

## 과학고학생과 외국어고학생의 지능과제 수행 시 뇌활동성 분석

조 선 희

KAIST

최 유 용

GIST

이 건 호

조선대학교

본 연구에서는 과학고학생( $n=8$ )과 외국어고학생( $n=5$ )을 대상으로 지능과제 수행 시 뇌활동성을 분석하였다. 두 집단은 지능점수가 상위 1% 안에 드는 높은 지능을 지닌 학생들이었다(과학고집단: RAPM 평균점수=34.0, WAIS 평균 IQ=139.6; 외국어고집단: RAPM 평균점수=33.8, WAIS 평균 IQ=147.2). 분석결과 두 집단은 지능과제 수행 시 공통적으로 좌측과 우측의 전두엽, 두정엽, 전대상피질에서 활동성을 보였다. 과학고집단은 도형 작업기억과 관련된 우측 두정엽에서 가장 높은 활동성을 보인 반면, 외국어고집단은 언어 작업기억과 관련된 좌측 전두엽에서 가장 높은 활동성을 보였다. 두 집단 간의 뇌활동성 차이를 분석한 결과 외국어고집단은 과학고집단에 비해 혀와 입술의 운동과 관련된 좌측 중심전이랑에서 높은 활동성을 보였다. 이러한 결과는 지능과제 수행 시 과학고학생은 도형 관련 영역이 주요하게 관여하는 반면, 외국어고학생은 언어 관련 영역이 주요하게 관여하는 것을 보여주는 것으로 동일 과제임에도 불구하고 관여하는 주 사고체계가 영재성을 보이는 분야에 따라 서로 다를 수 있음을 시사한다.

**주제어:** 과학고등학생, 외국어고등학생, 지능, 뇌활동성, 기능성자기공명영상

### I. 서 론

과학고학생과 외국어고학생은 사고과정에서 어떠한 차이점이 있을까? 과학과목은 주로 수식, 기호, 도형을 통해 지식의 전달이 이루어지는 반면, 인문과목은 주로 언어를 통해 지식의 전달이 이루어진다. 과학과목에 재능이 있는 학생은 수학적 개념과 도형에 대한 이해, 분류능력 등이 우수한 반면(고은성, 이경화, 2011; 김경민, 차희영, 구술애, 2011; 양기

---

**교신저자:** 이건호(leekho@chosun.ac.kr)

\*이 논문은 2012학년도 조선대학교 학술연구비의 지원을 받아 연구되었음.

열, 이의진, 2011), 인문과목에 재능이 있는 학생은 읽기능력, 언어적 표현능력 등이 우수하다(강승희, 조석희, 2004; Fox & Durden, 1982). 과목에 따른 학습전략과 학습동기에 있어서도 과학영재들은 과학과목에서 영어과목에 비해 자기주도적인 학습전략을 사용하고 학습동기가 높은 것으로 나타났다(성현숙, 2009). 과학과목에서 우수한 재능을 보이는 학생들과 인문과목에서 우수한 재능을 보이는 학생들의 수식, 도형, 언어에 대한 우수성 및 선호도의 차별화된 특성은 이들의 사고과정에 어떠한 차이점이 있는가에 대한 의문을 갖게 한다.

사람의 지적 능력은 크게 유동성지능(fluid intelligence)과 결정성지능(crystallized intelligence)으로 구분이 된다(Cattell, 1971; Horn & Cattell, 1966). 유동성지능은 지식의 영향을 비교적 적게 받는 추상적 사고능력을 의미하는 반면, 결정성지능은 유동성지능을 바탕으로 습득한 지식의 정도 혹은 지식을 바탕으로 이루어지는 추상적 사고능력을 의미한다. 유동성지능은 젊은 시절에 최대능력을 보인 후 감소하는 반면, 결정성지능은 높은 연령에서도 비교적 지속적으로 유지되는 경향이 있다(Belsky, 1990; Kaufman, 2001). 도형을 이용한 지능검사방법들이 주로 유동성지능을 평가하는 반면, 언어를 이용한 지능검사방법들은 주로 결정성지능을 평가한다(Marshalek, Lohman, & Snow, 1983). 웨슬러 지능검사(WAIS: Wechsler Adult Intelligence Scale)를 비롯한 대부분의 지능검사들은 유동성지능과 결정성지능을 함께 측정하는 반면, 레이븐 지능검사(RAPM: Raven's Advanced Progressive Matrices)와 카텔 지능검사(Cattell's Culture Fair Intelligence Test)는 주로 유동성지능을 측정한다(Cattell, 1971; Raven, 1980; Wechsler, 1981). 물리분야와 생물분야의 사사교육 대상자 선발시험과 학생들의 지능점수 간의 상관도를 분석한 결과 생물분야의 시험은 언어지능과 도형지능을 함께 평가하는 WAIS와 상관도를 보인 반면, 물리분야의 시험은 도형지능을 주로 평가하는 RAPM과 상관도를 보인 바가 있다(조선희, 이건호, 김희백, 2007).

최근 들어 기능적 뇌영상기술(fMRI)의 발달로 인해 다양한 정신현상에 대한 뇌기능적 차원의 연구가 가능하게 되었다. 기능적 뇌영상기술은 자기공명영상기법(MRI)을 이용하여 뇌의 활동 상태에 따라 시시각각으로 변하는 뇌혈류량의 변화를 측정하는 기법으로서 주어진 실험조건에서 뇌의 활동부위와 정도를 알 수 있게 해 준다(유승식, 2001). 뇌영상기술의 발달을 통해 외측전전두엽피질(lateral prefrontal cortex, lateral PFC)과 후두정엽피질(posterior parietal cortex, PPC)이 추론능력(Haier et al., 1988; Houdé & Tzourio-Mazoyer, 2003; Kroger et al., 2002; Prabhakaran et al., 1997)과 작업기억(Cabeza & Nyberg, 2000; Cohen et al., 1997; Smith & Jonides, 1998)에 중요한 역할을 담당한다는 것이 보고되었다. 흥미롭게도, 뇌영상기술을 적용한 연구결과들에서 언어적 사고와 도형적 사고에 중추적으로 관여하는 영역에 차이가 있음이 밝혀지고 있다. 좌측과 우측의 상두정소엽(superior parietal lobule, SPL)과 하두정소엽(inferior parietal lobule, IPL) 영역은 시각적인 자료의 저장과 작동에 주요하게 관여는 반면(Pessoa, Guitierrez, Bandettini, & Ungerleider, 2002; Todd & Marois, 2004), 좌측 전두엽 영역은 언어적인 자료의 저장과 작동에 관여를 하였다(Braver et al., 1997; Cohen et al., 1997). 공간지능이 우수한 것으로 알려진 아인슈타인의 뇌 해부구조를 분석한 결과에서

는 두정엽 영역이 일반인들에 비해 15% 넓은 것으로 밝혀지기도 하였다(Witelson, Kigar, & Harvey, 1999). 언어적 지능 및 도형적 지능과 뇌기능 및 뇌구조와의 연관성을 분석한 결과 언어적 지능을 반영하는 결정성지능은 측두엽의 두께밀도와 연관성을 보인 반면, 도형을 통한 추론능력을 반영하는 유동성지능은 전두엽과 두정엽의 활동성과 연관성을 보였다(Choi et al., 2008).

