

야지 시험로 주행 진동 노출 시간에 따른 탑승자의 주의력 저하에 관한 연구

Attention Degradation of Occupant Driving Vehicle on Cross-country Test Road According to Vibration Exposure Time

박 동 준* · 최 문 기** · 송 종 탁*** · 안 세 진† · 정 의 봉****

Dong-Jun Park, Moon-Gee Choi, Jong-Tak Song, Se-Jin Ahn and Weui-Bong Jeong

(Received October 19, 2016 ; Revised January 9, 2017 ; Accepted January 17, 2017)

Key Words : Military Vehicle(군용차량), Attention Test(주의력 시험), Vibration Exposure Time(진동노출시간), Cross-country Driving(야지주행), Body Resonance(인체공진), Frequency Weighting Function(주파수 가중함수)

ABSTRACT

When a military vehicle is driven on a cross-country road, the occupants are exposed to vibration at a body resonance. In case that the exposure continues for too long period, the attention ability of the occupant could be affected by the vibration exposure. In the study, it was experimentally tried to find if there is a correlation between degradation of attention and vibration exposure. Two kinds of test among various psychological attention tests were employed, which were selected with considering a situation of carrying out military mission on vehicle. At the result, the searching test for controlled attention showed significant degradation in the accuracy and performance time in case of exposure at the vibration. And the attention degradation appeared to be greater when the vibration exposure increases. The dual task test for divided attention showed the difference between vibration and non-vibration condition, but showed it is insignificant for the attention to degrade by increasing exposure time.

1. 서 론

군사 작전용 차량의 경우는 일반 상용차량과는 달리 야전의 지형조건에서 열악한 노면으로 운행하게 되고 탑승자는 강한 진동에 노출되며, 특히 인체 공진 주파수에서는 더욱 큰 영향을 받게 된다.

진동에 노출된 인체의 반응에 대한 연구는 인체의 동역학적 반응, 생리적인 반응, 그리고 심리적인 반응에 대한 것으로 나눌 수 있다^(1,2).

Balasubramanian⁽³⁾의 연구에서는 피시험자 20명이 60분 동안 오토바이를 운행할 때, 피시험자의 각종 근육에서 Surface EMG를 측정하여 승모근, 넓은 등근, 척추 기립근의 근육 피로도가 증가하는 것

† Corresponding Author; Member, Div. of Mechanical & Electrical Engineering, Uiduk university
E-mail : sjahn@uu.ac.kr

* School of Mechanical Engineering, Pusan National University

** Konyang University

*** Agency for Defense Development

****Member, School of Mechanical Engineering, Pusan National University

‡ Recommended by Editor Gi-Woo Kim

© The Korean Society for Noise and Vibration Engineering

을 확인하였고, 주관적 설문을 통하여 엉덩이 부근에서 가장 불편감을 느낀다는 결과도 확인하였다.

Kim⁽⁴⁾의 연구에서는 KTX 열차와 새마을호 열차로 서울과 부산을 왕복하는 동안 시트에 착석한 승객에 노출되는 진동량을 측정하고 ISO 2631-1의 국제 표준에 따라 건강 영향도를 평가하고 비교하였다. 이 연구에서는 두 열차 모두 진동량이 건강상 위험한 수준은 아니고 KTX 열차가 건강 영향도 측면에서 새마을호에 비해 더욱 유리하다는 것을 확인하였다.

야지의 노면 조건과 같이 열악한 환경에서 운행하는 동안에 탑승자에게 노출되는 강한 진동은 탑승자의 피로도를 증가시킬 뿐만 아니라 주의력을 떨어뜨리는 요인이 되어 정상적인 임무수행에 부정적인 영향을 미치게 된다. 강한 진동에 의한 인체의 공진은 탑승자의 주의력 변화를 일으키고, 이것은 인체진동의 심리적 반응 분야에 해당되며 인지(cognition) 및 지각(perception)적 접근방법을 통하여 연구가 수행된다. 주의(attention)는 일반적으로 특정한 정신활동에 집중하는 인지적 과정으로 연구와 접근 방법에 따라 다양한 주의기제(attentional basis)가 존재한다. 대표적으로 선택적 주의(selective attention)는 세상의 여러 정보 중에서 어떤 것은 무시하고 특정 정보에만 선택적으로 반응하는 능력을 말하며⁽⁵⁾, 분할 주의(divided attention)는 다양한 채널에서 들어오는 정보에 연속적이고 동시적으로 반응하기 위해서 최소 두 가지 이상의 정보에 적당한 주의력을 분할하여 반응하는 능력을 말한다⁽⁶⁾. 그 외에도 주의의 자동성에 따른 자동적/통제적 주의, 시각적 채널에 따른 시각주의 청각주의 등으로 나누기도 한다.

