

# 시각자극에 의한 긍정/부정 감성상태에서 측정된 뇌파에 대한 시간-주파수 분석

류창수<sup>†</sup>, 김승환<sup>†</sup>, 박선희<sup>†</sup>, 이임갑<sup>†</sup>, 김지은<sup>†</sup>, 손진훈<sup>†</sup>

<sup>†</sup>한국전자통신연구원 기초기술연구부

<sup>‡</sup>충남대학교 심리학과

E-mail: csryu@etri.re.kr

## A time-frequency analysis of the EEG in negative and positive emotional states evoked by visual stimuli

Chang Su Ryu<sup>†</sup>, Seunghwan Kim<sup>†</sup>, Seon Hee Park<sup>†</sup>

Imgap Yi<sup>‡</sup>, Ji-Eun Kim<sup>‡</sup>, and Jin-Hun Sohn<sup>‡</sup>

<sup>†</sup>Basic Research Laboratory, Electronics & Telecommunications Research Institute

<sup>‡</sup>Department of Psychology, Chungnam National University

### 요약

사람 사이의 가장 간단한 의사 표현인 긍정/부정을 뇌파를 통해 분별하려는 작업의 첫걸음으로 시각자극에 의해 일어난 긍정/부정 감성 상태에 대해 전두부와 후두부에서 뇌파를 측정하였다. 시간-주파수 분석을 행하고, 특정 주파수 세부 대역에서 상대출력의 시간에 따른 변화를 살펴 보았다. 긍정적 감성상태에서는 느린  $\alpha$ 파의 증가가, 부정적 감성상태에서는 빠른  $\alpha$ 파의 증가가 관찰된다. 이러한 상대출력의 시간에 따른 증감을 통해 긍정/부정 감성상태의 분별 규칙을 설정하여 측정된 뇌파에 적용해 보았다.

### 1. 서론

1929년 Hans Berger의 발견 이후, 두뇌 활동의 시공간적 측정 수단으로서 뇌파는 임상에 널리 활용되어 왔다. 최근에, 뇌파는 생체 되먹임 (biofeedback), 인간-기계 인터페이스[1]와 감성공학[2] 등으로 그 영역이 확장되고 있다. 신체의 움직임을 거치지 않고 두뇌와 기계와의 직접적인 인터페이스를 제공한다는 생각은 뇌파를 이용한 인간-기계 인터페이스에 대한 많은 시도를 낳게 하였다. 이러한 시도로서 운동 명령의 분별 [3], 정신적 과제의 분별[4]과 경각 수준의 모니터링[5] 등을 들 수 있다.

최근에, 인간 두뇌에서 일어나는 정보처리에 대해 새로운 시각을 제공한 방법으로는 상관 차원의 추정 [6]과 같은 비선형 동역학적 분석과 웨이브릿 변환과 같은 시간-주파수 분석을 들 수 있다. 깊은 잠을 잘 때와 간질병이 발작할 때에 측정된 뇌파는 저차원 카

오스적 행동을 나타냄을 비선형 동역학적 분석은 보였다 [7]. 그러나 각성상태에서 정상인의 뇌파에 대해서는 저차원에서 고차원에 이르기까지 일치하지 않는 결과를 보여주고 있다 [8]. 비선형 동역학적 분석은 많은 양의 데이터를 필요로 하기 때문에 뇌파의 실시간 응용과 비정상적인(nonstationary) 뇌파에 대한 적용에는 적합하지 않은 것으로 판단된다.

어떤 신호의 주파수 성분이 시간에 따라 변하는 비정상적인 경우, 신호 전체를 푸리에 변환할 경우, 어떤 성분이 있다는 사실은 알 수 있지만, 언제 또는 얼마 동안 지속되었는가에 대한 것은 알 수가 없다. 따라서 이런 경우는 성분이 변하지 않는 적절한 구간-이 구간 내에서는 정상적 신호라 할 수 있는 -에 대해 주파수 분석을 하고 이를 시간에 따라 반복하는 시간-주파수 분석이 필요하게 되며, STFT(short-time Fourier Transform), Wigner 분포와 웨이브릿 변환 등이 이에 속한다.

이 논문에서, 우리는 긍정/부정적 시각 자극이 주어졌을 때 측정된 뇌파에 대해 시간-주파수 분석을 행하고 이로부터 감성적 긍정/부정을 분별하고자 한다. 사람 사이의 가장 간단한 의사 표현인 “예”와 “아니오”를 뇌파를 통해 분별하고자 하는 작업의 첫 걸음이라 할 수 있다. 또한, 폐안시의  $\alpha$ 파 증폭이나 두뇌활동의 편측성을 이용한 연구가 의도와 그것을 이루기 위한 행위를 분리한 반면, 이 연구는 의도와 행위를 결합하려는 시도라는 점에서 그 차이를 찾을 수 있다.

