

인체진동이 뇌파변동리듬에 미치는 영향평가

민병찬*[†] · 김형욱** · 김지관***

*한밭대학교 산업경영공학과

**한국기계연구원

***창원대학교 산업시스템공학과

Evaluation on the Effect of Whole Body Vibration on EEG Frequency-Fluctuation

Byung-Chan Min*[†] · Hyoung-Wook Kim** · Ji-Kwan Kim***

*Department of Industrial and Management Engineering, Hanbat National University

**Korea Institute of Machinery and Materials (KIMM)

***Dept. of Industrial and Systems Engineering, Changwon National University

In this study, reactions of central nervous systems working against different conditions of forced frequency and acceleration were measured and analyzed. The experiment are conducted with health men. The steady vibration conditions of forced frequency (0.315m/s²-1.0Hz, 0.315m/s²-10Hz and 10Hz-1.0m/s²) are used and the waves of EEG (Electroencephalogram) are measured. As a result, this paper shows that the α -wave of frontal lobe transfers from low to high frequency band under the vibration environment. Additionally, the average frequency of α -wave is higher under the vibration than under non-vibration environment. In the case of forced frequency of 1.0Hz-0.315m/s², the feeling with the vibration are nearly same compared with the non-vibration condition. But in the case of 10Hz-1.0m/s², uncomfortable feeling increased compared with the non-vibration condition. This study also shows the relationship between fluctuation slop and feeling. From this study, it is found that the effect of vibration on human depends on acceleration characteristics. Highly accelerating vibration is more harmful to human.

Keywords : Vibration, Frequency Fluctuation, Acceleration

1. 서론

산업화와 더불어 인간은 보다 다양한 진동원(교통수단, 기계 등)에 노출되어 있으며 직·간접적으로 진동을 경험하게 된다. 진동이 발생하고 있는 조건은 일반적으로 불쾌감을 발생시키는 요인으로 간주되고 있으며, 불쾌감의 정도는 복합적인 인자들을 포함하고 있다.

인간에게 전달되어지는 진동의 경우 대부분이 불규칙 진동이다. 이 경우 진동수와 강도가 불규칙적이기 때문에 최대 진폭이나 가속도는 의미가 없다. 강도는 흔히 가속도의 rms(root mean square)치로 표현되며, 진동을 측정할 경우, 가속도, 변위, 진동수를 고려한다. 일반적으로, 가속도를 일정하게 유지하고 진동수를 변화시키면, 변위도 변한다. 인체에 가해지는 진동은 강도, 주파

[†] 교신저자 bemin@hanbat.ac.kr

※ 이 논문은 2004년도 정부재원(교육인적자원부 학술연구조성사업비)으로 한국학술진흥재단의 지원을 받아 연구되었음(KRF-2004-205-D00193).

수, 방향, 진동발생 메커니즘, 전파매개체, 개인의 특성과 성격 등에 따라 인간에게 매우 복잡한 감정을 초래하게 한다. 특히, 인체가 0.5Hz이하의 저주파에 노출되었을 때 멀미(motion-sickness)가 나타날 수 있다. 또한, 0.5~80Hz 영역에서의 진동은 건강(Health), 안락감(Comfort) 그리고 인지(Perception)에 관련하여 많은 문제점을 일으킨다. 진동이 머리에 전달될 경우 시각능력을 저하시키며, 수계로 전달되는 진동의 영향은 작업능률을 저하시킨다. 사실, 장시간의 강한 인체진동은 척추와 신경시스템에 영향을 미치게 되어 척추마모를 가져와 건강에 손상을 입힐 수 있다.

이처럼 인체에 전달되는 유해한 진동을 줄이기 위해서는 많은 비용과 노력이 필요하지만, 인간이 민감하게 느끼는 대역의 진동을 효율적으로 줄일 수 있다면 최소의 비용으로 큰 효과를 얻을 수 있을 것이다.

그래서, 인간에게 좀더 안락한 환경을 제공하기 위해서, 인체에 미치는 진동의 진동 주파수, 방향, 시간 그리고 진동량에 대한 연구가 많이 수행되었다[2, 4].

그렇지만 이전의 연구들은 단순 물리적 측정과 파다노출에 대한 인체의 유해성 평가에 관심을 둔 연구들이기에 단순 물리적 진동 측정에 의한 환경 평가 수준에서 벗어나지 못하고 있는 실정이다. 이러한 환경 진동평가의 한계점을 극복하고 환경으로부터 실제 인체에 전달되는 인체 진동량의 정확한 측정과 인체에 미치는 영향(불쾌감, 수면방해, 작업방해)에 대한 평가, 보건 및 안전에 대한 위해성에 의한 인체의 생리적, 심리적 영향에 대한 정량적 측정 및 평가 연구가 시급히 이루어져 보다 현실적인 환경관리 방법 및 체계의 수립이 필요하다.

