*Journal of the Ergonomics Society of Korea*
Vol. 25, No. 4 pp.9-22, November 2006 

# 1/f 변동리듬 특성을 가지는 음이 쾌적감성에 미치는 영향

전 용 웅 · 조 암

동국대학교 산업시스템공학과

# Effect of 1/f Fluctuation Sound on Comfort Sensibility

Yong Woong Jeon, Am Cho

Department of Industrial System Engineering, Dongguk University, Seoul, 100-715

**ABSTRACT**

1/f fluctuation characteristics can be seen in various natural phenomena, such as breezes, streams, candle flames and the luminous patterns of fireflies. It is said that the 1/f fluctuation are comfortable for human beings. And they are introduced into many industrial products, such as an air conditioner, music, lighting, etc. This study focused on verifying the effects of 1/f fluctuation sound on comfort sensibility. Stimulus were divided into three groups(Group 1, 2, 3) by sound generation methodology. Fluctuation patterns of group 1, 2 were given by three types of fluctuation, $1/f^0$, $1/f^1$, $1/f^2$, and its of group 3 were given by two types of pure tone, $1/f^1$. In order to verify the effects, we measured the physiological responses of the subjects such as EEG(Electroencephalogram), ERP(Event-Related Potential), and these physiological responses were compared with subjective assessments, free answers. Consequently, we found that factor which had an effect on comfort sensibility was cognitive factor(for stimulus) rather than 1/f fluctuation sound pattern.

Keyword: 1/f fluctuation($1/f^0$, $1/f^1$, $1/f^2$), Physiological responses(EEG, ERP), Subjective assessments, Cognitive factors

## 1. 서 론

과학기술의 발달은 환경과 인간과의 상호관계를 인간이 환경에 순응하는 피동적 관계에서 환경을 인간에게 적합하도록 바꾸려는 능동적 관계로 변화시키는데 많은 기여를 하였다. 이런 관점에서 향후 더욱 가속화될 과학기술의 발달은 인간의 생활양식을 보다 인간 중심적으로 바꾸어 놓을 것이 예상된다. 이 경우 인간에게 알맞은 최적의 환경을 제공하기 위해서 환경으로부터 인간에게 전달되는 많은 자극을 최적화할 수 있는 공학적 시스템이 필요하게 되며, 이러한 시스템은 자극에 대한 정보를 인간이 어떻게 받아들이고 그에 대응하는 생리적 반응이나 행동양식의 결과를 정량화함으로써 가능할 것이다. 인간과 환경(외부자극)과의 상호관계를 다루는 연구들은 외부의 물리적 자극에 대한 생리, 심리적 변화를 측정, 분석하여 객관적으로 평가하는 방법을 개발하는 것뿐만 아니라, 이러한 인간에 조화로운 물리적 자극들을 제품이나 환경설계에 응용하여 보다 편리하고 안락하며, 더 나아가 인간의 삶을 쾌적하게 하는 것을 지향하고 있다.

'쾌적(快適)' 또는 '쾌적성(快適性)'이라는 말을 접할 수 있는 기회가 점차 많아졌고, '스트레스'와 밀접한 상관성이 있을 것으로 생각된다(Miyake, S., 1994). 이것은 사람들이 보다 쾌적한 삶이나 직장환경을 바라고 있으며 쾌적한 환경에 있

교신저자: 전용웅
주 소: 100-715 서울시 중구 필동 3가 26, 전화: 02-2260-3376, E-mail: ywjeon@dongguk.edu

으면 스트레스의 감소로 이어지기 때문일 것이다. 이러한 이유로 쾌적성에 관련된 연구가 각 분야에서 다양한 접근을 통하여 진행 중이다. 특히, 쾌적성에 대한 기존의 연구가 물리적 요소를 중심으로 진행되어진 반면(Mishikawa et al., 1997; ASHRAE, 1992), 인간과 환경을 하나의 시스템으로 보고 인간의 쾌적감성에 대한 기초연구를 중심으로 하는 연구들이 점차 진행되어지고 있다(Saito, 1993; Mishikawa et al., 1997; Kim and Cho, 1999; Jeon and Cho, 2001, 2005).

이중에서도 근래 수년간 쾌적감과 관계되는 중요한 요인으로서 1/f 변동리듬(1/f fluctuation, $1/f^{\alpha}$ fluctuation, or 1/f noise)이 주목을 받고 있다. 본 연구는 1/f 변동리듬과 인간의 쾌적감성과의 관계를 찾고자 하는 기초연구로서, 1/f 변동리듬 특성을 가지는 청각자극(음)을 자극 패턴별로 구성하여 쾌적감성과의 관계를 고찰하고자 한다. 이를 위하여 제시된 1/f 변동리듬 자극에 대한 주관적 · 생리적 평가를 통하여 1/f 변동리듬이 인간의 쾌적(감)성에 미치는 영향에 대하여 고찰해 보고, 쾌적감성에 영향을 미치는 1/f 변동리듬 관련 요소에 대하여 단계적으로 고찰해 보고자 한다. 구체적인 목적은 다음과 같다.

첫째, 1/f 변동리듬 패턴을 가지는 청각자극(음)을 대상으로 EEG(Electroencephalogram)분석 및 주관적 평가를 통하여 1/f 변동리듬 패턴(pattern) 음이 쾌적감성에 미치는 영향을 고찰한다.

둘째, 유발뇌파(Event Related Potential; ERP) 실험을 통하여 1/f 변동리듬 패턴과 인지적 요인(cognitive factors)이 쾌적감성에 미치는 영향을 평가한다.

이를 통하여 1/f 변동리듬 패턴이 인간의 감성 혹은 심리에 미치는 영향을 실험을 통하여 단계적으로 검증해 볼 수 있다. 나아가 청각자극 패턴 외에 기타 감각자극 패턴에 대한 확장을 통하여 인간의 쾌적감성에 영향을 끼치는 1/f 변동리듬 구성요소 도출하고 이들 간의 연관관계를 고찰함으로써, 1/f 변동리듬 패턴을 통한 쾌적성 연구에 기반연구로 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

## 2. 1/f 변동리듬과 쾌적성에 관한 기존연구

1/f 변동리듬(or $1/f^{\alpha}$ fluctuation)에서 변동리듬(fluctuation)이란 기준점으로부터 임의로 변화하는 것을 의미한다. 파워스펙트럼(power spectrum)의 특성은 그림 1과 같이 대수축 x축과 y축 상에서 명확하게 나타난다. 파워스펙트럼의 최소자승법(least square approximation)을 통하여 얻어진 회귀식을 y = kx + c라고 하면, 회귀식의 기울기 k는 변동리듬 값(value of fluctuation)으로 정의된다(Y.Ishikawa and H.A Zhao, 2002). 변동리듬 값을 이용하여 신호의 특징을 파악할 수 있다. k값이 작아질수록 신호의 상관관계(correlation)가 높아짐을 의미하고, 여기에는 신호에 관련된 패턴이 발견된다. 반대로 k값이 0에 가까워질수록 신호의 상관관계는 낮아지고 패턴은 랜덤(random)해진다. 이러한 분석과정을 변동리듬 분석(analysis of fluctuation)으로 말하고 전체 신호, 혹은 부분 신호사이에 상관관계를 명확하게 알 수 있다(Anders, K. et al., 1996). 이미 선풍기, 에어컨, 조명, 탁자 등의 제품이나 치료음악, 효과음 등의 소리형태 등으로 1/f 변동리듬이 활용되고 있다(Hyejun Park et al., 2005; Katsuhiro MAEKAWA et al., 2003; Y.Ishikawa and H.A Zhao, 2002; Jin-Hun Sohn, 1998; Shinji MIYAKE and Masaharu KUMASHIRO, 1991).

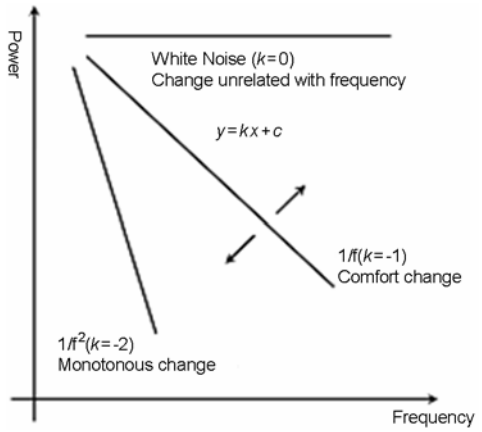



**그림 1.** 변동리듬 값(Value of fluctuation)

인간의 쾌적(감)성과 관계된 가장 친근한 변동리듬 현상은 음악이다. 변동리듬과 쾌적성이 관계를 짓는 계기의 하나가 된 것은 Voss 등에 의한 음악에서 볼 수 있는 1/f 변동리듬의 발견이었다(Voss and Clarke, 1975). 또한, 음악의 이완효과, 스트레스 해소효과 등은 예전부터 알려져 있고, 음악요법으로 신경증 등의 치료에 상용되고 있으며, 1/f 변동리듬 특성을 지니는 음악청취 시, 생체영향에 대해서 연구가 보고되고 있다(Jin-Hun Sohn et al., 1998; Hyejun Park et al., 2005). 1/f 변동리듬 특성을 음에 활용한 기존의 연구를 살펴보면, 스트레스 상태를 야기한 뒤 정서 유발 청각자극인 1/f 음악, 백색소음(white noise)를 들려주거나 아무 소리도 들려주지 않는 각 조건에서 뇌파의 상대적 출현량(relative power) 및 호흡률, 심박률, 피부전도수준의 생리반응의 변화 분석을 통하여 1/f 음악의 효과를 검증하거나(Jin-Hun Sohn et al., 1998), 1/f 변동리듬을 갖는 수면음을 제작하여 다면수면검사를 통한 수면효율, 입면 지연시간

등을 산출한 연구도 있다(Hyejun Park et al., 2005).

