

# 장면 시자극에 대한 감성측정에 관한 연구

김동윤, 김동선, 권의철, 임영훈, 손진훈  
 연세대학교 의용전자공학과  
 세명대학교 전기전자공학부  
 충남대학교 사회과학대학 심리학과  
 강원도 원주시 흥업면 매지리 연세대학교  
 dongkim@bubble.yonsei.ac.kr(김동윤)  
 lumi@mipl.yonsei.ac.kr(김동선)  
 firebird@mipl.yonsei.ac.kr(권의철)  
 yhrim@mipl.yonsei.ac.kr(임영훈)  
 jhsohn@hanbat.chungnam.ac.kr(손진훈)

## Human Sensibility Measurement for the Visual Picture Stimulus

D. Y. Kim, D. S. Kim, E. C. Kwon, Y. H. Rim, J. H. Sohn  
 Department of Biomedical Engineering, Yonsei University  
 College of Electricity, Semyung University  
 Department of Psychology, College of Social Science, Chungnam University

### Abstract

We present several biosignal measurement results and analysis algorithms for the visual stimulus from International Affective Picture System. Since human body is nonlinear dynamic system, we investigated both linear and nonlinear methods. We found that the alpha wave of EEG, the chaos of peripheral blood pressure, the LF/HF of HRV and the return map of RR interval were good parameters for the measurement of human sensibility. These can be used as the parameters for the measurement of human sensibility.

### 서론

본 연구에서는 외부의 물리적 시자극의 한 방법으로 장면자극을 제시하고 이에 대한 인간 내부의 생리적 변화를 생체신호 계측장비를 이용하여 측정하며 이로부터 장면자극에 대한 생체신호의 파라미터를 선형 및 비선형적으로 구하였다.  
 최근 많은 논문들에서 생체 시스템이 비선형 동역학

시스템이라는 사실이 증명되고 있고 카오스를 이용하여 정량화 하려는 많은 논문들이 발표되었다. 그러므로 본 연구에서는 기존의 선형 분석방법들과 비선형 분석방법들을 병행 이용하여 장면 시자극에 대해 측정된 생체신호들을 분석함으로써 피검자의 생리, 심리적 변화를 파악하고 이로부터 인간 감성을 측정하고자 한다.  
 감성의 측정을 위하여 뇌전위의 상대전력비, 말초혈류량의 상관차원과 리아프노프 지수, 심박변화율의 전력 스펙트럼, 회귀도를 분석하였다. 뇌전위는 쾌자극시  $\alpha$ 파가 증가하고  $\beta$ 파가 감소하였으며 말초혈류량의 카오스는 쾌자극시 불쾌자극시보다 큰 값을 가졌고 심박변화율도 감성의 변화에 유의미한 변화를 보였다.

### 실험방법

#### 1. 장면 자극의 선정

160명의 대학생들에게 International Affective Picture System(IAPS)[1]의 그림들을 보여주고 주관적 평가를 실시하여 이 결과를 생리신호 측정시 제시되는 장면자극으로 사용하였다. IAPS는 플로리다 대학 심리학과와 Peter Lang교수가 개발하여 국제적으로 통용되고 있는

표준화된 감성자극 체계로서 일상생활의 사진 500장으로 구성되어 있다.

IAPS의 그림중 2개의 정서(기쁨, 혐오)를 가지는 그림과 중립가를 가지는 그림 20장을 선택하여 각각 10장씩 A군, B군으로 나누고 남녀 대학생 160명에게 각 그림을 8초간 제시하여 주관적 평가를 실시하였다. 자극은 2일 간격으로 두번 제시되며 첫째날은 semantic differential scale(SDS)을, 둘째날은 self-assessment manikin(SAM)을 작성하였다. SDS와 SAM은 슬라이드가 제시된 후 그림에 대한 피험자의 느낌을 평정하기 위한 질문지로서 SDS는 18개의 행동사가 7점 척도로 제시되며 SAM은 행복-불행 척도, 흥분-평온 척도, 위축-의연함 척도가 9점 척도의 그림으로 제시된다. 주관적 평가의 결과에 따라 2개의 정서가를 가지는 4장의 슬라이드와 중립가를 가지는 6장의 슬라이드를 선택하고 이를 생리신호 측정시 장면 자극으로 사용하였다.

