

# 과학적인 사고과정에서 나타난 뇌파의 비동기화와 상관계수

이조옥 · 신애경 · 최병순 · 박국태 · 권용주  
(한국교원대학교)

## Desynchronization And Correlation Coefficient of Brain Wave on Scientific Reasoning

Lee, Jo-Ok · Shin, Ae-Kyung · Choi, Byung-Sun ·  
Park, Kuk-Tae · Kwon, Yong-Ju  
(Korea National University of Education)

### ABSTRACT

The purpose of this study was to test whether the degrees of desynchronization in cranial nerves were related to correlation coefficient between brain waves measured on scalp. Based on the hypothesis, this research intended to describe the patterns of brain wave during scientific reasoning. EEG (electroencephalography) signals in 19 electrodes were recorded from elementary (6th grade) and middle (7th, 8th grade) school students as they performed roller-ball tasks: planning experiment, cognitive conflict, bridging, metacognition, and at rest (eyes closed and eyes opened). The results showed that the smaller the correlation coefficient was, the bigger the degrees of desynchronization. As compared to resting periods, the correlation coefficients in prefrontal and frontal lobe decreased during scientific reasoning. And the nerves in prefrontal and frontal lobes were most active during scientific reasoning. These results suggest that the correlation coefficient in addition to frequency of brain waves be analysed to get meaningful results of researches on scientific reasoning by brain wave.

**Key words:** scientific reasoning, brain wave, EEG, planning experiment, cognitive conflict, bridging, metacognition, desynchronization

## I. 서론

### 1. 연구의 목적 및 필요성

과학적인 사고능력(science reasoning ability)은 과학적인 개념변화와 과학의 성취도에 밀접한 관련이 있다(Lawson, 1995). 또한, AAAS (American Association for the Advancement of Science, 1989)는 과학적인 소양은

과학적 사고력에 기인한다고 하였다. 교육학과 심리학적인 많은 연구들은 과학적인 사고에 대한 이해를 증가시켜 주었으나, 신경생리학적인 수준에서 과학적인 사고 과정에 대한 접근은 드문 실정이다. 이 연구에서 과학적인 사고과정이란 과학적인 과제를 해결하기 위해서 피험자가 수행한 일련의 사고의 과정이라고 조작적으로 정의한다.

뇌파는 머리 표면에서 발생하는 전위로서 이 전위를 대뇌피질(celebral cortex)이나 머리표면에서 기록한 것을

뇌 전위도라고 하며, 약어로는 EEG (electroencephalography)라고 한다. 뇌파는 주파수가 커지면 진폭이 줄어드는 일반적인 특징이 있다. 두피 뇌파는 대뇌피질 표층에 있는 신경세포들의 활동에 가장 영향을 많이 받는다. 다수의 신경세포들이 시간적으로 일치해서 활동하는 경우를 동기화(synchronization)라고 하며, 이때 진폭이 큰 서(徐)파가 발생한다. 반대로 신경세포들이 시간적으로 각각 활동할 경우를 비동기화(desynchronization)라고 하며, 진폭이 작은 속(速)파가 나타난다(한선호와 齋藤章二, 1998). 자극이 복잡하거나 자극에 대한 주의수준이 높아지면, 많은 수의 신경세포가 활성화됨으로 각각의 신경세포에서 발생하는 전위가 비동기적으로 상쇄되어 진폭은 낮아지고 진동수는 커진 상태의 속파가 발생하며, 반대의 경우에는 서파가 발생한다(Steriade *et al.*, 1985; Glass, 1991; Niedermeyer & Lopes da Silva, 1999). 이 연구에서는 과학적인 사고과정에서 뇌파를 측정하여 각 전극전위간 상관계수의 값으로 신경세포간의 동기화된 정도를 추정해보고자 하였다. 각 전극에서 발생하는 뇌파의 결맞음(상관) 정도를 그 전극 사이에 있는 신경세포 활동의 동기화와 연관시키는 시도이기도 하다. 또한, 전극전위간 상관계수를 측정함으로써 과학적인 사고과정의 각 단계를 뇌파를 이용해서 기술할 수 있을 것이다.

