

초등학교 과학 영재아의 뇌파 기반 변별 척도 개발

권석원 · 강민정[†] · 신동훈 · 권용주

(한국교육원대학교) · (동양대학교)[†]

Development of an EEG Based Discriminant-Scale for Scientifically Gifted Students in Elementary School

Kwon, Suk-Won · Kang, Min-Jung[†] · Shin, Dong-Hoon · Kwon, Yong-Ju

(Korea National University of Education) · (Dongyang University)[†]

ABSTRACT

The purpose of this study was to develop an electroencephalogram (EEG) based differential-scale for scientifically gifted students in elementary school. For this study, signals of EEG with 19 channels were recorded during the generation of our scientific hypothesis using 22 scientifically gifted students, and with 49 average students being used as the control group. IQ, TCT and knowledge generation (KG) as constructs of the scientifically gifted were administered for both the scientifically gifted and the normal, control group elementary students. A "gifted" value was added to paper test scores of the IQ, TCT, and KG constructs in order to make a personal standardization score for the gifted students. As a dependent variable, the groups were divided by means of the standardization scores thus produced and as an autonomous variable, various EEG parameters were presented through linear analysis, nonlinear analysis, and interdependency measures of the EEG. Multiple linear regression analysis was applied successfully to explain the EEG parameters and to show the characteristics of the scientifically-gifted. The discrimination analysis was administered through the results of multiple linear regression of the EEG parameters thus produced. This study represents the foundation of the development of an EEG based discriminant-scale for scientifically gifted students in elementary school, because it will be able to faithfully discriminate between scientifically-gifted and average students. The results of this study indicates that most of the EEG parameters produced can contribute to predicting the characteristics of the scientifically-gifted in that they express the degree of mutual information and the coherence of mutuality. Accordingly, mutual connectivity which appears to originate in the brain seems to the core of discrimination.

Key words : hypothesis generation, EEG based discriminant-scale, scientifically gifted student, elementary school, mutual information

I. 서 론

21세기 지식 기반 사회에서 세계 각국은 국가 경쟁력을 강화하기 위하여 과학 영재 교육에 지대한 관심을 가지고 있다(권치순, 2005; 심재영 등, 2005). 과학 영재 교육은 국가 경쟁력 강화라는 측면에서 뿐만 아니라, 영재들의 자아를 실현할 수 있게 하는

개인적 측면에서도 영재 교육의 필요성이 강조되고 있다. 이와 같이 국가와 개인의 필요성에 의해서 과학 영재에 대한 다양한 연구들이 진행되고 있다.

과학 영재에 대한 정의는 다양하게 이루어지고 있으나 권치순(2005)은 여러 학자들의 의견을 고찰하여 “일반적으로 높은 지능을 갖고 있으며, 과학 및 수학 분야에 뛰어난 학업 성취를 보이면서, 과

학 학습에 대한 강한 학습 의욕과 높은 탐구 동기를 보이는 심리적 특성을 보유하고 있는 사람”이라고 정의하였다. 그러므로 과학 영재는 과학 지식과 탐구 기능 등을 이용하여 과학적 사고 과정을 효율적으로 발휘하여 창의적 문제 해결력이 뛰어난 사람이라고 할 수 있다(권치순, 2005). 이러한 과학 영재들은 과학적 사고 과정의 핵심이라 할 수 있는 과학적 가설 생성 능력이 특히 뛰어나다고 할 수 있을 것이다. 왜냐하면, 과학적 가설 생성 과정은 창의적 사고 과정과 밀접한 관련이 있으며(Lawson, 1995; 2002), 과학 영역에서 창의적 아이디어를 생성하는 핵심적 과정이기 때문이다(Klahr & Dunbar, 1988; Wenham, 1993).

과학 영재 교육에서 가장 중요하고 핵심적인 문제가 무엇보다도 과학 영재를 올바르게 판별하는 것이기 때문에(김용진 등, 2005; 최선영과 강호감, 2006), 영재의 특성과 판별에 관련한 다양한 연구들이 이루어져 왔다. 과학 영재를 변별하기 위해 영재들의 특성에 대한 연구들로 과학 영재와 일반 학생의 창의성을 비교한 여러 연구 결과물들(심재영 등, 2005; 한기순 등, 2002)이 있고, 과학 영재를 직접적으로 변별하기 위한 검사 도구 개발에 대한 연구들로는 과학 창의적 문제 해결력 검사 도구를 개발한 연구(최선영과 강호감, 2006)와 과학 창의성을 측정하는 연구(Sinha & Singh, 1987) 등이 존재한다.

그러나 현재 우리나라 과학 영재를 교육하는 많은 기관들에서는 이와 같은 지필 검사 도구를 활용한 단편적인 검사가 아니라 추천과 지필 검사, 면접·구술 고사 등의 다단계 영재 판별을 실시하고 있다(권치순, 2005; 김은진, 2006; 최선영과 강호감, 2006). 왜냐하면, 지필 검사만을 바탕으로 이루어지는 과학 영재 판별은 피험자의 상태, 환경, 교육 상황, 분위기 등 수많은 요인들로 인해 학생들의 능력을 실제적으로 평가하지 못할 수 있기 때문이다. 게다가 최근에는 과학 영재 교육에 대한 사회적 관심의 증가로 사교육의 간섭이 심해 과학 영재 선발의 타당성 검증이 더욱 요구되고 있는 실정이다(김은진, 2006). 따라서 과학 영재 변별의 효과적인 목표 달성을 위해서는 과학 학습에 대한 생태학적, 신경생물학적, 유전학적 관점에서의 접근이 필요하다(이현욱 등, 1999; Kwon *et al.*, 2004). 그러므로 두뇌 활동에 대한 간접적 측정인 지필 검사의 단점을 극복하고 보다 신뢰롭고 타당한 변별을 위한 신경생리학적 접근을 통한 직접적인 연구가 필요한 것

이다(권용주 등, 2006b; Ansari & Coch, 2006; Gazzaniga *et al.*, 2002).

