

문제풀이 활동에서 뇌파 측정에 의한 두뇌 기능 상태의 평가

김용진 · 김학현 · 박재근 · 채희경 · 박미아 · 강경미 · 조선희 · 민윤기\* · 장남기

서울대학교 사범대학 생물교육과 · \*한국정신과학연구소

**The Evaluations of the Functional State of the Brain  
by Brain Wave Measure during Problem-Solving Activities**

**Yong-Jin Kim, Hak-Hyun Kim, Jae-Keun Park, Heui-Kyung Chae, Mia Park,**

**Kyoung-Mi Kang, Sun-Hee Cho, Yoon-Ki Min\* and Nam-Kee Chang**

Dept. of Biology Education, Seoul National University · \*Korea Research Institute of Jungshin Science

**ABSTRACT**

Brain waves were measured at the prefrontal(Fp1, Fp2) of learners during solving of the mathematical problems and the linguistical problems, which were categorized to left hemisphericity, and the spatial perception problems, which were categorized to right hemisphericity. Subjects were 25 boys at the second grade in middle school. The EEG(electroencephalogram) during thinking activities for problem-solving was analysed quantitatively by using FFT(fast Fourier transform).

The results were as follows:

- 1) The  $\theta$  wave among five frequency bands ( $\theta, \alpha, \beta_1, \beta_2, \beta_3$ ) was dominant during the eyes-closed and thinking activities for problem-solving of all tasks. However, there was not much difference statistically between the left and the right EEG activity in five frequency bands.
- 2) By thinking activities for problem-solving, EEG activities in all frequency ranges were increased than in eyes-closed. Especially, the  $\theta$  (4~7Hz) activity showed the highest increase.
- 3) Spatial perception task had higher activity than mathematical task in  $\theta$  band at left brain( $p<.05$ ) and  $\alpha$  band at left and right brain( $p<.01$ ). Also, spatial perception task had higher activity than linguistical task in  $\theta$  band at left and right brain( $p<.01$ ). And linguistical task had higher activity than mathematical task in  $\alpha$  band at left and right brain( $p<.05$ ).
- 4) Brain hemisphericity was analyzed by using the activity of  $\beta_1$  wave. Therefore, 12% of subjects showed left hemisphericity, 16% showed right hemisphericity, 72% showed left-right hemisphericity in eyes-closed. In spatial perception task, left hemisphericity was 36% of subjects, right was 28%, left-right was 36%. In mathematical task, left hemisphericity was 24% of subjects, right was 32%, left-right was 44%. In linguistical task, left hemisphericity was 28% of subjects, right was 40%, left-right was 32%.
- 5) Hemisphericities in problem-solving tasks showed meaningful positive correlations between linguistic

\*\* 본 연구는 한국정신과학연구소에서 개발한 Q-jump 타당도 검증 연구지원비에 의한 결과임.

task and spatial perception task( $r=.436, p<.05$ ), and between linguistic task and mathematical task( $r=.641, p<.01$ ).

- 6) There was a meaningful positive correlation between right hemisphericity and test scores in mathematical problem-solving task( $p<.05$ ).

## I. 서 론

인간의 모든 행동과 정신적 사고(思考) 작용은 두뇌에 의해 이루어지고 있어 신경심리학적으로 인간은 적극적인 정보처리자로서 학습 및 기억활동을 수행한다고 여겨지고 있다. 따라서 인간의 학습 행동을 인지론적으로 이해하기 위해서는 학습 과정이나 문제해결에서 이루어지는 사고 활동에 대한 두뇌 기능이 밝혀져야 한다.

그동안 정상인의 두뇌에 대한 연구는 두뇌의 정보 처리 방식에 있어서 좌뇌는 언어와 수학적 추리에 적합하고, 우뇌는 공간적이고 종합적인 비언어적 기능에 적합한 것으로 해석하여 왔다(Williams, 1983; Springer & Deutch, 1989). 이러한 연구 결과들에 기초하여 국내의 교육학자들은 좌뇌 활동으로 여겨지는 독서, 쓰기, 산술계산 등에 치우쳐 오던 학교 교육에 대한 개선책으로 우뇌 기능을 향상시키기 위한 학습(하종덕, 1993)이나 전뇌학습(최선영, 1999)의 필요성을 주장하여왔다. 그러나 실제 학습 활동에서 학습자의 두뇌 기능 상태를 과학적으로 검증한 연구(김용진, 2000)는 많지 않았다.

인간의 사고 활동에 대하여 두뇌의 기능 상태를 과학적으로 조사하는 방법으로 뇌파(腦波)측정이 있다. 뇌파는 시간 경과에 따라 계속적인 측정이 가능하여 피험자가 길고 복잡한 과제를 수행하는 동안 뇌에서 진행되고 있는 활동을 평가하는데 활용될 수 있다(이인혜 등, 1997; 安藤春彦, 1987; Galin & Ornstein, 1972). 그런데 학습 활동에서 학습자의 두피에 전극을 부착하고 뇌파를 측정하기에는 많은 어려운 점이 있으므로 자연스럽게 뇌파를 측정하기 위해서는 두피의 다른 부위에 비해 전극을 부착하기 용이한 전두부(前頭部)를 활용하는 것이 좋다. 전두부 내에 위치하는 전전두엽(前前頭葉: prefrontal lobe)은 인지·사고 작용과 창의성에 중요한 기능을 가지는 부위(Incisa & Milner, 1993; Fuster, 1981; Luria, 1973)이므로 학습에서의 정신 활동에 중심 역할을 하는 부위이다. 또한 두뇌 기능이 전체 신경계

포들의 자율적인 공동작용(synergetics)에 의해 이루어진다는 보고(Haken, 1996; Friedrich et al., 1991; Kelso et al., 1991)에 근거하여 전전두엽은 전뇌(全腦)의 활성 상태를 반영할 수 있는 것으로 해석될 수 있다.

본 연구에서는 좌·우뇌의 정보처리 양식과 관련된 문제 풀이 과제에서 사고 활동이 일어나는 동안 전전두엽의 뇌파를 측정하고 정량적인 분석을 하여 두뇌의 기능 상태를 평가하였다. 즉, 이론상 대뇌 좌 반구성에 해당하는 언어와 수학적 사고 활동, 이론상 대뇌 우 반구성에 해당하는 공간 지각적 사고 활동에 대하여 실제 학습자의 좌·우뇌 기능이 어떻게 작용하는지 연구하였다.

