

◆특집◆ 감성공학 기술

생리 신호를 이용한 감성 측정

손진훈\*

Measurement of Emotion and Sensibility Using Physiological Signals

Jin-Hun Sohn\*

**Key Words** : Emotion and Sensibility (감성), Electroencephalogram (뇌파), Electrocardiogram (심전도), Plethysmogram (혈류량), Electrodermal Activity (피부전기활동)

1. 서론

감성은 환경의 변화나 외부로부터의 물리적인 자극에 대한 인간 내부의 고차원적인 심리적 체험으로 쾌적감, 고급감, 불쾌감 등에 대한 복합적인 감정이라 할 수 있다. 또한 감성은 감성을 유발하는 상황, 즉 환경의 변화 및 외부 자극 때문에 발생하는 인체의 반응으로 중추신경계와 말초신경계를 활성화시켜, 이에 의한 신경계, 내분비계, 근골격계 등의 신체적인 반응과 생리적 변화를 수반한다.

감성 연구에는 몇 가지 어려움이 있는데, 가장 큰 어려움은 감성 측정의 문제이다. 많은 연구자들은 정서를 연구하기 위해 행동 변화, 주관적 경험, 생리적 반응을 포함하는 다양한 측정방법을 사용한다.

감성연구의 초기 단계에서 연구자들은 주로 감성을 측정하기 위하여 주관적 평가방법이나 행동관찰법을 사용하였다. 감성의 주관적 상태는 주로 자기보고, 인터뷰 등과 같은 방법으로 측정된

다. 그러나 주관적 정서경험을 표현하는 언어들은 사람에 따라 그 의미 내용이 다를 수 있으며, 한 개인에 있어서도 심리적 상태나 무드에 따라 큰 차이를 보여준다. 또 자신이 경험하는 감성을 의식하지 못하거나, 때로는 경험하는 감성을 다르게 진술하기도 한다.

생리적 반응은 주로 신경계에 의해 관장되므로 의도적으로 변화시키기 어렵다. 언어적 진술보다는 생리적 반응이 시간적으로 매우 일찍 나타나는 반응이므로, 감성 자극에 대한 생리적 반응은 언어적 진술이나 행동관찰보다 객관성을 가지며, 한 개인에 있어 높은 일관성을 보여준다. 생리적 반응의 특징인 객관성과 일관성은 이들 반응의 측정과 분석을 통하여 정량화된 감성측정이 가능할 것이라는 기대를 갖게 해준다. 최근 10년동안 감성 연구자들이 인간의 뇌파 및 자율신경계 반응을 통해서, 심리적으로 경험하는 감성을 측정하고자 하는 이유가 여기에 있다.

외국의 경우, Ax (1953)의 감성 연구를 시작으로 하여 Ekman (1983), Levenson (1990,1992), Cacioppo (1992), Davidson (1990, 1992), Lang (1993) 등의 연구자들이 다양한 생리반응을 이용한 감성 연구들을 수행해오고 있다. 이들을 중심으로 외국의 감성 연구는 주로 학문적인 목적에서 정서 특정적 생리 반응 (emotion-specific physiological responses)을 규명하고자 하는 연구들이 이루어지

\* 충남대학교 사회과학대학 심리학과 교수  
Tel. 042-821-6369, Fax. 042-823-5106  
Email jhsohn@cnu.ac.kr  
신경생물학적 방법 (전기생리학, fMRI 등)을 이용하여 동물의 통각, 인간의 감성, 정서에 대한 연구를 수행하고 있다.

고 있다.

일본의 경우, 1980년대부터 시작된 감성공학 연구의 한 분야로 생리신호를 이용한 감성 연구가 시작되었고, 제품의 선호도, 쾌적성 등과 같은 감성 요소를 객관적으로 측정하기 위해 생리신호를 활용하고 있다.

우리 나라의 경우, 1995년 시작한 감성공학 연구를 시작으로 생리 신호를 이용한 감성 측정에 대한 관심이 증가하였으며, 생리 지표 및 DB 구축 연구들이 활발히 진행되고 있다.

본 논문에서는 현재 감성연구에 사용되고 있는 다양한 생리 신호 측정 기술을 간략히 기술하고, 이러한 생리 신호를 이용한 본 연구실에서 그동안 수행한 감성 연구 결과를 소개하고자 한다.

## 2. 생리 신호의 측정 기술

생리적 반응들은 신경계 메커니즘에 의해 통제/조절된다. 다양한 생리 신호들은 각각 다른 신경계에 의해 지배된다. 뇌파는 중추신경계 (central nervous system)에 의해, 근전도와 안구운동은 체성신경계 (somatic nervous system)에 의해, 그리고 심박률, 혈압, 피부전기활동, 혈류량 등은 자율신경계 (autonomic nervous system)에 의해 통제된다.

기본적으로 모든 생리 신호는 외부자극에 의해 유발되는 신체의 미세한 전기활동을 증폭시켜 측정한다.

다음에서는 다양한 생리 신호에 대한 메커니즘, 측정방법, 분석방법 등을 간략히 소개하고자 한다.

### 2.1 뇌파 (Electroencephalogram: EEG)

뇌파는 대뇌 피질 활동과 관련있는 전기활동을 기록한 것이다. 대부분 피질에서 기록된 전위는 세포체와 수상돌기에서 발달한 흥분성 활동과 억제성 활동에 의해 일어난다고 알려져 있다.

뇌파 신호는 국제 전극 배치법인 International 10/20 electrode system의 기준에 따라 전극을 두피에 부착하고, 미세한 전기 신호를 증폭시켜 기록된다 (Fig.1).

뇌파의 기본 파라미터들 (parameters)은 진폭과 주파수이다. 뇌파는 주로 주파수 영역을 이용하여 분석된다. 뇌파의 주파수 특성은 Table 1에 제시되

어 있다. Fig. 2는 행동패턴과 뇌파반응 특성을 보여준다.