## 2. 연구가설

인지적인 과제 수행 시 또는 긴장이 되는 상황에서 뇌파를 분석하면 베타(beta)파가 출현한다. 그 원인을 신경세포 활동의 비동기화(desynchronization) 또는 활성의 증가로 설명한다. 그러나 뇌 신경세포 활동의 비동기화는 사람의 뇌 속에 전극을 심어서 신경세포 각각의 활동을 직접 측정하지 않는 한 확인할 수 없는 사실이다. 이 연구에서는 뇌 신경세포의 비동기화 현상과 뇌파신호의 상관계수는 관련이 있다고 가정하였다. 이 가설을 검증하여, 과학적인 사고과정에서 나타나는 뇌파신호의 상관계수로 신경세포의 비동기화 정도를 추정하고, 과학적 사고과정에서 나타나는 뇌파의 특성을 기술하고자 한다.

따라서 이 연구의 가설은 다음과 같다.

연구가설: 전극전위간 상관계수와 신경세포 활동의 비동기화 정도는 관련이 있을 것이다.

연구가설을 모형으로 만들면 Fig. 1과 같다. 뇌 신경활동이 활성화됨으로써 생기는 연구가설을 검증하기 위해 긴장과 전극전위간 상관계수의 관계와 주파수와 전극전위간 상관계수의 관계를 알아보기 위하여 다음과 같이 연구문제를 설정하였다.

1) 긴장하거나 자극이 제시되는 상황에서 전극전위간 상관계수가 감소하는가?

2) 전극전위간 상관계수가 감소할 때 뇌파의 주파수 특성은 서파에서 속파로 바뀌는가?

가설을 검증하기 위해서는 제시한 두 가지 의문에 대한

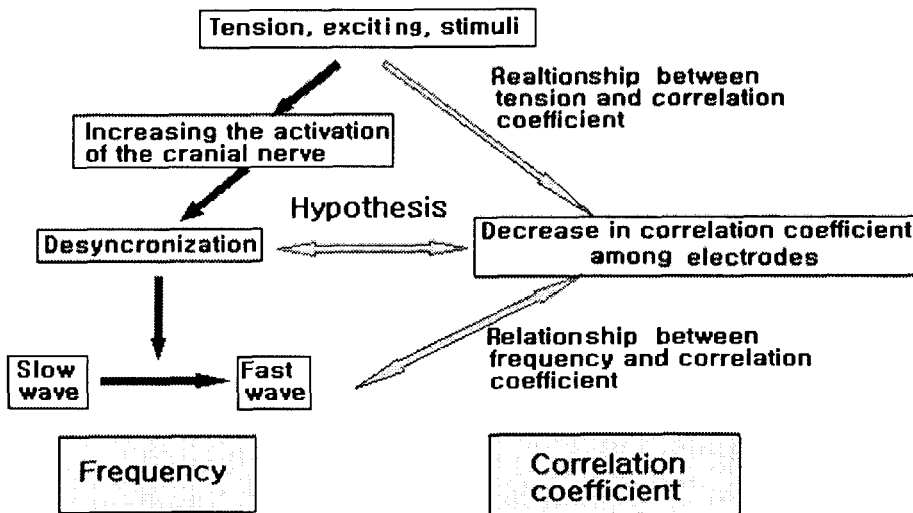


Fig. 1. Structure of research hypothesis in this study.

긍정적인 해답이 필요하다. 만약 두 가지 의문에 대한 해답이 모두 긍정적이라면 연구의 가설이 옳았다고 생각할 수 있다. 즉, 전극전위의 상관계수로 신경세포 활동의 비동기화 정도를 추정할 수 있을 것이다.

## II. 연구방법 및 절차

### 1. 연구대상

충북 청원군 소재의 초등학교 6학년 41명, 청주시 소재의 중학교 1학년 32명, 그리고 충북 청원군 소재의 중학교 2학년 32명을 대상으로 뇌파를 측정하였다. 뇌파 측정 전에 뇌파 측정이 해롭지 않다는 점과 측정시 주의 사항을 모든 피험자에게 주지시켰으며, 가능한 눈 깜빡임과 신체를 움직이는 일이 일어나지 않도록 편안한 자세를 유도하였다. 선정된 피험자 중 부모에게 사전 동의를 얻은 학생에 한해서 뇌파 측정을 실시하였다.