## II. 연구 방법

### 1. 연구 대상

본 연구는 서울특별시 소재의 중학교 2학년에 재학중인 남학생(만 13~14세)으로서 연구 취지에 동의하고 부모의 허락을 받은 25명을 대상으로 실시하였다. 학생들은 모두 오른손잡이면서 학습 능력에 장애가 없음을 확인하였다. 실험 과정에서 학생들이 연구자의 지시에 잘 따르고 협조적이었지만 연구에 적극 참여하도록 하기 위하여 학습품을 사주었으며, 뇌파 측정의 결과를 제공하여 두뇌 기능을 활용하도록 하였다.

### 2. 연구 장소 및 기간

연구 대상 학교의 과학실에 뇌파 측정 기구를 설치하여 방과 후 조용한 시간에 실험을 수행하였으며, 연구 기간은 2000년 5월 1일부터 6월 30일까지이다.

### 3. 수행 과제

#### 1) 기본 뇌파

사고 활동 과제의 수행 전에 눈을 감고 안정을 취한 상태에서 생각을 적게 하도록 요구하고 1분 동안의 뇌파를 측정하여 기본 뇌파로 사용하였다.

2) 사고 활동 과제

두뇌 반구의 기능적 특이성에 대한 이론(Williams, 1983 ; Springer & Deutch, 1989)에 근거하여 이론상 좌 반구의 기능에 해당하는 수학적 사고 활동 과제로 수열추리 문제, 언어적 사고 활동 과제로 어휘적용 문제를 이용하였으며, 이론상 우 반구의 기능에 해당하는 공간 지각적 사고 활동 과제로는 도형접기 문제를 이용하였다. 본 연구에 사용된 문제는 한국행동과학연구소(2000)에서 개발한 '중학생 지능검사'에서 선정하였다.

도형접기 문제는 펼쳐진 그림을 보고 접었을 때의 입체 도형을 찾는 것으로 입체도형의 형태뿐만 아니라 표면의 모양까지 주의하여 찾도록 되어 있다. 수열추리 문제는 일정한 규칙에 의해 변화하고 있는 주어진 숫자들을 보고 규칙성을 찾아 마지막 숫자 다음에 올 수 있는 숫자를 찾도록 되어 있다. 어휘적용 문제는 주어진 문장의 ( )안에 적당한 낱말을 골라 넣어서 문장의 뜻이 가장 잘 통하도록 하는 것이다.

수열추리 문제 10개, 도형접기 문제 5개, 어휘적용문제 10개의 순서로 모두 손을 사용하지 않고 사고 활동에 의해서만 해결하도록 하였으며 그 동안의 뇌파를 측정하였다. 각 과제의 수행 사이에는 5분씩의 휴식을 가진 후 다음 과제로 진행하였다. 각 과제의 뇌파를 측정할 직후 정답을 표기하도록 하여 과제 수행에 열중했는지를 조사하고 지필 평가 점수를 산출하였다.

4. 뇌파 측정과 분석

1) 뇌파 측정 방법

본 연구에서 수행한 뇌파 측정은 한국정신과학연구소에서 개발한 Q-jump 시스템을 노트북 컴퓨터(pentium III 600/128)에 연결하여 이루어졌다. Q-jump의 전극은 금색 도금된 고체 전극으로 헤드밴드(headband)의 중앙에 접지 전극이 있고 좌·우로 2개씩의 전극이 2.5cm 간격으로 고정 배치되어 있다. 따라서 접지 전극이 코 위쪽선 전두부의 중앙에 위치하도록 배치하여 좌·우 전전두엽(Fp1, Fp2)의

뇌파를 측정할 수 있다.

피험자가 과학실에 도착한 후 헤드밴드에 대한 적응을 위해 전극이 부착된 헤드밴드를 머리에 두르고 20분간 휴식을 취하도록 하였다. 그 후 전두부를 알콜로 소독하고 다시 헤드밴드를 착용하여 눈을 감고 안정을 취한 상태에서의 1분과 각 활동 과제를 수행하는 동안의 뇌파를 0~60Hz, 0~100μW의 범위에서 측정하고 A/D Converter에 의해 8bit 해상도로 디지털 변환하여 1초에 128테이터씩 컴퓨터의 하드에 입력하여 저장하였다.

2) 뇌파의 분석

(1) 고속 푸리에 변환

측정된 뇌파의 원 데이터(raw data)와 파형을 보고 잡파(artifacts)의 유입 여부를 확인한 후에 잡파가 포함되지 않은 자료에 대하여 Q-jump 프로그램에 의해 고속 푸리에 변환(FFT : Fast Fourier Transform)을 하여 주파수별 진폭의 세기(power)에 제곱근을 취한 값을 구하였으며, 이 값을 뇌파의 활성도(activity)로 이용하였다.

고속 푸리에 변환은 시간 도메인(domain)으로부터 주파수 도메인으로의 전환에 주로 사용하는 수학적 방법이다. 고속 푸리에 변환식은 다음과 같으며(Harris, 1998), 뇌파에 나타난 사인파와 코사인파를 각 주기에 따라 진폭량으로 비교하도록 주파수 성분을 정량화 함으로써 뇌 전위 신호 사이의 관계를 알 수 있게 해준다.

$$G(\nu) = \sum_{\tau=0}^{N-1} g(\tau)e^{-2\pi\nu\tau/N}$$

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

$$g(\tau) = \frac{1}{N} \sum_{\nu=0}^{N-1} g(\nu)e^{+2\pi\nu\tau/N}$$

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

(유한시간  $\tau = 0, 1, 2, \dots, N-1$ 에서 표집된 시간 함수, N 은 샘플의 총수,  $\nu$ 는 주파수, 데이터의 수는 2의 제곱수)

(2) 뇌파의 파장대

분석에 사용된 뇌파는 0~40 Hz까지이며 뇌파 파장대(band)에 따른 주파수 범위는 Delta ( $\delta$ ): 0~3 Hz, Theta

( $\theta$ ): 4~7 Hz, Alpha( $\alpha$ ): 8~13 Hz, Beta1( $\beta_1$ ): 14~20 Hz, Beta2( $\beta_2$ ): 21~30 Hz, Beta3( $\beta_3$ ): 31~40 Hz 등으로 구분하였다. 전두부에서의 뇌파 측정은 Delta 파의 활성이 안구 운동 등에 의해 쉽게 영향을 받을 수 있으므로(Grillon & Buchsbaum, 1986) 본 연구에서 Delta파의 활성은 분석하지 않았다.

