

# 전전두엽의 비대칭성과 심장박동율변동성에 기초한 음향감성 평가

김원식\*, 이지혜\*\*, 조문재\*\*\*

\*한국표준과학연구원 인간정보그룹

\*\*충남대학교 심리학과

\*\*\*한국표준과학연구원 음향진동그룹

## Evaluation of Sound-induced Affects based on Prefrontal Cortex Asymmetry and Heart Rate Variability

Wuon-Shik Kim\*, Ji-Hye Lee\*\*, Moon-Jae Jho\*\*\*

\*Ergonomics & Information Technology Group,

Korea Research Institute of Standards and Science

\*\*Psychology Department, Chungnam National University

\*\*\*Acoustics & Vibration Group,

Korea Research Institute of Standards and Science

본 연구에서는 생활공간에서의 음향감성을 평가하기 위하여 긍정감성을 유발하는 음환경으로서 '명상음악'과 부정감성을 유발하는 음환경으로서 '헬리콥터소음'과 '마루가 빼곡덕거리는 소음'을 제시하였을 때 행동활성화체계(BAS)와 행동억제체계(BIS)의 민감성이 서로 다른 집단들을 대상으로 전전두엽의(PFC) 비대칭성과 심장박동율변동성(HRV)을 분석하였다. 연구결과, 명상음악을 청취시에는 안정상태에 비하여 좌측전두엽이 더 활성화되고 HRV의 LF/HF는 감소된 반면에 소음환경에서는 우측전두엽이 더 활성화되고 LF/HF는 더 증가하였다.

**Keyword:** 행동활성화체계(behavioral activation system: BAS), 행동억제체계(behavioral inhibition system: BIS), 전전두엽(prefrontal cortex: PFC), 심장박동율변동성(Heart Rate Variability: HRV)

### 1. 서론

Heller Model(1986)에 따르면 감성유도체를 통하여 부정감성을 유발시킬 경우 우측 전두엽이 활성화되는 반면에 긍정감성을 유발시킬 경우에는 그 반대로 좌측전두엽이 더 활성화된다. Gray(1994)는 생물학적인 기능의 측면

에서 성격을 설명하기 위해 BAS형과 BIS형 뇌의 시스템을 제안하였다. BAS형 뇌의 시스템은 유인가(incentive value) 추구를 위하여 보상에 민감한 반응을 보이고 열망, 기쁨 등과 같은 긍정적인 감성을 만드는 역할을 한다. 반면에 BIS형 뇌의 시스템은 처벌에 민감하여 사람들의 활동을 억제하고 자극을 받았을 때

회피하거나 물러서게 만들며 혐오, 슬픔 등과 같은 부정적인 감성을 만드는 역할을 한다. Davidson 연구팀은 자신들이 그 동안 수행해온 연구결과들로부터 전전두엽의 비대칭성 측정이 감성유도체에 대한 반응을 예측할 수 있다는 가설을 제안하였다. Wheeler와 Davidson 등은 (1993) 이 모델을 검증하기 위한 연구결과로서, 긍정적 또는 부정적 감성을 유도하도록 고안된 사진들을 이용하여 안정상태의 측정에서 좌측 전전두엽이 더 활성화된 사람은 긍정적 감성 유발 사진에 대하여 더욱 긍정적 감성을 보고한 반면에 우측 전전두엽이 더 활성화된 사람은 부정적 감성 유발사진에 대하여 더욱 부정적 감성을 보고하였다. 최근 Sutton과 Davidson (1997)은 Gray의 행동억제와 활성화 개념을 반영시켜 고안한 자기-보고 평가의 점수가 PANAS(Positive and Negative Affect Scales) 척도의 점수에 의한 것보다 전전두엽의 비대칭성에 대한 전기생리적 측정에 의하여 더욱 강하게 예측될 수 있음을 보였다. 즉, 좌측 전전두엽이 활성화된 피험자들이 우측 전전두엽이 활성화된 피험자들에 비하여 BIS 보다도 BAS에 상대적으로 높은 민감도를 보고하였다.

