

사고 활동 중의 전방전두엽에서의
뇌전도 분석에 기초한 두뇌의 활성화 상태 분석

박재근* · 김용진¹ · 장남기²

여의도고등학교 · ¹서원대학교 과학교육과 · ²서울대학교 생물교육과

**The Analysis of Brain Activation State Based on the Electroencephalographic
Analysis in Prefrontal Lobe during Thinking Activities**

Jaе-Kеun Park*, Yong-Jin Kim¹ and Nam-Kee Chang²

Youido High School; ¹Dept. of Science Education, Seowon University;

²Dept. of Biology Education, Seoul National University

ABSTRACT

This study discussed the brain functions by analyzing the EEG measured in the prefrontal lobe of the learners who are at the first year high school when they are in the process of thinking, trying to solve the problems of a numerical progression, vocabulary, perception of space and scientific thinking which are given to them for analysis purpose, or when they are sunk in meditation.

When the learners were in meditation state, the activity of α wave rose highly and that of β wave fell low amid the most active θ waves. However, when they were in the process of thinking those four types of problems both θ and β waves tended to become increasingly active. The results of this study mean that the activities of solving a numerical progression or vocabulary problems made the left brain predominantly active while problems involving perception of space and scientific thinking made the right brain to have predominance. It is therefore reasonable to think that the differentiation of the left and right brain functions would take place before they reached the age of the first year high school in view of the results of the other study regarding the differentiation of the brain functions conducted on the middle school students.

And our findings that activities involving the perception of space and the solving of scientific thinking problems made the right brain's θ and β waves predominantly active imply that this wavelength range is closely related to the learner's creativity.

I. 서 론

인간은 누구나 유전에 의한 신체 각 부위의 구조적인 차
이뿐만 아니라 경험한 환경에 의해 독특하게 변화된 두뇌의

해부학적인 차이에 의해 규정될 수 있다. 즉, 특정한 상황에
서 느끼고, 생각하고, 반응하고, 대처하는 개개인의 독특한
속성은 지금까지 배운 것과 기억한 것의 차이에 따른 두뇌
의 지배에 의해 결정된다.
너는 수십억 개의 신경 세포가 상호 연결되어 작용함

*교신저자 E-mail : min756@chollian.net

로써 인간의 의식적, 인지적 체계를 지배하고 있다. 일찍이 교육학자, 심리학자 그리고 철학자들은 뇌에 의한 사고의 형태를 두 가지 양식으로 구별하여 왔는데, 하나는 논리적, 분류적, 분석적, 연역적 사고이고 다른 하나는 유추적, 종합적, 귀납적 그리고 일반화하는 사고 형태이다(Bogen, 1977).

대뇌는 종주구(longitudinal groove)에 의해 좌반구와 우반구로 나누어져 있으며 각각의 반구는 서로 대칭되는 다른 기능을 수행한다. 두 반구는 서로 다른 방식으로 정보를 받아들이고 해석하며, 어느 한 쪽의 반구는 다른 쪽의 반구에 비하여 어떤 특정한 과제를 잘 수행할 수 있는 기능적 차이, 즉 반구성을 보인다.

반구성(hemisphericity)의 개념은 두 개의 반구가 서로 다른 방식의 사고를 위해 전문화(specialization)되어 있다는 생각에서 도입된다. 즉, 반구성은 과업의 인지적 특성과는 관계없이 개개인이 사고할 때 나타나는 좌·우반구의 상대적 우세성을 의미하며(Sackheim *et al.*, 1984). 주변 환경에 대한 정보를 이해하고 조직화하는 개개인의 독특한 방식처럼 개인의 인지 양식(cognitive style)을 반영하는 것으로 생각된다(Messick, 1984).

인간의 뇌 발달과 심리 발달은 전통적으로 인식되어온 연속적이고 선형적인 방식보다 급성장과 정체가 반복되어 나타나는 불연속적이고 역동적인 방식으로 이루어진다. 따라서 두뇌생물학적 관점에서 뇌발달에 따른 정신 활동 능력의 평가는 단순한 지필 평가나 태도 변화의 관찰 등을 통해서 정확히 이루어지기가 어렵다. 이러한 관점에서 볼 때 뇌파는 대뇌 피질에 있는 수많은 신경 세포의 활동 전위를 객관적이고도 명확하게 표현해 주는 방식이기 때문에 사회적, 문화적 영향을 배제하고 가장 객관적으로 두뇌 기능을 해석할 수 있는 방법으로 인정되고 있다(이인혜 등, 1997).

전방전두엽 피질(prefrontal cortex)은 대뇌 반구에서 가장 늦게 발달하여 인지 발달 단계에 있어서 형식적 조작기의 시작과 일치하는 청소년기까지는 완전히 성숙되지 않는 부분이다(Thatcher *et al.*, 1987). 최근 신경심리학적 및 신경생리학적 연구는 인간의 고등 인지기능이 대뇌의 전방전두엽 피질의 발달에 기인한다고 밝혔으며(Gibson & Peterson, 1991; Thatcher, 1990), Lawson(1993)은 연령에 따른 사고 발달 패턴의 발달에 대한 연구를 통해 대뇌 피질에서의 전두엽의 발달과 가설-연역적 사고의 수행에 대한 관련

성을 제시하였다.

김용진(2000)은 문제 풀이의 사고 학습 과정에서 시간의 경과에 따른 뇌전위의 변화폭이 동일한 시간대에서는 진폭이 증가하고 감소하는 변화 양상이 전두엽을 비롯해 전체적으로 유사하게 나타남을 보고하였고, 이강희 등(2000)은 전두엽에서 뇌파를 측정하는 Q-jump 뇌파계와 다채널 뇌파계 사이에 매우 높은 상관 관계가 있음을 제시하였다. 이러한 사실은 사고 활동이 전두엽을 중심으로 한 두뇌 전체 뇌신경의 시너지 효과(synergy effect)에 의해 이루어지므로 전방전두엽을 포함하고 있는 전두부에서의 뇌파 측정을 통해 두뇌의 활성화 상태를 분석하고, 전뇌(全腦)의 우세과 분포를 추정하는 것이 가능하다는 것을 보여준다.

본 연구에서는 학습자에게 다양한 과제를 부여하고, 학습자가 이러한 사고 활동을 수행하는 동안에 전방전두엽 부위에서의 뇌전도를 측정하여 각 사고 활동 중에 우세하게 작용하는 뇌신경 리듬을 분석하고, 이를 바탕으로 두뇌의 활성화 상태를 분석함으로써 두뇌활동에 대한 객관적 평가의 가능성을 제시하고자 하였다.

