

과학과 미술 통합프로그램이 초등과학영재의 뇌 활성화에 미치는 효과

권영식 · 이길재[†]

(서울세종고등학교) · (한국교원대학교)[†]

The Effects of Science and Art Integrated Program on Brain Activity of Gifted Students in Science

Kwon, Young-Sik · Lee, Kil-Jae[†]

(Seoul Sejong High School) · (Korea National University of Education)[†]

ABSTRACT

This study is to activate gifted students' brains for creativity ability and also an integrated science and art teaching program. The learning programs integrating science and art, which have 30 periods and 10 topics on art and the knowledge of science, were developed dependant on five steps - observing, having interests and curiosity, experimental designing and performing, internalizing, and expressing in an arts-based manner. This programs were applied to 20 senior gifted students in Y Elementary School in Gyeonggi province, by one group pretest-posttest design. The results from these integrated programs of science and art are as follows: First, in the performance of science tasks, prefrontal lobe(F7, FT7) of left brain increase the relative power of theta wave, whereas in the performance of drawing tasks increase the relative power of beta wave in prefrontal lobe(FP1) of left brain, bilateral frontal(F7, F3, Fz, F4, F8, FT7, FC3, FCz), bilateral temporal(T7, TP7, TP8, P7), parietal lobe of left brain(CP3, CPz, P3, Pz), bilateral occipital(O1, Oz, O2). Second, in the performance of science tasks, the relative power of beta wave activity in the left temporal lobe(T7) of the brains of talented students in science significantly decreased whereas it was greatly activated in another part, the left frontal lobe(F3) of the brain ($p < .05$). Third, in the performance of drawing tasks, the relative power of theta wave activity in five areas of the brain, namely the left temporal lobe(T7), the left frontal lobe(F3), the right frontal lobe(F4), and the left and right parietal lobes of gifted students in science who took the course of the integrated programs, was considerably increased statistically ($p < .05$). On top of that, these programs were especially effective in balancing the symmetrical development of both cerebral hemispheres by multiplying theta wave activity in the frontal lobes(F3, F4) and the parietal lobes(CP3, P3, P4), which are particularly related to creative thinking. According to the results of this study of brain-based teaching strategies combining science and art, it is an effective program to develop overall activate gifted students' brains for creativity ability. This is expected to be utilized to activate the brain areas for creativity of gifted students in science.

Key words : science and art integrated program, brain activity, gifted education, brain wave

I. 서 론

인간의 인지 기능 및 행동은 전체 뇌가 자극을

처리하고 적절한 반응을 준비하는 가운데 뇌의 특정 영역이 중심적으로 작용하여 이루어진다. 그동안 뇌의 기능 분화에 관한 연구를 살펴보면 좌뇌는

이 논문은 2009년도 정부재원(교육과학기술부 인문사회연구역량강화사업비)으로 한국학술진흥재단의 지원을 받아 연구되었음(KRF-2009-327-B00647).

2013.10.14(접수), 2013.11.11(1심통과), 2013.11.16(2심통과), 2013.11.22(최종통과)

E-mail: kjlee@knue.ac.kr(이길재)

언어적, 계열적, 논리적, 분석적 방법으로 과제를 처리하고, 우뇌는 시공간적, 직관적, 심상적, 전체적 사고 처리를 담당한다고 하였다(Bub & Lewine, 1988; Melamed & Zaidel, 1993).

이러한 연구 결과들에 기초하여 창의성을 강조한 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 주장하여 왔다. 이를 위해 미래의 창의적인 인재 양성을 위해 우뇌를 활성화시키는 다양한 프로그램이 개발되었다. 예로 들면, 강호감 등(2001)은 창의적 사고기법을 활용하여 자연과 교수학습 자료를 개발하였고, 김형석 등(2004)에 의한 초등학생용 과학 창의성 프로그램, 황요한과 박종석(2010)에 의한 호기심 노트 프로그램, 김은선 등(2011)은 공간 능력을 활성화하는 과학 활동이 초등학생의 공간 능력과 창의성에 미치는 효과를 알아보았다. 연구된 많은 프로그램들은 학생들의 창의성이 개발된 프로그램을 통해 향상되었다고 발표하였다.

