

# 승용차 운전자의 전신진동노출에 대한 피로-감소속달 경계

정재열\* · 이기남

원광대학교 한의학전문대학원 제3의학과

## Fatigue-Decreased Proficiency(FDP) Boundary for Whole-Body Vibration Exposure in Passenger Car Driver

Jae Yeal Jeung\*, Ki-Nam Lee

*The Third Medicine, Professional Graduate School of Oriental Medicine, Wonkwang University*

To evaluate whole-body vibration(WBV) exposure and fatigue-decreased proficiency(FDP) boundary in passenger car driver, several roads in Busan were divided into 3 types by the condition of road surface; Road 1 was partially damaged, Road 2 was normal without damage, and Road 3 was better than Road 2. The results were following: The highest passenger driver's exposures to whole-body vibration acceleration and fatigue-decreased proficiency boundary at 40km/h were 0.108m/s<sup>2</sup> and about 2099 minutes in Road 2 for xh axis, 0.134m/s<sup>2</sup> and about 1585 minutes in Road 2 for yh axis, and 0.183m/s<sup>2</sup> and about 1053 minutes in Road 2 for zh axis, respectively. The highest passenger driver's exposures to whole-body vibration acceleration and fatigue-decreased proficiency boundary at 80km/h were 0.219m/s<sup>2</sup> and about 830 minutes in Road 3 xh axis, 0.203m/s<sup>2</sup> and about 918 minutes in Road 3 for yh axis, and 0.622m/s<sup>2</sup> and about 195 minutes in Road 1 for zh axis, respectively. The highest vector sums of whole-body vibration exposure at 40km/h and 80km/h were 0.328m/s<sup>2</sup> in Road 2 and 0.730m/s<sup>2</sup> in Road 1, respectively. The highest crest factors at 40km/h were 4.25 in Road 1 for xh, 4.51 in Road 3 for yh, and 5.81 in Road 2 for zh, respectively. The highest crest factors at 80km/h were 5.57 in Road 1 for xh, 5.60 in Road 2 for yh, and 6.46 in Road 3 for zh, respectively. The highest transmissibilities of whole-body vibration from floor to seat at 40km/h and 80km/h were 0.89 in Road 3 and 0.82 in Road 3 for xh axis, 0.83 in Road 3 and 0.87 in Road 1 and 2 for yh, and 0.80 in Road 2 and 0.92 in Road 1 for zh axis, respectively. The highest fatigue-decreased proficiency boundaries for whole-body vibration exposure of passenger car driver in floor and seat were 457 minutes in Road 3 and 583 minutes in Road 3 at 40km/h and 159 minutes in Road 2 and 251 minutes in Road 2 at 80km/h, respectively.

**Key words :** Whole-Body Vibration(WBV), Fatigue-Decreased Proficiency Boundary, Passenger Car, Vector Sum, Crest Factor, Transmissibility

### 서 론

자동차란 스스로 움직이는 수레라는 의미로, 일반적 정의는 원동기와 조향장치를 구비하고, 그것을 사용하여 지상을 주행할 수 있는 차량을 말한다. 도로상에서 사용되는 차량(승용차, 버스, 트럭, 특별차, 특별 용도차, 특별 장비차, 트레일러, 모터 사이클 등)은 물론 도로상 이외에서 사용되는 산업차량, 건설차량, 농업차량, 설상차량, 레저카를 포함하고 있다. 이중 승용차(passenger car)는 주로 사람과 수화물 및 물품을 수송하는 목적을 위하여 설계 및 장비되어, 이용할 수 있는 좌석이 운전자석을 포함 10석 이하의

모터 자동차(motor vehicle)를 말한다<sup>1)</sup>. 자동차 그리고 기계류는, 작업효율 그리고 어떤 경우에는, 안전·보건에 영향을 주는 기계적 진동에 인체를 노출되게 한다. 기본적으로 진동에 대해 3가지 종류의 인체노출이 있으며 인체가 진동하는 물체의 표면에 지지되었을 때를 전신진동이 발생한다. 첫 번째 신체는 공기 또는 물에서의 높은강도의 소음이 인체진동을 발생시킬 때와 같이, 진동하는 매체에 잠기게 되었을 때 전신표면 또는 진동이 발생하는 일 부분에 동시에 진동이 전달된다. 두 번째 자동차, 진동하는 건물, 그리고 작동하고 있는 기계류 부근에서 발생하는 진동이 지지하고 있는 표면(예를 들면, 서서 있는 사람의 발, 앉아 있는 사람의 엉덩이, 또는 기대어 있는 사람을 지지하고 있는 부분)을 통해 전체적으로 인체에 전달된다. 세 번째 진동하고 있는 손잡이, 페달, 머리받침, 또는 손으로 쥐는 여러 종류의 전동공구와 장비와 같은