II. 연구 방법 및 절차

본 연구에서는 서울 영등포구에 소재한 남자 인문계 고등학교 1학년 학생 20명을 대상으로 수열 문제, 어휘 문제, 공간 지각력 문제, 그리고 과학적 사고력 문제 등과 같은 문제 해결 활동을 부여한 후, 다양한 사고 활동 중에 나타나는 전방 전두엽에서의 뇌전도를 측정하고 이를 분석하였다.

1. 뇌파의 측정

뇌파기는 미국의 IBVA(Interactive Brainwave Visual Analyzer) Tech, Inc가 개발한 2-channel system을 Power Macintosh 7300/180에 연결하여 사용하였고, 전극은 Ag/AgCl이 도금된 센서를 가진 지름 10mm의 pre-gelled EMG button snap을 사용하였다. 뇌파 측정을 위한 헤드밴드는 중앙에 접지 전극(Fpz)이 부착되어 있고 좌·우로 3cm 간격으로 2개의 전극이 부착되어 있다. 따라서 접지 전극이 코 위쪽 전두부(前頭部)의 중앙에 위치하도록 배치하여 좌뇌 전방전두부(Fp1)와 우뇌 전방전두부(Fp2)에 근접한 부위의 뇌파를 동시에 측정하였다.

뇌파기는 주변 소음이 거의 배제되어 안정된 환경이 보장되는 공간에 설치하고 연구를 진행하였다. 먼저, 피험자의 머리에 전극이 부착된 헤드밴드(headband)를 두르고 뇌파기에 적응할 수 있는 시간을 약 5분 정도 준 다음, 눈을 감고 안정을 취한 상태에서 기본 뇌파를 약 1분 동안 측정하였다. 이어서 한국행동과학연구소(2000)에서 발행한 고등학생 종합능력검사(지능·적성)지에 수록된 수열 문제, 어휘력 문제, 공간 지각력 문제, 그리고 과학적 사고력 문제 등의 4가지 유형의 과제를 각각 부여하고 이들 과제를 수행하는 3분 동안에 전방전두엽에서의 뇌파를 측정하였다.

2. 뇌파의 분석 및 처리

언어진 뇌파의 파형과 원 자료(raw data)에서 잡파가 포함된 부분은 제거하였고, 이러한 수정 자료에 대해 FFT(Fast Fourier Transform) 하여 언어진 값으로 뇌전위 진폭 스펙트럼(EEG Amplitude Spectrum)과 뇌파의 파장 영역별 활성도를 구한 후 이 결과를 분석하고 통계처리 하였다. 진폭의 세기는 전압(μ)으로 나타내어 뇌파 활성도의 값으로 사용하였다.

측정된 뇌파 중에서 0~3 Hz의 영역에 해당하는 Delta (δ)파의 활성은 안구 운동 등에 의해 쉽게 영향을 받을 수 있으므로 분석에서 제외하였고(Grillon & Buchsbaum, 1986), 40 Hz 이상의 파장대는 A/C 전류에 의해 쉽게 영향을 받을 수 있기 때문에 역시 분석에서 제외하였다. 본 연구에서는 주파수 4~7 Hz 영역을 Theta (θ)파, 8~12 Hz대를 Alpha (α)파, 13~20 Hz 대를 Beta1 (β_1)파, 21~30 Hz대를 β_2 파, 31~40 Hz대를 β_3 파로 구분하였다.

뇌파 측정과 분석을 위한 전체적인 연구 과정은 <그림 1>과 같은 절차를 따라 실시하였다.

3. 뇌파의 선형 분석

일반적인 곡선 파형으로 나타나는 뇌파를 분석하기에는 여러 가지 어려운 점이 많기 때문에 시간 도메인으로부터 주파수 도메인으로의 전환을 위한 수학적인 방법으로 고속 푸리에 변환(Fast Fourier Transform: FFT)을 사용하였다. 이것은 어떤 시그널이 사인과 코사인의 다양한 주파수, 진폭, 위상들의 조합으로 기술되게 하여 원 시그널에 존재하는 사인과 코사인파를 나타내는 많은 수의 수적인 계수를 생성한다. 본 연구에서 사용한 FFT의 식은 다음과 같고, 이것은 Colley-Turkey의 알고리즘에 따라 컴퓨터로 계산되어 나타낼 수 있다(Harris, 1988).

$$G(\nu) = \sum_{r=0}^{N-1} g(r)e^{-i2\pi\nu r/N}$$

$$= \sum_{r=0}^{N-1} g(r) \cos(2\pi\nu r/N) - i \sum_{r=0}^{N-1} g(r) \sin(2\pi\nu r/N)$$

$$g(r) = \frac{1}{N} \sum_{\nu=0}^{N-1} G(\nu)e^{+i2\pi\nu r/N}$$

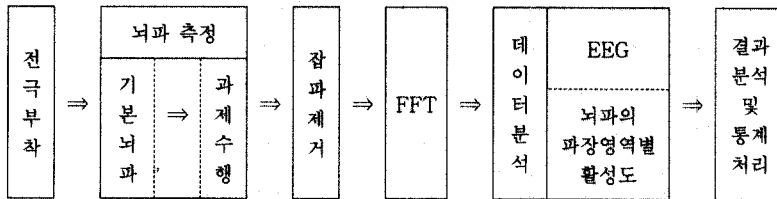
$$= \frac{1}{N} \sum_{\nu=0}^{N-1} G(\nu) \cos(2\pi\nu r/N) + \frac{i}{N} \sum_{\nu=0}^{N-1} G(\nu) \sin(2\pi\nu r/N)$$

(유한 시간 $r = 0, 1, 2, \dots, N-1$ 에서 sample 되어진 시간 함수, 여기서 r 는 시간 자체보다는 간격을 나타내고, N 은 sample의 총수, FFT 빈도는 ν (주파수)로 나타낸다. 데이터의 수는 2의 제곱수이어야 한다.)