### 2. 측정 도구

뇌파 측정을 위해 제작된 '구슬 굴리기'라는 컴퓨터 시뮬레이션 과제를 사용하였다. 학생에게 실제 실험을 보여 주지 않고 컴퓨터에서 이루어지는 가상실험을 보여준 이유는 같은 상황을 동일한 조건에서 제시할 수 있기 때문이다. 이 과제는 '변인'과 관련된 과제로 재질과 크기가 다른 여러 구슬을 경사면의 높이를 달리하여 굴리는 활동이다. 따라서 이 활동에 관련된 변인은 '구슬의 크기', '구슬의 재질', '구슬을 굴리는 높이'가 된다. 한 가지 변인에 대한 영향을 알아보기 위해서는 다른 두 가지 변인을 통제할 줄 알아야 한다.

이 과제를 모두 마치는 데는 학생마다 다르지만 평균적으로 약 15분 정도가 소요된다. 이 과제를 수행하기 전에 과제를 수행하면서 피험자가 알아두어야 할 사항에 대하여 검사자가 설명한 후 과제가 시작된다. 과제를 해결하는 동안 학생들은 '인지갈등', '초인지', '실험설계', '연계'라는 사고를 수행하게 된다(신애경, 2003). 사고를 수행하는 과정은 각 사고와 관련된 화면이 제시되고 검사자의 설명이 있을 후 검사자의 '시작' 신호에 맞추어 사고가 시작되고, 피험자의 '다 했어요.'라는 신호에 맞추어 사고가 끝나는 것으로 하였다. 따라서 각 사고에 따른 뇌파는 '시작'과 '다 했어요.'라는 신호 사이에만 측정을 하

였다. 그리고 사고가 끝난 후에는 사고가 제대로 이루어졌는지를 확인하기 위하여 피험자가 '사고했던 것'을 이야기해 보도록 하였다. 과제 수행의 전 과정은 디지털 카메라로 녹화하였으며 이를 바탕으로 피험자를 구별하였다. 구슬 굴리기 모의실험에서 변인(구슬의 재질, 떨어뜨리는 높이 등...)이 통제되지 않은 실험과 실험결과를 보여 주었을 때, 그 결과가 모순 된다고 말하거나, 또는 적절하게 변인을 통제하여 실험을 계획할 경우 처음 보여준 모의실험에서 인지갈등이 일어났다고 간주하였다. 그렇지 않은 경우에는 모의실험에서 인지갈등이 일어나지 않았다고 판단하여 자료처리에서 제외하였다.

피험자가 화면을 주시하는 방향이 전방 아래로 향하게 하기 위해서 노트북 컴퓨터의 화면을 사용하였으며, 뇌파 측정실의 조도는 일정하게 유지하였다. 그리고 안정단계의 뇌파를 측정하기 위해 구슬 굴리기 과제를 시작하기 직전에 30초 간격으로 눈감고 안정단계와 눈뜨고 안정단계를 측정하였다. 가상실험은 동화상으로 제작되었으며, 동화상이 시작되기 전에는 정지화상을 피험자에게 보여주면서 검사자는 해결해야 할 과제가 무엇인지 설명을 한다. 검사자의 '시작' 신호와 함께 시뮬레이션이 작동하며, 이때 뇌파를 기록하기 시작한다. 피험자는 각 사고단계별로 제시되는 시뮬레이션 화면을 약 10초가량 보면서 과제를 해결하고 검사자는 피험자가 '다 했어요.'라고 말하는 순간 뇌파의 기록을 마친다.

### 3. 뇌파의 측정방법

이 연구에서 사용한 뇌파 측정기는 Compumedics사에서 개발한 E-series EEG system (Compumedics, 2001)이다. 전극부착은 국제전극배치법인 10-20 system을 사용하였으며, 19개의 전극(Fp1, Fp2, F3, F4, F7, F8, Fz, C3, C4, Cz, P3, P4, Pz, O1, O2, T3, T4, T5, T6)을 두피에 부착하였다. 좌·우 양 귀 볼을 연결한 전극을 전위의 기준으로 뇌파가 유도되었다. 두피에 부착되는 전극은 잔(cup) 모양의 부착식 판 전극(plate electrode)을 사용하였다. E-series EEG system의 sampling rate는 256 Hz로 조정하였으며, 잡파(artifact)를 제거하기 위한 필터는 4-50 Hz를 적용하였다. 전극핀은 Elefix, 기기 보정값은 50 V/5 mm, 그리고 저항(impedance)은 10 k $\Omega$ 이하로 유지시켰다.