다양한 신경생리학적 연구 방법 중에서 뇌파(EEG)는 인체에 영향을 주지 않는 비침습적 특성과 시계열의 연속적 측정이 가능하기 때문에 인간의 두뇌 기능을 측정하는데 매우 적합하다(김대식과 최장욱, 2001). 인간 두뇌의 신경 정보 전달 과정에서 생기는 전기 활동인 뇌파를 측정하여 분석하는 방법은 객관적으로 두뇌 기능을 해석할 수 있는 방법으로 인정되고 있으며(권용주 등, 2006a; 2006b; 김용진, 2003; Neubauer *et al.*, 2004), 특히 과학 교육과 관련하여 다양한 선행 연구들이 이루어져 왔다. 예를 들면, 권용주 등(2006a; 2006b)이 과학적 가설 생성 학습 후에 나타난 두뇌 활성화 차이를 초등학생과 대학생들을 대상으로 조사하여 학습에 의해 두뇌가 변할 수 있다는 학습 가소성을 증명한 연구와 김용진 등(2005)이 창의적 과학 문제 해결 과정에서 나타나는 영재아와 일반 아동들의 두뇌 활성화 차이를 분석하여 뇌파를 기반으로 하는 영재 변별의 시초를 제공한 연구와 Jin 등(2006b)이 과학 영재와 일반 학생이 과학적 가설을 생성하는 동안의 두뇌 기능 차이를 조사한 연구 등을 제시할 수 있다. 그리고 박경희 등(2006)은 과학 창의성 검사를 수행할 때 과학 영재아와 일반 학생의 두뇌 기능 차이를 기능적 묶음(functional clustering)을 통해 보여줌으로써 뇌파를 기반으로 하는 과학 영재의 판별 가능성을 제시하였다.

이와 같이 뇌파를 이용하여 과학 영재아의 두뇌 특성을 조사하는 연구들이 진행되고 있으나, 이러한 뇌파의 특성을 바탕으로 과학 영재 학생들을 변별할 수 있는 척도는 아직까지 개발되지 않고 있다. 그러므로 수많은 뇌파의 특성에서 과학 영재를 변별할 수 있는 요소들을 추출하여 신경학적 변별 척도를 개발한다면, 훨씬 신뢰롭고 과학적인 영재 판별 도구를 완성하는데 유용할 것이다(Schmid *et al.*, 2002). 따라서 이 연구의 목적은 뇌파를 분석하여 초등 과학 영재를 판별하기 위한 보다 과학적이고 신뢰로운 ‘뇌파 기반 변별 척도’를 개발하는 것이다. 이를 위한 구체적인 연구 문제들은 다음과 같다. 첫째, 여러 가지 지필 검사를 통해 나타나는 과학 영재아와 일반 학생의 차이점은 무엇인가? 둘째, 과학 영재아의 특성을 반영하는 뇌파 변별 요소들(parameters)을 추출하고, 이를 통해 뇌파를 기반으로 하는 신경생리학적 변별 척도를 개발하고, 셋째,

개발된 뇌파 기반 변별 척도를 실제 과학 영재아의 판별에 적용하여 타당성과 활용 가능성을 알아보는 것이다.

II. 연구 절차 및 방법

1. 연구 대상

이 연구를 위한 대상자는 다단계 평가를 거쳐 선출된 과학재단 지정 초등과학영재센터의 과학 영재아 집단 22명과 동일한 지역에서 초등학교 교육을 받고 있는 일반아 집단 49명이었다. 연구 대상자들은 모두 초등학생으로 사전에 뇌파에 대한 안내와 학부모들의 동의를 얻었으며, 희망하지 않는 학생들은 연구에서 제외하였다. 연구 대상인 초등학생의 학년은 모두 5~6학년이었으며, 평균 나이는 12.5 ± 0.4 이었다.

2. 연구 절차

과학 영재아와 일반 학생들의 인지적 특성을 비교하기 위하여 세 가지 지필 검사(지능 검사, 창의성 검사, 과학 지식 생성력 검사)를 먼저 실시하였다. 그리고 과학적 가설을 생성할 때의 두뇌의 뇌파를 측정하였다. 지필 검사 결과로부터 표준화 점수를 산출한 다음, 뇌파 분석 결과와 비교하여 두 변인간의 관련성을 분석하였다. 표준화 점수와 깊은 관련성을 보이는 뇌파 변별 요소들을 산출하고, 이를 토대로 변별척도를 개발하였다. 개발한 변별 척도를 실제 과학 영재아를 판별하는데 적용하여 변별 척도의 타당성을 검증하였다.

3. 지필 검사 도구

과학 영재 학생들의 인지적 특성을 연구한 조은부와 백성혜(2006)는 다중 지능 검사, 창의성 검사, 과학 탐구 능력 검사를 실시하였으나, 이 연구에서는 지능 검사, 창의성 검사, 과학 지식 생성 능력 검사를 모든 피험자들이 실시하였다. 사용된 각 검사 도구들은 다음과 같다.

1) 지능 및 창의성 검사

지능 검사는 류기섭과 이기우(1995)가 개발한 초등학교 4~6학년용 기초 지능 검사 도구를 사용하였으며, 전체적인 신뢰도는 0.93으로 상당히 높은

것으로 평가되며, Thurstone의 지능 구성 요소를 준거로 하여 문항을 선정하였으므로 이론 타당도 또는 안면 타당도가 충분히 높다고 인정할 수 있다. 각 하위 검사간 상호 상관 계수는 0.33~0.62의 계수를 나타내 서로 독립적인 요인으로 구성되어 있으면서 어느 정도 사고력을 측정하는 요인으로서의 관련성도 유지하고 있다고 할 수 있다. 창의성 검사는 이영덕과 정원석(1995)이 공동으로 개발한 표준화 간편 창의성 검사 도구를 사용하였으며, 전체적인 신뢰도는 0.70~0.90의 신뢰도 계수의 범위를 가지고 있다. 채점 및 분석은 코리아 테스트 센터에서 실시하였다. 각 검사의 점수는 표준화 점수인 z점수로 변환하여 차후 개인별 표준화 점수를 산출하는데 사용되었다.

2) 과학 지식 생성력 검사

이 연구의 핵심은 과학 영재를 판별하는 뇌파 변별 요소를 찾는 것이다. 그러므로 과학 지식 생성력 검사 중 과학 탐구의 핵심 과정이라 할 수 있는 가설 생성력을 평가할 수 있는 검사 도구를 활용하였다(권용주 등, 2004). 이 검사 도구는 가설 지식의 유창성, 융통성, 독창성을 측정하는 것이므로 과학적 창의성의 구인들도 포함되어 있다. 따라서 과학 영재를 판별하는 데 적합한 도구로 판단된다. 이 검사 도구의 문항에 대한 내용 타당도는 93%, 채점표의 내용 타당도는 92%를 보였으며, 공인 타당도 0.73, 구인 타당도 0.73, 내적 일치 신뢰도를 나타내는 Cronbach α 는 0.76, 동형 검사 신뢰도는 0.93, 문항 변별도는 0.34~0.51로 나타났다.

