

초음파가 뇌파에 미치는 영향

The effect of hypersonic wave sound for EEG

장석우*† · 박인길** · 김대겸** · 최 현***

Jang Seok Woo *† · Park In gil** · Kim Dae Kyeum** · Choi Hyun***

*광운대학교 산업심리학과

*Dep. of Industrial Psychology, Kwangwon University

**이노칩테크놀러지

*Innochip Technology

***국립재활원 재활연구소

*National Rehabilitation Center Research Institute

Abstract

High-frequency is sound produced in non-audible area, which couldn't be heard in daily life. The frequency range above 22Khz is called 'high-frequency' and its components are called 'HFC(High-Frequency Components)'. It is known that ocean wave sound is rich in HFC, because it brings serenity and causes α -waves in human mind. When this natural sound is combined with high-frequency, it seems to give a pleasurable feeling, indicated by an α -wave increase and a β -wave decrease. We call this phenomena "the hypersonic effects". In this experiment, subjects listened to the ocean wave sound simultaneously with corresponding frequencies similar to ocean wave frequency components created artificially in a electric circuit. Brain waves were measured by an EEG system with 8 channels using 8 electrodes on Fp1, Fp2, F3, F4, T3, T4, O1, and O2. The results showed that α -wave increase and β -wave decrease were statistically significant while subjects were listening to the ocean wave sound along with the high frequency components, reflecting the hypersonic effect.

Key words: hypersonic effect, ultrasound, wave sound. EEG, alpha wave, beta wave

요약

초음파는 비가청영역에서 나는 사운드이며 일상생활에서는 들을 수 없다. 초음파는 22kHz 이상의 주파수를 말하며 또한 이러한 성분을 초음파 성분 HFCs(High Frequency components)라고 한다. 파도소리는 사람에게 안정감과 알파파를 유도한다고 알려졌는데 이러한 이유는 파도소리에 초음파 성분이 매우 많다는 것이다. 이러한 초음파가 파도소리와 합쳐질 때 쾌감을 주고 알파파 증가와 베타파가 감소하는 초고주파효과(hypersonic effect)라고 한다. 본 실험에서는 파도소리를 들려주면서 동시에 파도소리에 해당되는 초음파부분을 전자회로로 설계하여 인

※ 이 연구는 보건복지부 공영기관생명윤리위원회(IRB)의 연구승인된 연구입니다.(PIRB12-028-01)

† 교신저자 : 장석우 (광운대학교 산업심리학과)

E-mail : mindtraining@naver.com

TEL : 010-7227-0191

FAX : 02-508-6769

위적으로 파도소리의 초음파 성분과 유사하도록 제작하여 실험하였다. 뇌파는 8채널을 사용하여 Fp1, Fp2, F3, F4, T3, T4, O1, O2 의 총 8개 전극을 부착하였다. 뇌파에서는 집중이나 긴장이완 등이 나타날 때 알파파가 나타나며 각성상태나 긴장상태 그리고 스트레스상태에서는 주로 베타파가 나타난다. 초음파 실험결과 연구대상자들의 알파파가 증가하고 베타파가 감소하는 현상이 통계적으로 유의미하게 나타났으며 초고주파현상이 반영되는 결과가 나타났다.

주제어: 초음파, 초음파성분, 극초음파 효과, 파도소리, 뇌파, 알파파, 베타파

1. 서론

초음파는 비가청영역에서 나는 사운드이며 일상생활에서는 들을 수 없다. 초음파는 22kHz 이상의 주파수를 말하며 또한 이러한 초음파 성분 HFCs(High Frequency components)라고 한다(Oohashi, et al. ,1991, 2002 ; Tsutomu et al. 2000, 2006). 초음파는 인공적인 것과 자연발생적인 초음파로 구분되는데 자연발생적인 것은 해안가의 파도소리 등이 대표적이다 인공적인 초음파는 주로 기계나 미용기구 및 통신장비에서 활용되어지고 있다. 초음파는 실제 주변에서 쉽게 접할 수 있으나 들리지 않기 때문에 의식을 하지 못하고 있다. 실제 이런 초음파들이 인체에 어떤 영향을 주는지 또한 뇌의 어떤 영향을 미치는 지 등에 관한 연구들이 국내에서는 거의 이루어지지 않았다. 이러한 연구들은 규명이 되거나 효과가 있다고 검증된다면 향후 다양한 응용제품개발과 의료기기 및 교육 분야에 활용될 수 있기 때문에 이러한 연구는 매우 필요하다. 초음파와 함께 파도소리를 통해 뇌에 어떠한 영향을 주는지에 대한 연구가 필요하다. 또한 최근 생체신호측정과 감성측정의 연구가 활발하게 진행되고 있으며 뇌파와 함께 생체신호측정의 요소로 심전도연구가 진행되고 있다. 따라서 본 연구에서는 초음파가 인체에 미치는 영향을 연구하기 위해 뇌파 분석을 진행하고자 하였다. 파도소리가 다른 자연의 소리에 비해 집중도와 긴장이완을 하는 데 가장 효과적인 것으로 알려져 있다. 이를 활용하여 파도소리를 녹음한 자연음악들이 심리치료나 재활치료 또는 학습에 활용하기도 하며 긴장이완을 유도하는 용도로 활용되고 있다. 일반적으로 미디어장치를 통해 듣는 파도소리는 가청주파수(22kHz 미만)의 범위에서 재생이 되며 대부분 디지털신호로 변환되어 파도소리의 고유의 특성

이 많이 왜곡되어 전달된다. 실제 음파 분석장비를 통해 파도소리의 주파수분석을 하게 되면 초음파 영역에서 파워레벨이 일부 유지되는 형태로 나타나게 된다. 해안가의 파도 소리에 대한 주파수 특성은 그림1과 같다. 그림 1에서 파도소리의 초음파 성분이 가청 주파수 이상인 22kHz 부터 약 60kHz까지 나타나고 있다. 22kHz 이내 가청 주파수 범위에서의 파도가 칠 때 그 때의 음압은 최고 80~100dB 정도의 음압으로 발생된다. 그러나 파도소리가 22kHz가 넘게 되면 인간의 청력 범위 밖이므로 들리지 않는 상태가 된다. 그러나 파도소리의 초음파 주파수는 22kHz부터 50kHz 때까지 0-60dB 이상으로 발생하는 것이 특징이다. 이는 파도소리의 특성을 나타내며 바위에 부딪히거나 파도가 치면서 생기는 초음파 성분이 22~50kHz 영역 대에 가장 많이 몰려 있음을 나타낸다.