III. 연구 결과

1. 기준 상태와 활동 과제 사이의 뇌파 활성도 비교

기준(명상) 상태의 뇌파 활성도와 수열 문제, 어휘 문제,



<그림 1> 뇌파 측정의 연구 절차

〈표 1〉 좌뇌에서 기준 상태와 각 활동 과제들 사이의 뇌파 활성도 차이의 비교 검정

	평균 차이	표준 편차	t	df	p
기준-수열문제	-1.685	1.333	-8.093	40	.000
기준-어휘문제	-1.832	1.011	-11.598	40	.000
기준-공간지각력	-1.663	1.335	-7.972	40	.000
기준-과학적사고력	-1.812	1.302	-8.905	40	.000

〈표 2〉 우뇌에서 기준 상태와 각 활동 과제들 사이의 뇌파 활성도 차이의 비교 검정

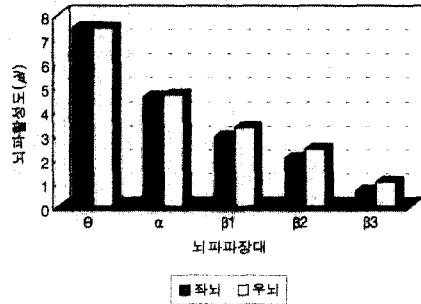
	평균 차이	표준 편차	t	df	p
기준-수열문제	-1.651	1.018	-10.385	40	.000
기준-어휘문제	-1.773	.950	-11.953	40	.000
기준-공간지각력	-1.962	1.390	-9.036	40	.000
기준-과학적사고력	-2.006	1.540	-8.343	40	.000

공간 지각력 문제, 그리고 과학적 사고력 문제 해결 활동 중의 뇌파 활성도의 차이를 대응 t-검정을 통해 비교한 결과는 〈표 1〉, 〈표 2〉와 같다. 각 활동 과제들을 수행하는 동안에 좌·우뇌의 0~40 Hz에 해당하는 전 파장대에 걸쳐서 뇌파 활성도가 모두 기준 상태에 비해서 매우 유의미하게 증가하였다(p<.01). 이러한 결과는 인지적 사고 활동을 하는 동안에는 기준 상태에 비해 좌·우뇌에서 모두 뇌파 활성도가 급격하게 증가한다는 사실을 보여준다.

2. 활동 과제에 따른 뇌파 활성도 분석

1) 기준 상태에서의 뇌파 활성 상태

기준 상태에서의 좌·우뇌별 뇌파의 평균 활성도는 〈그림 2〉와 같다. 뇌파 활성도의 크기는 좌뇌와 우뇌에서 모두 $\theta > \alpha > \beta_1 > \beta_2 > \beta_3$ 순으로 나타났고, 뇌파의 모든 파장대에서 우뇌의 뇌파 활성도 값이 좌뇌에 비해 높게 나타났다. 기준 상태는 눈을 감고 있어 정신적으로 안정되어 있고 유기체가 이완되어 있는 상태이므로 정적 상태에 관한 뇌의 활동을 반영하는 θ 파의 활성이 크게 나타난 것으로 생각된다. 이와 유사하게 α 파의 값도 비교적 높게 나타났지만, α 파의 활성화와 역관계에 있으며 활발한 정신 활동시에 나타나는 β 파의 값은 상대적으로 낮은 값을 보인다.



〈그림 2〉 기준(명상) 상태에서의 좌·우뇌 뇌파 평균 활성도

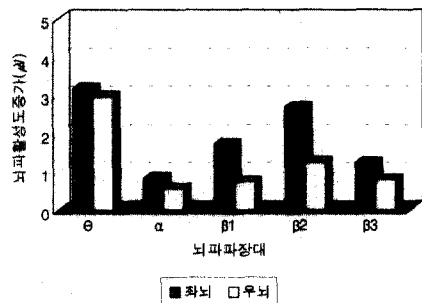
〈표 3〉 기준 상태에서의 좌·우뇌 뇌파 평균 활성도 차이 비교 검정

파장대	평균차이	표준편차	t	df	p
θ	-.005	1.522	-.015	19	.988
α	-.118	1.084	-.486	19	.633
β_1	-.387	1.084	-1.596	19	.127
β_2	-.385	1.124	-1.529	19	.143
β_3	-.379	1.135	-1.492	19	.152

좌·우뇌 뇌파의 평균 활성도의 차이를 대응 t-검정을 통해 비교한 결과는 〈표 3〉과 같다. θ 파에서 β_3 에 이르는 뇌파의 모든 파장대에서 좌뇌와 우뇌의 뇌파 활성도 차이는 나타나지 않았는데, 이러한 사실은 피검자들의 뇌파 활성화 상태가 좌뇌와 우뇌 중 어느 한쪽으로 치우치지 않고 안정되어 있는 상태임을 보여 준다.

2) 수열 문제 해결 활동에서의 뇌파 활성 상태

수열 문제를 해결하는 동안에 좌·우뇌에 있어서 뇌파



〈그림 3〉 수열 문제 해결 중의 좌·우뇌 뇌파 활성도 증가

〈표 4〉 수열 문제 해결 중의 좌·우뇌 뇌파 활성도 증가 차이 비교 검정

파장대	평균차이	표준편차	t	df	p
θ	.205	1.840	.497	19	.625
α	.268	1.164	1.028	19	.317
β_1	.981	2.078	2.110	19	.048
β_2	1.448	3.059	2.117	19	.048
β_3	.436	1.958	.996	19	.332

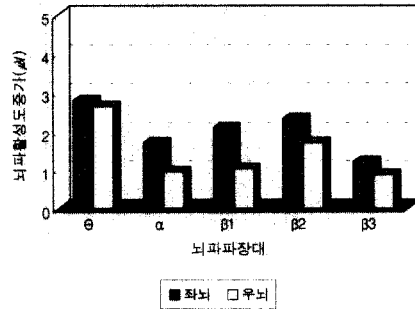
활성도의 증가는 〈그림 3〉에 나타내었다. 〈그림 3〉에 나타난 뇌파 활성도의 값은 수열 문제를 해결하는 동안에 측정된 좌·우뇌 뇌파의 평균 활성도에서 기준 상태의 좌·우뇌 뇌파의 평균 활성도를 뺀 값이며, 뇌파 활성도의 증가값에 해당된다. 뇌파 활성도의 증가값은 모든 파장대에 걸쳐서 우뇌보다는 좌뇌에서 더 큰 증가를 보였다. 좌뇌에서의 뇌파 활성도의 증가는 $\theta > \beta_2 > \beta_1 > \beta_3 > \alpha$ 의 순이고, 우뇌에서의 뇌파 활성도의 증가는 $\theta > \beta_2 > \beta_3 > \beta_1 > \alpha$ 의 순으로 나타났는데, 특히 θ 파와 β_2 파의 증가가 두드러진다.

좌·우뇌의 뇌파 활성도의 증가에 대한 차이를 대응 t-검정을 통해 비교한 결과는 〈표 4〉와 같다. 뇌파 활성도의 증가는 주의 집중하여 정신 활동을 할 때 주로 나타나는 β_1 , β_2 파장대에서 좌뇌가 우뇌에 비해서 유의미한 증가를 보였고($p < .05$), 나머지 파장대에서는 유의미한 차이가 나타나지 않았다. 이것은 수열 문제 해결 과정이 주로 β_1 , β_2 파에 의존하는 좌뇌 우세형 활동임을 보여주는 결과이다.

