

Actiwatch 를 이용한 철도소음에 의한 수면방해의 정량적 평가

Assessment of Sleep Disturbance on Night-time Instantaneous Railway Noise by using Actiwatch

홍지영* ? 김재환* ? 임창우* ? 김규태* ? 성동원* ? 이수갑**

Jiyoung Hong, Jaehwan Kim, Chang Woo Lim, Kutae Kim, Dongwon Sung and Soogab Lee

Key Words : Actiwatch, Body movement, LAmax, Railway noise, SEL, Sleep disturbance, %motility

ABSTRACT

The World Health Organization(WHO) has recommended population of sleep disturbance as one of the environmental health indicators. But the percentage of respondents who felt highly sleep disturbed, that is, %HSD can have application to sleep disturbance from instantaneous noise. Therefore, this study has been carried out to present the technique for assessing sleep disturbance on instantaneous noise quantitatively. The study of sleep disturbance on night time instantaneous railway noise has been undertaken. Noise monitor has been in operation from 22 hours to 7 hours during 6 nights at 12 locations. To assess instantaneous noise induced sleep disturbance, it was decided to measure body movement by actiwatch. %motility was used as indicators of sleep disturbance. %motility is the expected value of probability of motility value during 7 epochs (105s) of any noise event. The measures of instantaneous motility have been related to measures of instantaneous railway noise events. The relationship shows that %motility is a good predictor for assessing sleep disturbance and Korean is more sensitive to noise than European although the railway noise have been considered in this study. This study can be extended to assessing long-term sleep disturbance and give a guideline for policy decision.

1. 서 론

최근, 환경소음의 중요성에 대한 인식이 높아지고 있는 가운데 수면방해는 소음이 유발하는 인체 위해성을 평가하는 지시치의 하나로 제안되어 사용되고 있다.⁽¹⁾ 수면방해는 대부분의 생활소음에 의해 발생할 수 있으며 특히, 교통소음에 의한 피해가 크다.

다른 교통소음과 달리 철도소음은 야간에도 정기적으로 열차가 운행되며 특히, 화물 열차의 야간 운행이 많다. 또한, 외국에 비해 상대적으로 주거지역과 인접하게 철도가 위치하여 진동을 수반하기 때문에 더욱 큰 수면방해를 유발할 것으로 예상할 수 있다.

WHO 에 의해 제안된 수면방해 평가 지시치는 전체 주민 중 수면방해를 호소하는 비율로 %SD, %HSD 를 사용하며 이는 야간소음에 장기적으로 노출된 주민들을 대상으로 한 주관적인 평가이다. 최근에는 단발적인 소음 이벤트에 의한 수면방해를 객관적으로 평가하기 위해 EEG (Electroencephalography, 뇌파도) 신호로 awakening 및 arousal 를 측정하거나 본 논문에서 사용한

† 책임저자; 서울대학교 기계항공공학부 대학원

E-mail : hongji@snu.ac.kr

Tel : (02) 880-7384, Fax : (02) 875-4360

* 서울대학교 기계항공공학부 대학원

** 정회원, 서울대학교 기계항공공학부

actiwatch 와 같은 가속도 센서로 수면 중 피시험자의 body movement 측정치를 분석하는 연구가 이루어지고 있다.⁽²⁻⁴⁾

본 연구는 단발적인 철도 소음 이벤트에 의한 수면방해의 정량적인 평가를 위해 소음 피폭량과 body movement 측정치(motility) 간의 상관관계를 분석하고 수면방해의 예측 모델을 제시한다. 이를 위해 소음에 의한 피시험자의 반응시간을 고려한 분석단위를 설정하고 유효한 분석단위 내에서 소음도와 motility 데이터 간의 matching 이 이루어진다.