이 연구의 목적은 야지 주행 진동에 노출된 운전자의 인체 공진에 의한 주의력 저하 현상을 인체반응 시험 방법을 통하여 분석하는 것이다. 이 연구에서는 선택적 주의(selective attention)와 그리고 분할주의(divided attention)를 효과적으로 측정하기 위하여 개발한 전용 게임 어플리케이션을 이용하였다. 이 시험에 참가한 피시험자는 10명이며 주의력 변화의 유의성검토를 위하여 SPSS의 통계분석을 이용하였다.

2. 야지주행 진동

진동 노출량에 따른 주의력 저하의 인체반응 시험을 위한 진동량을 결정하기 위하여 소형전술차량이

Fig. 1과 같은 약 3 km 길이의 야지 시험로를 주행할 때 운전석 시트에서 발생하는 진동을 측정하였다. 운전석 시트의 진동은 차량의 주행속도에 따라 크게 달라지는데, 이 연구에서는 전문 운전자가 야지 시험로를 시속 15 km, 20 km, 25 km로 각각 시험주행할 때 주행 속도가 일정하게 유지되는 정도와 진동량의 크기를 고려하여 시속 20 km의 진동으로 선정하였다.

운전석 시트 위의 진동은 데이터 저장 메모리가 내장된 MEMS 타입 3축 가속도계를 부착한 시트웬을 제작하여 측정하였다⁽⁷⁾. 운전석 시트에서 측정된 진동 데이터는 ISO 2631-1의 주파수가중합수를 적용하여 인체진동 노출량으로 환산하였을 때 약 1.37 m/s²(Weighted r.m.s.)으로 계산되었다⁽⁸⁾. Fig. 2는 시트에서 측정한 3축 가속도에서 상하방향 신호와 이것에 대하여 주파수가중합수를 적용한 신호를 비교하여 나타낸 것이다. 인체 상하방향 주파수가중합수의 특성상 10 Hz 이상의 고주파와 4 Hz 이하의 저주파 신호가 제거됨을 보인다.

이 연구에서는 진동 노출량이 증가함에 따라 발생하는 인체 공진에 의한 주의력 저하 시험을 위하



Fig. 1 Cross-country test road for military vehicle

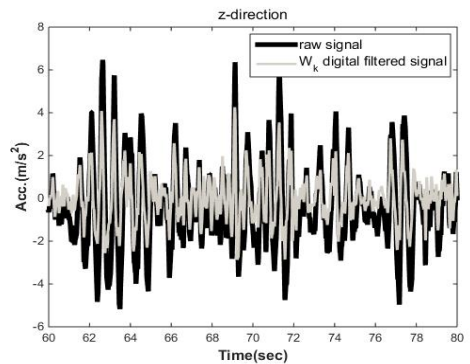


Fig. 2 Comparison of raw data and W_k frequency weighted acceleration signal of vertical vibration on driver's seat

여 가진기에서 발생하는 진동의 크기는 야지 주행 진동의 평균값인 1.37 m/s^2 (Weighted r.m.s.)로 하고 가진 시간에 비례하여 진동 노출량을 증가 시키는 방식을 채택하였다. 그리고 전자기식 수직방향 가진기의 특성과 ISO 2631-1의 상하방향 민감 주파수 범위, 인체반응의 복부 부위 공진주파수를 고려하여 8 Hz의 상하방향 진동으로 피시험자를 가진하였다.

