

Wavelet Transform을 이용한 시청각 학습시의 전두부 뇌파 활성도에 관한 연구

정소라* 지석준* 이오걸** 곽려혜* 이준택*
동아대학교* , 동의과학대학교**

A Study on the Prefrontal EEG Activities in the case of Audio-Visual Learning using Wavelet Transform

Sora Jung, Seokjun Ji, Ogirl Lee, Ryuehye Kwak, Joontark Lee
Dept. of Electrical Eng. Dong-A Univ* , Dong Eui I.T.**

Abstract - 학습 행동에서의 뇌파 측정은 실시간으로 두뇌 기능 상태를 연구하는데 유용한 연구 방법이며 대뇌의 부위 중 전두엽은 새로움에 대한 지향 반응과 사고 활동에 중요한 역할을 한다. 본 연구에서는 중학교 2학년 학생에게 새로운 시청각 학습 자료를 제시하고 5회의 반복학습이 이루어지는 과정에서의 전두부(Fp1, Fp2)의 뇌파를 측정하고 Fourier, Wavelet 변환을 하여 정량적으로 분석하였다. 주의 집중, 정서 등 인지와 관련지어 특정파의 조절 능력 및 파의 특성을 이용한 여러 연구들을 종합해보면, 기억력, 주의지속과 연관되어 알파파, 베타파와 세타파가 발생되는 것을 볼 수 있다. 이중 알파파는 기존의 뇌 상태를 동기화시키고 주의나 기억의 과정에 영향을 미칠 수 있는 것으로 증명되었다. 본 논문에서는 신호 처리에 높은 효율을 보이는 Wavelet 변환을 이용하여, 학습이 됨에 따라 변화하는 EEG 신호 가운데 알파파의 패턴과 활성도를 분석하고자 한다.

1. 서 론

두뇌 각성 수준과 학습의 효율성에 관한 인지심리학의 범칙으로 인간의 두뇌가 적절한 상태에 있을 때 학습 효율이 가장 높다. 인간의 두뇌는 신체의 상태나 심리 상태에 따라 각기 다른 뇌파를 발산하게 된다. 이러한 뇌파를 통해 두뇌의 상태나 각성 정도를 파악할 수 있다. 뇌파는 크게 알파파, 베타파, 세타파, 델타파의 4가지 경우로 분류된다. 각성 수준이 너무 높지도 너무 낮지도 않은 상태에서 나타나는 뇌파는 알파파나 세타파이다. 두뇌의 정보 처리량과 기억력, 집중력 등을 최대로 발휘할 수 있는 적정 수준의 각성 상태는 알파파나 세타파와 같은 상대적으로 낮은 뇌파가 발산되는 두뇌 상태이다.

인지는 사고 과정을 거치며 합리적이고 신중한 정보처리 과정이다. 그러나 대부분의 선행 연구에서는 인지적 과정에 대해 소홀하였다. 즉, 두뇌 속에서 신경 작용이 학습 매커니즘에 이용해야 한다고 주장하고 있지만, 학습 활동에 이러한 신경학적 기초를 고려하여 적용한 경우는 찾아보기 힘들다.

본 논문에서는 정상적인 중학생을 대상으로 반복학습 시 EEG 신호를 측정하여 학습 내용이 인지됨을 알아보고, 기존의 신호처리 분야에서 널리 사용되어져 온 Fourier Transform과 Wavelet의 파형을 분석하여, Wavelet Transform의 우수성을 입증하고, EEG 신호의 처리 및 해석 분야에 보다 적합함을 보이고자 한다.

2. 본 론

2.1 EEG(Electroencephalogram)

뇌파 신호(EEG signal)는 피질의 신경세포(cortical nerve cell)의 억제성 접합후전위 (inhibitory postsynaptic potential : IPSP)와 흥분성 접합후전위(excitatory postsynaptic potential : ESEP)에 의한 전기적 신호로, 두피뇌파검사(scalp EEG)는 피질 아래에 있는 신경세포의 접합후전위(PSP)를 통하여 이것을 기록하는 것이다. 전통적인 뇌파 검사는 종이에 그려지는 뇌파의 모양을 정상과 비정상으로 나누어 해석하여 임상적으로 간질의 진단과 뇌기능 저하가 있는 환자의 기능 상태를 확인하는데 도움을 준다. 최근에는 컴퓨터를 이용하여 뇌파분석을 할 수 있어 시각적인 판단 뿐 아니라 수학적인 정량분석이 가능해졌다.