한편, 건강한 상태에서는 심장박동율의 변동성(Heart Rate Variability: HRV)은 Kaos적인 불규칙성이 강하나, 심한 스트레스를 받아 긴장하게 되거나 신체가 노약하게 되면 Kaos적인 불규칙성은 줄어든다. HRV의 전력스펙트럼밀도(power spectral density: PSD)는 크게 3가지 주파수[저주파수(low frequency: LF), 중간주파수(medium frequency: MF), 고주파수(high frequency: HF)] 영역으로 나눌 수 있다. LF영역(0.01 ~ 0.08 Hz)은 교감신경계의 활동을 주로 반영하고 부교감신경계의 활동은 조금 반영한다. 반면에 HF영역(0.15 ~ 0.5 Hz)은 호흡성 sinus arrhythmia와 거의 전적으로 부교감신경계의 활성도를 반영한다. LF/HF는 교감신경과 부교감신경의 균형을 측정하는데 사용되어왔으며, MF영역(0.08 ~ 0.15 Hz)은 혈압을 조절하는 압각기관(baroreceptor)의 feedback loop에 대한 활성도를 반영하는 간접적 지시치로 사용되어왔다. MF 영역의 전력(power)은 교감과 부교감신경계의 혼합활성도를 나타내지만 부교감신경계의 활성도

를 훨씬더 많이 반영하며 MF/(LF+HF)는 감정상태들의 변화와 밀접한 관계를 갖는다.

따라서, 본 연구에서는 감성이 개인의 성격에 의존한다는 이러한 연구결과에 기초하여 피실험자들 간의 변동요인을 줄이고 궁극적으로는 개인의 취향을 고려한 소비자 중심의 제품을 설계하기 위하여 피험자들의 성격을 BAS와 BIS에 민감한 정도로 분류한 뒤 각 집단의 안정상태를 측정하여 전전두엽의 비대칭성을 조사하고 긍정적 감성과 부정적 감성을 유발시키는 영향을 제시하여 반응하는 양상을 심리평가와 뇌전도 및 심전도 측정을 통하여 분석하였다.

## 2. 실험 방법

### 피험자

충남대학교에 재학중인 대학생 450명(남자: 210명)에 대하여 오른손잡이만을 추출[380명(남자:165명)]하여 BAS/BIS 민감성을 평가한 뒤, BAS와 BIS 각각의 민감성에 대하여 남, 녀 각각 상위 30%는 '코드 1'을, 하위 30%는 '코드 2'를 부여하여 4개 집단으로 분류하였다. 1집단은 (BAS, BIS)=(1, 1)인 코드로 구성된 BAS와 BIS의 민감성이 모두 높은 집단이며, 2집단은 (BAS, BIS)=(1, 2)인 코드로 구성된 BAS에 민감하고 BIS에는 민감하지 않은 집단이며, 3집단은 (BAS, BIS)=(2, 1)로서 BAS에는 민감하지 않으나 BIS에는 민감한 집단이며, 4집단은 (BAS, BIS)=(2, 2)로서 BAS와 BIS 모두 민감하지 않은 집단이다. 본 연구에 참여한 피험자는 1집단(남: 3명, 여: 2명), 2집단(남: 5명, 여: 3명), 3집단(남: 3명, 여: 3명), 4집단(남: 3명, 여: 3명)으로서 모두 25명 이었으며, 특별히 청각에 병력이 없는 건강한 사람들로 구성되었다.

### 심리평가 도구

BAS/BIS 민감성 평가는 Carver와 White(1994)가 개발하고 박현주(2001)가 번안한 Likert 식 5점 척도의 7개 문항을 이용하였고, 상태불안 평가는 한덕웅 등(1996)이 번안한 STAI-KYZ(자기감정평가 질문지)에서 상

태불안을 측정할 수 있는 Likert 식 4점 척도의 20개 문항을 이용하였으며, 음향감성은 소리(음악)에 대한 긍정감성과 부정감성을 평가하기 위하여 소리관련 감성형용사를 이용하여 Likert 식 4점 척도의 8개 문항으로 평가하였다.

### 음향제시

긍정감성 유발 음향으로는 마음을 평온하게 해주는 효과가 있는 명상음악으로서 **Mediation De Thais**를 (주)오케이미디어의 CD를 이용하였으며, 부정감성 유발 음향은 '헬기소음'과 '마루 삐그덕 소음'을 (주)오아시스의 효과음 5집 CD를 이용하여 각각 4분간 씩 피험자 위치에서 평균 60dB(A)가 되도록 제시하였다.

