

## 긍/부정 문답 관련 뇌파의 시간-주파수 분석 II

류창수, 송윤선, 신승철, 남승훈, 임태규  
한국전자통신연구원 반도체·원천기술연구소

### A Time-Frequency Analysis of the EEG for Yes/No Response II

Chang Su Ryu, Yoonseon Song, Seung-Chul Shin,  
Seung-Hoon Nam, and Taegyul Yim  
Basic Research Laboratory  
Electronics and Telecommunications Research Institute

#### 요 약

뇌-컴퓨터 인터페이스로 활용하기 위한 시도로서, 인간의 가장 간단한 의사 표시인 긍/부정 의사와 관련한 뇌파를 측정하고 시간-주파수 분석(단시간 푸리에 변환)을 수행하였다. 반응 동작과 관련한  $\mu$  파와  $\beta$  파, 그리고 인지 정보 처리와 관련한  $\gamma$  파의 시간에 따른 변화를 살펴 보고 선행 결과들과 비교, 토론하였다.

*Key Words: EEG, BCI(Brain-Computer Interface), Yes/No discrimination, time-frequency analysis*

#### 1. 서론

정보통신 기술은 대용량의 정보를, 초고속으로 어느 곳의 누구와도 통신할 수 있게 하는 것을 목표로 발전하여 왔다. 다른 한편으로는 정보통신 서비스의 최종 소비자인 사용자가 정보에 편하게 접근하도록 하기 위한 인간

친화적인 사용자 인터페이스에 대한 연구도 많은 관심을 끌고 있다.

‘생각만으로 작동하는 컴퓨터’를 궁극적인 목표로 하는 뇌-컴퓨터 인터페이스(Brain-Computer Interface : BCI) 연구의 경우, 분별이 쉬운 특정 뇌파를 유도하는 방식은 일부 개발이 끝난 상태이며, 뇌파를 그대로 인식하고자 하는 뇌파 인식 기술은 기초, 기반 연구

가 수행 중이며 최근에는 뇌내에 미세 신경 전극을 삽입하여 획득한 신경신호를 활용하려는 시도에까지 이르고 있다 [1].

본 연구실에서는 BCI를 위한 기반 연구로서 인간의 가장 간단한 의사인 긍/부정 의사를 분별하기 위한 연구를 수행하여 왔다. 뇌파 기반 BCI 연구의 경우, 실제로 뇌내에서 일어나는 여러 정보처리 과정을 완전히 파악하지 못하는 상황에서 시행착오적인 시도가 불가피하며, 체전달과 잡파의 혼입으로 인해 뇌파가 줄 수 있는 정보도 제한되어 있다.

본 논문에서는 앞의 논문[2]에 이어 시간-주파수 분석을 통해 뇌파의 시간에 따른 변화를 살펴보고, 그 동안 수행된 연구결과들과 부분적으로 유사한 다른 그룹의 결과들을 비교, 토론하였다.

## 2. 실험 및 선행 연구 결과

긍/부정 의사 관련한 뇌파를 측정하기 위한 실험은 일차적으로 1997-1998년에 걸쳐 두 차례 시행되었고 [3] (이하 1차 실험이라고 함), 2001년에 보완 및 수정된 실험 프로토콜을 이용하여 뇌파 측정이 이루어졌다 [2] (이하 2차 실험이라고 함). 현재는, 교차 확인과 범용성 확보를 위한 추가 실험이 진행 중이다. 1차 실험에서 얻은 데이터에 대한 분석 결과와 2차 실험에 대한 세부 사항은 참고문헌 [2]을 참조하기 바란다.

본 실험에서 사용된 상식 문답 같은 자극은 매우 복잡한 다단계의 인지적 정보처리 과정을 거칠 것으로 판단되나, 제시된 자극을 지각하고, 긍/부정을 판단하며, 제시된 방식에 따라 반응을 하는 단계로 단순화하여 고려하기로 하였다.

여기서, 시간-주파수 분석 결과를 소개하기 전에, 효율적인 진행을 위해 관련되는 다른 연구 그룹의 기존 선행 결과를 요약하기로 한다.