인간의 쾌적성과 1/f 변동리듬 간의 관계를 파악하려는 연구들은 1/f 변동리듬이 부여되거나 분석되는 대상에 따라서 크게 두 가지 연구 방향으로 구분해 볼 수 있다. 첫 번째는 인간에게 주어지는 자극의 특성이 1/f 변동리듬 특성을 가지고 있을 때, 이러한 1/f 변동리듬이 인간의 쾌적성, 혹은 감성에 미치는 영향을 분석하는 경우이다. 이들 연구는 인간에게 정서적으로 쾌적감을 주는 자극들을 조사하고 이들 자극의 형태의 1/f 변동리듬 특성 여부를 분석하는 연구(Voss, R. and Clarke, J., 1975)와 1/f 변동리듬 특성을 지닌 자극은 인간의 쾌적감성을 유발할 것이라는 가정에 따라, 제품이나 자극 개발에 있어서 어떠한 방법으로 1/f 변동리듬 특성을 제품이나 자극에 부여할 것인지에 관한 연구(Katsuhiro et al., 2003; Y.Ishikawa and H.A Zhao, 2002; Shinji MIYAKE and Masaharu KUMASHIRO, 1991; Jin-Hun Sohn et al., 1998; Hyejun Park et al., 2005)로 세분해 볼 수 있다. 두 번째는, 쾌적감성을 평가하는 지표로서 생리신호의 1/f 변동리듬의 특성을 활용하는 것이다. 구체적으로, 인간에게 자극이 주어진 경우, 이 자극에 의해서 유발되는 뇌파 및 심전도의 파형 특성의 1/f 변동리듬(or 1/f scaling) 특성 여부 및 근접도를 가지고 정서상태를 추측해 보는 연구이다(Seung-Hyun Jin et al., 2005; T. Yoshida, 1998a; T. Yoshida, 1998b, 2000; K. Kobyashi, 1983). 이 중에서도 신호(혹은 자극)가 1/f 변동리듬의 특성을 가지면 인간에게 쾌적감, 안정감을 주는 것으로 알려져 왔다. 학계에서는 1/f 변동리듬을 응용한 사례들이 발표되고 있고, 변동리듬과 쾌적감 사이의 관계에 있어서 흥미로운 점들이 발견되고 있으나, 효과가 명확히 규명되고 있지는 못하다(Katsuhiro et al., 2003.; Y.Ishikawa and H.A Zhao, 2002; Shinji MIYAKE and Masaharu KUMASHIRO, 1991).

1/f 변동리듬이 쾌적한 환경을 유발할 수 있는지에 대해서는 불명확한 점이 많다. 그럼에도 불구하고 이미 선풍기나 에어컨 등의 가전제품의 형태로도 1/f 변동리듬이 응용되고 있다. 1/f 변동리듬 패턴(pattern)을 설계를 통하여 상품 속에서 재생시킨다는 발상은 1/f 변동리듬이 쾌적함을 유발시키기 위한 필요 · 충분조건이라는 확증이 없고, 그 필요조건조차 확실치 않은 상태에서 제품에 반영하였다는 점에서 문제점으로 지적될 수 있다. 또한, 1/f 변동리듬과 관련된 기존의 연구들이 물리적 현상과 특성에 대하여 1/f 변동리듬 패턴(or scale)을 찾거나 구체적 검증이 필요한 1/f 변동리듬 패턴에 대한 활용 안들을 일방적으로 도출하고 있다. 주로 많이 활용되고 있는 음, 혹은 음악형태의 경우, 1/f 변동리듬 음악 정의 자체가 모호하고, 1/f 변동리듬 음악 안에서도 변동리듬 그 패턴은 무수하다. 또한, 어떠한 형태로 변동리듬을 사용하는가에 따라서도 정서 생리신호에 미치는 영향이 다르며, 변동리듬 자극에 의하여 유발되는 쾌적감 또한 다르다. 실제로 1/f 변동리듬에 의하여 역으로 불쾌감이 유발될 때도 있으며, "1/f 변동리듬=쾌적"이라는 단순한 도식은 성립하지 않는다. 1/f 변동리듬 패턴을 통한 설계가 쾌적감 유발을 위한 필요 · 충분조건이라는 확증이 없고, 천둥, 지진도 1/f 변동리듬 특성을 가진다는 사실을 편리하게 간과하고 있는 듯하다(Machlup, S., 1981). 하지만, 1/f 변동리듬이 쾌적성을 만들어 낼 가능성을 부인 할 수 없으며, 쾌적성의 연구에 있어서의 1/f 변동리듬 연구는 큰 비중을 차지하게 될 것이다. 변동리듬을 보다 실질적으로 응용하기 위한 공학적 접근을 위해서는 변동리듬 패턴을 요소별로 세분화하고, 각 요소에 따른 효과를 가시적으로 검증하여 인간의 쾌적감에 작용하게 되는 변동리듬 요소를 구체적이고 단계별로 확인하는 일과 이에 대한 감성 메커니즘을 규명하는 일은 중요한 일이 될 것이다.

## 3. 연구방법

### 3.1 실험자극

본 실험에서 사용한 청각자극은 음의 높이와 음의 지속시간에 대하여 변동리듬 특성을 부여하여 만들어진 8가지 청각자극으로 이를 생성방법에 따라 구분하면 크게 3개의 그룹(Group)으로 나뉘게 된다. 표 1은 실험에 사용된 청각자극 및 자극 생성방법, 만들어진 자극의 패턴을 나타낸다. 사운드 분석을 위하여 사용된 소프트웨어는 Cool Edit Pro 2.1, Praat 4200이다.

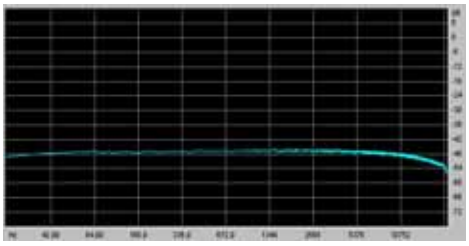
**표 1.** 그룹 별 실험자극 생성방법 및 자극 패턴

| Group | Methods | Stimulus pattern |
|---|---|---|
| 1 | 복합음의 주파수에 대하여 음향 분석 장비를 이용하여 filtering | $1/f^0$ 변동리듬<br>$1/f^1$ 변동리듬<br>$1/f^2$ 변동리듬 |
| 2 | 음의 지속시간 및 음의 높이에 변동리듬 특성 부여하여 작곡 | $1/f^0$ 변동리듬<br>$1/f^1$ 변동리듬<br>$1/f^2$ 변동리듬 |
| 3 | 순음(pure tone)에 1/f 변동리듬 특성을 부여 | 순음(Pure tone)<br>$1/f^1$ 변동리듬 |

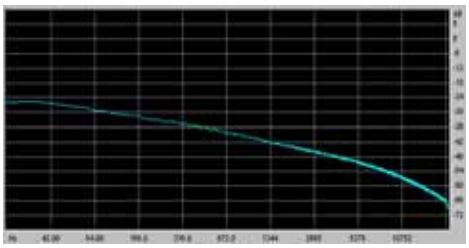
그룹 1은 음향 분석 장비 및 소프트웨어를 사용하여 음의 주파수(frequency) 영역을 필터링(filtering)하여 자극 패턴들을 생성하였다. 일반적으로 1/f 변동리듬 음을 생성하는 방법으로 모든 소리에 1/f 필터(filter)를 사용하게 되면 비교적 간단히 작성된다. 원리적으로는 −3dB/oct의 감쇠특성

(주파수 특성)을 가진 필터에 소리를 통과시키면 1/f 변동리듬 음이 되기 때문에 이와 같은 주파수 특성을 가진 필터를 사용하면 된다(Miyake, S., 1994). 사용된 장비는 Hewlett Packard사의 Dynamic signal analyzer 35665A를 사용하였고, 스펙트럼(spectrum)은 Cool Edit Pro 2.1 소프트웨어를 사용하여 분석(32 bit mode)되었다.

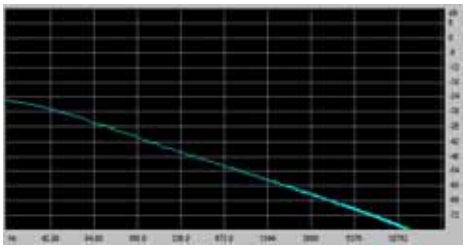
그림 2는 그룹 1에서 생성된 자극들의 파워스펙트럼을 나타낸다.



(a) $1/f^0$ 변동리듬(white noise)



(b) $1/f^1$ 변동리듬(pink noise)



c) $1/f^2$ 변동리듬(brown noise)

**그림 2.** 생성된 자극의 파워 스펙트럼(그룹 1)

그룹 2는 음의 지속시간 및 음의 높이(주파수)특성에 난수를 이용하여 변동리듬 특성을 부여함으로써 만들어진 일종의 음악이다(그림 3). 이미 Voss 등에 의하여 제안된 방식으로 난수를 발생시켜 음표의 종류, 즉, 음의 지속시간을 고르고, 또한 그 오선지 상의 위치 즉, 음높이(변화된 주파수)를 다른 난수로 골라내어 작성하게 된다. 사용하는 난수의 패턴에 따라 $1/f^0$ 변동리듬, $1/f^1$ 변동리듬, $1/f^2$ 변동리듬 음악이 만들어진다. 이 자극들에 대한 1/f 변동리듬에서 f는 음악의 파형(waveform)의 주파수를 나타내지 않고, 변화의 주파수를 나타낸다. 즉, 저주파수(low-frequency)란 음 높이의 변화가 단 3도(minor 3rd)처럼 작다는 것을 말하고 고주파수(high-frequency)란 음높이의 변화가 많은, 즉 날카로운 고주파 과도성분을 가지는 파형에 비길 수 있다(Roads, C., 1996; Voss, R., 1977).

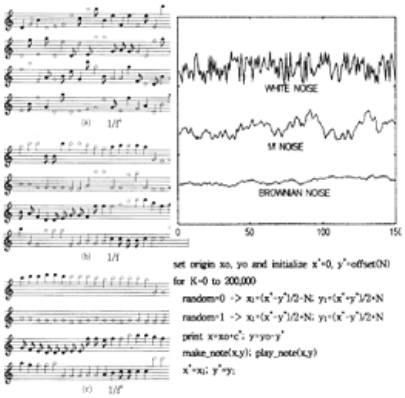



**그림 3.** 난수를 이용한 1/f 변동리듬 작곡의 예(그룹 2)

그룹 3은 1개의 주파수를 가지는 순음(pure tone)에 1/f 변동리듬 특성을 부여하여 작성된 1/f 변동리듬 음을 사용하였다. 그림 4는 그룹 3의 자극을 생성하기 위한 절차 및 생성 전(上)·후(下) 자극의 스펙트로그램(spectrogram)을 나타낸 것이다.