창의성의 대표적인 연구자인 Amabile(1986)은 창의성의 기본 조건으로 외재적 동기보다는 내재적 동기가 중요하다고 하였다. 그러나 OECD가 주관하는 PISA 2006(Program for International Student Assessment)의 결과에서 우리나라 학생들은 과학 성취도 수준에 비해 과학 학습에 대한 동기와 흥미도가 국제 평균에 비해 매우 낮은 수준이라는 것이다. 이러한 결과는 전 세계적으로 융합 과학 기술 시대에 대처하는 창의적 융합 인재를 양성하는데 한계점으로 작용할 것이다. 이를 해결하기 위한 교육 방안으로 STEAM 교육이 시작되었으며, 국내에서 다양한 STEAM 프로그램이 개발되어 과학 영재와 일반 학생들의 창의성 향상과 과학에 대한 흥미를 통한 내재적 동기를 유발하고 있다. 그러나 아쉬운 점은 학습이 이루어지는 과정은 뇌에서 이루어지는데, STEAM 프로그램이 학생들의 뇌에 어떠한 영향을 주는지에 대한 연구는 이루어지고 있지 않다는 점이다. 따라서 과학영재들이 과학적 사고와 예술적 사고 과정에서 나타나는 뇌 활성화 영역의 변화에 대한 연구가 선행되어야 한다고 생각한다.

학생들이 과제 수행 과정에서 나타나는 뇌활성에 대해 과학적으로 검증한 연구는 많이 있다(권석원 등, 2007; 권용주와 이준기, 2010; 김용진 등, 2005;

조선희 등, 2012). 그러나 과학과제와 미술과제를 해결하는 과정에서의 뇌 활성화 영역의 변화에 대한 연구는 많지 않다. 특히 뇌의 활용 관점에서 STEAM 교육은 매우 의미가 있다. 인간은 새롭거나 중요한 자극에 주의를 기울이고 반복적인 자극에 대해 점차 습관화가 이루어진다(Toni *et al.*, 1998; Warach *et al.*, 1992). 이러한 습관화는 뇌에서 효율적인 일 처리와 관련이 있다고 할 수도 있지만, 평소 사용하지 않는 다른 뇌 영역의 퇴화를 가져올 수도 있다.

따라서 과학영재 학생들이 과학을 학습하는 과정에서는 습관화 현상에 의해 과학적인 문제를 쉽게 해결할 수 있지만, 평소 사용하지 않는 뇌 영역의 활성화는 상대적으로 떨어질 것이다. 그러므로 초등 과학영재들이 과학 학습 과정에서의 뇌 활성화의 변화와 STEAM의 한 영역인 미술 활동을 수행하는 과정에서의 뇌 활성화 영역이 어떻게 변하는지에 대한 실증적인 자료가 필요하다고 할 수 있다. 이러한 연구 결과는 STEAM 교육의 뇌기반적 이론을 제공할 수 있을 것으로 판단한다. 특히 뇌신경들의 활동은 뇌파(brain waves)의 형태로 나타나므로 뇌파는 시간 경과에 따라 계속적인 측정이 가능하여 피험자가 길고 복잡한 과제를 수행하는 동안 뇌에서 진행되고 있는 활동을 평가하는데 활용될 수 있다(이인혜 등, 1997). 그러므로 초등 과학영재들이 과학 학습과 미술 활동을 하는 과정에서 나타나는 뇌파의 변화를 통해 뇌 활성화 영역이 어떻게 변하는지에 대해 알아보고자 한다.

II. 연구 방법

1. 연구 대상

이 연구는 경기도 소재 Y초등학교 영재 학급 6학년으로서 연구 취지에 동의하고, 부모의 허락을 받은 남학생 10명, 여학생 10명을 대상으로 실시하였다. 학생들은 모두 오른손잡이면서 정신 질환을 가지고 있지 않았다. Y초등학교 부설 영재학급의 학생 선발은 3단계를 걸쳐서 이루어졌다. 1단계는 지역에 소속된 초등학교에서 담임교사의 추천에 의해 학교장 추천을 거쳤으며, 2단계는 1단계에서 추천된 학생들을 대상으로 영재성 검사를 하였다. 3단계는 2단계를 통과한 학생들을 대상으로 심층 면접을 통하여 최종 선발하였다.

2. 연구 설계

이 연구는 과학과 미술 통합 프로그램이 과학과제와 미술과제를 해결하는 과정에서 나타나는 뇌 활성 영역의 변화에 어떤 영향을 미치는지 알아보기 위해 그림 1과 같이 단일 집단 사전·사후검사 설계 방법을 사용하였다. 이를 위해 개발된 과학과 미술 통합프로그램을 총 30차시에 걸쳐 수업을 실시한 후 과제를 해결하는 과정에서 나타나는 뇌의 영역별로 뇌파의 변화를 통해 그 효과를 알아보았다.