그래서 본 연구에서는 진동이 인체에 미치는 유해성을 평가하기 위해 진동노출에 따른 중추신경계를 통하여 인간이 느끼는 불쾌감, Sickness 등을 정량적으로 평가하여 인체가 보다 쾌적한 진동환경에서 보호 받을 수 있는 표준 지표자료 개발을 위한 뇌파변동리듬에 의한 진동의 정량적 측정 및 평가법을 확립하고자 한다.

2. 연구방법

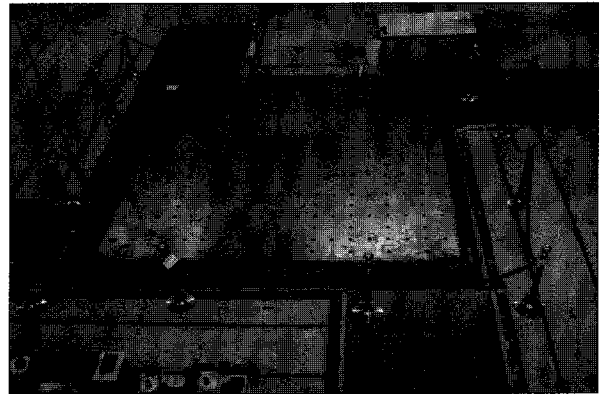
2.1 피험자

피험자는 심장질환이나 뇌질환의 경험이 없는 20대의 건강한 한밭대학교 13명의 남자 학생을 대상으로 하였고, 인체측정학적 신체적 특징은 나이 22 ± 0.67 세, 신장 178 ± 3.08 cm, 체중 73 ± 12.55 kg이었다. 실험 전에는 진동에 대한 뇌파 측정에 영향을 줄 수 있는 흡연, 음주, 카

페인, 약물 등의 섭취를 금하였고, 실험과정을 충분히 이해시킨 후 실험을 실행하였다.

2.2 실험 환경

실험은 가진기가 설치되어 있는 한국기계연구원 내에서 수행하였으며, 실험 중 내부 온도는 $20 \pm 0.6^\circ\text{C}$, 상대습도는 $45 \pm 6.4\%$ 였다. 그리고 실험을 수행하는 동안 피험자는 뇌파 측정에 영향을 줄 수 있는 금속물질 착용을 금하였으며, 실험장소 주변의 소음 등을 최대한 자제하도록 하였다. 실험에 이용한 가진기 <그림 1>은 한국기계연구원에 설치되어 있는 것을 사용하였으며, 장비의 사양은 <표 1>과 같다.



<그림 1> 유압식 6축 가진기

<표 1> 가진기 사양

구 분	내 용
장비중량	• 30Ton
진동 Table 크기	• 4.0m×4.0m
가진방향	• 6자유도(3축 병진, 3축 회전)
가진 주파수 범위	• 0.1Hz~50Hz
최대범위	• 100mm(수평), 67mm(상하)
최대 가속도(30Ton 적재시)	• 1.5g(수평), 1.0g(상하)

그리고 진동의 가진 주파수는 1.0Hz와 10Hz로 하였고, 가진 폭은 0.315m/s^2 와 1.0m/s^2 으로 설정하였다. 진동 제시 조건은 <표 2>와 같으며, 각 제시조건은 피험자에게 무작위(random)로 실시하였다.

<표 2> 진동 제시 조건

가진 폭	주파수
0.315m/s^2	1.0Hz, 10Hz
$0.315\text{m/s}^2, 1.0\text{m/s}^2$	10Hz

2.3 측정항목

진동가진 방법에 따른 중추신경계반응의 측정을 위해 뇌파(EEG : electroencephalogram)는 좌우 전두엽의 α 파 대역의 주파수 변동 리듬 계수가 자동적으로 산출되는 휴대식 소형 쾌적감 평가 장치를 사용하여 좌우전두엽 부위 Fp₁, Fp₂의 α 파 평균 주파수, α 파 주파수 데이터 비율, 1/f변동리듬을 측정하였다.

2.4 실험순서

전체 실험 진행 프로토콜은 다음과 같다.