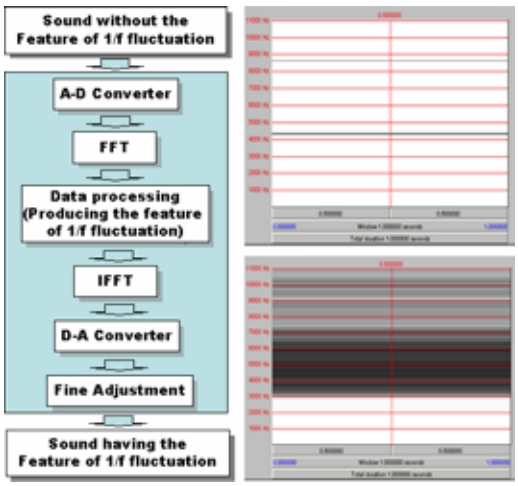



**그림 4.** 순음(Pure tone)에 1/f 변동리듬 특성을 부여하는 절차 및 생성 전(上)·후(下) 자극의 스펙트로그램(spectrogram)(그룹 3)

## 3.2 실험과정 및 방법

그림 5는 본 연구에서 사용된 시스템의 구성도이다. EEG

반응과 함께 자율신경계 반응을 측정하기 위하여 ECG, GSR의 실험을 동시에 실시하였으나, 본 논문에서는 EEG 분석 내용만을 중심으로 보고하기로 한다.

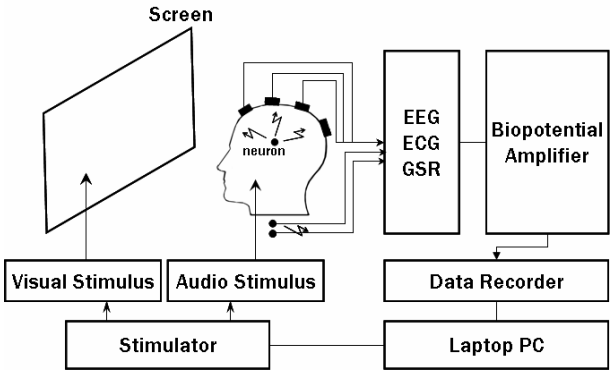



**그림 5.** 시스템 구성도

### 3.2.1 실험 1: 1/f 변동리듬 음에 대한 감성평가

실험 1은 1/f 변동리듬 특성을 가지는 청각자극들이 인간의 쾌적감성에 어떠한 영향을 미치는지에 대한 실험적 검증을 위한 실험이다. 기존 연구들에서 사용된 자극들뿐만 아니라 다른 형태의 1/f 변동리듬 특성을 지니는 자극들에 대해서도 쾌적감성이 유도되는지에 대한 평가실험이라 할 수 있다.

피험자의 조건은 신체질환, 특히 뇌질환이나 심장질환을 경험해 본 일이 없고, 약물복용을 하지 않았으며, 색맹, 색약의 시각 기능장애 및 난청 등의 청각장애가 없는 20대 7명(남 4, 여 3)의 대학생들을 대상으로 하였다. 실험당일에는 흡연, 카페인 섭취, 알코올 복용을 하지 않도록 하였다. 표 2는 실험전극 및 전극 부위를 나타낸다.

**표 2.** 실험전극 및 전극부위

| 전극 | 부위 |
|---|---|
| electroencephalogram(EEG) | Fz, Cz, Pz, Oz |
| electrocardiogram(ECG) | LA, RA, RF(lead I) |
| galvanic skin resistant(GSR) | 왼손의 검지 및 중지 |

뇌파는 디지털 뇌파측정장치인 QEEG-4(모델명: LXE-3208, LAXTHA Inc.)장비를 이용하였다. 피험자의 뇌파는 256Hz 샘플링 주파수, 0.5~50Hz의 영역통과 필터(band-pass filter), 12-bit AD변환에 의해 컴퓨터로 저장되었다. 머리표면 총 4부위에서 단극유도(mono-polar)방식으로 뇌파를 측정하였으며, 10/20-국제전극배치법에 의해 차례로 Fz, Cz, Pz, Oz 위치에 측정전극을 부착하였다(그림 6). 기준전극은 A1, 접지전극은 뒷목에 부착하였다. 사용된 전극은 금으로 도포된 접시형태의 디스크전극이며, 피부와의 접촉저항을 최소화하기 위해 먼저 알코올 솜을 이용하여 머리표면의 이물질을 닦아낸 후, 접시전극에 뇌파전용 전극풀을 사용하여 부착하였다. 또한 부착된 접시전극위에 거즈를 덮어줌으로써 전극풀이 빨리 굳지 않고, 머리표면에 잘 고정되어 있도록 하였다.

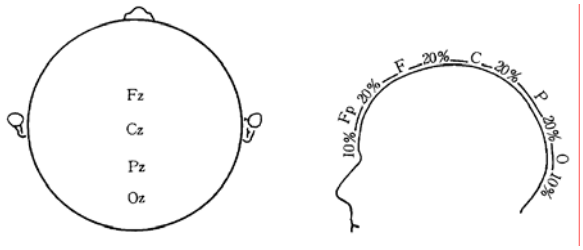



**그림 6.** 10/20-국제전극배치법에 의한 전극배치

그림 7은 실험절차를 나타내고, EEG, ECG, GSR의 생리적 실험이 끝나는 시점에서 각 자극에 대한 주관적 평가 및 자유연상기록(Free Answer)을 남기도록 하였다.

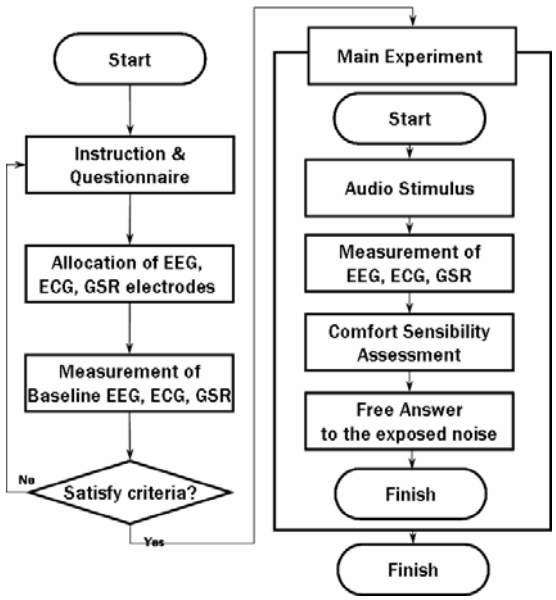



**그림 7.** 실험절차(실험 1)

여기에서 주관적 평가는 기존의 연구(Jeon and Cho, 2005)에서 제안된 Fuzzy-weighted score를 이용한 쾌적감성평가(Comfort Sensibility Assessment)모형 및 프로그램을 사용하여 평가하였다. 그림 8은 제안된 쾌적감성평가 절차이다. Jeon and Cho(2005)에 의해서 제안된 쾌적감성

평가모형에서 쾌−불쾌 차원, 각성−이완 차원에 대한 피험자의 통합감성을 정량화하기 위한 방법으로 각 평가항목에 대한 가중치와 그 감성평가에서 획득된 감성언어점수를 곱하여 각 차원(쾌−불쾌, 각성−이완 차원)에 대하여 전체 감성언어로 합한 값으로 식(2)와 같이 점수화 할 수 있다.

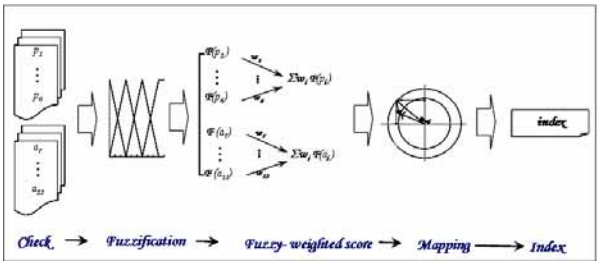



**그림 8.** 쾌적감성평가 절차(Jeon and Cho, 2005)

$$S\tilde{p}_i = \sum_{i=1}^{6} w_i F(p_i), \quad S\tilde{p}_j = \sum_{i=7}^{12} w_i F(a_i) \qquad (1)$$

*Where,* $i = i$ 번째 감성평가항목($i$ = 1…12)

$F(p_i) = i$ 번째 감성평가에 대한 감성퍼지수
(쾌−불쾌차원, $i$ = 1…6)

$F(a_i) = i$ 번째 감성평가에 대한 감성퍼지수
(각성−이완차원, $i$ = 7…12)

$w_i$ = 감성평가항목 $i$에 대한 정규가중치

$S\tilde{p}_i$ = 쾌−불쾌 차원에 대한 통합감성퍼지수

$S\tilde{a}_i$ = 각성−이완 차원에 대한 통합감성퍼지수

이때 삼각퍼지함수의 소속함수를 결정짓는 세 개의 점은 식(2)에 의해 구한다.

$$a = \sum_i w_i a_i \ , \ b = \sum_i w_i b_i \ , \ c = \sum_i w_i c_i \qquad (2)$$

*Where,* $w_i$ = 감성평가항목 $i$에 대한 정규가중치

$[a_i, b_i, c_i]$ = 대상에 대한 감성평가항목 $i$ 평점의 소속함수

### 3.2.2 실험 2: 1/f 변동리듬에 대한 정보인지형태가 쾌적감성에 미치는 영향

실험 2는 청각자극에서 제공되는 단서에 의하여 인지된 정보가 인간의 쾌적감성에 미치는 영향에 관한 실험이다. 이는 실험 1을 마친 후 분석된 결과를 토대로 인지적 요인이 쾌적감성에 보다 큰 영향을 미치는지에 대한 실험적 검증이다. 즉, 단서에 의해서 제공되는 정보인지형태가 1/f 변동리듬 요인보다 쾌적감성에 많은 영향을 끼칠 것이라는 가설을 검증하기 위한 실험이다. 실험 1의 EEG 분석 결과, 자극 패턴별 유의차가 나타나지 않았지만, 주관적 평가 및 자유연상 기록 결과에서 인지형태에 따라 상대 alpha 파의 증가량이 유의적으로 차이가 났던 그룹 1의 자극 패턴들을 유발뇌파(ERP) 측정의 청각자극으로 사용하였고, 관련된 영상 사진(폭포, 라디오 잡음형상 등)은 시각자극으로 사용하였다. 유발뇌파(ERP)측정은 2차에 걸쳐 이루어졌는데, 1차 측정은 사전자극(warning stimuli)의 목표자극(target stimuli)에 대한 정보제시여부를 판단하는 실험, 즉, 1/f 변동리듬 청각자극이 이후에 제시되는 연상 시각자극에 대한 정보제시여부를 확인하는 실험이다. 2차 측정은 Oddball paradigm을 구성하여 P3(or P300)을 도출함으로써 목표자극에 대한 인지여부를 판단하는 실험이다.

