

<논 문>

철도 승차감 평가방법의 상호관계 분석

Analysis of Correlation with Evaluation Methods of Ride Comfort for the Railway

김 영 국[†] · 박 찬 경* · 이 은 호* · 박 태 원** · 배 대 성***

Y. K. Kim, C. K. Park, E. H. Lee, T. W. Park and D. S. Bae

(2001년 9월 10일 접수 ; 2002년 2월 18일 심사완료)

Key Words : Ride Comfort(승차감), Alasing(신호왜곡), Frequency Weight Function(주파수 보정곡선), Ride Index(승차감 지수), Root Mean Square(실효값), Determination Coefficient(결정계수), Curve Fitting(회귀곡선), Evaluation Scale(평가기준)

ABSTRACT

The ride comfort is one of the important dynamic performances of railway vehicle and is affected by the various factors, such as vibration, sound, temperature, humidity, etc. In general, vibration is known to be a major effect of ride comfort. There are many studies on the evaluation methods of ride comfort in the railway vehicle vibration. Each of the evaluation methods suggested by Sperling and in the standards recommends a different evaluation method and guidance. So users must review whether they can apply it to their railway system or not. In this study, we have suggested the relationship between several evaluation methods using the statistical vibration model based on the experimental data.

1. 서 론

철도는 다른 교통수단에 비해 대량수송, 안전성 및 정확성 등의 특성을 갖고 있다. 철도의 경쟁력을 다른 교통수단보다 강화시키기 위해서는 열차의 속도 및 여객수송의 품질 향상 등이 필요하다. 특히, 승객이 여객수송의 품질을 판단하는 최종 평가자라는 점을 감안할 때, 승차감을 일정한 수준이상으로 향상시키는 것은 반드시 필요하다. 승차감은 인간이 감정으로 느낄 수 있는 다양한 요소(진동, 소음, 온도, 습도,

조도, 공간, 좌석의 질감, 천정 높이, 전망, 통풍 등)들이 복합적으로 결합되어 나타나지만, 이러한 제반 요소들을 모두 고려하여 정량적으로 승차감을 평가하는 것은 대단히 어려운 일이다. 일반적으로 철도에서는 측정된 진동가속도를 인간의 등가 감응량으로 정량화시켜 평가하는 방법을 사용하고 있다.⁽¹⁾

철도차량은 차체, 대차 및 휠셋 등의 질량요소로 구성되어 있으며, 이들 질량요소는 스프링과 댐퍼로 이루어진 1차, 2차 현가장치들로 연결된다. 이러한 현가장치들의 성능, 휠/레일 형상 및 선로조건(불규칙도, 캔트, 곡률반경)때문에 철도차량에서는 복합적인 진동이 발생하게 된다.^(2, 3, 15)

철도에 대한 승차감으로 미국, 일본, 프랑스 등에서는 ISO 2631 규격을 바탕으로 한 평가법(이하 ISO 평가법이라고 함)을, 유럽에서는 'Sperling'이 제안한 평가법(이하 Wz 평가법이라고 함)을 사용하여 왔다. 1997년 이전에 제정 및 개정된 ISO 평가법은 적용환

† 책임저자, 정희원, 한국철도기술연구원 고속철도기술개발사업단
E-mail : ygkim@krri.re.kr

Tel: (031)457-1978(525), Fax: (031)455-4868

* 한국철도기술연구원 고속철도기술개발사업단

** 정희원, 아주대학교 기계/산업공학부

*** 한양대학교 기계공학과

경이 전혀 고려되지 않은 일반적인 전진진동에 대해 규정하고 있으며,^(4, 5) Wz 평가법은 철도환경을 고려하고 있다.⁽⁶⁾ 국제철도협회(UIC, international union of railways)에서는 유럽철도연구소(european rail research institute, 이하 ERRI라고 함)에서 수행한 "ISO규격의 철도환경으로 적용"이라는 연구의 결과⁽⁷⁾를 바탕으로 1995년에 독자적인 철도의 승차감 측정 및 평가방법(이하 UIC 평가법이라고 함)에 대한 규격(UIC 513R)을 제정하였다.⁽⁸⁾ 또한, 국제표준위원회(ISO, international organization for standardization) 및 유럽표준위원회(CEN, european committee for standardization)에서는 UIC 규격을 토대로 한 새로운 철도 승차감의 측정 및 평가방법에 대한 규정을 제정하였다.^(9, 10) 국내의 경우는 철도 승차감에 대한 평가법이 아직 정립되지 않는 상태로 승차감 평가 주체에 따라 여러 가지 방법을 사용하고 있다.⁽¹¹⁾ 그 예로 기존철도 및 경부고속철도는 ISO 2631-1(1985)⁽⁴⁾을 기본으로 하는 평가법이 사용되며, 한국형 고속전철기술개발(G7)사업 및 개발 시험중인 표준 전동차는 UIC규격을 적용하고 있다. 또한, ISO 2631-1(1997)⁽⁵⁾에 정의된 평가법을 이용하여 대중교통의 승차감을 평가하려는 노력이 있었다.⁽¹¹⁾

철도 승차감의 평가법은 다양하고 각 평가법마다 서로 다른 평가방법과 평가기준을 사용하며, 승차감의 평가주체에 따라 다른 평가법을 사용하기 때문에 평가법간의 상호관계를 파악하는 것은 상당한 의미가 있는 일이다. 그러나, 그들의 상호관계는 단순한 수식만의 비교로는 파악할 수 없다. 1993년 ERRI에서는 유럽 여러 국가에서 측정된 철도차량의 진동신호로 여러 가지 평가법에 따른 승차감 평가지수를 구하여 평가법의 상호관계를 분석하였으나,⁽¹²⁾ 측정횟수에 따른 한계에 따라 신뢰성이 있는 결과는 얻지 못하였다.