4. 뇌파 검사 도구

1) 뇌파 측정용 과제 개발

피험자들이 과학적 가설 지식을 생성할 수 있도록 ‘눈 감고 안정’, ‘눈 뜨고 안정’, ‘관찰 과정’, ‘의문 생성’, ‘가설 생성’ 단계로 설계하여 뇌파를 측정하였다. 이러한 측정을 위해 과학적 가설 생성 과제는 가설 생성 훈련을 위한 예비 과제 2개와 실제 뇌파 측정을 위한 본 과제 1개로 구성하였다. 예비 과제는 수국 꽃, 기러기 똥 과제를 사용하였으며, 본 과제는 메추리알 과제를 사용하였다. 이러한 과제들은 권용주 등(2006a; 2006b)의 연구에서 뇌파 측정을 위한 가설 생성에 적합하다는 것을 이미 검

증받았다. 그러므로 이 연구에서는 선행 연구와 동일한 과제를 사용하였다. 예비 과제는 가설 생성시 각 피험자마다 나올 수 있는 상이한 가설에 대비하여 최종 뇌파간 비교에 있어 동일한 가설 생성시에 나타나는 뇌파를 얻고자 본 과제인 매추리알 과제의 유사 경험 탐색의 과정으로써 제시하도록 뇌파 측정 전에 실시하였다. 또한 예비 과제와 본 과제 모두 피험자들의 가설 생성 내용이 동일한 경우만을 얻기 위해 피험자로부터 동일한 가설이 생성될 때까지 반복 측정의 방법을 사용하였다.

반복 측정을 통해 동일한 가설이 생성되는 순간을 분석 데이터로 사용하는 이유는 피험자들마다 상이한 사고가 생성된 가설의 경우 개개인별 뇌파의 차이는 과학 영재 또는 일반 학생이기 때문에 나타나는 것이 아니라, 사고의 종류가 달라서 나타나는 것이라는 문제 의식 때문이다. 따라서 이러한 사고의 종류의 상이함에 따라 파생되는 문제를 제거하기 위하여 동일한 가설 생성시의 뇌파만을 분석에 사용하였다.

본 과제인 매추리알 과제는 피험자가 먼저 준비된 20개의 매추리알 표면을 자세히 관찰한 후 떠오르는 의문점을 찾아보고, 이 의문에 대한 잠정적 설명인 가설을 생성하는 과정으로 실시되었다. 의문점은 ‘한 배에서 태어난 매추리알은 왜 무늬와 모양이 모두 서로 다를까?’이었다. 전 과정 중 가설 생성 단계에서는 매추라기가 먹은 먹이의 종류에 따라 달라지는 노폐물의 상이함에 따라 매추리알의 표면 무늬가 다양하게 나타날 수 있다는 가설이 피험자로부터 유도될 때까지 반복적 뇌파 측정을 하였고, 실험자가 의도한 가설이 피험자로부터 제시되지 않으면 유사 경험으로써 예비 과제에서 제시되었던 과제들을 회상시켜주는 과정을 실시하였다. 예비 과제 회상을 통해 모든 피험자들로부터 동일한 가설 생성이 가능하였다. 실험 중 동일한 가설 생성 여부는 과제 제시자와 피험자간 면담을 통해서 뇌파 측정 순간 떠올린 가설에 대한 확인 과정을 갖도록 하였다. 확인한 면담 내용은 개인별 리포트 형식으로 작성되어 차후 분석에 활용되었다.

2) 뇌파 측정

이 연구에서 사용한 EEG System은 Australia Compu-medica사에서 개발된 E-series EEG system(Compu-medics, 2001)와 뇌파 수집 소프트웨어는 E-series

3.4 Release version을 사용하였다. 뇌파 측정 위치는 국제 전극 배치법인 Jasper(1958)의 10-20 system 전극 배치를 따르도록 했다. Sampling rate는 256 Hz, impedance는 10 kΩ 이하, High pass filter는 1 Hz, Low pass filter는 70 Hz를 유지하여 현재 대부분의 연구에서 사용하는 뇌파의 전 범위에서 측정된 데이터를 수집하였다. 또한 교류 유도에 의한 60 Hz의 상용 교류 잡파를 제거하기 위해 Notch filter는 60 Hz를 사용하였다. 잡파 제거에 있어 지금까지 다른 연구들에서 피험자에 의해 쉽게 혼입되는 눈 깜박임 등의 저주파대역 잡파(2~4 Hz)를 필터링을 통해 뇌파 요소와 함께 완전히 제거하던 것과는 달리 본 연구에서는 독립 성분 분석(independent component analysis, ICA)을 통해 제거하여 뇌파 수집 전 대역에 대한 분석이 가능하도록 하였다(Lee, 1998). 뇌파 측정에 앞서 먼저 피험자들에게 예비 과제를 통해 뇌파 측정 전 과정에 대한 설명과 충분한 설명을 실시하였다. 이후 뇌파 측정을 위해 미리 장비가 설치된 격리된 방인 차폐실(shield room)에서 1명씩 전극을 부착하고 뇌파 측정을 시작하였다. 전 측정 과정을 통해 눈 감고 안정, 눈 뜨고 안정, 관찰, 가설 생성 과정에서 각각 30초간씩 뇌파를 측정하여 저장하였고, 이중 16초에 해당되는 4096 point의 데이터를 통하여 다양한 분석을 실시하였다. 이와 같은 측정 과정을 나타내면 그림 1과 같다. 측정 전·중·후 피험자의 상태와 과정별 답변을 정리하여 기록하고, 뇌파 측정 전 과정을 디지털 녹화

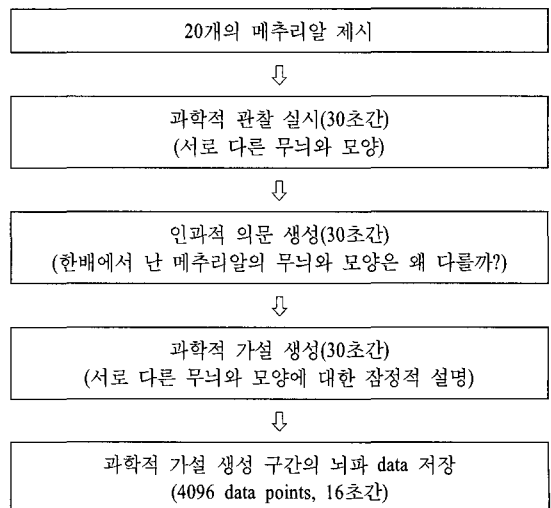


그림 1. 뇌파 측정의 세부 단계

하여 차후 분석을 위한 자료로 저장하였다.

이 연구에서는 좌반구(Fp1, F3, F7, C3, T3, P3, T5, O1), 우반구(Fp2, F4, F8, C4, T4, P4, T6, O2), 그리고 제로선(Fz, Cz, Pz, Oz)에서의 뇌파를 측정·저장하며, 접지 및 기준 전극 등을 포함하여 두피에 부착되는 전극은 모두 23개를 사용하였다.