### 실험절차

피험자가 한국표준과학연구원의 주거/사무 환경 시험평가동에 입실하면 약 5분간 안정을 시킨다. 곧이어, 주거환경 Chamber로 이동하여 팔걸이 안락의자에 앉게 한 뒤 전극을 부착시키고 뇌전도와 심전도가 정상적으로 측정되는 것을 확인 후 안정상태와 긍정감성 음환경 및 부정감성 음환경을 **안정상태→명상음악 또는 소음→안정상태→명상음악 또는 소음→안정상태**의 순서로 안정상태는 2분간, 음향(명상음악 또는 소음)은 4분간 각각 제시하였으며 명상음악과 소음의 순서는 피험자간에 무선으로 하였다.

안정상태 후에는 상태불안설문지로만 평가하고, 음향을 제시한 후에는 상태불안과 음향감성에 대한 설문평가를 모두 하였다. 피험자들은 설문지를 작성하는 동안을 제외하고는 눈을 감은 상태에서 실험에 임하도록 하였으며 몸을 뒤틀거나 움직이지 말고 특히 졸지 않도록 지시하였다.

### 생체신호 측정 및 분석

피험자들은 소음과 전자파가 차폐되고 온습도 조절이 가능하며 31평형의 거실처럼 꾸민 주거환경 Chamber내의 팔걸이용 소파에 앉아서 실험에 임하였다. 자동 온습도 조절시스템

을 이용하여 온도  $24.0 \pm 1$  ℃와 습도  $50 \pm 5$  %로 조절되도록 하였으며, 피험자 위치에서 배경소음은  $40 \pm 2$  dB(A)이었다. 음향제시는 Musical Fidelity Elektra E601 CD Player와 MACKIE 16×8×2 8-BUS AUDIO MIXING CONSOLE, 그리고 2개의 스피커(Lake S200)를 이용하여 스테레오로 제시하였고, 스피커와 피험자와의 거리는 대략 2.5m 이었다.

뇌전도는 Ten-Twenty system of electrode placement의 F7과 F8부위를 unipolar 방식으로 측정하였으며 A1을 reference로 하고 이마 부위를 ground에 연결하여 수집된 아날로그 신호는 BIOPAC System s Inc.의 EEG 100B를 통하여 0.1 ~ 35 Hz 대역을 20,000배로 증폭시켰고, 심전도는 Lead II 방법으로 측정하였으며, 수집된 아날로그 심전도신호는 ECG 100B를 통하여 5,000배로 증폭시켰으며, 뇌전도와 심전도신호는 16 bit A/D Converter(MP100A-CE)에 의하여 디지털 신호로 변환시켜 Acq 3.5를 이용하여 Personal Computer에 읽어 들인 후 Matlab 5.3으로 분석하였다. HRV 신호는 500Hz로 샘플링된 ECG 신호의 R-R 간격으로부터 구하였으며 HRV의 PSD를 구하기 위하여 AR 모델을 적용하였고 그 파라미터는 Yule-Walker 방법으로 구현하였다. HRV의 주파수 대역은 0.01~0.08Hz, 0.08~0.15Hz, 0.15~0.5Hz 영역으로 나누었으며 각 영역에 해당되는 power spectrum의 적분치를 LF, MF, HF로 나타내었고 본 연구에서는 LF/HF와 MF/(LF+HF)를 분석하였다.