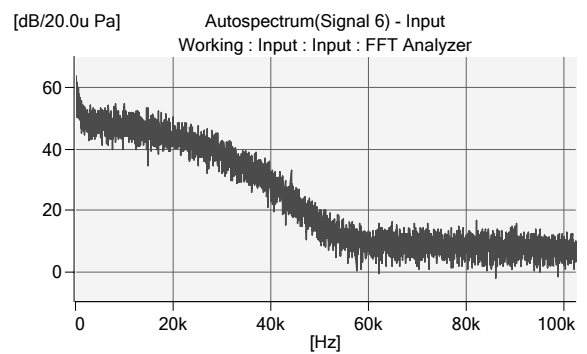


Figure 1. Frequency response of ocean wave

파도소리와 초음파에 관한 연구는 일본에서 주로 활발히 연구되어 왔다. 일본은 초음파를 과학적으로 접근하기 위해 뇌파나 PET 등 두뇌 생체정보를 주로 활용하였다. 뇌파는 뇌의 신경세포의 활동에 따라 대뇌표면에서 측정되는 전기적 변화를 말한다. 주파수에 따라 델타파(Delta 1-3 Hz), 세타파(Theta 4-7 Hz), 알파파

(Alpha 8-13 Hz), 베타파(Beta 14-30 Hz) 및 감마파(Gamma 30 Hz 이상)로 분류된다. 델타파는 깊은 수면 일 때 주로 발생된다. 세타파는 깊은 이완이나 수면일 때 주로 나타난다. 알파파는 이완 또는 집중할 때 나타난다. 알파파는 눈을 감고 이완된 각성상태나 머리가 맑을 때 나타나며 또한 집중에 관여한다(김용진 2000, 조선희 2001). 알파파는 수행향상과 관련이 있으며(Cowen, Allen, 2000), 기억과제 수행에서 알파파 증가 범위가 높은 것으로 나타났으며(Walter 1953, Johnston & Dark 1986), 뉴로피드백 훈련을 통해 알파파 증진훈련을 했을 때 주의집중력 향상과 기억에 영향을 주는 것으로 보고되었다(이영희, 2003). 베타파는 각성상태에 일반적으로 나타나는 뇌파며, 불안과 긴장과 관련이 있으며 청각, 촉각, 정서적 자극 등에 대한 반응으로 나타난다(장석우, 2012). 베타파는 피질각성과 관련되어 있다고 보고, 자극이 새롭고 신기한 것으로 지각되면 베타파가 나타나고, 자극이 습관화되거나 문제가 해결되면 베타파가 사라진다고 하였다(장창용, 2001). 감마파는 극도의 긴장과 불안과 관련 깊으나, 난이도가 높은 과제를 수행시 주로 나타나며 고도의 인지기능과 관련이 깊다(Debener et al, 2003). 이러한 뇌파의 특징을 통해 주로 집중력이 향상되고 불안과 긴장할 때 나타나는 베타파를 중심으로 초음파 연구가 진행되었다.

Hotta Kenji와 동료들(1998)은 파도소리의 자연발생 초음파를 활용하여 실험하였다. 특히 100kHz까지 수록 가능한 특수 제작된 슈퍼 오디오 CD를 통해 학생 11명을 대상으로 하였다. Hotta Kenji와 동료들(1998)은 연구대상자들에게 초음파가 들어가지 않은 파도소리를 처음에 듣게 하였다. 이 후 초음파 성분이 들어간 파도소리를 듣게 하여 두 자극에서의 뇌파변화를 분석하였다. 뇌파 분석은 눈을 감은 상태에서 실시하였고 7분간 파도소리를 듣는 상태에서 알파파와 베타파의 변화량을 측정하였다. 특히 주파수와 음압을 달리하여 25kHz, 35kHz, 45kHz의 주파수와 35dB, 45dB, 55dB의 음압을 조합하여 총 9개의 자극으로 만들어 측정하였다. 이 때 연구결과로 파도소리에 초음파 성분이 들어간 자극이 알파파를 유도하는 결과를 얻었다. 이때 45kHz와 35kHz에서 55dB의 음압을 자극으로 할 때 알파파가 증가되는 효과를 얻었다.

이러한 결과는 11명으로 매우 적은 수의 참가자를

대상으로 한 연구였으며 통계적 신뢰도를 확보할 수 있는 30명 정도의 참가자를 대상으로 한 것이 아니기 때문에 본 연구를 통해 최소 30명이상 참가자들을 통하여 통계적으로 검증하고자 한다.

비슷한 연구로 최종인의 동료((2000)가 파도소리 초음파 연구 총 26명(남13, 여13명)을 대상으로 진행 하였다. 특히 이들은 초음파를 들었을 때 12개의 전극을 사용하여 뇌파 측정하였다.

이 연구에서는 슈퍼오디오CD를 활용하여 긴장과 불안(tension&anxiety), 우울과 낙담(depression &

dejection), 분노와 적의(anger&hostility), 활기(vigor)와 피로(fatigue) 및 혼란(confusion)의 6가지 기분척도를 사용하여 감정변화에 대한 적량적인 평가를 실시하였다. 이러한 연구 결과 70%이상이 알파파가 증가하였으며 베타파를 감소시키는 결과가 나왔다. 감정프로 필검사(POMS)를 실시하여 65문항의 6개 감정지표로 나누어 남녀 반응을 연구하였다. 이 결과 남성들은 초음파를 들려주었을 때는 초음파를 들려주지 않았을 때 비해 분노와 적의(anger&hostility), 혼란(confusion)에서 유의미하게 감소하였다. 여성은 초음파를 들었을 때 긴장과 불안(tension&anxiety), 활기(vigor), 혼란(confusion)에서 유의미하게 감소하였다. 남자는 분노와 적의(anger&hostility), 여성은 긴장과 불안(tension & anxiety)에서 초음파가 가장 크게 차이가 나타난 것은 초음파 반응에 따른 남녀 간의 정서반응이 다르다는 결과도 함께 도출하였다.