뇌파는 복잡하게 진동하는 형태를 지니고 있고 저마다의 전위 값이 다르므로 뇌파를 관찰할 때 그 주파수와 진폭에 따라 분류하기도 한다.

〈표 1〉 신호의 종류

| EEG Rhythm | Frequency Band | Mental Association |
|-------------|---|--|
| Delta | $\delta \leq 4\text{Hz}$ | Sleep |
| Theta | $4\text{Hz} < \theta \leq 8\text{Hz}$ | Drowsiness, trance, deep relaxation, deep meditation, hypnosis |
| Alpha | $8\text{Hz} < \alpha \leq 13\text{Hz}$ | Relaxed wakefulness |
| Low Beta | $13\text{Hz} < \beta(-) \leq 20\text{Hz}$ | Awake, alertness, moderate mental activity |
| Medium Beta | $20\text{Hz} < \beta(m) \leq 30\text{Hz}$ | High alertness, intense mental activity |
| Gamma | $\gamma > 30\text{Hz}$ | Hyper-awareness, stress, anxiety |

2.2 주의 집중 및 기억과 알파파

주의 집중, 정서 등과 관련지어 특정파의 조절 능력 및 파의 특성을 이용한 여러 연구들이 시도되어 왔다. 이런 연구들을 종합해보면 기억력, 주의지속과 연관되어 알파파(α), 세타파(θ)와 베타파(β)가 발생하는 것을 볼 수 있다.

α (slow, mid, fast)는 이완과 긴장의 적절한 전환을 반복하여 α 에서 β 파로의 이행이 쉽게 만들어주는데, 뇌가 긴장상태에서 α 상태로 돌아와 β 파를 준비시키는 상태가 지속될 때 주의 집중이 가장 효과적으로 이루어지는 상태로 볼 수 있다. β 파가 발생 시에는 뇌신경들이 많은 에너지를 소모하므로 이 상태가 지속되면 뇌는 정보처리나 반응에 있어 한계를 나타내어 집중력이 결여되게 된다. 이러한 긴장상태를 완화시키기 위해 α 파가 중요한 역할을 한다는 것을 알 수 있다. 특히 전두엽피질은 시상과 변연계 구조의 연결 부분을 통해 감각, 기억 체계 및 보상체계에서 온 정보를 통합하는데 특히 중요한 기능을 하는데, 선행연구에서 α 파 자극은 기존의 뇌 상태를 동기화시켜 이완된 상태를 유도해 학습효과를 높이는 상태로 돌아가기보다 직접적으로 관여한다는 사실을 밝혔다.

2.3 웨이블릿 변환과 푸리에 변환의 비교

시계열 x_n 에 대한 Discrete Fourier Transform은

$$\hat{x}_k = \frac{1}{N} \sum_{n=0}^{N-1} x_n e^{-j2\pi kn/N} \quad (2.1)$$

와 같으며, $k=0,1,2,\dots,N-1$ 은 주파수 지수이다. 한편, 스케일 변환된 함수 $\psi(t/s)$ 의 Fourier Transform은 $\hat{\psi}(s\omega)$ 로 주어진다. 따라서 합성정리에 의하여, Wavelet Transform $W_n(s)$ 은 시계열 x_n 의 Discrete Fourier Transform \hat{x}_k 과 Wavelet 함수의 Fourier Transform $\hat{\psi}(s\omega)$ 의 곱을 역Fourier Transform한

$$W_n(s) = \sum_{k=0}^{N-1} \hat{x}_k \hat{\psi}^*(s\omega_k) e^{j\omega_k n \Delta t} \quad (2.2)$$

으로도 정의될 수 있다. 단, 각 주파수는

$$\omega_k = \begin{cases} \frac{2\pi k}{N\Delta t} & k \leq N/2 \\ -\frac{2\pi k}{N\Delta t} & k > N/2 \end{cases} \quad (2.3)$$

로 정의된다. 각 스케일 s 마다 식(2.3)와 표준 Fourier Transform 루틴을 사용해서 모든 n 에 대해 효율적이고도 동시에 연속 Wavelet Transform을 계산할 수 있다.

Wavelet Transform과 Fourier Transform의 가장 큰 차이점은 개별 Wavelet 함수는 공간에서 지역화 한다는 것이다. Fourier와 Wavelet Transform 사이의 시간-주파수 해상도 차이를 알기 위해서 시간-주파수 평면의 기본 함수 적용범위를 알아보면, <그림1>에

서는 Windowed Fourier Transform을 보여주고 있다, 그림에서 볼 수 있듯이 푸리에 변환의 해석의 해상도는 시간-주파수 평면의 모든 위치에서 같다.