1차 유발뇌파(ERP)측정은 연상과 관계된 시각자극을 이용하여 그룹 1의 청각 사전자극(warning stimuli)에서 제공되어지는 정보와 동일한 시각 목표자극(target stimuli)을 제시하는 valid trial과 청각 사전자극(warning stimuli)에서 제공되어지는 정보와 일치하지 않는 시각 목표자극(target stimuli)을 제시하는 invalid trial을 구성하여 실험하였다. valid trial과 invalid trial에서 나온 유발뇌파(ERP) 데이터의 진폭(amplitude)과 잠재기(latency)에 대한 유의차 검증을 하였다. 이를 통하여 사전자극(warning stimuli)의 목표자극(target stimuli)에 대한 정보제시여부를 판단할 수 있다(Dunchin, E. et al., 1986). 그림 9는 1차 유발뇌파 측정에 관련된 시간에 따른 자극제시순서 및 실험 프로토콜이다.

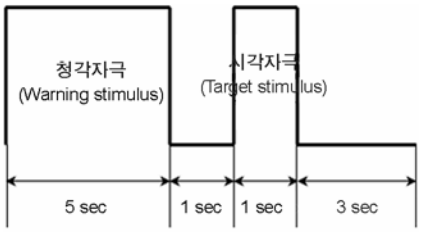



**그림 9.** 1차 유발뇌파(ERP) 실험 프로토콜

2차 유발뇌파(ERP)측정은 Oddball 패러다임(paradigm)에 따라 시행하였다. 80:20의 비율로 표준자극(standard stimuli)과 목표자극(target stimuli)의 비율을 맞추고, 각 자

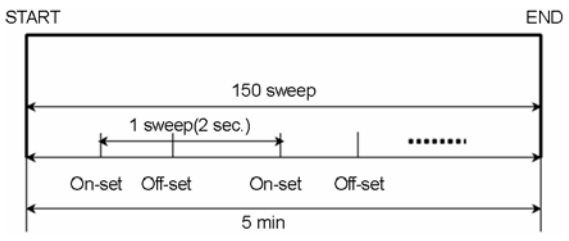



**그림 10.** Oddball paradigm 구성

극은 무작위 순서로 제시되었다(그림 10).

실험 1에서 폭포와 라디오 잡음을 연상한 6명의 피험자를 대상으로 그룹 1의 3 가지 자극 패턴을 각각 5분간 제시한 후, 각 연상 시각자극을 목표자극으로 하고 이와 관계없는 다른 시각자극을 표준자극으로 실험을 진행하였다(그림 11).

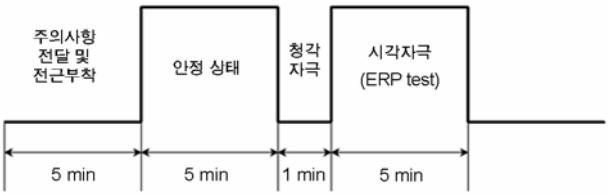



**그림 11.** 2차 유발뇌파(ERP)실험 프로토콜

## 4. 연구결과

### 4.1 실험 1: 1/f 변동리듬 음에 대한 감성평가

#### 4.1.1 EEG 평가

실험 1의 경우, EEG 평가에서는 FFT(fast fourier trans-formation)을 통해 뇌파의 주파수 대역 즉, theta(4~8Hz), alpha(8~13Hz), beta(13~30Hz) 대역의 상대 파워 스펙트럼(relative power spectrum)을 구하였다(식 3, 4, 5).

$$\mathrm{Relative}\,\theta = \frac{power\ of\ \theta}{(power\ of\ \theta + power\ of\ \alpha + power\ of\ \beta)} \quad (3)$$

$$\mathrm{Relative}\,\alpha = \frac{power\ of\ \alpha}{(power\ of\ \theta + power\ of\ \alpha + power\ of\ \beta)} \quad (4)$$

$$\mathrm{Relative}\,\beta = \frac{power\ of\ \beta}{(power\ of\ \theta + power\ of\ \alpha + power\ of\ \beta)} \quad (5)$$

또한, 피험자별 데이터의 변이도를 줄이기 위하여 각 주파수 대역의 파형을 안정 상태(무자극 상황)의 주파수로 정규화(normalize)하였다(Hwang, M-C. et al., 1997; Kim, J-Y. et al.,? 2003)(식 6).

$$NS(normalized\ \ sensibility) = \frac{P_{ij} - P_{ij-1}}{P_{ij-1}} \quad (6)$$

여기에서 P는 파워 스펙트럼, i는 delta, theta, alpha, beta, j는 자극 상태, j-1은 자극을 제시 받기 전의 안정 상태(무자극 상태)를 의미한다. 결정된 각 자극에 대한 NS 값을 가지고 자극에 대한 반응차이에 대하여 비교하였다. 그림 12는 파워 스펙트럼 분석 예를 나타내며, 분석은 Telescan (Ver. 2.8, Laxtha Inc.)프로그램을 이용하였다.

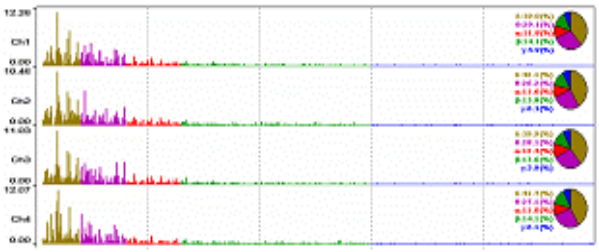


**그림 12.** 채널별 파워 스펙트럼(power spectrum)분석 결과의 예

4.1.1.1 그룹 1 자극에 대한 결과

그룹 1 자극에 대한 EEG 측정 및 분석 결과이다(그림 13). 1/f 변동리듬 패턴 별 EEG 성분(theta, alpha, beta)의 상대 파워 스펙트럼 값의 변화를 나타낸다. theta 파와 alpha 파의 경우 전 채널(Fz, Cz, Pz, Oz)에 대하여 낮게 나타남을 확인할 수 있고(그림 13, 14), beta파의 경우 활성화되는 경향성을 확인할 수 있다(그림 15). 하지만, 1/f 변동리듬 유형별($1/f^0$, $1/f^1$, $1/f^2$) 통계적 유의차는 나타나지 않았다($p>0.05$). 그림 13-21에서 음(-)의 값은 무자극 상태인 안정 상태(식 6)에 비해 상대 파워 스펙트럼이 감소한 것을 의미하게 된다.

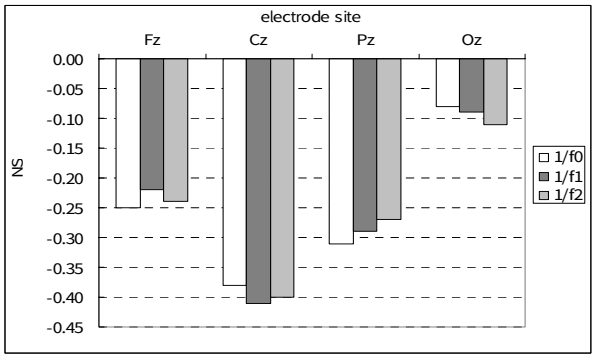



**그림 13.** 1/f 변동리듬에 따른 Theta파의 변화(그룹 1)

4.1.1.2 그룹 2 자극에 대한 결과

그룹 2 자극에 대한 EEG 측정 및 분석 결과이다. 그룹 1 자극의 결과와 마찬가지로 theta 파와 alpha 파의 경우 전 채널에 대하여 낮게 나타남을 확인할 수 있고(그림 16, 17), beta파의 경우 활성화되는 경향성을 확인할 수 있다(그림 18). 또한, 1/f 변동리듬 유형별($1/f^0$, $1/f^1$, $1/f^2$) 통계적으로 유의차는 나타나지 않았다($p>0.05$).