3) 어휘 문제 해결 활동에서의 뇌파 활성 상태

어휘 문제를 해결하는 동안에 좌·우뇌에 있어서 뇌파 활성도의 증가는 〈그림 4〉와 같다. 뇌파 활성도의 증가는 모든 파장대에 걸쳐서 우뇌보다는 좌뇌에서 더 큰 증가를 보였는데, 이것은 어휘 문제 해결 활동이 수열 문제 해결 활동과 마찬가지로 좌뇌 우세형 사고 활동임을 보여준다. 뇌파 활성도의 증가는 좌뇌와 우뇌에서 모두 $\theta > \beta_2 > \beta_1 > \alpha > \beta_3$ 의 순으로 나타났다.

좌·우뇌의 뇌파 활성도의 증가에 대한 차이를 대응 t-검정을 통해 비교한 결과는 〈표 5〉와 같다. 뇌파 활성도의 증가는 α 파와 β_1 파 파장대에서 좌뇌가 우뇌에 비해서 유의미한 증가를 보였는데($p < .05$), 이것은 이 과제가 주로 좌뇌 의존적으로 작용하며, 특히 α 와 β_1 리듬이 어휘 사고 작



〈그림 4〉 어휘 문제 해결 중의 좌·우뇌 뇌파 활성도 증가

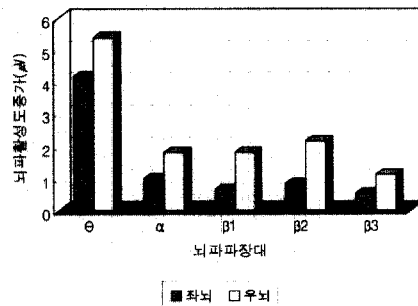
〈표 5〉 어휘 문제 해결 중의 좌·우뇌 뇌파 활성도 증가 차이 비교 검정

파장대	평균차이	표준편차	t	df	p
θ	.157	2.239	.313	19	.758
α	.770	1.501	2.295	19	.033
β_1	1.073	1.984	2.419	19	.026
β_2	.630	2.996	.940	19	.359
β_3	.341	1.746	.872	19	.394

용에 크게 기여하는 것으로 생각된다.

4) 공간 지각력 문제 해결 활동에서의 뇌파 활성 상태

공간 지각력 문제를 해결하는 동안에 좌·우뇌에 있어서 뇌파 활성도의 증가는 〈그림 5〉와 같다. 뇌파 활성도의 증가는 모든 파장대에 걸쳐서 좌뇌보다는 우뇌에서 더 큰 증가를 보였는데, 이것은 이 활동 동안에 좌뇌보다 우뇌의 작용이 훨씬 더 활발하였음을 보여준다. 특히 좌·우뇌 모두에서 θ 파의 증가가 두드러진 가운데, 좌뇌에서의 뇌파 활



〈그림 5〉 공간지각력 문제 해결 중의 좌·우뇌 뇌파 활성도 증가

〈표 6〉 공간지각력 문제 해결 중의 좌·우뇌 뇌파 활성도 증가 차이 비교 검정

파장대	평균차이	표준편차	t	df	p
θ	-1.221	1.851	-2.950	19	.008
α	-.810	1.404	-2.580	19	.018
β_1	-1.149	2.255	-2.278	19	.034
β_2	-1.318	3.120	-1.889	19	.074
β_3	-.583	1.992	-1.309	19	.206

〈표 7〉 과학적 사고력 문제 해결 중의 좌·우뇌 뇌파 활성도 증가 차이 비교 검정

파장대	평균차이	표준편차	t	df	p
θ	-.918	2.533	-1.621	19	.121
α	-.952	1.859	-2.289	19	.034
β_1	-.823	1.894	-1.942	19	.067
β_2	-1.081	2.297	-2.105	19	.049
β_3	-.336	1.985	-.757	19	.459

성도의 증가는 $\theta > \alpha > \beta_2 > \beta_1 > \beta_3$ 의 순으로, 우뇌에서의 뇌파 활성도의 증가는 $\theta > \beta_2 > \alpha > \beta_1 > \beta_3$ 의 순으로 나타났다.

좌·우뇌의 뇌파 활성도의 증가에 대한 차이를 대응 t-검정을 통해 비교한 결과는 〈표 6〉과 같다. 뇌파 활성도의 증가는 θ 파(p<.01), 그리고 α 파와 β_1 (p<.05) 파장대에서 우뇌가 좌뇌에 비해서 유의미한 증가를 보였는데, 이것은 이 과제가 주로 우뇌 의존적으로 작용하며, 특히 θ 파, α 파, 그리고 β_1 파 리듬이 사고 활동에 크게 관여하는 것으로 생각된다.

의 증가는 좌·우뇌 모두에서 $\theta > \alpha > \beta_2 > \beta_1 > \beta_3$ 의 순으로 증가하였다.

좌·우뇌의 뇌파 활성도의 증가에 대한 차이를 대응 t-검정을 통해 비교한 결과는 〈표 7〉과 같다. 뇌파 활성도의 증가는 α 파와 β_2 파 파장대에서 우뇌가 좌뇌에 비해서 유의미한 증가를 보였고(p<.05), 나머지 파장대에서는 유의미한 차이가 나타나지 않았다. 이것은 이 과제 활동이 주로 우뇌 의존적으로 작용하며, 특히 α 파와 β_2 파 리듬이 사고 작용에 크게 관여하는 것으로 생각된다.

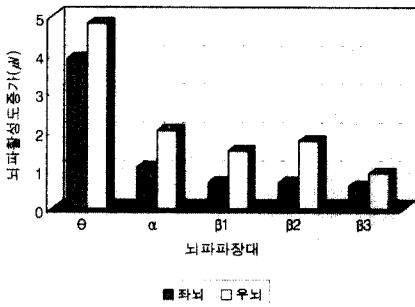
5) 과학적 사고력 문제 해결 활동에서의 뇌파 활성 상태

과학적 사고력을 측정하는 문제를 해결하는 동안에 좌·우뇌에 있어서 뇌파 활성도의 증가는 〈그림 6〉과 같다. 뇌파 활성도의 증가는 모든 파장대에 걸쳐서 좌뇌보다는 우뇌에서 더 큰 증가를 보였는데, 이것은 과학적 사고력 활동이 공간 지각력 문제 해결 활동과 마찬가지로 좌뇌보다는 우뇌가 더 우세하게 작용하는 사고 활동임을 보여준다. 특히 좌·우뇌 모두에서 θ 파의 증가가 두드러졌고, 뇌파 활성도

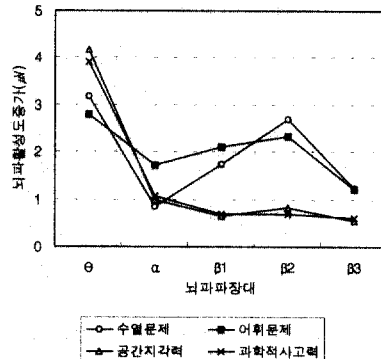
3. 활동 과제 사이의 뇌파 활성도 비교

수열 문제, 어휘 문제, 공간 지각력 문제, 그리고 과학적 사고력 문제 해결 활동 중에 좌·우뇌에서 측정된 뇌파 활성도의 증가값을 파장대별로 비교한 결과는 〈그림 7〉 및 〈그림 8〉과 같다.