심리검사방법과 뇌영상기술을 적용한 연구결과 등에서 언어적 사고와 도형적 사고는 사람의 주요한 두 가지 특성으로 밝혀지고 있다. 영재성을 발휘하는 분야는 수학 및 과학, 인문, 예술 등 다양하나 아직까지 분야별 영재성의 특성에 대한 뇌과학적인 연구는 활발히 이루어지고 있지 않은 상황이다. 과학교학생과 외국어고학생들을 대상으로 지능과제 수행 시 뇌활동성을 분석하는 것은 자연계열과 인문계열에서 뛰어난 능력을 보이는 학생들의 행동학적인 우수성의 차이를 뇌기능적 차원에서 이해할 수 있도록 할 것이다. 이것은 분야별 영재성의 특성을 고려한 영재의 선발방법과 교수학습방법 개발에 대한 근거자료를 마련해 줄 것이다. 이에 본 연구에서는 과학교학생과 외국어고학생을 대상으로 지능과제 수행 시 뇌활동성을 분석하였다.

## II. 연구 내용 및 방법

### 1. 연구 대상

과학교등학교 학생은 R&E과제에 참여한 학생들로 구성을 하였으며, 외국어고등학교 학생은 선생님의 추천을 받은 학생들로 구성을 하였다. 과학교등학교생집단의 평균연령은  $17.0 \pm 0.7$ 세(평균±표준편차)였으며, 외국어고등학교생집단의 평균연령은  $16.3 \pm 0.3$ 세였다. 참가자들의 지능 수준을 평가하기 위해 Raven's Advanced Progressive Matrices(RAPM), WAIS-R(Wechsler Adult Intelligence Scale-Revised) 검사를 실시하였으며 지능과제 수행 시 뇌활동성의 특성을 알기 위해 fMRI촬영을 실시하였다. 학생들은 부모님의 서명을 포함하는 동의서를 제출하였다. 실험과정은 가톨릭대학교 윤리위원회의 승인을 얻었다.

### 2. 지능검사

#### 가. Raven's Advanced Progressive Matrices set II(RAPM set II)

RAPM은 일반지능(*g*: general intelligence)을 측정하는 대표적인 검사로(Marshalek et al., 1983; Snow, 1989), 추론 능력을 측정하는 36문제로 구성되어 있다(Raven, 1980). 각각의 문제는 도형이  $3 \times 3$  행렬로 구성되어 있으며 마지막 칸이 비어있다. 피검사자들은 8개의 도형들 중에서 가장 알맞은 도형을 선택하여 빈칸을 완성하게 된다. 검사는 40분 동안 진행되었다.

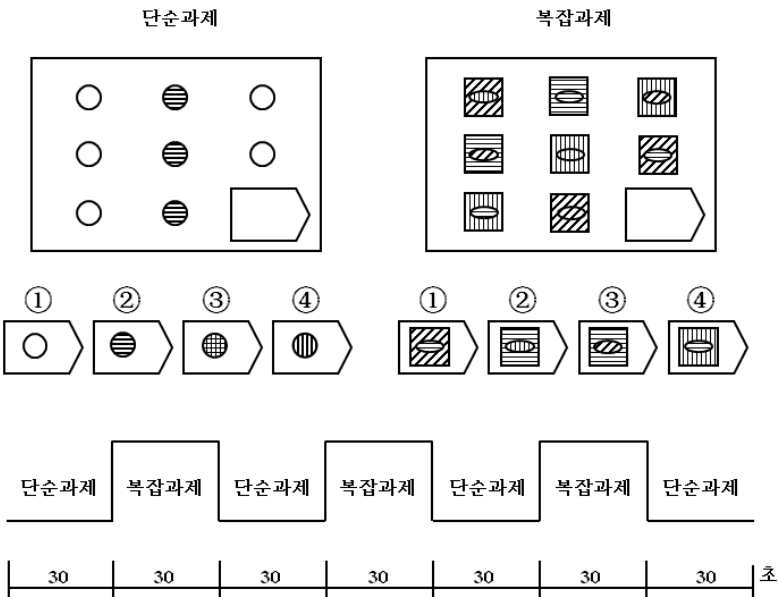
#### 나. Wechsler Adult Intelligence Scale-Revised(WAIS-R)

WAIS는 언어성검사와 동작성검사로 구성된 전반적인 지능을 측정하는 지능검사로 11개의 소검사로 구성되어있다(Wechsler, 1981): 기본지식문제, 숫자외우기, 어휘문제, 산수문제, 이해문제, 공통성문제, 빠진곳찾기, 차례맞추기, 토막짜기, 모양맞추기, 바뀐쓰기. 언

어성검사는 검사자가 언어로 문제를 제시하고 피검자가 언어로 답을 하는 검사로 기본지식문제, 숫자외우기, 어휘문제, 산수문제, 이해문제, 공통성문제로 구성되어 있다. 동작성검사는 언어로 문제를 제시하고 동작을 통해 답을 하는 문제로 빠진곳찾기, 차례맞추기, 토막짜기, 모양맞추기, 바꿔쓰기로 구성되어 있다. 검사는 개별적으로 이루어졌으며 약 1시간 30분에서 2시간이 소요되었다.

### 3. fMRI과제

fMRI실험을 위해 본 연구에서는 형태상으로는 유사하나 *g*-상관도와 난이도가 다른 단순과제와 복잡과제를 개발하였다([그림 1]). Raven 지능검사의 문항은 “Constant in a Row”, “Quantitative Pair-wise Progression”, “Figural Addition or Subtraction”, “Distribution of Three Values”의 규칙을 지니고 있다(Carpenter, Just, & Shell, 1990). “Constant in a Row”는 같은 행에서 모양, 색깔, 위치 등의 특징이 동일한 것이며, “Quantitative Pair-wise Progression”은 크기, 위치, 숫자 등이 양적으로 증가하거나 감소하는 것이며, “Figural Addition or Subtraction”은 한 열과 다른 열을 더하거나 빼면 다른 열에 있는 형태가 되는 것이며, “Distribution of Three Values”은 세 개의 다른 모양들이 분배되는 것이다. 단순과제는 “Constant in a Row”의 법칙에 따랐으며 낮은 *g*-상관도를 지니도록 제작한 반면, 복잡과제는 “Quantitative Pair-wise Progression”, “Figural Addition or Subtraction”, “Distribution of Three Values”의 법칙에 따랐으며 높은 *g*-상관도를 지니도록 제작하였다.