2. 소음측정 및 소음도 산출

2.1 소음측정

(1) 측정지역 선정

측정 지역은 운행 횟수가 많은 경부선이 인접한 대전 지역의 12 개 포인트로 선정하여 일주일간 야간의 실내·외 소음을 동시에 측정하였다. 그 중 3 개 포인트는 22-07 시 사이의 평균 소음도 LAeq 가 주거지역의 야간 철도 소음 기준치인 65 dB(A)(소음진동규제법 제 37 조)를 넘고 5 개 포인트의 측정 소음도는 60~65 dB(A) 정도로, 총 8 개 포인트가 상당히 높은 소음에 노출되어 있다. Table 1 은 분석에 사용된 전체 측정 데이터의 22-07 시 사이의 열차 운행 횟수와 이벤트 지속 시간 및 실내의 LAeq 에 대한 정보이다.

Table 1 Summary of measurements of entire night-time noise exposure on survey points

	Noise metrics			
	Outdoor LAeq	Indoor LAeq	No. of events	Total duration
mean	58.8 dB	48.4 dB	75.2	24.5 s
SD	6.2	5.2	2.9	10.3

(2) 측정 방법

소음 측정은 소음 측정계(B&K type 2238, Larson & Davis 812)를 이용하여 12 개 포인트에서 각각 일주일 동안 22-07 시 사이에 이루어졌으며 실내·외에 설치한 측정계는 시간 오차가 없도록 세팅하였다. 측정은 ISO 규정(ISO 1996-1, ISO 1996-2, ISO 10843)에 의거하였으며 몇 주파수 특성으로 보정하고 동특성은 fast 로 하여 5 초마다 측정값을 기록하도록 하였다.

2.2 소음도 산출

실내외 소음의 LAeq 및 LAmax 는 5 초마다 기록된다. 실외 소음 측정값은 수면방해 측정치와 상대적으로 낮은 상관관계를 보이므로⁽⁵⁾ 본 논문에서는 수면방해를 평가하기 위해 실내 소음 측정값만을 이용한다.

수면방해를 유발하는 이벤트 소음의 피폭량은 LAmax 와 SEL(Sound Exposure Level)를 이용하여 평가하였다. SEL 은 이벤트 소음이 1 회 발생할 때의 에너지와 같은 값을 갖는 1 초 동안의 정상(stationary state)음의 소음레벨로 이벤트 소음의 LAmax 와 이벤트 지속시간을 이용해 경험적으로 얻은 식⁽⁶⁾을 이용해 산출할 수 있다. 철도소음과 같이 triangular time pattern 의 분포를 보이는 경우 SEL 산출식은 아래 식 (1)과 같다.

$$SEL = LA_{max} + 10 \log D_{10} / D_{ref} - 3.7 \quad (1)$$

D₁₀ : LAmax 의 10dB-down duration, D_{ref} : reference duration (1s)

본 논문에서는 총 1,708 개의 이벤트 소음에 대해 분석을 실시하였고 Table 2 는 이벤트 횟수를 소음 레벨에 따라 LAmax 와 SEL 로 구분하여 나타낸다. LAmax 와 SEL 의 평균은 각각 54.8 dB(A), 64.1 dB(A)이고 표준편차는 각각 8.6, 9.0 이다. LAmax 와 SEL 은 상관계수(R)가 0.977 이

고 유의수준(p) 0.01 을 만족하는 통계학적으로 유의한 상관관계이다.

Table 2 Information of LAmax and SEL of 1708 noise events

range	Noise metrics	
	LAmax	SEL
<40	92	8
40-50	392	104
50-60	755	419
60-70	391	731
70-80	76	382
>80	2	64

3. Actiwatch 를 이용한 수면방해 측정

3.1 측정장치와 피시험자 실험

소음에 의해 유발된 수면방해를 평가하기 위한 인자로 body movement 를 측정하기 위해 time above threshold type 의 actiwatch (Mini Mitter type AW-Score)를 사용하였다. 내장된 가속도 센서의 signal sensitivity 는 0.05 g 이고 sampling rate 은 32 Hz 이다. Epoch length 는 15 초로 설정하여 activity 값이 기록·저장 되도록 하였다. Actiwatch 의 Sleep/Wake 알고리즘⁽⁷⁾ 은 epoch 마다 기록되는 activity 값이 medium-threshold sensitivity value 인 40 이상일 때 wake 로 인식하며, 본 논문에서는 피시험자의 수면 중 body movement 가 activity 40 이상일 때 유의미한 것으로 가정한다.