- ① 피험자에 센서 부착
- ② 안정 상태에서 EEG 측정
- ③ 가진 시작 60초 후 EEG 측정
- ④ 가진 정지
- ⑤ 10분간 휴식
- ⑥ 가진 조건별로 ①~⑤ 반복

2.5 분석 및 통계처리

측정된 값은 모두 평균과 표준편차를 구하였고, 각 가진 조건에서 가진 전과 가진 중의 α 파 변화량을 구하여 분석하였는데, 변화량을 관찰하기 위해 아래 수식을 이용한 Normalized Sensibility(NS)를 구하여 비교하였고, 가진 조건 간 비교는 SPSS 12.0을 이용하여 t-검증을 실시하였다.

$$(NS) = \frac{(\text{실험수행후값} - \text{안정값})}{\text{안정값}} \times 100(\%)$$

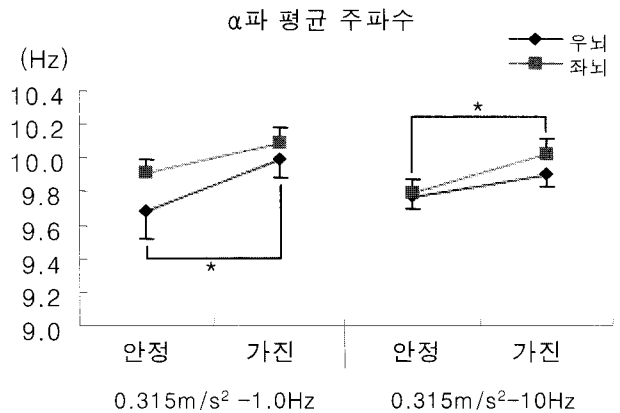
3. 결 과

3.1 α 파 주파수

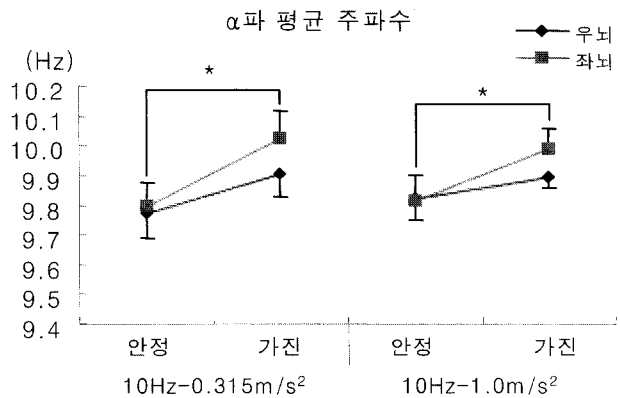
<그림 2>의 경우, 가진 조건 0.315m/s²-1.0Hz와 0.315m/s²-10Hz의 좌우 전두엽(Fp₁, Fp₂) α 파 평균 주파수를 비교한 결과, 두 가진 조건 모두 안정 보다 가진 상태였을 때 평균 α 파 주파수가 더 높게 나타났으며, 1.0Hz의 가속도 조건에서는 우 전두엽에서, 10Hz의 가속도 조건에서는 좌 전두엽에서 안정에 비해 가진 상태에서 통계적으로 유의한 차이가 나타났다(p < 0.05).

<그림 3>에서는 가진 조건 10Hz-0.315m/s²과 10Hz-1.0m/s²의 좌우 전두엽(Fp₁, Fp₂)의 가진 전 후 α 파 평균 주파수를 비교하였다. 그 결과, 두 가진 조건 모두 안정 보다 가진 상태였을 때 더 높은 주파수를 나타냈으며,

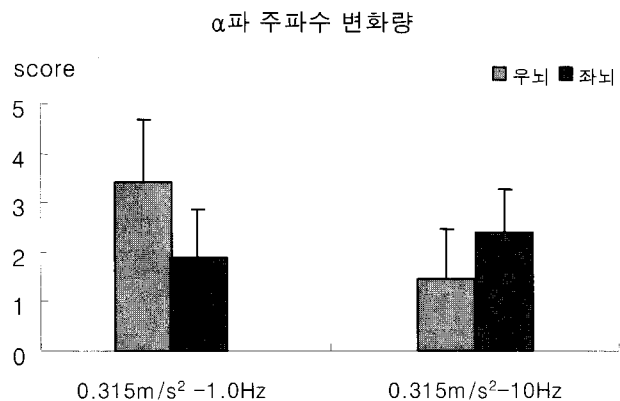
좌 전두엽에서 통계적으로 유의한 차이가 나타났다(p < 0.05). 이러한 결과는 인체가 진동 상태에 있을 때는 전두엽의 α 파 대역 주파수가 저주파수 대역에서 고주파수 대역으로 이동하는 것을 알 수 있었다.



<그림 2> 0.315m/s² 가진폭에서 주파수 조건에 따른 α 파 평균 주파수(*p < 0.05)



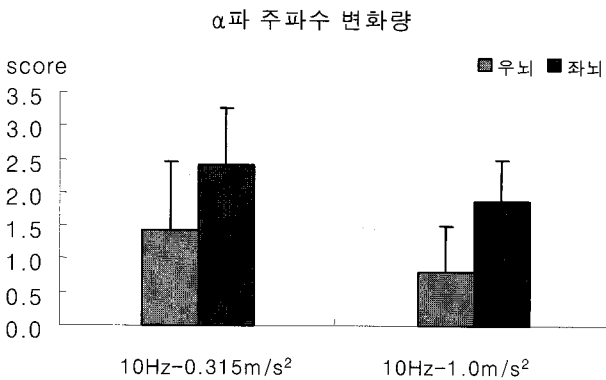
<그림 3> 10Hz 가진 주파수에서 가진폭 조건에 따른 α 파 평균 주파수(*p < 0.05)



