

국내의 철도 차량의 진동에 대한 인체 영향 조사

Assessing the Effects of Vibration Transmitted by Domestic Train on Human Health

김진기* · 홍동표** · 최병재*** · 정완섭***

Jin-Ki Kim, Dong-Pyo Hong, Byung-Jae Choi and Wan-Sup Cheung

Key Words : Human Vibration(인체 진동), Whole-body Vibration Exposure(전신진동피폭), Vibration Exposure Limit(진동 노출 한계), Health Guidance Caution Zone(건강 지도 경고 영역)

ABSTRACT

In this paper, ISO2631-1(1997) was used to assess the vibration and shock transmitted by train seat with respect to possible effects on human health. Evaluations have been performed on the seat acceleration measured in two type of train, Saemaulho and Mugunghwaho. For each train, limiting daily exposure durations were estimated by comparing the frequency weighted root mean square(i.e., r.m.s) acceleration and the vibration dose values(i.e., VDV), calculated according to ISO2631-1(1997) with exposure limits, health guidance caution zones.

1. 서론

사람이 전신 진동에 노출되었을 때 사람의 안락함(comfort), 기본 활동성(performance of activities), 건강, 작업 효율 등에 영향을 받는다. 이미 잘 알려진 대로 진동이 인체에 미치는 영향을 평가하는 방법은 ISO2631-1(1997)⁽¹⁾과 BS6841(1987)⁽²⁾에서 규정하고 있다. 이 규격들은 인체의 진동을 측정하는 위치와 방법, 인체의 진동축, 가중 함수 등을 정의하고 있을 뿐만 아니라 전신 진동과 반복적인 충격이 인체에 피폭되고 있을 때 건강에 미치는 유해성 정도를 평가할 수 있는 방법들을 기술하고 있다. ISO2631-1의 개정판(2001)⁽³⁾에서는 진동이 척추에 손상을 주는 정도를 평가할 수 있는 방법도 정의하고 있다.

물론, 상기의 규격들은 약간의 견해 차이가 있어 가중함수와 축보정계수 그리고 진동 피폭 한계 등에도 차이가 있다^{(4),(5),(6)}. 그 차이점에 대한 자세한 보고는 참고문헌 (4), (5), (6)에서 다루고 있다.

본 연구에서는 ISO2631-1(1997)에서 규정하고 있는 것을 바탕으로 하여 국내의 철도 차량에서 측정된 전신 진동 피폭량, 즉 실효치(r.m.s, root-mean-square)와 피폭 진동량(vibration dose value)을 이용하여 진동이 건강에 미치는 영향을 검토하고자 한다.

2. 실험 및 데이터 처리

2.1 진동이 건강에 미치는 영향

ISO2631-1(1997)에서는 진동이 건강에 미치는 영향을 평가하는 방법을 소개하고 있지만 정량적인 관계를 보여주는 것은 아니다. 하지만 인체 공학과 병리학적 연구 결과를 통해서 높은 전신 진동에 오랜 기간 동안 노출되어 있을 때 건강에 해를 끼칠 수 있는 위험성이 증가한다는 것은 이미 확인된 바가 있다. 주로 허리부분의 척추와 연관된 신경계가 영향을 받는 것으로 간주하고 있다. 그리고 피폭 시간이 증가하고 진동 진폭이 증가하면 진동 피폭량이 증가할 뿐만 아니라 진동에 의한 건강 손상의 위험성이 증가한다. 반면에 쉬는 동안에는 그 위험성이 감소하게 된다.

ISO2631-1(1997)에서 규정하고 있는 건강 손상 평가는 단지 앉아 있는 사람에게만 해당이 되며 사용되는 주파수 가중 함수와 축보정 계수는 Fig. 1에서 나타낸 것과 같다.