## 2. 실험 환경

장면자극 제시 및 측정을 위하여 그림 1과 같은 방음 및 차폐된 측정실(3.8×4×2.5m<sup>3</sup>)을 구성하였다. 측정 생리 신호는 EEG(O1, O2, F3, F4 reffered A1, A2), ECG(RA, LA, RF), GSR, RSP, PBP이다. 자극 제시 장치는 슬라이드와 스크린을 사용하였고 EEG 앰프는 GRASS사의 4채널 Model 12를, PBP 앰프는 OP 앰프를, ECG, GSR, RSP 앰프는 BIOPAC사의 MP100WS를 각각 사용하였다. 샘플링 주파수는 1000Hz이었다.

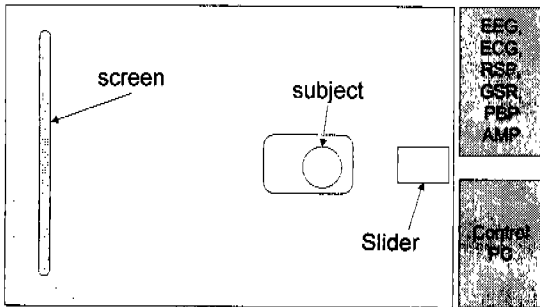


그림 1. 실험실 구성

## 3. 실험 과정

본 실험에 참여한 피험자는 세명대학교에 재학중인 26명의 건강한 20~24세 사이의 여대생이었다. 피험자는 측정 1시간 전에 실험실에 도착하고 사상체질 및 자기평가 심리측정 설문지를 작성한다. 평가가 끝나면 전극을 부착한다. 측정실에서 피험자는 눈을 감은 상태와 눈을 뜬 상태에서 각각 휴식을 취한 후 장면자극을 제시받는다. 자극의 제시 순서는 쾌, 불쾌, 중립자

극 순서이며 슬라이드 제시 시간은 각각 60초이고 매번마다 5분간 주관적 평가를 실시하였다. 본 실험에서는 위의 과정을 2회 반복 실시하였으며 생리신호는 슬라이드가 제시되는 동안 측정되었다.

## 4. 분석 방법

제안된 분석 알고리즘들을 통합적으로 구현하기 위하여 감성 분석 시스템을 설계하였다. 분석용 컴퓨터로 Pentium Pro 200 PC를 사용하였고, Windows 95를 기반으로 하고 Visual C++ 5.0을 사용하여 개발하였다. 이 프로그램을 이용하여 최대 16채널까지 화면에 디스플레이하고 선택할 수 있으며 FFT, AR, HRV 획득, 2D/3D 어트랙터, 1/f 주파수, 상호정보량, 상관차원, 리아프노프 지수, 회귀도의 분석이 가능하다.

### 4.1 EEG의 상대전력비

$\alpha$ 파와  $\beta$ 파가 감성 변화에 민감한 반응을 보이는 변수인 것으로 알려져 있으며 눈을 감고 안정한 상태에서는  $\alpha$ 파가 주로 발생하고 각성상태에서는  $\alpha$ 파가 사라지면서  $\beta$ 파가 주를 이루는 것이 일반적인 반응이다. 감각자극을 주면  $\alpha$ 파는 억제되는데, 특히 눈에 광선을 비추면 0.27~0.5초 후에 뚜렷한 억제가 일어난다. 본 실험에서는 눈을 뜬 채로 장면을 보기 때문에 안구운동의 영향을 받는  $\delta$ 파를 제외시킨  $\alpha$ 파와  $\beta$ 파의 출현률  $\alpha'$ ,  $\beta'$ 를 식 1과 같이 설정하였다.

$$\alpha' = \frac{\alpha}{\alpha + \beta + \theta}, \beta' = \frac{\beta}{\alpha + \beta + \theta} \quad (1)$$

또한 시각자극의 경우 눈을 항상 뜬 상태에서 빛의 자극을 받으므로  $\alpha$ 파는 대부분의 경우  $\beta$ 파 보다 작게 나온다. 그러므로  $\beta$ 와  $\alpha'$ 의 차이  $\beta - \alpha'$ 를 비교하여 조사하였다.