\* 교신저자 : 정재열, 익산시 신용동 344-2, 원광대학교 한의학전문대학원

E-mail : jeayeal@wonkwang.ac.kr, Tel : 063-850-6941

· 접수 : 2002/09/13 · 수정 : 2002/10/14 · 채택 : 2002/12/02

것에 의해서 신체의 특정부위로 전달된다<sup>2)</sup>. 운송수단인 승용차에서 전신진동에 노출되면 전신진동은 노출된 앉아 있는 사람의 머리(예를 들면 머리-받침에서), 손(예를 들면 운전대), 그리고 발(예를 들면 바닥에서)의 국소진동에 동시에 또한 노출된다. 또한 진동은 좌석의 등널 접촉의 결과로 인체에 들어간다<sup>3)</sup>. 전신진동은 특징적 스트레스 요인이 아니고 실제적으로 인체 전체에 부여되는 일반화된 스트레스 요인이다. 불행하게도 전신진동(1-80Hz)의 만성적 의학적 그리고 역학적 양상에 대해 실제적으로 알려진 것은 많지 않다. 전신진동에 노출되고 있는 대상자의 주관적 행위적 그리고 행동양상에 대해서는 많이 알려져 있다<sup>4)</sup>. 전신진동 노출의 영향에는 탈장, 그리고 퇴행성 허리 디스크 질병, 요통, 그리고 여러 가지 기타의 근골격계의 장애가 포함된다<sup>5,6)</sup>. 최근에, 일부의 여성 자동차 운전자에게서 자연적인 유산의 사례가 또한 보고되고 있다<sup>7)</sup>. 수십 년 간 전신진동에 매일 노출되면 다양한 정도로 생리학적 그리고 심리학적 장애가 발생된다고 믿어지고 있다. 자동차를 개발함에 있어서 인간의 감성적인 분야에서 가장 중요한 분야의 하나가 진동·소음과 충격의 분야이다. 그 이유는 승객들이 자동차에 탑승했을 때 가장 민감하게 느끼기 때문이다. 2002년 현재 통계청에서 제시하는 대한민국의 자동차 등록대수는 1380만대로 이중 960만대가 승용차로 등록되어 있다. 이러한 상황을 고려해 볼 때, 승용차 운전자들의 건강에 영향을 주는 전신진동노출상태 파악 및 이에 대한 연구가 필요한 실정이나 현재까지 이러한 연구는 수행되지 않고 있다. 이에 본 연구는 ACGIH<sup>9)</sup> 전신진동에 대한 노출기준치(1996) 그리고 ISO 2631/12)의 방법을 이용하여 승용차 운전자의 전신진동노출을 측정, 평가하고 그 결과를 이용하여 승용차 운전자가 유해한 건강영향 없이 노출될 수 있는 전신진동의 피로-감소속달(Fatigue-Decreased Proficiency: FDP) 경계를 제시하고자 한다. 이와 더불어 진동의 유해성 정도를 제시하는 충격계수를 xh, yh, zh 3축에 대하여 제시하여 승용차의 전신진동노출에 대한 기초자료를 제공하고자 본 연구를 실시하였다.

## 재료 및 방법

### 1. 연구대상

부산광역시 시내의 도로의 일부를 연구자가 예비조사를 통하여 노면에 손상이 부분적으로 있는 도로(Road 1), 노면에 손상이 없는 도로(Road 2), 노면의 상태가 아주 양호한 도로(Road 3) 3가지로 분류하였고 승용차 운전자의 전신진동 측정시 이러한 상태를 최대한 반영하기 위한 측정을 수행하였다. 승용차의 속력을 시속 40과 70km으로 나누어 전신진동의 측정을 수행하였다.

Table 1. Group of Road, Measurement Area, and Condition of Road Surface for Whole-Body Vibration of Passenger Car Driver.

| Group  | Measurement Area  | Condition of Road     |
|--------|---|-----------------------|
| Road 1 | River Road(in Tadaepo) - Agricultural Market in Omgugdong | Partially damaged     |
| Road 2 | Agricultural Market in Omgugdong - Somyon                 | Normal without damage |
| Road 3 | Somyon - The Approach to City Highway(in Tongrae)         | Good                  |

### 2. 측정조건 및 장비

국내에서 제작된 모 자동차 회사의 배기량 1500cc급 승용차(약 1년 사용된)를 이용하여 운전자 위치의 운전석 바닥과 좌석에서 xh, yh, zh 3축에 대한 전신진동 가속도 수준을 측정하였다. 운전자와 측정자의 중량 변화에 의한 오차를 최소화 하기 위해 측정 분석 동안에 동일인에 의해 측정이 수행되었다. 그림 1은 승용차 수행중 운전자에게 가해지는 진동의 전달경로를 나타낸 것이다<sup>1)</sup>.

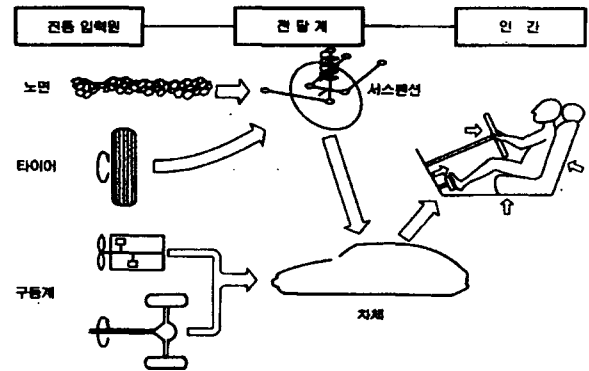


Fig. 1. Vibration Transmission to Passenger Car Driver During Driving.