### 1) 동작 관련 선행 결과

동작과 동작의 상상에 관한 연구는 Pfurtscheller 그룹에 의해 주도적으로 이루어

져 왔다[4]. 운동 영역과 관련된 중심부 영역에서 동작 전에  $\mu$  파와  $\beta$  파가 감소하였다가 동작 이후 회복되는 결과를 보여 준다.

### 2) 인지 관련 $\gamma$ 파에 관한 결과

90년대 이후,  $\gamma$  파는 인지 정보 처리와 관련하여 많은 주목을 받아 왔다. Rodriguez 등 [5]은 Mooney 얼굴을 실험자에게 제시하고 얼굴로 인식되는 경우는 'Perception'으로, 얼굴로 인식되지 않는 경우에는 'No-Perception'으로 반응을 하게 하였다. 두 경우 모두, 34-40Hz의 주파수 대역에서 판단과 동작에 관련된 것으로 여겨지는 두 개의 피크를 볼 수 있었다. 두 채널 간 위상 차이는, 출력의 경우와 달리 두 경우 간에 유의미한 차이를 보였는데, 'Perception'의 경우에는 출력에서 보인 것과 같은 두 개의 피크를 볼 수 있었다. 그들은 이에 대해, 판단을 위해 신경 세포들이 네트워크를 이루었다가 다른 작업(동작)을 위해 일시적인 비동기화를 거쳐 다시 동기화되는 현상으로 설명하였다.

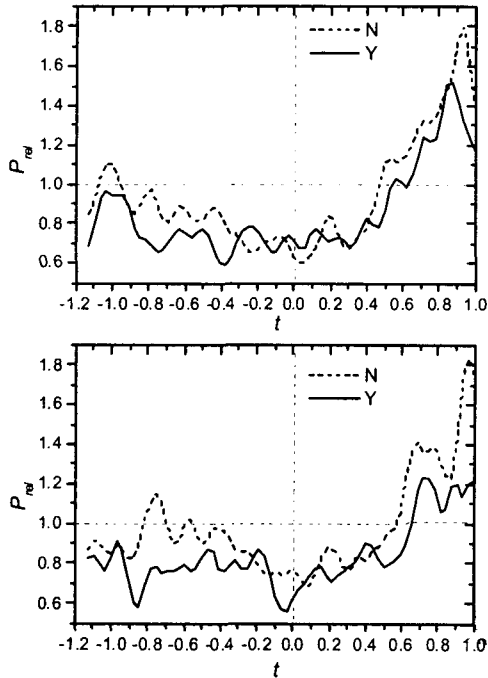
또한, Shibata 등[6]은 점화자극으로 원을 제시하고 본 자극으로 정삼각형 또는 역삼각형을 제시하여, 역삼각형인 경우에는 반응 버튼을 누르게 하고 (GO) 정삼각형인 경우에는 누르지 않게 하였다 (NO-GO). 그들은 GO-NOGO 관련하여 Fp1 채널의 94Hz 대역에서 출력이 유의미한 차이를 보임을 보고하였다.

## 3. 결과 및 토론

### 1) 시간-주파수(STFT) 분석 결과

긍/부정 의사 관련한 뇌파의 시간에 따른 변화를 보기 위하여, 단시간 푸리에 변환 (Short-Time Fourier Transform: STFT)을 수행하였다. Hanning 창을 사용하였는데, 창의 크기는 0.375s와 0.25s를 사용하였고, 창의 중첩은 각각 91.7%와 87.5%이다. 또한, 피험자 간의 뇌파 차이를 보정하고 자극전에 대한 변화를 보기 위해 기준값으로 나누어 상대 출력을 계산하였다. 여기서 기준값은 자극전 (-1.5s부터 0s까지)의 뇌파에 대해 동일한 변

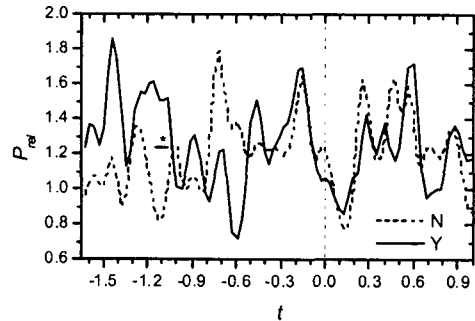
환을 하고 시간창들에 대한 평균을 하여 얻어졌다. 뇌파 시계열의 정규화 등 다른 보정 방법에 대해서는 앞의 논문에서 논의한 바 있다 [2].