[그림 1] fMRI과제와 과제제시 과정

fMRI촬영의 세션은 네 개의 단순과제 블록과 세 개의 복잡과제 블록으로 구성하였으며, 30초씩 번갈아 제시하였다(그림 1). 네 개의 문제를(각 문제 당 7.5초) 단순과제 블록에서 제시하였으며, 한 개의 문제를(30초) 복잡과제 블록에서 제시하였다. 각 문제 당 3초가 남았을 때 문제가 제시되는 화면의 오른쪽 위에 남은 시간을 표시하였다. 참가자들은 시간이 표시되는 3초 동안에 마우스를 이용하여 답을 하도록 하였다.

#### 4. fMRI과제의 *g*-상관도와 난이도 측정

단순과제와 복잡과제로 구성된 fMRI과제의 *g*-상관도와 난이도를 검증하기 위해 fMRI 연구 참여집단과 연령이 비슷하며 보통수준의 RAPM 점수를 보이는 집단을 대상으로 ( $n=82$ ; 연령= $15.9\pm 0.3$ ; RAPM= $23.8\pm 4.4$ , 평균 $\pm$ 표준편차) 컴퓨터를 이용한 fMRI과제 검사를 실시하였다. 참가자들은 정답을 가능한 빨리 선택하도록 하였다. 반응시간을 측정하였으며, 이 결과를 이용해서 fMRI실험의 과제 제시 시간을 결정하였다. 과제의 *g*-상관도는 과제와 RAPM 점수와의 상관도를 나타내며, 난이도는 과제의 정답률을 나타낸다. 복잡과제와 단순과제는 *g*-상관도(복잡과제,  $r=0.62$ ; 단순과제,  $r=0.20$ )와 난이도(복잡과제, 40% 정답률; 단순과제, 94% 정답률)에서 큰 차이를 보였다.

#### 5. fMRI영상 획득

뇌영상은 3.0T MR scanner(Forte, Isol Technology)를 통해 얻어졌다. fMRI과제는 머리 위에 놓인 12 cm의(visual angle= $13.7^\circ$ ) LCD모니터(IFIS-SA, MRI Devices, FA, USA)를 통해 제시하였다. 과제에 대한 반응은 오른손 아래에 놓인 마우스 버튼을 통해 PC에 기록하였다. 머리의 움직임은 foam padding을 이용하여 최소화했다. 참가자들이 MRI 내의 실험 환경에 친숙해지도록 하기 위해 모든 참가자들은 본 실험을 시작하기 전에 MRI 내에서 예시 과제를 이용하여 10분 이상의 연습을 하였다. T1 강조 해부이미지와 T2\* 강조 EPI(echo-planar images) 이미지를 얻었다(Ogawa, Lee, Kay, & Tank, 1990). 24장의 axial 방향의 이미지를(5 mm thickness, no gap) 두뇌전체가 포함되도록 촬영하였다(TR=3000 ms, TE=35 ms, flip angle= $80^\circ$ ,  $64\times 64$  matrix).

#### 6. fMRI자료 분석

자료는 SPM 2(Statistical Parametric Mapping 2)를 이용하여 분석하였다. 이미지에서 머리의 움직임은 6-parameter rigid-body transformation을 이용하여 보정하였다(Friston et al., 1995). 이미지에 대한 공간적인 표준화는 Montreal Neurological Institute(MNI) 기준 뇌에 기반을 둔 Talairach 좌표상의 표준 EPI템플릿을 이용하여 이루어졌다. 공간적인 표준화 후, 이미지의 각 voxel을 3-mm 입방체로 재배열(resample)하였으며, 9 mm FWHM의 가우시안 커널(Gaussian kernel)을 통해 평활화(smoothing)하였다. 개인별 대조 이미지들은(복잡과제와 단순과제를 비교한 활동수준) general linear model을 이용하여 분석하였다.

개인별 대조 이미지들에 대한 과학고집단과 외국어고집단의 집단 분석은 두 집단 각각에 대한 뇌활동성 분석과 두 집단의 뇌활동성의 차이에 대한 분석을 실시하였다. 과학고집단과 외국어고집단 각각에 대한 뇌활동성 분석은 one-sample *t* test( $p < 0.005$  uncorrected)를 통해 이루어졌으며, 각 집단에서 높은 활동성을 보이는 영역을 명확히 보기 위해 유의도 수준을 높여 분석하였다(과학고집단:  $p < 0.002$  FDR corrected, 외국어고집단:  $p < 0.05$  FDR corrected). 두 집단 간 뇌활동성 차이 분석은 two-sample *t* test( $p < 0.005$  uncorrected)를 통해 이루어졌다. 모든 집단분석은 random effects analysis를 적용하였다.

### III. 연구결과 및 논의

과학고집단과 외국어고집단의 지능검사의 결과는 <표 1>과 같았다. 도형을 통한 추론 능력을 측정하는 문제로 구성된 지능검사인 RAPM검사 결과 과학고집단의 점수는 34.0이였으며 외국어고집단은 33.8이였다. 언어성검사와 동작성검사로 구성된 종합적인 지능을 측정하는 지능검사인 WAIS검사 결과 과학고집단의 점수는 139.6이였으며 외국어고단은 147.2였다. 두 집단의 지능점수는 모두 상위 1% 내에 해당하는 높은 점수였다. 두 집단의 지능검사 결과가 통계적으로 유의미한 차이가 있는지를 검증하기 위해 *Mann-Whitney* 검정을 실시하였다. RAPM 점수와 WAIS 전체 지능점수에서 두 집단 간에 통계적으로 유의