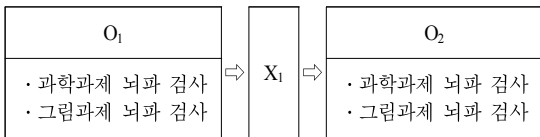
뇌의 영역별로 뇌파의 변화를 알아보기 위한 검사는 과학과제와 그림과제를 사용하였으며, 사전과 사후 검사에 동일한 과제를 사용하였다. 뇌파의 측정은 충분한 휴식을 가진 후 안정된 상태에서 측정하기 위해 토요일 오전에 실시하였다. 연구 기간은 2011년 3월부터 2011년 9월까지이다.

3. 과학영재의 창의적 두뇌 활성화를 위한 과학과 미술 통합프로그램의 개발

과학과 미술 통합 프로그램은 좌뇌를 활성화시키는(Sperry, 1982) 과학과 상상 활동을 통해 우뇌를 활성화시킬 수 있는(Holz et al., 2010) 미술활동을 통합한 프로그램이다. 본 프로그램은 개체 수준에서 뇌가 발달하고 외부의 정보를 받아들여 처리하는 전반적인 과정인 대뇌변연계 → 대뇌피질의 후

두엽, 측두엽, 두정엽, 전두엽 일부 → 대뇌피질의 전두엽 일부, 전두엽 연합영역의 순서(MacLean, 1990; Sylwester, 1995)를 과학교육과정상의 주요 목표 영역인 정의적 영역 → 심체적 영역 → 인지적 영역과 연계시켜 제안한 뇌기반 과학 교수학습 모형(임채성, 2005)을 바탕으로, 과학의 탐구 과정을 중심으로 하여 학습한 내용을 장기 기억에 저장하기 위한 내면화하기 과정과 과학적 지식과 경험을 바탕으로 예술 영역 중에서 상상 활동을 통하여 창의적인 작품을 구상하고 실제적으로 만들어 보도록 하였다. 즉, 관찰하기, 흥미·호기심 갖기, 실험 설계 및 수행하기, 내면화하기, 예술로 표현하기의 절차로 구성되었다. 예술로 표현하기 활동에서는 과학적 현상을 이용해서 예술로 표현하기, 예술 작품에 창의적으로 제목 붙이기, 그리고 다른 학생들의 작품에 대해 감상하기 활동이 이루어진다. 특히 탐구 활동을 통해 획득한 과학영역의 지식을 활용해 예술적인 작품을 만들기 위한 상상 활동은 좌뇌의 측두엽, 우뇌의 전두엽, 그리고 좌·우뇌의 두정엽이 중심을 이루는 활동(Holz et al., 2010)으로 좌뇌의 발달뿐만 아니라, 우뇌의 발달을 통해 균형 잡힌 뇌활성을 발달시킬 것이다. 그리고 각 차시의 수업 과정에서는 창의적 문제 해결력 향상에 필요한 확산적 사고와 수렴적 사고를 균형 있게 사용하도록 구성하였다.

표 1은 3차시에 걸쳐서 진행된 세포가 예술로라는 주제의 프로그램이다. 1차시에는 다양한 세포를 관찰한 후, 그림으로 표현한 미라이 미주에의 그림 작품을 관찰한 후 작가의 입장이 되어 작가가 표현하려고 한 의도에 대해 흥미와 호기심을 가지고 생각해 보는 활동을 한다. 2차시에는 주어진 재료를 바탕으로 현미경을 사용하여 동물 세포, 식물 세포들을



(O1: 사전 검사, X1: 과학과 미술 통합프로그램 적용, O2: 사후 검사)