<그림 4> 0.315m/s² 가진폭에서 주파수 조건에 따른 α 파 평균 주파수 변화

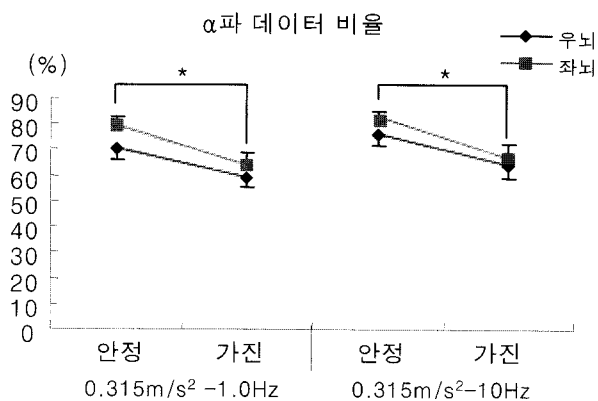
<그림 4>는 $0.315m/s^2-1.0Hz$ 와 $0.315m/s^2-10Hz$ 의 두 가진 조건에 있어서 α 파 평균 주파수 변화폭을 나타내며, 우뇌의 경우 가진폭 10Hz보다 1.0Hz 조건에서 고주파수로의 이동 폭이 크고, 좌뇌에서는 1.0Hz 보다 10Hz 조건에서 고주파수로의 이동 폭이 큰 경향을 나타내나, 통계적으로 유의한 차이는 나타나지 않았다.

<그림 5>의 $10Hz-0.315m/s^2$ 과 $10Hz-1.0m/s^2$ 의 두 가진 조건의 경우, α 파 평균 주파수 변화폭을 살펴보면, 가진폭 $1.0m/s^2$ 보다 $0.315m/s^2$ 에서 고주파수로의 이동 폭이 큰 경향을 볼 수 있다.



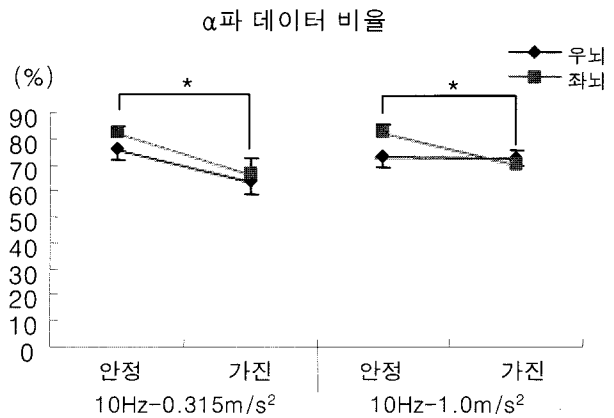
<그림 5> 10Hz 가진 주파수에서 가진폭 조건에 따른 α 파 평균 주파수 변화

<그림 6>과 <그림 7>은 각 가진 조건에서 출현되는 뇌파 중 α 파(8~13Hz)의 출현 비율을 나타내었다.



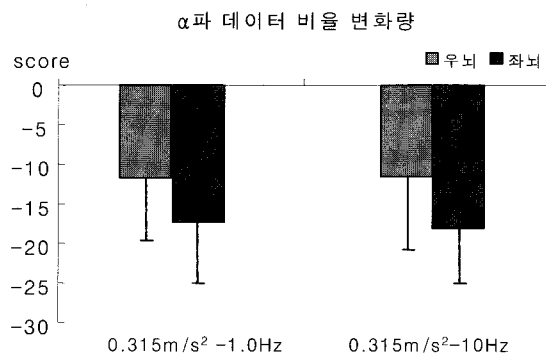
<그림 6> $0.315m/s^2$ 가진폭에서 주파수 조건에 따른 α 파 데이터 비율(* $p < 0.05$)

<그림 6>을 살펴보면, $0.315m/s^2-1.0Hz$ 와 $0.315m/s^2-10Hz$ 의 가진 조건에서 안정에 비해 가진 시 α 파의 출현량이 상대적으로 감소한 것을 확인할 수 있다. 또한 10Hz와 1.0Hz 가진 주파수에서는 좌 전두엽에서 통계적으로 유의한 차이가 나타났다($p < 0.05$).