승용차 바닥과 좌석의 전신진동이 인체에 전달되는 영향을 측정하기 위해서 인체진동측정기 (Human-vibration Unit and Module)와 3축 좌석 가속도계 (Triaxial Seat Accelerometer Type 4322, Bruel and Kjaer)를 이용하였다. 인체진동측정기는 Precision Sound Level Meter(Type 2231, Bruel and Kjaer), Human Vibration Unit(Type 2522, Bruel and Kjaer) 그리고 Application Module(BZ 7105, Bruel and Kjaer)로 구성되어 있다. 인체진동측정기의 교정에 이용된 진동 교정계(Calibration Excitor Type 4294, Bruel and Kjaer)이었고 교정시 159.2Hz에서 실효치로 10%(1000%)의 기준진동수준을 발생시킨다. 인체진동측정기의 설정변수를 보면 측정모드는 전신진동보정, 측정범위는 높음, 표시변수는 등가가속도 수준, 시간상수는 1초, 단위는  $\text{m/s}^2$ 로 설정하였다. 실효치와 피크 가속도를 측정할 때, 진동 시그널에 의한 무작위 피크 수치의 영향을 감소시키기 위해 1분 이상 측정하여야 한다는 권고에 따라 본 연구에서도 가능하면 실효치와 피크 가속도에 대한 측정시간을 2분 이상이 되도록 하였다. 인체진동측정기에서 관독한 수치는 본 연구에서 필요한 변수인 xh, yh, zh 3축의 등가 에너지 가속도 수준, 최고 피크 수준을 관독하였고 등가에너지 가속도 수준의 정의는 아래와 같다<sup>10)</sup>.

$$a_{eq, T} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T a_m(t)^2 dt} \quad [\text{m/s}^2]$$

여기서 T : 측정의 시간간격  
am(t) : 시간에 따라 변하는 가속도,  $\text{m/s}^2$

운전자의 전신진동노출에 대한 유해성의 정도를 평가하는 방법으로 최고계수(crest factor)를 이용하고 있는데 이는 충격

진동과 비충격 진동의 정도를 평가하는 것으로 최고계수는 측정시간, T 동안에 최대 피크 수치와 RMS 수치의 비로 정의한다<sup>11)</sup>. 운전자의 바닥에서 좌석으로 전달되는 진동의 전달률(transmissibility) 또는 진동의 저감(isolation)의 정도를 평가하기 위해 전달률을 이용하였으며 아래의 방정식과 같다<sup>10)</sup>.

전달률 = 좌석에서의 등가에너지 가속도 / 바닥에서 등가에너지 가속도

3. 전신진동노출에 대한 평가기준

한국은 현재 전신진동에 대한 명확한 기준이 없는 실정이다. 그래서 본 연구에서는 전신진동에 대한 기준으로 전신진동에 대한 인체노출의 평가 지침 ISO 26312)과 ACGIH(1996)<sup>9)</sup>을 이용하였고 이에 의거하여 전신진동의 평가를 수행하였다. 3축 모두의 복합진동은 어떤 1축 성분의 것 보다 항상 크며 운전자의 전신진동에 대한 행위에 영향을 주게된다. 이러한 영향을 평가하기 위한 것이 벡터합(vector sum: VS)으로 평가하는 방법이 있으며 보정된 실효치 가속도 전체를 종합한 것(overall weighted total rms acceleration: Awt)이라고도 하며 방정식은 아래와 같다<sup>9)</sup>. 이러한 결과를 고려하여 승용차 운전자가 유해한 건강영향 없이 노출될 수 있는 전신진동의 피로-감소속달(Fatigue-Decreased Proficiency: FDP) 경계 계산하였다.

$$A_{wt} = \sqrt{(1.4 A_{wx})^2 + (1.4 A_{wy})^2 + (A_{wz})^2}$$

여기서 Awt는 xh, yh, zh 3축의 주파수 보정된 가속도의 합이고(%) Awx는 xh 축에 대해 전체 보정된 실효치 가속도이다. Awy는 yh 축에 대해 전체 보정된 실효치 가속도이다. Awz는 zh 축에 대해 전체 보정된 가속도 실효치이다.

4. 통계학적 분석

자료는 SPSS/PC+ 8.0을 이용하여 분석하였고 자료는 평균과 표준편차로 요약하였다. 3가지 도로의 상태에 따른 평균 사이의 통계적 유의성에 대한 차이는 일원분산분석(ANOVA)을 이용하였다.