또한 일본의 교토대 의대팀이 주축이 된 Tsutomu와 동료들(2000)이 실제 파도소리 사운드에 초음파 영역을 추가한 장치를 만들었고 이를 통해 실제 뇌에 어떠한 영향을 미치는 지 연구하였다. 28명의 일본인 지원자(19세에서 43세의남성 15명과 여성 13명)들이 EEG실험에 참가하였고 12명의 지원자(19세에서 34세의 남성 8명과 여성 4명)들이 PET실험에 참가하였으며 26명의 지원자(18세에서 31세의 남성 15명과 여성 11명)들은 실험에 참가하였다. 특히 초음파 발생을 위해 초음파기기를 자체 제작하여 활용하였다. 일반적인 오디오 시스템에서 재생한 파도소리는 이러한 초음파 연구에서 부적합하다. 당시 연구에 사용된 초음파 발생기기는 초음파 성분과 초음파가 포함되지 않은 성분을 단지 필터를 통해 구분하였다. 즉 일반 오

디오 시스템에서 초음파성분(HFCs)이 포함된 음향은 필터를 사용하지 않은 신호이고, 초음파성분(HFCs)이 없는 음향재생은 저주파 여과 필터를 통해 재생된 신호였다. 이와 같이 각기 다른 경로를 통해 재생된 가청주파수(22kHz이하)는 지연 등을 포함한 다른 전달 특성을 가지고 있으며, 또한 상호변조 왜곡은 가청주파수특성에 영향을 주었다.

이러한 초음파성분(HFCs)이 있는 음향과 초음파성분(HFCs)이 없는 음향이 신호의 왜곡으로 인해 정확한 초음파 성분이 포함될 가능성이 높게 되어 정확한 측정이 어렵게 되었다. 이러한 문제를 극복하기 위해서, Tsutomu 외 동료들(2000)은 가청주파수와 초음파성분(HFCs)을 동시에 혹은 따로 재생할 수 있는 이중 채널 음향 재생 시스템을 개발하였다. 이중채널음향 재생 시스템은 저주파 통과 필터와 고역 통과필터를 통해 초음파 성분과 가청주파수가 구분되어서 통과하도록 하였다. 통과된 신호는 증폭기로 증폭되며, 스피커에는 가청주파수를 재생하도록 하였고, 특별하게 제작된 스피커에서는 초음파성분(HFCs)을 재생하도록 하였다. 연구대상자들에게 파도소리 CD를 들려주었으며 이 때 측정을 하였다. 측정은 4가지 방법으로 구분하였는데 첫째로, 전체 주파수(초음파성분(HFCs)+가청주파수(22kHz 이하)를 측정하였고 둘째로, 가청주파수(22kHz 이하)만 측정하였고 세 번째, 초음파 성분(22kHz 이상)만 측정하였고 네 번째 주변음을 제외하고 아무런 자극을 주지 않은 무음을 측정하였다. 이러한 방법으로 초음파 자극을 포함한 파도소리와 초음파를 제외한 파도소리와 초음파와 무음을 무작위로 연구대상자에게 듣게 하였고 이때 EEG와 PET를 활용하여 뇌의 활동을 측정하였다. 뇌파는 국제 뇌파측정 규격인 10-20시스템에 의하여 두피의 Fp1, Fp2, Fp7, Fz, F8, C3, C4, T5, PZ, T6, O1, O2에서 기록되었고 PET 측정도 동시 진행하였다.

피험자들과 스피커의 거리는 약 1.5m 정도이며, 총 12명의 연구지원자를 대상으로 실험을 하였다. 6명은 가청 주파수를 청취하는 상태에서 측정하였고 또 다른 집단인 6명은 초음파가 포함된 상태에서 실험에 임했다. Tsutomu 외 동료들(2000)의 뇌파실험 결과는 초음파와 파도소리를 함께 들려준 것이 초음파 단독이나 파도소리만 들려준 것보다 후두부에서 알파파가 증가

되는 결과가 나타났다. PET 실험에서도 초음파와 파도소리가 함께 있는 구간에서 초음파 단독이나 파도소리 단독보다 좌측 시상 측면이 월등하게 rCBF(regional cerebral blood flow)가 활성화되고 증가되어 나타났다. 시상의 활동은 대뇌변연계 한 부분으로서 기능을 반영하며, 감정 조절에 중요한 역할을 한다. 또한 EEG와 PET를 동시 측정하여 실험도 진행하였는데 이때 역시 초음파와 파도소리가 동시 있는 구간이 초음파 단독이나 파도소리 단독보다 알파파가 증가하는 결과를 얻었다. 음질에 대한 평가도 초음파와 파도소리가 함께 있는 구간에서 다른 초음파나 파도소리 단독 구간보다 더 부드럽고 울려 퍼지며 귀에 편하다는 평가가 나왔다.

이러한 결과를 토대로 Tsutomu외 동료들(2000)은 순수하게 초음파나 파도소리보다 파도소리와 초음파가 합쳐진 구간이 훨씬 알파파를 증가시킨다고 주장했다. 또한 초음파와 파도소리가 합쳐진 구간이 연구지원자의 쾌감을 더 주는 것으로 나타났고 이러한 현상을 극초음파현상(hypersonic effect)이라 정의한 Oohashi(1991)의 주장을 지지하였다. 또한 당시 초음파에 대한 신체 악영향을 주지 않을까 하는 우려에 대해 실험결과를 토대로 초음파가 가청 주파수와 함께 있는 경우 신체에 나쁜 영향을 미치지 않는다고 결론 내렸다.