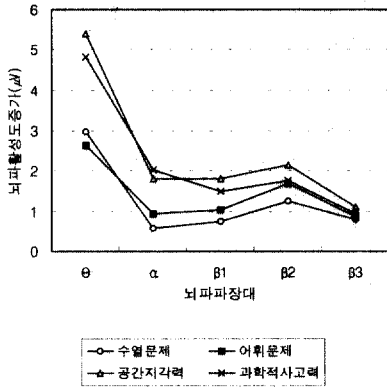
θ 파 영역은 좌·우뇌 모두에서 공간 지각력 > 과학적 사고력 > 수열 문제 > 어휘 문제 해결 활동의 순으로 뇌파



〈그림 6〉 과학적 사고력 문제 해결 중의 좌·우뇌 뇌파 활성도 증가



〈그림 7〉 좌뇌에서의 활동 과제들 사이의 뇌파 활성도 비교



〈그림 8〉 우뇌에서의 활동 과제들 사이의 뇌파 활성도 비교

활성도가 증가하였고, α파와 β파 영역은 좌뇌에서는 수열 문제와 어휘 문제가, 우뇌에서는 공간 지각력과 과학적 사고력 문제 해결 활동의 활성도가 높게 나타났다. α파가 주의 집중력을 보일 때 주로 나타나고, β파는 정신 활동을 수행하거나 새로운 것을 학습할 때 주로 나타나는 뇌파라는 점을 고려하면 수열 문제나 어휘 문제 해결 활동은 좌뇌가 우세하게 작용하는 사고 활동이며, 공간 지각력이나 과학적 사고력 해결 활동은 우뇌가 우세하게 작용하는 사고 활동임

을 보여준다.

수열 문제와 어휘 문제 해결 활동 사이에 뇌파 활성도를 비교 검정한 결과는 〈표 8〉과 같다. 두 과제는 모두 좌뇌 우세 활동이며, 두 활동 사이에는 좌·우뇌의 α 파장대에서 모두 유의미한 차이가 있는 것으로 나타났다(p<.01). 이것은 이들 활동이 주로 α파 리듬의 활성도 차이에 의해 이루어진다는 사실을 알 수 있다.

수열 문제와 공간 지각력 문제 해결 활동 사이에 뇌파 활성도를 비교 검정한 결과는 〈표 9〉와 같다. 수열 문제는 좌뇌 우세, 공간지각력 문제는 우뇌 우세 활동인데, 좌뇌에서는 β₂ 파장대의 뇌파 활성도에 있어서 수열 문제 해결 활동이 유의미하게 높았고(p<.05), 우뇌에서는 θ파(p<.05)와 α파(p<.01) 파장대의 뇌파 활성도에서 공간 지각력 문제 해결 활동이 유의미하게 높았다. 이것은 두 활동 사이에 나타나는 뇌파 활성도의 차이가 좌뇌에서는 β₂파, 우뇌에서는 θ파와 α파 리듬의 활성도 차이에 의해 이루어진다는 사실을 알 수 있다.

수열 문제와 과학적 사고력 문제 해결 활동 사이에 뇌파 활성도를 비교 검정한 결과는 〈표 10〉과 같다. 수열 문제는 좌뇌 우세, 과학적 사고력 문제는 우뇌 우세 활동인데, 좌뇌에서는 β₁파(p<.05) 및 β₂파(p<.01) 파장대에 있어서 수열

〈표 8〉 수열 문제와 어휘 문제 해결 활동 사이의 뇌파 활성도 비교 검정

파장대	좌 뇌					우 뇌				
	평균차이	표준편차	t	df	p	평균차이	표준편차	t	df	p
θ	.379	2.914	.581	19	.568	.331	2.295	.644	19	.527
α	-.872	.624	-6.248	19	.000	-.369	.432	-3.818	19	.001
β ₁	-.366	.905	-1.808	19	.086	-.273	.738	-1.654	19	.114
β ₂	.368	1.445	1.139	19	.269	-.450	1.633	-1.233	19	.233
β ₃	.025	.761	.146	19	.885	-.071	.969	-.325	19	.748

〈표 9〉 수열 문제와 공간 지각력 문제 해결 활동 사이의 뇌파 활성도 비교 검정

파장대	좌 뇌					우 뇌				
	평균차이	표준편차	t	df	p	평균차이	표준편차	t	df	p
θ	-1.001	3.415	-1.311	19	.205	-2.427	4.113	-2.638	19	.016
α	-.157	1.544	-.456	19	.654	-1.235	1.523	-3.626	19	.002
β ₁	1.083	3.000	1.614	19	.123	-1.047	2.969	-1.576	19	.131
β ₂	2.068	4.198	2.203	19	.040	-.898	4.419	-.909	19	.375
β ₃	.699	2.452	1.275	19	.218	-.320	2.495	-.574	19	.573

〈표 10〉 수열 문제와 과학적 사고력 문제 해결 활동 사이의 뇌파 활성화도 비교 검정

파장대	좌 뇌					우 뇌				
	평균차이	표준편차	t	df	p	평균차이	표준편차	t	df	p
θ	-.725	2.343	-1.383	19	.183	-1.848	2.756	-2.998	19	.007
α	-.237	1.266	-.865	19	.398	-1.456	1.556	-4.186	19	.001
β_1	1.052	2.109	2.230	19	.038	-.752	1.732	-1.941	19	.067
β_2	2.214	2.938	3.371	19	.003	-.515	2.648	-.870	19	.395
β_3	.637	1.940	1.469	19	.158	-.135	1.757	-.343	19	.735