성 적

시속 40km에서 주행중 승용차 운전자가 노출되는 바닥 및 좌석의 xh, yh, zh 3축의 전신진동가속도는 표 2와 같다. 바닥 xh, yh, zh 축에서는 각각 도로 1에서 0.149%(FDP 약 1380분), 도로 2에서 0.172%(FDP 약 1143분), 그리고 도로 1에서 0.308%(FDP 약 525분)로 가장 높았다. 좌석 xh, yh, zh 축에서는 각각 도로 2에서 0.108%(FDP 약 2099분), 도로 2에서 0.134%(FDP 약 1585분), 그리고 도로 2에서 0.183%(FDP 약 1053분)으로 가장 높았다. 시속 40km에서 도로의 노면 상태가 좋지 않을 수록 바닥 3축 중 zh 축에 대한 운전자의 전신진동노출이 상대적으로 높게 나타난 것을 제외하면 좌석에서 운전자의 전신진동노출은 진동

입력원으로 가장 대표적인 노면의 상태에 많은 영향을 받지 않는 것으로 생각된다.

Table 2. Energy Equivalent Whole-Body Acceleration Level for xh, yh, zh Axes on Floor and Seat at 40km/Hour Driving Speed

| Group  | N  | Floor           |                  |                  | Seat             |                  |                  |
|--------|----|-----------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|
|        |    | xh, %           | yh, %            | zh, %            | xh, %            | yh, %            | zh, %            |
| Road 1 | 31 | 0.149<br>±0.045 | 0.159<br>±0.022  | 0.308<br>±0.064* | 0.093<br>±0.030  | 0.100<br>±0.037  | 0.175<br>±0.020  |
| Road 2 | 31 | 0.139<br>±0.013 | 0.172<br>±0.016* | 0.228<br>±0.017  | 0.108<br>±0.015* | 0.134<br>±0.018* | 0.183<br>±0.021* |
| Road 3 | 31 | 0.139<br>±0.042 | 0.133<br>±0.016  | 0.212<br>±0.027  | 0.097<br>±0.013  | 0.109<br>±0.019  | 0.148<br>±0.014  |
| Total  | 93 | 0.142<br>±0.036 | 0.155<br>±0.024  | 0.249<br>±0.058  | 0.099<br>±0.021  | 0.114<br>±0.030  | 0.169<br>±0.024  |

\*p<0.05 by ANOVA.

시속 80km에서 주행중 운전자가 노출되는 바닥 및 좌석의 xh, yh, zh 3축 전신진동의 가속도는 표 3과 같다. 바닥 xh, yh, zh 축에서는 각각 도로 2에서 0.272%(FDP 약 621분), 도로 3에서 0.244%(FDP 약 719분), 그리고 도로 1에서 0.723%(FDP 약 155분)으로 가장 높았다. 좌석 xh, yh, zh 축에서는 각각 도로 3에서 0.219%(FDP 약 830분), 도로 3에서 0.203%(FDP 약 918분), 그리고 도로 1에서 0.622%(FDP 약 195분)로 가장 높았다. 이러한 결과로 보아 도로의 노면 상태가 좋지 않을 수록 바닥과 좌석의 3축 중 zh 축에 대한 운전자의 전신진동노출이 상대적으로 많이 증가함을 알 수 있었다.

Table 3. Energy Equivalent Whole-Body Acceleration Level for xh, yh, zh Axes on Floor and Seat at 80km/Hour Driving Speed

| Group  | N  | Floor            |                  |                  | Seat             |                  |                  |
|--------|----|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|
|        |    | xh, %            | yh, %            | zh, %            | xh, %            | yh, %            | zh, %            |
| Road 1 | 31 | 0.247<br>±0.048  | 0.229<br>±0.013  | 0.723<br>±0.176* | 0.183<br>±0.028  | 0.198<br>±0.020  | 0.622<br>±0.102* |
| Road 2 | 31 | 0.272<br>±0.031* | 0.204<br>±0.016  | 0.532<br>±0.092  | 0.202<br>±0.030  | 0.177<br>±0.023  | 0.365<br>±0.050  |
| Road 3 | 31 | 0.267<br>±0.029  | 0.244<br>±0.022* | 0.531<br>±0.111  | 0.219<br>±0.030* | 0.203<br>±0.022* | 0.397<br>±0.076  |
| Total  | 93 | 0.262<br>±0.036  | 0.226<br>±0.024  | 0.595<br>±0.159  | 0.201<br>±0.033  | 0.193<br>±0.025  | 0.461<br>±0.139  |

\*p<0.05 by ANOVA.

시속 40km와 80km에서 주행중 운전자가 노출되는 바닥 및 좌석의 xh, yh, zh 3축 전신진동노출에 대한 벡터합은 표 4와 같다. 시속 40km에서 바닥과 좌석에 대한 벡터합은 바닥에서는 도로 1에서 0.439%로 가장 높았고 좌석에서는 도로 2에서 0.328%로 가장 높았다. 시속 80km에서 바닥과 좌석에 대한 벡터합은 바닥에서는 도로 1에서 0.870%로 가장 높았고 좌석에서도 도로 1에서 0.730%로 가장 높았다. 이러한 결과를 고려할 때 시속 40km에서 바닥의 전신진동노출의 벡터합은 노면의 상태에 영향을 받은 것으로 생각되고 좌석의 벡터합은 노면의 상태보다는 승용차의 진동 입력원인 타이어, 구동계, 그리고 전달계인 서스펜션, 차체, 좌석의 상태 등에 영향을 받는 것으로 생각된다. 시속 80km에서는 바닥과 좌석의 전신진동노출의 벡터합은 진동 입력원인 타이어, 구동계, 그리고 전달계인 서스펜션, 차체, 좌석 등과 같은 것보다는 노면의 상태에 영향을 받는 것으로 보인다.