3. 피시험자 및 시험장치

3.1 피시험자

피시험자는 강한 전신진동 노출의 경험이 있으며 현역 군복무를 앞두고 있거나 최근에 군복무를 마친 건강한 남자를 대상으로 공고 모집하였다. 그리고 주의력 시험을 절차에 따라 진행하기 위하여 스마트폰으로 실행되는 주의력 게임을 이 시험 전에 미리 피시험자에게 전송하여 기초적인 주의력 정도를 사전 점검하였다. 이 시험에서 참가한 피시험자의 나이(age)와 몸무게(weight) 그리고 신장(height)의 평균(average)과 표준편차(standard deviation)를 Table 1에 나타내었다.

3.2 시험 장치 및 착석자세

(1) 가진 시스템

일정한 진동량을 발생시키기 위하여 이 연구에서는 전자기식 가진기인 IMV 220i를 사용하였다. 가진기의 기본 사양은 Table 2와 같다. 다양한 가진 신호

를 생성하기 위하여 Labview 프로그램을 이용하였으며, 디지털신호처리를 위하여 NI-Pxi 8187를 사용하였다. NI-Pxi 8187에서 출력되는 가진 제어신호를 증폭하여 가진기에 입력하는 장치는 i230/SA2M이다. 가진기에서 출력되는 진동신호의 실제 크기는 가진 주파수와 피시험자의 몸무게에 따라 달라지기 때문에 피드백 보정(calibration)을 실시하였다.

(2) 강체시트 및 착석자세

진동 노출량에 대한 주의력 저하를 분석하는 이 연구에서는 시트의 정적특성의 영향을 최소화하기 위하여 Fig. 3과 같이 제작된 강체시트를 사용하였다. 시트의 높이는 간단한 조작으로 조정될 수 있도록 제작되었으며 피시험자의 무릎높이에 따라 발판의 높이를 미세 조정할 수 있도록 하였다.

강체 시트는 피시험자의 신체와 접촉하는 부분은 나무로 제작되었으며, 가진 주파수에서 시트의 탄성 특성이 나타나지 않도록 알루미늄 프로파일을 이용하여 충분한 강성을 가지는 구조물로 제작하였다. 이 연구는 진동 노출량에 대한 주의력 저하에 대한 초기적인 연구로써 진동량 외의 영향을 최소화하기 위하여 시험조건을 최대한 단순화하였다. 피시험자의 착석자세는 무릎의 각도는 90° 로 유지하고 허리를 최대한 수직으로 유지할 수 있도록 하였으며, 등받이의 영향을 제거하기 위하여 피시험자는 등받이를 사용하지 않도록 하였다. 진동에 노출되는 동안에

Table 1 Physical characteristics of 10 subjects

	Max.	Min.	Avg.	SD
Height(cm)	187	167	174.8	5.2
Weight(kg)	77	60	66.7	5.3
Age(yr)	27	20	24.4	2.0

Table 2 Specifications of vibration shaker used in the experiment

Model	IMV i-220
Type	Electro-dynamic
Rated force	5.6 kN
Frequency range	3 Hz ~ 3300 Hz
Maximum displacement	51 mm p-p
Maximum payload	200 kg



Fig. 3 Rigid seat and sitting posture on the shaker

피시험자는 손을 무릎에 편안하게 올리고 전방을 주시하도록 주문하였으며, 주의력 게임을 수행하는 동안에는 편안한 자세에서 최대한 게임에 집중할 수 있도록 하였다.

4. 주의력 시험

4.1 주의력 시험용 어플리케이션

실제로 특정 자극이나 주어진 과제가 인간의 주의기체에 미치는 영향력은 매우 다양하고 복잡하다. 야지 주행에 의한 인체 공간이 인간의 주의력에 미치는 영향력 또한 주의의 다양한 측면이 관계할 수 있지만 이 연구에서는 선택적 주의(selective attention)와 분할주의(divided attention)를 측정하였다. 이 두 가지의 주의기체는 인지심리학에서 전통적으로 주의를 측정하기 위해 사용되는 대표적인 주의기체라는 측면과 또 군사적 작전 수행과 전투력에 직접적으로 관련된다고 유추되기 때문에 선택되었다.