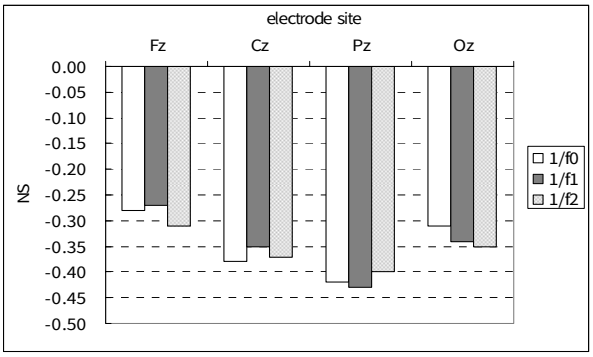



**그림 14.** 1/f 변동리듬에 따른 Alpha파의 변화(그룹 1)

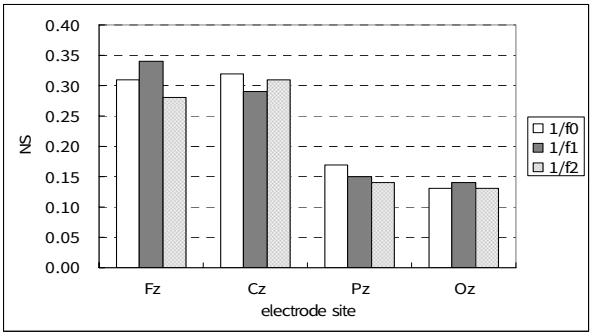



**그림 15.** 1/f 변동리듬에 따른 Beta파의 변화(그룹 1)

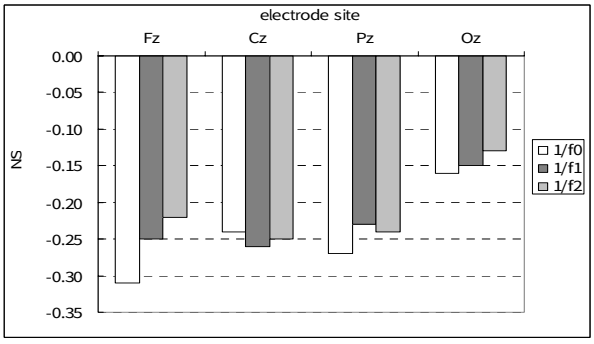



**그림 16.** 1/f 변동리듬에 따른 Theta파의 변화(그룹 2)

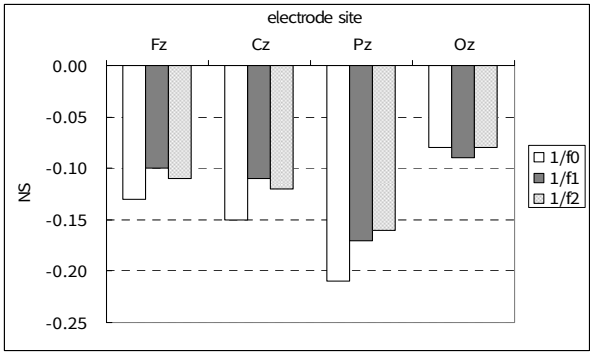



**그림 17.** 1/f 변동리듬에 따른 Alpha파의 변화(그룹 2)

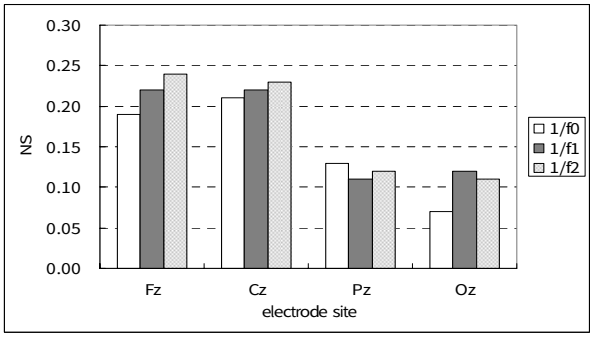



**그림 18.** 1/f 변동리듬에 따른 Beta파의 변화(그룹 2)

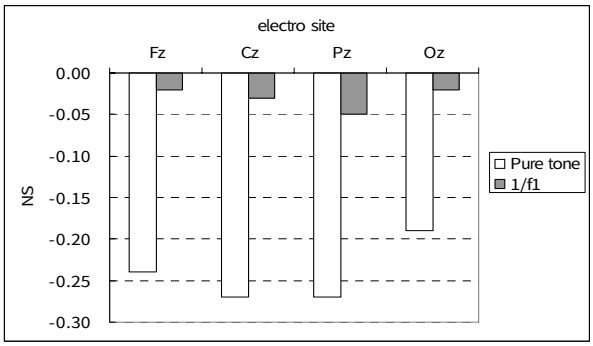



**그림 19.** 1/f 변동리듬에 따른 Theta파의 변화(그룹 3)

4.1.1.3 그룹 3 자극에 대한 결과

그룹 3 자극에 대한 EEG 측정 및 분석 결과이다. 그룹 1, 2 자극과는 달리 theta, alpha 파에서 자극 유형별(pure tone, $1/f^1$) 통계적으로 유의차가 나타났고($p<0.05$), 특히 alpha 파의 경우, 1/f 변동리듬 자극에 대하여 증가되는 경향을 보이고 있다(그림 20).

결과적으로 그룹 1, 2, 3 중, 그룹 3에서 theta, alpha파에 대하여 자극 패턴 간 유의적 차이를 보였으며, 다른 자극 유형 간, 유의적 차이가 나타나지 않았다($\alpha=0.05$).

## 4.1.2 주관적 쾌적감성평가

표 3은 쾌적감성 평가모형의 이용한 주관적 평가 결과이다. Jeon and Cho (2005)에 의해서 제안된 쾌적감성평가 모형 및 프로그램을 통하여 주관적 평가를 시행하였다. 그룹 2 자극에서 각성-이완(activated-deactivated) 차원에 대하여 자극 패턴 간 유의차가 나타났으며, 그룹 3에서 두 자극 간, 쾌-불쾌(pleasant-unpleasant) 차원에 대한 유의차가 나타났다(표 3).

표 4는 자극에 대한 자연연상 결과 및 감성반응을 정리한

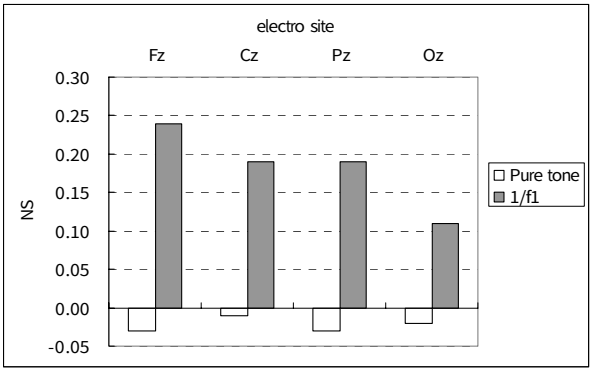



**그림 20.** 1/f 변동리듬에 따른 Alpha파의 변화(그룹 3)

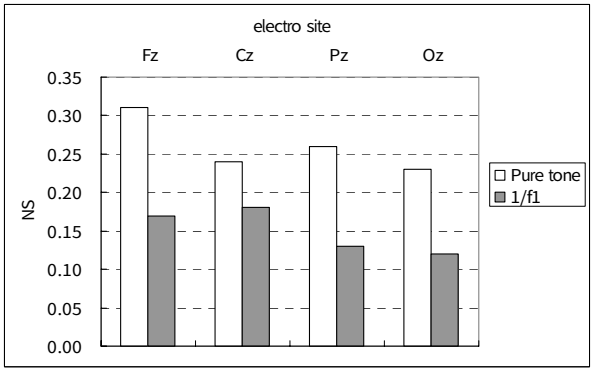



**그림 21.** 1/f 변동리듬에 따른 Beta파의 변화(그룹 3)

**표 3.** 쾌적감성 평가모형을 이용한 주관적 평가 결과(*$p$<0.05)

| 그룹 | 감성차원 | 자극 패턴 | | 자극 패턴 별 평균 | | 자극 패턴 별 표준편차 | | $p$-value |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | A | B | A | B | A | B | |
| 2 | 각성-이완 | $1/f^0$ | $1/f^1$ | 4.1429 | 2.5714 | 0.6900 | 0.53452 | 0.000* |
| | | $1/f^1$ | $1/f^2$ | 2.5714 | 1.2857 | 0.5345 | 0.48759 | 0.001* |
| | | $1/f^0$ | $1/f^2$ | 4.1429 | 1.2857 | 0.6900 | 0.48795 | 0.000* |
| 3 | 쾌-불쾌 | pure tone | $1/f^1$ | 2.2857 | 3.1429 | 0.4879 | 0.69007 | 0.020* |

**표 4.** 자극에 대한 자유연상 기록 및 감성반응

| 그룹 | 자극 패턴 | 자유 연상 결과 | 감성 반응 | 선호도 |
|---|---|---|---|---|
| 1 | $1/f^0$ | 폭포 소리<br>라디오 잡음<br>파도 소리 | 강렬하다<br>시끄럽다<br>시원하다<br>상쾌하다 | 1 |
| | $1/f^1$ | 라디오 잡음<br>폭포 소리<br>소나기 | 상쾌하다<br>불쾌하다 | 2 |
| | $1/f^2$ | 폭포 소리<br>소나기 소리<br>라디오 잡음 | 시원하다<br>시끄럽다 | 3 |
| 2 | $1/f^0$ | 특정한 연상<br>내용 없음. | 불규칙하다<br>어지럽다<br>자극적이다<br>특이하다 | 3 |
| | $1/f^1$ | 일반 가요 | 부드럽다<br>자연스럽다<br>일반적이다 | 1 |
| | $1/f^2$ | 최면음악<br>명상음악 | 지루하다<br>부드럽다<br>재미없다 | 2 |
| 3 | pure tone | 전자음<br>새소리 | 기계적이다<br>딱딱하다 | 2 |
| | $1/f^1$ | 새소리 | 상쾌하다<br>세련되다 | 1 |

결과이다. 특이한 점은 그룹 1에 대하여 자극 패턴 간 상대 theta, alpha, beta파의 유의차가 없었음에도 불구하고(그림 13, 14, 15), 이중 폭포 소리(3명)와 라디오 잡음(3명)이라고 응답한 두 피험자 그룹 간에 자극 패턴에 관계없이 EEG의 상대 alpha파 출현량이 통계적으로 유의한 차이($p$<0.05)가 나타났다는 점이다. 이는 1/f 변동리듬 패턴에 의한 영향보다 자극을 인식하고 인지된 정보를 의미화하는 과정에서 나타나는 인지적 요인이 인간의 쾌적감성에 보다 큰 영향을 줄 수 있다는 점을 시사하는 것으로 인지적 요인의 영향여부에 대한 추가실험(실험 2)을 구성하여 검토하였다.

## 4.2 실험 2: 1/f 변동리듬자극에 대한 정보인지형태가 쾌적감성에 미치는 영향

실험 2는 유발뇌파(ERP)를 이용하여 단서(cue)에 의해서 제공되는 정보인지형태가 1/f 변동리듬 패턴 특성과 비해 쾌적감성에 보다 많은 영향을 끼칠 것이라는 가설을 검증하기 위한 실험이다. 표 5는 각 유발뇌파 요소(ERP component)에 대한 잠재기 영역(Latency Window)을 나타낸다.

1차 유발뇌파(ERP)측정은 연상과 관계된 시각자극을 이용하여 그룹 1의 청각 사전자극(warning stimuli)에서 제공되어지는 정보와 동일한 시각 목표자극(target stimuli)을 제시하는 valid trial과 청각 사전자극(warning stimuli)에서

제공 되어지는 정보와 일치하지 않는 시각 목표자극(target stimuli)을 제시하는 invalid trial을 구성하여 실험하였다. valid trial과 invalid trial을 요인으로 하여 유발뇌파 데이터의 진폭(amplitude)과 잠재기(latency)에 대한 일원 분산분석(one-way ANOVA)을 하였다. 이를 통하여 사전자극(warning stimuli)의 목표자극(target stimuli)에 대한 정보 제시여부를 판단할 수 있다(Dunchin, E. et al., 1986).