[그림 1] C3 채널, 16-24Hz 성분의 시간에 따른 상대출력 변화(위). 12Hz 성분의 시간에 따른 상대출력 변화(아래). 반응 시점이 t=0이며, 긍정은 실선, 부정은 점선으로 표시되어 있다.

분석시, 근전도 등의 잡파가 혼입된 데이터는 제외되었으며, 반응 시점에 정렬하여 평균하였다. 그림 1은 동작 관련한  $\mu$  파와  $\beta$  파의 시간에 따른 변화를 보여 주고 있는데, 사용된 시간 창의 크기는 0.25s이며, 시간 창 중점으로 시간을 표시하였다. 그림에서 보듯이, 반응 전 1s 근처에서 감소하기 시작하고 반응을 하고 나서 증가하는 행태를 보인다. 동작하는 손과 contralateral한 부위에서  $\mu$  파와  $\beta$  파의 감소가 있지만, 피험자에 따라 다른 결과들이 보임이 보고된 바 있다. 그림에서 보듯이, 긍정 반응시(오른손으로 버튼을 누름), C3 채널의 경우, 긍정(Y)이 부정(N)보다 반응 동작 전에 더 감소하는 양상을 보이는 것을 알 수

있지만 동작 전 1초 내내 유의미한 차이를 보이지는 않았다. 그리고 전두엽의 F3, F4 채널에서도 동작에 의한  $\mu$  파와  $\beta$  파의 감소를 볼 수 있었으며, 따라서 반응 동작을 요구하는 실험에서의 통상적인  $\alpha$  파,  $\beta$  파 대역에 대한 분석은 많은 주의를 요구한다고 하겠다.



[그림 2] Fp1 채널, 92Hz 대역의 시간에 따른 상대출력 변화. (\*:  $p < .05$ )

앞에서 언급한  $\gamma$  파 변화를 살펴보기 위해, 34-40Hz와 94Hz 대역을 중심으로 상대출력의 변화를 관찰하였으나 긍/부정 반응 간에 유의미한 차이를 보기 어려웠다. 그림 2에서 보듯이, 92Hz 대역에서 100ms 정도의 시간 영역에서 긍/부정 반응 간에 유의미한 차이를 볼 수 있었는데, 바로 이 시간 영역을 뒤이어 C3 영역에서  $\mu$  파와  $\beta$  파의 긍/부정 반응 간 유의미한 차이가 잇따른다. 따라서 긍/부정 판단 → 왼손/오른손 판단(동작 준비) → 동작의 단계를 생각할 때, 92 Hz 대역에서의 차이가 긍/부정 의사를 분별하는 한 요소로 추정된다.

이를 확인하기 위하여 현재 진행 중인 실험에서는 반응 동작을 서로 바꾸었고, 키보드가 아닌 마우스 버튼을 누름으로써 반응 동작에 변화를 주었다.

## 2) 그 외 분석 결과

여기서는 앞에서 소개한 시간-주파수 분석 결과 외에, 본 연구실에서 수행한 내용과 다른 그룹의 선행 결과와의 비교, 토론을 하고 해결해야 할 문제점을 선명히 하고자 한다.

단시간 푸리에 변환을 통해 얻은 결과를 보다 정확히 하기 위해 웨이블릿 변환을 수행하였다[7]. 고주파수 대역에서 주파수 해상도

는 떨어지는 대신, 시간 해상도가 높아지는 장점을 활용하여  $\gamma$  파 대역에 대한 출력 변화를 보고자 하였으나, 기대한 만큼의 결과를 얻지는 못하였다. 이는 긍/부정 의사 관련한 뇌파의 변화가 비교적 넓은 주파수 대역에서 같은 행태를 보이지 않음에 기인하는 것으로 판단된다. 앞에서 소개한 94Hz 대역의 경우도, 92Hz와 96Hz가 조금씩 다른 양상을 보이는 점, 그리고 동작 관련한 행태를 보이는 31~32Hz 성분의 조화 성분으로 나타날 수도 있다는 점에서 세심한 연구가 요구된다.