## 3. 결과 및 고찰

### 주관적평가 및 뇌전도분석

표 1에 피험자별로 BAS 및 BIS 민감성 점수와 집단 구분 및 안정상태, 명상음악 청취시와 소음청취시 느꼈던 상태불안, 음향감성, 그리고 전두엽 뇌전도의 비대칭성을 각각 나타내었다. BAS(Z)-BIS(Z)는 BAS와 BIS 각각의 점수를 Z변환(평균: 0, 표준편차: 1)시킨 뒤 그 차이 값을 나타내는데, '+'방향으로 클수록 BAS성향이 강함을 나타내고 '-'방향으로 클수록 BIS성향이 강함을 나타낸다. 상태

불안은 최소 20점에서 최대 80점까지 받을 수 있으므로 80으로 나누어 최대값을 '1'로 규격화 한 뒤 점수가 높을수록 불안함을 나타내므로 '-'부호를 부가하여 **불안규격화[1]** 시켰으며, 반면에 음향감성평가는 최소 8점에서 최대 32점까지 받을 수 있으므로 음향감성점수를 32로 나누어 최대값을 '1'로 규격화 한 뒤 점수가 높을수록 그 음향에 대한 긍정적 감성이 높음을 나타내므로 '+'부호를 부가하여 **감성규격화[2]** 시켰고, **주관평가[3]**은 불안규격화[1]과 감성규격화[2]를 합한 값이며, 안정상태에서는 음향제시가 없으므로 감성규격화[2]를 0.5로 부여하였다. Shagass(1972) 등의 연구에서 알파밴드(8-13 Hz)의 power가 뇌의 활성화에 역비례하며, 또한 Davidson 등(1990)의 연구결과에 따르면 다른 주파수 대역의 power에 비하여 보다 더 강하게 행동과 관련되어있으므로 본 연구에서도 이 대역의 power를 집중적으로 분석하였다. 전두엽의 비대칭적 활성화를 조사하기 위하여, F7과 F8에서 알파밴드에 대한 power density ( $\mu V^2/Hz$ )를 구하여 a.s. (asymmetry score)-1을 다음과 같이 구하였다(Wheeler 등 1993).

$$\text{Asymmetry score(a.s.-1)} \dots\dots\dots (1)$$

$$= \log(\text{power in } \alpha \text{ at F8} / \text{power in } \alpha \text{ at F7})$$

$$= \log(\text{power in } \alpha \text{ at F8}) - \log(\text{power in } \alpha \text{ at F7})$$

$$\text{Asymmetry score(a.s.-2)} \dots\dots\dots (2)$$

$$= \{(\text{power ratio at F8}) - (\text{power ratio at F7})\} /$$

$$\{(\text{power ratio at F8}) + (\text{power ratio at F7})\}$$

식(1)에서 asymmetry score 값이 "+"이면 우측전두엽(F8)에서의 알파밴드 power가 좌측전두엽(F7)에서의 경우보다 더 크므로 결과적으로는 좌측전두엽이 더 활성화됨을 의미한다. 그런데, 피험자 1과 3은 집단 3에 속하는 BIS에 더욱 민감한 성격을 갖으며 안정상태에서 우측전두엽이 활성화될 것이므로 a.s.-1가 "-"일 것으로 예상되었으며, 명상음악이 소음에 비하여 음향감성이 높게 평가되었으므로 소음보다도 명상음악 쪽에서 더 큰 a.s.값을 가질 것으로 예측되었지만, 결과는 그렇지 못하였다. 따라서, 본 연구에서는 식(2)와 같이 a.s.-2를 계산한 결과 예측치와 잘 일치하였다. 여기에서 power ratio는 베타밴드(13-30 Hz)의 power에 대한 알파-2 밴드(9-11Hz)의 power비를 나타낸다. 표1과 그림1에서 a.s.-2값은 안정상태에서 BIS형 피험자는 "-"값을, BAS형 피험자는 "+"값을 갖으며 소음청취시보다 명상음악 청취시 더 큰 값을 가지므로 예측치와 잘 일치함을 알 수 있었다. 안정상태에서 뇌전도 측정 결과에 따른 전두엽의 asymmetry score(a.s.)는, 행동역활체계가 민감하고 억제체계가 둔한 성격의 피험자들(BAS 타입)은 "+"로 확인되었고 행동억제체계가 민감하고 활성화체계가 둔한 성격의 피험자들(BIS 타입)은 "-"로 확인되었으며, 음향청취상태에서 a.s.는 긍정감성 음환경에서 BAS타입과 BIS타입 모두 "+" 방향으로 증가한 반면에 부정감성 음환경에서는 "-" 방향으로 증가하였다. 또한, 그림 2에서와 같이 안정상태, 명상음악, 소음환경을 random 한 순으로 반복 제시한 결과 처음 20분 이내는 생리반응과 심리반응이 상관성이 높게 나타났지만 그 이후부터는 상관성이 점차로 떨어졌다.