<표 1> 과학고집단과 외국어고집단의 지능점수와 fMRI과제수행도

	과학고집단(n=8) 평균±표준편차	외국어고집단(n=5) 평균±표준편차	점수차
RAPM	34.0±1.2	33.8±0.8	+0.2
WAIS IQ	139.6±8.1	147.2±2.9	-7.6
언어 IQ	140.1±8.5	148.4±3.6	-8.3*
동작 IQ	127.8±9.4	132.0±11.5	-4.2
기본지식문제	14.4±1.4	15.6±0.9	-1.2
숫자의우기	14.6±1.6	18.0±1.2	-3.4**
어휘문제	15.4±1.9	16.2±1.1	-0.8
산수문제	17.5±1.3	18.2±0.8	-0.7
이해문제	16.6±1.1	17.4±1.5	-0.8
공통성문제	16.4±2.1	18.0±1.7	-1.6
빠진곳찾기	13.3±2.2	14.6±1.3	-1.3
차레맞추기	14.5±0.9	15.2±1.1	-0.7
토막짜기	16.4±1.2	16.4±2.3	0
모양맞추기	13.8±1.8	14.2±1.3	-0.4
바꿔쓰기	13.8±1.2	13.2±1.9	+0.6
fMRI과제수행도			
복잡과제	46%±40	53%±18	-7.0
단순과제	97%±3	98%±3	-1.0

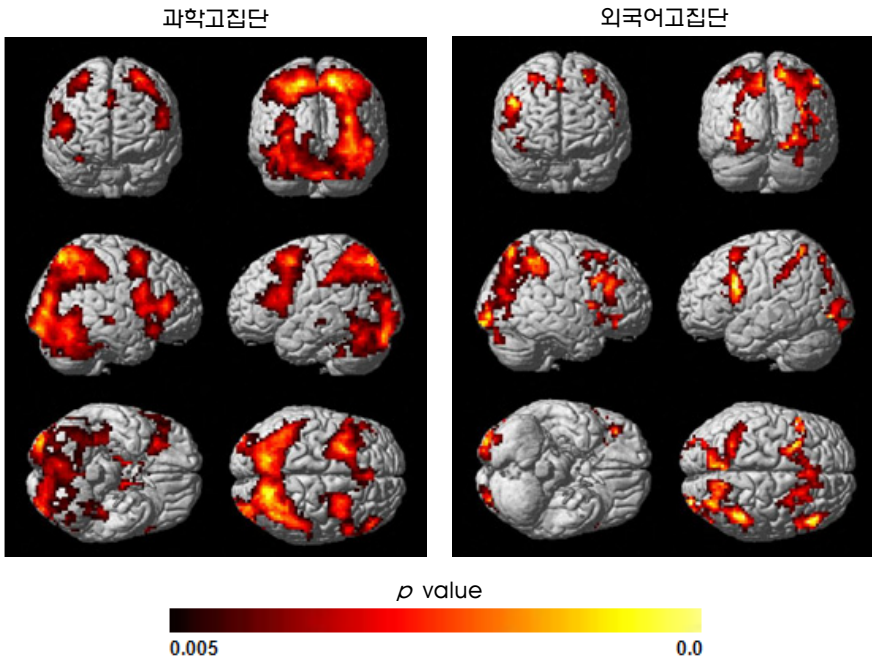
\* $p < 0.05$ , \*\* $p < 0.01$ .

미한 차이가 나타나지 않았다( $p > 0.05$ ). WAIS 언어성 지능점수와 동작성 지능점수를 분석한 결과 언어성 지능점수에서 외국어고집단이 과학고집단에 비해  $p < 0.05$  수준에서 높게 나타났다. WAIS 하부항목 중에서는 언어성검사에 속하는 숫자외우기 항목에서 외국어고집단이 과학고집단에 비해  $p < 0.01$  수준에서 높게 나타났다.

언어성 지능검사는 기본지식문제, 숫자외우기, 어휘문제, 산수문제, 이해문제, 공통성문제로 구성되어 있으며 검사자가 문제를 언어로 읽어주고 피검자는 언어로 답을 한다. 숫자외우기 문제는 검사자가 2개에서 9개의 숫자를 바로 또는 거꾸로 읽어주고 이를 따라 외우는 문제로 작업기억능력을 측정한다. 과학고집단과 외국어고집단이 전체 지능점수가 상위 1%에 속하는 높은 지능을 지닌 집단이며 특히 외국어고집단이 과학고집단에 비해 언어성 지능점수( $p < 0.05$ )와 언어성 검사의 하부검사 중 작업기억능력을 측정하는 숫자외우기 항목( $p < 0.01$ )에서 높은 점수를 보인 결과는 본 연구에 참여한 외국어고집단이 언어능력이 매우 뛰어난 집단임을 보여준다.

두 집단의 fMRI과제수행도는 정답률이 복잡과제에서 과학고집단이 46%, 외국어고집단이 53%, 단순과제는 과학고집단이 97%, 외국어고집단이 98%로 복잡과제와 단순과제 모두에서 두 집단 간에 통계적으로 유의미한 차이를 보이지 않았다(<표 1>).

지능과제 수행 시 나타난 과학고집단과 외국어고집단의 뇌활동성 영역을 알아보고자 복잡과제 수행 시 단순과제 수행 시보다 높게 나타난 뇌활동성 영역을 one-sample  $t$  test( $p < 0.005$



[그림 2] 과학고집단과 외국어고집단의 지능과제 수행 시 뇌활동성 지도. 결과는 random effects analysis를 통해 얻어짐(과학고집단:  $n=8$ , 외국어고집단:  $n=5$ ; one-sample  $t$  test,  $p < 0.005$  uncorrected, cluster size  $> 150$ ).

uncorrected)를 이용하여 두 집단 각각에 대해 분석하였다([그림 2], <표 2>, <표 3>). 과학고집단과 외국어고집단 모두 좌측과 우측의 전전두엽피질(Prefrontal Cortex, PFC), 좌측과 우측의 후두정엽피질(Posterior Parietal Cortex, PPC), 전대상피질(Anterior Cingulate Cortex, ACC)에서 활동성을 보였다. 흥미롭게도, 과학고집단은 우측 두정엽의 활동성이 두드러지게 나타난 반면, 외국어고집단은 좌측 전두엽의 활동성이 두드러지게 나타났다.

<표 2> 과학고집단의 지능과제 수행 시 뇌활동성 영역

영역	Brodmann 영역	Cluster size	t 값	Talairach 좌표		
				x	y	z
Left MFG, IFG, SFG, Medial FG	6, 45, 32, 8, 46	1830	17.33	-27	6	51
Left IPL, SPL, PCu	7, 40	12896	17.25	-42	-33	36
Right MFG	6	152	8.98	27	9	57
Right IPL, SPL, MOG	7, 40, 39, 19, 18	12896	26.17	9	-72	-36

n=8; one-sample t test, p<0.005 uncorrected, cluster size>150. MFG(middle frontal gyrus; 중간전두이랑), IFG(inferior frontal gyrus, 하전두이랑), SFG(superior frontal gyrus; 상전두이랑), Medial FG(medial frontal gyrus, 내측전두이랑), IPL(inferior parietal lobule; 하두정소엽), SPL(superior parietal lobule; 상두정소엽), PCu(precuneus; 췌기전소엽), MOG(middle occipital gyrus, 중간후두이랑).