Fig. 2에서는 w_d 와 w_k 의 주파수 가중함수를 보여주고

* 한국표준과학연구원, 음향진동그룹
E-mail : kimjk@engineer.com
Tel : (042) 868-5308, Fax : (042) 868-5643

** 전북대학교, 기계공학부

*** 한국표준과학연구원, 음향진동그룹

있다. 이것은 안락도 평가에서 사용된 가중함수와 동일하지
만 축보정 계수는 다르다.

인체의 응답이 에너지와 관련되어 있다고 가정하면 2개의
서로 다른 일일 진동 피폭량(daily vibration exposure)은
동일하다고 할 수 있기 때문에 식(1)과 같이 나타낼 수 있
다.

$$a_{w1} \cdot T_1^{1/2} = a_{w2} \cdot T_2^{1/2} \quad (1)$$

여기서 a_{w1} 과 a_{w2} , 그리고 T_1 과 T_2 는 각각 서로 다른
가중화 가속도의 실효값과 피폭 시간이다. 또 다른 평가 방
법으로는 피폭 진동량(VDV, vibration dose value)를 기초
로 한 것으로 식 (2)와 같은 관계가 성립한다.

$$a_{w1} \cdot T_1^{1/4} = a_{w2} \cdot T_2^{1/4} \quad (2)$$

ISO2631-1(1997)에서는 상기의 실효값(r.m.s)과 피폭 진
동량(VDV, vibration dose value)에 따른 건강 지도 경고
영역(health guidance caution zones)을 제안하고 있다.
'r.m.s 건강 지도 경고 영역(r.m.s health guidance caution
zone)'은 수학적으로 정의된 것이 아니고 단지 '1~10분'사
이에는 가속도가 2:1 범위 안에서 주어진다고 가정하고 '10
분~24시'사이에서 가속도는 노출 시간의 제곱에 반비례하
게 감소한다. ISO2631-1(1997)에서는 상/하한 레벨을 구체
적인 값으로 나타내고 있지는 않지만 ISO2631/1(1985)⁽⁷⁾
안을 따라 각각 5.6 m/s^2 과 2.8 m/s^2 로 정의하고 있다고 사
료된다(Fig. 3 참조). 10분 이상의 한계 진동 피폭량은 식
(3)과 같이 쓸 수 있다.

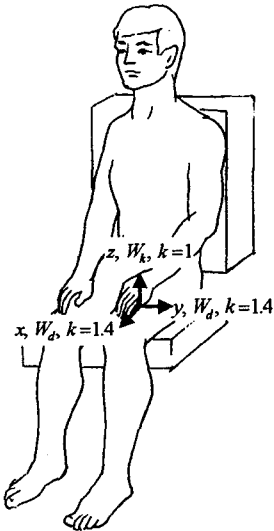


Fig. 1 Axes in used for assessing for health hazard as in
ISO2631-1(1997)

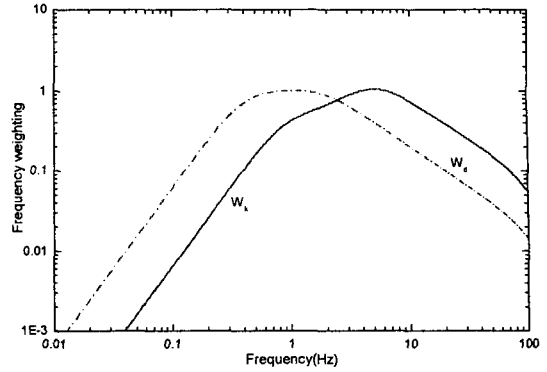


Fig. 2 Weighting functions in used for assessing for
health hazard as in ISO2631-1(1997)

$$a_L = 5.6 \times \left(\frac{T_{5.6}}{T} \right)^{1/2}, \text{ 단 } a \leq 5.6 \text{ m/s}^2 \quad (3)$$

여기서 $T_{5.6}$ 은 10분이다. T 는 진동 노출 시간이다. 이것을
등가 노출 시간(T_e , equivalent exposure durations)으로
표현하면 식 (4)와 같다.