### 4.2 카오스 특성 조사

말초혈류량은 자율신경계와 심혈관계의 변화를 잘 반영한다. 기쁨, 슬픔, 분노, 흥분등의 심리상태에 따라 교감 신경과 부교감 신경이 반응하며 이것은 심혈관계를 자극하고 결국 혈류량의 변화를 유발한다. 생체 시스템이 비선형 동역학 시스템이라는 이론이 최근 많은 논문들에서 증명되고 있으며 말초혈류량은 생체 카오스의 대표적 신호이다.

본 연구에서 말초혈류량의 상관차원은 2~4차원 이내의 비정수 값을 가졌다. 의미있는 차원값의 추정을 위해서는 데이터의 길이가  $N > 10^{(CD/2)}$ 을 만족해야 하는데 본 연구에서는 6000개 이상의 데이터를 사용하여 조건을 만족하였다. 카오스 특성을 나타내는 방법들은 다음과 같다.

### 4.2.1 어트랙터 재구성

카오스 운동을 하는 시스템의 일차원 시계열 데이터를 위상공간상에 임베딩하는 방법을 이용하여 원래 카오스의 운동을 기술하는 것이 가능한데 이것을 카오스 어트랙터라고 한다. 시계열 데이터  $X(t)$ 는 시간지연 좌표계를 이용하여  $M$ 차원 공간에 재구성하기 위해 시간간격  $d$ 만큼 이동한 데이터를 이용하여 식 2와 같은 벡터를 구성하게 되어  $M$ 차원 어트랙터를 얻을 수 있다.

$$X(t) = \{x(i), x(i+d), \dots, x[i+(M-1)d]\} \quad (2)$$

그림 2는 말초혈류량의 3차원 어트랙터이다.

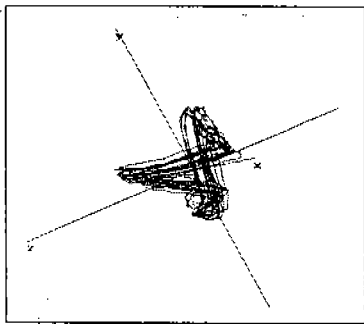


그림 2. 말초혈류량의 3차원 어트랙터

### 4.2.2 지연시간의 설정

어트랙터의 재구성에 있어서 지연시간의 설정은 매우 중요한 문제이다. 본 연구에서는 Fraser[2]의 상호정보량 알고리즘을 이용하여 지연시간을 설정하였다. 어트랙터 상의 점들간에 상호정보량을 시간을 변화시켜 가며 구한 값 중 첫 번째 국부 최소값을 갖는 부분의 시간을 지연시간으로 설정하는 방법이다.

### 4.2.3 1/f 특성 조사

Kobayashi[3]가 제안한 1/f 스펙트럼은  $f$ 의 함수  $P(f)$ 가 식 3과 같은 특성을 갖을 때( $F$ 는 파워 스펙트럼) 1/f 특성을 가진다고 한다.

$$P(f) = 1/f^\alpha \quad (3)$$

1/f 특성은 카오스와 일정한 상관관계를 지니고 있는 것으로 여겨진다. 그림 3은 말초혈류량의 1/f 주파수로써 음의 기울기를 통해 카오스임을 확인할 수 있다.

### 4.2.4 상관차원

상관차원이란 위상공간상에 있는 어트랙터 점들간의 상관관계를 나타내는 값으로 카오스의 경우 낮은 차원의 비정수 값을 가진다.

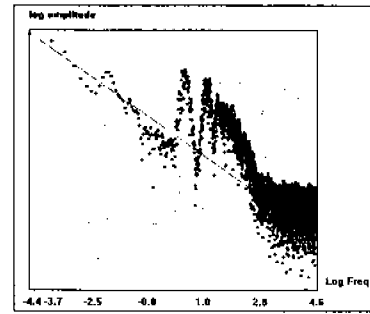


그림 3. 말초혈류량의 1/f 주파수

상관차원은 실험 데이터들로부터 그 값을 구하는 것이 정보차원이나 용량차원에 비해 용이하므로 많이 쓰이며 Grassberger와 Procaccia[4]의 알고리즘에 의해 구하는 것이 일반적이다. 상관차원은 위상공간에서  $r$ 보다 작은 거리에 의해 분리되는 점들의 쌍의 상대적인 개수를 결정하는데 근거를 둔다. 이것은 식 4에 의해 계산된다.