**표 1** 명상음악과 소음환경에서의 주관적 감성 및 전두엽의 비대칭성.

실험시점	BAS(BS)타입	음향청취	감성점수		주관	비대칭성
			음향청취	소음청취		
실험시점1 BAS(BS) BIS(BS) 집단3	-2.00	0.5	0.2	0.4	0.6	음향청취
			0.4	0.4	0.8	음향청취
			0.1	0.301	0.414	음향청취
			0.226	0.312	0.538	음향청취
			0.224	0.305	0.426	음향청취
실험시점2 BAS(BS) BIS(BS) 집단2	2.00	0.5	0.3	0.2	0.1	음향청취
			0.20	0.226	0.338	음향청취
			0.1	0.2	0.3	음향청취
			0.165	0.408	0.564	음향청취
			0.164	0.312	0.437	음향청취
실험시점3 BAS(BS) BIS(BS) 집단2	-2.00	0.5	0.4	0.26	0.17	음향청취
			0.4	0.26	0.17	음향청취
			0.1	0.355	0.418	음향청취
			0.443	0.354	0.527	음향청취
			0.24	0.365	0.496	음향청취
실험시점4 BAS(BS) BIS(BS) 집단2	2.00	0.5	0.43	0.4	0.45	음향청취
			0.43	0.4	0.45	음향청취
			0.1	0.355	0.418	음향청취
			0.443	0.354	0.527	음향청취
			0.24	0.411	0.267	음향청취
			0.348	0.392	0.589	음향청취

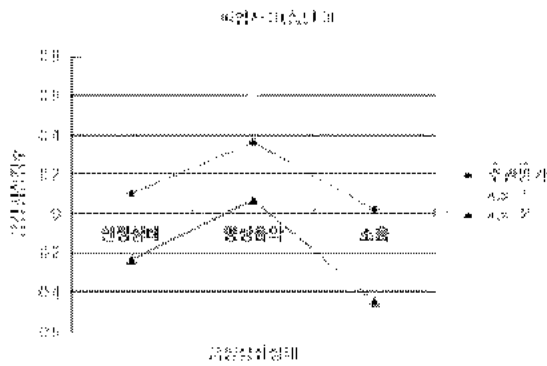
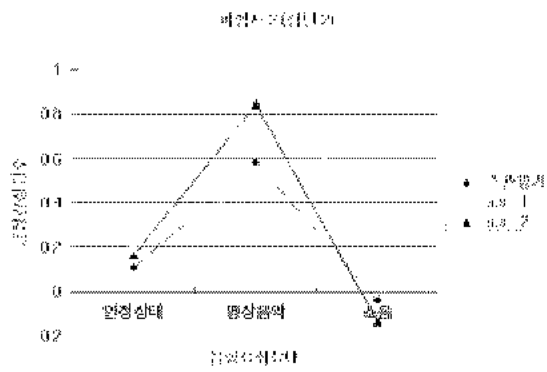


그림 1 안정상태, 명상음악, 소음환경에서의 주관적 평가, asymmetry score-1, asymmetry score-2.

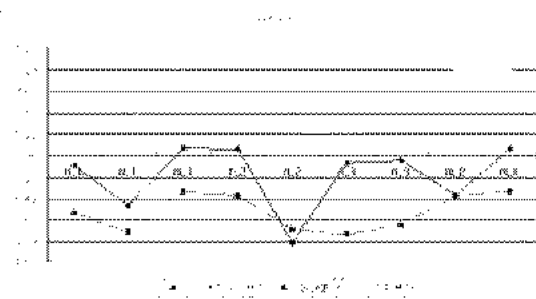
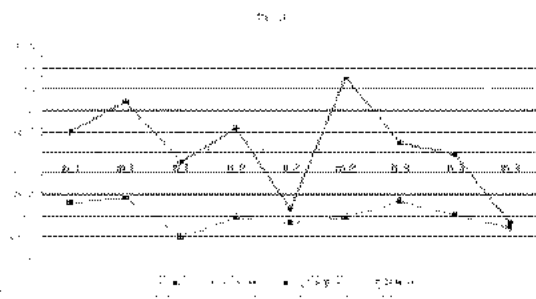


그림 2 안정상태 (b1, b2, b3), 명상음악 (m1, m2, m3), 소음환경 (n1, n2, n3)에서의 상태 불안, 음향감성 및 asymmetry score-2.