〈표 11〉 어휘 문제와 공간 지각력 문제 해결 활동 사이의 뇌파 활성화도 비교 검정

파장대	좌 뇌					우 뇌				
	평균차이	표준편차	t	df	p	평균차이	표준편차	t	df	p
θ	-1.380	3.265	-1.890	19	.074	-2.757	3.625	-3.402	19	.003
α	.715	1.816	1.760	19	.094	-.866	1.671	-2.318	19	.032
β_1	1.448	3.306	1.959	19	.065	-.774	3.169	-1.092	19	.288
β_2	1.500	4.907	1.367	19	.188	-.448	4.619	-.434	19	.669
β_3	.674	2.765	1.091	19	.289	-.250	2.763	-.404	19	.691

문제 해결 활동이 유의미하게 높았고, 우뇌에서는 과학적 사고력 문제 해결 활동 중의 θ 파 및 α 파($p < .01$) 파장대가 매우 유의미하게 높았다. 이것은 두 활동 사이에 나타나는 뇌파 활성화도의 차이가 좌뇌에서는 β_1 및 β_2 파에 의해, 우뇌에서는 θ 파와 α 파 리듬의 활성화도 차이로 인해 이루어진다는 사실을 알 수 있다.

어휘 문제와 공간 지각력 문제 해결 활동 사이의 뇌파 활성화도를 비교 검정한 결과는 〈표 11〉과 같다. 어휘 문제는 좌뇌 우세, 공간 지각력 문제는 우뇌 우세 활동인데, 좌뇌에서는 두 활동 사이에 어떤 파장대에서도 유의미한 차이가 나타나지 않았고, 우뇌에서는 공간 지각력 문제 해결 활동 중의 θ 파($p < .01$) 및 α 파($p < .05$) 파장대가 유의미하게 높

았다. 이것은 두 활동 사이에 나타나는 뇌파 활성화도의 차이가 우뇌에서의 θ 파와 α 파 리듬의 활성화도 차이로 인해 이루어진다는 사실을 알 수 있다.

어휘 문제와 과학적 사고력 문제 해결 활동 사이의 뇌파 활성화도를 비교 검정한 결과는 〈표 12〉와 같다. 어휘 문제는 좌뇌 우세, 과학적 사고력 문제는 우뇌 우세 활동인데, 좌뇌에서는 β_1 파장대에서 어휘 문제 해결 활동이 유의미하게 높게 나타났고($p < .05$), 우뇌에서는 과학적 사고력 문제 해결 활동 중의 θ 파($p < .01$) 및 α 파($p < .05$) 파장대가 유의미하게 높았다. 이것은 두 활동 사이에 나타나는 뇌파 활성화도의 차이가 좌뇌에서는 β_1 파 리듬에 의해, 우뇌에서는 θ 파와 α 파 리듬의 활성화도 차이로 인해 이루어진다는 사실을

〈표 12〉 어휘 문제와 과학적 사고력 문제 해결 활동 사이의 뇌파 활성화도 비교 검정

파장대	좌 뇌					우 뇌				
	평균차이	표준편차	t	df	p	평균차이	표준편차	t	df	p
θ	-1.103	3.455	-1.428	19	.169	-2.178	2.767	-3.521	19	.002
α	.635	1.603	1.771	19	.093	-1.087	1.811	-2.686	19	.015
β_1	1.417	2.396	2.646	19	.016	-.479	1.758	-1.219	19	.238
β_2	1.646	3.720	1.979	19	.062	-.065	2.479	-.117	19	.908
β_3	.612	2.242	1.221	19	.237	-.064	1.949	-.148	19	.884

〈표 13〉 공간 지각력 문제와 과학적 사고력 문제 해결 활동 사이의 뇌파 활성도 비교 검정

파장대	좌 뇌					우 뇌				
	평균차이	표준편차	t	df	p	평균차이	표준편차	t	df	p
θ	.276	4.042	.306	19	.763	.579	3.912	.662	19	.516
α	-.080	1.061	-.336	19	.741	-.221	1.725	-.574	19	.573
β_1	-.031	1.465	-.094	19	.926	.295	3.265	.404	19	.691
β_2	.146	2.440	.268	19	.791	.383	4.585	.374	19	.713
β_3	-.062	1.857	-.150	19	.882	.185	2.369	.350	19	.730

알 수 있다.

공간 지각력 문제와 과학적 사고력 문제 해결 활동 사이에 뇌파 활성도를 비교 검정한 결과는 〈표 13〉과 같다. 두 가지 과제는 모두 우뇌 우세 활동인데, 좌·우뇌의 모든 파장대에서 두 활동 사이에 유의미한 차이는 나타나지 않았다. 이것은 두 사고 활동이 뇌파 활성도의 패턴에 있어서 큰 차이가 없음을 보여주는 결과이다.

IV. 논 의

본 연구에서는 과제를 부여하기 전에 기준이 되는 뇌파로서 정신 활동이 최소인 각성 상태로 눈을 감은 명상 상태를 취하였다. 기준 상태에서는 θ 파가 가장 우세한 가운데 α 파의 값이 높게 나타났고, 반면에 활발한 정신 활동시에 많이 나타나는 β 파의 값은 상대적으로 낮은 값을 보인다. 이것은 눈을 감은 상태에서는 두뇌의 안정 상태가 잘 이루어졌다는 것을 의미한다. 긴장을 이완시키고 두뇌 신경을 휴식시킬 수 있는 방법으로는 고전 음악 감상, 휴식, 수면, 명상 등의 다양한 방법과 함께 기계 시스템을 이용한 빛의 파장과 음향으로 뇌신경의 작용을 서파 상태로 유도하는 방법도 도입되고 있지만(고영희, 하종덕, 1994), 본 연구에서는 단순히 눈을 감고 편안한 상태를 유지하는 것만으로도 서파(徐波)인 α 파를 효과적으로 유도할 수 있음을 보여준다.

명상 상태 이외에 네 가지 활동 과제를 부여하고 각 과제를 수행하는 동안에 뇌파의 활성 상태를 분석한 결과, 수열 문제와 어휘 문제 해결 활동은 좌 반구성으로, 공간 지각력 문제와 과학적 사고력 문제 해결 활동은 우 반구성 과제로 분석되었다. 이것은 이론상 수학적 사고 기능과 언어적 사고 기능을 좌 반구성으로, 시·공간적 감각과 유추적, 중

합적 사고 기능을 우 반구성으로 구분한 연구(Springer & Deutch: 광형식 역, 1998)와 일치하는 결과이다.