**Table 4. Vector Sum of Floor and Seat Whole-Body Acceleration Level by Driving Speed**

| Group  | N  | 40km/hour    |              | 80km/hour    |              |
|--------|----|--------------|--------------|--------------|--------------|
|        |    | Floor, %     | Seat, %      | Floor, %     | Seat, %      |
| Road 1 | 31 | 0.439±0.060* | 0.314±0.047  | 0.870±0.151* | 0.730±0.093* |
| Road 2 | 31 | 0.385±0.021  | 0.328±0.022* | 0.719±0.061  | 0.527±0.041  |
| Road 3 | 31 | 0.347±0.041  | 0.292±0.044  | 0.739±0.082  | 0.581±0.052  |
| Total  | 93 | 0.391±0.058  | 0.311±0.041  | 0.776±0.124  | 0.613±0.108  |

\*p<0.05 by ANOVA

시속 40km와 80km에서 주행중 운전자가 경험하게 되는 충격 진동과 비충격 진동의 정도를 평가하는 충격계수는 표 5 및 6과 같다. 시속 40km 바닥 xh, yh, zh 축에서는 각각 도로 2에서 4.58, 도로 1에서 4.74, 그리고 도로 1에서 4.80으로 가장 높았다. 시속 40km 좌석 xh, yh, zh 축에서는 각각 도로 1에서 4.25, 도로 3에서 4.51, 그리고 도로 2에서 5.81로 가장 높았다. 시속 80km 바닥 xh, yh, zh 축에서는 각각 도로 1에서 6.38, 도로 1에서 7.35, 그리고 도로 1에서 7.82로 가장 높았다. 시속 80km 좌석 xh, yh, zh 축에서는 각각 도로 1에서 5.57, 도로 2에서 5.60, 그리고 도로 3에서 6.46으로 가장 높았다. 이러한 결과를 고려해 볼 때 시속 40km와 80km의 바닥에서의 충격계수는 시속 40km의 xh축을 제외하면 노면의 상태와 관련성이 있는 것으로 생각되나, 시속 40km와 80km의 좌석에서의 충격계수는 xh축을 제외하면 노면의 상태와는 관련성이 작은 것으로 생각된다.

**Table 5. Crest Factor of Floor and Seat Whole-Body Acceleration Level for xh, yh, zh at 40km/Hour Driving Speed**

| Group  | N  | Floor          |                |                | Seat           |                |                |
|--------|----|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
|        |    | xh             | yh             | zh             | xh             | yh             | zh             |
| Road 1 | 31 | 4.02<br>±1.06  | 4.74<br>±0.84* | 4.80<br>±0.94* | 4.25<br>±1.01* | 4.22<br>±1.58  | 4.15<br>±0.68  |
| Road 2 | 31 | 4.58<br>±1.63* | 3.96<br>±1.38  | 4.37<br>±1.26  | 3.53<br>±0.36  | 4.09<br>±2.82  | 5.81<br>±1.17* |
| Road 3 | 31 | 3.36<br>±0.89  | 4.25<br>±1.19  | 4.03<br>±1.37  | 4.03<br>±0.61  | 4.51<br>±1.13* | 3.60<br>±0.60  |
| Total  | 93 | 3.99<br>±1.32  | 4.32<br>±1.19  | 4.40<br>±1.23  | 3.93<br>±0.77  | 4.27<br>±1.96  | 4.52<br>±1.27  |

\*p<0.05 by ANOVA

**Table 6. Crest Factor of Floor and Seat Whole-Body Acceleration Level for xh, yh, zh at 80km/Hour Driving Speed**

| Group  | N  | Floor          |                |                | Seat           |                |                |
|--------|----|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
|        |    | xh             | yh             | zh             | xh             | yh             | zh             |
| Road 1 | 31 | 6.38<br>±2.62* | 7.35<br>±2.28* | 7.82<br>±1.37* | 5.57<br>±2.08* | 4.55<br>±1.12  | 6.12<br>±0.73  |
| Road 2 | 31 | 5.59<br>±0.87  | 5.83<br>±0.66  | 6.42<br>±1.12  | 5.54<br>±1.20  | 5.60<br>±1.65* | 6.37<br>±2.10  |
| Road 3 | 31 | 4.98<br>±0.81  | 5.47<br>±1.30  | 6.95<br>±1.61  | 4.68<br>±0.70  | 4.78<br>±1.32  | 6.46<br>±2.59* |
| Total  | 93 | 5.65<br>±1.74  | 6.22<br>±1.75  | 7.06<br>±1.48  | 5.26<br>±1.49  | 4.98<br>±1.44  | 6.32<br>±1.95  |

