

ISO 2631에 따른 국내 고속철도차량 인체진동 평가

Evaluation of human vibration of high speed train using ISO 2631

김지만[‡] 박진한* 안세진[†] 정의봉*

Ji Man Kim, Jin Han Park, Se Jin Ahn and Weui Bong Jeong

Key Words : High Speed Train(고속철도차량), Frequency Weighting Curve(주파수 보정곡선), Root Mean Square Value(실효치), Vibration Dose Value(진동피폭량), Human Vibration(인체진동), Human Health(인체건강)

ABSTRACT

Vibration exposure of the KTX and ITX-saemaulho on the Gyung-Bu line was evaluated and compared in terms of human health based on ISO 2631. RMS value of KTX was calculated as much lower than ITX-saemaulho in all travel sections. When VDV result of the two trains driven return travel from Seoul to Busan in single day is compared on the health guidance caution zone of ISO 2631, vibration exposure of KTX is safer than ITX-saemaulho which is marginally under the caution line.

1. 서 론

철도 교통은 다른 교통수단에 비해 승객과 화물을 많이 수송할 수 있을 뿐만 아니라 안전성 및 환경 친화성 등의 장점을 갖고 있다. 철도 차량을 다른 교통수단과의 경쟁력을 강화시키기 위해서는 열차의 속도 및 여객수송의 품질 향상 등이 필요하며, 여객수송의 품질을 향상시키기 위해 인체진동에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다.

철도 차량의 인체진동 평가는 세계적으로 통용되고 있는 방법이 여러 가지 있다. 대표적인 것으로 ISO 2631, UIC 513R, ISO 10056, CEN ENV12299 등의 국제규격과 Sperling에 의해 제안된 평가법이 있다. 철도차량의 인체진동을 평가하는 국내 규격 KS R 9216은 국제 규격 ISO 2631과 UIC 513R의 방법을 인용한다. 이 연구에서는 국제

규격인 ISO 2631로 철도차량의 인체진동을 평가하고자한다.

2. ISO 2631에 따른 인체진동 평가 방법

인체에 전신 진동이 전달되면 인체는 다양한 반응을 한다. 그 반응은 건강(health), 안락감(comfort), 지각(perception), 멀미(motion sickness)로 크게 4가지 분류된다. 본 연구에서는 고속철도 차량 탑승자에 대한 인체진동으로 인한 반응 중 건강 측면에 대해 평가하고자 한다. 건강 측면에서 사람이 착석한 상태를 평가하기 위해서는 3축 가속도계를 seat surface에 부착하여야 한다.

2.1 주파수 가중 함수

인체에 진동이 전달되는 경우에 인체 접촉부의

[†] Corresponding Author; Member, Div. of Mechanical & Electrical Engineering,

Uiduk university

E-mail : sjahn@uu.ac.kr

Tel : +82 54 760-1668, Fax : +82 54 760-1669

[‡] School of Mechanical Engineering, Pusan National University

* School of Mechanical Engineering, Pusan National University

위치와 방향, 그리고 진동의 주파수 성분에 따라 인 지되는 정도가 다르게 나타난다. ISO 2631에서는 진동이 인체에 미치는 영향도에 대한 주파수 보정을 위해서 Fig. 1의 주파수가중함수를 적용하고, 착석 자세에서 진동방향에 대하여 Table 1의 방향별 가중값을 적용하도록 규정하고 있다.