#### 4. 뇌파의 분석방법

피험자별, 사고단계별로 뇌파의 시계열 데이터를 추출하고 주파수 필터를 이용하여 잡파를 제거하였다. 이 연구에서는 뇌파의 개인차를 상쇄시켜주기 위해서 상대력(relative power)을 분석에 이용하였다. 상대력이란 파워 스펙트럼에서 전체 주파수 영역의 절대파워(absolute power)에 대한 특정 주파수 대역의 절대파워 비를 의미한다(Laxtha, 2002). 각 전극전위의 상대력은 세타(theta)파(4-7 Hz), 알파(alpha)파(8-13 Hz), 베타(beta)파(14-30 Hz) 영역에서 구하였다. 전극전위간 상관계수를 얻기 위해 Complexity Ver 2.0 프로그램(Laxtha, 2002)의 분석 도구 중 all pair cross Pearson correlation 분석법을 사용하여 19개 채널(channel)의 전극에서 얻은 뇌파의 동시적인 Pearson 상관계수를 구하였다. 채널의 수가 19개이기 때문에 19×19 행렬 데이터가 구해진다. 이 행렬을 숫자 자체만 놓고 분석하기는 어려우므로 Fig. 2 와 같은 기준으로 그래픽화 하였다. Fig. 2에서 보는 바와 같이, 상관계수가 +1에 가까운 경우는 붉은 색으로 -1에 가까운 경우는 푸른색으로 Windows 색상표를 이용하여 색깔을 부여하였다.

Fig. 2. Criteria of coloring matrix cells by correlation coefficient

Fig. 2와 같은 기준으로 19 채널간의 전극전위간 상관계수를 정방향렬로 나열하여 뇌 부위별 상관관계 지형도(topography)를 Fig. 3과 같이 만들었다. Fig. 3에서 Prefrontal은 전전두엽, Frontal은 전두엽, Parietal은 두정엽, Occipital은 후두엽, Temporal은 측두엽을 뜻한다.

전극전위간 상관관계 지형도를 분석하는 첫 번째 방법은 각 개인의 상관관계 지형도를 사고단계별로 1대1로 겹쳐서 평균값을 구하는 방법이다(Klemm, 2000). 이러한 방법으로 구한 평균 상관도는 사고단계의 특징을 시각화하여 구별할 수 있다. 두 번째 방법은 뇌의 각 부위별 전극전위간 상관계수의 평균값을 구하는 방법이다. 예를 들어 전두엽 전극전위간 상관계수의 평균값은 전두엽 속에 있는 5개 전극(F3, F4, F7, F8, F2)의 쌍 25 [5 (3-7) × 5

The orders of electrodes in the topography starting left/up and ending right/down: Fp1, Fp2/ F3, F4, F7, F8, Fz/C3, C4, Cz, P3, P4, Pz/O1, O2/T3, T4, T5, T6. This topography was drawn with rest (eyes closed) stage's data.

Fig. 3. Topography of correlation coefficient among electrodes

(3-7)개에서 자기 상관계수인 1의 값을 갖는 전극 쌍 5개를 뺀 20 (5 × 5 - 5)쌍의 상관 계수의 평균값을 전두엽을 대표하는 상관계수로 정하는 것이다.

### Ⅲ. 결과 및 논의

#### 1. 긴장과 전극전위간 상관계수의 관계

“긴장하거나 자극이 제시되는 상황에서 전극전위간 상관계수는 감소하는가?”라는 질문에 대답하기 위해서 초·중등 전체집단의 전극전위간 상관계수의 평균값으로 평균 상관도를 Fig. 4에 나타내었다. 각 사고단계별 평균 상관도의 가로와 세로축이 나타내는 바는 Fig. 3에서 설명한 것과 같다. 또한 뇌의 각 부위별 상관계수의 평균값을 구하여 Table 1에 나타내었다.