그러나 이러한 실험에도 초음파성분이 뇌에 영향을 미치는 생리학적 영향을 정확히 설명할 수는 없었다. Tsutomu외 동료들(2000)은 이러한 극초음파현상을 신경생리학적으로 설명하려는 학자들이 크게 두 개 부류로 구분된다고 하였다. 일부 학자들은 이러한 초고주파효과에 대한 신경생리학적 설명을 고막의 반음특성으로 인해 쾌감을 증가시키고 생생한 자극을 느끼게 때문이라고 설명하였다. 또 다른 학자들은 초음파성분이 공기진동으로 청각을 통해 뇌의 심층구조와 자율신경계에 영향을 미친다고 설명하였다. 후자를 지지하는 이론은 파도소리의 초음파 성분 외에도 심지어 인간 음성에서 나온 초음파의 진동 자극도 청각 피질을 활성화시킨다고 보고되었고, 정상적인 청각을 가진 사람과 청각능력을 상실한 사람도 성공적으로 초음파의 진동자극으로 음을 인식할 수 있었다는 보고를 통해 지지되었다. 그러나 현재까지 확실한 설명은 못하고 있다. 앞으로 뇌과학의 발달로 감정이나 지각, 인지 등 두뇌활동의 심층구조를 탐색하는 시도가

계속되고 있다.

이번 실험의 목적은 파도소리에서 발생하는 특정 초음파가 두뇌에 어떤 영향을 미치는지 알아보려고 하였고, 이를 통해 기존 연구된 방법과 달리 초음파기기를 별도로 제작하여 실험하였다. 기존 초음파기기는 파도소리의 초음파 부분을 필터로 구분하여 그 해당구간을 증폭시켜 스피커에서 전송하는 역할을 했다. 이번 실험은 40kHz의 초음파 주파수만 증폭시켜 별도 장치에서 직접 초음파 주파수만 발생시키고 기존 파도소리는 스피커에서 구현하도록 하여 기기로 제작하였다. 결론적으로 파도소리는 스피커에서 구현되며 초음파는 초음파기에서 따로 구현되어 기존 연구와는 달리 파도소리와 초음파를 별도 구현하여 들려주었을 때 뇌파에 미치는 영향에 대해 연구를 하였다.

2. 실험방법

2.1 초음파 발생기기 제작

기존 실험들이 초음파영역까지 음향효과를 가지는 특수 제작된 슈퍼오디오CD 플레이어기를 활용하여 실험하였거나 또한 20kHz 대에서 필터를 통해 초음파 영역과 가청영역부분을 구분하여 음향효과를 구현하는 기기들을 제작하였다. 기존 기기들이 특수 음향 기기로만 구성하였고 이를 통해 파도소리의 초음파 영역을 증폭하여 사용하였던 것이 공통적인 특징이다. 또한 특수 제작된 스피커를 통해 스테레오 효과를 극대화하거나 360도 전 방향으로 구현하여 음향 효과를 최대한 한 것이 두 번째 특징이다. 이러한 실험은 파도소리를 현장감 있게 들을 수 있게 할 수 있으나 장비에 지나치게 의존할 수 있고 파도소리 구현에만 초점이 맞추어 있어서 실제 초음파만의 효과를 알아보기에는 균형이 맞지 않을 수 있다. 이번 실험은 앞선 실험에서 알파파의 증가의 효과가 나타난 특정 주파수만 따로 구현하도록 하여 별도 기기로 제작하였고 초음파를 발생하는 초음파 발생부가 지향성을 가지도록 하여 양쪽 귀에 직접 전달 되도록 하였다. 이렇게 설계된 기기 실제 초음파 성분이 파도소리에 어떤 작용을 해서 인체에 어떤 효과가 발생하는지 알아보도록 하였다. 초음파 발생기기는 (주)이노칩테크놀로지

의 닥터슈벤 초음파 발생장치를 활용하였고 별도 전원공급장치를 사용하였다.

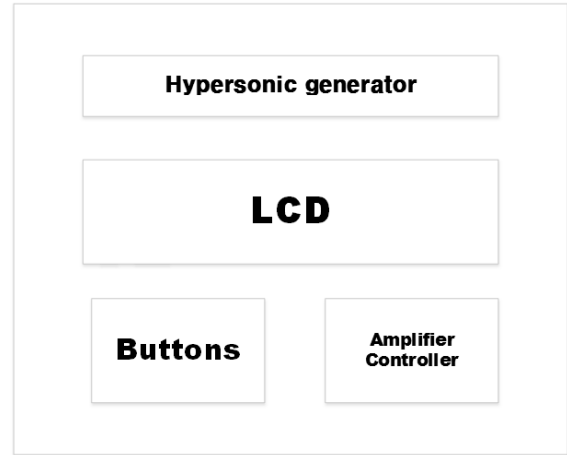


Figure 2.. Structure of hypersonic device

Sensitivity/Sound Pressure Level
Tested under 10Vrms @30cm

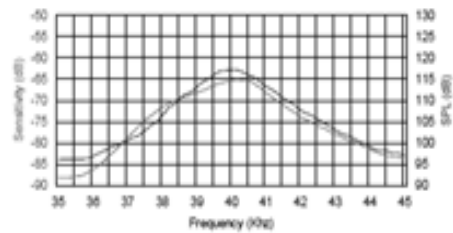


Figure 3. Frequency response of hypersonic device module

그림2는 초음파발생기에 대한 구성을 나타냈다. 크게는 전원부와 초음파 발생부와 초음파 증폭조절부로 구성되어 있다. 화면에 현재 얼마큼 출력되는지 알 수 있도록 제작되었으며 화면LCD로 구성되어 있는 초음파 발생장치이다. 5volt의 전원을 사용하였으며 최대 출력은 0.001 Watt(1mW)이하이다. 그림 3은 초음파 발생기기 모듈의 응답특성을 나타낸다. 그림 3에서는 중심주파수가 40kHz의 특성이 나타나고 있으며 조절가능하다. 그림 4는 이러한 기기에 대해 초음파 측정 장비를 활용하여 실제 측정한 결과이다. 이전 실험에서 Hotta Kenji의 동료(1998)는 35kHz, 45kHz에서 60dB 음압을 줄 때 알파파가 증진되고 베타파가 감소되는 유의미한 결과가 나왔다. 이번 실험에서는 1m 전방에서 35kHz와 45kHz에서는 60dB로 측정되며 40kHz 대역에서 85dB의 음압이 되도록 설계하였다. 가청 주파수대

로는 80dB가 지하철 소음정도 되지만 초음파이기 때문에 실제 사람의 귀에는 들리지는 않는다. 또한 실제 연구에는 초음파 주파수를 가변 할 수 있도록 제작하였으며 그림4와 같은 35kHz ~ 45kHz 범위의 응답특성이 유지할 수 있도록 하였다.