<표 3> 외국어고집단의 지능과제 수행 시 뇌활동성 영역

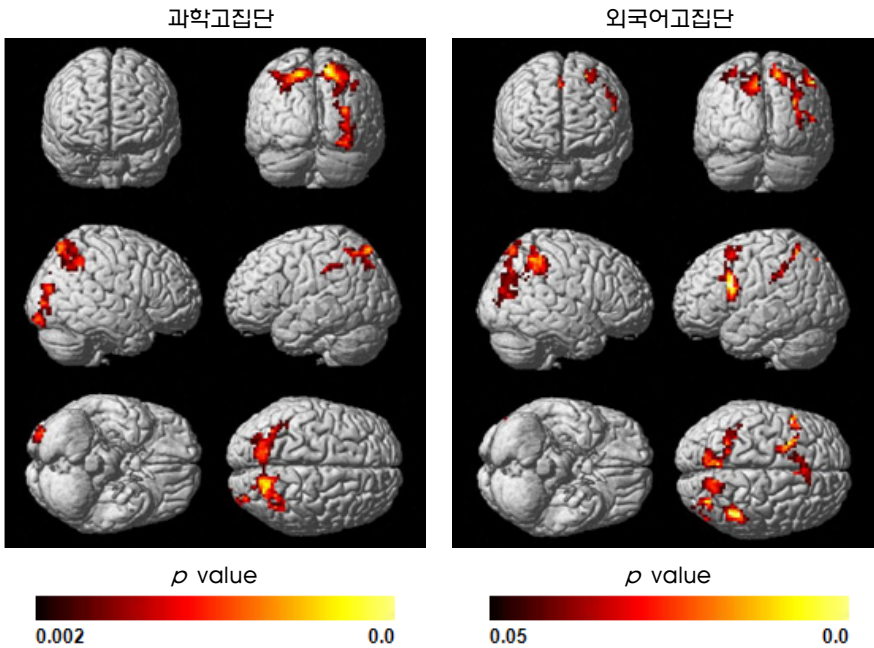
영역	Brodmann 영역	Cluster size	t 값	Talairach좌표		
				x	y	z
Left IFG	9, 13, 6	288	26.99	-45	9	18
Left MFG, SFG	6	1049	19.01	-27	9	45
Left IPL, PCu	7, 40	760	21.94	-18	-54	57
Left IOG, MOG	18	211	21.13	-24	-72	3
Right IFG, MFG	47	156	18.99	33	27	3
Right IPL, SMG	40	1228	26.14	39	-48	33
Right MOG	18	212	26.95	21	-99	-15

n=5; one-sample t test, p<0.005 uncorrected, cluster size>150. IFG(inferior frontal gyrus, 하전두이랑), MFG(middle frontal gyrus; 중간전두이랑), SFG(superior frontal gyrus; 상전두이랑), IPL(inferior parietal lobule; 하두정소엽), PCu(precuneus; 췌기전소엽), IOG(inferior occipital gyrus, 하후두이랑), MOG(middle occipital gyrus, 중간후두이랑), SMG(supramarginal gyrus, 변연상이랑).

지능과제 수행 시 과학고집단과 외국어고집단에서 활동성을 보인 영역들은 추론과제와 작업기억과제 수행 시 활동성을 보인 영역들과 비교적 일치하였다(Gray, Chabris, & Braver, 2003; Prabhakaran et al., 1997). 과학고집단이 두드러진 활동성을 보인 우측 두정엽은 시각적인 자료의 저장용량과 관련이 있는 영역인 반면(Todd & Marois, 2004), 외국어고집단이 두드러진 활동성을 보인 좌측 전두엽은 언어적인 자료의 저장용량과 관련이 있는 영역이었다(Braver et al., 1997; Cohen et al., 1997).



과학고학생들과 외국어고학생들의 지능과제 수행 시 주요한 활동성을 보인 영역을 보다 명확하게 알기 위해 유의도 수준을 높여 뇌활동성을 분석하였다([그림 3], <표 4>, <표 5>). 과학고집단은 좌측과 우측의 상두정소엽(superior parietal lobule; SPL)과 하두정소엽(inferior parietal lobule; IPL)의 활동성이 두드러지게 나타난 반면, 외국어고집단은 좌측 하전두이랑(inferior frontal gyrus, IFG)의 활동성이 두드러지게 나타났다.



[그림 3] 과학고집단과 외국어고집단의 지능과제 수행 시 뇌활동성 지도. 결과는 random effects analysis를 통해 얻어짐(과학고집단:  $n=8$ ; one-sample  $t$  test,  $p<0.002$  FDR corrected, cluster size>150, 외국어고집단:  $n=5$ ; one-sample  $t$  test,  $p<0.05$  FDR corrected, cluster size>150).

<표 4> 과학고집단의 지능과제 수행 시 주요 뇌활동성 영역

영역	Brodmann 영역	Cluster size	$t$ 값	Talairach좌표			
				x	y	z	
Left	IPL, SPL, PCu	7, 40	651	17.25	-42	-33	36
Right	IPL, SPL	7	651	19.39	39	-51	42
Right	MOG	19, 18	162	18.87	30	-84	18

$n=8$ ; one-sample  $t$  test,  $p<0.002$  FDR corrected, cluster size>150. IPL(inferior parietal lobule; 하두정소엽), SPL(superior parietal lobule; 상두정소엽), PCu(precuneus; 췌기전소엽), MOG(middle occipital gyrus, 중간후두이랑).

<표 5> 외국어고집단의 지능과제 수행 시 주요 뇌활동성 영역

영역	Brodmann 영역	Cluster size	t 값	Talairach좌표		
				x	y	z
Left IFG	9, 13, 6	179	26.99	-45	9	18
Left MFG, SFG	6	187	19.01	-27	9	45
Left IPL, PCu	7, 40	374	21.94	-18	-54	57
Right IPL, SMG	40	628	26.14	39	-48	33