Fig. 4. Mean topography by thinking stages

Fig. 4에서 안정한 상태와 사고단계 사이의 차이는 전전두엽과 전두엽에서 현저하게 나타난다. 상관관계 지형도의 왼쪽 위 전전두엽과 전두엽 부분에 높은 정적인 상

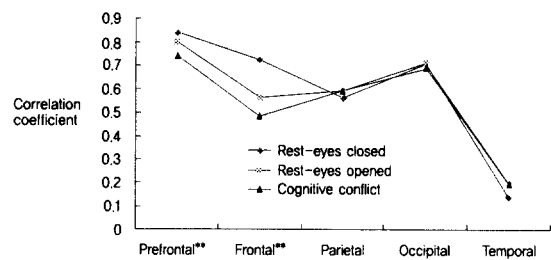
**Table 1.** Means of correlation coefficient among electrodes in each brain region by thinking stage

Region	Rest-eyes closed	Rest-eyes opened	Cognitive conflict	Planning experiment	Bridging	Meta-cognition	Mean
Prefrontal	0.84	0.80	0.74	0.82	0.79	0.83	0.80
Frontal	0.72	0.56	0.48	0.58	0.54	0.59	0.58
Parietal	0.56	0.59	0.59	0.62	0.63	0.62	0.60
Occipital	0.70	0.71	0.69	0.72	0.73	0.71	0.71
Temporal	0.14	0.19	0.20	0.20	0.22	0.20	0.19

관관계( $r=0.84\sim0.80$ )를 나타내는 붉은 정사각형이 눈을 뜨고 사고를 함에 따라 서서히 사라지고 있음을 알 수 있다(Fig. 4, Table 1). 이것은 뇌에 시각적인 자극이 들어오거나 사고를 하기 시작하면 전전두엽과 전두엽 부위의 전극전위간 상관계수가 줄어든다 것을 나타내주는 것이다. 네 가지 과학적 사고단계를 서로 비교하여 살펴보면, 인지갈등단계와 다른 세 가지 사고단계 사이의 차이가 크다고 할 수 있을 것이다. 인지갈등이외의 세 가지 단계 즉, 실험설계, 연계, 초인지 단계의 평균 상관도는 서로 구별하기 어렵고, 기본상태인 눈뜨고 안정상태와 유사해 보인다. Kirby와 Moore(1987)의 연구에 따르면 자신의 전략이나 사고에 대해서 의식적인 통제를 하는 초인지는 상당히 고차원적인 사고로 획득하기가 어려우며 약 만 12세 근처에서 비약적인 발전을 한다고 한다. 이 나이는 중학교 1학년에 해당되기 때문에 이 연구에서 나타난 초인지의 결과가 안정상태와 유사하다는 것이 당연한 결과로 생각된다.

과학적인 사고단계에서 뇌파의 상관특성: Fig. 4에서 안정상태와 과학적 사고를 할 때 상관계수의 차이를 부위별로 비교하면 전전두엽과 전두엽에서 그 차이가 크다. 또한, 과학적인 사고를 할 때 전전두엽과 전두엽을 제외한 다른 부위에서는 상관계수가 커지는 경향이 있다. 이와 같은 사실은 이들 부위에서 수행되는 역할(김현택 등, 2000)이 과학적인 사고와 다르다는 것을 암시한다.

Table 1에서, 인지갈등 단계가 다른 사고단계에 비해서 일반적으로 상관계수가 작다. 인지갈등단계는 눈뜨고 안정단계에 비해서 전전두엽과 전두엽의 상관계수가 작을 뿐만 아니라, 다른 부위에서도 전반적으로 상관계수가 작다. 이와 같은 Table 1의 결과를 상관계수 평균값을 이용해서 그래프로 나타내면 Fig. 5와 같다.



\*  $p < 0.05$ , \*\*  $p < 0.01$ .

**Fig. 5.** Correlation coefficient between electrodes during resting stages(eye opened and closed) and cognitive conflict stage

Fig. 5에서 눈을 감았다 뜨면, 전전두엽과 전두엽에서 전극전위간 상관계수가 유의미하게 감소한다. 이는 시각 자극이 뇌파에 영향을 준 결과이다. 또한 눈 뜬 안정단계와 인지갈등단계를 비교하면, 인지갈등단계에서 전전두엽과 전두엽의 전극전위간 상관계수가 유의미하게 감소한다. Fig.5에서 이 연구의 가정을 해결하는 '긴장과 전극전위간 상관계수의 관계'에 대한 해답을 얻을 수 있다. 과학적인 사고의 과정에서 피험자에게 자극이 제시되어, 피험자가 긴장을 하였다고 가정한다면, 즉 긴장이나 자극이 제시되면 전극전위간 상관계수는 안정단계에 비해 줄어든다.