반면에, 그림2에서 볼 수 있듯이 Wavelet Transform의 시간-주파수 타일은 Window가 변화한다는 것이다. 신호의 불연속성을 분리시킬 때엔, 몇 개의 아주 짧은 기본 함수를 가져야 하며, 동시에, 상세한 주파수 해석을 얻기 위해선, 매우 긴 기본 함수를 가져야 한다. 이러한 것을 만족시키기 위한 방법은 짧은 고주파수 함수와 긴 저주파수 함수를 동시에 가져야 하는데 Window가 변화할 수 있음으로 Wavelet Transform은 가능하다.

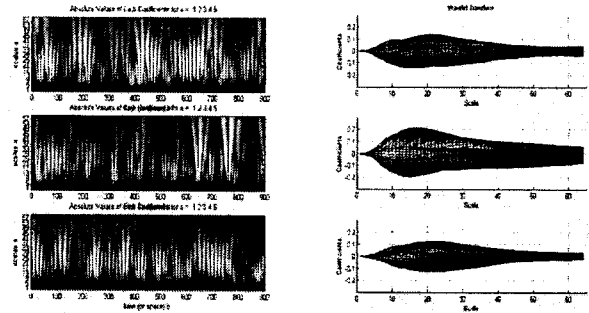


<그림1> 윈도우푸리에변환
:시간-주파수 타일



<그림2> 웨이브릿 변환
:시간-주파수 타일

<그림5>에서 Low scale은 Wavelet을 압축하여 빠르게 변화하는 것을 나타내므로 고주파 영역으로 볼 수 있고, High Scale 은 저주파를 나타낸다. 그리고 영역을 표시하는 컬러로 웨이브릿 계수를 알 수 있는데 연한 영역이 Large Coefficient를 표현한다.



<그림5> 웨이브릿 변환

2.4 실험

본 연구는 반복적인 한자 학습에 따른 뇌파의 인지 상태를 알아보고 고자 중학교 학생을 연구 대상으로 5회에 걸쳐 한자 학습 활동을 하게 한 후, 다양한 사고 활동 중에 나타나는 전두엽에서의 뇌파를 측정하고 이를 분석하였다.

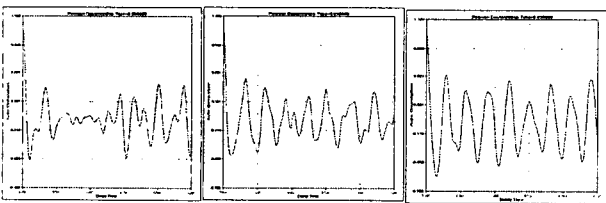
연구 대상자는 소리와 전파의 방해를 받지 않게 하기 위해 차단된 방에서 뇌파 검사를 시행했고, 입을 가볍게 다물고 몸을 이완시켜 근육에 의한 인공파(artifact)를 줄이고 먼저 눈을 감게 한 뒤 가능한 한 눈동자를 움직이지 말도록 지시하였다. 대상자가 상태를 완전히 이해한 후부터 기록을 시작하였다.

2.5 연구 결과 및 고찰

2.5.1 자기 상관 함수

횡수를 거듭해가면서 3회시 알파파의 Autocorrelation의 결과를 보면 EEG 신호의 주기성이 나타나는 것을 볼 수 있다.

신경 생리학적으로 알파파와 같은 서파(slow wave)가 우세한 현상은 대뇌 피질의 다수 세포가 거의 동시에 활동하는 동기화(synchronization) 현상에 의해 나타난다. 동기화 현상은 뇌가 정보를 저장하고 처리하기 위한 올바른 질서 상태에 있다는 것을 의미하므로, 본 연구의 결과는 뇌신경의 알파파 리듬이 우세한 뇌 상태가 학습 내용이 인지가 되었음을 나타낸다.

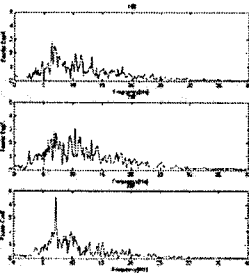


<그림3>알파파의 자기 상관 함수

2.5.2 푸리에 변환

일반적인 곡선 파형으로 나타나는 뇌파를 분석하기에 여러 가지 어려운 점이 많기 때문에 시간 도메인으로부터 주파수 도메인으로의 전환을 위한 수학적 방법으로 고속 푸리에 변환(FFT)을 사용하였다.

반복학습을 하면서 얻은 원신호를 8-13Hz 구간의 알파파 영역으로 대역 필터를 한 다음 FFT를 하였다. 하지만 주파수 영역에서만 활성도와 주기성을 구분하기가 어려웠다.