본 연구에서는 측정횟수의 한계에 대한 문제를 해결하기 위해 측정된 철도차량의 진동신호에 대해 통계 및 주파수 분석을 통한 철도차량의 진동모델을 만든 후에 그 철도차량의 진동모델로부터 얻어진 가상의 진동가속도 데이터로 여러 가지 평가법에 따른 승차감 평가지수를 구해 평가법의 상호관계를 분석하였다. 또한, 이들 평가법의 상호관계를 바탕으로 평가법의 평가기준에 대한 비교 분석도 수행하였다.

2. 승차감 평가법의 분석

철도에서 승차감 평가방법으로 ISO 평가법, Wz 평가법 및 UIC 평가법이 사용되고 있음을 이미 설명하였다. 이러한 평가방법들은 서로 다른 주파수 보정곡선, 평가지수 및 평가기준을 사용하여 승차감을 평가하고 있다.

2.1 평가방법

Fig. 1은 철도의 승차감을 평가하기 위한 평가 흐름도를 나타낸다. 차체 중앙바닥 및 대차 중앙의 차체바닥에 설치된 3축 가속도센서로 직접 측정되거나 테이프 레코더에 저장된 진동가속도 신호를 저주파 밴드필터를 통과시켜 샘플링 동안에 발생할 수 있는 신호왜곡에 따른 오차를 제거시킨 후에 디지털 신호로 변환시킨다. 디지털 신호로 변환된 1개 블록(5초 동안 측정 데이터)의 신호에 대해 푸리에변환을 사용하여 주파수영역으로 변환시킨 후에 해당 평가법이 사용하는 주파수 범위(ISO 평가법: 0.5~80 Hz, Wz

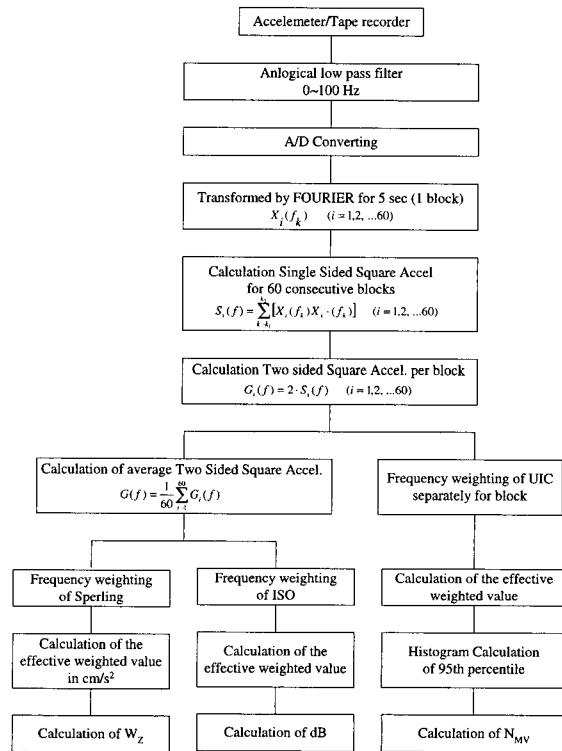


Fig. 1 Processing flow chart

평가법 : 0.5~30 Hz, UIC 평가법 : 0.4~80 Hz)에서 각 주파수에 대한 진동가속도의 파워를 구한다. 동일한 방법으로 연속적인 60개 블록에 대해 반복적으로 각 주파수에 대한 진동가속도의 파워를 계산한다. 계산된 60개 블록의 진동파워를 해당 평가법에 따른 주파수 보정을 행한 후에 각 평가법에 따른 평가지수를 구하게 된다.

2.2 주파수 보정곡선의 비교

동일 크기의 강도를 갖는 진동이 인간에게 작용하였을 때에 인간이 느끼는 감응은 진동주파수에 따라 차이를 나타내며, 이를 함수화시킨 것이 주파수 보정곡선으로 철도 승차감 평가법마다 다른 주파수 보정곡선을 사용하고 있다.

(1) ISO 평가법

이 평가법에서는 ISO 2631-1(1997)의 주파수 보정곡선을 사용하는 데, 이전에 사용되던 것과는 상당한 차이가 있다. Fig. 2는 이 규격의 주파수 보정곡선이며, 수직방향과 수평방향에 대해 4~12 Hz와 0.6~2 Hz에서 가장 민감하다.

(2) Wz 평가법

Fig. 3은 Wz 평가법에 대한 주파수 보정곡선을 나타낸 것으로 수직방향과 수평방향에 대한 주파수 보정곡선의 형태는 거의 유사하며 모두 3~7 Hz 부근에서 가장 민감하다.