Actiwatch 는 소음측정계와 시간동조를 확인하고 실내 소음 측정 포인트 12 곳에 거주하는 성인 남녀 12 명을 대상으로 일주일간 수면 중 body movement 를 측정하여 분석하였다.

3.2 수면방해 측정값 분석

Actiwatch 를 이용해 기록된 activity 값이, 유효한 body movement 로 볼 수 있는 '40' 이상이면

m=1, 그렇지 않으면 m=0 으로 하여 이벤트의 peak level 발생 시점을 기준으로 분석단위인 7 개 epoch(105 초) 동안의 %motility(activity 40 이상의 유의미한 body movement 가 발생할 확률)를 구하였다.⁽⁸⁾ %motility 는 수면 중 소음에 의해 피시험자가 수면방해를 받았는지 여부를 판단하기 위한 지시치이다.

분석단위는 수면 중 소음이 발생한 후 피시험자의 body movement 가 나타나는 데 걸리는 반응 시간과 소음이 없을 때의 평균적인 body movement 정도를 고려해야 한다. 소음 이벤트의 peak level 이 발생한 epoch 를 e6 로 하여 이를 기준으로 전후 각각 e1~e5 와 e7~e20, 총 20 개의 epoch(5분)에 대해 m=1 의 확률을 Fig 1 에 나타내었다. 유효한 범위의 분석단위는 철도 소음이 발생하지 않은 epoch 에서 m=1 의 확률의 평균값 이상으로 보고, e4~e10 의 총 7 개 epoch(105 초)로 하였다.

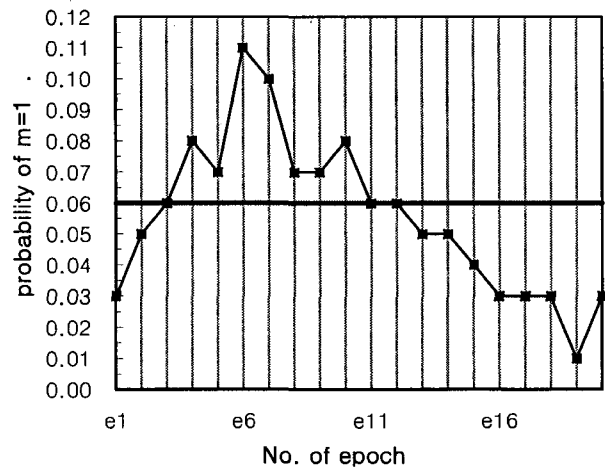


Fig. 1 Probability of m=1 for 20 epochs with railway noise events (blue line and rectangular symbols) and mean value of probability of m=1 for epochs without railway noise events (grey line)

4. 수면방해 예측 모델

Field survey 를 통해 측정한 실내소음의 LAmax 와 SEL 에 대한 %motility 의 Logistic regression 을

수행하여 Fig 2, 3 과 같은 결과를 얻었다.

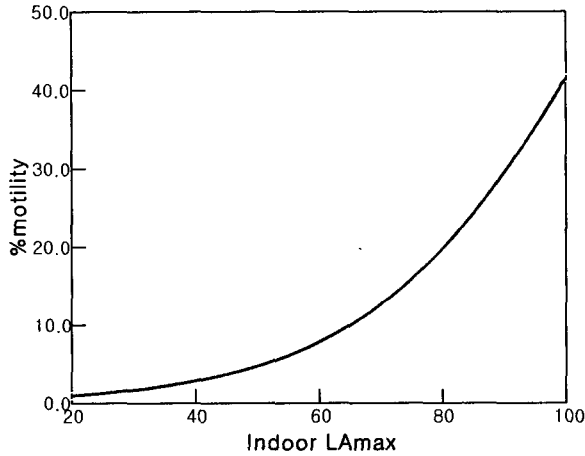


Fig. 2 probability of railway noise-induced motility during 7epochs in which noise exposure occurs, as a function of LAmax