Table 1. 뇌파의 주파수와 주파수특성

뇌파종류	주파수(Hz)	진폭(μV)	출현조건
Delta	0.5-3.9	20-200	수면
Theta	4-7.9	5-100	awake, 감성/스트레스
Alpha	8-12.9	5-100	awake, 이완/eye-closed
Beta	13-29.9	20-200	awake, 각성/eye-open

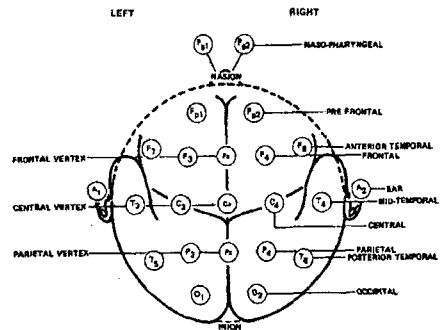


Fig. 1 International 10-20 electrode system

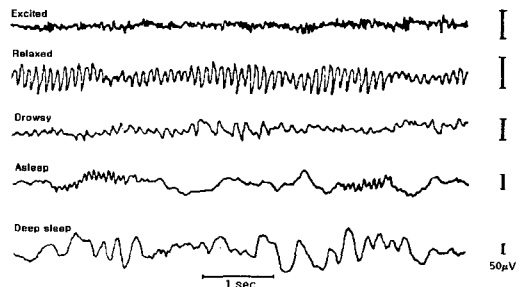


Fig. 2 행동상태에 따른 뇌파의 파형

### 2.2 심장혈관 활동 (Cardiovascular Activity)

#### 2.2.1 심전도 (Electrocardiogram: ECG)

심장 근육세포의 활동전위에 의해 발생하는 전류를 피부에 접촉시킨 전극으로부터 기록한 것을 심전도라고 하는데, 심장 활동을 측정하기 위해 가장 널리 사용되고 있는 방법이다.

심전도 파형은 Sinoatrial (SA) node의 수축에서부터 시작한다. P wave는 심방전체에 근육수축이

확산되면서 심실이 수축하기까지 이르는 과정을 나타낸다. QRS complex는 P wave로부터 140-160msec 후에 발생하는 심실의 수축과정이다. 심실의 최대 수축은 R wave의 최고점에서 일어난다. QRS complex에 이어 T wave가 나타나며, T wave는 심실이 다음 수축과정을 시작하기 위한 준비로서 재분극하는 시기이다. Fig. 3은 이러한 전체적인 심장활동의 과정을 보여준다.

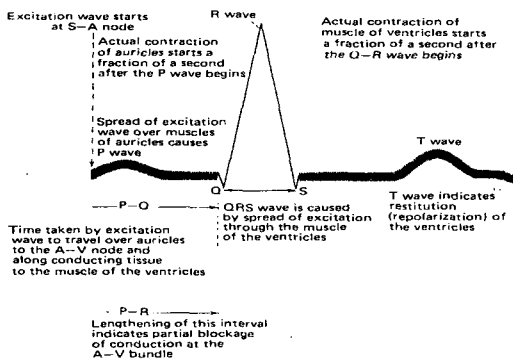


Fig. 3 심전도 파형

심전도를 기록하는 방법에는 몇 가지 표준화된 방법들이 있다. Lead I은 왼쪽 팔과 오른쪽 팔에 전극을 하나씩 부착하여 기록하는 방법이고, Lead II는 전극을 각각 오른쪽 팔과 왼쪽 발목에 부착하여 측정하며, 그리고 Lead III는 왼쪽 팔과 왼쪽 발목에 전극을 부착하여 심전도를 기록한다 (Fig. 4).

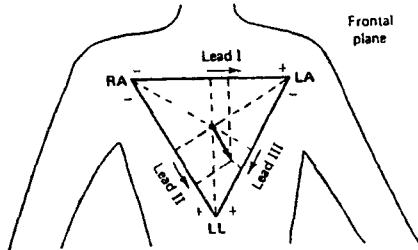


Fig. 4 심전도 Lead 방법

심전도는 Fig. 2에서 보여지는 것처럼 PQRST wave 들을 포함하고 있으며, 그 중에서 가장 큰 R 파는 심전도 분석에 많이 이용된다. 단순히 60초 동안의 R wave의 수를 계산하는 심장박동률

(Heart Rate: HR), R wave 간의 시간간격을 의미하는 Interbeat Intervals (IBI)를 분석할 수 있다.

심장박동률 분산 (Heart Rate Variability : HRV)은 자율신경계 반응의 생리적 지표로 사용되고 있다. HRV 주파수는 크게 두 주파수 대역으로 구분된다. 낮은 주파수 대역 (Low Frequency : LF)은 0.04Hz-0.15Hz를 포함하며, 주로 교감신경계의 활동에 의해 나타난다. 0.15Hz-0.4Hz는 높은 주파수 대역 (High Frequency : HF)으로 분류되며, 부교감신경계 (미주신경계)의 활성화를 의미한다. LF HRV는 주로 SA node에 대한 교감신경계의 영향이 커졌음을 의미하며, HF HRV는 부교감신경계의 영향이 커졌음을 의미하므로, LF와 HF의 상대비 (HF/LF Ratio)는 부교감신경계와 교감신경계의 상대적 균형 상태를 보여준다.

### 2.2.2 말초혈류량 (Plethysmogram)

광혈류량은 말초혈류를 측정하는 유용한 방법 중의 하나이다. 이것은 각 심장 박동에 대한 혈류 흐름에서 발생하는 펄스량 (pulse volume) 또는 펄스 진폭 (pulse amplitude)과 혈류량 (blood volume)을 측정한다. 펄스 진폭의 증가는 말초혈관 확장 (vasodilation)의 지표이며, 교감신경계의 억제에 의해 일어난다. 반대로 펄스 진폭의 감소는 교감신경계의 활성화로 인한 말초혈관의 수축 (vasoconstriction)을 의미한다 (Fig. 5).

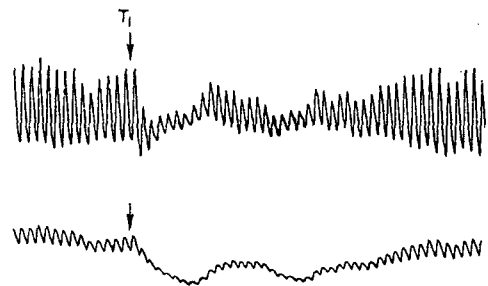
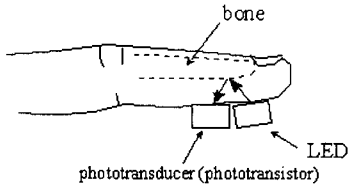


Fig. 5 Pulse volume (상단)과 blood volume (하단)

광혈류량은 손가락 끝에 광 센서를 부착하고, 센서에서 말초 혈관으로 빛 방출 다이오드 (light-emitting diode)를 적용시켜 측정된다. 반사되는 빛의 양은 말초혈관에서의 혈류량을 나타낸다 (Fig. 6).



Amount of light reflecting off of bone arriving at transducer depends on limb volume.