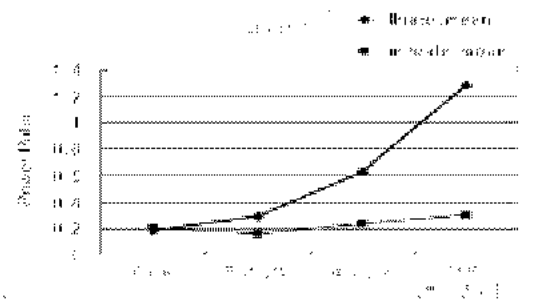
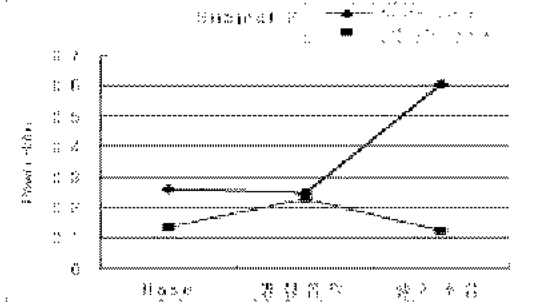
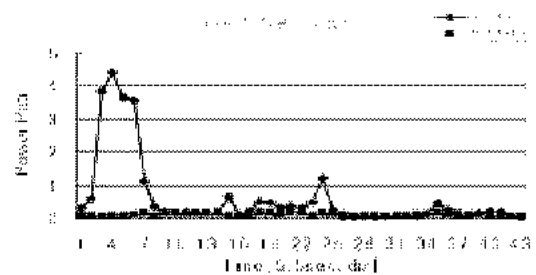
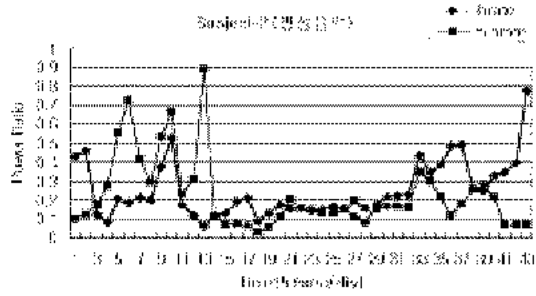
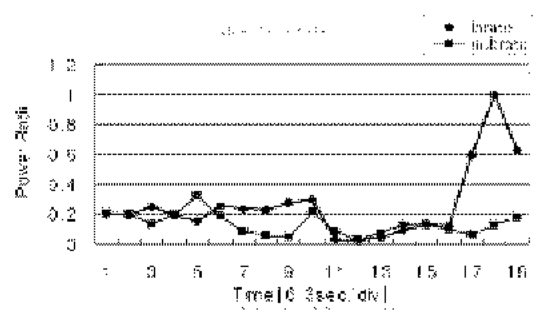


그림 3 안정상태, 명상음악, 소음환경에서의 심장박동변동성 분석결과. lhrate=LF/HF, mlhrate=MF/(LF+HF).

한편, 심전도 측정결과는 그림 3(위로부터 3개)에  
서와 같이 안정상태에 비하여 명상음악을 청취시  
LF/HF [= lhrate]는 감소하는 반면에 MF/(LF+HF)  
[= mlhrate]는 증가하였으며, 소음환경에서는 반대  
로 LF/HF는 증가하는 반면에 MF/(LF+HF)는  
감소하였고, '헬기소음'에 비하여 '마루뽕그덕소음'  
에서 LF/HF는 더 증가하고 MF/(LF+HF)는 더  
감소하였다. HRV의 LF영역은 주로 교감신경계의  
활성도를 반영하므로 소음에 의하여 스트레스를 받  
아 긴장되면 증가하는 반면에 HF영역은 전적으로  
부교감신경계의 활성도를 반영하므로 명상음악을 청  
취시와 같이 심신이 이완된 상태가 부교감신경계의  
활성화와 상응하는 것으로 분석된다. 따라서,  
LF/HF의 증가는 소음환경에서 스트레스를 받아 긴  
장됨을 나타내고 '헬기소음'보다 '마루뽕그덕소음'  
에서 더 스트레스를 받아 긴장하는 것으로 분석된다.

