 (1996) “KS R 9186, 철도신호 보안부품 - 진동시험방법”