Fig. 6 말초혈류량 측정방법

말초혈류량은 주로 진폭을 이용하며, 이는 교감/부교감 신경계 활성화에 대한 유용한 생리 지표로서 혈관의 확장/수축 정도를 나타낸다. R wave 에서 말초혈류 신호의 peak 까지의 시간인 펄스 이동 시간 (Pulse Transit Time : PTT)도 분석할 수 있다. PTT는 좌심실에서 혈류가 방출될 때 혈압의 변화율을 측정하는 것으로 심장에 대한 교감신경계의 영향을 측정하는 지표로 사용된다. 즉 교감신경계가 활성화되어 심장에 미치는 영향력이 커지면 심장의 수축이 증가하여 혈류방출량이 증가하고 PTT가 줄어들게 된다.

### 2.3 피부전기활동 (Electrodermal Activity)

피부전기활동은 피부에서 전기적 저항 변화를 기록한 것이다. 피부활동계는 손가락과 손바닥에 집중적으로 분포되어 있는 땀선 (sweet glands)의 활동에 의한 것으로, 교감신경계 활동, 기저핵-변연계-피질 통제 뇌회로가 관여한다. 땀선의 분비 기관에는 교감신경계의 콜린성 섬유들을 공급하는 신경들이 풍부하므로 이것은 교감신경계와 피부전기활동간에 매우 밀접한 관계가 있음을 시사한다.

피부전기활동은 두 피부영역 사이의 전기적 전위차이를 기록하는 것으로, 두 손가락에 전극을 부착하여 측정된다 (Fig. 7).

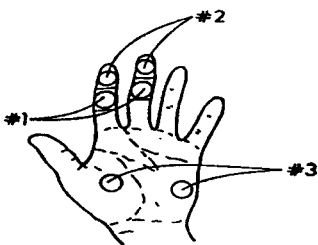


Fig. 7 피부전기활동 측정

피부전기활동은 순간적인 피부전도 변화인 피부전도반응 (Skin Conductance Response : SCR)과 비교적 오랫동안 유지되는 기저선의 전도수준을 의미하는 피부전도수준 (Skin Conductance Level : SCL)으로 나누어 볼 수 있다. 피부전기활동의 파라미터들에 대한 간단한 개념과 전형적인 값들을 Table 2에 제시하였으며, 주요 요소들은 Fig. 8에 나타나 있다.

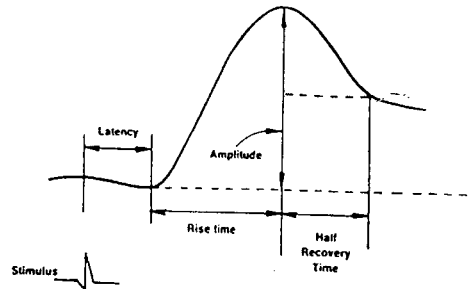


Fig. 8 피부전기활동의 주요 구성요소

Table 2 피부전기활동의 측정요소, 정의, 측정치

Measure	Definition	Typical Value
피부전도도 수준변화	다소 오랜 시간 동안 피부전도도 수준변화	2-20 $\mu$ S
NS-SCR의 수	특정한 자극이 없을 때 피부전기반응의 수	1-3 per min
ER-SCR amplitude	자극 제시 후 뒤따르는 전도도 반응 변화	0.2-1.0 $\mu$ S
ER-SCR latency	자극 제시와 피부전도 반응사이의 시간 간격	1-3s
ER-SCR Rise time	피부전도반응의 시작에서 peak까지의 시간	1-3s
ER-SCR half recovery time	피부전도반응의 peak에서 진폭의 50%까지 recovery 되는 시간	2-10s

피부전기활동은 각성 수준(arousal level)을 판단하는데 매우 타당한 것으로 여기지고 있다.

### 3. 생리신호를 이용한 감성연구 결과

#### 3.1 피부감각 감성 연구

다양한 재질과 직물촉각에 따른 생리 반응을 이용하여 감성을 구분한 연구결과를 소개한다.

##### 3.1.1 재질에 따른 피부감성

피부자극에 의한 쾌/불쾌 감성의 생리적 지표를 추출하기 위하여 제품이나 생활환경의 소재로 사용되는 재질들을 실험 참여자에게 제시하여 감성이 유발되는 동안 뇌파 신호를 측정하고, 쾌/불쾌를 주관적으로 평정하게 하였다.

본 연구에서 사용된 촉각자극은 양털, 밉크털, 사포, 표면에 돌출된 용기가 있는 금속이었다. 실험 참여자들은 양털자극이 가장 쾌한 감성을 일으켰고, 금속판에 대해 가장 불쾌한 감성을 느꼈다고 보고하였다. 가장 쾌/불쾌한 감성을 경험하였다고 보고한 자료에 대해 주파수 분석을 수행하였다.

쾌/불쾌 감성에 따른 뇌파의  $\alpha$ 파와  $\beta$ 파의 상대적 출현량을 비교한 결과, 쾌 감성을 경험할 때는 불쾌 감성을 경험할 때보다  $\alpha$ 파의 상대적 출현량이 좌/우전두엽 (F3, F4), 좌/우두정엽 (P3, P4), 좌후두엽 (O1)에서 유의미 하게 더 많이 나타났고 (Fig. 9), 좌/우후두엽 (O1, O2)에서  $\beta$ 파의 상대적 출현량은 유의하게 더 적게 나타났다 (Fig. 10).

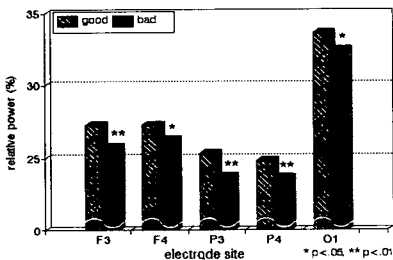


Fig. 9 쾌/불쾌 감성에 따른  $\alpha$ 파의 상대적 출현량 (good: 쾌감성경험시, bad: 불쾌감성 경험시/ F : 전두엽, P: 두정엽, O: 후두엽/ 홀수: 좌, 짝수:우)

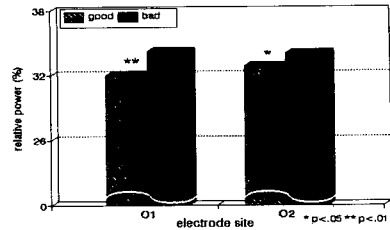


Fig. 10 쾌/불쾌 감성에 따른  $\beta$ 파의 상대적 출현량

또 다른 재질 자극들(마른 면, 비닐, 종이, 젖은 면)을 실험 참여자들에게 제시하는 동안 심전도를 측정하고, 쾌/불쾌 감성을 평가하도록 하였다.

HRV 분석결과, 쾌 감성 경험시 (부드러운 면 : dry cotton 과 비닐)에는 안정상태에 비교하여 HF/LF 값이 증가하지만, 불쾌 감성을 유발시키는 자극인 사포의 HF/LF 값은 감소하는 것으로 나타났다 (Fig. 11).