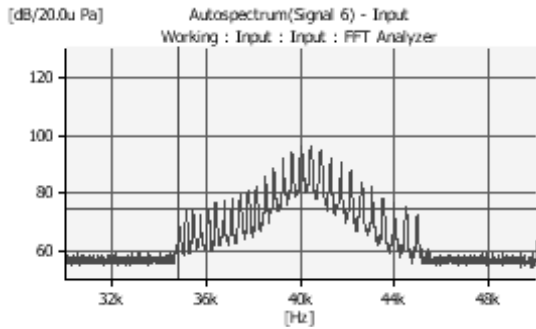


Figure 3. Frequency response of hypersonic device for this study

2.2. 자극 설계

파도소리의 초음파 부분에 대한 영향을 알고자 하였고 총 4개의 자극으로 구분하여 자극설계를 하였다. 첫째, 초음파와 파도소리 자연음이 함께 사용하는 것과 둘째, 순수 초음파만을 활용하는 것과 셋째, 파도소리 자연음만 활용하는 것과 넷째, 아무런 자극이 없는 무음만 활용한 4개의 자극으로 자극 설계를 하였다.

1) 자극1 : 복합음

파도소리 영역대의 초음파발생기와 파도소리 자연음을 동시에 들려주면서 실험참가자가 청취하도록 자극설계를 하였다.

2) 자극2 : 자연음

자연음은 파도소리를 녹음하여 실험참가자에게 들려주며 일반적인 디지털 플레이어기와 스피커를 통해 실험참가자가 청취하도록 자극을 설계하였다.

3) 자극3 : 초음파 자극

자연발생적 초음파 영역대를 인위적으로 싱글 톤으로 설계하여 45kHz 대의 주파수 위주로 발생하도록 설계하여 실제 파도소리의 초음파 성분과 비슷하도록 자극을 설계 하였다.

4) 자극4 : 무음

실험참가자에게 아무런 자극을 주지 않는 상태를 자극으로 하였다.

이러한 4가지 자극을 통해 초음파가 들어간 집단과 들어가지 않은 집단으로 구분하여 실험을 하였다.

2.3. 실험참가자

19세~59세 이하의 건강한 대한민국 성인 남녀를 대상 60명(남 28명, 여 32명)으로 하였고 시각, 청각에 장애가 없는 자이며 연구자의 지시내용을 이해하고 따를 수 있을 정도의 인지 능력이 있는 자를 대상으로 하였다. 또한 본 연구 실험 내용 설명을 이해한 후 본인에 의해 참여를 동의한 자를 대상으로 하였으며 고용기관생명윤리위원회(IRB)의 연구승인을 받고 실험을 진행하였다. 실험참가자들은 본 연구를 위해 두 집단으로 실험하였다. 초음파와 파도소리를 들려주고 초음파 단독을 들려주는 실험집단과 파도소리와 무음을 들려주는 통제집단으로 구분하여 실험하였다. 실험참가자는 무작위로 두 집단 중 하나에 속하게 되었고 실험을 진행하였다.

2.4. 실험 방법

실험은 뇌파기기를 활용하였다. 뇌파는 전산화 뇌파측정기인 QEEG-8(Laxtha, Inc, Korea)을 사용하여 측정하였고 10/20 국제전극배치법에 의해 Fp1, Fp2, F3, F4, T3, T4, O1, O2 의 총 8개 전극을 부착하였다. 눈은 폐안을 기준으로 측정하였고 몸 움직임을 통제하였다. 환경은 소음이 없는 조용한 방에서 한 사람씩 측정하였다.

Table 1. Method of Experiment
(EG -Experimental group, CG -Control group)

	Members	Stimulus	Before	After
EG	30	1. Hypersonic wave(5min) 2. Hypersonic wave+Ocean wave(5min)	EEG 8ch	
CG	30	1. Silence(5min) 2. Ocean wave(5min)		

표1은 실험군과 대조군의 실험방법을 나타낸 것이다. 30명씩 각 집단에 무작위로 배치되어 실험하였으

며 실험집단은 초음파가 포함된 파도소리와 초음파를 각 5분간 듣게 되며, 통제집단은 단지 파도소리와 무음일 때를 각 5분간 듣게 된다. 이때 뇌파 자극 제시 전과 제시될 때를 구분하여 뇌파 측정하도록 하였다.

3. 연구 결과

표2는 파도소리만 들려준 통제집단과 파도소리와 초음파를 동시에 들려준 실험집단간의 ANOVA 분석 결과이다. 뇌파의 8개 채널을 모두 분석하였다. Fp1과 Fp2에서는 알파파와 베타파의 상대파워가 두 집단 간 유의미하게 차이가 났다. 알파파 크기의 비교에서는 파도소리만 들려준 통제집단보다 초음파와 파도소리를 동시에 들려준 것에 비해 Fp1과 Fp2에서 알파파가 증가하였다. 또한 O1에서도 유의미하게 차이가 났다. 이는 Tsutomu(2000)의 실험결과 후두엽에서 유의미한 차이가 난 것과 유사한 결과이다.