$$C(r) = \frac{2}{N(N-1)} \sum_{m=1}^N \sum_{n=m+1}^N \theta(r - \|\vec{y}(m) - \vec{y}(n)\|) \quad (4)$$

$$d_c = \lim_{r \rightarrow 0} \frac{\log(C(r))}{\log(r)}$$

실제로 상관차원을 구하는 방법은 충분한 임베딩 차원에 대하여 상관적분  $C(r)$ 를 구한 후 log-log좌표에서  $C(r)$ 대  $r$ 의 그래프를 그리고 적절한 비례형태를 보이는 부분의 기울기를 읽어 각 임베딩 차원에서의 상관차원을 구한다. 임베딩 차원이 증가함에 따라 상관차원은 증가하다가 어느 지점부터 더 이상 증가하지 않고 수렴한다. 이 부분의 임베딩 차원과 상관차원이 시스템의 고유한 값이다. 상관차원은 카오스의 경우 낮은 차원의 비정수 값을 가진다.

### 4.2.5 리아프노프 지수

카오스를 정의하는 특징은 "초기 조건에 민감한 의존성(Sensitive Dependence upon Initial Conditions, SDIC)"이다. SDIC은 시스템 상태의 작은 변화가 지수적으로 증가해서 결국 시스템의 행동을 완전히 지배함을 의미한다. SDIC은 리아프노프 지수들에 의해 정량화 된다. 만일 시스템이 적어도 하나의 양의 리아프노프 지수를 갖고 있으면 시스템은 카오스적이며 양의 지수가 크면 클수록 시스템은 더 카오스적이다. 즉, 시스템의 예측가능성은 더욱 짧아진다. 시스템은 어떤 수의 리아프노프 지수들도 가질 수 있으나 카오스임을 확인하기 위해서는 지배적인 지수가 양인지만 확인하면 된다. 그러므로 지배적인 지수의 추정은 매우 중요하다. 본 연구에서는 Wolf[5]의 알고리즘을 사용하였

다.

### 4.3 심박변화율

심박간격은 인체의 항상성을 유지하려는 자율신경계에 의해 변함이 알려져 있고, 이 심박간격을 연속적으로 기록한 것이 심박변화율(heart rate variability, HRV)이다. 이러한 심박변화율은 심장을 제어하는 자율신경계의 활동을 간접적으로 반영한다. 심전도로부터 HRV를 얻어 아래와 같은 방법으로 분석하였다.

#### 4.3.1 주파수 스펙트럼

HRV의 주파수 스펙트럼을 구하기 위하여 AR 모델링을 이용하였다. AR 모델링의 계수를 얻기 위하여 Burg 알고리즘을 이용하였고 최적 차수 결정을 위하여 final prediction error(FPE)방법을 사용하였다.

AR 모델링에 의한 주파수 스펙트럼  $P_i(f)$ 는 식 5와 같다.

$$P_i(f) = \frac{P_n(P)}{|1 + [\sum_{m=1}^p a(P, m) \exp(-j2\pi f m)]|^2} \quad (5)$$

주파수 스펙트럼의 저주파수 영역(0.01~0.09Hz, LF)과 고주파수 영역(0.15~0.5Hz, HF)의 비 LF/HF를 구하여 감성 파라미터로 사용하였다. LF/HF는 각 영역에서 특정한 자율신경계의 영향을 반영한다.

#### 4.3.2 회귀도

주파수 스펙트럼이 선형적인 방법이라고 하면 회귀도(return maps)는 비선형적인 방법이다. 심박변화율이 비선형적인 특성을 갖는다는 사실이 최근 많은 논문에서 보고되고 있다.