<그림 7> 10Hz 가진 주파수에서 가진폭 조건에 따른 α 파 주파수 비율(* $p < 0.05$)

<그림 7>은 $10Hz-0.315m/s^2$ 과 $10Hz-1.0m/s^2$ 의 가진 조건에서 출현되는 뇌파 중 α 파(8~13Hz)의 출현 비율을 비교하였을 때, $1.0m/s^2$ 의 조건을 제외한 모든 가진 조건에서 안정에 비해 α 파의 출현량이 감소한 것을 확인하였다. 또한 두 가진 조건에서 좌뇌의 α 파 비율은 통계적으로 유의한 차이가 나타났다($p < 0.05$).

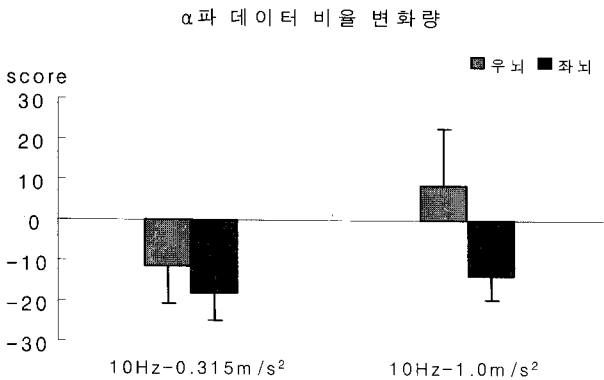


<그림 8> $0.315m/s^2$ 가진폭에서 주파수 조건에 따른 α 파 비율 변화

<그림 8>은 $0.315m/s^2-1.0Hz$ 와 $0.315m/s^2-10Hz$ 의 두 가진 조건에 있어서 안정상태에 대한 가진 상태에서의 α 파의 출현 비율 변화를 보여주고 있으며, 조건별로 보면 α 파 비율이 우 전두엽 보다 좌 전두엽에서 더 크게 감소하였고, 좌우 전두엽 α 파 비율은 1.0Hz와 10Hz에서 비슷하게 감소하는 것을 볼 수 있다.

<그림 9>는 $10Hz-0.315m/s^2$ 과 $10Hz-1.0m/s^2$ 의 두 가진 조건에서 안정상태와 가진 상태에서의 α 파의 출현 비율 변화를 살펴보았다. 그 결과, 좌 전두엽은 두 가진 조건 모두에서 α 파 주파수 비율이 감소하였고, 우 전두엽은 $0.315m/s^2$ 에서는 감소하였으나, $1.0m/s^2$ 의 조건에서는 α 파의 출현 비율이 증가하는 경향을 보였으나 통계적

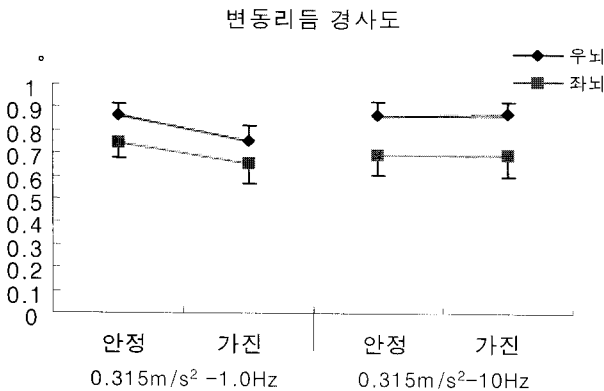
로 유의한 차이는 나타나지 않았다.



<그림 9> 10Hz 가진 주파수에서 가진폭 조건에 따른 α 파 비율 변화량

3.3.2 변동리듬 경사도

<그림 10>은 0.315m/s^2 -1.0Hz와 0.315m/s^2 -10Hz의 가진 조건에서 나타나는 좌우 전두엽의 변동리듬 경사도를 나타내는데, 가진 주파수 10Hz에 비해 1.0Hz 조건에서 우뇌와 좌뇌의 변동리듬 경사도는 안정과 비교하여 가진 상태에서 낮은 값을 나타내는 경향을 볼 수 있다.

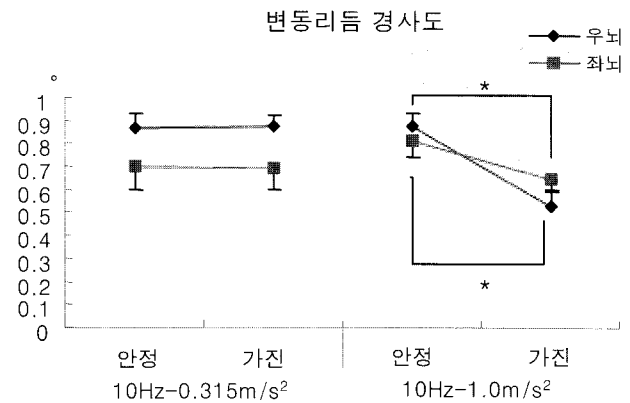


<그림 10> 0.315m/s^2 가진폭에서 주파수 조건에 따른 변동리듬경사도

여기서 좌전두부는 기분감을 관장하며, 변동리듬 경사도가 1에 가까울수록 쾌감이 증가함을 나타내고, 우전두부는 각성감을 대변하는데 변동리듬 경사도가 0에 가까울수록 각성감이 증가한다. 따라서 가진 주파수 10Hz의 조건에서는 가진 전후의 각성감과 기분감은 비슷하였으며, 1.0Hz의 조건에서는 안정에 비해 각성감은 증가하였으며, 기분은 불쾌 방향으로 이동하였음을 알 수 있다.