Table 2. Alpha relative power; Ocean wave (1. Control group) vs Ocean wave + hypersonic wave(2. Experimental group)

ch	group	Average	SD	n	t	p
Fp1	1	30.752	5.976	30	-3.27	.002**
	2	35.265	4.625	30		
Fp2	1	31.482	7.843	30	-2.22	.030*
	2	34.483	5.133	30		
F3	1	38.514	6.582	30	-1.32	.191
	2	40.776	6.235	30		
F4	1	41.004	6.364	30	-1.30	.897
	2	41.219	6.961	30		
T3	1	34.095	7.179	30	.88	.379
	2	32.570	5.648	30		
T4	1	31.154	9.569	30	-.50	.618
	2	31.992	9.483	30		
O1	1	49.583	9.569	30	2.37	.021*
	2	43.752	9.483	30		
O2	1	49.410	10.35	30	1.60	1.606
	2	45.529	8.25	30		

이 때 Fp1과 Fp2의 유의확률은 .002와 .030으로 유의확률(.05)보다 낮으므로 두 집단 간의 유의미한 차이가 나타났다. 이는 정서와 판단을 담당하는 전전두엽에서 초음파와 파도소리 초음파에 대한 반응결과라고 할 수 있다. 그 외 다른 채널에는 알파파의 증가가

나타나지 않았다. 주로 전전두엽은 알파파가 증가하는 경향으로 나타났다. 후두엽은 알파파가 감소되는 특징이 나타났으며 주로 무엇인가 듣고 있을 때에 시각적으로 상상하는 경우 후두엽의 베타파가 활성화되는데, 이러한 원인으로 알파파가 상대적으로 감소했을 경향이 크다고 볼 수 있다.

표3의 베타파는 Fp1, Fp2에서 감소가 나타났으며 이때 유의확률은 각 .008과 .035로 유의확률(.05)보다 낮으므로 두 집단 간의 유의미한 차이가 나타났다. 베타파는 긴장과 각성을 나타내며 파도소리와 초음파를 동시에 들었을 때 베타파가 전전두엽에서 감소되는 결과가 나타났다. 또한 T3와 O2에서도 유의미한 차이가 나타났다. 이는 초음파를 추가하였을 때 새로운 자극으로 인지하여 좌측두엽의 베타파가 활성화된 것이며, 소리를 상상했을 때 시각피질이 있는 후두엽에서 베타파가 활성화되는 효과라 할 수 있다. 즉, 베타파는 전전두엽에서는 감소, 측두엽과 후두엽에서는 활성화되는 결과를 얻었다. 초음파 성분이 파도소리와 결합할 때 가청주파수를 넘어서지만 새로운 청각적인 자극으로 형성된다고 할 수 있다.

Table 3. Beta relative power; Ocean wave(1. Control group) vs Ocean wave + hypersonic wave(2. Experimental group)

ch	group	Average	SD	n	t	p
Fp1	1	20.411	4.924	30	2.748	.008**
	2	17.335	3.652	30		
Fp2	1	20.618	4.971	30	2.163	.035*
	2	17.459	5.703	30		
F3	1	20.619	4.482	30	-.218	.828
	2	20.894	5.256	30		
F4	1	19.503	3.192	30	-7.98	.428
	2	20.512	6.150	30		
T3	1	22.927	3.350	30	-2.228	.030*
	2	24.983	3.783	30		
T4	1	22.888	5.009	30	-.550	.584
	2	23.520	3.965	30		
O1	1	20.304	2.949	30	-1.346	.183
	2	22.522	8.525	30		
O2	1	16.901	5.307	30	-2.322	.024*
	2	21.500	9.458	30		

표4는 무음(1=통제집단)과 초음파(2=실험집단)의 알파파 상대파워를 비교한 표이며 두 집단 간의 차이는 전전두엽에서 나타났다. Fp1, Fp2에서 유의확률

.01과 .019로(<.05) 나타났으며 두 집단 간의 유의미한 차이가 있었다. 이는 무음보다 초음파에서 전전두엽의 알파파가 증가한 것으로 보인다.

표5는 무음(1=통제집단)과 초음파(2=실험집단)의 베타파 상대파워를 비교한 표이며 두 집단 간의 차이는 전전두엽에서 나타났다. Fp1, Fp2에서 유의확률 .01과 .019로(<.05) 나타났으며 두 집단 간의 유의미한 차이가 있었다. 베타파는 전전두엽에서 유의미한 감소가 나타났으며 전두엽 전반에 걸쳐 감소하는 경향이 나타났다. 또한 후두엽에서도 베타파가 유의미하게 증가되는 결과가 나타났다.

Table 4. Alpha relative power; Silence (1. Control group) vs Hypersonic wave(2. Experimental group)

ch	group	Average	SD	n	t	p
Fp1	1	32.082	6.802	30	-2.658	.010*
	2	36.071	4.613	30		
Fp2	1	32.385	6.248	30	-2.412	.019*
	2	36.110	5.704	30		
F3	1	40.339	5.254	30	.753	.942
	2	40.245	4.658	30		
F4	1	40.078	6.457	30	-.110	.913
	2	40.241	4.969	30		
T3	1	34.486	6.599	30	.673	.503
	2	33.440	5.382	30		
T4	1	33.475	8.415	30	1.131	.263
	2	31.156	7.439	30		
O1	1	46.513	8.473	30	1.597	.116
	2	43.171	7.721	30		
O2	1	46.641	9.232	30	.465	.644
	2	45.566	8.677	30		

Table 5. Beta relative power; Silence (1. Control group) vs Hypersonic wave(2. Experimental group)

ch	group	Average	SD	n	t	p
Fp1	1	20.889	5.101	30	3.26	.002**
	2	16.398	5.557	30		
Fp2	1	19.478	5.270	30	2.60	.012*
	2	15.844	5.527	30		
F3	1	21.046	3.014	30	1.611	.113
	2	19.729	3.316	30		
F4	1	20.227	4.537	30	.007	.994
	2	20.220	3.335	30		
T3	1	23.628	5.816	30	-1.1	.282
	2	25.021	3.938	30		

T4	1	23.683	6.065	30	-.20	.842
	2	23.947	3.886	30		
O1	1	18.151	3.748	30	58	.00**
	2	22.364	3.771	30		
O2	1	16.897	7.529	30	58	.034*
	2	20.477	5.016	30		

표5에서 무음과 초음파 비교 실험에서는 알파파에서는 전두엽의 변화만 나타났었고 후두엽까지는 영향을 미치지 않은 것으로 볼 수 있다. 이는 무음과 초음파가 알파파에서 전전두엽의 변화가 있었지만 소리가 들리지 않으므로 알파파에서 후두엽이 유의미하게 증가하지 않았고 베타파에서는 역시 소리가 들리지 않으므로 T3가 활성화 되지 않았으나 후두엽은 베타파가 유의미하게 증가하여 나타났다.