(3) 뇌파의 분석 및 처리

눈을 감은 안정 상태의 FFT 값에서 피험자 각각의 주파수별 평균값과 파장대별 평균값을 구하여 기준뇌파의 활성도로 사용하였다. 각 과제 수행 중의 평균 뇌파 활성도에서 기준 뇌파의 활성도를 감하여 과제 수행에 의한 뇌파 활성도를 구한 후 각 과제에서의 파장대별 좌·우뇌 뇌파 활성도를 대응비교 검정(paired samples t-test)하였다.

각 과제 수행에서의 개인별 두뇌 반구성은 과제 수행 중의 매 초별 뇌파 활성도에서 기준 상태의 평균 뇌파 활성도를 감하여 얻은 좌·우뇌의  $\beta_1$ 파 활성도에 대한 대응비교 검정으로 판정하였다.

활동 과제 사이의 두뇌 반구성에 대한 관련성을 조사하기 위하여 상관관계를 구하였으며, 활동 과제의 지필 검사 점수와 두뇌 반구성 사이의 관련성은 분산분석을 하였다. 모든 자료의 통계분석은 SPSS/PC<sup>+</sup> Windows V.7.5를 이용하였다.

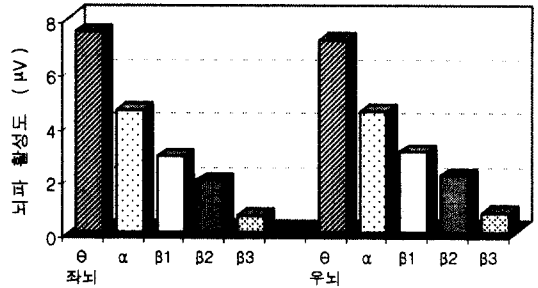
III. 연구 결과

1. 수행 과제에 따른 두뇌 활성 상태

1) 기준 상태

눈을 감고 안정을 취한 기준상태에서의 좌뇌와 우뇌의 뇌파 활성 상태는 <그림 1>과 같다. 좌뇌와 우뇌에서 모두  $\theta > \alpha > \beta_1 > \beta_2 > \beta_3$  파의 순서로 활성도가 높아 눈을 감은 안정 상태에서는 서파(徐波: slow waves)에 해당하는  $\theta$  파가 우세파로 나타난다는 것을 알 수 있었다.

기준 상태에 대한 좌·우뇌의 뇌파 활성도를 비교하여 검정한 결과는 <표 1>과 같다. 모든 파장대에서 좌뇌와 우뇌의 활성도 사이에 유의한 차이를 보이지 않았다. 따라서 눈을 감고 안정을 취한 상태에서는 좌·우 반구성의 구별이 나타나지 않음을 알 수 있었다. 그러나  $\beta_1$ 파에서는 통계적



<그림 1> 기준 상태에서의 좌·우뇌 뇌파 활성도

<표 1> 기준 상태에서 좌·우뇌 뇌파 활성도의 비교 검정

뇌파	MD	SD	t	df	p
$\theta$	.294	.931	1.578	24	.128
$\alpha$	.043	.525	.407	24	.688
$\beta_1$	-.159	.393	-2.024	24	.054
$\beta_2$	-.170	.502	-1.695	24	.103
$\beta_3$	-.139	.464	-1.500	24	.147

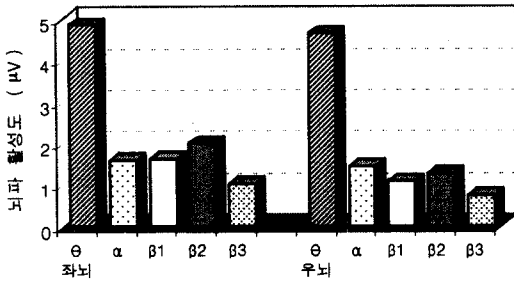
(MD: 좌뇌와 우뇌의 뇌파 활성도 차이에 대한 평균, SD: 표준편차, p: 유의수준)

으로 유의하지는 않았지만( $p=.054$ ), 우뇌가 좌뇌보다 비교적 높은 활성을 나타내었다. 이는 눈을 감은 상태에서 일어나기 쉬운 심상(心想) 작용의 영향으로 우뇌가 다소 활성화되어 나타난 것으로 생각된다.

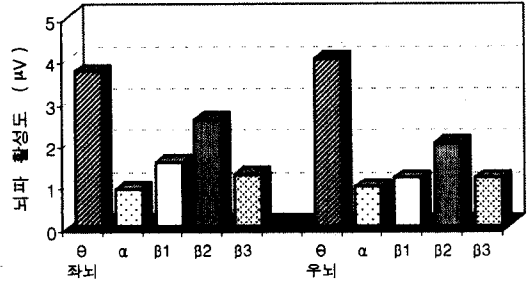
2) 도형접기 문제풀이의 사고 활동

도형접기 문제풀이를 위한 사고 활동 중의 뇌파 활성도에서 기준 상태의 뇌파 활성도를 감하여 구한 뇌파 활성도를 <그림 2>에 나타내었다. 좌뇌에서  $\theta > \beta_2 > \beta_1 > \alpha > \beta_3$  파, 우뇌에서는  $\theta > \alpha > \beta_2 > \beta_1 > \beta_3$  파의 순서로 활성도의 증가를 보였으며,  $\theta$  파의 활성 증가는 다른 파의 활성 증가보다 매우 크게 나타났다. 따라서 공간 지각과 관련된 사고 활동에서  $\theta$  파의 뇌신경 리듬이 우세하게 작용한다는 것을 알 수 있었다.

도형접기 문제풀이의 사고 활동에서 좌·우뇌의 뇌파 활성도를 비교하여 검정한 결과는 <표 2>와 같다. 모든 파장대에서 통계적으로 유의한 차이가 나타나지 않아 공간 지각과 관련된 전두부의 사고 활동에서 좌·우 반구성의 구분이



〈그림 2〉 도형접기 문제풀이의 사고 활동에서 좌·우뇌의 뇌파 활성화도



〈그림 3〉 수열추리 문제풀이의 사고 활동에서 좌·우뇌의 뇌파 활성화도

〈표 2〉 도형접기의 사고 활동에서 좌·우뇌 뇌파 활성화도의 비교 검정

뇌파	MD	SD	t	df	p
$\theta$	.212	1.985	.534	24	.598
$\alpha$	.125	1.136	.548	24	.589
$\beta_1$	.560	1.981	1.413	24	.171
$\beta_2$	.724	2.740	1.321	24	.199
$\beta_3$	.277	1.578	.879	24	.388

(MD: 좌뇌와 우뇌의 뇌파 활성화도 차이에 대한 평균, SD: 표준편차, p: 유의수준)

〈표 3〉 수열추리의 사고 활동에서 좌·우뇌 뇌파 활성화도의 비교 검정

뇌파	MD	SD	t	df	p
$\theta$	-.290	1.877	-.774	24	.447
$\alpha$	-.047	.955	-.246	24	.808
$\beta_1$	.362	1.892	.957	24	.348
$\beta_2$	.565	2.775	1.018	24	.319
$\beta_3$	-.073	1.723	.212	24	.834

(MD: 좌뇌와 우뇌의 뇌파 활성화도 차이에 대한 평균, SD: 표준편차, p: 유의수준)

나타나지 않는다는 것을 알 수 있었다.