또한, 각 사고 활동 중에는 θ 파의 활성이 가장 크게 증가한 가운데 α 파에 비해 β_1 , β_2 파의 활성이 두드러지게 증가하고 있다. 이것은 정상인에게 주의와 집중력을 요하는 과제를 부과했을 때 뇌신경의 θ 파 리듬이 두뇌의 안정화, 그리고 창조력 및 학습 능력에 공헌하고, 적극적이고 효율적인 문제 해결(problem-solving) 과정과 상관이 있으며(Hutchison & Michael, 1991; Price, 1974), 한편으로 α 파 억제(blocking) 현상으로 설명되는 뇌파의 변화에 의해 β 파가 큰 진폭으로 나타난다는 연구 결과(Fernandez *et al.*, 1995; Glass, 1991)와도 일치하는 것이다. β 파가 주의를 집중하여 정신 활동을 할 때 두뇌에서 강하게 활성을 나타내는 파장대인 반면에, 시상에서의 휴지 전위는 α 파 파장대의 리듬성 활동과 관련 있고, 이러한 α 파의 활성이 깨어있기는 하지만 휴식 상태에 있는 정신 상태를 반영해 주는 것이므로 α 파는 정신 활동, 즉, 신경의 활성과는 역관계에 있다(Steriade *et al.*, 1985).

수열 문제와 어휘 문제 해결 활동 중에는 좌뇌에서 β 파의 활성이 높게 나타나는 반면에, 공간 지각력 문제나 과학적 사고력 문제 해결 활동 중에는 θ 파의 활성이 더욱 크게 증가하고, 우뇌에서 β 파의 활성이 높게 나타났다. 이것은 공간 지각력 문제나 과학적 사고력 문제 해결 활동이 창의적 사고에 바탕을 둔 과제라는 점을 감안할 때, 학습 활동시 창의성은 θ 파와 우뇌에서의 β 파 리듬 활성도의 증가와 밀접한 관계가 있을 가능성을 시사해 준다.

정상 뇌파는 태어나면서부터 약 19세에 이르기까지 큰 변화를 겪는다. 연령 변화에 따라 나이를 예측할 수 있는 특징적인 모습이 나타나기 시작하고, 더 성장하면 그 파형은 사라지거나 좀 더 성숙한 모습으로 변한다(윤중수, 1999).

개인별 차이가 존재하고, 연령에 따른 뇌파의 양상이 다양하게 나타날 수 있지만, 일반적으로 대뇌 신피질의 수초화(myelination)는 15~16세에 거의 완료되며, 좌·우반구를 연결하는 뇌량의 발달은 12~13세 전후로 이루어진다(Johnson, 1982; 김유미, 1998). 이 사실로 미루어 볼 때, 본 연구에서 대상으로 삼은 고등학교 1학년 학생들은 좌·우 두뇌 반구의 기능이 이미 분화된 시기이며, 실제로 네 가지 과제 해결 활동을 수행할 때 측정된 뇌파의 분석 결과는 이러한 두뇌 반구성의 결정 사실을 잘 뒷받침 해주고 있다. 이에 비해, 김용진 등(2000)이 중학교 2학년 학생들을 대상으로 학습 활동 중의 뇌파를 측정했던 다른 연구 결과에서는 이들 학생들에게서 두뇌의 좌·우 반구성을 확인할 수 없었다.

이러한 사실을 종합해 볼 때, 두뇌 발달 단계에 있어서 일반적인 좌·우 반구의 기능 분화는 최소한 고등학교 1학년 시기 이전에는 완성되는 것으로 추정된다. 따라서, 이 시기까지의 과학 교육이 어떠한 방식으로 이루어지는가 하는 것은 학생들의 두뇌 반구성의 결정과 두뇌 기능의 발달에 큰 영향을 미칠 것으로 사료된다.

한편, 네 가지 활동 과제들 중에서 공간 지각력 문제와 과학적 사고력 문제 해결 활동은 모두 시·공간적이고 회화적인 기반을 가지고 있는 우반구성 과제이며, 실제 뇌파 분석의 결과 우반구의 α 파와 β 파가 좌반구에 비해 훨씬 더 높게 나타났다. 이것은 시각적 자극에 의한 인지 활동이 우뇌를 활성화 시킨다는 연구 결과(Haxby et al., 1996; Mangun, 1995)와 일치한다. 인간은 외부로부터 받아들이는 감각 정보 중에서 3/4 이상을 눈을 통해 받아들이며, 이러한 시·공간적 인식에 의한 각성 작용은 우뇌에서 높은 β 파의 활성화로 나타난다(Edwards, 1979). 따라서 학교 현장에서 시청각 수업과 멀티미디어 환경 속에서 이루어지는 교수-학습 활동은 두뇌의 기능을 활성화 시키는데 아주 적합한 방법으로 활용될 수 있음을 알 수 있다.

활동 과제들 사이의 뇌파 활성화도 차이를 비교한 결과에서는 좌뇌 우세형 과제들이 주로 좌뇌의 θ 파와 β 파 영역에서 우뇌보다 유의미한 활성화도 차이의 증가를 보인 반면에, 우뇌 우세형 과제들은 우뇌의 θ 파와 α 파 영역에서 좌뇌보다 유의미한 차이의 증가를 보이지만, 그렇지 않은 경우도 나타났다. 이러한 사실은 좌뇌 혹은 우뇌 우세형 과제를 수행할 때 나타나는 좌·우뇌 뇌파 활성화도의 차이가 주어진 과제에 따라 일관성을 보이고 있기는 하지만, 한편으

로는 개인의 두뇌 발달 수준에 따라 상이한 패턴으로 나타날 수 있음을 보여주는 것이다. 이것은 과학 교육에 있어서 집단 내에 존재하는 개인의 차이를 고려하는 것의 중요성을 암시해 준다. 따라서, 단순히 집단 전체를 대상으로 인지 양식 및 정보 처리 양식을 결정하여 이에 따른 획일적인 지도를 하기 보다는 학습자 개개인의 두뇌 기능 상태를 충분히 감안하여 개발된 수준별 학습을 적용하는 것이 바람직할 것으로 판단된다.

V. 결론 및 제언

본 연구에서는 수열 문제, 어휘 문제, 공간 지각력 문제, 과학적 사고력 문제 해결 활동 등과 같은 다양한 사고 활동을 학습자에게 부여하고, 학습자가 이 과제를 해결하는 동안에 전방 전두엽(Fp1, Fp2)에서 뇌파를 측정하여 이 때의 뇌신경 리듬을 분석하였다. 연구 결과에 대한 결론은 다음과 같다.

첫째, 수열 문제, 어휘 문제 해결 활동은 모든 파장대에서 좌뇌의 뇌파 활성화도가 우뇌의 뇌파 활성화도에 비해 높게 나타나는 좌뇌 우세 활동이고, 공간 지각력, 과학적 사고력 문제 해결 활동은 우뇌의 뇌파 활성화도가 높게 나타나는 우뇌 우세 활동으로 확인되었다.