3) 뇌파 분석

(1) 독립 성분 분석(Independent Component Analysis)

독립 성분 분석은 blind source separation의 방법으로 최근 들어 주목받고 있는 알고리즘이다. 독립 성분 분석의 주된 목적은 직접적인 측정이 용이하지 않은 독립적인 시그널 소스(source)들의 미지의 선형 결합들(unknown linear mixtures)인 측정 결과들만을 가지고, 역으로 원래의 독립 소스들로 구분해 내는 것이다. 2차 상관 관계까지를 고려하여 주축성분들을 구분해 내는 주축 성분 분석(principal component analysis, PCA)과는 달리 독립 성분 분석은 고차 상관 관계까지 고려해서 성분들을 분리해 내기 때문에 가능한 한 가장 독립적인 소스들로 분리하는 일이 가능하다고 믿어진다(Jin *et al.*, 2006a; 2006b; Lee, 1998). 따라서 ICA는 뇌파 연구에 매우 다양하게 적용될 수 있는데, 그 중에서도 이 연구에서는 눈 깜박임 노이즈를 제거하기 위하여 도입하였다(Kwon *et al.*, 2004).

(2) 다양한 뇌파 분석

이 연구에서는 실험 프로토콜상 관찰이 함께 이루어지기 때문에 전체적으로 눈을 뜬 상태에서 뇌파 측정이 이루어졌다. 따라서, 데이터에 전체적인 눈 깜박임 노이즈가 포함되어 본 분석에 들어가기 전에, 눈 깜박임 등의 노이즈를 제거할 수 있는 효과적인 방법인 ICA를 사용하였다. 이 후에는 선형 분석(linear measures)으로 frequency band power로서 absolute power와 relative power, degree of attention을 분석했으며, 비선형 분석(nonlinear measure of complexity)으로는 상관 차원(correlation dimension, D2)을, 상호 의존 분석(interdependency measures)으로는 Pearson's correlation coefficient, coherence, cross mutual information 같은 분석법(Gasser *et al.*, 1983; Jeong *et al.*, 2001; Jin *et al.*, 2006a)을 적용하여 분석하였다.

5. 자료 분석

지필 검사 결과와 뇌파 분석 결과들을 SPSS 10.0을 이용해서 개인별 표준화 점수와 회귀 분석, 판별 분석 등을 실시하였다.

1) 개인별 표준화 점수

연구에서 실시된 지능 검사와 창의성 검사, 과학 지식 생성력 검사들의 서로 다른 평정값을 z점수로의 변환을 통해 동일한 스케일로 변환하여 적용하였다. 또한 선발된 과학 영재아들과 일반 학생들 간의 보이지 않는 과학 영재로서의 구인을 포함시키기 위해 '영재값'이라는 항목을 추가하여 개인별 표준화 점수를 산출하였다. 다음에 제시된 그림 2는 개인별 표준화 점수의 산출 방법을 보여주는 것으로 지능 점수와 창의성 점수, 과학 지식 생성력 검사와 영재치의 각 z점수들의 평균 점수를 개인별 표준 점수로 사용하여 이 연구에서의 기준을 마련하였다.

2) 뇌파 변별 요소 산출

지능 검사, 창의성 검사, 과학 지식 생성력 검사와 영재값들을 모두 z점수로 변환한 후 이들의 평균 점수를 각 개인별 표준화 점수로 하였다. 또한 12가지 방법으로 구성된 뇌파 분석에 따른 변별 요소를 뽑아내도록 하였다. 이에 개인별 표준화 점수는 종속 변수로, 다양한 뇌파 변별 요소는 독립변수로 하는 회귀 분석을 실시하였다. 보통 회귀 분석은 한 변수가 다른 변수들과 어떠한 관계가 있는지를 분석하기 위해 사용되는 방법으로, 독립 변수들을 통해서 종속 변수의 값을 예언해 주는 역할을 한다. 이때 회귀 계수(regression coefficient)는 예언값이라고 보면 되는데 상관 관계와 비슷하지만 회귀 분석은 두 변수(또는 둘 이상)의 관계에 대한 직선의 방정식을 산출함으로써 보다 정확한 예측을 가능하도록 해준다.

뇌파 분석을 통한 변별 요소들은 12가지 요인에서 다양하게 구해지며 단계적 다중선형회귀분석을 사용하여 구하였다. 이때, 총 1,824개의 독립 변수

$$\frac{(IQ+TCT+KG+영재값)의\ 평균}{\text{각 } z\text{-점수}} = \frac{\text{개인별 표준화 점수}}{z\text{-점수}}$$

그림 2. 개인별 표준화 점수의 산출 방법

들이 나오며, 총 12번에 걸쳐서 실시한 후 뽑아진 요소들을 통해 한 번 더 다중선형회귀분석을 실시하였다. 회귀 분석을 통해 뽑아낸 뇌파 변별 요소가 실제로 과학 영재아와 일반아 그룹을 얼마만큼 구분해 주는지를 확인하기 위해서 판별 분석의 방법을 사용하였다.

그리고 통계 분석에 있어 편의를 도모하기 위하여 각 뇌파 분석 방법들은 약어를 사용했으며, 해당 약어에는 쌍(pair)이나 위치(position)를 기록하였다. 표 1은 이 연구에서 사용되었던 12가지 뇌파 분석 방법과 변별 요소의 수 및 약어를 나타내었다.

여기에서 Absolute/Relative power와 Coherence의 경우는 델타파(1~4 Hz), 세타파 (4~7.5 Hz), 알파파1(7.5~10.0 Hz), 알파파 2(10.0~12.5 Hz), 베타파 1(12.5~20 Hz), 베타파 2(20~30 Hz)의 총 6가지 주파수 영역에 대하여 모두 계산하였다. 상기 순서에 따라 Absolute/Relative power에서는 1~6번까지의 중간 번호로써 이를 구분하였고, Coherence에서는 주파수 약어를 사용하여 d, t, a1, a2, b1, b2로 중간 번호를 사용하였으며 주파수별로 별도의 분석 방법

으로 계산하였다.

III. 연구 결과 및 논의

1. 지필 검사 결과

1) 과학 영재아와 일반아의 차이점

뇌파 측정 전 과학 영재아와 일반아들 모두에게 실시했던 지필 검사(지능 검사, 창의성 검사, 과학 지식 생성력 검사)결과를 그림 2의 방법을 사용하여 z-점수로 변환하여 표 2에 나타내었다. 표 2에 의하면, 지필 검사의 전 영역에 걸쳐 과학 영재아 집단(M=1.45)과 일반아 집단(M=-0.31)간에 상이한 차이가 있음을 알 수 있다. 이와 같은 결과는 조은부 와 백성혜(2006)의 연구 결과와도 일치한다.