그림 1. 연구 설계

표 1. 세포가 예술로 프로그램 개요

| 차시 | 수업 절차 | 수업 내용 | 창의적 사고 전략 |
|-----|-----------|--|------------------|
| 1차시 | 관찰 | 다양한 세포를 관찰한 후 그림으로 표현한 미라이 미주에(일본)의 그림 작품을 관찰한다. | 확산적 사고 |
| | 흥미·호기심 갖기 | 이 작품에 대해 작가는 무엇을 표현하려고 했는지 작가의 입장이 되어서 생각해 보도록 한다. | 확산적 사고 |
| 2차시 | 실험설계 및 수행 | 주어진 실험 재료를 바탕으로 해서 현미경을 사용하여 동물 세포, 식물 세포들을 관찰하는 실험 설계를 해 보자. | 수렴적 사고 |
| 3차시 | 내면화하기 | 오늘 배운 세포에 대해 자신만의 글이나 마인드맵으로 정리하여 보자. | 수렴적 사고 |
| | 예술로 표현하기 | 관찰한 다양한 종류의 세포를 활용하여 예술 작품이 될 수 있도록 자신만의 작품을 만들고, 그 작품에 대해 제목을 붙이고, 작품에 대해 설명해 보자. | 확산적 사고 수렴적 사고 |

포를 관찰할 수 있는 실험을 설계한 후 수행한다. 3차시에는 실험을 통해 관찰한 내용을 자신만의 글이나 마인드맵으로 정리하도록 한 후, 관찰한 다양한 종류의 세포를 활용하여 예술 작품을 만든 후 제목을 붙이고, 작품에 대해 설명하도록 하였다.

동물 세포와 식물세포의 다양한 모양을 현미경으로 관찰한 후, 다양한 세포의 형태와 모양을 바탕으로 예술적으로 표현해 보는 활동이다. 이 과정에서 핵은 눈으로는 보이지 않기 때문에, 염색을 한 후 광학 현미경을 이용해야 한다. 이 과정에서 눈으로 보이지 않는 물질에 대해 색으로 표현하는 방법을 통해 새롭게 적용하는 능력을 키울 수 있다. 또한 나만의 세포 액자를 만들어보는 활동을 함으로써 세포에 대한 평면적인 관찰을 입체적인 형태로 바꿀 수 있으며, 기능에 따라 다양한 형태로 적용한 것에 대해서도 이해할 수 있을 뿐만 아니라, 세포라는 것이 예술적인 형태로 표현될 수 있다는 독창적인 사고를 할 수 있다.

4. 검사 도구

1) 뇌파 측정 과학과제

인간에 있어서 시각은 사고(思考)의 도구(뮐러와 루돌프, 1980)이다. 우리는 시지각을 통해 보고 느끼게 되는데, 이때 물리적 현상의 색채를 정신적인 것의 차원으로 받아들이게 된다(과학대사전, 1958). 그런데, 생물학은 자연에서 관찰되는 현상에 대해 의문을 가짐으로써 시작된다. 따라서 물체에서 반사되는 빛에 대해 올바른 색으로 인식함으로써 생물학이 시작된다고 할 수 있다. 그러므로 생물학의 중요한 탐구 과정에서 색의 차이를 분석하는 능력은 생명 현상에서 또 다른 관찰을 통해 의문을 생성할 수 있는 중요한 능력이라고 할 수 있다. 따라서 빛과 색의 관계를 통해 자연 현상을 자연스럽게 이해할 수 있는 과학과제를 개발하였다.

과학과제는 과학 개념을 이용하여 문제를 해결하는 것을 목표로 하였으며, 흰색의 종이에 녹색의 잎이 달려 있는 빨간색 사과를 빨간색 필터를 올려 놓고 보았을 때 녹색의 잎과 빨간색 사과는 어떤 색으로 보이는지에 대해 과학적인 설명을 생각해 보도록 하였다(그림 2). 본 과제는 동일한 학년의 학생에게 예비 투입해 본 결과, 최대 2분이면 문제를 해결할 수 있었다.

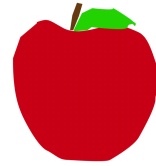


그림 2. 과학과제 검사지

2) 뇌파 측정 그림과제

그림과제는 모네의 건초더미라는 작품을 보여주고 그림에서 과학적 지식을 찾도록 하였다. 그리고 찾은 과학적 지식을 활용하여 자신만의 창의적인 작품을 상상하도록 하였다(그림 3).

위 과제는 초등학교 교육 과정에서 빛과 색에 대한 기본적인 지식을 배웠으며, 빛의 방향과 위치에 따라 그림자의 방향과 크기가 다르다는 것을 이미 학습하였기 때문에, 새로운 상황에서 적용능력을 볼 수 있다. 본 과제는 동일한 학년의 학생에게 예비 투입해 본 결과, 학생에 따라서 차이가 나타났지만 최소 2분에서 최대 3분이 걸렸다.