진폭 외에 위상에 관해서 연구한 결과에 대해 보고한 바 있다[8]. 작은 시간창의 경우, 긍/부정 반응 간에 유의미한 결과를 보고하였으나, 작은 섭동보다는 큰 시간창(0.375s)에서의 결과가 Rodriguez 등[5]이 보인 두 개의 피크 중 일부분을 보인 것으로 해석될 수 있다. (참고로, 위상 분석 대상 데이터는 오른손만을 이용하여 반응하였고, 누르고 있던 반응 버튼을 떼는 순간이 반응 시간으로 기록된다.) 본 실험보다 단순한 실험들에서 보인 뇌파의 변화들을 단계마다 확인함이 본 연구 결과의 타당성 확인을 위한 필수적인 작업이라고 판단된다.

마지막으로, 일반적으로 각 데이터를 평균하여 전체 행태를 보고 그 특징을 각 데이터에 적용하는 top-down 방식을 따르는데 반하여, 각 데이터에 대해 여러 변량을 구하고 그로부터 개인간의 공통점을 구하는 bottom-up 방식의 접근도 시도되었다[9]. 사용하였던 변량은 각 대역별, 또는 대역 간의 좌/우뇌 편측율과 위상분석에서 사용되었던 변량들인데, 긍/부정의 구별은 아니었지만 긍/부정 반응 전에 공통적으로 등장하는 특징에 대해 연구하였다.

앞으로 남은 문제는, 다양한 접근을 통해 얻어진 결과와 부분적으로 유사한 선행결과들을 모두 만족시킬 수 있는 해석을, 추가 실험을 통해 얻어진 데이터를 활용해 찾는 것이라 하겠다.

#### 감사의 글

본 연구는 정보통신부의 정보통신 선도기반기술개발사업 지원에 의해 이루어졌습니다.

#### 참고문헌

- [1] 류창수 그 외, “뇌-컴퓨터 인터페이스 기술 동향”, 한국전자통신연구원 주간기술동향, 1006호, p.1-p.11, (2001); IEEE Trans. Rehab. Eng. Vol. 8, No.2 (2000) and references therein.
- [2] 류창수 그 외, “긍/부정 문답 관련 뇌파의 측정과 시간-주파수 분석I”, 한국감성과학회 춘계학술대회, p.271-p.275 (2001).
- [3] 문성실 그 외, “두 문자열의 동일성 판단과 뇌파”, 한국감성과학회 춘계학술대회 p.81-p.88 (1998); 문성실 그 외, “뇌파를 이용한 양분법적 판단 반응의 분류”, 한국감성과학회, (1999).
- [4] G. Pfurtscheller and F. H. Lopes da Silva, “Event-related EEG/MEG synchronization and desynchronization”, Clin. Neurophysiol. Vol. 110, p.1842-p.1857 (1999).
- [5] E. Rodriguez et al., “Perception’s shadow: long distance synchronization of human brain activity”, Nature Vol. 397, p.430-p.433 (1999).
- [6] T. Shibata et al., “Event-related dynamics of the gamma-band oscillation in the human brain”, Neurosci. Res. Vol. 33, p.215-p.222 (1999).
- [7] 남승훈 그 외, “긍/부정 문답 관련 뇌파에 대한 시간-주파수 분석 III”, 한국감성과학회 춘계학술대회 (2002).
- [8] 김민준 그 외, “긍/부정 선택 순간의 뇌파 변화 연구”, 한국감성과학회 춘계학술대회 p.26-p.31 (2001); M. J. Kim et al., “Yes/No Discrimination with Spatiotemporal Characteristics of EEG”, Proc. IEEE-EMBS (2001).
- [9] 신승철 그 외, “인지적 긍정/부정 선택 과제 수행시 뇌파를 이용한 반응 시간의 감지”, 한국감성과학회 춘계학술대회 (2002).