\*p<0.05 by ANOVA

승용차의 바닥에서 좌석으로 전달되는 xh, yh, zh 축 전신진동의 전달률 또는 진동의 저감의 정도를 측정 한 결과는 표 7과 같다. 시속 40km xh, yh, zh 축에서는 각각 도로 3에서 0.89, 도로 3에서 0.83, 그리고 도로 2에서 0.80으로 가장 높았으며 시속 80

km xh, yh, zh 축에서는 각각 도로 3에서 0.82, 도로 1과 2에서 공히 0.87, 그리고 도로 1에서 0.92로 가장 높았다. 이러한 결과를 고려해 볼 때, 시속 40km와 80km에서 xh, yh, zh 축에 대한 전신진동의 전달률은 노면의 상태와는 직접적인 관련성이 작고 진동 입력원인 타이어, 구동계, 그리고 전달계인 서스펜션, 차체, 좌석 등의 복합적인 영향을 받는 것으로 생각된다.

**Table 7. Transmissibility of Whole-Body Acceleration from Floor to Seat by Driving Speed**

| Group  | N  | 40km/Hour     |                |                | 80km/Hour      |               |                |
|--------|----|---------------|----------------|----------------|----------------|---------------|----------------|
|        |    | xh            | yh             | zh             | xh             | yh            | zh             |
| Road 1 | 31 | 0.65<br>±0.20 | 0.64<br>±0.26  | 0.59<br>±0.12  | 0.75<br>±0.09  | 0.87<br>±0.09 | 0.92<br>±0.30* |
| Road 2 | 31 | 0.78<br>±0.15 | 0.78<br>±0.09  | 0.80<br>±0.08* | 0.75<br>±0.08  | 0.87<br>±0.12 | 0.69<br>±0.09  |
| Road 3 | 31 | 0.89<br>±1.10 | 0.83<br>±0.16* | 0.71<br>±0.11  | 0.82<br>±0.11* | 0.84<br>±0.11 | 0.77<br>±0.16  |
| Total  | 93 | 0.77<br>±0.65 | 0.75<br>±0.20  | 0.70<br>±0.14  | 0.77<br>±0.10  | 0.86<br>±0.11 | 0.79<br>±0.22  |

\*p<0.05 by ANOVA

시속 40km와 80km에서 주행중 운전자에게 요통, 허리에 대한 유해한 건강영향이 없고 승용차를 적절하게 조작할 수 없게 하는 영향에 대한 최소의 위험도로 반복적으로 노출될 수 있다고 믿어지는 승용차의 바닥과 좌석에서 노출기준치 또는 피로-감소속달 경계(FDP)는 표 8과 같다. 시속 40km에서 바닥에서는 도로 3에서 약 457분으로 가장 높았고 좌석에서도 도로 3에서 약 584분으로 가장 높았다. 시속 80km에서 바닥에서는 도로 2에서 약 159분으로 가장 높았고 좌석에서도 도로 2에서 약 251분으로 가장 높았다.

**Table 8. Fatigue-Decreased Proficiency Boundary of Floor and Seat by Driving Speed**

| Group  | N  | 40km/Hour         |                    | 80km/Hour         |                   |
|--------|----|-------------------|--------------------|-------------------|-------------------|
|        |    | Floor, Minute     | Seat, Minute       | Floor, Minute     | Seat, Minute      |
| Road 1 | 31 | 331.52<br>±60.36  | 531.29<br>±118.72  | 122.32<br>±32.27  | 158.14<br>±34.32  |
| Road 2 | 31 | 388.54<br>±28.59  | 486.32<br>±46.53   | 159.04<br>±19.97* | 251.25<br>±29.48* |
| Road 3 | 31 | 457.06<br>±77.88* | 584.24<br>±123.35* | 153.52<br>±24.47  | 218.57<br>±27.55  |
| Total  | 93 | 392.37<br>±78.07  | 533.95<br>±109.01  | 144.96<br>±30.48  | 209.32<br>±49.18  |

\*p<0.05 by ANOVA

## 고 찰

자동차가 주행하고 있을 때 승용차 운전자는 여러 가지의 진동을 받게되고 산업위생학적 관점에서는 이것을 전신진동노출이라고 한다. 진동의 입력원으로 가장 대표적인 것은 노면의 상태이다. 노면은 반드시 평탄한 것이 아니며, 작은 요철부터 사리 도나 악로의 큰 요철, 고속도로의 교량의 연결부 등이 진동원이 될 수 있다. 이 밖에 타이어, 엔진, 구동계 차체의 회전에 의해 발생하는 진동이 진동의 입력원이 된다. Bovenzi와 Zadini<sup>12)</sup>는 전신진동과 자세 스트레스에 노출되었던 도시 버스 운전자 그리고 동일한 도시 버스에 채용되었던 유지관리 작업자의 대조군