## 2. 주파수와 전극전위간 상관계수의 관계

“전극전위간 상관계수가 감소할 때 뇌파의 주파수 특성은 서파에서 속파로 바뀌는가?” 라는 질문에 대한 해답은 과학적 사고단계에 따라 주파수가 변화하는 양상과 전극전위간 상관계수가 변화하는 양상을 서로 비교해 봄으로써 알 수 있다.

과학적 사고단계별로 주파수 특성을 조사한 결과는

Table 2와 같다.

Table 2에서 안정상태에서 사고단계로 이행할 때 서파는 줄어들고 속파가 증가하는 경향을 나타내고 있는데,

다른 사고단계와 많은 차이를 나타내는 것 중의 하나는 인지갈등단계이다. 인지갈등단계는 다른 사고단계보다 서파인 세타파는 줄어들고, 속파인 베타파는 증가되고 있다.

**Table 2.** Means of relative power in slow and fast wave by thinking stages

Region	Stages	N	Theta (t)		Alpha (a)		Slow wave	Fast wave	
							[(t + a)/2]	(beta)	
			Mean	S.D.	Mean	S.D.	Mean	Mean	S.D.
Prefrontal	rest(eye opened)	105	0.26	0.11	0.44	0.14	0.35	0.16	0.09
	rest(eye closed)	105	0.49	0.18	0.18	0.10	0.33	0.18	0.12
	planning experiment	105	0.53	0.21	0.14	0.07	0.34	0.19	0.15
	bridging	104	0.44	0.20	0.17	0.08	0.31	0.22	0.14
	cognitive conflict	92	0.38	0.19	0.18	0.08	0.28	0.26	0.14
	meta-cognition	101	0.51	0.20	0.18	0.11	0.35	0.18	0.14
	Total	612	0.44	0.20	0.22	0.14	0.33	0.20	0.14
Frontal	rest(eye opened)	105	0.25	0.08	0.48	0.12	0.36	0.15	0.07
	rest(eye closed)	105	0.37	0.10	0.27	0.10	0.32	0.21	0.08
	planning experiment	105	0.41	0.12	0.23	0.08	0.32	0.22	0.10
	bridging	104	0.39	0.11	0.24	0.07	0.31	0.23	0.09
	cognitive conflict	92	0.37	0.10	0.24	0.07	0.30	0.24	0.08
	meta-cognition	101	0.39	0.12	0.26	0.10	0.32	0.22	0.09
	Total	612	0.36	0.12	0.29	0.13	0.32	0.21	0.09
Parietal	rest(eye opened)	105	0.18	0.07	0.61	0.11	0.40	0.10	0.05
	rest(eye closed)	105	0.28	0.09	0.43	0.13	0.36	0.16	0.06
	planning experiment	105	0.32	0.10	0.36	0.12	0.34	0.19	0.07
	bridging	104	0.33	0.09	0.35	0.11	0.34	0.20	0.07
	cognitive conflict	92	0.30	0.09	0.36	0.10	0.33	0.20	0.06
	meta-cognition	101	0.29	0.10	0.39	0.14	0.34	0.20	0.08
	Total	612	0.28	0.10	0.42	0.15	0.35	0.18	0.07
Occipital	rest(eye opened)	105	0.09	0.05	0.65	0.16	0.37	0.14	0.08
	rest(eye closed)	105	0.18	0.09	0.37	0.18	0.28	0.25	0.10
	planning experiment	105	0.21	0.11	0.30	0.14	0.26	0.29	0.10
	bridging	104	0.23	0.11	0.26	0.10	0.24	0.30	0.08
	cognitive conflict	92	0.20	0.10	0.25	0.11	0.22	0.32	0.09
	meta-cognition	101	0.19	0.11	0.32	0.16	0.26	0.29	0.10
	Total	612	0.18	0.11	0.36	0.20	0.27	0.26	0.11
Temporal	rest(eye opened)	105	0.17	0.06	0.53	0.11	0.35	0.17	0.07
	rest(eye closed)	105	0.23	0.07	0.32	0.13	0.28	0.27	0.09
	planning experiment	105	0.23	0.08	0.26	0.12	0.24	0.32	0.10
	bridging	104	0.24	0.08	0.25	0.10	0.25	0.32	0.09
	cognitive conflict	92	0.22	0.09	0.23	0.09	0.22	0.34	0.10
	meta-cognition	101	0.22	0.08	0.28	0.14	0.25	0.32	0.10
	Total	612	0.22	0.08	0.31	0.16	0.27	0.29	0.11

눈뜨고 안정한 단계에서 인지갈등단계로 변화할 때, 주파수 특성의 변화를 Table 2의 서파와 속파의 상대력 평균값에 근거하여 그래프로 나타내면 Fig. 6과 같다.