**표 5.** 각 ERP component에 대한 Latency Window

| ERP component | Latency window |
|---|---|
| P1(P100) | 50~150 |
| N1(N100) | 100~200 |
| P2(P200) | 150~200 |
| N2(N200) | 250~300 |
| P3(P300) | 250~450 |

표 6, 7은 1차 유발뇌파측정 통하여 도출된 전극 위치에 따른 진폭(amplitude) 및 잠재기(latency)의 평균 및 표준편차를 나타낸다.

2차 유발뇌파측정은 Oddball 패러다임(paradigm)을 구성하여 P3(or P300)을 도출여부를 판단함으로써 목표자극에 대한 인지여부를 판단하는 실험이다. 시각자극(폭포, 라디오 잡음) 외에 8개의 기타 사진을 목표자극(target stimuli)과 표준자극(standard stimuli)의 20:80의 비율로 제시하여 각 자극 별 유발뇌파를 측정하였다. 그림 22는 Oddball 패러다임을 통해 측정된 피험자 1의 채널별 유발뇌파 파형을 나타낸다.

P3(P300)피크의 출현여부를 판단하기 위하여 피험자 별로 전 채널에 대한 평균화된 유발뇌파 파형(global ERP)을 구하여 목표자극(target stimuli)과 표준자극(standard stimuli)간의 파형을 비교해 본 결과, 6명 중 1명을 제외한 5명의 피험자로부터 P3가 확연히 출현하였음을 확인할 수 있었다. 그림 23은 피험자 1, 2의 전 채널에 대한 평균화된 유발뇌파 파형을 나타낸다.

이는 피험자가 1/f 변동리듬 패턴($1/f^0$, $1/f^1$, $1/f^2$)의 자극을 듣고 연상되는 시각자극을 비교적 정확하게 선별하였다는 의미로 이는 1/f 변동리듬 자극에 대하여 의미화 과정을

**표 6.** 전극 위치에 따른 진폭(amplitude)의 평균 및 표준편차(μV)

| Electro site | Trial | P1 | | N1 | | P2 | | N2 | | P3 | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | Mean | S.D. | Mean | S.D. | Mean | S.D. | Mean | S.D. | Mean | S.D. |
| Fz | Valid | 0.7 | 0.9 | −1.2 | 1.5 | 2.7 | 3.1 | −0.9 | 1.7 | 3.9 | 4.5 |
| | Invalid | 0.4 | 1.1 | −1.6 | 1.7 | 1.1 | 2.4 | −1.2 | 2.1 | 2.0 | 2.8 |
| Cz | Valid | 2.2 | 2.8 | −0.7 | 1.1 | 4.5 | 4.8 | −0.1 | 1.1 | 5.1 | 3.8 |
| | Invalid | 1.8 | 1.4 | −0.7 | 1.3 | 3.8 | 2.6 | −0.4 | 1.8 | 4.1 | 3.2 |
| Pz | Valid | 4.7 | 2.7 | −3.9 | 4.8 | 5.4 | 3.8 | −0.2 | 1.8 | 7.7 | 3.8 |
| | Invalid | 3.5 | 3.1 | −4.2 | 5.3 | 3.8 | 3.9 | −0.1 | 2.1 | 4.7 | 3.4 |
| Oz | Valid | 4.9 | 2.8 | −5.4 | 5.8 | 2.3 | 4.1 | −0.4 | 3.4 | 3.5 | 3.6 |
| | Invalid | 4.1 | 3.0 | −5.5 | 5.1 | 2.5 | 4.7 | −1.9 | 3.8 | 3.1 | 2.7 |

**표 7.** 전극 위치에 따른 잠재기(latency)의 평균 및 표준편차(ms)

| Electro site | Trial | P1 | | N1 | | P2 | | N2 | | P3 | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | Mean | S.D. | Mean | S.D. | Mean | S.D. | Mean | S.D. | Mean | S.D. |
| Fz | Valid | 101.1 | 23.2 | 143.3 | 19.7 | 167.3 | 18.8 | 252.1 | 24.9 | 259.5 | 20.4 |
| | Invalid | 102.8 | 22.1 | 145.7 | 19.8 | 167.5 | 19.9 | 253.1 | 23.1 | 259.7 | 22.9 |
| Cz | Valid | 107.5 | 22.3 | 150.2 | 19.9 | 172.2 | 23.1 | 258.9 | 16.8 | 273.4 | 28.2 |
| | Invalid | 112.3 | 23.6 | 154.5 | 20.8 | 178.4 | 24.9 | 260.3 | 14.7 | 277.1 | 26.7 |
| Pz | Valid | 108.8 | 17.7 | 168.9 | 19.8 | 182.8 | 21.9 | 267.8 | 19.5 | 282.2 | 20.3 |
| | Invalid | 113.4 | 16.8 | 169.1 | 22.3 | 184.5 | 21.6 | 267.9 | 21.5 | 285.4 | 22.5 |
| Oz | Valid | 118.4 | 12.3 | 187.7 | 20.1 | 190.2 | 14.4 | 277.1 | 22.1 | 298.9 | 19.6 |
| | Invalid | 119.7 | 13.2 | 188.2 | 22.1 | 192.4 | 14.6 | 281.2 | 24.7 | 302.3 | 16.4 |

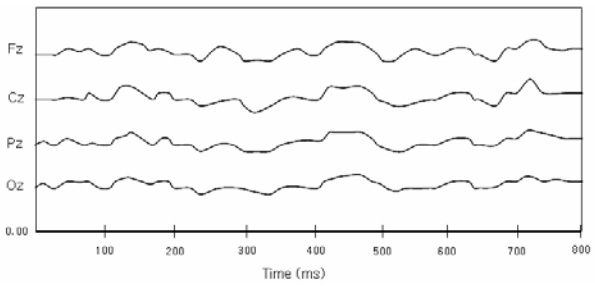



**그림 22.** 채널별 유발뇌파(피험자 1)

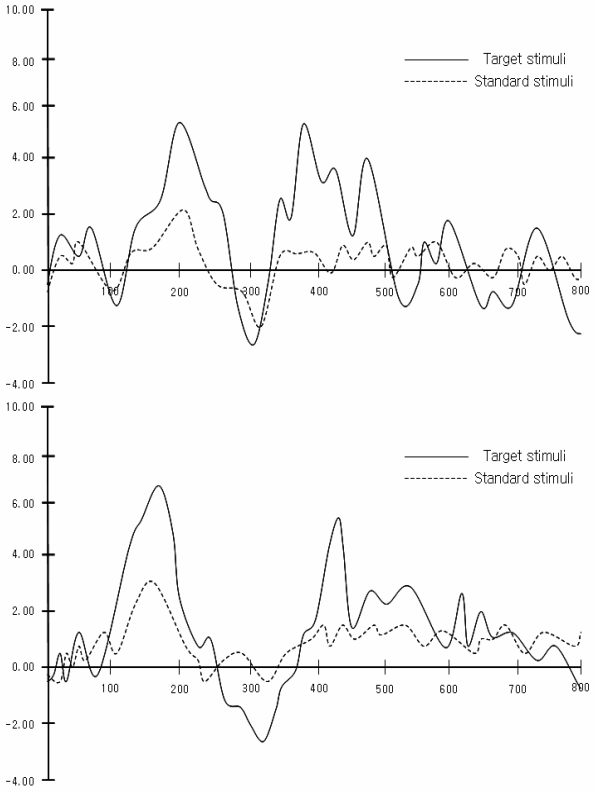



**그림 23.** 전 채널에 대한 평균화된 유발뇌파 파형(피험자 1, 2)

통한 인지적 작용이 있었음을 나타낸다.

## 5. 고 찰

본 연구는 1/f 변동리듬과 인간의 쾌적감성과의 관계를 찾고자 하는 기초연구로서, 1/f 변동리듬 특성을 가지는 청각 자극(음)을 자극 패턴별로 구성하여 쾌적감성과의 관계를 고찰하고자 하였다. 이를 위하여 제시된 1/f 변동리듬 자극에 대한 주관적 · 생리적 평가를 통하여 1/f 변동리듬이 인간의 쾌적(감)성에 미치는 영향에 대하여 고찰해 보고, 쾌적감성에 영향을 미치는 1/f 변동리듬 관련 요소에 대하여 고찰해 보았다.

실험자극으로 1/f 변동리듬특성을 가지는 음을 작성 방법에 따라 3그룹으로 구분하였는데, 그룹 1, 2에서는 $1/f^0$, $1/f^1$, $1/f^2$ 자극 패턴, 그리고 그룹 3에서는 순음(pure tone), $1/f^1$ 자극 패턴으로 세분된다. 그룹 1 자극의 경우는 1/f 변동리듬 패턴을 작성하는 방법으로 가장 보편적으로 사용되는 방법이다. 모든 소리에 해당되는 패턴의 필터(filter)를 사용하여 주파수에 대한 자극 패턴을 만들어 사용하게 되고, 인위적으로 white noise($1/f^0$), pink noise($1/f^1$), brown noise($1/f^2$)를 생성하기 위한 방법으로 사용된다. 이 경우는 여러 주파수의 배열에 따른 변동리듬 패턴 차이가 존재함으로써 인간에게는 잡음의 소리와 같은 복합음의 소리로 들리게 된다. 본 연구에서는 이렇게 만들어진 그룹 1 자극 음에서 $1/f^0$, $1/f^1$, $1/f^2$ 변동리듬 패턴 간 인간의 생리적 · 주관적 평가 결과가 차이가 존재하는가를 평가하고자 하였다. 그룹 2 자극은 $1/f^0$, $1/f^1$, $1/f^2$ 변동리듬 패턴을 이용하여 음악을 만들어 사용할 수 있다. 이는 그룹 1 자극과는 달리 주파수(음높이)와 빠르기(리듬)를 해당되는 자극 패턴을 이용하여 음악을 만든 것이다. 기존의 연구들에서 1/f 변동리듬 음악을 사용한 다양한 연구들을 보고하였고, 1/f 변동리듬으로 사용한 음악의 효과를 검증하기 위하여 1/f 변동리듬 패턴인 기존의 음악을 사용했다고 보고되고 있으나, 이들 대부분의 음악에서는 $1/f^0$, $1/f^1$, $1/f^2$ 변동리듬 패턴이 혼용되어 나타날 것으로 판단되고, 구체적으로 어떠한 요소를 변동리듬으로 지정했는지에 대한 정보가 부재하다. 따라서 본 연구에서는 주파수(음의 높이)와 빠르기(리듬)를 각 변동리듬 패턴으로 구성한 음(음악)을 자극으로 사용하여 1/f 변동리듬 음악에 대한 인간의 생리적 · 주관적 평가를 내리고자 하였다. 그룹 3 자극은 주파수가 하나인 순음(pure tone)에 인위적으로 $1/f^1$ 변동리듬으로 가공하여 만든 음이다. 가공된 1/f 변동리듬 자극은 새소리를 대부분의 피험자들이 자유연상에서 새소리를 연상할 만큼 순음과 가공된 1/f 변동리듬 자극음의 여러 요소에 있어서 차이가 있었으며, 가공의 효과를 실험을 통해 비교해 보았다.