2) 지필 검사를 통한 과학 영재아 판별

과학 영재를 판별하는 구인 요소로서 지능 검사, 간편 창의성 검사, 과학 지식 생성력 검사가 과학 영재아와 일반아를 얼마나 설명하고 있는가를 보여주기 위해 다중선형회귀분석을 실시하여 그 결과를 표 3에 나타내었다.

표 3에서 나타나는 바와 같이 다중선형회귀분석을 통해 나타난 결과는 지필 검사가 과학 영재아 판별에서 통계적으로 유의한 선형의 관계가 있음을 보여준다($F=46.937, p<.001$). 수정된 결정 계수 ($R^2(\text{adj})$)가 0.663으로 나타났으므로 지능 검사와 간

표 1. 뇌파 분석 방법과 약어 및 변별 요소(parameter)의 개수

뇌파 분석 방법	약어	변별 요소 (parameter)의 수
Absolute power	a_1_1~a_6_19	114
Relative power	b_1_1~b_6_19	114
Degree of attention	c_1_1~c_1_19	19
Correlation dimension(D2)	d2_01~d2_19	19
Pearson's correlation coefficient	co_001~co_171	171
Coherence ($\delta, \theta, \alpha 1, \alpha 2, \beta 1, \beta 2$)	ch_d_001~chb2_171	1026
Cross mutual information	cmi_001~cmi_361	361
총 합계		1,463

표 2. 지필 검사 결과(z-점수)

검사 종류	지능 검사	창의성 검사	과학 지식 생성력 검사	평균
집단				
영재 학생(22명)	2.26	1.55	1.28	1.45
일반 학생(49명)	-0.17	-0.47	0.07	-0.31

표 3. 지필 검사의 다중선형회귀분석 결과

모형	R^2	$R^2(\text{adj})$	비표준화 계수		표준화 계수	t	F
			B	표준 오차	β		
(상수)			.155	.040		.197***	
X1	.678	.663	.123	.041	.390	3.010**	46.937***
X2			7.664E-02	.042	.217	1.810*	
X3			.176	.064	.293	2.767**	

X1: 지능 검사, X2: 간편 창의성 검사, X3: 과학 지식 생성력 검사

* $p<.01$, ** $p<.001$, *** $p<.0001$.

편 창의성 검사, 과학 지식 생성력 검사는 과학 영재아와 일반아 집단 구별(중속 변수)을 66.3% 정도 설명하고 있다고 할 수 있다. 그리고 모형에서 상수항을 포함하여 지능 검사($B=123, t=3.010, p<.01$), 간편 창의성 검사($B=7.664E-02, t=1.810, p<.1$), 과학 지식 생성력 검사($B=176, t=2.767, p<.01$)의 고유 비표준화 계수 B를 갖는 것으로 나타났다.

이러한 연구 결과는 기존의 지필 검사가 과학 영재아를 판별하는데 일정정도 기여하고 있으며(최선영과 강호감, 2006), 지필 검사만으로도 과학 영재아의 특성을 어느 정도 밝혀낼 수 있다(심재영 등, 2005; 조은부와 백성혜, 2006)는 것을 의미한다.

2. 뇌파 변별 요소를 통한 신경 생리학적 변별 척도 개발

1) 산출된 뇌파 변별 요소를 통한 과학 영재아 판별

개인별 표준화 점수와 1,824개의 뇌파 독립 변수와의 다중선형회귀분석 결과 과학 영재아를 가장 잘 설명해 주는 13개의 뇌파 변별 요소를 산출하여 그 결과를 표 4에 나타내었다. 또한 이러한 변별 요소의 구체적인 분석 방법과 두뇌의 위치를 표 5에 별도로 나타내었다.

표 4에서 나타나는 바와 같이 산출된 뇌파 변별 요소들은 과학 영재아 판별에서 통계적으로 유의한 선형의 관계가 있는 것으로 나타났으며($F=27.438, p<.001$), 추출한 13개의 뇌파 독립변수들은 과학 영재아와 일반아 집단 구분(중속 변수)을 83.1% 정도 설명하고 있는 것으로 나타났다. 이러한 설명력(83.1%)은 지필 검사의 설명력(66.3%)보다 더 높아 과학 영재아를 판별하는데 뇌파의 변별 요소들을 사용

표 5. 변별 요소별 뇌파 분석의 방법과 위치

순서	변별 요소	뇌파 분석 방법	두뇌 위치
1	CMI_119	Cross Mutual Information	P3~C3
2	CH_D_120	Coherence Delta	O1~T3
3	CH_D_027	Coherence Delta	Fp2~F7
4	CMI_156	Cross Mutual Information	O1~F4
5	CMI_319	Cross Mutual Information	Fz~T5
6	CH_D_067	Coherence Delta	C3~C4
7	A_1_9	Absolute Power Delta	O1
8	CH_D_042	Coherence Delta	F3~O2
9	A_1_16	Absolute Power Delta	T6
10	CH_D_117	Coherence Delta	O1~O2
11	CH_D_169	Coherence Delta	Fz~Cz
12	CHA1_025	Coherence Alpha 1	Fp2~O1
13	CHA2_166	Coherence Alpha 2	T6~Fz

표 4. 뇌파 변별 요소들의 다중선형회귀분석 결과

모형	R^2	$R^2(\text{adj})$	비표준화 계수		표준화 계수	t	F
			B	표준 오차	β		
(상수)			.254	1.289		.197***	
CMI_119			9.588	1.287	.440	7.449***	
CH_D_120			-3.796	.605	-.392	-6.277***	
CH_D_027			-1.528	.364	-.220	-4.204***	
CMI_156			-5.870	1.414	-.265	-4.151***	
CMI_319			2.449	1.121	.134	2.185*	
CH_D_067	.862	.831	-1.414	.708	-.111	-1.998*	27.438***
A_1_9			6.532E-06	.000	.398	4.463***	
CH_D_042			4.139	1.063	.228	3.894***	
A_1_16			-8.385E-06	.000	-.440	-4.566***	
CH_D_117			2.546	.697	.205	3.653***	
CH_D_169			-2.037	.630	-.174	-3.235**	
CHA1_025			-1.547	.560	-.152	-2.764**	
CHA2_166			-1.348	.655	-.109	-2.059*	

* $p<0.05$, ** $p<0.01$, *** $p<0.001$.

하는 것이 인지적인 지필 검사보다 더 과학적인 방법이라는 것을 나타내는 것이다.