Fig. 6에서 눈뜨고 안정상태에서 인지갈등단계로 변화할 때 서파는 줄어들고 속파는 증가했다. 또한, Fig. 5에 나타나 있는 바와 같이 눈뜨고 안정상태에서 인지갈등단계로 변화할 때 전전두엽과 전두엽에서 전극전위간 상관계수는 유의미하게 줄어들고 있다. 이와 같은 결과들을 종합하여 보면, 전극전위간 상관계수와 주파수특성의 관계를 알 수 있다. 즉, 전극전위간 상관계수가 감소할 때 뇌파는 서파에서 속파로 변화된다.

### 3. 가설의 검증

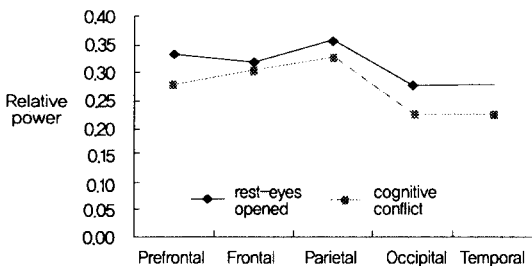
이 연구에서 전극전위간 상관계수가 신경세포 활동의 비동기화 정도와 관련이 있을 것이라고 가정하였다. 연구 결과, 과학적인 사고과정에서 전극전위간 상관계수가 감소하였다. 또한, 과학적 사고과정에서 뇌파는 안정상태에 비해 서파의 파워가 감소하고 속파의 파워가 증가하였다. 많은 수의 신경세포가 활성화되면 진폭은 낮아지고 진동수는 커진 상태의 속파가 발생(Steriade et al., 1985; Glass, 1991; Niedermeyer & Lopes da Silva, 1999) 한다. 그러므로 전극전위의 상관계수와 신경세포 활동의 비동기화 정도는 관련이 있는 것이다. 즉, 과학적인 사고과정에서 대뇌 피질 신경세포의 활동이 활발해져서 그들이 방출하는 신경신호의 동기화 정도가 감소하면, 전극전위간 상관계수가 줄어든다고 말할 수 있다.

## IV. 결론 및 적용

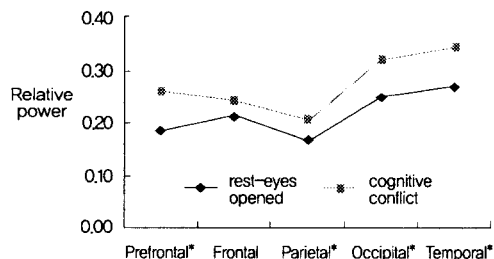
이 연구에서는 전극전위간 상관계수와 뇌 신경세포 활동의 비동기화 정도는 관련이 있을 것이라고 가정하였고, 가설이 지지되는 실험결과를 얻었다. 뇌 신경세포의 활성이 증가될 때 그들 사이의 활동이 비동기화된다. 따라서, 전극전위간 상관계수가 줄어들면 측정부위에 있는 뇌 신경세포의 활성이 증가되었다고 말할 수 있다. 반면, 전극전위간 상관계수가 높으면 측정 부위에 있는 뇌 신경세포들이 서로 동기화되어 결맞은(coherent) 진동(동조)을 하고 있음을 알 수 있다. 또한, 상관 특성과 주파수 특성이 서로 관련이 있다는 점도 알 수 있다. 주파수 특성으로 하나의 전극 주위에 있는 뇌 신경세포가 발생하는 뇌파에 대한 정보를 알 수 있는 반면, 상관 특성으로 여러 개의 전극 주위에 있는 뇌 신경세포의 활동에 대한 정보를 알 수 있다.