### 3) 수열추리 문제풀이의 사고 활동

수열추리 문제의 풀이를 위한 사고 활동 중의 뇌파 활성화도에서 기준 상태의 뇌파 활성화도를 감하여 구한 뇌파 활성화도를 〈그림 3〉에 나타내었다. 좌·우뇌에서 모두  $\theta > \beta_2 > \beta_1 > \beta_3 > \alpha$  파의 순서로 활성화도의 증가를 보였으며, 다른 파보다  $\theta$  파의 활성화도 증가가 매우 큰 가운데  $\beta_2$  파의 활성화도 역시 비교적 큰 폭의 증가를 나타냈다. 따라서 수학적 추리와 관련된 활동에는  $\theta$  파의 뇌신경 리듬이 우세하게 작용하면서  $\beta_2$  파의 리듬도 크게 기여한다는 것을 알 수 있었다.

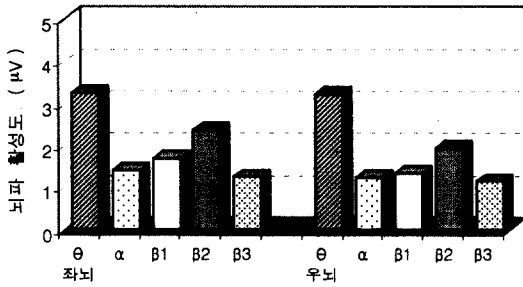
수열추리 문제풀이의 사고 활동에서 좌·우뇌의 뇌파 활성화도를 비교하여 검정한 결과는 〈표 3〉과 같다. 모든 파장에서 통계적으로 유의한 차이를 보이지 않아 수학적 추리와 관련된 전두부의 사고 활동에서 좌·우 반구성의 구분이 나타나지 않는다는 것을 알 수 있었다.

### 4) 어휘적용 문제풀이의 사고 활동

어휘적용 문제풀이를 위한 사고 활동 중의 뇌파 활성화도에서 기준 상태의 뇌파 활성화도를 감하여 구한 뇌파 활성화도를 〈그림 4〉에 나타내었다. 좌·우뇌에서 모두  $\theta > \beta_2 > \beta_1 > \alpha > \beta_3$  파의 순서로 활성화도의 증가를 보였으며,  $\theta$  파의 활성화도가 가장 크게 증가한 가운데  $\beta_2$  파의 활성화도 역시 비교적 큰 폭의 증가를 나타냈다. 따라서 언어적 활동과 관련된 사고 활동에서는  $\theta$  파의 뇌신경 리듬이 우세하게 작용하는 가운데  $\beta_2$  파의 리듬도 크게 기여한다는 것을 알 수 있었다.

어휘적용 문제풀이의 사고 활동에서 좌·우뇌의 뇌파 활성화도를 비교하여 검정한 결과는 〈표 4〉와 같다. 모든 파장에서 통계적으로 유의한 차이를 보이지 않아 언어적 사고 활동과 관련된 전두부의 좌·우 반구성이 구분되지 않는다는 것을 알 수 있었다.

## 2. 수행 과제들 사이의 두뇌 활성화 비교



〈그림 4〉 어휘적용 문제풀이의 사고 활동에서 좌·우뇌의 뇌파 활성화도

〈표 4〉 어휘적용의 사고 활동에서 좌·우뇌 뇌파 활성화도의 비교 검정

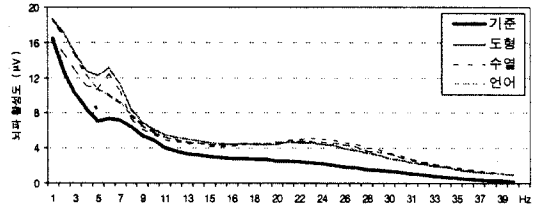
뇌파	MD	SD	t	df	p
$\theta$	-.050	1.899	.133	24	.896
$\alpha$	.194	1.158	.839	24	.410
$\beta_1$	.342	1.658	1.030	24	.313
$\beta_2$	.426	2.645	.804	24	.429
$\beta_3$	.097	1.319	.368	24	.716

(MD: 좌뇌와 우뇌의 뇌파 활성화도 차이에 대한 평균, SD: 표준편차, p: 유의수준)

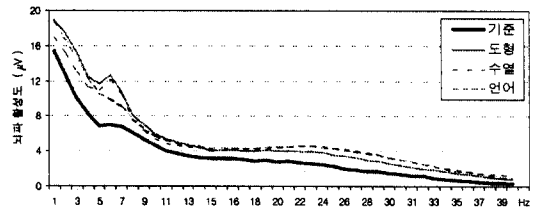
눈을 감은 기준 상태와 사고 활동 과제들의 수행 중에 나타난 뇌파 활성화도를 0~40 Hz 사이의 모든 주파수에 대하여 좌뇌는 〈그림 5〉, 우뇌는 〈그림 6〉에 나타내었다. 좌·우뇌의 모든 주파수에서 기준 상태에서보다 과제 해결을 위한 사고 활동에서의 뇌파 활성화도가 유의하게 높은 가운데 ( $p < .01$ ), 4~7 Hz와 21~30 Hz의 주파수 영역에서 큰 차이를 보였으며 8~10 Hz의 영역에서는 비교적 작은 차이를 보였다.

문제 풀이 과제에 따른 사고 활동에서의 두뇌 기능을 비교하기 위하여 사고 활동에 의해 변화한 뇌파 활성화도(그림 2, 3, 4)를 파장대별로 비교하여 분석하였다.