에서 설문지에 의한 자기기입식 요통 증상의 유병율을 연구했다. 평균해서, 그들은 버스의 좌석에서 수직 전신진동의 크기가 0.4%이 되는 것으로 측정했다. 그들은 전체진동누적노출(total vibration dose, years  $m^2/s^4$ ), 등가진동크기(%), 그리고 노출기간(years)의 관점에서 표시되었던 전신진동노출의 증가에 따라 요통증상의 발생증가를 관찰했다. 그들의 결과는 버스 운전사에서, 요통증상은 ISO 2631 표준의 건강에 기초를 두었던 노출기준치보다 더 낮은 진동노출수준에서 발생했다고 보고하였다. Johanning 등<sup>13)</sup>은 지하철 운전사에서 전신진동의 유해한 영향을 조사했는데, 지하철 시스템의 열차 조작자는 하루에 224분 이상 전신진동에 노출되지 않아야 한다고 결론지었다(FDP의 관점에서 진동가속도 0.57%에 해당). Griffin<sup>10)</sup>은 도시도로를 달리는 소형 승용차의 전신진동을 측정하였는데 좌석 진동의 경우 xh는 0.11%(FDP 2049분), yh는 0.16%(FDP 1257분), zh는 0.38%(FDP 390분)이었고 충격계수는 xh는 5.0, yh는 4.7, zh는 4.8로 보고하였고 벡터합은 0.47%(FDP 293분)이었다.

본 연구에서 승용차 운전자의 전신진동노출을 측정된 결과 시속 40km에서 주행중 승용차 운전자가 노출되는 좌석의 xh, yh, zh 3축의 전신진동가속도의 평균은 각각 0.099%(FDP 약 2350분), 0.114%(FDP 약 1956분), 0.169%(FDP 약 1169분)이었고 벡터합의 평균은 0.311%(FDP 519분)이었다. 시속 40km에서 주행중 운전자가 노출되는 좌석의 충격계수의 평균은 xh는 3.9, yh는 4.3, zh는 4.5이었다. 시속 80km에서 주행중 운전자가 노출되는 좌석의 xh, yh, zh 3축 전신진동의 가속도의 평균은 각각 0.201%(FDP 약 930분), 0.193%(FDP 약 982분), 0.461%(FDP 약 301분)이었고 벡터합의 평균은 0.613%(FDP 199분)이었다. 시속 80km에서 주행중 운전자가 노출되는 좌석의 충격계수의 평균은 xh는 5.3, yh는 5.0, zh는 6.3이었다. Griffin<sup>10)</sup>의 결과와 비교해 볼 때, 시속 40km 좌석에서의 전신진동가속도와 충격계수는 3축 모두 낮았으나 시속 80km에서는 3축 모두에서 높았다. 좌석의 벡터합은 시속 40km에서는 Griffin<sup>10)</sup>의 결과보다 낮았으나 시속 80km에서는 Griffin<sup>10)</sup>의 결과 보다 높았다. ISO 263<sup>12)</sup>의 기준은 높은 충격계수 즉 다시 말해서, 충격계수가 3이상인 진동의 경우에 아주 임시적인 것으로 고려되어야 하고 6이상일 때는 진동의 영향을 과소평가할 수 있다고 한다. 충격계수가 6이상인 경우에는 승용차 운전자의 전신진동노출을 과소평가할 수 있으므로 이러한 경우에는 ACGIH<sup>9)</sup> 그리고 Griffin<sup>10)</sup>은 노출기준치와 ISO 263<sup>12)</sup> FDP 기준이 진동노출의 영향을 평가하는데 부적합하다는 것을 지적하였다. 이를 보완하는 평가방법으로 4승개념(4th power concept)을 주장하였다. 본 연구에서는 이러한 개념을 도입하지 못했지만 차후에 승용차 운전자의 전신진동 노출에 관한 연구시 이러한 개념의 이용이 필요하다고 생각한다.

시내버스의 전신진동을 평가한 정재열의 연구에서도 이러한 개념의 도입의 필요성을 강조하였다<sup>14)</sup>. 본 연구에서는 저속주행인 시속 40km 바닥과 좌석에서 이러한 기준을 초과하는 충격계수는 없었다. 그러나, 중속주행인 시속 80km에서 바닥의 충격계수는 노면의 상태가 좋지 않은 도로에서 이러한 기준이 모

두 초과하였고 zh축은 노면의 상태와 관계없이 이러한 기준을 모두 초과하였으며 좌석에서는 노면의 상태와 관계없이 zh축의 충격계수가 이러한 기준을 모두 초과하였다. 승용 자동차의 승차감 향상, 전신진동노출에 의한 건강영향의 최소화, EC로의 수출 등을 고려할 때, 승용차 제조회사들의 적극적인 NVH(Noise, Vibration, Harshness) 관련연구와 기술적용이 필요하다고 생각하고 승용차 운전자는 요통, 허리에 대한 유해한 건강영향, 그리고 자동차를 안전하게 조작하기 위해서는 저속주행 시 8시간 39분, 중속주행 시 3시간 19분 운전을 하지 않아야 할 것으로 생각하고 요통과 허리에 대한 유해한 건강영향을 최소화 하기 위한 예방적 조치로 승용차 운전 후 바로 물건을 들어올리거나 또는 허리를 구부리는 행위를 회피해야 하고 승용차 운전 후 바로 몸의 회전 또는 뒤틀기를 가급적 최소화하여야 할 것으로 생각한다.