4. 결론 및 토의

본 실험에서 35kHz에서 45kHz 범위를 갖고, 중심주파수 40kHz가 되는 초음파기기를 사용하였다. 초음파를 사용한 실험집단과 초음파를 사용하지 않은 집단을 구분하여 실험하였고 실험대상자는 건강한 성인 20세부터 59세까지 총 60명(남28, 여32)이 참여하였다. 실험을 통해 전체적으로 유의미한 결과를 얻은 부분은 전전두엽부분이었다. 알파파는 증가하고 베타파는 감소하는 결과를 얻었다. 이는 초음파가 감정과 이성적인 판단을 하는 전전두엽에서 뇌파의 변화를 유도하는 것으로 나타났다. 전전두엽 외에도 부분적으로 유의미한 결과를 얻은 부분은 T3과 후두엽이다. 파도소리와 파도소리 초음파 비교에서 알파파 상대파워가 O1에서 유의미하게 나타났다. 이는 후두엽이 알파파가 차이가 나타나는 Tsutomu(2000)의 연구 결과와 일치한다. 휴식이나 안정을 취할 때 나타나는 알파파는 전두엽에서 주로 나타나며 파도소리 자극을 청취할 때 상상으로 파도소리를 연상하므로 시각기능의 후두엽의 베타파가 증가의 영향으로 후두엽의 알파파 감소에 영향을 주게 된 것으로 예상된다.

또한 파도소리와 파도소리 초음파의 베타파상대비교에서는 파도소리에 대해 초음파가 더 해졌을 때에 T3에서 유의미한 베타파 증가가 있는 것으로 나타났다. 이는 초음파와 파도소리가 결합될 때 새로운 자극으로

받아들여 T3의 베타파가 활성화가 된 것으로 볼 수 있다. 그러나 무음과 초음파 비교에서는 둘 다 실제 들리지 않으므로 T3의 베타파는 유의미한 차이가 나타나지 않았다. 후두엽의 베타파는 유의미한 차이가 나타난 것에 대해 실험의 특성상 파도소리에 대한 청각자극이 주어지므로 파도소리가 들리는 조건이든 파도소리가 없는 조건이든 파도소리에 대한 상상이 유발되어 후두엽의 베타파가 활성화 된다고 추론할 수 있다.

파도소리와 초음파가 결합했을 때만 전전두엽의 알파파가 증가하고 전전두엽의 베타파는 상대적으로 감소하는 결과는 초음파가 자연음과 함께 들려줄 때 더 높은 쾌감과 뇌파의 변화를 유도하는 현상과 일치한 결과이다. 예를 들면 파도소리를 낮은 음질로 들려주는 것과 입체 음향처럼 들려주는 것과 같이, 초음파 파도소리와 단순 파도소리와는 효과에서 차이가 나는 것으로 볼 수 있다. 즉, 파도소리에 초음파 성분이 포함될 때 쾌감이 증가하며 상쾌함을 주고, 긴장이 감소하고 이완된 효과가 나타난다고 할 수 있다.

파도소리에 초음파 성분을 동시에 들려줄 때 알파파가 증가하고 베타파가 감소하는 극초음파효과라 하며 Oohashi(1991, 2002), Tsutomu(2000, 2006) 등 여러 학자들이 계속 이러한 연구를 진행하고 있으나 이러한 현상에 대한 정확한 원인은 아직 규명되지 않고 있다. 극초음파효과를 공기 진동의 효과로 보는 학자들은 초음파가 공기 전달을 통해 진동의 형태로 청각 경로로 전달되며, 뇌의 심층구조를 포함하여, 자율신경계에 영향을 미친다고 주장하고 있다. 이러한 주장에 대해 여러 실험을 통해 지지되고 있으며 특히 인간 음성에서 나온 초음파의 진동 자극이 청각 피질을 활성화 시킨다고 보고되었다(Hosoi et al, 1998).

그 결과 파도소리와 초음파 자극이 시작될 때 청각 경로인 T3 부분이 활성화되고 전반적인 파도소리의 쾌감이 증폭되어 전전두엽이 이완되며 긴장이 완화되는 효과가 나타난 것으로 볼 수 있다. 또한 이러한 초음파의 전두엽 부분의 알파파 증진 효과가 발생하고 파도소리에 대한 상상으로 후두엽의 베타파가 활성화 되는 영향을 준다고 볼 수 있다.

이번 실험은 파도소리를 스피커로 구현한 기존 실험과는 달리 가장 알파파 증진에 효과가 있다는 초음파 성분의 30-50kHz 대역을 활용하여 중심주파수가

40kHz가 되도록 설계한 하드웨어를 활용하였고 파도소리와 믹싱 하여 최종적으로 연구대상자에게 들려주었다. 이러한 결과로 파도소리와 초음파가 결합했을 때 나타나는 극초음파현상을 확인할 수 있었다. 또한 뇌파를 8개 채널로 하여 전두엽과 측두엽과 후두엽을 동시에 관찰하여 두뇌 전반에 초음파가 어떻게 영향을 미치는 지에 대해 연구하였다. 이러한 연구는 기존 연구와 차이가 있으며 복잡하지 않고 고가의 스피커나 초음파 CD 플레이어기가 필요 없고 간단하면서 극초음파 효과를 가져다주는 기기개발이나 응용제품에 매우 유용하게 활용될 수 있는 연구로 의의가 있다. 또한 국내에서는 파도소리와 초음파를 대상으로 한 최초의 뇌파 연구라는 부분에서 의의가 크다.