과학 영재아와 일반아의 특성을 예측하는데 기여하리라 예상되는 뇌파 판별 요소의 대부분은 표 5에서 나타나는 바와 같이 Cross Mutual Information과 Coherence에서 나타나고 있다. Cross Mutual Information의 경우 P3-C3, O1-F4, Fz-T5에서 나타났으며, Coherence Alpha1은 Fp2-O1에서, Coherence Alpha 2는 T6-Fz에서 나타났다. 찾아진 쌍에서 보는 바와 같이 전두엽(Fz)과 측두엽(T5, T6), 전전두엽을 포함한 전두엽(F4, Fp2)과 후두엽(O1), 두정엽(P3)과 중심부(C3) 영역에서 과학 영재아와 일반아의 특성을 변별해 주는 요인이 찾아지고 있다. 다른 문장과 비교하기 위해 문장을 기억하려고 노력할 때 전두두정간 coherence가 증가한다는 연구 결과(Haarmann & Cameron, 2005)와 coherence 계수가 높을수록 두 부위가 기능적으로 연결되어 정보를 교환하는 것으로 간주할 수 있다는 연구 결과(Engel et al., 2001)를 고려하면, 이러한 부위들은 과학적 가설을 생성할 때 과학 영재아들이 일반아들에 비해 더 많은 사고가 일어나는 영역으로 생각할 수 있다.

이러한 결과들을 가져온 분석 방법들은 우리가 사고를 할 때 머릿속에서 서로 주고받는 정보량과 이때 발생되어지는 뇌파의 상호 결맞음 정도를 보여주는 것으로(Jin et al., 2006a), 영재아 판별에 있어 뇌파의 개별적인 요소가 아닌 상호적 연관성이 핵심 요인임을 나타내는 것으로 생각할 수 있다. 이러한 기능적 상호 연관성은 박경희 등(2006)의 과학 영재의 두뇌 기능에 대한 분석 연구에서도 일정 부분 입증하였다. 따라서 과학 영재아는 일반아에 비해 전뇌 사용에 있어 일정한 차이를 가지고 있음을 알 수 있다.

Coherence Delta는 O1-T3, Fp2-F7, Fz-Cz, C3-C4, F3-O2, O1-O2의 많은 쌍이 과학 영재아 판별에 영향을 주는 요인임을 알 수 있다. 지금까지 많은 관심 영역이었던 알파파나 베타파 영역과는 달리 델타파 영역이 과학 영재아의 판별에서 많은 비중을 차지하는 연구 결과를 고려하여 델타파에 대한 새로운 관심을 가질 필요가 있다. 임상학적으로 델타파는 나이에 관계없이 숙면(deep sleep)중에 주로 나타나며 간질, 뇌종양, 정신 박약 등 정신적 이상이나 병변의 요소로서 판정하는데 활용되었던 것(김대식과 최장욱, 2001)이 이제 교육학적으로 가치

있는 연구의 요소로 활용될 가능성을 가지고 있는 것이다.

2) 뇌파 기반 변별 척도 개발

다중선형회귀분석의 비표준화 계수 B를 통해서 뇌파 판별 요소의 다중회귀식을 산출할 수 있었다. 이는 과학 영재아 그룹과 일반아 그룹을 보다 정확하게 예측하는 것을 가능하게 해준다. 산출된 뇌파 변별 요소를 통한 다중 회귀식은 그림 3과 같다.

그림 3에서 제시된 G값은 과학 영재아와 일반아의 고유 특성의 차이를 반영하여 설명해 주는 것으로 영재 지수라 할 수 있으며 변별 척도로 사용할 수 있다. 연구에 사용된 분석 방법 중 Pearson's correlation coefficient을 제외한 모든 분석 값은 양의 값을 나타낸다. 뇌파 분석 결과, 낮은 값으로 측정되어 G 값을 높여줄 수 있는 변인은 CH_D_120, CH_D_027, CMI_156, CH_D_067, A_1_16, CH_D_169, CHA1_025, CHA2_166으로 총 8가지이며, 반대로 높은 값으로 측정되어 G값의 상승에 기인되는 변인은 CMI_119, CMI_319, A_1_9, CH_D_42, CH_D_117의 5가지이다. 각 관계를 확인해 보면 특별한 영역 특위적인 특성은 보이지 않으나, 일반적으로 CH_D_120, CH_D_027, CMI_156, CH_D_067, A_1_16, CH_D_169, CHA1_025, CHA2_166의 8가지 요인은 낮고, CMI_119, CMI_319, A_1_9, CH_D_42, CH_D_117의 5가지 요인이 높을 경우 과학 영재아의 특성을 반영하는 것으로 보여진다.

3. 뇌파 기반 변별 척도의 적용

다중회귀함수를 통하여 과학 영재아를 판별할 수 있는 뇌파 기반 변별 척도를 개발하였다. 이 변별 척도를 이용하여 과학 영재아와 일반아를 대상으로 판별 분석한 결과, 과학 영재아와 일반아를 95.8%의 판별 정확도를 나타내었다. 이러한 판별 분석의 결과는 표 6과 같다.

$$G = 0.254 + 9.588 \times CMI_{119} - 3.796 \times CH_D_{120} - 1.528 \times CH_D_{027} - 5.870 \times CMI_{156} + 2.449 \times CMI_{319} - 1.414 \times CH_D_{067} + 6.532E-06 \times A_1_9 + 4.139 \times CH_D_{42} - 8.39E-06 \times A_1_16 + 2.546 \times CH_D_{117} - 2.037 \times CH_D_{169} - 1.547 \times CHA1_{025} - 1.348 \times CHA2_{166}$$

그림 3. 산출된 뇌파 변별 요소를 통한 다중 회귀식

표 6. 뇌파 기반 변별 척도를 사용한 판별 분석 결과

그룹		예측 소속 집단		전체
		일반아	영재아	
빈도	일반아(49명)	47	2	49
	영재아(22명)	1	21	22
원소속 집단	백분율 (%) 일반아(49명)	95.9	4.1	100.0
	영재아(22명)	4.5	95.5	100.0

판별 분석 결과에서 나타나듯이 일반아 49명 중 47명이 일반아로, 2명이 과학 영재아로 판별되었으며, 과학 영재아 22명 중 21명이 과학 영재아로, 1명이 일반아로 새롭게 판별되었다. 이러한 판별 분석의 전체적인 경향성을 알아보기 위하여 산포도(scatter plot)를 그림 4와 같이 작성하였다. 판별 분석에 따라 계산된 G값의 경계점(cutting score)은 약 0.4이고, 이를 기준으로 하였을 경우 일반아 2명은 1.0이상의 함수값을 나타내며 과학 영재아 집단으로 분류될 수 있으며, 과학 영재아 중 1명이 0.23미만의 함수값을 보여 일반아 집단으로 재분류될 수 있었다. 여기에서 변별 척도 G 값의 0.4는 집단 간의 중심점을 어디로 보느냐에 따라 달리 해석될 수 있는 것으로 과학 영재 집단과 일반 집단의 판별 범위에 있어 개략적인 위치를 제시해 줄 수 있다는 점에서 유용성이 크다고 할 수 있다. 만약 경계점을 높게 잡으면, 뛰어난 과학 영재성을 보이는 학생의 선발에 활용될 수 있으며, 경계점을 0.4보다 낮추면 과학 영재성을 가지고 있는 학생을 빠뜨리지 않고 선발할 수 있는 것이다.