(1) 선택적 주의력 시험

먼저 선택적 주의를 특정한 감각채널에 주어진 입력정보에 집중하고 다른 채널에 주어진 정보들을 억압하는 능력으로 이 연구에서는 Treisman⁽⁹⁾의 visual searching test를 사용하여 자동적 주의선택과 통제적 주의선택 과제를 동시에 시행하였다. 인간은 원하는 주의선택을 위해서 특정한 특징을 가지고 자동적으로 자극을 선택할 수 있는 측면(Fig. 4의 왼쪽)과 몇 가지 특징을 조합하여 복잡하게 처리해야 하는 측면(Fig. 4 오른쪽)의 선택이 있다. Fig. 4의 왼쪽의 경우는 두뇌의 작용이 최소한으로 검색이 가능한 자동 처리과정에 대한 시험의 예시이고, 오른쪽 그림은 동그라미의 형상과 흰색의 색깔을 동시에 검색

하여야 하는 통제된 주의 시험을 예시하여 나타낸 것이다. 이 시험에서는 Treisman의 시각탐색과제를 응용하여 Fig. 5와 같은 게임 형식으로 제작한 시험을 진행하였다.

Fig. 5는 이 연구에서 사용한 searching test 어플리케이션의 한 장면을 나타낸 것이다. 피시험자는 매 장면마다 바뀌는 지시사항(instruction)의 내용을 조합하여 그것에 일치하는 그림들을 최대한 신속하게 찾아서 클릭하는 것이며, 반응속도(reaction speed)와 정오율(accuracy rate)을 측정한다.

(2) 분할 주의력 시험

Dual task test는 피시험자가 두 가지 혹은 그 이상의 작업을 동시에 수행할 때 필요로 하는 분할 주



Fig. 5 A screen of searching test application

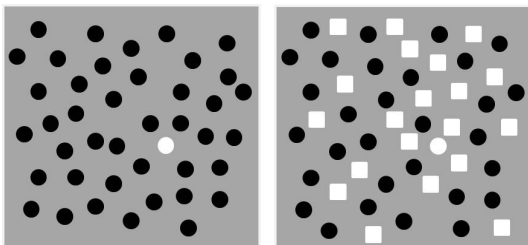


Fig. 4 Example of automatic attention(left) and controlled attention(right)



Fig. 6 A screen of dual task test

의력을 시험하는 것으로 일반적으로 사람들은 두 가지 이상의 작업을 수행할 때 더 많은 실수가 발생하고 반응시간도 느려진다⁽¹⁰⁾. Dual task test는 둘 이상의 자극이나 수행 대상에 적절하게 주의를 할당하는 시험으로 보통 어려운 주과제와 쉬운 보조과제로 나누어 진행된다.

Fig. 6은 이 연구에서 사용한 dual task test의 어플리케이션의 한 장면을 보여 주고 있다. 피시험자는 왼쪽의 컵에 물이 표시된 양까지 채워질 때 정지버튼을 눌러야 하는 쉬운 작업을 수행하면서 오른쪽에 지시되는 햄버거의 조합에 맞게 순차적으로 햄버거를 쌓아야 하는 어려운 작업을 동시에 수행하는 시험이다. 이 시험을 통하여 쉬운 작업을 정확하게 수행하는 능력과 어려운 작업을 얼마나 신속하게 수행하는 지에 대한 능력을 측정할 수 있다.

4.2 시험 절차

이 연구의 주의력 시험은 예비시험과 이 시험으로 나누어져 수행되었으며, 예비시험에서는 피시험자가 주의력 어플리케이션 게임의 이해와 사용법을 숙지하기 위한 과정이다. 시험 참가자로 선정된 피시험자에게 어플리케이션 프로그램을 SNS를 이용하여 전송하고 자신의 모바일 기기 또는 스마트폰으로 게임을 미리 경험하고 연습할 수 있도록 하였다. 그리고 이 시험 직전에 어플리케이션 게임의 실행 방법과 숙련도를 높이기 위하여 일정시간 동안 반복 연습을 수행하게 하였다. 이것은 주의력 시험을 진

행하는 동안에 발생하는 학습효과에 의한 오차를 최소화하기 위한 과정이다.