<그림4>고속 푸리에 변환

2.5.3 웨이브릿 변환

Autocorrelation 결과와 동일하게 Wavelet 변환도 1, 2회에 비해 3회에서 큰 차이를 볼 수 있다. 이것은 3회 반복 학습 시 알파파가 앞선 뇌파보다 활성도가 되고 시간영역에서 주기가 뚜렷하게 나타나 이 시기에 뇌가 학습 인지 상태임을 알 수 있다.

2.5.4. 고찰

뇌의 주의 집중에는 주기를 가지며 에너지와 휴식에 의해 영향을 받는다. 주기가 낮을 때는 주의 집중하는 능력이 거의 없게 된다. 알파파가 주의 집중력을 보일 때 주로 나타나는 뇌파라는 점을 고려하면 본 연구의 실험 결과가 선행 연구와 일치한다고 볼 수 있다.

선행 연구에 따르면 알파파나 세타파와 같은 저뇌파 상태에서 주의 집중력과 기억력이 증진되어 학습의 효율이 높아지며, 특히 알파파는 주의 집중력에 중요한 역할을 한다는 사실을 알 수 있다. 또한 주의 집중력을 높이기 위해서는 각성이 필요하고, 각성 상태가 되기 위해서는 알파파의 활동이 필수적이라는 사실도 알 수 있다.

본 논문에서는 실험에서 얻어진 뇌파의 파형과 원자료에서 뇌파 중 알파파의 파장 영역 활성도와 패턴을 알아보기 위해 푸리에, 웨이브릿 변환, Pearson's Autocorrelation을 하였다. 푸리에 변환이 차지하고 있는 기존의 신호 분석 및 해석 분야에 있어 단점을 보완하고 더 나은 결과를 도출해 냄으로, EEG 신호의 보다 정확한 측정과 분석을 통해 교육뿐만 아니라 의학, 공학 부문 등 다양한 분야에서 보다 나은 응용을 하고자 하는 점에 착안되어졌다.

3. 결 론

본 연구는 반복적인 한자 학습에 따른 뇌파의 인지 상태를 알아보고 고자 중학생을 대상으로, 5회의 한자 학습 시 Fp1, Fp2 2개의 뇌파 전극부위에 대해 알파파의 활성도와 뇌파 패턴을 분석하기 위해 고속 푸리에 변환(FFT)과 Wavelet 변환을 하였다.

연구 결과, 새로운 내용의 학습이 처음 이루어지는 동안은 뇌신경의 속파 리듬인 베타파의 활성이 증가하였으며, 반복 학습이 되면서 서파인 알파파가 활성이 증가하였다. 이는 인간의 교과 학습 행동과 같은 고차원적인 두뇌 기능에 있어서도 뇌신경이 점점 인지되어 감을 나타낸다. 주의 집중력을 높이기 위해서는 뇌의 긴장상태를 완화해 줄 필요가 있다. 이를 위해서는 알파파의 활성도가 필수적인데 알파파가 발생되면 긴장이 완화되고, 그 결과 다시 베타파로 이행하여 주의 집중 상태로 되돌아오게 된다.

논문에서 수행한 연구는 EEG 신호처리 에 대한 검출 및 측정에 관한 많은 방법들 중 하나를 보여주었다.Wavelet Transform 은 EEG 신호의 검출과 분석에 대해 기존의 주파수 대역에서 진행된 Fourier Transform보다 더 나은 시간-주파수 평면상의 결과를 보여주었다.

향후 뇌 기반 학습 측면에서 이러한 점을 고려한다면 학생들에게 뇌 기능을 최상으로 활성화 시킬 수 있는 학습을 제공하는데 크게 기여를 할 수 있음을 물론 EEG 신호를 이용한 공학적 응용 시스템의 개발에도 큰 도움이 될 것으로 기대된다.

[참 고 문 헌]

- [1] Alcon, D. L., "Memory trace in the brain", Cambridge University Press, Cambridge, 1987
- [2] Anderson, P. & Andersson, S. A., Physiological basis of the alpha rhythm. New York: Century-Corfts., 1968
- [3] Andreassi, J. L., Psychophysiology : Human behavior and physiological response. Hillsdale, NJ : Erbaum, 2000.
- [4] Luria, A.R. The Working Brain : An Introduction to Neuropsychology. New York: Basic Books, 1973
- [5] Sperry, R.W. Some effects of disconnecting the cerebral hemispheres. Science, 217,1223-1226, 1982