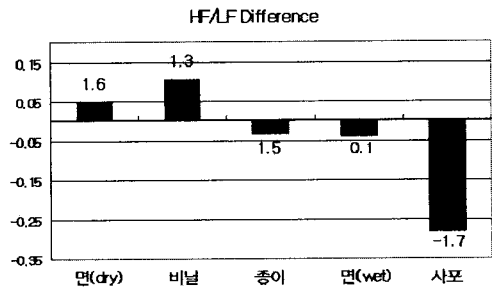


Fig. 11 쾌/불쾌 감성에 따른 HRV 분석

##### 3.1.2 내의 직물에 따른 피부감성

내의용 직물 18 종을 손에 수동적으로 접촉시킬 때 유발되는 주관적 감성 평가를 토대로 가장 선호되는 직물 3 종 (폴리에스테르)과 가장 비선호되는 직물 3 종 (면류)을 선정하였다.

내의용 직물 자극들은 자동화된 촉각자극 제시기에 의해 실험 참여자들의 왼손에 제시되었다. 본 연구에 사용된 촉각자극 제시기는 모터에 의해 자극 제시 속도와 압력을 제어할 수 있고, 실험 참여자들의 손 위치를 고정할 수 있도록 설계된 것으로 본 연구를 위해 자체적으로 개발한 시스템이다.

여섯 내의용 직물이 제시되는 동안 뇌파와 자

울신경계 반응을 기록하였고, 피부감성척도 (손진훈, 1998)를 이용하여 주관적 감성을 평가하도록 하였다. 생리 신호를 이용하여 선호/비선호를 판정할 수 있는 생리 지표를 밝히고자 하였다.

선호/비선호 감성에 따른 뇌파반응을 비교한 결과, 우두정엽(P4)에서  $\delta$ 파, slow  $\alpha$ 파 (8-9.9Hz), fast  $\alpha$ 파 (10-12.9Hz), fast  $\beta$ 파 (20-29.9Hz)에서 유의미한 차이를 보였다 (Fig.12). 자율신경계반응은 선호/비선호간에 심박률(HR), 호흡률(RESPI), 펄스이동시간(PTT), 피부전기활동 증가시간(SCRt) 등에서 유의미한 차이를 보여주었다 (Fig. 13).

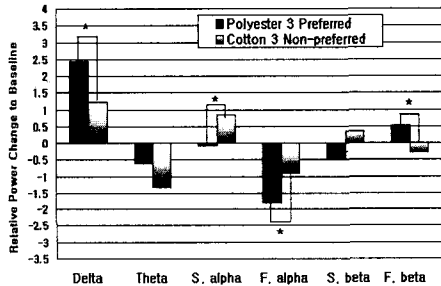


Fig. 12 선호/비선호에 따른 뇌파반응 비교

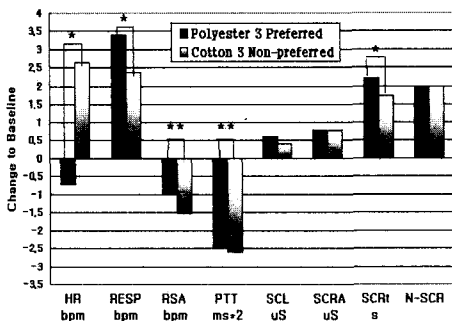


Fig. 13 선호/비선호에 따른 자율신경계반응 비교

### 3.2 청각 감성 연구

다양한 음원에 따른 감성변화, 음악이 스트레스에 미치는 효과를 생리 신호를 이용하여 연구한 결과를 간략히 소개한다.

### 3.2.1 쾌/불쾌 청각자극에 따른 감성

다양한 청각자극에 의해 유발된 주관적인 쾌/불쾌의 감성과 이에 수반되는 뇌파 및 자율신경계 반응의 특징적인 차이를 밝히고자 하였다. 10 종류의 자연음을 들려주고, 가장 쾌하다고 느낀 청각자극과 가장 불쾌하다고 느낀 청각자극이 제시되는 동안에 기록된 뇌파의 상대적 출현량과 피부전기활동을 분석하였다.

Fig. 14 와 Fig. 15 는 좌/우전두엽 (F3,F4), 좌/우측두엽 (T4/T3), 좌/우후두엽 (O1, O2)에서 slow  $\alpha$  파와 fast  $\beta$ 파의 상대적 출현량을 세 조건별(안정상태, 쾌감성, 불쾌감성)로 비교한 결과를 보여준다. Slow  $\alpha$ 의 출현량은 여섯 부위에서 모두 안정상태에 비교하여 쾌/불쾌 감성 경험시에 유의미하게 감소하였으며, 특히 불쾌 감성 경험시에 더 많이 감소하였다. 안정상태에 비교하여 쾌/불쾌 감성을 경험할 때, fast  $\beta$ 파의 상대적 출현량은 유의미하게 증가하였으며, 특히 불쾌 감성 경험시에 더 많이 증가하는 것으로 나타났다.

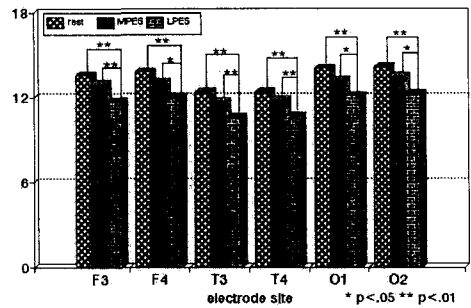


Fig. 14 쾌/불쾌 감성에 따른 slow  $\alpha$ 파 반응 (rest : 안정상태, MPES: 쾌감성, LPES: 불쾌감성)

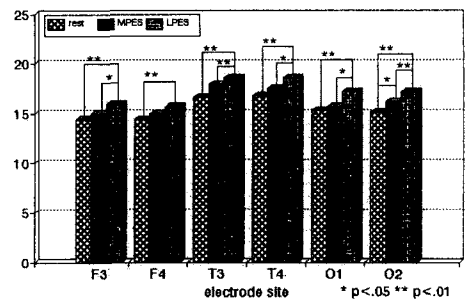


Fig. 15 쾌/불쾌 감성에 따른 fast  $\beta$ 파 반응

쾌 감성 경험시에 피부전도반응의 진폭 (amplitude), 크기 (magnitude) 등은 유의미하게 적게 증가하였고, 피부전도수준 (TonicSCL)은 안정상태와 비교하여 쾌 감성 경험시 유의미하게 감소한 반면, 불쾌 감성 경험시에는 증가하였다 (Fig. 16).