## 요 약

승용차 운전자의 전신진동노출과 피로-감소속달 경계를 평가하고자, 부산광역시에 있는 일부의 도로는 노면의 상태에 따라 3가지로 분류되었다. 도로 1은 부분적으로 노면에 손상있는 도로이고 도로 2는 손상이 없는 정상적인 도로이고, 도로 3은 도로 2보다 노면의 상태가 양호한 도로이었다. 연구결과는 아래와 같다.

시속 40km에서 주행중 승용차 운전자가 노출되는 좌석의 xh, yh, zh 3축의 전신진동가속도(피로-감소속달경계)는 좌석 xh, yh, zh 축에서는 각각 도로 2에서 0.108%(FDP 약 2099분), 도로 2에서 0.134%(FDP 약 1585분), 그리고 도로 2에서 0.183%(FDP 약 1053분)으로 가장 높았다. 시속 80km에서 주행중 운전자가 노출되는 좌석의 xh, yh, zh 3축 전신진동의 가속도는 좌석 xh, yh, zh 축에서는 각각 도로 3에서 0.219%(FDP 약 830분), 도로 3에서 0.203%(FDP 약 918분), 그리고 도로 1에서 0.622%(FDP 약 195분)로 가장 높았다. 시속 40km와 80km 좌석의 xh, yh, zh 3축 전신진동노출에 대한 벡터합은 각각 도로 2에서 0.328%으로 가장 높았고 도로 1에서 0.730%으로 가장 높았다. 전신진동의 유행성 정도를 평가하는 충격계수는 시속 40km 좌석 xh, yh, zh 축에서는 각각 도로 1에서 4.25, 도로 3에서 4.51, 그리고 도로 2에서 5.81로 가장 높았다. 시속 80km 좌석 xh, yh, zh 축에서는 각각 도로 1에서 5.57, 도로 2에서 5.60, 그리고 도로 3에서 6.46으로 가장 높았다. 바닥에서 좌석으로 전달되는 전신진동의 전달률은 시속 40km xh, yh, zh 축에서는 각각 도로 3에서 0.89, 도로 3에서 0.83, 그리고 도로 2에서 0.80으로 가장 높았으며 시속 80km xh, yh, zh 축에서는 각각 도로 3에서 0.82, 도로 1과 2에서 공히 0.87, 그리고 도로 1에서 0.92로 가장 높았다. 승용차의 바닥과 좌석에서 노출기준치 또는 피로-감소속달경계(FDP)는 시속 40km에서 바닥에서는 도로 3에서 약 457분으로 가장 높았고 좌석에서도 도로 3에서 약 584분으로 가장 높았다. 시속 80km에서 바닥에서는 도로 2에서 약 159분으로 가장 높았고 좌석에서도 도로 2에서 약 251분으로 가장 높았다.

## 감사의 글

이 논문은 두뇌한국(Brain Korea; BK) 21 사업에 의해 수행되었으며 이에 감사한다.

## 참고문헌

1. 전홍신, 박경석: 자동차 공학. 문운당. pp.3-6, 1997.
2. International Standards Organization. Guide for the evaluation of human exposure to whole-body vibration. ISO 2631. ISO, Geneva, Switzerland. 1985.
3. Cheng, H, Ma Young-Kui, Wu Jie: Adjusting the evaluation limit for broad-band whole-body vibration. AIHA Journal. 57:476-479, 1996.
4. Wasserman, D. E. and Badger, D. : The NIOSH plan for developing industrial vibration exposure criteria. J. Safety Research. 4:146-154, 1973.
5. Dupuis, H, Zerlett, G: The effects of whole-body vibration. Springer-Verlag, Heidelberg, Germany. pp.21-31, 1986.
6. Hulshof, C, and Veldhuijzen van Zanten, B: Whole-body vibration and low-back pain. Int. A review of epidemiologic studies. Int. Arch. Occup. Environ. Health. 59:205-220, 1987.
7. Seidel, H, Heide, R: Long term effects of whole-body vibration: A critical survey of the literature. Int. Arch. Occup. Environ. Health. 58:1-26, 1986.
8. Wasserman, EE: Human aspects of occupational vibration. Elsevier, New York. pp.36-42, 1987.
9. American Conference of Governmental Industrial Hygienists. Threshold limit values and biological exposure indices for 1996-1997. ACGIH. pp.125-132, 1996.
10. Griffin, MJ: Handbook of Human Vibration. Academic Press Inc. pp. 339-340, 1990.
11. Clarke, NP, Mohr, GC, Brinkley, JW, Martin, PJ, Wooding, HC, Henzel, JH, and Gierke, HE: Evaluation of real vs rms acceleration in periodic low frequency vibration exposures. Aerospace Medicine. 36:1083-1089, 1965.
12. Bovenzi, M, Zadini, A: Self-reported low back symptoms in urban bus drivers exposed to whole-body vibration. Spine. 17:1048-1059, 1992.
13. Johanning, E. Wilder, DG, Landrigan, PJ, and Pope, MH: Whole-body vibration exposure in subway cars and review of adverse health effects. J. Occup. Med. 33:605-612, 1991.
14. 정재열 : 시내버스의 진신진동평가. 한국의 산업의학. 38(4): 184-201, 1999.