(3) UIC 평가법

Fig. 4는 UIC 평가법의 주파수 보정곡선을 나타낸다. 수평방향은 ISO 평가법과 동일한 주파수 보정곡선을 사용하며, 수직방향은 ISO 평가법과 거의 유사한 형태를 갖지만, 0.6~3 Hz와 8~16 Hz에서 주파

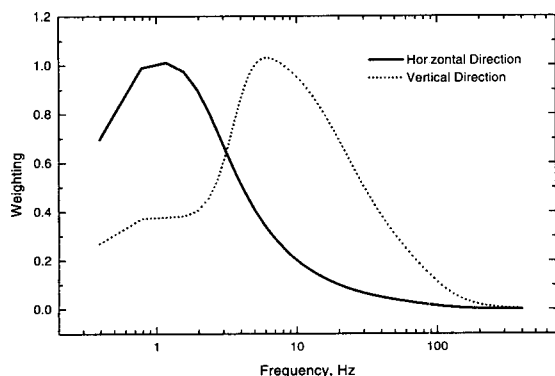


Fig. 2 ISO frequency weight function

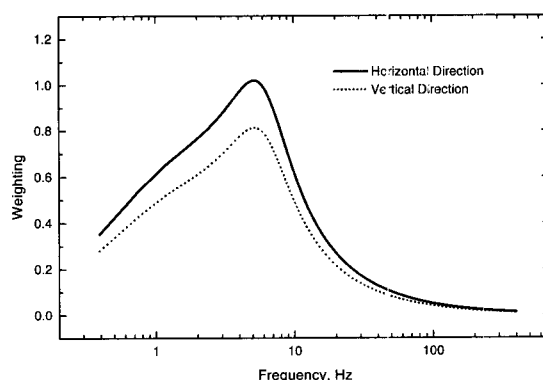


Fig. 3 Wz frequency weight function

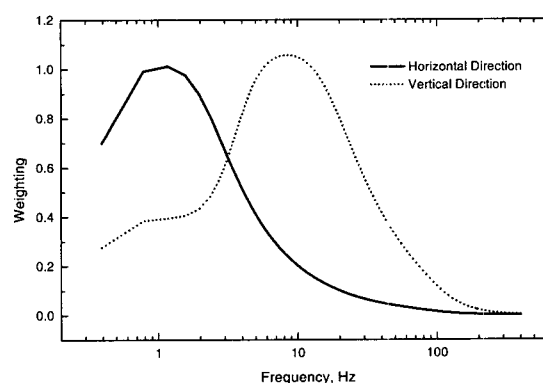


Fig. 4 UIC frequency weight function

수 보정치가 약간 크다. 수직방향은 4~16.5 Hz에서, 수평방향은 0.6~2 Hz(주파수 보정값 0.9이상)에서 가장 민감하다.

2.3 평가지수 및 평가기준의 비교

UIC 평가법은 60개 진동가속도의 실효값에 대한 누적빈도가 95 %일 때의 실효값을 사용하여 승차감 지수를 계산하기 때문에 반드시 Fig. 1의 철도 승차감 평가흐름도에서 나타낸 바와 같이 60개 블록의 데이터가 필요하지만, ISO 평가법이나 Wz 평가법은 측정구간(또는 시간)에 따라 적당한 블럭수를 선택하여 그 측정구간에 대한 승차감 평가를 할 수 있다.

(1) ISO 평가법

ISO규격에 의한 평가방법은 기본적으로 특정한 시간동안 측정된 진동 가속도의 주파수 보정된 파워 실효값(제곱근)을 이용한다. 즉, 측정구간에 따라 적당한 블럭수를 선택하여 그 측정구간에서 계산된 평균 파워에 해당 방향의 주파수 보정을 행한 후 실효값을

구한다. 이 실효값이 그대로 승차감 평가에 이용되거나 실효값으로부터 계산된 평가지수로부터 승차감을 평가하게 된다. 대표적인 평가지수로는 일본 및 국내에서 사용되는 승차감 레벨과 프랑스 국철에서 사용되는 승차감 평가지수가 있는 데, 이들은 ISO 2631-1 (1985)에 정의된 기준을 사용하고 있다. 본 연구에서는 실효값을 그대로 사용한 경우와 승차감 레벨을 평가지수로 사용한 경우에 대해 다른 승차감 평가법과의 상호관계를 분석할 것이므로 승차감 레벨과 평가기준만을 설명한다.

승차감 레벨을 이용하는 방법은 일본 국철의 「승차감기준에 관한 연구위원회」에서 제안된 것으로 승차감 레벨은 계산된 실효값 (A_{rms})과 기준가속도 비의 대수값 (A_{ref})으로 정의되며 아래와 같다. 기준값으로 일본의 경우는 10^{-5} m/sec², 국내의 경우는 10^{-6} m/sec²을 사용하고 있다.

$$dB = 20 \log_{10}(A_{wrms} / A_{ref}) \quad (1)$$

x, y, z 의 각 방향에 대해 계산된 승차감 레벨과 진동가속도 실효값을 Table 1에 나타난 평가기준에 따라 철도 승차감에 대한 평가를 한다.^(13,14)

(2) Wz 평가법

Wz 평가법도 ISO규격에 의한 방법과 마찬가지로 특정한 측정구간에 따라 적당한 블록수를 선택하여 그 측정구간에서 진동가속도 파워에 대한 평균값을 구한 후 해당 방향에 대해 아래 식으로 승차감 지수를 구한다.