수열추리 과제에서의 뇌파 활성화도로부터 도형접기 과제에서의 뇌파 활성화도를 감하여 통계적으로 검정한 결과는 〈표 5〉와 같다. 도형접기의 사고 활동이 수열추리의 사고 활동보다 좌·우뇌의  $\theta$ 와  $\alpha$ 파에서 높은 활성을 보이고  $\beta_2$ 와  $\beta_3$ 파에서는 낮은 활성을 보였다. 그러나 통계적으로는 좌뇌의  $\theta$ 파( $p < .05$ )와  $\alpha$ 파( $p < .01$ ), 우뇌의  $\alpha$ 파( $p < .01$ )에



〈그림 5〉 기준 상태와 문제 풀이 과제의 사고 활동에 대한 좌뇌의 뇌파 활성화 상태



〈그림 6〉 기준 상태와 문제 풀이 과제의 사고 활동에 대한 우뇌의 뇌파 활성화 상태

서 유의한 차이를 나타냈다. 따라서 공간 지각적 사고 활동과 수학적 사고 활동에서의 두뇌 기능 차이는 좌뇌  $\theta$ 파와 좌·우뇌  $\alpha$ 파의 뇌신경 리듬에 의해 나타난다고 생각할 수 있다.

수열추리 과제에서의 뇌파 활성화도로부터 어휘적용 과제에서의 뇌파 활성화도를 감하여 통계적으로 검정한 결과는 〈표 6〉과 같다. 수열추리의 사고 활동이 어휘적용의 사고 활동보다 좌·우뇌의  $\alpha$ 와  $\beta_1$ 파에서 낮은 활성을 보이고  $\theta$ 와  $\beta_2$ 파에서는 높은 활성을 보였으나 통계적으로는  $\alpha$ 파에서만 유의한 차이를 나타냈다( $p < .05$ ). 따라서 언어적 사고와 수학적 사고 활동에서 두뇌 기능의 차이는 좌·우뇌  $\alpha$ 파의 뇌신경 리듬에 의해 나타난다는 것을 알 수 있었다.

도형접기 과제에서의 뇌파 활성화도로부터 어휘적용 과제에서의 뇌파 활성화도를 감하여 통계적으로 검정한 결과는 〈표 7〉과 같다.

도형접기의 사고 활동이 어휘적용의 사고 활동보다 좌·우뇌의  $\theta$ 와  $\alpha$ 파에서 높은 활성을 보였고  $\beta_1$ ,  $\beta_2$ ,  $\beta_3$ 파에서는 낮은 활성을 보였다. 그러나 통계적으로는  $\theta$ 파의 활성에서만 유의한 차이를 나타냈다( $p < .01$ ). 따라서 공간 지각적 사고 활동과 언어적 사고 활동에서 두뇌 기능의 차

〈표 5〉 수열추리와 도형접기 과제 사이의 뇌파 활성도 차이에 대한 통계적 검정

뇌파	좌뇌					우뇌				
	MD	SD	t	df	p	MD	SD	t	df	p
$\theta$	-1.166	2.102	-2.775	24	.011	-.664	1.955	-1.698	24	.102
$\alpha$	-.689	.819	-4.208	24	.000	-.518	.829	-3.125	24	.005
$\beta_1$	-.108	1.588	-.341	24	.736	.090	1.069	.419	24	.679
$\beta_2$	.552	1.972	1.400	24	.174	.711	1.737	2.048	24	.052
$\beta_3$	.197	1.243	.790	24	.437	.401	1.280	1.566	24	.130

(MD: 수열추리와 도형접기의 뇌파 활성도 차이에 대한 평균, SD: 표준편차, p: 유의 수준)

〈표 6〉 수열추리와 어휘적용 과제 사이의 뇌파 활성도 차이에 대한 통계적 검정

뇌파	좌뇌					우뇌				
	MD	SD	t	df	p	MD	SD	t	df	p
$\theta$	.433	3.143	.689	24	.497	.774	2.629	1.472	24	.154
$\alpha$	-.535	1.015	-2.636	24	.014	-.294	.596	-2.463	24	.021
$\beta_1$	-.176	.994	-.886	24	.384	-.197	.812	-1.209	24	.238
$\beta_2$	.174	1.362	.637	24	.530	.034	1.462	.117	24	.908
$\beta_3$	-.020	.735	-.135	24	.893	.041	1.021	.020	24	.984

(MD: 수열추리와 어휘적용의 뇌파 활성도 차이에 대한 평균, SD: 표준편차, p: 유의 수준)

〈표 7〉 도형접기와 어휘적용 과제 사이의 뇌파 활성도 차이에 대한 통계적 검정

뇌파	좌뇌					우뇌				
	MD	SD	t	df	p	MD	SD	t	df	p
$\theta$	1.560	2.759	2.899	24	.008	1.438	1.937	3.712	24	.001
$\alpha$	.155	1.095	.706	24	.487	.224	.568	1.974	24	.060
$\beta_1$	-.068	1.283	-.265	24	.794	-.286	.942	-1.518	24	.142
$\beta_2$	-.379	1.712	-1.106	24	.280	-.677	1.796	-1.885	24	.072
$\beta_3$	-.217	1.219	-.888	24	.383	-.397	1.201	-1.651	24	.112

(MD: 도형접기와 어휘적용의 뇌파 활성도 차이에 대한 평균, SD: 표준편차, p: 유의 수준)

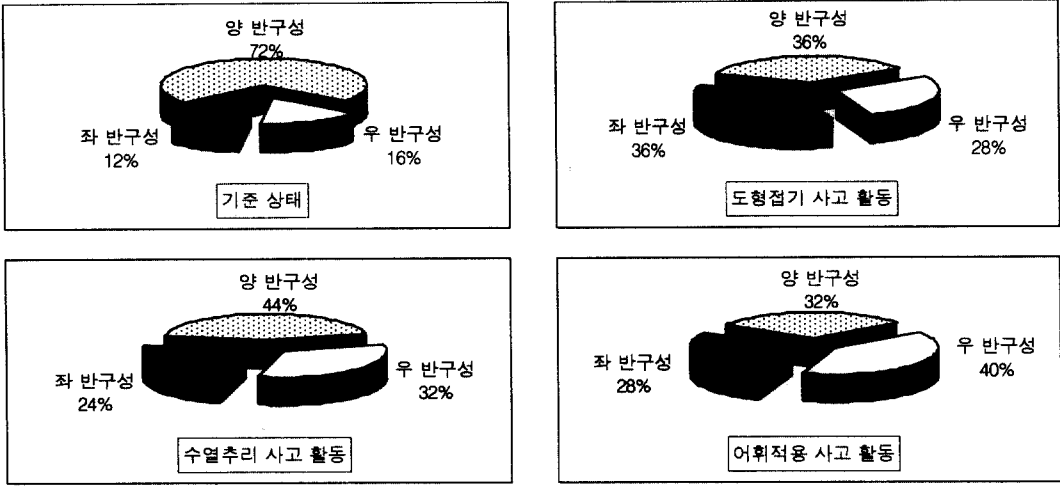
이는 좌·우뇌  $\theta$  파의 뇌신경 리듬에 의해 나타난다고 할 수 있다.