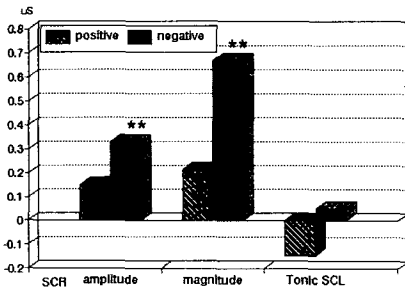


Fig. 16 쾌/불쾌 감성에 따른 fast  $\beta$ 파 반응 (positive : 쾌 감성, negative : 불쾌 감성)

### 3. 2.2 청각자극에 의한 스트레스 감소 효과의 심리생리학적 연구

시각자극을 제시하여 스트레스 (부적감성)를 유발하고 이에 수반되는 뇌파 및 자율신경계의 스트레스 반응이 후속적으로 제시된 쾌/불쾌 감성을 유발하는 청각자극에 의하여 어떻게 변화하는가를 분석하였다.

협오적인 시각자극에 의해 유발된 스트레스를 경험하는 동안 안정상태와 비교하여  $\alpha$ 파가 유의미하게 감소하였으며, 심박률, 호흡률, 피부전기활동 등의 자율신경계 반응들도 유의미하게 변화하였다.

Fig. 17 과 Fig.18 은 안정상태, 스트레스 유발, 청각자극, 후기 안정상태의 네 조건에서 slow  $\alpha$ 파의 상대적 출현량을 나타낸 것이다. slow  $\alpha$ 파의 상대적 출현량은 안정상태에 비하여 스트레스를 경험하는 동안 감소하였다가 1/f 음악을 제시 받는 동안과 후기 안정상태에서는 다시 증가하였다. 후기 안정상태에서 slow  $\alpha$ 파의 상대적 출현량은 스트레스가 유발되기 전 안정상태와 거의 비슷한 수준으로 회복 (recovery)되었음을 알 수 있다 (Fig 17). 반면, 스트레스가 유발된 후에 백색 소음 (white noise)을 제시한 경우에는 스트레스 조건에 비해 백색소음 제시와 후기 안정상태 두 조건에서

slow  $\alpha$ 파의 상대적 출현량이 증가하지만, 초기 안정상태로 완전히 회복되지 않는 것으로 나타났다 (Fig. 18).

스트레스를 유발시킨 후, 1/f 음악과 같은 편안하고 쾌적한 음악의 제시해주면, 백색소음과 같은 불쾌한 소리를 들을때보다 스트레스 생리 반응이 보다 빨리 회복된다는 것을 알 수 있다.

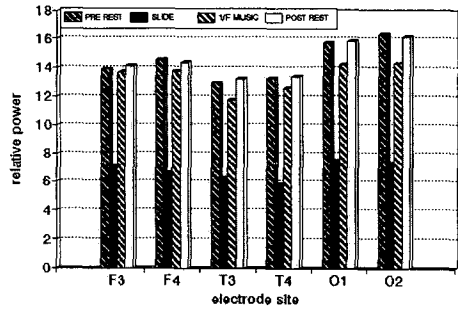


Fig. 17 안정상태, 스트레스, 1/f 음악, 안정상태 조건에서의 slow  $\alpha$ 파의 상대적 출현량 (PRE REST : 초기 안정상태, SLIDE: 스트레스, 1/F MUSIC : 1/f 음악, POST REST : 후기 안정상태/ F3, F4 : 좌우전두엽; T3, T4 : 좌우측 두엽; O1, O2 : 좌우후두엽)

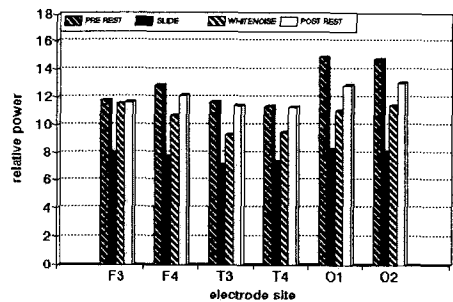


Fig. 18 안정상태, 스트레스, 백색소음, 안정상태 조건에서의 slow  $\alpha$ 파의 상대적 출현량 (PRE REST : 초기 안정상태, SLIDE: 스트레스, WHITENOISE : 백색소음, POST REST : 후기 안정상태)

Fig 19 는 스트레스 조건과 1/f 음악, 백색소음, 소리가 제시되지 않은 조건 각각에 대한 피부전도 반응의 크기를 나타낸 것이다. 스트레스를 경험하

는 동안 피부전도 반응의 크기가 증가하였다가 1/f 음악과 소리가 제시되지 않은 조건에서는 감소하지만, 불쾌한 백색소음을 들려주면 피부전도 반응의 크기가 더 많이 증가하였다.

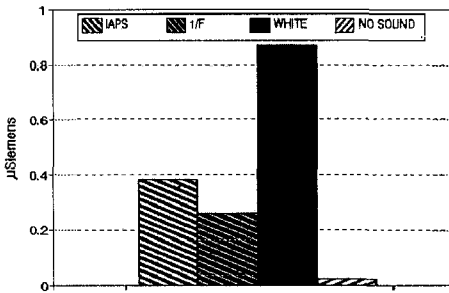


Fig. 19 스트레스, 1/f 음악, 백색소음, 소리가 제시되지 않은 조건에서의 피부전도반응의 크기 비교

### 3.2.3 자동차 경적음에 대한 감성 연구

여러 제품의 자동차 경적음에 대한 생리적 반응 특성을 연구하기 위해 경적음의 정신물리적 특성을 크기, 날카로움, 거칠기 및 음조 등으로 구분하였고, 이들 특성과 생리적 반응간의 관계를 연구하였다.

경적음은 무향실에서 경적의 정면으로부터 1m 떨어진 지점에 위치한 인조머리 (artificial head)를 통하여 DAT 테이프에 녹음되었다. 인조머리의 양쪽 귀에는 마이크로폰이 설치되어 있어, 실제 사람이 두 귀를 통해 소리를 듣는 조건과 유사한 상황에서 음이 기록되었다. 7개 자동차 제품의 경적음에 대한 정신물리적 특성을 분석하였다.

녹음된 경적음은 방음실에서 라우드 스피커를 통하여 재생되었다. 7개 경적음이 제시되는 동안 실험 참여자들의 생리 반응을 측정하였다.