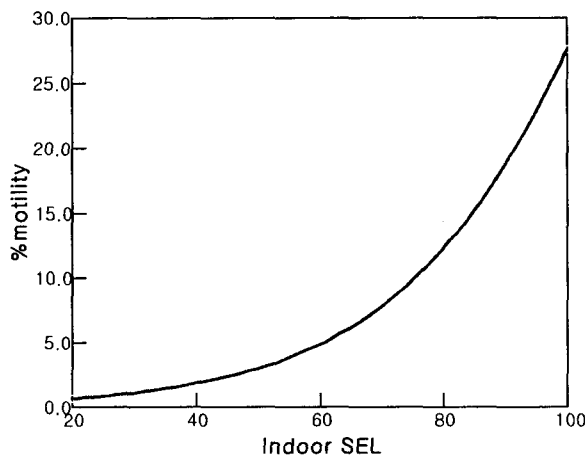


Fig. 3 probability of railway noise-induced motility during 7epochs in which noise exposure occurs, as a function of SEL

LAmax 의 실제 측정치의 최저값 31 dB(A)에서 %motility 는 1.8 %, 최고값 81 dB(A)에서 20.6 % 이며 SEL 측정치의 최저값 36 dB(A)와 최고값 94 dB(A)에서 %motility 는 각각 1.5 %, 22.0 % 이다. LAmax 와 SEL 에 대한 %motility 예측 모델의 회귀식은 Table 3 와 같고, Miedema 등이 항공기 소음에 대해 구한 결과⁽⁹⁾ 와 비교하여 본 연구가 철도소음에 대한 %motility 를 구한 것임을 고려했을 때 상당히 높은 수면방해를 받고 있음을 알 수 있다. 이것은 한국인이 외국의 경우

와 비교해 소음에 대해 더 민감하게 반응함을 알 수 있는 결과이며 한국인의 소음에 대한 annoyance 반응에 대한 연구 결과와도 일치한다.

Table 3 Regression equations of %motility on LAmax and SEL

Noise metrics	Regression equations
LAmax	%motility = 100/(1 + exp(5.643 - 0.053 × LA max))
SEL	%motility = 100/(1 + exp(5.964 - 0.050 × SEL))

수면방해 예측 모델에서 소음레벨이 증가할수록 %motility 의 증가율도 커지며 특히, LAmax 와 SEL 각각 60~65 dB(A), 65~70 dB(A)를 기점으로 급하게 증가한다. %motility 가 10 %일 때 LAmax 는 약 65 dB(A), SEL 은 약 76 dB(A) 정도로 이와 같은 SEL 과 LAmax 의 차이는 단순히 소음레벨의 크기뿐 아니라 지속시간을 고려할 필요가 있음을 알 수 있다. 분석에 사용된 1,708 개의 소음 이벤트의 지속시간은 평균적으로 약 25 초이나 지속시간이 짧은 것과 긴 것의 차이가 최대 30 초 정도를 보이기도 하므로 지속시간의 영향을 보정하여 두 소음 단위간의 직접적인 비교를 해 볼 수 있겠다.

본 연구는 장기간 소음에 노출된 주민의 주관적인 수면방해 평가가 아닌 단발적인 소음에 의한 피시험자의 body movement 발생 여부를 나타내는 %motility 를 지시치로 하여 보다 객관적인 평가 및 예측을 목적으로 하였다. 따라서 소음에 노출된 기간이나 소음원에 대한 두려움 및 거부감, 그리고 소음 대책 등의 관련 정책에 대한 견해의 차이에서 비롯될 수 있는 오차의 여지가 적어 객관적·정량적인 수면방해 평가에 적합한 지시치로 볼 수 있다.