$$T_e = T_{5.6} \left(\frac{5.6}{a_w} \right)^2 \quad (4)$$

'VDV 건강 지도 경고 영역(VDV health guidance
caution zone)'은 상/하한 레벨이 각각 $17 \text{ m/s}^{1.75}$ 과 8.5
 $\text{m/s}^{1.75}$ 으로 정의된다. 이것을 등가 진동 피폭량 환산식(식
(5) 참조)을 이용하여 가중화 가속도 실효값으로 Fig. 3과
같이 나타낼 수 있다. 식 (2)로부터 등가 노출 시간 (T_e)을
구하면 식 (6)과 같다.

$$eVDV = 1.4 \cdot a_{rms} \times T^{1/4} \quad (5)$$

$$T_e = T \cdot \left(\frac{17}{VDV} \right)^4 \quad (6)$$

여기서 T 는 측정 시간 또는 진동에 노출된 시간이고
VDV는 진동에 노출된 시간동안 측정된 진동 피폭량이다.

건강 지도 경고 영역 아래, 즉 하한 레벨 아래에서 진동
이 건강에 미치는 영향은 분명하게 문서화나 객관적인 관찰
이 없는 실정이고 하한과 상한의 사이의 영역에서는 잠재적
인 건강의 위험이 있으므로 정기적인 검진이나 피폭 진동량
의 저감이 요구되어진다. 그리고 상한 레벨의 위쪽은 건강의
손상이 발생할 수도 있다고 간주하고 있다.

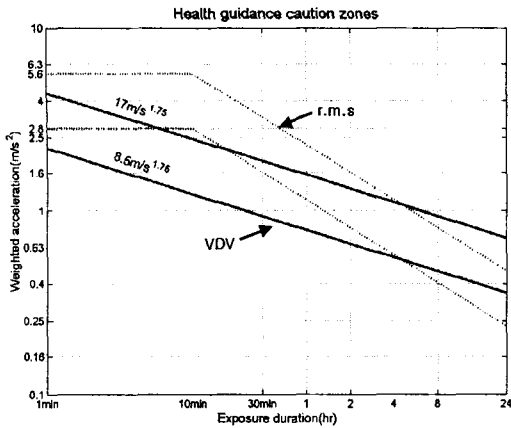


Fig. 3 Health guidance caution zones according to ISO2631-1(1997)

상기의 경우는 파괴율이 9보다 작은 경우에 해당이 되며 만약 9보다 큰 경우에는 식 (7)과 (8)로 표현되는 최대과도 진동값(MTVV, maximum transient vibration value)을 사용하면 된다.

$$MTVV = \max \left[\frac{1}{r} \int_{t_0-r}^{t_0} a_w^2(t) dt \right]^{1/2} \quad (7)$$

$$MTVV = \max \left[\frac{1}{r} \int_{-\infty}^{t_0} a_w^2(t) \exp\left(\frac{t-t_0}{r}\right) dt \right]^{1/2} \quad (8)$$

여기서 r 는 적분 시간이고 t_0 는 관찰 시간이고 a_w 는 가중화 가속도이다. 식 (8)은 지수함수 평균을 기초로 한 것이며 r 를 1초로 설정할 것을 추천하고 있다.

그리고 $MTVV / a_{rms} > 1.5$ 이거나 $VDV / a_{rms} T^{1/4} > 1.7$ 인 경우에는 VDV값을 환산값으로 추정하기를 권장하고 있으며 $VDV / eVDV < 1.25$ 일 경우, 최종 평가값은 실효값을 사용할 것을 암시하고 있다.

2.2 실험 및 데이터 처리

본 연구에서는 남성 2명과 여성 2명을 대상으로 기차에 앉아있는 사람을 대상으로 전신 진동 피폭량을 측정하였다. 그 중 영덩이의 3축(x, y, z 축)만을 추출하여 기차에서 발생한 진동이 장시간 동안 여행하는 여행자들에게 얼마만큼 피폭되는지 검토하여 건강 측면에서 안전한지를 확인하였다. 측정된 데이터는 ISO2631-1(1997)에서 규정대로 Matlab 프로그램을 이용하여 계산하였다. 실험에 대한 세부 사항은 참고문헌 (8)에 상술되어 있다.