안정상태와 과학적인 사고과정에서 나타나는 뇌파의 차이는 전전두엽과 전두엽의 전극전위간 상관계수가 감소한다는 점으로부터 과학적인 과제를 해결할 때 전전두엽과 전두엽의 활동이 가장 활발하다고 말할 수 있다. 특히 다른 과학적 사고단계 즉, 실험설계, 연계, 초인지와 비교할 때 인지갈등단계에서 전극전위간 상관계수가 가장 작아진다는 사실로부터, 인지갈등을 할 때 뇌 신경세포가 가장 활발히 활동한다는 것을 알 수 있다. 이러한 사실들은 전전두엽과 전두엽이 인지갈등의 사고단계에 큰 역할을 한다는 것을 말해준다.

뇌파에서 나타나는 전극전위의 주파수 특성으로 하나의 전극 주위에 있는 뇌 신경세포에서 발생하는 뇌파에 대한



1. Changes of slow wave



2. Changes of fast wave

\* p < 0.05, \*\* p < 0.01.

Fig. 6. Characteristics in frequencies during resting(eye opened) and cognitive conflict stages

정보를 알 수 있는 반면, 상관 특성으로 여러 개의 전극 주위에 있는 뇌 신경세포의 활동에 대한 정보를 알 수 있기 때문에 주파수 특성과 상관 특성은 서로 보완적인 관계가 있다고 할 수 있다. 그러므로 뇌파를 이용한 과학적인 사고과정의 연구에서 상관특성이 주파수 특성과 함께 분석된다면 좀더 의미 있는 결과를 얻을 수 있을 것이다.

## 국문 요약

이 연구의 목적은 뇌 신경세포 활동의 비동기화 정도는 두피에서 측정된 뇌파의 전극전위간의 상관계수와 관련이 있을 것이라는 가설을 검증하고 그 가설을 이용하여 과학적인 사고과정에서 나타나는 뇌파의 특성을 기술하는 것이다. 초등학교 6학년과 중학교 1, 2학년을 대상으로 실험 설계, 인지갈등, 연계, 초인지등의 4단계의 과학적인 사고과정으로 이루어진 구슬굴리기 과제를 수행하는 과정에서 나타나는 뇌파와 안정상태의 뇌파를 19개의 두피전극에서 측정하였다. 연구결과, 전극전위간 상관계수가 작아질수록 뇌 신경세포의 비동기화 정도가 커졌으며, 안정상태에 비해 과학적인 사고과정에서 전전두엽과 전두엽의 전극전위간 상관계수가 감소하였다. 또한, 과학적인 사고과정에서 전전두엽과 전두엽의 뇌세포가 가장 많이 활성화되었다. 뇌파를 이용한 과학적 사고과정의 연구에서 뇌파의 주파수 특성뿐만 아니라 전극전위간 상관계수를 분석함으로써 좀 더 의미있는 결과를 얻을 수 있다고 생각한다.

## 참고 문헌

김현택, 조선영, 박순권 역(2000). 생리심리학의 기초. 서울: 시그마프레스. [원전 Carlson, R. (2000). *Foundation of Physiological Psychology*.

Massachusetts: Allyn and Bacon.]

신애경(2003). *Thinking Science* 프로그램이 학생들의 인지 발달 가속과 인지과정 기능의 발달에 미치는 효과. 한국교원대학교 박사 학위 논문.

한선호, 齋藤章二(1998). *臨床腦波*, 서울: 일조각, pp. 48-49.

AAAS(1989). *Science for all Americans*. NY: Oxford University Press.

Compumedics(2001). *E-series user guide*. Australia.

Glass, A.(1991). Significance of EEG alpha asymmetries in cerebral dominance. *International Journal of Psychophysiology*, 11, 32-33.

Klemm, W. R., Li, T. H., & Hernandez, J. L.(2000). Coherent EEG indicators of cognitive binding during ambiguous figure tasks, *Consciousness and Cognition*, 9, 66-85.

Lawson, A. E.(1995). *Science teaching and the development of thinking*. California: Wadsworth, pp. 1-3.

Laxtha(2002). *Complexity (Model: Complexity Ver. 2.0) User Manual*. Korea: Laxtha.

Niedermeyer, E., & Lopes da Silva, F.(1999). *Electroencephalography: Basic Principles, Clinical Applications, and Related Fields* (4th ed.). Baltimore: Williams & Wilkins.

Steriade, M., Deschenes, M., Donchin, S., & Mulle, C. (1985). Abolition of spindle oscillation in thalamic neurons disconnected from nucleus reticularis thalami. *Journal of Neurophysiology*, 54, 1473-1497.