실험 1은 그룹 1, 2, 3 자극에 대하여 피험자의 EEG 파형에 대한 상대 파워 스펙트럼(relative power spectrum) 분석 및 주관적 평가가 이루어 졌다. 여기서, 주관적 평가는 기존의 연구(Jeon and Cho, 2005)에서 제안된 퍼지가중점수(Fuzzy-weighted score)를 이용한 쾌적감성평가 및 자유연상기록를 실시하였다. 결과적으로, EEG 분석에서 상대 theta, alpha, beta파의 출현량에 대하여 유의한 차이를 나타낸 것은 그룹 3 자극의 theta, alpha 출현량에서만 나타났으며, 그룹 1, 2 자극 패턴 들 간에는 유의차가 존재하지

않았다(α=0.05). 즉, 1/f 변동리듬 패턴 자극을 이용하여 생리변화를 실험한 기존의 연구들에서 나타났던 결과들이 본 연구에서는 직접적으로 나타나지 않았다(Jin-Hun Sohn et al., 1998; Hyejun Park et al., 2005). 기존의 연구에서 사용된 1/f 변동리듬 패턴이 그룹 1 혹은 2 자극 패턴 중의 하나라고 가정한다면, 본 연구에서 결과적으로 도출된 인지적 요인(cognitive factors)이 개입되었을 가능성도 배제할 수 없었으리라 생각된다. 특히, 그룹 2의 1/f 변동리듬 음악의 경우, 일반적으로 $1/f^1$ 변동리듬 음악의 경우에서 안정감 및 쾌적감성 유발하는 것으로 알려져 있고, 이러한 반응은 뇌파에 alpha의 상대적 증가를 가져올 것으로 기대하였으나, 유의적 차이를 보이지는 않았다. 하지만, 쾌적감성 평가모형을 이용한 주관적 평가에서 각성-이완 차원에 대한 $1/f^0$, $1/f^1$, $1/f^2$ 변동리듬 세 자극 패턴 간, 유의적 차이가 존재($p<0.05$)하였으며, 유의차가 존재하지 않았던 Russell의 감성 차원 중 쾌-불쾌 차원에 비교해 판단하면, 변동리듬 현상의 음악적 활용에 있어서 인간의 각성-이완의 작용에 도움이 될 수 있음을 의미한다. 이러한 심리적 각성-이완 차원에 대한 평가는 자율신경계 반응을 살펴보게 된다면 보다 구체적인 결과가 확인될 것으로 판단된다. 그룹 3의 경우에는, 예상되었던 결과로 alpha 파의 경우, 1/f 변동리듬 자극에 대하여 증가되는 경향을 나타내었으며, 주관적 평가 결과에 있어서도, 쾌적감성 평가모형에서는 쾌-불쾌 차원에서 유의적 차이($p<0.05$)가 나타났고, 자유연상기록 및 감성반응, 선호도에서도 모두 1/f 변동리듬 쾌적감성을 유발하는 것으로 판단된다. 특히, 실험 1의 결과 분석 중, 그룹 1의 결과에 대한 특이한 점을 발견 할 수 있었는데, $1/f^0$, $1/f^1$, $1/f^2$ 변동리듬 자극에 대한 EEG 평가와 주관적 평가에서 유의적 차이가 나타나지 않았으나, 자유연상 결과에 따라서 피험자 그룹을 기타 소리를 제외한 폭포소리 연상 그룹과 라디오 잡음 연상 그룹으로 나누어 분석해 본 결과, 자극 패턴에 관계없이 alpha파의 유의적 차이($p<0.05$)가 도출되었다는 점이다. 이는 1/f 변동리듬 패턴에 의한 영향 보다 자극을 인식하고 인지된 정보를 의미화하는 과정에서 나타나는 인지적 요인이 인간의 쾌적감성에 보다 큰 영향을 줄 수 있다는 점을 시사하는 것으로 이를 구체적으로 검증하기 위하여 인지적 요인의 영향여부에 대한 추가실험(실험 2)을 구성하였다.

실험 2는 2차의 유발뇌파(ERP) 실험이 진행 되었다. 1차 유발뇌파측정은 연상과 관계되는 시각자극을 이용하여 청각 사전자극(warning stimuli)에서 제공 되어지는 정보와 동일한 시각 목표자극(target stimuli)을 제시하는 valid trial과 청각 사전자극(warning stimuli)에서 제공 되어지는 정보와 일치하지 않는 시각 목표자극(target stimuli)을 제시하는 invalid trial을 구성하여 실험하였다. Dunchin(1986)에 의하면, 이를 통하여 사전자극(warning stimuli)의 목표자극(target stimuli)에 대한 정보제시여부를 판단할 수 있다고 하였다. 2차 유발뇌파측정은 Oddball 패러다임(paradigm)을 구성하여 P3(or P300)을 도출여부를 판단함으로써 목표자극에 대한 인지여부를 판단하는 실험이다. 목표자극을 인식하지 못하게 되면, P3이 발생하지 않는다(Hantz, E.C., et al., 1992). 1차 유발뇌파측정 결과, 전반적으로 invalid trial과 valid trial의 시행에 따라서 진폭(amplitude)에서는 P1, P2, P3, 잠재기(latency)에서는 N2, P3에서 유의한 차이를 보였다($p<0.05$). 이는 사전자극에 의해서 목표자극에 대한 정보가 제시되었음을 확인한 것이다. 또한, invalid trial에서 잠재기(latency)가 커지는 현상이 나타났는데, 이는 인간의 인지 특성과 뇌에서의 정보처리가 회귀억제의 정의를 따름을 알 수 있는 결과이다(Abrams, R. A. and DoBkin, R. S., 1994). 이러한 경향은 연상자극으로 사용된 시각자극에 대한 뇌 정보 처리 영역인 후두엽(occipital lobe; Oz)에서 두드러진 경향을 보였다. 2차 유발뇌파측정 결과, 6명의 피험자 중, 5명의 피험자로부터 P3가 확연히 출현하였음을 확인할 수 있었다. 이는 1/f 변동리듬 자극에 대하여 의미화 과정을 통한 인지적 작용이 있었음을 나타낸다.

P1, N1과 같은 초기 요소들은 시각, 청각, 촉각 등의 자극 유형(modality)에 따라 특징을 보이는 감각요소로 알려져 있다. 본 연구에서 시각자극이 사용되었으므로 P1과 N1이 Occipital 영역에 있는 시각 피질에서의 시각 정보처리 과정을 반영하는 것으로 보는 것이 타당하다(Mangun, G. R., 1997; Sung ho Han et al., 2004). 일반적으로 감각 요소는 인지적 처리 과정과는 무관하며 자극의 물리적 특성에 의해서만 영향을 받는 것으로 알려져 있다. P2 요소는 자극의 의식적 구분이나 시각 정보의 세밀한 부분에 대한 처리와 관련이 있는 것으로 알려져 있다(Cho. A., 1990). 특히, Frontal 영역의 피질은 Posterior 영역에서 시각 정보가 처리된 이후에 의사결정 등의 고차원적인 사고 과정을 담당한다(Cho. A., 1990; John, E. R., 1990; Oka, S. et al., 2001). N2는 일반적으로 모양과 색깔을 인식하고 시각자극을 구분하는 작업과 관련된 것으로 알려져 있다. 특히, N2의 진폭은 자극의 특성 간, 또는 제시된 자극과 예상자극(template) 간의 불일치에 민감하게 반응하는 것으로 알려져 있다(Fabiani, M. et al., 2000; Sung Ho Han et al., 2004). P3는 피험자가 능동적으로 자극에 주의를 기울였을 때, 자극이 제시된 후에 약 300ms에서 절정을 이루는 사대적으로 큰 양성 파형이다. 빈번한 자극들의 반복 사이에서 갑자기 나타난 기대하지 않은 자극이 그 반복패턴에 변화를 일으키는 것과 같이, 일반적으로 자극이 신기하거나 놀라운 것일 때, P3가 발생한다. 그러므로 P3는 갑작스러운 변화에 대한 응답(orienting response; OR)과 밀접한 연관이 있으며, 자극에 주의를 기울이는 것이 필요하다. P3가 상대적으로 빈도

수가 적은 사건에 대한 응답을 뜻하는 것이기 때문에 전통적으로 Odd-ball 패러다임(Odd-ball paradigm)을 사용하여 P3을 이끌어 낸다. 이 방식은 시행 중 표준자극(standard stimuli)과 목표자극(target stimuli)은 각각 80%와 20%, 혹은 70%와 30%의 확률로 제시된다. 일반적으로 P3활동은 목표자극에 발생되고, 표준 자극에서는 발생되지 않는다. 그리고 P3는 목표자극을 구분했을 때에만 발생하는 것으로, 목표자극을 알아차리지 못하면, 즉 Odd-ball 패러다임에 의한 과제 수행을 하지 못하면 P3가 발생하지 못한다(Hantz, E.C., et al., 1992). 본 연구의 2차 유발뇌파(ERP)실험에서 대부분의 피험자로부터 P3가 발생되었음은 연상자극으로 사용된 시각자극에 의한 인지적 작용이 있었음을 확인한 것이다.

## 6. 결 론

본 연구는 청각적 1/f 변동리듬 패턴을 가지는 자극이 인간의 쾌적감성에 미치는 영향에 대한 실험적 검토를 위한 연구이고 다음과 같은 결론 내렸다.