## 2. 방법

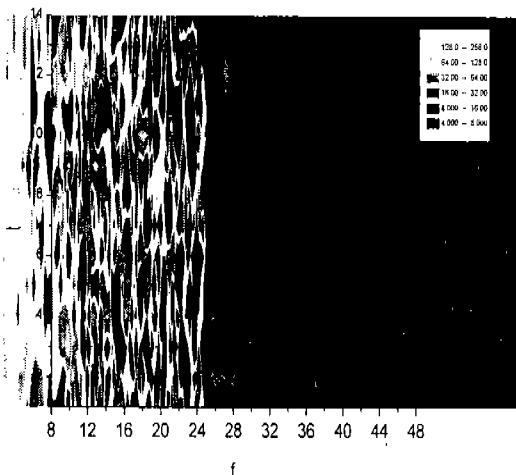
### 2.1 실험조건

시각자극은 IAPS(International Affective Picture System)을 통해 주어졌고, 뇌파는 전두부의 F3와 F4, 후두부의 O1과 O2 전극에서 측정되었다. 피험자는 대학생 18명(남자 5, 여자 13)으로 하였다. 먼저, 기준선 확립을 위해 60 초 동안 눈을 감은 상태에서 뇌파를 측정했고, 30 초 동안 눈을 뜬 상태에서 휴식상태에 대해 측정을 하였고, 자극이 제시되는 60 초 동안 감성상태에 대해 측정을 하였다. 다음 자극은 30 초 동안의 회복을 가진 후 제시되었다. 한 피험자에 대해 전체 14 장의 그림이 제시되었고, 실험이 끝난 후 각 그림에 대한 주관적 평가가 이루어졌다. 표본 추출 간격은 500 ms 이다.

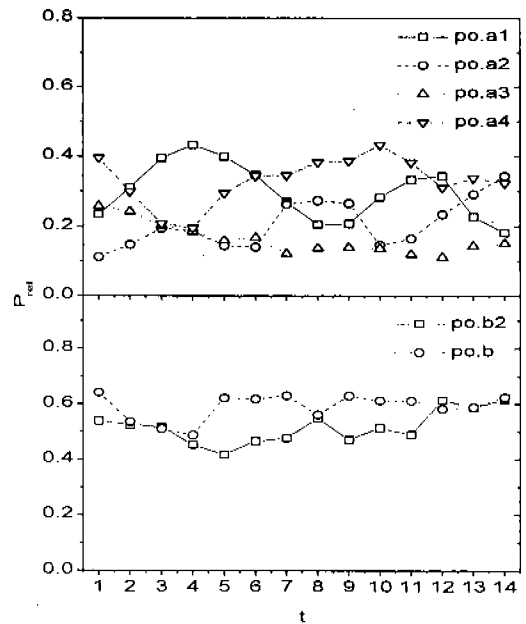
### 2.2 시간-주파수 분석

피험자가 가장 긍정적 또는 가장 부정적 평가를 내린 자극에 대한 뇌파에 대해 시간-주파수 분석을 행하였다. 2048 개의 데이터(약 4 초)에 대해 고속 푸리에 변환을 행하였으며, 중첩없이 Hanning 창문을 사용하였다. 시간에 따라 변화하는 파워 스펙트럼, 즉, 스펙트로그램에서 눈 깜박임이나 안구 운동에 영향을 거의 받지 않는  $\alpha$ 파와  $\beta$ 파를 분석 대상으로 하였으며, 다른 필터들은 사용하지 않았다.

$\alpha$ 파를 세부대역  $a_1$  (8-9Hz),  $a_2$  (9-10Hz),  $a_3$



[그림 1] 한 피험자의 긍정적 감성상태에서 측정된 뇌파에 대한 스펙트로그램. 단위시간은 4 초이며, 뇌파는 F4에서 측정되었다.



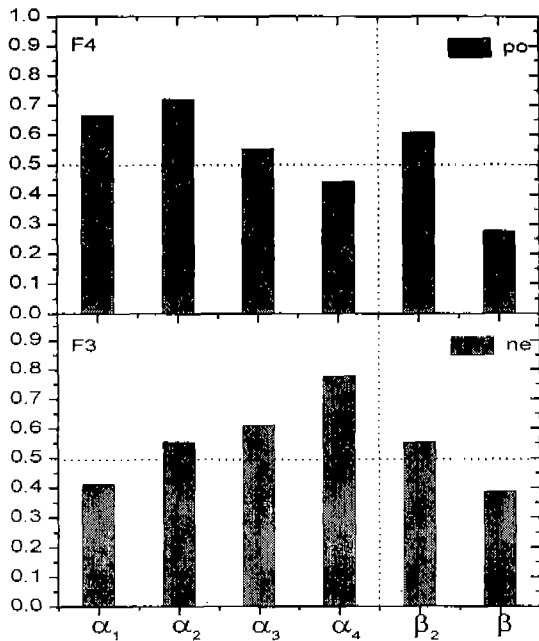
[그림 2] 그림 1의 스펙트로그램으로부터 얻은 특정 주파수 세부 대역에서 상대 출력의 시간에 따른 변화