<그림 11>은 10Hz - 0.315m/s^2 과 10Hz - 1.0m/s^2 의 가진 조건에서 나타나는 좌우 전두엽의 변동리듬 경사도를

나타내며, 가진폭 0.315m/s^2 조건에서 우뇌와 좌뇌의 변동리듬 경사도는 안정에 대해 가진 시 거의 변화를 관찰할 수 없었다. 그리고 가진폭 1.0m/s^2 의 조건에서는 우뇌와 좌뇌의 변동리듬 경사도가 안정에 비해 낮은 값을 나타냈으며, 좌우뇌 모두 통계적으로 유의한 차이가 나타났다($p < 0.05$). 여기서 좌전두부는 기분감을 관장하며, 변동리듬 경사도가 1에 가까울수록 쾌감이 증가함을 나타내고, 우전두부는 각성감을 대변하는데 변동리듬 경사도가 0에 가까울수록 각성감이 증가한다.



<그림 11> 10Hz 가진 주파수에서 가진폭 조건에 따른 변동리듬경사도(* $p < 0.05$)

따라서 0.315m/s^2 의 가진 조건에서, 가진을 하기 전후에 각성감과 기분감은 비슷하였으며, 1.0m/s^2 의 가진 조건에서 안정에 비해 각성감은 증가하였으며, 기분은 불쾌방향으로 이동하였음을 알 수 있다.

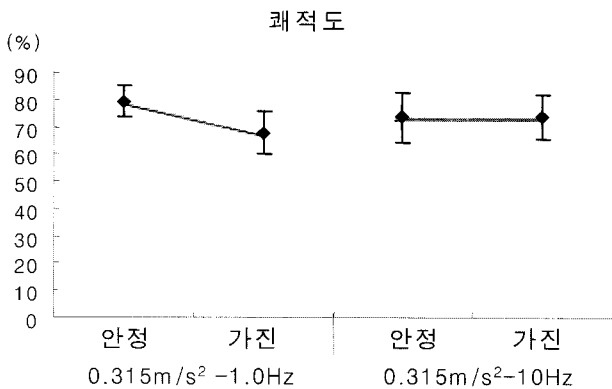
3.3.3 쾌적도

쾌적도는 좌우뇌 전두부의 변동리듬 계수로부터 산출되며, 산출식은 아래와 같다[11].

$$\text{쾌적도} = \left[\sqrt{\{(Fp1\ solpe) \times 2 + (Fp2\ solpe) \times 2\} / 2} \right] \times 100 \text{ (Unit : \%)} \quad (1)$$

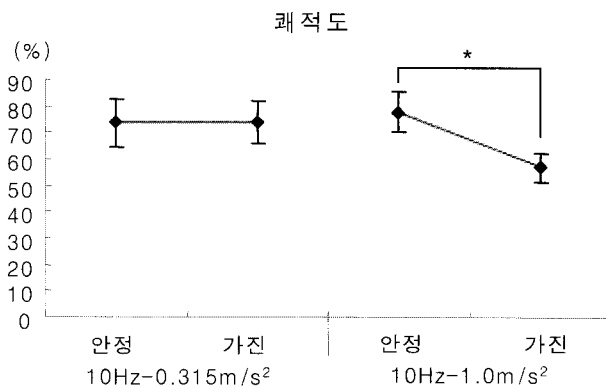
<그림 12>의 0.315m/s^2 -1.0Hz와 0.315m/s^2 -10Hz의 두 가진 조건을 비교하여 보면, 10Hz에 비해 1.0Hz 가진 조건에서 쾌적도는 더 낮아지는 것을 확인할 수 있다. 따라서 가진폭을 고정하고 가진 주파수를 다르게 하였을 때, 피험자는 대부분 상대적으로 낮은 주파수 조건에서 쾌적도가 떨어지는 경향을 보였다.

<그림 13>에서 10Hz - 0.315m/s^2 과 10Hz - 1.0m/s^2 의 두 가진 조건을 비교하면, 0.315m/s^2 에 비해 1.0m/s^2 가진 조건에서 쾌적도는 더 낮아졌다. 따라서 가진 주파수를 고정하고 가진 폭을 다르게 하였을 때, 피험자는 대부



<그림 12> 0.315m/s² 가진폭에서 주파수 조건에 따른 쾌적도 변화

분 상대적으로 가진 폭이 큰 조건에서 쾌적도가 떨어지는 것을 확인할 수 있으며 이것은 통계적으로 유의하였다(p<0.05).