$$Wz_i = 6.67 \sqrt{\int_{0.5}^{30} 2G_i(f) B_i^2(f) df} \quad (2)$$

여기서, G_i : 진동가속도 파워
 B_i : 주파수 보정 함수

승차감 지수를 x, y, z 의 각 방향에 대해 구한 후 Table 2에 나타난 평가기준에 따라 철도 승차감의

Table 1 ISO evaluation scale

Ride level(dB)	R.M.S.(m/s ²)	Ride comfort
~ 103	~ 0.141	Very comfortable
103 ~ 108	0.141 ~ 0.251	Comfortable
108 ~ 113	0.251 ~ 0.447	Medium
113 ~ 118	0.447 ~ 0.794	Uncomfortable
118 ~	0.794 ~	Very uncomfortable

Table 2 Wz evaluation scale

Ride index(Wz)	Ride comfort
1	Just noticeable
2	Clearly noticeable
2.5	More pronounced but not unpleasant
3	Strong, irregular but still tolerable
3.25	Very irregular
3.5	Extremely irregular, unpleasant, annoying; prolonged exposure intolerable
4	Extremely unpleasant; prolonged exposure harmful

Table 3 UIC evaluation scale

Ride index(N)	Ride comfort
~ 1	Very comfortable
1 ~ 2	Comfortable
2 ~ 4	Medium
4 ~ 5	Uncomfortable
5 ~	Very uncomfortable

평가를 한다. 이 평가법에서 특히 주의해야 할 사항은 진동가속도의 단위를 cm/sec²으로 해야 한다는 것이다.

(3) UIC 평가법

UIC규격에 의한 평가법은 x, y, z 방향에 대해 해당 방향에 적합하게 주파수 보정된 60개 블록의 실효값 중에서 누적빈도가 95 %인 실효값을 사용하여 아래의 식으로부터 승차감 지수를 구하며, Table 3이 UIC 평가법의 평가기준이다.

$$N_{MV} = 6 \sqrt{(A_{wx95})^2 + (A_{wy95})^2 + (A_{wz95})^2}$$

$$N_{MVx} = 6 A_{wx95}, N_{MVy} = 6 A_{wy95}, N_{MVz} = 6 A_{wz95} \quad (3)$$

3. 철도차량의 진동 모델링

승차감 평가방법의 상호관계를 분석하기 위해 실제로 운행중인 열차의 차량(차체바다)에서 진동가속도를 측정하였으며, 그 측정된 신호를 통계 분석과 주파수 분석을 수행하여 철도차량의 진동모델을 수립하였다.

3.1 측정 진동가속도 분석

철도차량의 진동 가속도는 차량의 현가특성, 휠/레일 형상 및 선로조건 등에 따라 변화하기 때문에 차량에서 측정된 진동가속도 신호가 많을수록 정확한 철도차량의 진동모델을 수립할 수 있다. 기존 운행열차인 호남선의 서대전 - 장성구간, 경부선의 부곡 - 대전구간 및 경부고속철도의 시험선 구간에서 승차감 시험을 실시하여 측정한 진동 가속도를 진동가속도 분석에 사용하였다. 또한, 1993년에 발표된 ERRI의 측정결과⁽¹²⁾도 이용하였다. 그러나, 경부고속철도의 경우에는 시험선 구간이 짧기 때문에 많은 측정신호의 확보가 불가능하였고, ERRI의 결과는 측정데이터가 이미 주파수 분석이 되어 있는 상태이므로 주파수 분석에만 활용하였다.

실제 진동가속도의 통계 분석에는 53개(기존 운행열차 : 51개, 경부고속철도 : 2개), 주파수 분석에는 92개(ERRI 측정결과 39개 포함)의 측정신호가 사용되었으며, Figs. 5, 6 그리고 Fig. 7은 이들 중에 일부이다.

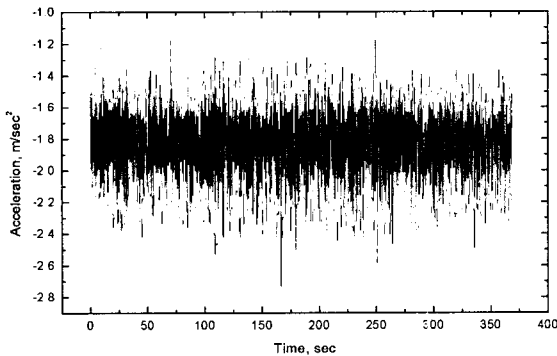


Fig. 5 Time-acceleration(KTX)

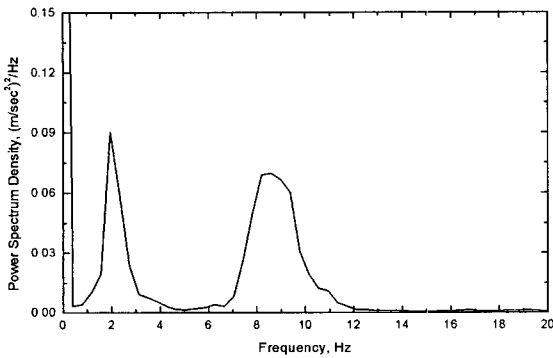


Fig. 6 Frequency-PSD(PMC)