(10-11Hz),  $a_4$  (11-13.5Hz)로 나누고, 각 세부대역에서  $\alpha$ 파 전체에 대한 상대출력을 얻었으며,  $\beta$ 파를  $\beta_1$  (13.5-20Hz),  $\beta_2$  (20-30Hz)로 나누고  $\beta$ 파 전체에 대한 상대출력을 얻었다. 그리고  $\alpha$ 파와  $\beta$ 파의 상대적 비도 얻었다. 따라서 시간에 따른 주파수 성분의 변화를 보기 위해  $a_1, a_2, a_3, a_4, \beta_2, \beta$  여섯 개의 주파수 대역에서 상대출력 대 시간의 그래프를 얻었다. 그리고 짧은 시간 내의 요동(fluctuation)으로부터 오는 혼란을 막기 위해 최인접 데이터와의 평균을 취하여 완화하였다. 그림 1은 긍정적 감성 상태에서 측정된 뇌파에 대한 스펙트로그램을, 그림 2는 위에서 언급한대로 구한 각 세부대역의 상대출력을 보여 준다.

### 3. 결과 및 토론

그림 2에서 보여준 것과 같이 각 피험자에 대해서 특정 주파수 세부 대역의 상대출력을 얻었다. 그림에서 보듯이, 시간에 따라 증감을 보였고, 자극에 대한 피험자의 습관화와 인터페이스로의 응용을 고려하여 초기 4 점의(약 16 초) 데이터에 대해 최소자승법을 이용하여 기울기를 구했다. 그리고 의미있는 증가/감소를 얻기 위해, 적절한 역치를 도입하여 그 이상의 기울기에 대해서만 증감을 판별하였다. 그림 3은 각 세부대역에서 초기 16 초 동안 상대출력의 증가를 보인 피험자 숫자의 상대적 비율이다.

그림에서 보듯이 긍정적 자극에 대해서는 느린  $\alpha$ 파



[그림 3] 특정 주파수 세부 대역에서 상대출력이 증가를 보이는 피험자 숫자의 상대적 비. 상대출력의 증가 판단은 처음 16초 동안의 뇌파에 대해 이루어졌다.

대역의 출력이 증가를 보인 반면, 부정적 자극의 경우, 빠른  $\alpha$ 파가 증폭되는 경향을 보인다. F3와 F4 모두 이러한 경향을 보였으며, O1과 O2에서는 일정한 경향을 찾기 어려웠다. 이는 감성상태에서 정보처리가 주로 전두부에서 이루어짐에 기인한다고 판단된다.

$\beta$ 파 대역에서는 F4 채널의 경우, 부정적 감성상태에서는 느린  $\beta$ 파가 증가를 보이고 긍정적 감성상태에서는 빠른  $\beta$ 파가 증가를 보였다. 그러나 F3 채널의 경우, 오히려 약한 반대의 경향을 보였다. 후두부의 O1과 O2 채널에서는 좌우 반구의 구별없이 이러한 경향을 보였다.

이러한 경향의 관찰을 바탕으로 다음과 같은 긍정/부정 감성상태 분별법을 설정해 보았다. 느린  $\alpha$ 파의  $\alpha_1$  대역, 빠른  $\alpha$ 파의  $\alpha_4$  대역과 빠른  $\beta$ 파의  $\beta_2$  대역의 3 대역을 선택하고 관찰된 경향으로부터 증감을 정해 분별 규칙을 설정하였다. 즉 F4 채널, 긍정적 감성상태의 경우,  $(\alpha_1, \alpha_4, \beta_2) = (+, -, +)$ 이 분별 규칙이 되겠다. 여기서 동일 채널의 경우, 긍정/부정 분별 규칙은 서로 배타적으로 정해졌음을 언급한다. 이러한 규칙들을 각 피험자 들의 뇌파에 적용했을 때, 성공률은 표 1에서 보는 바와 같으며, F3 한 채널의 경우, 16초의 뇌파를 사용하여 약 70%의 확률로 긍정/부정 감성상태를 관별할 수 있었음을 알 수 있다. 또한 F3와 F4에 대한 결과로부터 긍정적인 감성의 경우, 좌반구가 더 활성화

되는 경향을 발견할 수 있었다 [9].