Fig. 20은 자동차 경적음의 물리적 특성(음향 특성)과 생리 반응들간의 상관관계를 보여준다. 후두엽에서 fast  $\alpha$ 파의 크기, 날카로움과 부적 상관관이 있고( $r=-.88, -.84$ ), 측두엽의 slow  $\alpha$ 파와 fast  $\alpha$ 파는 음의 거칠기와 부적 상관관이 나타났다 ( $r=-.83, -.85$ ). 호흡률과 피부전기활동의 증가시간은 음의 날카로움과 높은 정적 상관을 보여주었으며 ( $r=.78, .83$ ), 음의 크기와도 정적 상관관이 있었다 ( $r=.79, .76$ ). 요약하면, 음의 크기와 날카로움이 증

가하면, 후두엽에서 fast  $\alpha$ 파와 피부전도수준이 감소하고, 호흡률과 피부전도반응은 증가하는 것을 알 수 있다.

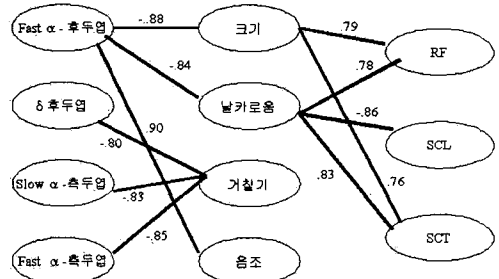


Fig. 20 자동차 경적음의 정신물리적 특성과 생리 반응과의 관계 (RF: 호흡률, SCL:피부전도수준, SCT:피부전기활동의 증가시간)

### 3.3 스트레스 연구

배경소음과 인지과제 수행에 따른 스트레스에 대한 감성 변화와 장기간 스트레스에 노출되었을 때의 생리 감성 변화를 생리 신호를 이용하여 측정하는 연구 결과를 소개한다.

#### 3.3.1 인지과제 수행시 배경소음의 크기에 따른 생리 반응 연구

인지과제 수행시 배경소음의 크기를 세 수준으로 조작하여, 배경소음의 크기에 따른 생리적 반응 패턴을 규명하고, 다양한 생리 반응을 이용하여 각 소음 수준을 변별하는 최적 스트레스 함수식을 개발하였다.

실험 피험자들은 스피커를 통해 제시되는 10개의 단어를 암기한 후, 백색소음과 함께 제시되는 10개의 단어를 들으면서 재인검사를 수행하였다. 이 과정이 세 번 반복되는 동안, 각 조건에서 백색소음의 크기 수준(55dB[A], 70dB[A], 85dB[A])이 조작되었다. 기억과 재인 과제 동안 생리 신호가 측정되었다.

심장박동률, HF/LF, 혈류량, 피부전도수준, 피부전기활동 등에서 스트레스가 유발되는 세 수준에 따른 유의미한 차이가 있었다. 배경소음의 두 수준, 즉 55와 70dB[A]는 유사한 반응 프로파일로 나타나, 생리 반응에서 유의미한 차이가 거의 나타나지 않았고, 85dB[A]는 두 수준과 유의미하게 다른 반응 프로파일을 보여주었다.



55dB[A]의 소음 수준일때보다 소음이 증가할 수록 fast  $\beta$ 파의 상대적 출현량이 안정상태에 비하여 유의미하게 증가하였다 (Fig. 21). 피부전도반응 크기도 소음수준이 증가할수록 더 많이 증가하였다 (Fig. 22). 혈류량 (pulse volume)은 안정상태에 비교하여 감소하며, 소음수준이 증가할수록 더 많이 감소하는 것으로 나타났다 (Fig. 23). 소음 수준의 증가가 단어 재인을 어렵게 하여, 스트레스에 관련된 생리 반응을 유발시킨다는 것을 알 수 있다.

스트레스를 예측하는 스트레스 관련 생리지표로는 혈류량, 피부전기활동, 심장박동을 등이었으며, 생리 변인들을 이용하여 스트레스 유발수준을 50-60%정도 예측할 수 있었다.

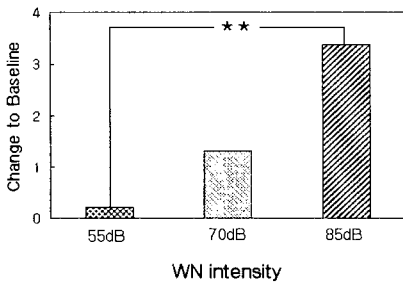


Fig. 21 배경소음 크기수준에 따른 fast  $\beta$ 파 반응

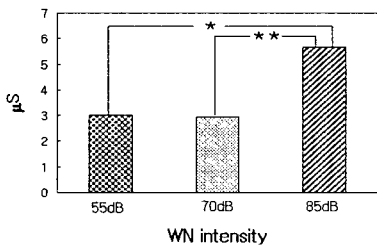


Fig. 22 소음 크기수준에 따른 피부전도크기 반응

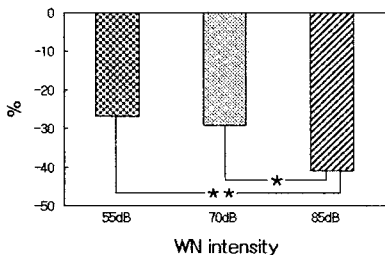


Fig. 23 소음 크기수준에 따른 혈류량 비교

### 3.3.2 스트레스 자극에 장기간 노출되었을 때 유발된 생리 반응 연구

일상생활에서 유발되는 스트레스에는 단기 스트레스도 있지만, 스트레스 상황에 장기적으로 노출됨으로써 유발되는 스트레스 반응도 있다. 백색 소음 (85dB[A])에 비교적 장기간 (30 분) 노출되는 동안 기록된 생리 반응을 분석하여, 장기 스트레스에 대한 생리적 반응 특성을 연구하였다.

장기 스트레스 자극인 소음에 노출되는 동안, 생리 반응에서 특이한 변화를 관찰하였다. Fig. 24는 LF와 HF 성분의 변화 패턴을 보여준다. 부교감 신경계의 활성을 의미하는 HF 성분은 소음 노출 10분 동안 증가하지만 시간이 흐름에 따라 점차 감소하고, LF 성분은 처음 10분 동안 증가한 후, 이후 5분 동안 감소하다가 다시 증가하기 시작하여, 25분에 가장 높은 peak에 도달하고, 이것은 교감신경계가 활성화되었음을 의미한다.

대부분 생리반응에서 스트레스 노출 초기에는 단기 활성화에 의한 순간적인 반응이 일어나고, 이어서 지속적인 교감신경계의 지배에 의한 두 번째 큰 반응이 일어났다 (Fig. 25).