이러한 연구 결과들을 고려하면, 신경 심리학적 신뢰성을 바탕으로 한 뇌파 기반 과학 영재 변별

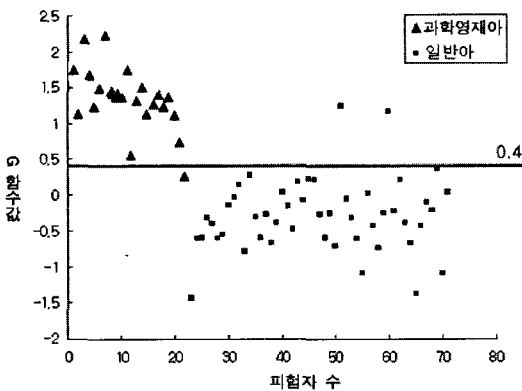


그림 4. 변별 척도 G 값에 따른 산포도

척도는 일반적인 지필 검사 등의 방법이 가져올 수 있는 과학 영재 판별의 오류를 최소화 할 수 있는 가능성을 보여준다.

IV. 결론 및 교육적 활용

이 연구의 목적은 과학 영재아와 일반아들의 과학 지식 생성 과정에서 나타나는 다양한 뇌파 분석을 통해 뇌파 기반 초등학교 과학 영재 변별 척도를 개발하는 것이었다. 따라서 과학 영재 판별을 위해 구인 요소인 일반적 지능과 창의적인 문제 해결 능력, 과학에서의 핵심 요소라 할 수 있는 가설 생성 능력을 지필 검사로 먼저 평가하였다. 또한 현재의 과학 영재 변별 요소로서 포함되지 않아 자칫 놓칠 수 있는 과학 영재 들만의 독특한 성향과 과제 수행 능력을 영재치라고 추정하여 추가적인 구인으로 삼았다. 그러므로 과학 영재아들과 일반아들의 개인적 평정을 표준화 점수인 z-점수로 변환하여 종속 변수로 잡고, 뇌파 측정 후 데이터 분석을 통한 여러 가지 뇌파 판별 요소를 독립 변수로 보아 과학 분야에서의 영재성을 예언하고, 설명해 줄 수 있는 독립 변수들을 13개를 추출하였다. 추출한 변수들은 함수식으로 표현되는 과학 영재 판별 척도를 개발하는데 사용되었다. 이러한 연구 결과로부터 도출된 이 연구의 결론은 다음과 같다.

첫째, 지필 검사의 전 영역에 걸쳐 과학 영재아 집단(M=1.45)과 일반아 집단(M=-0.31)간 초기 그룹 구분에 있어 두 집단이 매우 뚜렷한 차이를 나타내었다.

둘째, 단계적 다중선형회귀분석을 사용하여, 과학 영재아의 특성을 반영하는 뇌파 변별 요소를 산출하였다. 이러한 변별 요소들은 상수항을 포함하는 CMI_119, CH_D_120, CH_D_027, CMI_156, CMI_319, CH_D_067, A_1_9, CH_D_042, A_1_16, CH_D_117, CH_D_169, CHA1_025, CHA2_166의 13개이고, 두뇌의 상호 연관성에 초점이 맞춰져 있다.

셋째, 산출된 뇌파 변별 요소를 통해 일반아와 과학 영재아를 판별할 수 있는 타당하고 신뢰성 높은 뇌파 기반 신경 생리학적 변별 척도를 개발할 수 있었다. 이 변별 척도는 함수로 표현되며 변별 척도 G는 $0.254 + 9.588 \times \text{CMI}_{119} - 3.796 \times \text{CH_D}_{120} - 1.528 \times \text{CH_D}_{027} - 5.870 \times \text{CMI}_{156} + 2.449 \times \text{CMI}_{319}$

-1.414×CH_D_067+6.532E-06×A_1_9+4.139×CH_D_42
-8.39E-06×A_1_16+2.546×CH_D_117-2.037×CH_D_169
-1.547×CHA1_025-1.348×CHA2_166로 정의된다.

마지막으로, 판별 분석을 통해 개발된 뇌파 기반 변별 척도가 95.8%의 판별 정확도를 보였으며, 이는 과학 영재아와 일반아를 과학적으로 판별할 수 있음을 의미한다. 개발된 뇌파 기반 변별 척도는 신경 생리학적인 신뢰성을 통해 개인별 대뇌 기능을 종합적으로 반영하여 지필 검사의 객관적이지 못한 부분을 보완해 과학 영재아와 일반아를 과학적으로 판별할 수 있는 기초를 마련하였다는데 의의가 있다.

V. 국문 요약

이 연구의 목적은 초등 학생의 과학 지식 생성 과정 중 나타나는 뇌파를 여러 가지 분석 방법을 이용하여 과학 영재아와 일반아를 신경 생리학적 으로 판별할 수 있는 척도를 개발하는 것이다. 이를 위해 과학 영재아의 구인 요소로서 지능 검사, 간편 창의성 검사, 과학 지식 생성 검사를 수행하였고, 지필 평가에서 우리가 놓칠 수 있는 과학 영재의 구인 요소를 영재치로 추가하여 개인별 표준화 점수를 산출하였다. 이렇게 산출된 표준화 점수를 종속 변수로 하여 그룹을 구분하고, 독립 변수로서 측정된 뇌파를 선형 분석, 비선형 분석, 상호 의존 분석 등을 통해서 다양한 뇌파 판별 요소를 제시하였다.

과학 영재의 특성을 신뢰롭게 예상하고, 설명하는 뇌파 판별 요소를 찾기 위해 다중선형회귀분석을 실시하였다. 이를 통해 뽑아진 뇌파 판별 요소를 통해 다중회귀식을 만들어 여기에서 생성된 함수값을 통해 판별 분석을 실시한 결과, 과학 영재아와 일반아를 신뢰롭게 판별할 수 있는 기초를 제시하였다. 본 연구 결과를 통해 과학 영재아 특성을 예측하는데 기여하고 있는 판별 요소의 대부분은 정보량과 상호 신호의 결맞음의 정도를 보여주는 것으로 두뇌에서 일어나는 상호적 연관성이 판별의 핵심 요인으로 여겨진다.