<그림 13> 10Hz 가진 주파수에서 가진폭 조건에 따른 쾌적도 변화(*p < 0.05)

4. 고 찰

진동이 인체에 미치는 영향을 분석하는데 있어서 주요한 점은 진동변수, 인체변수, 환경적 변수 등에 따라 개인적 피로도가 증가하며, 신체적 이상 증상 등 다양한 형태로 표출 될 수 있는 점이다.

특히 진동특성변수는 진폭, 주파수, 지속시간, 진동형태, 진동축 등이 있으며, 진폭은 진동가속도, 속도, 변위의 크기로 기술되고, 단위는 소음과 동일한 dB로 나타내며, 진동은 주파수로 구분한다. 기준영역은 20Hz~20kHz 이고, 진동 축은 인체와의 관계에 의해 결정된다.

또한 주파수와 인체진동의 영향에 대한 관계를 살펴보면, 고주파 일수록 인체의 일부분위, 저주파일수록 인체전부가 진동에 노출되며, 특히 인체에 민감한 반응을

보이는 주파수대역은 1Hz이하의 저주파수대역이며, 멀미 등을 유발하는 주파수로 알려져 있으며, 특히 4~8Hz에서는 인간이 진동에 가장 민감한 반응을 보이며, 공진을 일으켜 인간의 뇌에 가장 많은 진동을 전달한다 [5]. 이처럼 진동이 야기 시킬 수 있는 불쾌감, 피로감, 인체 상해에 관한 연구는 1930년대부터 연구가 진행되어져왔고[6], 1966년 영국의 ISVR에서 지난 기간 동안에 연구한 100여개의 자료를 정리해 등 안락도 곡선(equivalent comfort curve)을 정의하였으며, 이 곡선은 인체의 주파수 영역에서의 민감도를 파악하기 위해 1~100Hz 범위의 정현신호를 이용해 인체가 최대로 견딜 수 있는 한계를 취하여 얻어지게 되며, 또한 불쾌감과 진동에 대한 인체의 인식 정도와 밀접한 관련이 있는 것으로 알려져 있다. 특히 수직방향으로는 4~8Hz 전후 , 측면방향으로는 0.5~2Hz의 진동이 인체에 가장 민감한 영역이라는 결과를 제시하였다[5].

5. 결 론

본 연구는 뇌파 변동리듬을 이용하여 중추신경계의 인체영향을 알아보고자 하였다[1, 3, 7-10].

아울러 본 연구에서는 진동이 인체에 미치는 영향을 평가하기 위해, 가진 가속도(g)와 가진 주파수(Hz)의 조건을 다르게 하여, 인간의 중추신경계 반응을 측정하여 분석하였다[1, 3, 7-10]. 그리고 진동 제시조건을 0.315m/s²-1.0Hz와 0.315m/s²-10Hz, 10Hz-0.315m/s²과 10Hz-1.0m/s²로 나누어, 좌우 전두엽(Fp1, Fp2)의 뇌파(EEG)를 측정하고 분석하였다.

각 가진 조건에서 뇌파 출현 주파수 대역 중 α파(8~13Hz)의 상대적 비율이 감소하였고, 0.315m/s²-1.0Hz와 0.315m/s²-10Hz, 10Hz-1.0m/s²의 가진 조건 모두 좌 전두엽 부위에서 통계적으로 유의한 결과가 나타났다(p<0.05).

그런데, 기존의 연구 결과에 의하면, α파는 안정을 취할 때 우세하게 나타나며 불쾌한 자극을 받을 때는 감소하는 것이 소음 등의 실험에서 나타나고 있다. 따라서 진동 환경은 인체에 생리적으로 불쾌한 자극을 미칠 수 있다는 사실을 확인했다.

변동리듬 경사도는 가진 조건이 안정에 비해 낮은 경향을 나타냈으며, 특히 0.315m/s²-10Hz의 가진 조건에 비해 0.315m/s²-1.0Hz의 가진 조건에서 변동리듬경사도는 안정에 비해 더 낮은 값을 나타냈으나 통계적으로 유의한 차이는 확인할 수 없었다. 여기서 기분감을 나타내는 좌 전두엽(Fp1)은 변동리듬 경사도가 낮아질수록 불쾌감을 나타냈으며, 각성감을 나타내는 우 전두엽(Fp2)은 변동리듬 경사도가 낮아질수록 각성감이 증가

하였다.

따라서 0.315m/s^2 -10Hz의 가진 조건에 보다 0.315m/s^2 -1.0Hz의 가진 조건에서 피 실험자는 각성감과 불쾌감이 증가하였으며, 그 결과 동일한 가진 폭에서 서로 다른 주파수로 가진 했을 때, 상대적으로 저주파수 대역에서 인체는 불쾌-각성감이 상승한다고 생각된다.