### 3. 수행 과제에 따른 두뇌 반구성의 분포

눈을 감은 안정 상태에서나 도형접기, 수열추리, 어휘적용 등의 모든 과제에서 피험자 25명 전체 집단에 대한 통계 처리 결과에서는 두뇌 반구성이 명확하게 구별되지 않음을 알 수 있었다(표 1, 2, 3, 4). 따라서 두뇌의 안정 상태를 나

타내는  $\alpha$  파의 활성과 역관계에 있으면서 학습 활동에서의 두뇌 각성 상태를 나타내는  $\beta$  파를 이용하여 두뇌 반구성을 구분하고자 하였으며,  $\beta$  파 중에서 안구 운동이나 근육 운동 등에 의한 잡파의 영향을 가장 적게 받는  $\beta_1$  파를 이용하여 피험자 개인별로 두뇌 반구성을 분석하였다.

개인별 분석 결과를 종합하여 각 수행 과제에서의 두뇌 반구성의 분포율을 <그림 7>에 나타내었다. 기준 상태에서는 좌 반구성이 12%, 우 반구성 16%, 좌·우 양반구성이 72%를 차지하였다. 따라서 피험자 대부분의 경우 학습 활



<그림 7> 기준 상태와 각 사고 활동 과제에서의 두뇌 반구성 분포율

동이 없는 안정 상태에서는 두뇌 좌·우 반구의 기능 활성이 균형을 이루고 있다는 것을 알 수 있었다.

도형접기 과제의 문제풀이를 위한 사고 활동에서는 좌반구성 36%, 우 반구성 28%, 좌·우 양반구성은 36%의 분포를 보였다. 따라서 공간 지각의 사고 활동에서 개인에 따라 두뇌 반구성이 다양하게 나타난다는 것을 알 수 있었다.

수열추리 과제의 사고 활동에서는 좌 반구성 24%, 우 반구성 32%, 좌·우 양반구성이 44%를 차지하였다. 따라서 수학적 사고 활동에서 좌·우 양반구성을 보이는 사람이 다소 많지만 개인에 따라 다양한 두뇌 반구성을 보인다는 것을 알 수 있었다.

또한, 어휘적용 과제의 사고 활동에서는 좌 반구성 28%, 우 반구성 40%, 좌·우 양반구성은 32%의 분포를 나타냈다. 따라서 언어적 사고 활동에서 우 반구성을 보이는 사람이 다소 많았지만 역시 개인에 따라 다양한 두뇌 반구성을 가지고 있다는 것을 알 수 있었다. 이러한 결과들은 각 과제의 문제 해결을 위한 사고 활동에서 개인에 따라 우세하게 활용하는 두뇌 반구가 다양하다는 것을 의미한다.

사고 활동 과제의 종류에 따른 두뇌 반구성의 관련 정도를 알아보기 위하여 수행 과제간 반구성의 상관 관계를 분석하여 <표 8>에 나타내었다.

그 결과, 어휘적용과 수열추리 과제의 사고 활동에서 나타나는 두뇌 반구성에 대하여 매우 유의한 정상관( $r=.641$ ,

<표 8> 수행 과제간 두뇌 반구성의 상관 관계 분석

	기준	도형접기	수열추리	어휘적용
기준	1.000			
도형접기	-.284	1.000		
수열추리	-.094	.340	1.000	
어휘적용	-.199	.436*	.641**	1.000

\*  $p<.05$ , \*\*  $p<.01$

$p<.01$ )을 보인다는 것을 알 수 있었다. 또한, 어휘적용과 도형접기 문제 풀이의 사고 활동에서 나타나는 두뇌 반구성에 있어서도 유의한 정상관( $r=.436, p<.05$ )을 나타냈다. 그러나 기준 상태와 다른 사고 활동 과제들, 도형접기와 수열추리 과제의 사고 활동 사이에는 통계적으로 유의한 상관성이 나타나지 않았다. 따라서 언어적 사고 작용에서 우세하게 활용되는 두뇌 반구의 기능이 수학적 사고 활동이나 공간 지각적 사고 활동에서도 우세하게 활용되는 경향을 보이지만, 수학적 사고 활동과 공간적 사고 활동에서의 두뇌 반구 기능은 서로 관련성이 많지 않다는 것을 알 수 있었다.

각 사고 활동 과제의 문제를 풀이한 지필 평가 점수와 그 문제를 풀이하는 사고 활동에서 나타나는 두뇌 반구성의 관련성을 비교하여 분석한 결과는 <표 9>와 같다. 도형접기나 어휘적용 문제 풀이의 사고 활동에서 나타난 두뇌 반구성에 따라 지필 평가의 점수에 차이가 나타나지 않았다.



〈표 9〉 사고 활동 과제의 좌·우 반구성에 따른 점수 비교

	좌뇌	좌·우뇌	우뇌	F
도형접기	4.333 (1.118)	3.778 (1.202)	3.857 (.378)	.779
수열추리	6.667 (2.503)	8.636 (1.433)	9.125 (1.126)	4.108*
어휘적용	5.714 (1.780)	5.375 (2.446)	4.400 (1.506)	1.095

\* p<.05, ( ): SD

그러나 수열추리 문제 풀이의 사고 활동에서는 우뇌를 우세하게 활용하는 학생들이 좌뇌를 우세하게 활용하는 학생들보다 높은 점수를 얻은 것으로 나타났다(p<.05). 따라서 수열추리와 같은 사고 활동에서는 우뇌를 우세하게 활용하는 학생들이 더 높은 성적을 얻을 수 있다고 추정할 수 있었다.

#### IV. 논 의

과제를 수행하지 않을 때와 수행할 때를 비교하기 위해서는 기준 뇌파의 설정이 필요하다. 그러나 각성 상태에서 이상적으로 정신 활동이 최소인 기본 상태를 설정하기 어렵기 때문에 본 연구에서는 기준 뇌파의 상태로 과제 수행전의 눈을 감은 안정 상태를 설정하였다.