이 시험은 Fig. 7과 같이 미가진 조건과 가진 조건으로 크게 두 가지로 나누어 수행되어졌다. 가진 조건의 시험에서는 15분 동안 지속되는 8 Hz의 진동 노출 전과 후에 주의력 시험을 실시하였으며, 이러한 과정을 총 8회 실시하였다. 두 가지 주의력 시험을 수행하는 시간은 약 8분 정도이며, 피시험자는 Fig. 3에서 보는 바와 같이 진동이 멈춘 강체시트에 탑승한 상태에서 주의력 어플리케이션 게임을 수행하였다. 미가진 조건의 시험은 가진 조건의 시험과 동일한 절차로 수행되지만 진동이 없는 시트에 앉아서 주의력 시험을 수행하는 것이 차이점이다. 그리고 모든 피시험자는 가진과 미가진 조건 시험을 각각 수행하도록 하였으며 최소한 1일 이상의 시간간격을 두어 누적 피로도에 의한 주의력 시험의 오차를 최소화 하였다. 피시험자 10명 중에서 5명은 가진 조건을 먼저 수행하고 나머지 5명은 미가진 조건을 먼저 수행하게 하여, 시험순서에 의한 편향오차를 최소화하였다.

5. 시험결과

진동 노출량에 따른 주의력 변화를 관찰하는 이 시험으로부터 각 시험에 따른 반응속도(reaction time)와 정오율(accuracy rate)을 얻은 가진 조건과 미가진 조건에 대한 주의력을 시험값으로 하여 통계 분석을 실시하여 비교하였다(ANOVA: ANalysis of VAriance).

(1) 선택적 주의력 시험

시각적 주의를 중심으로 한 선택 주의를 시험하는 searching test의 결과에서는 Fig. 8에서 보이는 바와 같이 작업을 수행하는 정확도에서는 통계적으로 유의한 차이가 나타났으며($F = 4.87, p = 0.05$), 반응시간에서는 통계적으로 유의한 차이를 보이지 않았다($F = 3.19, p = n.s.(not\ significant)$). 이 때, F 의 값은 k 개의 모집단의 모평균에 대한 가설 H_0 를 검정하기 위한 검정통계량을 나타내고, p 의 값은 주어진 검정통계량의 관측치로부터 H_0 를 기각하는 최소의 유의수준을 나타낸다. 과제수행의 정확도에서는 진동노출시간이 증가함에 따라 미가진 조건에서

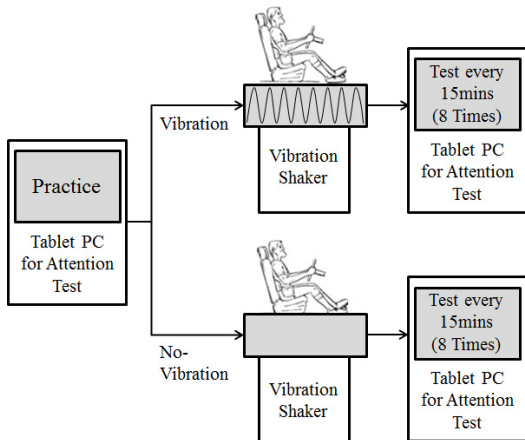


Fig. 7 Schedule of attention test before and after excitation of 15 minute vibration

는 증가하는 반면에 가진 조건에서는 정확도가 감소하는 결과를 보였다. 반응시간 혹은 수행시간에 있어서는 가진과 미가진 조건에 대하여 진동노출시간이 증가함에 따라 감소하는 경향을 보였는데, 이것은 작업이 반복됨에 따라 숙련도가 높아지는 학습효과로 보이며, 이 효과는 가진 미가진 조건에서 동일하게 관찰 된다. 가진과 미가진에 대한 수행시간의 차이는 일정하게 관찰되나 통계적 유의도는 없었다. 하지만 정오율이 올라가면 수행시간이 길어지고 수행시간이 짧아지면 정오율이 떨어지는 상쇄효과를 고려하면 전반적으로는 주의력의 대한 진동 가진의 영향이 있는 것으로 판단된다.