회귀도는 ECG데이터에서 획득한 연속적인 RR간격을 식 6과 같이 2차원 공간에 재구성하여 얻어진다.

$$I(i) = \{I(i), I(i+1)\} \quad (6)$$

식 7, 8, 9는 회귀도의 분산을 구하는 방법이다.

$$\sigma_x^2 = \frac{1}{N} \sum_{i=0}^{N-1} (x_i - \bar{x})^2 \quad (7)$$

$$\sigma_y^2 = \frac{1}{N} \sum_{i=0}^{N-1} (y_i - \bar{y})^2 \quad (8)$$

$$\sigma^2 = \sigma_x^2 + \sigma_y^2 \quad (9)$$

식 7과 8은 x, y축에서의 퍼짐의 정도를 나타낸 것이고 식 9는 전체 분산을 나타낸 것이다. N은 RR간격의 전체길이이다. 이 회귀도 분산을 이용하여 쾌, 불쾌 자극시의 심혈관계의 변화를 비선형적으로 구하였다. 그림 4와 5는 쾌, 불쾌자극에 대한 회귀도이다.

### 결과 및 고찰

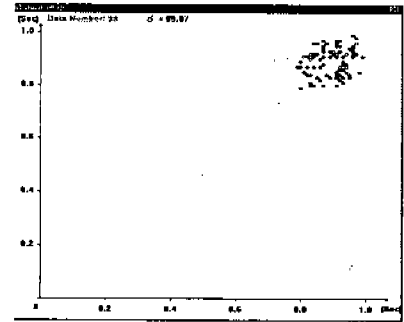


그림 4. 쾌자극시의 회귀도

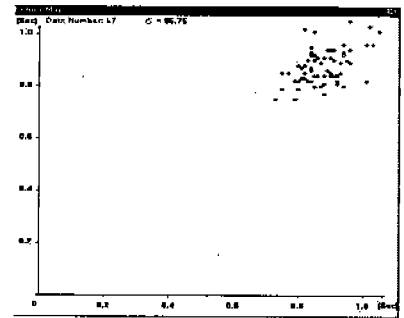


그림 5. 불쾌자극시의 회귀도

26명의 여자 대학생들을 대상으로 장면자극에 대한 심리지수 평가를 위해 SDS와 SAM 설문 조사를 실시하였다. 각각의 시자극 슬라이드에 대하여 쾌, 불쾌 심리지수 평가는 6쌍으로 된 형용사를 사용하여 표 1과 같은 결과를 얻었다. +1일 때 가장 쾌하고 -1일 때 가장 불쾌함을 의미한다. 각 시자극에 대하여 평균적으로 얻은 SDS, SAM 쾌, 불쾌 자기심리평가 방법은 대략 5% 이내의 차이를 두고 일치하는 것을 보였다.

장면자극	쾌	불쾌	쾌	불쾌
SDS	0.586	-0.600	0.651	-0.588
SAM	0.597	-0.629	0.694	-0.462

표 1. 주관적 평가의 결과

그림 6은 뇌전위의 O1, O2, F3, F4부위에서  $\beta - \alpha'$ 가 쾌자극보다 불쾌자극이 더 큰 경우를 나타낸 것이다. 시각 자극은 빛의 영향을 받으므로  $\alpha$ 파가 억제되어  $\beta$ 파가 상대적으로 매우 크게 나타므로 쾌자극과 불쾌자극간에 뚜렷한 차이를 보이지 못했다.

말초혈류량의 주파수 스펙트럼은 1/f 특성을 보였으며 상호정보량 알고리즘에 의한 말초혈류량의 지연시

간은 0.4초 부근이었다. 상관차원은 꽤-불쾌자극쌍의 상관차원, 리아프노프지수의 차는 표 2와 같다. 상관차원은 쾌자극시 불쾌자극시에 비해 상관차원이 유의미하게 큰 값을 보였으나 리아프노프 지수는 유의미한 값을 가지지 못했다.

심박변화율의 LF/HF와 회귀도 분산의 꽤-불쾌자극쌍에 대한 결과는 표 3과 같다. 두 경우 모두 쾌자극을 제시한 경우 불쾌자극을 제시한 경우보다 유의미하게 작게 나타났다.