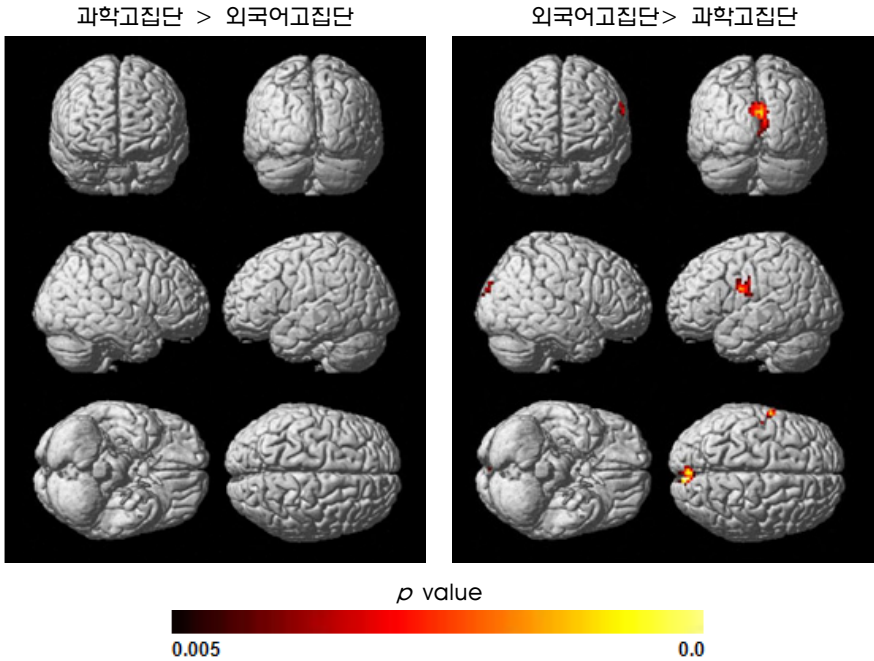
n=5; one-sample t test, p<0.05 FDR corrected, cluster size>150. IFG(inferior frontal gyrus, 하전두이랑), MFG(middle frontal gyrus; 중간전두이랑), SFG(superior frontal gyrus; 상전두이랑), IPL(inferior parietal lobule; 하두정소엽), PCu(precuneus; 췌기전소엽), SMG(supramarginal gyrus, 변연상이랑).

좌측과 우측의 SPL과 IPL 영역은 시각적인 자료의 저장과 작동에 관여되는 영역으로 (Pessoa et al., 2002; Todd & Marois, 2004), 아인슈타인의 뇌 해부구조를 분석한 결과 두 정엽 영역이 일반인들에 비해 15% 넓은 것으로 밝혀진 바가 있다(Witelson et al., 1999). 외국어고 학생들이 지능과제 수행 시 높은 활동성을 보인 좌측 전두엽 영역은 언어적인 자료의 저장과 작동에 관련된 영역이었다(Braver et al., 1997; Cohen et al., 1997). 지능과제 수행 시 과학고학생들은 시각적인 자료의 저장과 작동에 관여되는 영역의 활동성이 높게 나타난 반면, 외국어고학생들은 언어적인 자료의 저장과 작동에 관여되는 영역의 활동성이 높게 나타난 결과는 과학고학생들이 도형으로 제시된 레이븐 문제를 풀이하는 데 있어 시각적인 과정을 주로 사용한 반면, 외국어고 학생들은 도형으로 주어진 문제를 풀 때 언어적인 과정을 사용하였음을 시사한다. WAIS 지능검사에서 외국어고집단의 언어성 지능검사 점수는 148.4로 150.0점을 만점으로 하는 WAIS 언어성 검사에서 거의 만점에 가까운 높은 점수였으며, 작업기억을 측정하는 숫자외우기 점수 역시 19.0점을 만점으로 하는 소검사에서 18.0의 매우 높은 점수를 보인 결과를 고려해 볼 때 이들의 좌측 전두엽 영역의 활동성과 WAIS 언어성 검사의 높은 수행도 간의 연관성이 있을 것으로 여겨진다.

두 집단의 뇌활동성의 차이를 분석해 보고자 과학고집단과 외국어고집단의 뇌활동성에 대해 two-sample t test(p<0.005 uncorrected)를 실시하였다([그림 4], <표 6>). 분석결과 외국어고집단이 과학고집단에 비해 좌측 중심전이랑(precentral gyrus)과 췌기소엽(cuneus)에서 높은 활동성을 보였다. 좌측 중심전이랑은 브로카 영역과 인접한 위치로 혀와 입술의 운동과 관련된 영역이었다(Gazzaniga, Ivry, & Mangun, 2002). 중심전이랑 영역의 위치와 기능을 고려해 볼 때 외국어고학생들이 과학고학생들에 비해 지능과제 수행시 언어적 사고과정을 사용함에 따라 좌측 중심전이랑의 활동성이 높게 나타났을 것으로 여겨진다. p<0.005 uncorrected, cluster size>50에서 과학고집단이 외국어고집단에 비해 높은 활동성을 보인 영역은 나타나지 않았다.

뇌의 작동원리에 기반하여 효과적인 교수학습을 이루고자 하는 노력이 이루어져 왔다. 좌뇌와 우뇌 및 속파와 서파의 순환적 활용을 조합한 두뇌순환학습모형이 개발되었으며(김용진, 장남기, 2001), 순차적 정보처리과정과 동시적 정보처리과정 및 확산적 사고와 수렴적 사고를 활용한 수업모형(최선영, 장남기, 2003) 및 경험하기, 구성하기, 의견공유하기, 처리하기로 구성된 뇌

기반 학습단계(김재영, 최선희, 2003)가 개발되었다. 뇌기반 교수학습방법의 개발과 더불어 교과 내용과 뇌기능 적합도 간의 관계도 분석되었다(배진호, 임채성, 2004; 이일선, 이준기, 권용주, 2010). 본 연구에서는 동일한 유형의 지능과제 수행 시 과학고학생은 도형적 사고와 연관된 영역이 주요하게 관여한 반면, 외국어고학생은 언어적 사고와 연관된 영역이 주요하게 관여함을 보였다. 같은 과제에 대해 자연계열에서 우수한 능력을 보이는 학생과 언어계열에서 우수한 능력을 보이는 학생 간에 언어와 도형의 서로 다른 사고과정에 관여한 영역의 활동성이 보인 결과는 분야별 영재의 선발방법과 교수학습방법의 개발 시 언어적 사고와 도형적 사고를 고려할 필요성이 있음을 보여준다.



[그림 4] 과학고집단과 외국어고집단의 지능과제 수행 시 뇌활동성 상대지도(좌: 과학고집단 > 외국어고집단, 우: 외국어고집단 > 과학고집단). 두 집단의 지능과제 수행 시 뇌활동성을 비교함 ( $n=8/5$ ; two-sample  $t$  test,  $p<0.005$  uncorrected, cluster size  $>50$ ).

<표 6> 외국어고집단이 과학고집단에 비해 높은 활동성을 보인 영역

영역	Brodmann 영역	Cluster size	$t$ 값	Talairach좌표		
				x	y	z
Left PG	6	55	5.61	-63	-3	24
Left Cuneus	18	134	5.02	-3	-87	24
Right Cuneus	19, 18	134	6.33	6	-90	30

$n=8/5$ ; two-sample  $t$  test,  $p<0.005$  uncorrected, cluster size  $>50$ . PG(precentral gyrus; 중심전이랑), Cuneus(췌기소엽).