#### 4. 결 론

음향청취상태에서 뇌전도 측정결과에 따른  
전두엽의 a.s.는, 긍정감성 음환경에서 BAS타  
입과 BIS타입 모두 a.s. 값이 ■ "+" ■ 방  
향으로 증가(좌측전두엽 방향으로 활성화가 이동)  
한 반면에 부정감성 음환경에서는 BAS타입과  
BIS타입 모두 a.s. 값이 ■ "-" ■ 방  
향으로 증가(우측전두엽 방향으로 활성화가 이동)  
하였으며, a.s.는 Davidson 등이 사용하였던 수식  
보다 본 연구에서 제안된 수식에 의하여 주관  
적 감성평가와 더 잘 일치함을 확인하였다.  
'안정상태'에 비하여 '명상음악'을 청취시  
LF/HF는 감소하는 반면에 MF/(LF+HF)는 증  
가하였고, '소음환경'에서는 그 반대로 LF/HF  
는 증가하는 반면에 MF/(LF+HF)는 감소하였  
으며 '헬기소음'에 비하여 '마루뽕그덕소음'  
에서 이러한 경향이 더 크게 나타났다. 심전도의  
HRV 분석결과를 자율신경계의 교감-부교감  
신경계 균형과 비교해 보면 '안정상태'에 비하  
여 '명상음악'을 청취시 교감신경계의 활성도  
는 감소하는 반면에 부교감신경계의 활성도는  
증가하였고, '소음환경'에서는 교감신경계의 활  
성도가 증가하는 반면에 부교감신경계의 활성  
도는 감소하였으며 '헬기소음'보다는 '마루뽕  
그덕소음'환경에서 이러한 경향이 더 크게 나타

났다.

#### 후 기

뇌전도 및 심전도의 분석을 위하여 "주거사무환  
경 제시 및 측정 시스템구축" 감성공학 과제에서  
개발된, MATLAB을 이용한 생체신호분석 프로그  
램을 본 연구 목적에 맞도록 약간의 수정을 하여  
사용하였다.

#### 참 고 문 헌

- [1] 박현주(2001), 섭식억제, 행동활성화체계 및  
사전음식섭취가 섭식행동에 미치는 영향. 충남  
대학교 대학원 심리학과 석사학위청구논문.
- [2] 장동환(1968). 자료 : 한국어의 의미론적  
구조, 한국심리학회지, Vol. 1, pp. 28-29.
- [3] 정기삼, 신건수, 안 준, 전중선, 김준수, 박  
창일, 이명호(1997). Head-up tilt 상태에서 심  
박변동과 자율신경활동 균형의 관계에 관한  
연구: J. of KOSOMBE, vol. 18, No. 1, pp.  
37-44.
- [4] 한덕용, 이장호, 전겸구(1996). Spielberger  
의 상태-특성 불안검사 Y형의 개발, 한국심리  
학회지 건강, Vol. 1, pp. 1-14.
- [5] Carver, C. S., & White, T. L.(1994).  
Behavioral inhibition, behavioral activation,  
and affective response to impending reward  
and punishment: BIS/BAS scales. Journal of  
Personality and Social Psychology. 67,  
219-333.
- [6] Davidson, R.J.(2000). Affective Style,  
Psychology, and Resilience: Brain  
Mechanism and Plasticity. November 2000 •  
American Psychologist, Vol. 55, No. 11,  
1193-1214.
- [7] Rollin McCraty, et al.(1995). The Effects of  
Emotions on Short-Term Power Spectrum  
Analysis of Heart Rate Variability: The  
American Journal of Cardiology, vol. 76,  
1089-1093.
- [8] Wheeler, R.E., Davidson, R.J., &  
Tomarken, A.J.(1993). Frontal brain  
asymmetry and emotional reactivity: A  
biological substrate of affective style.  
Psychophysiology, 30, 82-89.