또한 가진 조건 10Hz- 0.315m/s^2 과 10Hz- 1.0m/s^2 을 비교해 보면, 10Hz- 1.0m/s^2 의 가진 조건에서 우 전두엽은 통계적으로 $p < 0.05$ 수준의 유의한 차이를 확인할 수 있었다. 그런데, 앞서 언급한 바와 마찬가지로 좌 전두엽(Fp1)은 변동리듬 경사도가 낮아질수록 불쾌감을 나타냈으며, 우 전두엽(Fp2)은 변동리듬 경사도가 낮아질수록 각성감이 증가하였다.

이러한 결과는 10Hz- 0.315m/s^2 의 가진 조건 보다 10Hz- 1.0m/s^2 의 가진 조건에서 피 실험자의 각성감과 불쾌감이 증가함을 의미한다. 그러므로 동일한 가진 주파수에서 서로 다른 가진 폭으로 가진 했을 때, 상대적으로 큰 가진폭에서 인체는 불쾌-각성감이 상승한다고 생각된다.

뇌파 변동리듬 경사도의 결과로 산출되는 쾌적도를 살펴보면, 각 가진 조건에서 쾌적도 감소량은 0.315m/s^2 -10Hz, 0.315m/s^2 -1.0Hz, 10Hz- 1.0m/s^2 의 순서로 증가하는 것을 볼 수 있다. 또한 10Hz- 1.0m/s^2 에서는 안정과 비교했을 때, 통계적으로 유의한 차이가 나타났다($p < 0.05$).

그리고 0.315m/s^2 -10Hz와 0.315m/s^2 -1.0Hz를 비교, 하면, 동일한 가진폭 진동 환경에서는 상대적으로 저주파수로 가진 했을 때, 쾌적도가 감소하는 것으로 나타났으며, 10Hz- 0.315m/s^2 과 10Hz- 1.0m/s^2 을 비교해 보면, 동일한 주파수 진동 환경에서는 상대적으로 큰 가진 폭에서 쾌적도가 감소하였다.

따라서 가진 주파수가 낮은 경우, 인체에 좋지 않은 영향을 미치는 것으로 판단되며, 가진 주파수가 높더라도 가진 폭에 의해 인체는 영향을 받는 것으로 생각된다.

본 연구 결과를 종합하여 볼 때, 1Hz 이하의 저주파수로 가진 했을 때, 같은 가속도의 10Hz 가진 보다는 쾌적도가 감소하였으나, 10Hz의 진동 가진 폭을 크게 했

을 때는 1Hz보다 더 크게 쾌적도가 감소하였다. 그러므로 인체에 미치는 진동의 영향은 가속도에 의존하는 경향을 볼 수 있고, 추후 10Hz이상의 주파수 대역에서 보다 여러 조건의 가진 폭으로 진동이 인체에 미치는 영향에 대한 추가 실험이 요구된다.

참고문헌

- [1] 신용순; “생리신호를 이용한 음의 감성 및 수면평가”, 공주대학교 : 9-17, 2005.
- [2] 양형식, 전양수, 이경운; “인체에 대한 진동의 허용기준 및 피해 산정에 관한연구”, 터널과 지하공간, 한국암반공학회, 7 : 310-322, 1997.
- [3] Goldberger, A. L.; “Fractal Electrodynamics of the Heartbeat,” Ann. NY Acad. Sci. : 402-409, 1990.
- [4] Griffin, M. J., Handbook of Human Vibration, Academic Press, 1991.
- [5] Griffin, M. J.; “The evaluation of vehicle vibration and seats,” *Applied ergonomics*, 9(1) : 15-21, 1978.
- [6] Jacklin, H. M.; “Human reaction to vibration,” *Society of automotive engineering*, 9(1) : 401-407, 1936.
- [7] Jhonson, J. B.; “The Schottkey Effect in Low Frequency Circuits,” *Phys. Rev.*, 26 : 71-85, 1925.
- [8] Kobayashi, M. and Musha, T.; “1/f fluctuation of Heartbeat Poeriod,” *IEEE trans, Biomed. Eng.*, BME-29, 6 : 456-457, 1982.
- [9] Saul, J. P., Albrecht, P., Berger, R. D., and Cohen, R. J.; “Analysis of Long-term Heart rate Variability: Method, 1/f Scaling and Implications,” *Computers in Cardiology* : 419-422, 1988.
- [10] Voss, R. F. and Clarke, J.; “1/f noise in Music and Speech,” *Nature*, 258 : 317-318, 1975.
- [11] Yoshida, T.; “An effect of odor on the psychophysiological condition and the evaluation of usefulness for application,” *Aroma Research*, 1(1) : 38-43, 2001.