뇌파는 의식 활동과 밀접하게 관련되어 있어 휴식시에는  $\alpha$ 와  $\theta$ 파가 우세하고 흥분시에는  $\beta$ 파가 우세하게 나타난다. 따라서 눈을 감은 상태에서  $\theta$ 파의 활성은 높고  $\beta$ 파의 활성이 낮게 나타난 것은 두뇌의 안정 상태가 이루어졌다는 것을 의미한다.

본 연구에서 조사한 과제들의 문제풀이를 위한 사고 활동들에서 서파에 해당하는  $\theta$ 파의 활성이 우세하게 작용한 것은 연속 덧셈 작업이나 지능 검사 등의 주의 집중과 밀접한 관계를 가지는 정상적인 뇌파 활동으로 6~7 Hz의  $\theta$ 활동이 나타난다는 보고(한선호·濟藤章二, 1992)와 유사하다. 또한 창의적 도형문제 풀이나 산술 암산에 관련된 사고 활동에서  $\theta$ 파의 우세성이 나타나는 것을 조사하고 두뇌 내부의 정보를 활용하여 문제를 해결하는 학습 활동은 서파인  $\theta$ 파의 높은 활성에 의해 이루어진다고 주장한 김용진(2000)의 연구를 뒷받침한다.

분할 뇌 환자를 대상으로 공간·시각적 기능을 연구한 Nebes(1972)의 보고에서는 두뇌 기능의 우 반구성이 나타났지만 정상인을 대상으로 한 본 연구의 공간·시각적 사고 활동에서는 좌·우 반구성의 구별이 명확하게 나타나지 않았다. 또한 이론상 좌 반구성으로 알려진 수학적 사고 기능과 언어적 사고 기능(Williams, 1983; Springer & Deutch, 1989)에 대해서도 본 연구의 중학교 2학년 집단에서는 좌·우 반구성의 구별이 명확하게 나타나지 않았다. 이러한 결과는 문제 풀이를 위한 사고 활동에 있어서 좌·우뇌의 기능이 협동적으로 작용하기 때문으로 해석된다. 따라서 두뇌 반구의 기능적 비대칭이 실세계에 적용시에는 복잡하게 나타나며 어떤 과제에서는 양 반구가 같은 방식으로 정보처리를 하고 대부분의 인간 행동은 한쪽 뇌만이 아니라 양반구의 활동을 요구한다는 주장들(Caine & Caine, 1991; Efron, 1990)과 유사한 결론을 내릴 수 있다.

Lenneberg(1967)는 뇌에서 기능의 분화 활동은 연령에 따라 발달하지만 사춘기 경에 완성된다고 하였으며, Johnson(1982)은 대뇌 신경질의 수초화(myelination)가 15~16세에 거의 완료된다고 하였다. 이에 비추어 볼 때 본 연구의 피험자 집단인 중학교 2학년 학생의 경우에는 아직 두뇌 반구의 기능 분화가 완전히 이루어지지 않은 시기에 해당하므로 두뇌 반구성이 명확하게 나타나지 않은 것으로 생각할 수 있다. 따라서 두뇌 반구의 기능 분화가 완전히 이루어지는 임계기에 도달하기 이전인 중학교까지의 교육 활동이 앞으로의 좌·우 반구성을 결정하는데 중요한 영향을 줄 것으로 추정되며 좌·우뇌를 고루 발달시키기 위한 적절한 교수-학습 활동의 개발과 적용이 필요할 것으로 사려된다.

피험자 집단에 대해서는 문제 풀이 과제들의 사고 활동에 있어서 두뇌 반구성이 나타나지 않았지만 각 과제에 따른 개인별 두뇌 반구성의 분포를 분석한 결과에서는 피험자에 따라 우세하게 활용되는 두뇌 반구가 다양한 것으로 나타났다. 따라서 피험자 집단의 두뇌 반구성이 명확하게 구별되지 않은 것은 개인별로 다양하게 나타나는 두뇌 반구성에 기인한 것이며, 이론상 두뇌 반구성이 나타난다고 알려진 과제에 있어서도 집단이나 개인에 있어서 두뇌 반구 기능의 우세성은 다양할 수 있다는 것을 알 수 있었다.

이러한 결과는 학교 교육에 있어서 집단 내 개인차의 중요성을 고려하는 것이 필요하다는 것을 두뇌 기능의 측면에서 직접 증명하는 것이라고 볼 수 있다. 따라서 단순히 집단

전체의 인지양식과 정보처리 양식을 결정하여 획일적인 지도를 하는 것보다는 학습자 개개인의 두뇌 기능을 고려한 '두뇌 기능의 수준별 학습 지도'가 이루어질 필요성이 있다고 사려된다.

## V. 결론 및 제언

인간의 정신 작용은 두뇌 신경 전체의 통합 작용에 의해 이루어지며, 대뇌의 전전두엽은 사고 활동과 인지 활동의 중심 부위로 알려져 있어 전두부의 뇌파 측정은 학습에서의 정신 활동을 연구하는데 유용하다.

본 연구에서는 중학교 2학년 남학생을 대상으로 하여 이론적으로 좌 반구성에 해당하는 수학적 활동 과제(수열추리 문제)와 언어적 활동 과제(어휘적용 문제), 우 반구성에 해당하는 공간 지각적 과제(도형접기 문제)를 풀이하는 사고 활동에서 좌·우 전전두엽(Fp1, Fp2)의 뇌파를 측정하였다. 측정된 뇌파를 고속푸리에 변환에 의해 정량적으로 분석하여 다음과 같은 결과를 얻었다.

1. 눈을 감은 안정 상태(기준 상태)와 수열 추리, 어휘 적용, 도형접기의 문제 풀이를 위한 사고 활동에서 모두  $\theta$ 파가 우세한 활성을 보였으며, 각 파장대의 좌·우 활성도의 차이는 나타나지 않았다.
2. 문제 풀이를 위한 사고 활동에 의해 기준 상태에서보다 모든 주파수 범위에서의 뇌파 활성도가 증가하였으며, 특히  $\theta$ 파에 해당하는 4-7Hz에서 가장 높은 활성 증가를 보였다.
3. 공간 지각적 사고 활동은 수학적 사고 활동보다 좌뇌  $\theta$ 파( $p < .05$ ), 좌뇌와 우뇌의  $\alpha$ 파( $p < .01$ )에서 높은 활성을 나타냈으며, 언어적 사고 활동보다는 좌뇌와 우뇌의  $\theta$ 파( $p < .01$ )에서 유의하게 높은 활성을 나타냈다. 또한, 언어적 사고 활동은 수학적 사고 활동보다 좌뇌와 우뇌의  $\alpha$ 파( $p < .05$ )에서 유의하게 높은 활성을 나타냈다.
4.  $\beta_1$ 파를 이용하여 개인별 두뇌 반구성을 분석한 결과, 눈을 감은 안정 상태에서 전체 피험자 중의 12%가 좌 반구성, 16%는 우 반구성, 72%는 좌·우 양반구성을 보였다. 공간 지각적 사고 활동에서는 좌 반구성 36%, 우 반구성 28%, 양 반구성 36%, 수학적 사고 활동에서는 좌 반구성 24%, 우 반구성 32%, 양 반구성 44%로

나타났다. 또한 언어적 사고 활동에서는 좌 반구성 28%, 우 반구성 40%, 양 반구성이 32%로 나타났다.