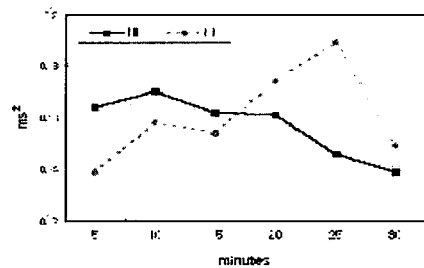


Fig. 24 장기 스트레스에 대한 HF와 LF 성분의 반응비교

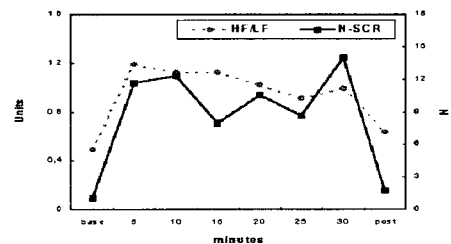


Fig. 25 장기 스트레스에 대한 HF/LF, N-SCR 반응 비교 (N-SCR: 피부전도반응의 수)

### 3.4 감성 특정적 생리반응 연구

정서 및 감성의 심리, 생리 측정 지표 개발 연구에서 생리 반응을 이용하여 정서/감성을 구분하고자 하였다. 성인과 아동의 정서/감성 특정적 생리 반응 (emotion-specific physiological responses) 특성에 대해 기술하고자 한다.

#### 3.4.1 성인의 감성 특정적 생리반응 연구

정서 및 감성을 유발하기 위해 사용된 자극은 국제정서사진체계 (International Affective Picture System: IAPS)에서 추출되었다. 주관적 평정 결과를 토대로, 여섯개의 일차정서를 가장 잘 유발한다고 판단되는 사진 자극을 선정하였다. 실험참여자들이 여섯 장의 사진자극을 보는 동안 생리 반응들을 기록하였다.

뇌파분석 결과, slow  $\alpha$ 파 (좌/우전두엽), fast  $\beta$  파 (우전두엽, 우후두엽)의 상대적 출현량 변화값이 일부 일차 정서들간에 유의한 차이가 있었다 (Fig. 26). 심박률, 호흡률, 피부전도반응도 일부 정서들간에 유의미한 차이를 보여주었다 (Fig.27).

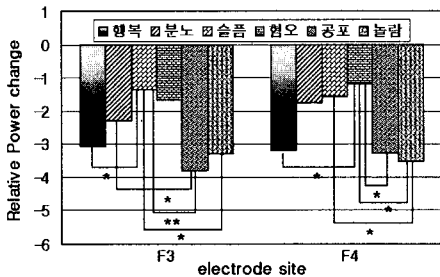


Fig. 26 여섯 정서에 따른 slow  $\alpha$ 파의 상대적 출현량 변화값

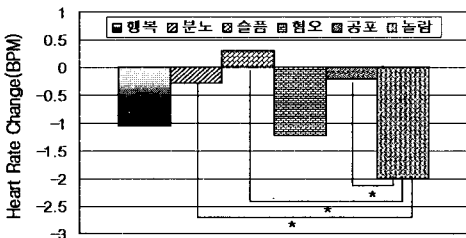


Fig. 27 여섯 정서에 따른 심장박동률 변화값

#### 3.4.2 아동의 감성 특정적 생리반응 연구

아동은 정서/감성에 대한 생리적 반응이 성인과 다소 다르다. 아동의 감성에 대한 생리 반응 연구는 여러 가지 연구의 어려움 때문에 거의 수행된 바가 없다. 본 연구에서는 아동의 정서를 유발하기 위해 이야기와 함께 음악·색깔·정서전달도구를 이용하여 다섯 정서를 유발시키는 상황을 구성하였다. 아동 실험 참여자들이 정서유발상황을 경험하는 동안 생리적 반응을 기록하였다.

Fig. 28은 정서를 경험할 때 아동에게 나타나는 심장박동률 반응 패턴을 보여준다. 아동이 분노 정서를 경험할 때 심장박동률은 유의미하게 증가하고, 슬픔 정서를 경험할 때 유의미하게 감소하였다. 말초혈류량의 변화는 정서 경험시 모두 감소하였으며, 특히 분노 정서 경험시 다른 정서들보다 유의미한 감소를 보여주었다 (Fig. 29).

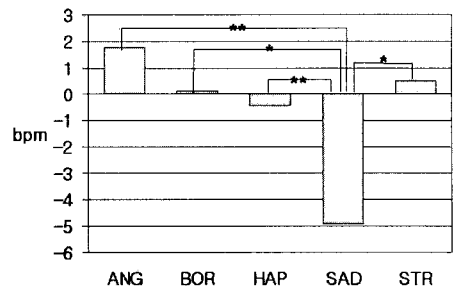


Fig. 28 아동 정서에 따른 심장박동률 반응 (ANG: 분노, BOR: 무로함, HAP: 기쁨, SAD: 슬픔, STR: 스트레스)

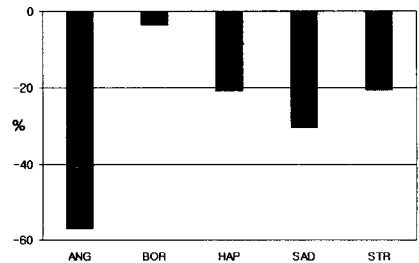


Fig. 29 아동 정서에 따른 혈류량 비교

아동 정서/감성 구분에 중요한 생리변인들은 심장박동률, 혈류량, 피부온도, 피부전도수준, 피부전도반응의 수, LF 성분들로 나타났다. 아동의 정서 중 분노가 가장 잘 구분되며, 슬픔, 스트레스,

무리함 등도 구분 가능한 것으로 나타났으나, 기쁨은 다른 정서와 비교해 볼 때 변별력이 떨어지는 것으로 나타났다.

#### 4. 결론

최근 들어, 인간의 감성에 대한 관심이 증가되면서, 감성공학이라는 새로운 연구 분야를 탄생시켰다. 감성공학이란 인간의 감성을 정성, 정량적으로 측정하는 평가방법을 개발하여 소비자의 감성요구를 충족시킬 수 있는 제품의 설계 및 생산에 적용함으로써 직접적으로는 제품의 부가가치 및 경쟁력을 높이고, 궁극적으로는 인간의 삶의 질 향상에 이바지하고자 하는 인간(사용자) 중심의 응용기술 분야라 할 수 있다.

감성 연구에서 가장 중요한 것 중 하나는 어떻게 감성을 객관적, 정량적으로 측정하느냐의 문제이다. 본 논문에서는 감성을 보다 객관적, 정량적으로 측정하는 생리 신호 측정 기술을 소개하였고, 다양한 생리 신호를 이용한 연구 결과들을 간략히 요약하였다.