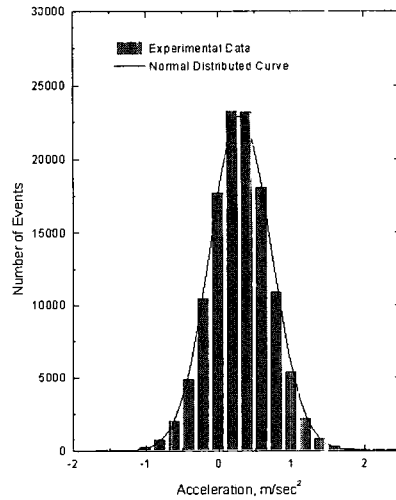


Fig. 7 Histogram(PMC)

Fig. 5는 진동가속도의 전형적인 형태로 경부고속철도(KTX)의 평균속도가 284 km/h인 경우의 측정신호이다. Fig. 6은 기존열차(PMC)의 호남선에서 수직방향 측정신호를 주파수 분석한 결과로 열차의 평균속도가 84 km/h인 경우이다. Fig. 7은 기존열차의 경부선에서 수평(좌우) 방향에 대한 측정신호를 통계 분석한 결과로 이 때에 열차의 평균속도는 120 km/h였다.

3.2 철도차량의 진동모델 수립

측정신호의 분석결과에 따르면 철도차량의 진동가속도는 다음과 같은 특징을 갖는다.

첫째, 본 연구에서 분석된 모든 철도차량의 진동가속도는 Fig. 7의 통계 분석결과(평균값 : 0.3, 표준편차 : 0.42)에서 보는 바와 같이 평균값과 표준편차에서의 차이는 있지만, 형태상으로는 정규분포곡선과 거의 일치함을 알 수 있다.

둘째, 본 연구에서 분석된 모든 철도차량의 진동가속도는 Fig. 6의 주파수 분석결과와 같이 특정주파수(0~4, 8~12 Hz)에서만 존재함을 알 수 있다. 또한, 수평(좌우)방향인 경우에 진동가속도의 크기는 0~4 Hz일 때가 8~12 Hz일 때에 비해 20% 이상 크다.

따라서, 철도차량의 진동모델은 진동가속도가 특정주파수에서만 존재하는 정규분포 랜덤신호로 수립할 수 있다.

Figs. 8~10은 특정주파수대의 정규분포 랜덤신호로 모델링된 철도차량 진동모델의 결과에 대한 일례

를 나타낸 것이다. 철도차량의 진동가속도가 Fig. 8과 Fig. 9에서 보는 바와 같이 특정 주파수 대역에 국한된 정규분포곡선임을 확인할 수 있다. Fig. 10은 철도차량 진동모델의 시간에 대한 진동가속도를 나타낸 것이다.

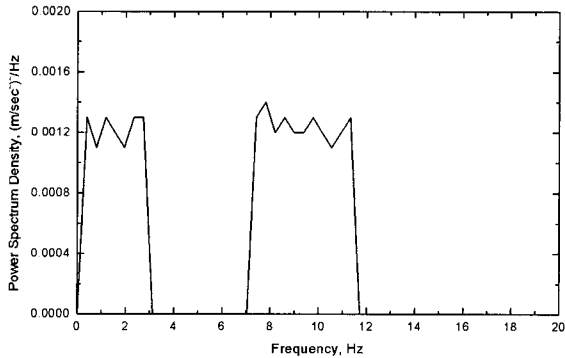


Fig. 8 Frequency-PSD(Model)

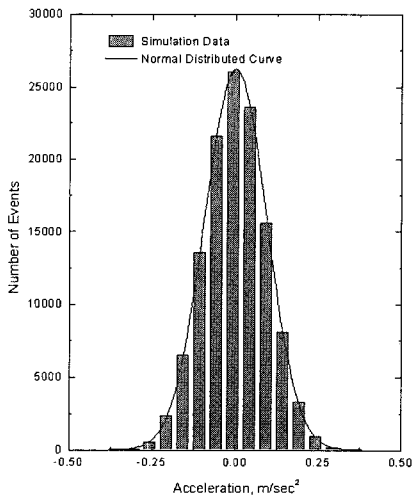


Fig. 9 Histogram(Model)

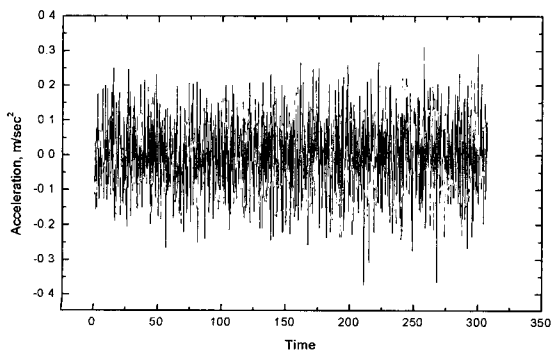


Fig. 10 Time-acceleration(Model)

4. 철도차량 진동모델을 이용한 해석

승차감 평가법간의 상호관계를 분석하기 위해 철도차량의 진동모델을 이용하여 2단계로 해석을 수행하였다.

첫 번째 단계는 Fig. 1에 나타낸 승차감 평가 흐름도에 따라 철도차량의 진동모델에서 얻어진 진동가속도 신호를 이용하여 각 평가법에 따른 승차감 평가지수를 계산하였다. 여기서 진동가속도 신호는 모든 승차감 평가법에 대해 60개 블록의 데이터로 해석을 수행하였다.