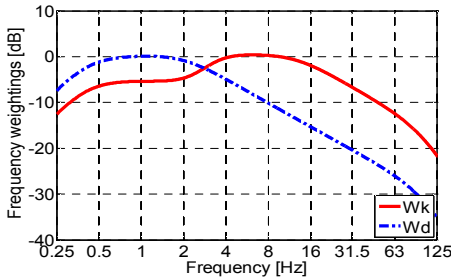


Fig. 1 Frequency weighting curves of ISO 2631

Table 1 Frequency weighting functions and axis multiplying factors for health

Measurement Position	Frequency weighting function	Multiplying factor
X	W_d	1.4
Y	W_d	1.4
Z	W_k	1

2.2 인체진동 평가 방법

ISO 2631에서는 인체진동 평가방법은 크게 진동 실효치에 대한 평가방법과 진동노출량에 대한 평가 방법이 있다. 식(1)은 인체진동을 평가하는 기본적인 방법인 RMS값을 구하는 식이다. 식(2)는 4승 관계법을 이용한 VDV값으로 RMS값보다 순간 충격을 잘 반영하며, 인체에 누적되는 진동량을 구할 수 있다. 진동에 노출된 인체에 대한 건강측면을 분석하고자 할 때는 누적진동량을 적용하는 것이 일반적이다.

$$RMS = \left[\frac{1}{T} \int_0^T a_w^2(t) dt \right]^{\frac{1}{2}} \quad (1)$$

$$VDV = \left[\int_0^T a_w^4(t) dt \right]^{\frac{1}{4}} \quad (2)$$

여기서, $a_w(t)$ 는 주파수 가중된 가속도 값, T 는

측정 시간을 나타낸다.

식(3)과 식(4)를 이용하여 seat surface 직교축 x, y, z의 RMS값과 VDV값을 하나의 진동값으로 계산이 가능하다.

$$RMS_{total} = \left(k_x^2 RMS_x^2 + k_y^2 RMS_y^2 + k_z^2 RMS_z^2 \right)^{\frac{1}{2}} \quad (3)$$

$$VDV_{total} = \left(k_x^4 VDV_x^4 + k_y^4 VDV_y^4 + k_z^4 VDV_z^4 \right)^{\frac{1}{4}} \quad (4)$$

여기서, k_x , k_y , k_z 는 직교축에 대한 multiplying factor를 나타낸다.

2.3 건강 측면에 대한 평가 방법

장시간 진동에 노출되면 요추와 신경 시스템이 손상되며 근육 통증이 증가하게 된다. Fig. 2은 노출 시간이 건강에 미치는 영향을 평가하기 위한 그래프이다. Fig. 2의 두 개의 선 사이의 지역은 건강에 대한 위험의 경고 지역이며, 이보다 높은 지역은 건강에 대한 위험이 일어나기 쉬운 지역이다. 이를 통해 VDV값을 건강 측면에서 평가가 가능하다.

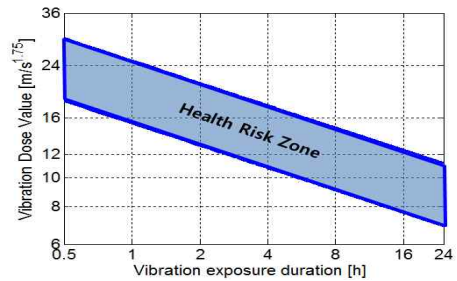


Fig. 2 Health guidance caution zones

3. 인체진동 평가

3.1 RMS에 의한 평가

2.2절의 식(3)을 이용하여 경부선에 있는 주요 도시의 구간별 RMS값을 계산하였다. Fig. 3은 ITX 새마을호의 상행선과 하행선의 RMS값을 비교한 결과이다. Fig. 4는 KTX의 상행선과 하행선의 RMS값을 비교한 결과이다. 결과적으로 ITX 새마을호의 RMS값이 KTX의 RMS값보다 높게 나와 ITX 새마을호에서 발생하는 진동이 인체에 더 큰 영향을 미치는 것을 확인하였다.