여기서 몇 가지 점에 대해 토론하고자 한다. 첫째, 뇌파를 이용한 인터페이스의 응용적 측면에서 본다면, 한 개의 전극을 사용함으로써 사용자 편의성을 도모할 수 있으며, 시간-주파수 분석을 사용함으로써 실시간 이용을 향한 가능성을 밝게 했다는 점이다. 그리고 우리가 사용한 방법은 특정 세부 대역에서 시간에 따른 상대출력의 증감을 봄으로써 비교를 위해 따로 기준선 설정을 할 필요가 없다는 점을 언급할 필요가 있다. 둘째로, 뇌파의 분류에 흔히 사용되는 신경회로망 등을 쓰지 않은 단순한 방법임을 고려해 볼 때, 정확도와 신속도 면에서는 앞 선 작업들에 비해 떨어지나 방법의 확장 및 그 기제의 이해 면에서는 장점이 있다고 하겠다. 셋째, 분석 과정에 대한 언급으로, 짧은 시간의 의도에 대한 완화를 거치기 전에는 증감 여부를 눈으로 알아 보기 힘들었으며, 증첩과 zero padding 등에 의한 효과는 거의 없었고, 시간 창 크기를 2 초나 8 초를 썼을 경우에 일정한 경향을 찾기 어려웠다.

	F3	F4	O1	O2
긍정상태	67%	61%	56%	67%
부정상태	72%	72%	50%	50%

표 1 본문에서 설명한 특정 주파수 세부 대역에서 상대출력의 증감을 통한 긍정/부정 감성상태 변별법을 뇌파에 적용했을 때, 성공한 확률.

#### 4. 결론

본 논문에서는 시각 자극에 의해 야기된 긍정/부정 감성상태에서 측정된 뇌파에 대해 4초 단위의 시간 창에서 고속 푸리에 변환을 하고, 특정 세부 주파수 대역에서 상대 출력을 구해 시간에 따른 증감을 살펴 보았다. 긍정적 감성 상태에서는 느린  $\alpha$ 파의 증가를, 부정적 감성상태에서는 빠른  $\alpha$ 파의 증가를 볼 수 있었고, 이러한 경향의 관찰로부터 얻은 분별 규칙을 적용하여 F3와 F4의 전정부 채널에서 얻어진 초기 16초의 뇌파에 대해 약 70%의 확률로 긍정/부정 감성상태를 분별할 수 있었다. 신속도와 정확도 면에서 기대에 못 미치지만 뇌파를 이용한 간단한 의사 인식의 첫걸음이라 생각한다.

#### 감사의 글

이 연구는 정보통신부의 지원에 의해 이루어졌음을 밝히고, 이일항 박사님의 지원에 감사드립니다.

## 참고문헌

- [1] 류창수, "뇌파를 이용한 휴먼 인터페이스 기술의 동향과 전망", 주간기술동향, 제 800호, pp. 117-130, 1997.
- [2] 황민철, "감성의 정량적 정성적 평가", 측정표준, 제19호, pp. 32-40, 1996.
- [3] J. R. Wolpaw and D. J. McFarland, "Multichannel EEG-based brain-computer communication", *Electroencephalogr. Clin. Neurophysiol.*, vol. 90, 444-449, 1994.
- [4] C. Anderson and Z. Sijercic, "Classification of EEG signals from four subjects during five mental tasks", in *Proceedings of the conference on engineering applications in neural networks*, A. B. Bulsari, S. Kallio, and D. Tsaptsinos, Eds., Finland: Systems Engineering Association, pp. 407-414, 1996.
- [5] T. Jung, S. Makeig, M. Stensmo, and T. Sejnowski, "Estimating alertness from the EEG power spectrum", *IEEE Trans. Biomed. Eng.*, vol. 44, pp. 60- , 1997.
- [6] C. S. Ryu, S. Kim, S. H. Park, S. K. Han, and M. C. Whang, "An estimation of the correlation dimension for the EEG in emotional states", *Proceedings of the 19th Annual Conference of IEEE-EMB*, 1997.
- [7] A. Babloyantz, J. M. Salazar, and C. Nicolis, "Evidence of chaotic dynamics of brain activity during the sleep cycle", *Phys. Lett. A*, vol.111, pp. 152-156, 1985; A. Babloyantz and A. Destexhe, "Low-dimensional chaos in an instance of epilepsy", *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*, vol. 83, pp. 3513-3517, 1986.
- [8] L. Molinali and G. Dumermuth, "Once more: dimension and Lyapunov exponents for the human EEG" in *Nonlinear dynamical analysis of the EEG*, B. H. Jansen and M. E. Brandt, Eds., Singapore: World Scientific, pp. 140-155, 1993.
- [9] R. Davidson, P. Ekman, C. D. Saron, J. A. Senulis, and W. V. Friesen, "Approach-withdrawal and cerebral asymmetry", *Journal of Personality and Social Psychology*, vol. 58, pp. 330-341, 1990.