5. 사고 활동 과제간 두뇌 반구성의 상관 관계는 언어적 사고와 공간 지각적 사고 활동( $r = .436, p < .05$ ), 언어적 사고와 수학적 사고 활동( $r = .641, p < .01$ ) 사이에 유의하게 나타났다.
  6. 문제 풀이 과제의 지필 평가 점수와 사고 활동에서의 두뇌 반구성을 비교한 결과 수학적 사고 활동에서 좌뇌보다 우뇌를 우세하게 활용할수록 높은 점수를 얻을 수 있는 것으로 나타났다( $p < .05$ ).
- 본 연구의 결과, 문제풀이를 위한 사고 활동에서는 뇌신경의 세타파 리듬이 우세하게 작용한다고 결론지을 수 있으며, 뇌파를 이용하여 좌·우뇌의 기능 상태를 평가할 수 있음을 제시할 수 있다. 또한 이론적으로 제시되고 있는 좌·우 반구성 활동이 중학교 2학년에 해당하는 실제 학습자의 두뇌에서는 좌·우 반구의 우세한 활동이 다양하게 나타난다는 것을 알 수 있었다. 따라서 학습자 개개인의 두뇌 기능 상태를 고려한 교수-학습 활동의 개발이 필요하며, 이를 위한 기초 연구에 뇌파 측정과 같은 과학적 방법이 많이 활용되기를 제언한다.

## VI. 참고문헌

1. 김용진 (2000). 학습 활동의 뇌파 분석에 기초한 두뇌순환 학습 모형의 개발과 과학 학습에의 적용. 서울대학교 대학원 박사학위 논문.
2. 이인해, 김용희, 김인석, 김청송, 노대균, 연미영, 유제민, 이유정, 이장한, 전영임, 최미래, 최혜경, 현명호 (1997). 정신 생리학. 서울: 학지사.
3. 최선영 (1999). 전뇌학습이 초등학생의 창의력, 자연과 학업성취도, 과학적 태도 및 학습 양식에 미치는 효과. 서울대학교 대학원 박사학위 논문.
4. 하종덕 (1993). 우뇌기능 훈련이 뇌의 인지 특성 및 수학적 문제 해결력에 미치는 효과. 원광대학교 대학원 박사학위 논문.
5. 한국행동과학연구소 (2000). 중학생 지능검사. 서울: 한국가이던스.
6. 한선호, 齊藤章二 (1992). 臨床腦波. 서울: 일조각.
7. 安藤春彦 (1987). 知能とは何か, 頭の良し悪しはどこで

- きまる? 손영수 역 (1994). 지능이란 무엇인가, 두뇌의 우열은 어디서 결정되는가? 서울: 전파과학사.
8. Caine, R. N., & Caine, G. (1991). *Making connections: Teaching and the human brain*. Alexandria, VA: Association for Supervision and Curriculum Development.
  9. Efron, R. (1990). *The Decline and Fall of Hemispheric Specialisation*. Hillsdale, New Jersey: Lawrence Erlbaum Associates.
  10. Friedrich, R., Fuchs, A., & Haken, H. (1991). Synergetic analysis of spatio-temporal EEG-patterns. In Holden, A. V., Markus, M., & Othmer, H. G. (Eds.), *Nonlinear wave processes in excitable media*. New York: Plenum.
  11. Fuster, J. M. (1981). *The Prefrontal cortex: Anatomy, Physiology, and Neuropsychology of the Frontal Lobe*. New York: Raven Press.
  12. Galin, K., & Ornstein, R. (1972). Lateral specialization of cognitive mode: An EEG study. *Psychophysiology*, 9, 412-418.
  13. Grillon, C., & Buchsbaum, M. (1986). Computed EEG topography of response to visual and auditory stimuli. *EEG and Clinical Neurophysiology*, 63, 42-53.
  14. Haken, H. (1996). *Principles of Brain Functioning: A Synergetic Approach to Brain Activity, Behavior and Cognition*. Berlin: Springer.
  15. Harris, C. M. (1998). The Fourier analysis of biological transients. *Journal of Neuroscience Methods*, 83, 15-34.
  16. Incisa, D. R. A. & Milner, B. (1993). Strategic search and retrieval inhibition: the role of the frontal lobes. *Neuropsychologia*, 31, 503-524.
  17. Johnson, V. R. (1982). Myelin and Maturation: A fresh look at Piaget. *The Science Teacher*, 49, 41-49.
  18. Kelso, J. A. S., Bressler, S. L., Buchanan, S., DeGuzman, G. C., Ding, M., Fuchs, A. & Holroyd, T. (1991). Cooperative and critical phenomena in the human brain revealed by multiple SQUIDS. In Duke, D., & Pritchard, W. (Eds.), *Measuring Chaos in the Human Brain*. Singapore: World Scientific.
  19. Lenneberg, E. H. (1967). *Biological Foundations of Language*. New York: Wiley.
  20. Luria, A. R. (1973). *The Working Brain: An Introduction to Neuropsychology*. New York: Basic Books.
  21. Nebes, R. (1972). Dominance of the Minor Hemisphere in Commissurotomized Man in a Test of Figural Unification. *Brain*, 95, 633-638.
  22. Springer, S. P. & Deutch, G. (1989). *Left Brain, Right Brain*. New York. 광형식 역 (1998). 인간심리의 비밀 뇌기능의 이해. 서울: 학문사.
  23. Williams, L. V. (1983). *Teaching for the two-sided mind*. New York: Simon and Schuster, Inc. 고영희, 조주연 공역 (1995). 오른쪽·왼쪽 뇌기능을 활용한 수업 기술(II). 서울: 교육과학사.