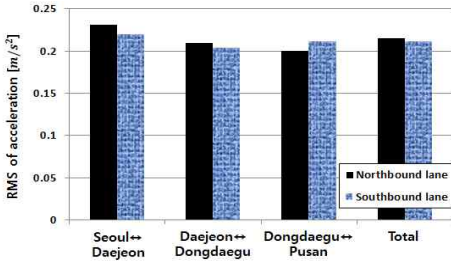


Fig. 3 Comparison of total root-mean-square for ITX-saemaulho

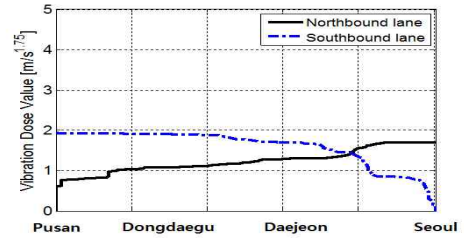


Fig. 6 Comparison of total vibration dose value for KTX

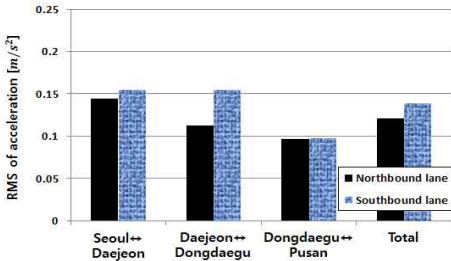


Fig. 4 Comparison of total root-mean-square for KTX

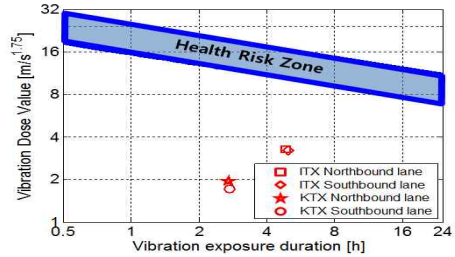


Fig. 7 Total vibration dose value for health risk evaluation

3.2 VDV에 의한 평가

2.2절의 식(4)을 이용하여 경부선에서 시간에 따른 VDV값을 계산하였다. Fig. 5은 ITX 새마을호의 상행선과 하행선의 시간에 따른 VDV값의 결과이다. Fig. 6는 KTX의 상행선과 하행선의 시간에 따른 VDV값의 결과이다. 하루 동안 서울에서 부산을 왕복할 경우 탑승자가 진동에 노출된 양은 ITX 새마을호의 경우 약 $3m/s^{1.75}$ 이고 KTX의 경우 약 $2m/s^{1.75}$ 으로 나타났다. 결과적으로 ITX 새마을호의 VDV값이 KTX의 VDV값보다 높게 나와 ITX 새마을호 탑승 시 인체에 누적되는 진동량을 더 큰 것을 확인하였다.

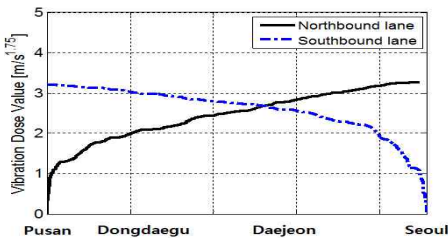


Fig. 5 Comparison of total vibration dose value for ITX-saemaulho

Fig. 7에서는 건강위험영역과 두 가지 철도차량의 하루 왕복 진동 노출량을 표시하였다. KTX의 경우는 진동노출량이 짧고 진동량도 작아서 건강위험영역보다 훨씬 아래에 있어 안전한 반면에 ITX 새마을호의 경우는 진동에 노출되는 시간도 길고 진동량도 높아 건강위험영역에 근접하고 있다.

4. 결론

- 1) ISO2631에 따라 KTX와 ITX 새마을호의 인체진동을 비교 분석하였다.
- 2) 주파수 가중된 가속도의 운행구간별 RMS값이 ITX 새마을호가 KTX보다 크게나와 ITX 새마을호에서 발생하는 진동이 인체에 더 큰 영향을 미치는 것을 확인하였다.
- 3) 서울-부산 구간 탑승에 대한 VDV값을 계산하여 건강 측면에서 평가하였다. ITX 새마을호와 KTX 둘 다 건강 측면에서 양호한 결과를 나타내었다. 하지만 KTX가 ITX 새마을호보다 건강에 대한 위험이 적음을 확인하였다.