두 번째 단계는 첫 번째 단계에서 계산된 각 평가법의 승차감 평가지수를 사용하여 2개의 평가지수간의 상호관계를 나타내는 회귀곡선을 구하였다.

4.1 해석 조건

3.2절의 철도차량의 진동모델에 적합하도록 Table 4와 같이 특정주파수대에서 진동가속도의 크기와 표준편차를 변경하면서 해석을 수행하였다. 여기서, 진동가속도 크기는 상대적인 것으로 1일 때 파워 스펙트럼 밀도가 $0.0012(m/sec^2)^2/Hz$, 0.4일 때 파워 스펙트럼 밀도가 $0.00048(m/sec^2)^2/Hz$ 를 의미한다.

4.2 해석 결과

(1) 승차감 평가법의 상호관계

Figs. 11~14는 첫 번째 단계에서 계산된 평가지수를 사용하여 각 평가방법의 평가지수간의 상호관계를 회귀곡선으로 나타낸 결과의 일부이며, Table 5는 그 회귀곡선을 식으로 나타낸 것이다. Fig. 11은 수평(좌

Table 4 Simulation conditions

Direction	Acceleration level		Standard deviation (steps)	No. of calculation
	Frequency range(Hz)			
Vertical	0~4	8~12	20	700
	1/0.8/0.6 /0.4/0.2	1/0.8/0.6 /0.4/0.2/0		
	0	1/0.8/0.6 /0.4/0.2		
Horizontal	1	0.4/0.2/0	40	360
	0.8	0.2/0		
	0.6	0.2/0		
	0.4	0		
	0.2	0		

우)방향에 대해 ISO 평가법으로 얻어진 진동가속도의 실효값과 Wz 평가법으로 얻어진 승차감 지수의 상호관계를 나타낸 것이다. 점은 해석결과로 얻어진 데이터이며, 실선은 Table 5에 나타난 회귀곡선이다. Fig. 12는 수평(좌우)방향에 대해 UIC 평가법 및 Wz 평가법으로 얻어진 승차감 지수의 상호관계를 나타낸 것이다. 또한, Fig. 13 및 Fig. 14는 수직방향에 대해 UIC 평가법에 의한 승차감 지수와 ISO 평가법으로 얻어진 진동가속도의 실효값 및 ISO 평가법으로 얻어진 승차감 레벨간의 상호관계를 나타낸 것이다.

Table 5의 회귀곡선이 유용한지는 식 (4)로 표현되는 결정계수를 사용하여 판단하였는데, 그 값은 모든 경우에 대해 최소 0.88, 최대 0.99로 매우 유용한 것으로 판단된다.

$$r^2 = 1 - \frac{\sum (y_i - \hat{y}_i)^2}{\sum (y_i - \bar{y})^2} \quad (4)$$

여기서, y_i : 첫 번째 단계에서 계산된 평가지수
 \bar{y} : y_i 의 평균
 \hat{y}_i : 회귀곡선에 의한 평가지수의 추정치

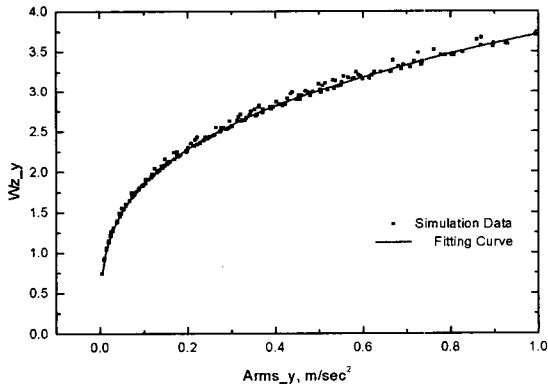


Fig. 11 Wz-Arms (y-axis)

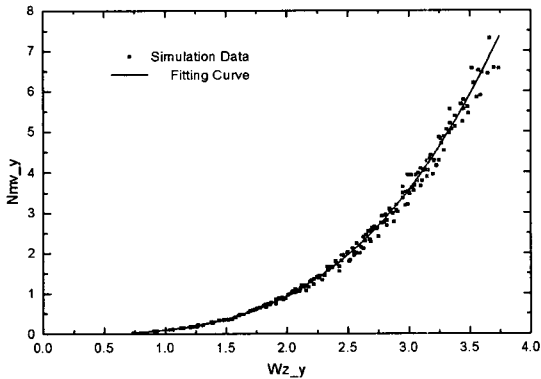


Fig. 12 Nmv-Wz (y-axis)

Table 5 Correlation with evaluation methods of ride comfort

Direction	Correlation with evaluation methods	
Horizontal	ISO -Wz	$Wz=3.717 \times Arms_z^{0.303}$
		$Wz=0.0499 \times e^{(dB/27.92)} + 0.053$
	UIC -Wz	$Nmv=0.097 \times Wz^{3.281}$
		$Nmv=7.266 \times Arms_z$
Vertical	ISO -Wz	$Wz=3.423 \times Arms_z^{0.259}$
		$Wz=0.06486 \times e^{(d/3/30.7)} + 0.196$
	UIC -Wz	$Nmv=0.098 \times Wz^{3.461}$
		$Nmv=7.456 \times Arms_z + 0.02$
UIC -ISO	$Nmv=0.000007039 \times e^{(dB/8.665)} + 0.002$	
	$Nmv=0.000007014 \times e^{(dB/8.647)} + 0.008$	