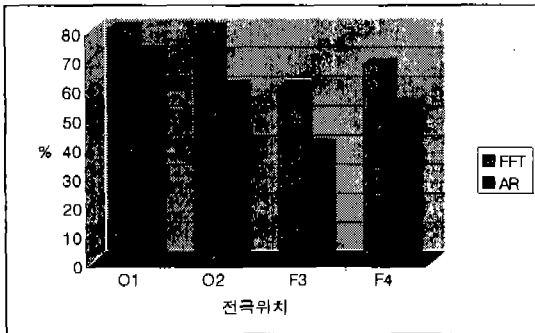


그림 6. FFT에 의한 각 전극 위치에서의  $\beta - \alpha$

상관차원			리아프노프 지수		
평균	표준편차	p	평균	표준편차	p
0.21	0.21	9.7e-8	0.002	0.022	0.54

표 2. 상관차원, 리아프노프 지수 (쾌자극시 - 불쾌자극시)

LF/HF			회귀도의 분산		
평균	표준편차	p	평균	표준편차	p
0.85	2.22	0.047	0.124	0.257	0.02

표 3. LF/HF와 회귀도 분산 (쾌자극시 - 불쾌자극시)

### 결론

본 논문에서는 피험자에게 IAPS의 장면 자극들을 제시하고 생체신호를 측정하여 선형 및 비선형 방법으로 분석하였다. 뇌전위의  $\alpha$ 파와  $\beta$ 파의 차는 쾌자극일 때 불쾌자극일 때 보다 감소하였다. 이것은 쾌자극일 때  $\alpha$ 파는 증가하고  $\beta$ 파는 감소하는 것을 의미한다. 말

초혈류량은  $1/f$  주파수 특성을 보였으며 상호정보량에 의한 지연시간은 0.4초 부근이었고 상관차원의 값은 2~4차원 사이의 비정수 값을, 리아프노프 지수는 0.01~0.1bits/sec 사이의 값을 보였다. 말초혈류량의 상관차원은 쾌자극일 때 불쾌자극일 때 보다 통계적으로 유의미하게 더 큰 값을 가졌는데, 이것은 쾌자극을 제시했을 때 카오스가 증가하고 불쾌자극을 제시했을 때 카오스가 감소하는 것을 의미한다. 리아프노프 지수는 통계적으로 유의미한 값을 가지지 못하였다. 심박변화율의 LF/HF와 RR 간격의 회귀도 분산은 쾌자극을 제시하였을 때 불쾌자극을 제시하였을 때 보다 작은 값을 보였다.

본 논문에서 제안된 감성 분석 시스템은 생체신호를 효율적으로 분석 할 수 있으며, 그 동안 간과되어왔던 비선형적 정보를 획득해 낼 수 있을 것이다.

### 참고 문헌

- [1] Margaret M., Bradley and Peter J. Lang, "Measuring Emotion: The Self-Assessment Manikin and the Semantic Differential", J. Behav. Ther. & Exp. Psychiat. Vol. 25, No. 1, pp. 49-59, 1994.
- [2] A. M. Fraser and H. L. Swinney, "Independent Coordinates for Strange Attractors from Mutual Information", Phys. Rev. A 33(1986), pp. 1134-1140.
- [3] M. Kobayashi and T. Musha, "1/f Fluctuation of Heart Beat Period", IEEE Trans. BME, Vol. 29, pp.456-457.
- [4] Peter Grassberger and Itamar Procaccia, "Characterization of Strange Attractors", Physical Review Letters, Vol.50, No.5, pp.346-349, Jan., 1983
- [5] Alan Wolf et. al., "Determining Lyapunov Exponents from a Time Series", Physica 16D, pp.285-317, 1985.
- [6] 이병채, 이명호, "생체 카오스의 비선형 시계열 데이터 분석에 관한 연구", 의용생체공학회지, 제15권, 제3호, pp.379-386, 1994
- [7] D. Hoyer, et. al, "Nonlinear Analysis of Heart Rate and Respiratory Dynamics", IEEE Engineering in Medicine and Biology, pp.31-39, Jan./Feb., 1997
- [9] Rollin McCraty, M.A, Mike Atkinson, and William A. Tiller: "The Effect of Emotion on Short Term Power Spectrum Analysis of Heart Rate Variability", the American Journal of Cardiology vol.76 Nov. 15, 1995; pp.1089-1092
- [10] Vibe, K., Vesin J., and Pruvot E., "Chaos and Heart Rate Variability", In Processings of the 1995 IEEE Engineering in Medicine & Biology Conference, Montreal, 1995.