첫째, 1/f 변동리듬 패턴을 가지는 청각자극(음)을 구성하여 EEG 분석과 주관적 감성평가를 시행하였다. 결론적으로 기존의 연구들과는 달리 전적으로 청각적 1/f 변동리듬요인이 쾌적감성에 직접적인 영향을 미친다고는 볼 수 없다. 다만, 음의 주파수(음 높이) 및 빠르기(리듬)를 속성을 이용한 1/f 변동리듬 음(악)을 구성할 경우, 각성-이완 감성 차원에 대한 효과가 기대된다. 각성-이완 감성 차원에 대한 실험적 검토는 추후 보고될 ECG, GSR를 통한 자율신경계 반응에 대한 실험결과 분석을 통하여 보다 구체적으로 확인할 수 있을 것이다.

둘째, 1/f 변동리듬 패턴보다는 자극에 대한 인지적 요인이 쾌적감성에 영향을 끼친다는 점을 확인할 수 있었다.

이는 1/f 변동리듬 패턴임으로 인하여 인간의 쾌적감성을 유도하고 있다고 가정하고 이를 제품에 응용했던 기존의 연구들에 대한 반증이다. 즉, 쾌적감성을 유발하는데 있어서 1/f 변동리듬 패턴이 직접적인 원인이라기보다는 청취자가 느끼는 자연현상과 관계된 인지적 요인이 쾌적감성에 보다 큰 영향을 미친다는 점이다.

## 참고 문헌


Anders, K., Ulf, L., Maria, T., Lena, S. & Elisabeth, A. The Effect Non-physical Noise Characteristics, ongoing Task and Noise Sensitivity on Annoyance and Distraction due to Noise at Work, *Journal of Environmental Psychology*, 16, 123-136, 1996.

Abrams, R. A. and Dobkin, R. S., Inhibition of return: Effects of attentional cuing on eye movement latencies, *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 20, 467-477, 1994.

ASHRAE, Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy, *ANSI/ASHRAE Standard*, 1992.

Byung Chan Min, Se Jin Park, Chemosensory-Event-Related Potentials to Olfactory Stimulations, *Korean Journal of the Science of Emotion & Sensibility*, 1( 2), 113-119, 1998.

Cho, A., Change of Electroencephalograph during 3-Dimensional image load, *Journal of the Ergonomics Society of Korea*, 9(2), 1990.

Cuthbert, B. N., Schupp, H. T., Brabley, M. M., Birbaumer, N. and Lang, P. J., *Biological psychology*, 52, 95-111, 2000.

Dunchin, E., Karis, D., Bashore, T., Coles, M. G. and Gratton, G., Cognitive psychophysiology and human information processing, In: M.G.H. Coles, E. Donchin, S.W. Porges(Eds.), *Psychophysiology: Systems, Processing and Applications*, The Guilford Press, New York, 244 -267, 1986.

Fabiani. M., Gratton, G. and Coles, M. G. H., Theory and Application. In: J. T. Cacioppo, L. G. Tassinary, and G.G. Berntson(Eds.), *Handbook of Psycho-physiology*, 2nd edition, Cambridge University Press, Cambridge, UK, 2000.

Hugdahl, K., *Psychophysiology: the mind-body perspective*, Cambridge, Mass: Havard University Press, 1995.

Hantz, E.C., Crummer, G. C., Wayman, J. W., Walton, J. P. and Frisina, R. D., Effects of musical training and absolute pitch on the neural processing of the melodic intervals: a P3 event-related potential study, *Music Perception*, 10(1), 25-42, 1992.

Hwang, M-C., Sohn, J-H. and Kim, C-J., Study for Variational Characteristics of Brain According to Human Emotion: Human Emotion by Auditory Perception, *Journal of the Korean Institute of Industrial Engineers*, 23(3), 1997.

Hyejun Park, Se Jin Park, Chul Jung Kim, A Study on Effects of Sleep Efficiency Depending on 1/f Fluctuation of Sound, *Journal of the Ergonomics Society of Korea*, 24(2), 79-83, 2005.

Jeon, Y-W. & Cho, A., Development of Comfort Feeling Structure in Indoor Environments Using Hybrid in Neuralnetworks, *Journal of the Ergonomics Society of Korea*, 20(2), 2001.

Jeon, Y-W. & Cho, A., Modeling for Evaluating the Comfort Sensibility using Fuzzy-Weighted Score, *IE Interface*, 18(2), 158-166, 2005.

Jin-Hun Sohn, Imgap Yi, Estate Sokhadeze, Ji-Eun Kim, Sangsup Choi, The Effects of 1/f Music on the Psychophysiological Responses Induced by Stressful Visual Stimulation, *Korean Journal of The Science of Emotion & Sensibility*, 1(1), 135-143, 1998.

John, E. R., Representation of information in the brain. In: E. R. John(Ed.), *Machinery of the Mind*, Birkhauser, Boston, 1990.

Johnson, R., Jr., The amplitude of the P300 component of the event-related potentials: Review and synthesis. In: P.K. Ackles, J.R. Jenningd, M.G.H. Coles(Eds.), *Advances in Psychophysiology: A Research Annual*, 3. JAI Press, Greenwich, CT, 69-138, 1988.

Katsuhiro MAEKAWA, Terutake HAYASHI, Yoshiaki WATANABE, Design and Rapid Prototyping of Affective Shapes with 1/f Fluctuation Characteristics, *6th Asian Design International Conference(in Japan)*, 2003.

K. Kobyashi, 1/f fluctuation of heartbeat period, *IEEE Trans*., BME-29, 456-457, 1983.

Kim, J. &, Cho, A., A Structural Analysis between Comfort Feeling and Sensing in Indoor Environment Using Fuzzy Inference, *Journal of the Ergonomics Society of Korea*, 18(2), 1999.

Kim, J-Y., Park, J-S., Kim, M-S., A Comparison of EEG Response between TV Advertisements focused on Information Transfer and Emotional Reaction, *Journal of the Ergonomics Society of Korea*, 22(4), 2003.

Machlup, S., Earthquakes, Thunderstorms and other 1/f Noises, *Proc. of Sixth International Symposium on Noise*(Washington D.C., NBS, Meijer, P.H.E. ed.), 157-160, 1981.

Mangun, G. R., Hopfinger, J. B., Kussmaul, L. C., Flectchert, E. H. and Heinze, H., Covariations in ERP and PET measures of spatial selective attention in human extrastriate visual cortex, *Human Brain Mapping*, 5, 273-279, 1997.

Lang, P. J., Greenwald, M. K., Bradley, 2M. M., Hamm, A. O., Looking at pictures: affective, facial, visceral and behavioral reactions, *Psychophysiology*, 30, 261-273, 1993.

Mishikawa, K., Hirajawa, R. & Nagamachi, M., Evaluation of Thermal Environment? using Kansei Engineering, *The Japanese Journal of Industrial Management Association*, 33(5), 1997.

Miyake, S., *Comfort Engineering*, SenBunDo Press, Tokyo, Japan, 1994.

Nidermeyer, E. and Lopes da Silva, F. H. *Electroencephalography: basic principles, clinical applications and related fields*, 3rd ed., Berlin, Heidelberg, New York, Springer, 1993.

Nunez, P. L., *Neocortical Dynamics and Human EEG Rhythms*, Oxford University Press Inc., 1995.

Oka, S., van Tonder, G. and Ejima, Y., A VEP study on visual processing of figural geometry, *Vision Research*, 41, pp. 3791-3803, 2001.

Roads, C., *The Computer Music Tutorial*, MIT Press, Cambridge, 1996.

Shinji MIYAKE andMasaharu KUMASHIRO, Comfortableness of 1/f fluctuation: The effects of the pseud-airconditioner noise with 1/f fluctuation of sound pressure level, *The Japanese Journal of Ergonomics*, 27(1), 1991.

Sung Ho Han, Rina Maiti, Jungchul Park. and Sang Woo Hong, Effect of user preference towards consumer products on event-related brain potentials(ERPs), *Communications of the Korea Information Science Society*, 22(2), 63-71, 2004.

Sutton, S., Braren, M. and Zubin, J., Evoked-potential correlates of stimulus uncertainty, *Science*, 150, 1187-1188, 1965.

Sutton, S., Teuting, P., Zubin, J. and John, E. R., Information delivery and the sensory evoked potential, *Science*, 155, pp. 1436-1439, 1967.

T. Yoshida, The estimation of mental stress by 1/f frequency fluctuation of EEG, *Brain topology*, 711-777, 1998.

T. Yoshida, 1/f frequency-fluctuation of human EEG and emotional changes, *Noise in physical systems and 1/f functions*, 719-722, 1998.

T. Yoshida, 1/f-like frequency fluctuation in frontal alpha wave as an indicator of emotion, *Proc. of the 2000 Spring Conference of KOSES and International Sensibility Ergonomics Symposium*, 99-103, 2000.

Vaughan, H. G., Jr., The relationship of brain activity to scalp recordings of event-related potentials. In E. Donchin and D.B. Lindsley(Eds.), *Average evoked potentials*, 45-94, Washington, D. C., NASA, 1969.

Voss, R. and Clarke, J., 1/f Noise in Music and Speech, *Nature*, 258, 317 -318, 1975.

Voss, R., 1/f noise in Music: Music from 1/f noise, *Proc. Symposium on 1/f fluctuation*, Tokyo, 199-120, 1977.

Woo, J-L., Sensory Engineering Model in Search of Emotion-Specific Physiology-An Introduction and Proposal, *Korean Journal of the Science of Emotion & Sensibility*, 4(2), 2001.

Yelena Granovsky, Elliot Sprecher, Jeshayachu Hemli, David Yarnitsky, P300 and stress in mild head injury patients, *Electroencephalography and clinical Neurophysiology*, 108, 554-559, 1998.

Y.Ishikawa and H.A Zhao, A Study on Speech Quality Improvement System by 1/f Fluctuation Theory, *Proc. of IEICE*, A-4-22, 2002.

## 저자 소개

❖ 전 용 웅 ❖ ywjeon@dongguk.edu
동국대학교 산업시스템공학과 석사
현 재: 동국대학교 산업시스템공학과 박사과정
관심분야: 제품개발, Usability, 감성공학

❖ 조 암 ❖ amcho@dongguk.edu
Waseda University (Japan) 박사
현 재: 동국대학교 산업시스템공학과 교수
관심분야: 입체영상, VR, 안전공학, 감성공학

논 문 접 수 일 (Date Received) : 2006년 07월 18일
논 문 수 정 일 (Date Revised) : 2006년 09월 12일
논문게재승인일 (Date Accepted) : 2006년 09월 18일