피시험자에 대한 신체 조건은 Table 1에 나타내었고 Table 2에서는 국내에서 비교적 길게 여행할 수 있는 경로를 선정한 후 시간을 산출하였다.

Table 1 Specifications of Human

	Age	Weight	Height
Male 1	28	79	173 cm
Male 2	27	66	170 cm
Female 1	25	55	161 cm
Female 2	30	50	167 cm

Table 2 The estimated trip courses that can travel for a long time

Departure/Arrival	Type of vehicle	Required Time (approx.)
Seoul ⇔ Mokpo	Saemaulho	4시간 45분
	Mugunghwaho	5시간 28분
Seoul ⇔ Yosu	Saemaulho	5시간 28분
	Mugunghwaho	6시간 4분
Seoul ⇔ Pusan	Saemaulho	4시간 25분
	Mugunghwaho	5시간 21분

*These were quoted from 'www.barota.com'

1시간 동안 측정된 데이터로부터 실효값과 진동 피폭량을 구하였고 각각의 값을 식 (4)와 (6)에 대입하여 한계 진동량에 도달하는 시간을 구하여 여행시간과 비교하여 보았다.

3. 결론

본 연구에서는 ISO2631-1(1997)의 '건강 지도 경고 영역'에 근거하여 철도 차량에서 진동이 인체의 건강 손상을 야기할 정도로 발생하는지를 검토하였다. 각 조건 별로 'r.m.s 건강 지도 경고 영역'과 'VDV 건강 지도 경고 영역'에 적용하였다.

'건강 지도 경고 영역'과 건강 손상 평가 방법에 대해 규격 별로 견해 차이가 있기는 하지만 국내의 대중 교통 수단인 진동이 인체에 어떠한 영향을 미치는지에 대한 자료가 없기 때문에 향후 연구에 많은 기여를 할 수 있으리라 사료된다.

참고 문헌

- (1) International Organization for Standardization, 1997, "Mechanical Vibration and Shock Evaluation of Human Exposure to Whole-body Vibration Part I : General Requirements", ISO 2631-1.
- (2) British Standards Institution, 1987, British Standard Guide to Measurement and Evaluation of Human Exposure to Whole-body Mechanical Vibration and Shock, BS6841.

(3) International Organization for Standard, 2001, "Mechanical Vibration and Shock Evaluation of Human Exposure to Whole-body Vibration Part I : General Requirements: Amendment 1", ISO2631-1.

(4) 정완섭, 박용화, Michael J. Griffin, 2000, "전신 피폭 진동 및 반복 충격에 의한 위험 예측 표준 방안들의 비교 분석", 한국소음진동공학회지, Vol. 10, No. 1, pp. 160~167.

(5) C. H. Lewis and M. J. Griffin, 1998, "A Comparison of Evaluations and Assessments Obtained Using Alternative Standards for Predicting the Hazards of Whole-body Vibration and Repeated Shocks", Journal of Sound and Vibration, 215(4), pp. 915~926.

(6) M. J. Griffin, 1998, "A Comparison of Standard Methods for Predicting the Hazards of Whole-body Vibration and Repeated Shocks", Journal of Sound and Vibration, 215(4), pp. 883~914.

(7) International Organization for Standardization, 1985, "Evaluation of Human Exposure to Whole-body Vibration - Part 1 : General Requirements", International Standard ISO 2631/1.

(8) 김진기, 홍동표, 최병재, 정완섭, 2001, "인체 진동을 고려한 국내의 대중 교통 수단의 진동 환경 평가에 관한 연구", 한국소음진동공학회, Vol. 11, No. 6.