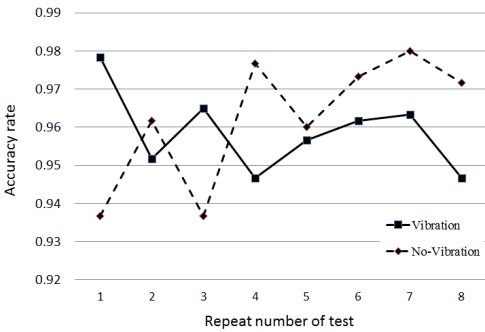
이 연구에서는 진동 노출량이 증가함에 따라 주의력이 변화하는 정도를 알아보기 위하여 가진 조건과 미가진 조건에서 실시한 주의력 관찰값의 차이(가진조건 관찰값 - 미가진조건 관찰값)를 상관분석하였고 이 때의 상관관계의 정도를 나타내는 수치로 r 을 사용하였다. 즉, 시간의 증가에 따라 미가진 조건에 비교해서 가진 조건에서 주의력이 더욱 떨어지

는지를 보는 것인데, 결과에서 정확도는 시간이 지남에 따라 수행도가 유의미하게 떨어지고 있었으나($r = 0.74, p = 0.04$), 반응시간은 통계적 유의도를 보이지 않았다($r = 0.78, p = n.s.(not\ significant)$).

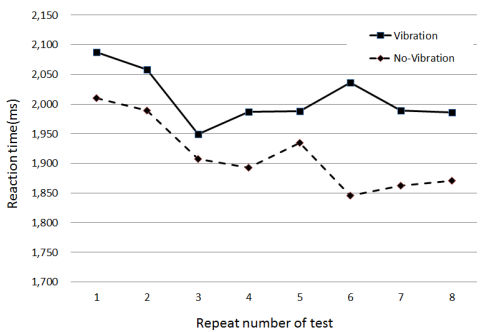
(2) 분할 주의력 시험

Dual task test의 진동 노출량에 대한 분할 주의력의 변화를 관찰하기 위하여 easy task와 hard task 수행의 정확도를 분석하였다. Fig. 9(a)는 가진과 미가진 조건에서 easy task를 수행하는 정확도의 평균을 나타낸 것인데 가진 조건에서 정확도가 유의미하게 낮다($F = 7.25, p = 0.02$). Fig. 9(b)는 hard task의 수행정확도를 나타낸 것이며 가진 조건의 정확도가 확실히 떨어진다($F = 10.2, p = 0.01$).

시간에 따른 변화량을 계산한 결과에서는 가진과 미가진 조건에 따른 분할 주의력의 차이는 통계적으로 유의하지 않았다. 가진으로 인해 분할 주의가 영향을 받지만 시간적으로 계속 감소한다고 볼 수는 없었다.

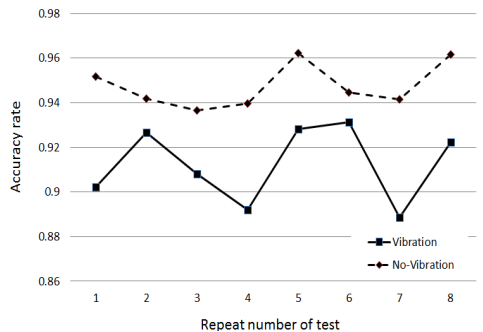


(a) Accuracy rate

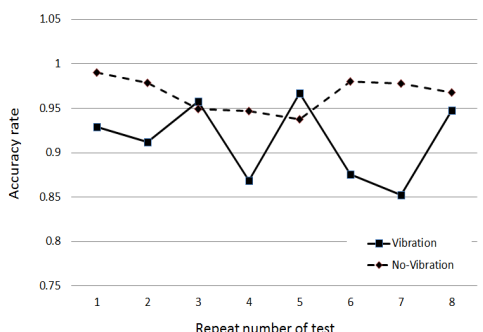


(b) Reaction time

Fig. 8 Accuracy and reaction time for searching test according to increase of vibration exposure time



(a) Easy task



(b) Hard task

Fig.9 Accuracy rate of dual task test according to increase of vibration exposure time