#### IV. 결론 및 제언

본 연구에서는 뇌영상 연구를 통해 과학고집단과 외국어고집단 간에 지능과제 수행 시 뇌활동성에 차이가 있는지를 분석하였다. 두 집단은 RAPM지능검사와 WAIS지능검사에서 상위 1%에 드는 매우 높은 수준의 지능을 지닌 집단이었다. 특히, 외국어고집단의 언어성 지능점수는 148.4로 150.0을 만점으로 하는 WAIS 언어성 검사에서 거의 만점에 가까운 점수를 보인 언어적인 지식을 이해하고 표현하는 능력이 매우 우수한 학생들이었다. 연구 결과 다음과 같은 사실을 알 수 있었다. 첫째, 지능과제 수행 시 과학고집단과 외국어고집단 모두 좌측과 우측의 전전두엽피질, 좌측과 우측의 두정엽피질, 전대상피질의 활동성이 공통적으로 나타났다. 이러한 영역은 이전의 연구에서 추론능력 및 작업기억능력에 관여하는 영역과 유사하였다. 둘째, 과학고집단은 우측 두정엽의 활동성이 두드러지게 나타난 반면, 외국어고집단은 좌측 전두엽의 활동성이 두드러지게 나타났다. 우측 두정엽은 시각적인 자료의 저장에 관련된 영역인 반면, 좌측 전두엽 영역은 언어적인 자료의 저장과 관련된 영역이었다. 셋째, 과학고집단과 외국어고집단 간의 뇌활동성의 차이를 분석한 결과 외국어고집단이 과학고집단에 비해 지능과제 수행 시 좌측 중심전이랑 영역의 활동성이 높게 나타났다. 외국어고집단이 과학고집단에 비해 높은 활동성을 보인 좌측 중심전이랑 영역은 브로카 영역과 인접한 위치로 혀와 입술의 운동과 관련된 영역이었다. 지능과제 수행 시 나타난 과학고학생과 외국어고학생 간의 뇌활동성의 특성은 영재교육에 다음과 같은 시사점을 준다.

첫째, 영재 교수학습방법의 개발 시 언어적 사고와 도형적 사고를 고려할 필요가 있을 것이다. 학습내용들은 이를 언어로 표현을 할 수도 있고 도형으로 표현을 할 수도 있다. 과학고학생과 외국어고학생들이 지능과제 수행 시 주요하게 작동하는 영역에 차이가 있다는 것은 영재성을 나타내는 분야에 따라 같은 내용에 대해 언어와 도형으로 다르게 사고할 가능성을 보여준다. 언어와 도형이라는 두 가지 다른 상징체계를 원활히 활용하는 교수학습방법을 개발하고 교육현장에 적용을 함으로써 두 사고방식에 대한 발달을 가져올 수 있을 것이다.

둘째, 과학, 언어, 예술 등 분야에 따른 영재들의 사고방식의 특성에 대한 이해가 필요할 것이다. 영재성을 발휘하는 각 분야는 상징체계에 있어 차이가 있다. 각 분야의 상징체계의 특성과 영재들의 사고방식의 특성을 파악하는 것은 각 분야에 특성화된 영재의 선별 방법과 교수학습방법 개발에 대한 근거자료를 마련해 줄 수 있을 것이다.

셋째, 영재 교수학습방법의 효과를 검증하는 데 있어서 뇌활동성을 하나의 특성으로 고려할 수 있을 것이다. 영재의 교수학습방법에 대한 효과의 검증은 주로 개념이해, 학습 흥미도, 태도 등을 검사하는 방법을 통해 이루어져 왔다. 본 연구에서는 지능과제 수행 시 과학고집단과 외국어고집단에 공통으로 관여되는 영역이 있으며 특정 영역의 활동성이 두 집단에서 차별화되어 높게 나타나는 것을 밝혔다. 이러한 결과는 영재 교수학습방법의 효과를 검증하는 데 있어 이들 영역의 활동성의 변화를 고려할 수 있음을 보여준다.

## 참 고 문 헌

- 강승희, 조석희 (2004). 언어 영재교육의 필요성과 방향 탐색. **영재교육연구**, 14(1), 91-114.
- 고은성, 이경화 (2011). 일반학급 학생들과의 비교를 통한 수학영재학급 학생들의 표본 개념 이해 수준 연구. **영재교육연구**, 21(2), 287-307.
- 김경민, 차희영, 구슬애 (2011). 초등과학영재와 일반아동의 분류 능력 차이. **한국과학교육학회지**, 31(5), 709-719.
- 김용진, 장남기 (2001). 중학교 과학 수업에서 두뇌순환학습 프로그램의 적용 효과. **한국생물교육학회지**, 29(2), 186-194.
- 김재영, 최선희 (2003). 두뇌기반학습원리에 기초한 초등 과학수업의 효과: 4학년 생명영역을 중심으로. **한국생물교육학회지**, 31(2), 119-131.
- 배진호, 임채성 (2004). 초등학교 과학에서 ‘쾌적한 환경’ 단원에 대한 4MAT 학습 모형의 학습양식 유형과 두뇌 기능성 유형 분석. **한국생물교육학회지**, 32(2), 107-113.
- 성현숙 (2009). 과학영재고등학생의 과학과 영어과목에서의 학습전략 사용 및 동기의 차이와 학습수행과의 관계. **영재교육연구**, 19(1), 95-117.
- 양기열, 이의진 (2011). 수학영재학생들의 유추를 통한 이차곡면의 탐구활동 분석. **영재교육연구**, 21(2), 269-286.
- 유승식 (2001). **실전응용을 중심으로 한 기능 자기공명영상 실험**. 서울: 도서출판 의학문화사.
- 이일선, 이준기, 권용주 (2010). 두뇌맞춤 지수 기여도 산출식의 개발 및 적용: 7학년 과학 ‘세포의 구조와 기능’ 단원을 중심으로. **한국생물교육학회지**, 38(4), 531-546.
- 조선희, 이근호, 김희백 (2007). 과학영재교육원 사사교육 대상자들의 지능과 창의력 수준 분석. **영재교육연구**, 17(1), 123-143.
- 최선영, 장남기 (2003). 초등학생의 창의력, 학업성취도 및 과학관련 태도를 신장시킬 수 있는 전뇌순환학습 프로그램 개발과 적용 효과. **한국생물교육학회지**, 31(4), 282-291.
- Belsky, J. K. (1990). *The psychology of aging: Theory, research, and interventions*. Pacific Grove: Brooks Cole Publishing Company.
- Braver, T. S., Cohen, J. D., Nystrom, L. E., Jonides, J., Smith, E. E., & Noll, D.C. (1997). A parametric study of prefrontal cortex involvement in human working memory. *NeuroImage*, 5, 49-62.
- Cabeza, R., & Nyberg, L. (2000). Imaging cognition II: An empirical review of 275 PET and fMRI studies. *J. Cogn. Neurosci.*, 12, 1-47.
- Carpenter, P. A., Just, M. A., & Shell, P. (1990). What one intelligence test measures: A theoretical account of the processing in the Raven Progressive Matrices Test. *Psychol. Rev.*, 97, 404-431.
- Cattell, R. B. (1971). *Abilities: Their structure, growth, and action*. Boston: Houghton Mifflin.