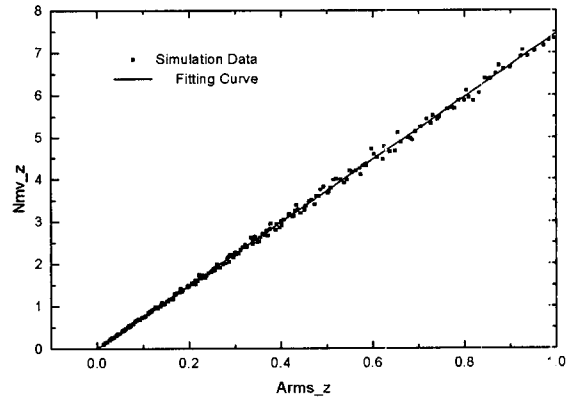


Fig. 13 Nmv-Arms (z-axis)

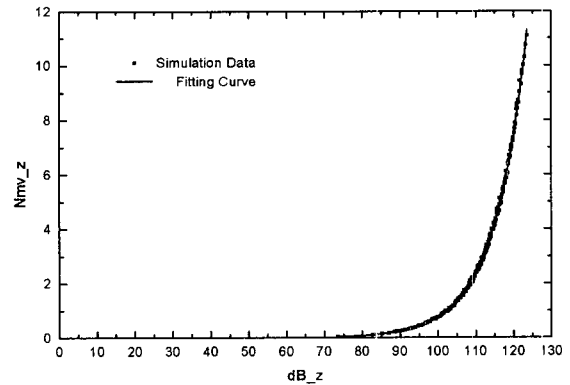


Fig. 14 Nmv-dB (z-axis)

(2) 평가기준의 검토

2.3절에서 살펴본 바와 같이 승차감 평가법마다 서로 다른 평가방법과 평가기준을 사용하지만, 동일한 조건에 대해 서로 다른 승차감 평가법을 적용하더라도 동일 승객이 느끼는 승차감은 같아야 한다. 다시 말하면, UIC 평가법의 평가기준에 의해 승객이 편안하다고 느끼는 승차감은 Wz 평가법이나 ISO 평가법의 평가기준에 의해서도 승객이 편안하다고 느껴야 한다. 따라서, 구해진 승차감 평가법의 상호관계를 이용하여 평가기준을 검토할 수 있다. 또한, 본 연구에서 제시한 방법의 타당성을 검증하기 위해 ERRI의 연구에서 제시한 UIC 평가법과 Wz 평가법의 상호관계와 평가기준과의 관계와 상대적인 비교를 하였다.

Fig. 15와 Table 6은 UIC 평가법과 Wz 평가법에 대해 ERRI의 결과와 본 연구의 결과 및 평가기준을

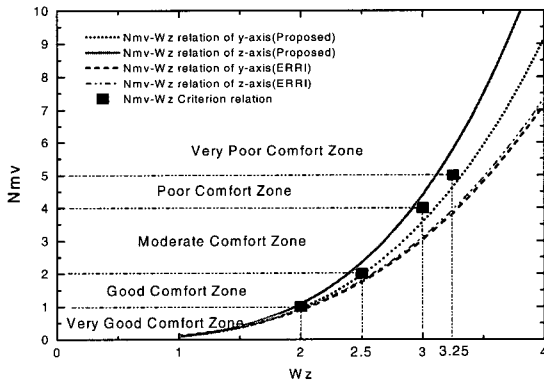


Fig. 15 Nmv-Wz with evaluation scale

Table 6 Result comparison proposed method with ERRI⁽¹²⁾

Ride comfort		1) VC → C → M → U → VU					
UIC	Criteria	1	2	4	5		
	Criteria	2	2.5	3	3.25		
Wz	Cal.	2) L	2.07	2.61	3.29	3.55	
		2) V	2.06	2.79	3.29	3.55	
	Result	L	2.04	2.52	3.11	3.33	
		V	1.96	2.39	2.92	3.11	
	Error (%)	ERRI	L	3.5	4.4	9.7	9.2
			V	3.0	11.6	9.7	9.2
Result		L	2.0	0.8	3.7	2.5	
		V	2.0	4.4	2.7	4.3	

Remark

- 1) VC: Very comfortable, C: Comfortable, M: Medium, U: Uncomfortable, VU: Very uncomfortable
- 2) V: Vertical direction, L: Lateral direction

나타낸 것이다. Table 6에서 동일한 UIC 평가법의 평가기준에 대해 Wz 평가법의 평가기준이 ERRI 결과는 3.5~11.6 %의 오차를 갖는 반면에 본 연구 결과는 0.8~4.4 %의 오차를 갖는다. 따라서, 본 연구에서 제안된 철도차량의 진동모델에 의해 구해진 상호관계식이 평가기준과 잘 일치함을 알 수 있다.