6. 결 론

이 연구는 군용차량이 야지 주행로를 운행할 때 발생하는 강한 진동에 의한 인체의 공진은 운전자 또는 탑승자의 주의력에 영향을 미칠 것이라는 가설을 바탕으로 시험계획이 수립되었다. 소형진술차량이 야지주행 시험로를 운전하는 동안 운전석 시트에서 발생하는 진동량을 측정하였으며, 여기에 ISO 2631-1의 인체진동 주파수가중합수를 적용한 진동량을 이 연구의 주의력 저하시험의 가진량으로 적용하였다. 총 10명의 피시험자가 참가한 주의력 시험에서 선택적 주의를 기본으로 한 탐색과제와 분할 주의력 위주의 다중과제(dual task)에서 가진과 미가진 조건에 대하여 주의력의 차이를 알아보았으며, 결과는 많은 부분 유의한 수준의 차이를 보였다. 그리고 searching test의 정확도에서 진동노출량이 증가함에 따라 주의력이 저하되는 현상이 나타났다.

이 연구는 야지 주행 중 발생하는 강한 진동량이 인체의 복부 부위의 공진 주파수로 가진되었을 때 탑승자의 주의력에 미치는 영향을 관찰하기 위한 초기적인 연구이다. 더욱 정확하고 신뢰 있는 결과를 얻기 위해서는 야지주행의 진동 주파수와 진동 방향을 더욱 실제적으로 반영할 필요가 있으며, 실제적인 임무수행의 특성을 면밀히 분석하여 최적의 주의력 시험을 설계하고, 더욱 많은 피시험자를 이용함으로써 통계적 유의성을 높이는 것이 필요하다. 또한 실제 야전상황에서의 진동노출량의 정도를 감안하여 시험 시간을 더욱 늘려서 주의력의 변화의 추이까지 관찰할 필요가 있다.

References

(1) Griffin, M. J., 2012, Handbook of Human Vibration, Academic Press.
 (2) Mansfield, N. J., 2004, Human Response to Vibration, CRC Press.
 (3) Balasubramanian, V. and Jagannath, M., 2014, Detecting Motorcycle Rider Local Physical Fatigue And Discomfort Using Surface Electromyography and Seat Interface Pressure, Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour, Vol. 22, pp.

150~158.

(4) Kim, J. M., Park, J. H., Ahn, S. J. and Jeong, W. B., 2015, Evaluation of Human Exposure to Vibration on Domestic High-speed Train Using ISO 2631-1, Transactions of the Korean Society for Noise and Vibration Engineering, Vol. 25, No. 4, pp. 266~274.
 (5) Milliken, B., Joordens, S., Merikle, P. M. and Seiffert, A. E., 1998, Selective Attention: A Reevaluation of The Implications of Negative Priming, Psychological Review, Vol. 105, No. 2, p. 203.
 (6) Duncan, J., 1993, Coordination of What and Where in Visual Attention, Perception, Vol. 22, No. 11, pp. 1261~1270.
 (7) ISO 7096, 2000, Earth-moving Machinery — Laboratory Evaluation of Operator Seat Vibration, International Organization for Standardization, Geneva.
 (8) ISO 2631-1, 1997, Mechanical Vibration and Shock-evaluation of Human Exposure to Whole-body Vibration-Part 1: General Requirements, International Organization for Standardization, Geneva.
 (9) Anne, T., 1964, Monitoring and Storage of Irrelevant Messages in Selective Attention, Journal of Verbal Learning and Verbal Behavior, Vol. 3, No. 6, pp. 449~459.
 (10) Matlin, M. W., 2103, Cognition (8" Ed.), SUNY: Wiley Publishers.



DongJun Park received B.S. degrees from in Pusan National University in 2016 and he is currently majoring in noise and vibration in Pusan National University. He especially is interested in Human Vibration.



SeJin Ahn is received B.S., M.S. and Ph.D. degrees from Pusan National University in 1994, 1996, and 2003, respectively. Dr. Ahn is currently a professor at the department of energy & electricity in Uiduk University. His research interest is in human vibration.