단 초음파 성분은 공기 중에 급속히 파워레벨이 떨어지는 약점이 있다. 또한 거리가 점점 멀어질수록 수십 배에서 수백 배씩 파워가 약해진다. 효과를 보기 위해서는 되도록 가까이 두어야 하는 약점이 있으며 기존 Tsutomu(2000, 2006)의 연구결과 인체에 큰 영향을 미치지 않았다고 결론내리고 있으나 장기간 사용할 때 인체에 어떤 영향을 미치는 지는 아직 연구되지 않았다. 또한 다른 종류의 자연소리 중 폭포 소리, 물 흐르는 소리 등과 같은 자연 속에 발생하는 초음파 성분과 파도소리와 비교한 연구가 진행되지 않았다. 이러한 비교연구는 자연 속에서 발생되어지는 초음파 성분이 인체와 뇌파에 대한 연구로 이어질 수 있으며 이에 따른 후속연구가 진행될 수 있다. 또한 최근 심전도나 맥파 등 생체신호에 대한 연구가 활발하게 일어나고 있다. 따라서 맥파와 심전도에 초음파 성분이 어느 정도 영향을 미치는지에 대해 연구가 필요하다. 최종인(2000)과 Hotta Kenji (1998)는 남녀 차이를 연구하였으나 이후 연구에서는 남녀 차이연구가 진행되지 않았다. 이러한 초음파 반응에 따른 남녀 차이 연구도 지속적인 연구가 필요하다. 극초음파 현상을 통해 인간의 청각적인 쾌감지수를 높이고 집중력 향상이나 정서 안정의 효과를 유지하도록 다양한 연구가 활발하게 일어날 것이 예상된다. 또한 이러한 극초음파 현상을 활용하는 다양한 초음파기기가 개발될 것으로 보인다. 또한 향후 집중력 향상 제품들이나 스트레스해소 및 이완 등의 다양한 제품들에 극초음파 효과를 얻을 수 있도록 응용되어 출시 될 것으로 예상된다.

REFERENCE

- Choi Jong In, Hotta Kenji, Yamazaki Ken(2000). A fundamental study on the effects of the natural ultra-sonic waves stimulus acting to human, *J of Japan Architectures*, No.4035, 509-511.
- Cowan, J. & Allen, T. (2000). Using brainwave biofeedback to train the sequence of concentration and relaxation in athletic activities. Proceedings of 15th Association for the Advancement of *Applied Sport Psychology*, 95.
- Debener, S., Herrmann, C. S., Kranczioch, C., Gembris, D., & Engel, A. K. (2003). Top-down attentional processing enhances auditory evoked gamma band activity. *Neuroreport*, Vol 14(5), 683-686.
- Hosoi H, Imaizumi S, Sakaguchi T, Tonoike M, and Murata K. (1998). *Activation of the auditory cortex by ultrasound. Lancet* 351: 496 - 497
- Hotta Kenji, Yonezawa Naoki, Kamata Yasutaka.(1998). A study of physioiological effects caused by coasstal ultrasonic wave influences to human brain waves. *Journal of Architectural Institue of Janpan*, Vol3, No.10018, 315-316.
- Jang. C. W (2001). Effect of concentration training with brainwave biofeedback on tennis performance. (뇌파 조절을 통한 집중력 훈련이 테니스 경기 수행력에 미치는 영향), *Seoul National University Press*.
- Jang, S. W (2011). A study of personality type & evoked potentials. (성격유형과 유발전위) *Korean Journal of the science of Emotion & sensibility*, Vol.14. No.1, 137-146.
- Jo, S, H (2001) The analysis of electroencephalogram between brain respiration trained students and general students during learning activities. (학습활동시 뇌호흡 수련학생과 일반학생의 뇌파분석), *Seoul National University Press*.
- Johnston, W.A & Dark, V.J.(1986). Selective attention. *Annual Review of Psychology*, Vol 37: 43-75.
- Kim, Y. J (2000). Development of a brain-cycle learning model based on the electroencephalographic analysis of learning activities and its application to science learning.(학습 활동의 뇌파 분석에 기초한 두뇌순환 학습 모형의 개발과 과학학습에의 적용), *Seoul National University Press*.
- Lee, Y, H (2003). The effect of attention and memory on alpha wave - Relax training program in students with cerebral palsy. (알파파 유발 이완훈련이 뇌성마비 학생의 주의집중과 기억에 미치는 효과) *University of Daegu Press*.
- Oohashi, T., Nishina, E., Kawai, N., Fuwamoto, Y., Imai, H., (1991). High-frequency sound above the audible range affects brain electric activity and sound perception. Proceedings of 91st Audio Engineering Society convention. *Audio Engineering Society*, New York.
- Oohashi, T., Nishina, E., Honda, M., (2002). Multidisciplinary study on the hypersonic effect. In: Shibasaki, H., Fukuyama, H., Nagamine, T., Mima, T. (Eds.), *Inter-Areal Coupling of Human Brain Function. Elsevier Science*, Amsterdam, 27 - 42.
- Tsutomu, Oohashi, Emi Nishina et al. (2000). Inaudible High-Frequency Sounds Affect Brain Activity: Hypersonic Effect, *The American Physiological Society, J Neurophysiol* Vol 83: 3548 - 3558.
- Tsutomu Oohashi, Norie Kqwai, Emi Nishina et al. (2006). The role of biological system other than auditory air-conduction in the emergence of the hypersonic effect. *Brain Reserch*, 1073-1074, 2006, 339-347
- Walter, J. L. (1953). Alpha EEG correlates of performance on a music recognition test. *Physiological Psycholgy*, Vol 8, 417-420.

원고접수: 2013.05.14

수정접수: 2014.06.17

게재확정: 2014.06.30