본 연구를 통해 얻은 실내 이벤트 소음의 LAmax 및 SEL 에 대한 %motility 예측 모델은 단

발적인 철도 소음이 수면방해에 미치는 영향을 정량적으로 평가할 수 있는 근거가 될 수 있다.

5. 결론

철도 소음 지역 12 개 포인트에서 측정된 실내 · 외 소음을 근거로, 수면방해를 평가하기 위해 동시에 수행된 피시험자의 수면 중 body movement 측정값 activity 40 이상의 움직임이 있을 확률인 %motility 를 지시치로 하였다. 유효한 분석단위는 7 개의 epoch(105 초)로 검증하였고 그 동안의 %motility 를 구하여 소음도와 상관관계를 알아보았다. 예측 모델은 소음레벨이 증가함에 따라 %motility 의 증가율이 커짐을 보여주며 L_{Amax} 와 SEL 의 두 소음단위간 %motility 예측값 역시 차이가 있다.

소음도와 %motility 의 상관관계는 외국의 경우와 비교해 상당히 높은 수면방해를 받고 있음을 보여주며, 이러한 결과에 미치는 음향학적인 요인 뿐 아니라 비음향학적 요인의 영향에 대한 분석이 필요하겠다. 본 연구는 단발적인 소음에 대한 피시험자의 직접적이고 즉각적인 반응을 이용해 수면방해를 평가· 예측하는 모델을 제시한 것이며 이를 토대로 수면방해에 의한 after-effect 및 간접적인 영향에 대한 연구를 통해 소음에 의해 유발되는 수면방해의 장기적이고 총체적인 영향 평가 및 소음 정책 결정에 활용 가능할 것으로 기대한다.

후 기

본 연구는 한국환경기술진흥원의 차세대 환경 기술 개발사업의 지원으로 수행되었습니다.

참고문헌

(1) WHO, Environmental Health Indicators: Development of a methodology for the WHO

European Region, World Health Organization, Geneva, Switzerland, 2000.

(2) J. S. Lukas, M.E. Dobbs and K. D. Kryter, Disturbance of human sleep by subsonic jet aircraft noise and simulated sonic booms. Washington, DC: National Aeronautics and Space Administration, NASA Contractor Report CR-1780, 1-68, 1971.

(3) L. S. Finegold, S. Harris and H. E. von Gierke, Airport Community Annoyance and Sleep Disturbance: Updated Criteria for Assessing the Impacts of General Transportation Noise on People? Noise Control Eng. J 42, 25-30, 1994.

(4) H. M. E. Miedema, W. Passchier-Vermeer and H. Vos, Night-time noise events and awakenings, TNO Intro Report 2003-32

(5) S. Fidell and G. Jones, Effects of cessation of late night on an airport community? Journal of Sound and Vibration, 42, 411-427, 1975.

(6) Karl S. Pearsons, David S. Barber, Barbara G. Tabachnick, and Sanford Fidell, Predicting noise-induced sleep disturbance? Journal of Acoustical Society of America, 97(1), 331-338, 1995.

(7) E. Colling, M. Wright, S. Lahr, L. Schmedlen, L. Dejongh and C. A. Singer, Comparison of wrist actigraphy with polysomnography as an instrument of sleep detection in elderly persons? Sleep, 23, A378.

(8) W. Passchier-Vermeer, H. Vos, J. H. M. Steenbekkers, F. D. van der Pleoeg and K. Groothuis-Oudshoorn, Sleep disturbance and aircraft noise exposure: Exposure-effect relationships, TNO report 2002-27.

(9) H. M. E. Miedema, W. Passchier- Vermeer and H. Vos, Elements for a position paper on night-time transportation noise and sleep disturbance, TNO Intro Report 2002-59

(10) 이수갑, 임창우, 김제환, 홍지영, 한국인의 교통소음에 대한 불쾌감 연구? 한국소음진동공학회 추계학술발표대회, 2005