둘째, 학습 활동 중에는 기준 상태에 비해 θ 파의 활성화가 가장 크게 증가한 가운데, β_1 파와 β_2 파의 활성화가 두드러지게 증가한다. 특히, 공간 지각력 문제나 과학적 사고력 문제 해결 활동과 같은 창의적 유형의 사고 활동에서는 θ 파가 아주 높은 활성을 보이며, 우뇌에서의 β 파 활성화도도 역시 높게 나타난다. 따라서 학습자의 창의성은 뇌신경의 θ 파 리듬과 우뇌에서의 β 파 활성화 상태와 관계가 높을 가능성을 시사해 준다.

셋째, 두뇌의 완전한 좌·우 반구의 기능 분화가 이루어지는 시점은 최소한 고등학교 1학년 시기 이전일 것으로 추정된다.

본 연구는 남자 인문계 고등학교에 국한하여 실시되었고, 뇌파 활성화도의 측정이 전방전두엽을 중심으로 이루어졌기 때문에 실제 전뇌(全腦)에 걸친 측정 결과와 다소 차이가 있을 수 있다. 하지만, 두뇌의 기능 상태를 뇌파계를 이용하여 객관적으로 검증할 수 있는 가능성을 제시하였다는 점에서 본 연구의 의의를 찾을 수 있다. 따라서 앞으로의 추

후 연구 과제로서 유치원생에서 일반인에 이르는 뇌파의 종단적인 연구가 이루어지고, 다양한 학습 활동들에 대해서 뇌파 분석에 바탕한 두뇌 활성화의 평가 시도가 지속적으로 이루어진다면 두뇌 기능에 관한 좀더 객관적이고 확산적인 정보를 많이 얻을 수 있을 것으로 사료된다.

VI. 참고문헌

- 고영희, 하종덕 (1994). 성공하는 두뇌 만들기. 웅진출판사. pp. 56-65.
- 김용진 (2000). 학습 활동의 뇌파 분석에 기초한 두뇌순환 학습모형의 개발과 과학 학습에의 적용. 서울대학교 대학원 박사학위 논문.
- 김용진, 김학현, 박재근, 채회경, 박미아, 강경미, 조선희, 민윤기, 장남기 (2000). 문제 풀이 활동에서 뇌파 측정에 의한 두뇌 기능 상태의 평가. 한국생물교육학회지, 28 (3): 291-301.
- 김유미 (1998). 온 몸으로 하는 학습. 서울: 도서출판 진우. pp. 72-128.
- 윤중수 (1999). 뇌파학 개론. 서울: 고려의학. pp. 1-102.
- 이강희, 민윤기, 이방형, 민병찬 (2000). 뇌파 유도 및 모니터링 인터페이스 시스템 개발 및 효과성. 한국감성학회 2000 춘계 학술대회 및 국제 감성공학 심포지움 발표 자료.
- 이인혜, 김용희, 김인석, 김청송, 노대균, 연미영, 유제민, 이유정, 이장한, 전영임, 최미례, 최혜경, 현명호 (1997). 정신 생리학. 서울: 학지사. pp. 75-103.
- 한국행동과학연구소 (2000). 고등학생 종합능력검사(지능·적성검사). 한국 가이던스.
- Bogen, J. E. (1977). "Educational implications of recent research on human brain." In Wittrock, M. C.(Ed.), *The human brain*. Englewood Cliffs, NJ: Prentice Hall.
- Edwards, B. (1979). *Drawing on the right side of the brain*. Los Angeles : J. P. Tarcher.
- Fernandez, T., Harmony, T., Rodriguez, M., Bernal, J., Silva, J., Reyes, A., & Marosi, E. (1995). EEG activation patterns during the performance of tasks involving different components of mental calculation. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, 94, 175-182.
- Gibson, K. R. & Peterson, A. C. (1991). *Brain maturation and cognitive development : Comparative and cross-cultural perspectives*. Aldine De Gruyter, New York.
- Glass, A. (1991). Significance of EEG alpha asymmetries in cerebral dominance. *International Journal of Psychophysiology*, 11, 32-33.
- Grillon, C. & Buchsbaum, M. (1986). Computed EEG topography of response to visual and auditory stimuli. *EEG and Clinical Neurophysiology*, 63, 42-53.
- Harris, L. J. (1988). Right brain training : Some reflections on the application of research on cerebral hemispheric specialization to education. In D. L. Molfese & S. J. Segalowitz(Eds.), *Brain lateralization in children: Developmental implications*. New York: Guildford Press. pp. 207-235.
- Haxby, J. V., Leslie, G. U., Barry, H., Jose, M. M., Stanley, I. R., & Chery, L. G. (1996). Face encoding and recognition in the human brain. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA.*, 93, 922-927.
- Hutchison, M. (1991). *Megabrain : New tools and techniques for brain growth and mind expansion*. New York : Ballantine books. pp. 79-92.
- Johnson, V. R. (1982). Myelin and maturation : A fresh look at Piaget. *The Science Teacher*, 49, 41-49.
- Lawson, A. E. (1993). Inductive-deductive versus hypothetico-deductive reasoning : A reply to yore. *Journal of Research in Science Teaching*, 30(6), 613-614.
- Mangun, G. R. (1995). Neural mechanisms of visual selective attention. *Psychophysiology*, 32, 4-18.
- Messick, S. (1984). The nature of cognitive styles: Problems and promise in educational practice. *Educational Psychologist*, 19, 59-74.
- Price, J. F. (1974). Education and the science of creative intelligence. *Australian Universities' Review*, 17(1), 28-37.
- Sackheim, H. A., Greenberg, M. S., Weiman, A. L., Gur,

- R. C., Hungerbuhler, J. P., & Geschwind, N. (1984). Hemispheric asymmetry in the expression of positive and negative emotions : Neurological evidence. *Archives of Neurology*, 39, 210-218.
- Springer, S. P. & Deutch, G. : 광형식 역 (1998). 인간심리의 비밀 뇌기능의 이해. 학문사.
- Steriade, M., Deschenes, M., Donchin, L., & Mulle, C. (1985). Abolition of spindle oscillation in thalamic neurons disconnected from nucleus reticularis thalami. *Journal of Neurophysiology*, 54, 1473-1497.
- Thatcher, R. W. (1990). *Nonlinear dynamic of human cerebral development*, Paper presented at the First International Congress on Machinery of Mind, Havana, Cuba.
- Thatcher, R. W., Walker, R. A., & Guidice, S. (1987). Human cerebral hemispheres develop at different rates and ages. *Science*, 236, 1110-1113.