생리 신호는 인간의 다섯 감각자극(시각, 청각, 미각, 후각, 피부감각)뿐만 아니라 복합자극, 피로/스트레스에 의한 감성 변화를 객관적으로 측정할 수 있다. 본 논문에서 소개한 연구 성과들은 생리신호 측정 기술을 이용한 정량적인 감성 측정의 가능성을 시사한다. 생리 신호 기술에 의해 개발된 감성 생리지표는 심미성, 쾌적성 등과 같은 감성을 고려한 고부가가치 제품의 설계 및 생산에 응용할 수 있다.

또한 감성 특정적 생리 반응 연구들은 감성 생리 연구의 기초자료로서, 특히, 컴퓨터의 사용자 감성인식 기술, 인간 감성에 의한 컴퓨터 모델 등에 직접적으로 활용할 수 있다.

마지막으로 생리 신호 측정 기술을 이용한 감성 연구들이 보다 체계적이고, 학제적으로 이루어져, 결과적으로 감성 DB 및 데이터 서비스 체제 구축함으로써 연구자의 편의성, 효율성, 쾌적성을 고려한 감성 연구들이 활발히 진행되길 희망한다.

#### 참고문헌

1. 김지은, 박연숙, 오애령, 최상섭, 손진훈, "직물촉각자극에 의해 유발된 정서와 EEG 특성," *감성과학*, 1(1), pp. 153-160, 1998.
2. 손진훈, 박현영, 이임갑, 최상섭, 강대임, "내의 직물의 역학적 특성과 질감 감성과의 관계," *감성과학*, 1(2), pp. 35-42, 1998.
3. 손진훈 외, "피부감각의 감성측정 기술 및 DB 개발 (연구보고서)," *과학기술부*, 1998.
4. 손진훈 외, "청각 감성측정 기술 및 DB 개발 (연구보고서)," *과학기술부*, 1998.
5. 손진훈 외, "스트레스 경감 장치 개발 (연구보고서)," *과학기술부*, 1999.
6. 손진훈 외, "정서 및 감성의 심리적, 생리적 측정 지표 개발 (연구보고서)," *한국과학재단*, 1999.
7. 손진훈, 이임갑, "직물 촉감감성 연구의 심리생리학적 접근," *섬유공학회지*, 2(4), pp. 439-450, 1998.
8. 양경혜, 이경화, 이정미, 최지연, 방석원, 김재우, 이형기, 손진훈, "아동정서유발 프로토콜 개발," *한국감성과학회 추계학술대회 발표논문집*, pp. 20-25, 2000.
9. 유은경, 손진훈, "EEG를 이용한 음의 쾌적성 지표 개발," *한국음향학회 전기음향 학술대회*, pp. 114-123, 1996.
10. 이배환, 박형준, 박용구, 손진훈, "뇌파 (Electroencephalogram: EEG)의 전기적 모형," *전기공학회지*, 46(5), pp. 3-10, 1997.
11. 최상섭, 조문재, 이경화, 민윤기, 오애령, 손진훈, "자동차 경적소리의 특성에 따른 뇌파 및 감성 반응," *한국감성과학 추계학술대회 발표논문집*, pp. 154-157, 1998.
12. 한국표준과학연구원, "감성공학 기반 기술 연구기획 공청회 자료," 1995.
13. Andressi, J. H., "Psychophysiology: Human behavior and physiological response," Lawrence Erlbaum Associates, 1995.
14. Boucsein, W., "Electrodermal Activity," Plenum Press, 1992.
15. Cacioppo, J. T., Uchino, B.N., Crites, S.L., Syndersmith, M.A., Smith, G., Berntson, G.G., Lang, P.J., "The relationship between facial expressiveness

- and sympathetic activation in emotion : A critical review, with emphasis on modeling underlying mechanisms and individual differences," *Journal of Personality and Social Psychology*, 62, pp. 110-128, 1992.
16. Cacioppo, J. T., Klein, D. J., Berntson, G.G., Hatfield, E., "The psychophysiology of emotion," In M. Lewis, J. M. Haviland (Eds.), *Handbook of emotions*, pp. 119-142, New York : The Guildford Press, 1993.
  17. Davidson, R.J., Ekman, P., Saron, C.D., Senulis, J.A., Friesen, W.V., "Approach-withdrawal and cerebral asymmetry: Emotional expression and brain physiology," *International Journal of Personality and Social Psychology*, 58, pp. 330-340, 1990.
  18. Dawson, M. E., Schell, A.M., Filion, D.L., "The electrodermal system," In J.T. Cacioppo, L.G. Tassinary (Eds.) *Principles of psychophysiology : Physical, social, and inferential elements*, pp. 295 - 324, Cambridge University Press, 1990.
  19. Ekman, P., Levenson, R. W., Friesen, W.V., "Autonomic nervous system activity distinguishes among emotions," *Science*, 221, pp. 1208-1210, 1983.
  20. Hugdahl, K., "Psychophysiology: The Mind-body perspective," Harvard University Press, 1995.
  21. Lang, P. J., Greenward, M. K., Bradley, M.M., Hamm, A.O., "Looking at pictures : Affective, facial, visceral, and behavioral reactions," *Psychophysiology*, 30, pp. 261-273, 1993.
  22. Lee, K.-H., Yi, I., Sohn, J.-H., "Development of psychophysiological Indices for discrete emotions," *Korean Journal of The Science of Emotion & Sensibility*, 2(2), pp. 43-52, 1999.
  23. Levenson, R.W., Ekman, P., Heider, K., Friesen, W.V., "Emotion and autonomic nervous system activity," *Psychophysiology*, 27, pp. 363-384, 1990.
  24. Levenson, R.W., "Autonomic nervous system patterning in emotion," *Psychological Science*, 3, pp. 23-27, 1992.
  25. Papillo, J. F., Shapiro, D., "The cardiovascular system," In J.T. Cacioppo, L.G. Tassinary (Eds.) *Principles of psychophysiology : Physical, social, and inferential elements*, pp. 456-512, Cambridge University Press, 1990.
  26. Sokhadze, E., Yi, I., Lee, K.-H., Sohn, J.-H., "Passive and active touch of fabrics: Psychophysiological Responses modulation by the emotional preference of touched textures," *Korean Journal of The Science of Emotion & Sensibility*, 1(2), pp. 13-22, 1998.
  27. Sohn, J.-J., Sokhadze, E., Choi, S., Lee, K.-H., "Autonomic, Respiratory and subjective effects of long-term exposure to aversive loud noise : Tonic effects in accumulated stress model," *Korean Journal of The Science of Emotion & Sensibility*, 2(2), pp. 37-42, 1999.
  28. Stern, R. M., Ray, W. J., Quigley, K.S., "Psychophysiological Recording," Oxford University Press, 2001.