참고문헌

권용주, 박지영, 신동훈(2006a). 가설 생성 학습 후에 나

- 타난 초등 예비교사의 뇌파 변화. 초등과학교육, 25(2), 159-166.
- 권용주, 박지영, 신동훈, 정진수, 박국태(2006b). 가설 생성 학습 후에 나타난 초등학생의 두뇌 활성 변화. 한국생물교육학회지, 34(1), 72-80.
- 권용주, 정진수, 고경태, 박윤복(2004). 과학지식 생성력 측정 도구의 개발. 한국생물교육학회지, 32(1), 67-78.
- 권용주, 정진수, 박윤복, 강민정(2003). 선언적 과학 지식의 생성과정에 대한 과학 철학적 연구. 한국과학교육학회지, 23(3), 215-228.
- 권치순(2005). 초등과학 영재교육의 방향과 과제. 초등과학교육, 24(2), 192-201.
- 김대식, 최장욱 편저(2001). 뇌파 검사학. 서울: 고려의학.
- 김용진(2003). 과학 문제 풀이의 사고 과정에서 뇌파 분석에 의한 두뇌 기능 연구. 한국생물교육학회지, 31(4), 313-319.
- 김용진, 김재영, 권치순(2005). 창의적 과학문제 해결에서 초등학교 과학영재아와 보통아의 뇌파 활성 차이. 한국생물교육학회지, 33(1), 23-32.
- 김은진(2006). 과학 문제 풀이 과정에서 나타난 초등 과학 영재들의 사고 특성 탐색. 초등과학교육, 25(2), 179-190.
- 류기섭, 이기우(1995). 기초 지능 검사. 서울: 코리아 테스트 센터.
- 박경희, 권용주, 김수용, 이길재(2006). 뇌 기능의 공동작용에서 나타난 과학영재와 일반 학생의 뇌파 특성. 한국과학교육학회지, 26(3), 415-524.
- 심재영, 김종득, 김언주(2005). 과학영재와 일반학생 집단 간의 창의성 비교 연구. 교육심리학, 19(3), 563-576.
- 이영덕, 정원식(1995). 표준화 간편 창의성 검사. 서울: 코리아 테스트 센터.
- 이현욱, 심규철, 조선희, 장남기(1999). 과학영재교육을 위한 '잠재능력 판별 방법'의 적용. 한국생물교육학회지, 27(3), 266-275.
- 조은부, 백성혜(2006). 초등과학 영재학급 학생들과 일반 학생의 인지적 특성 비교 분석. 한국과학교육학회지, 26(3), 307-316.
- 최선영, 강호감(2006). 초등학교 과학영재학급 학생선발을 위한 과학 창의적 문제해결력 검사도구 개발. 초등과학교육, 25(1), 27-38.
- 한기순, 신지은, 정현철, 박병진, 최승언(2002). 과학 영재 학생과 일반 학생은 창의성에서 어떻게 다른가? 한국과학교육학회지, 22(1), 158-175.
- Ansari, D. & Coch, D. (2006). Bridges over troubled waters: education and cognitive neuroscience. *Trends in Cognitive Sciences*, 10(4), 146-151.
- Compumedics (2001). *E-series user guide*. Australia.
- Engel, A. K. & Fries, P. W. (2001) Dynamic predictions: oscillations and synchrony in top-down processing. *Na-*

- ture Reviews Neuroscience, 2, 704-716.
- Gasser, T., von Lucadou-Muller, I., Verleger, R. & Bacher, P. (1983) Correlating EEG and IQ: a new look at an old question using computerized EEG parameters. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, 55, 493-504.
- Gazzaniga, M. S., Ivry, R. B. & Mangun, G. R. (2002). *The biology of the mind*, 2nd eds. W.W. Norton & Company, Inc., New York, London, Cognitive Neuroscience, pp. 82-84, 313-350.
- Haarmann, H. J. & Cameron, K. A. (2005). Active maintenance of sentence meaning in working memory: Evidence from EEG coherences. *International Journal of Psychophysiology*, 57, 115-128.
- Jasper, H. H. (1958), The ten-twenty electrode system of the International Federation. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, 10, 371-375.
- Jeong, J., Gore, J. C. & Peterson, B. S. (2001). Mutual information analysis of the EEG in patients with Alzheimers disease. *Clinical Neurophysiology*, 112, 827-835.
- Jin, S., Kwon, Y., Jeong, J., Kwon, S. & Shin, D. (2006a). Increased information transmission during scientific hypothesis generation: Mutual information analysis of multichannel EEG. *International Journal of Psychophysiology*, 62(2), 337-344.
- Jin, S., Kwon, Y., Joeng, J., Kwon, S. & Shin, D. (2006b). Differences in brain information transmission between gifted and normal children during scientific hypothesis generation. *Brain & Cognition*, 62(3), 191-197.
- Klahr, D. & Dunbar, K. (1988). Dual space search during scientific reasoning. *Cognitive Science*, 12, 1-48.
- Kwon, Y., Jeong, J. & Jin, S. (2004). EEG correlation patterns of hypothesis-generating in undergraduate students' generation of scientific knowledge. *Journal of the Korean Association for Research in Science Education*, 24(4), 722-730.
- Lawson, A. E. (1995). *Science teaching and development of thinking*. Belmont, CA: Wadsworth Publishing company.
- Lawson, A. E. (2002). What does Galileo's discovery of Jupiter's moons tell us about the process of scientific discovery? *Science Education*, 11, 1-24.
- Laxtha (2002). *Complexity ver 2.0 data analysis user guide*, Laxtha, Korea, 4, 142-143.
- Lee, T. W. (1998). *Independent component Analysis, computational neurobiology laboratory*. Kluwer academic publishers, pp. 27-64, 155-157.
- Neubauer, A. C., Grabner, R. H., Freudenthaler, H. H., Beckmann, J. F. & Guthke, J. (2004). Intelligence and individual differences in becoming neurally efficient. *Acta Psychologica*, 116, 55-74.
- Schmid, R. G., Tirsch, W. S. & Scherb, H. (2002). Correlation between spectral eeg parameters and intelligence test variables in school-age children. *Clinical Neurophysiology*, 113, 1647-1656.
- Sinha, A. K. & Singh, C. (1987). Measurement of scientific creativity. *Indian Journal of Psychometry and Education*, 18, 1-13.
- Wenham, M. (1993). The nature and the role of hypothesis in school science investigations. *International Journal of Science Education*, 15(3), 231-240.