- Choi, Y.Y., Shamosh, N.A., Cho, S.H., DeYoung, C.G., Lee, M.J., Lee, J.M., Kim, S.I., Cho, Z.H., Kim, K., Gray, J.R., & Lee, K.H. (2008). Multiple bases of human intelligence revealed by cortical thickness and neural activation. *Journal of Neuroscience*, 28(41), 10323-10329.
- Cohen, J. D., Perlstein, W. M., Braver, T. S., Nystrom, L. E., Noll, D. C., Jonides, J., & Smith, E. E. (1997). Temporal dynamics of brain activation during a working memory task. *Nature*, 386, 604-608.
- Fox, L. H., & Durden, W. G. (1982). *Educating verbally gifted youth. Fastback 176*. Bloomington, Indiana: Phi Delta Kappa Educational Foundation.
- Friston, K. J., Ashburner, J., Frith, C. D., Poline, J. B., Heather, J. D., & Frackowiak, R. S. J. (1995). Spatial registration and normalization of images. *Hum. Brain Mapp.*, 2, 165-189.
- Gray, J. R., Chabris, C. F., & Braver, T. S. (2003). Neural mechanisms of general fluid intelligence. *Nat. Neurosci.*, 6, 316-322.
- Gazzaniga, M. S., Ivry, R. B., & Mangun, G. R. (2002). *Cognitive neuroscience*. New York: Norton.
- Haier, R. J., Siegel, B. V., Nuechterlein, K. H., Hazlett, E., Wu, J., Paek, J., Browning, H., & Buchsbaum, M. S. (1988). Cortical glucose metabolic rate correlates of abstract reasoning and attention studied with positron emission tomography. *Intelligence*, 12, 199-217.
- Horn, J. L., & Cattell, R. B. (1966). Refinement and test of the theory of fluid and crystallized general intelligences. *Journal of Educational Psychology*, 57(5), 253-270.
- Houdé, O., & Tzourio-Mazoyer, N. (2003). Neural foundations of logical and mathematical cognition. *Nat. Rev. Neurosci.*, 4, 507-514.
- Kaufman, A. S. (2001). WAIS-III IQs, Horn's theory, and generational changes from young adulthood to old age. *Intelligence*, 29, 131-167.
- Kroger, J. K., Sabb, F. W., Fales, C. L., Bookheimer, S. Y., Cohen, M. S., & Holyoak, K. J. (2002). Recruitment of anterior dorsolateral prefrontal cortex in human reasoning: A parametric study of relational complexity. *Cereb. Cortex*, 12, 477-485.
- Marshalek, B., Lohman, D. F., & Snow, R. E. (1983). The complexity continuum in the radex and hierarchical models of intelligence. *Intelligence*, 7, 107-127.
- Ogawa, S., Lee, T. M., Kay, A. R., & Tank, D. W. (1990). Brain magnetic resonance imaging with contrast dependent on blood oxygenation. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*, 87, 9868-9872.
- Pessoa, L., Guitierrez, E., Bandettini, P. A., & Ungerleider, G. L. (2002). Neural correlates of visual working memory: fMRI amplitude predicts task performance. *Neuron*, 35, 975-987.
- Prabhakaran, V., Smith, J. A. L., Desmond, J. E., Glover, G. H., & Gabrieli, J. D. E. (1997). Neural substrates of fluid reasoning: An fMRI study of neocortical activation during

- performance of the Raven's Progressive Matrices Test. *Cognitive Psychol.*, 33, 43-63.
- Raven, J. C. (1980). *Advanced progressive matrices set II*. U.K.: Raven Ltd.
- Smith, E. E., & Jonides, J. (1998). Neuroimaging analyses of working memory. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*, 95, 12061-12068.
- Snow, R. E. (1989). Toward assessment of cognitive and conative structures in learning. *Educational Researcher*, 18, 8-14.
- Todd, J. J., & Marois, R. (2004). Capacity limit of visual short-term memory in human posterior parietal cortex. *Nature*, 428, 751-754.
- Wechsler, D. (1981). *WAIS-R manual; Wechsler Adult Intelligence Scale-Revised*. New York: The Psychological Corporation.
- Witelson, S. F., Kigar, D. L., & Harvey, T. (1999). The exceptional brain of Albert Einstein. *Lancet*, 353, 2149-2153.

= Abstract =

## Brain Activity of Science High School Students and Foreign Language High School Students during the Intelligence Task

Sun Hee Cho

*KAIST*

Yu Yong Choi

*GIST*

Kun Ho Lee

*Chosun University*

We investigated brain activity during the performance of the intelligence task by a science high school student group ( $n=8$ ) and a foreign language high school student group ( $n=5$ ). Both groups scored in the top 1% on intelligence tests (science high school group: RAPM mean score=34.0, WAIS mean IQ=139.6; foreign language high school group: RAPM mean score=33.8, WAIS mean IQ=147.2). Analysis of brain activity during the performance of the intelligence task showed that both groups had brain activity in certain areas, including the left and right prefrontal cortex, parietal cortex, and anterior cingulate. The science high school group showed the highest activity in the right parietal cortex, which is related to visuo-spatial working memory, whereas the foreign language high school group showed the highest activity in the left prefrontal cortex, which is related to verbal working memory. The foreign language high school group showed higher brain activity than the science high school group in the left precentral gyrus which is related to the motion of the tongue and lips. These results show that the science high school group utilized the visuo-spatial area, whereas the foreign language high school group utilized the verbal area during the performance of the intelligence task. This suggests that the major thinking process differs depending on the gifted students' primary field of study, although they are doing the same task.

**Key Words:** Science high school, Foreign language high school, Intelligence, Brain activity, fMRI

1차 원고접수: 2012년 5월 13일
수정원고접수: 2012년 6월 20일
최종게재결정: 2012년 6월 20일