Fig. 16과 Fig. 17은 UIC 평가법에 대해 ISO 평가법을 승차감 레벨과 진동가속도의 실효값으로 나타낸 결과이다. 승차감 구분이 편안한 구간(매우 편안 → 편안, 편안 → 보통)에서는 평가기준과 상호관계식이 잘 일치하지만, 불편한 구간(보통 → 불편, 불편 → 매우 불편)에서는 일치하지 않는다. Fig. 16의 경우에는 x축이 진동가속도의 실효값을 기준치로 나눈 후에 상용대수를 취했기 때문에 승차감 구분이 불편한 구간에서도 평가기준과 관계식의 차이가 작은 것처럼 보이지만, Fig. 17에서는 차이가 확실히 드러남을 알

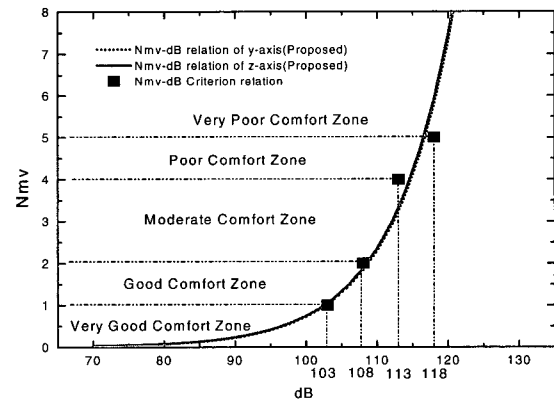


Fig. 16 Nmv-dB with evaluation scale

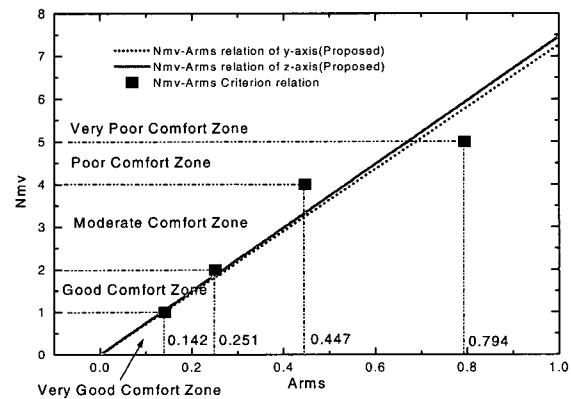


Fig. 17 Nmv-Arms with evaluation scale

수 있다. 따라서, ISO 평가법의 평가기준을 UIC 평가법으로 환산하려면 승차감 구분이 보통에서 불편함으로 변하는 기준치는 약 0.1 m/sec^2 을 증가시켜야 하며 불편함에서 매우 불편함으로 변하는 기준치는 약 0.1 m/sec^2 을 감소시켜야 한다.

5. 결 론

이상의 연구결과로 아래와 같은 결론을 얻을 수 있다.

(1) 철도 승차감 평가법은 여러 가지가 있으며, 그들 중에서 많이 사용되고 있는 ISO 평가법, Wz 평가법 및 UIC 평가법에 대한 상호관계를 제시하였다.

(2) 철도 승차감 평가법의 상호관계를 분석하기 위해 측정신호의 통계 및 주파수 분석을 통한 철도차량의 진동모델을 제시하였고, ERRI 결과와의 상대비교를 통해 제안 모델을 검증하였다.

(3) 철도 승차감 평가법의 상호관계를 나타내는 회귀곡선의 유용성 평가는 결정계수를 사용하여 판정하였는데, 그 결과는 0.88~0.99로 매우 유용함을 알 수 있다.

(4) UIC 평가법과 Wz 평가법의 평가기준이 본 연구에서 제안한 결과와 잘 일치하였다. 그러나, UIC 평가법과 ISO 평가법의 평가기준이 제안한 결과와 승차감 구간이 편안한 구간에서는 잘 일치하였으나, 불편한 구간에서는 차이가 있으므로 차후에 이에 대한 보완이 필요하다.

후 기

본 연구개발은 선도기술개발(G7)사업중 고속전철 기술개발사업의 연구과제로 수행되었습니다.

참 고 문 헌

(1) 김영국 등, 1999, "철도용 승차감 측정시스템 개발", 한국소음진동공학회 추계학술대회논문집, pp. 120~125.

(2) 김영국 등, 2001, "바람이 고속전철의 동적 안정성에 미치는 영향분석", 한국소음진동공학회논문집, 제 11권, 제 8호, pp. 349~356.

(3) International Organization for Standardization, 2001, ISO Code 2631-4.

(4) International Organization for Standardization, 1985, ISO Code 2631/1.

(5) International Organization for Standardization, 1997, ISO Code 2631-1.

(6) Carg, V. K., 1984, Dynamics of Railway Vehicle Systems, Academic Press

(7) Ohono, H., 1996, "Application of ISO Whole-body Vibration Standard to Railway Vehicle", RTRI Report, Vol.10, No.10, pp. 47~52.

(8) International Union of Railways, 1994, UIC Code 513R.

(9) International Organization for Standardization, 2001, ISO Code 10056.

(10) European Committee for Standardization, 1997, Draft prENV 12299.

(11) 김진기 등, 2001, "인체진동을 고려한 국내의 교통수단의 진동환경평가에 관한 연구", 한국소음진동공학회논문집, 제 11권, 제 7호, pp. 267~274.

(12) European Rail Research Institute, 1993, "Application of ISO Standard to Railway Vehicles", B153/RP21.

(13) 三芳功達, 1981, "乗り心地管理基準の研究経緯", 鐵道技術研究資料, Vol. 38, No. 3, pp. 127~134.

(14) 김영국 등, 1998, "철도차량의 승차감 평가방법에 대한 고찰", 한국철도학회 추계학술대회 논문집, pp. 405~412.

(15) Griffin, M. J., 1990, Handbook of Human Vibration, Academic Press.