5. 결과 처리 및 분석

1) 뇌파 측정

학생들은 5분 동안 눈을 감고 안정을 취한 후, 흰 바탕의 벽면을 응시하면서 눈 뜨고 안정 상태의 뇌파를 2분 동안 측정하였다. 이어서 과학과제를 해결하는 동안의 뇌파를 2분 동안 측정하였고, 3분 동안은 과학과제를 윽게 해결했는지 알아보기 위해 생각한 답에 대해 글로 표현하도록 하여 과제를 정확하게 해결하였는지를 확인하였다. 그리고 2분 휴식한 후 그림과제를 해결하는 동안의 뇌파를 2분

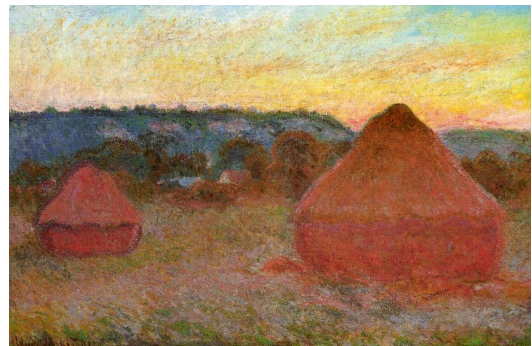


그림 3. 그림과제 검사지

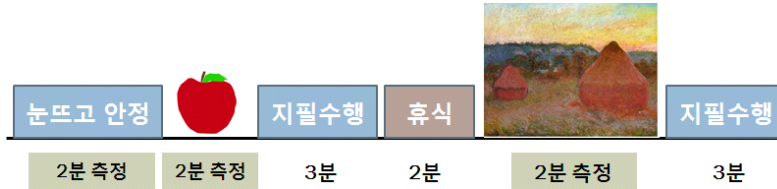


그림 4. 과제 수행 절차

표 2. 과학 과제에 대한 평가 기준

| 대상 | 보이는 색 | 과학적으로 그렇게 판단한 이유 |
|----|-------------|---|
| 사과 | 사과가 관찰되지 않음 | 빨간색 필터에 의해 백색광에서 빨간색의 빛만이 투과되어 그림으로 전달되는데, 이 때 빨간 사과에서도 빨간색 빛이 반사되고, 흰색종이에서도 역시 빨간색 빛을 반사하기 때문에 사과를 식별하기 어렵다. |
| 잎 | 검은색으로 관찰됨 | 녹색의 잎은 녹색 빛을 반사시키는데, 빛이 빨간색 필터를 통과하고 나면 반사시킬 녹색 빛기 때문에 검은색으로 관찰된다. |

동안 측정하였고, 3분 동안은 그림과제에서 찾은 과학적 지식을 글로 표현하도록 하여 과학적 지식을 올바르게 찾았는지 확인하였다(그림 4).

표 2는 과학과제에 대해 학생들이 과학적으로 판단한 이유에 대한 평가 기준이다.

과학 과제에 대해 학생들이 수업 시간에 배웠다고 하더라도 새로운 상황에 옳은 설명을 하지 못한 학생이 20명 중에서 8명이 있었다. 이 경우에는 빛의 흡수와 반사라는 과학적인 개념을 설명한 후, 다시 과학과제를 제시한 후 해결하도록 한 후 뇌파를 측정하였다. 또한 그림과제에서 찾을 수 있는 과학적 지식으로는 그림자, 붉은 빛의 노을, 그리고 땅위와 먼 산에 여러 군데에서 보이는 하늘색이 반사되어 보이는 푸른색을 통해 눈이 있는 시간적 상황을 이용하여 자신의 창의적인 작품을 상상한 경우에는 옳게 해결했다고 보고, 측정된 뇌파를 분석에 사용하였다.

2) 뇌파 분석

과학과제와 그림과제를 해결하는 과정에서 측정된 뇌파 데이터에서 잡파를 제거한 90초의 데이터를 전체 주파수 대역(0.5~30Hz)의 파워값에 대한 주파수 대역별 파워값의 비율을 구하는 상대 파워 스펙트럼(Relative Power Spectrum) 분석법을 이용하였다. 상대 파워 스펙트럼 분석을 위해 설정한 각 주파수 대역은 델타파(0.5~3.9Hz), 세타파(4.0~7.9Hz), 알파파(8.0~12.9Hz), 베타파(13.0~29.9Hz)이다.

이때 상대 파워 스펙트럼 분석 결과와 뇌 기능의 관계를 알아보기 위해, 안정 상태의 뇌파가 연구

대상 학생별로 다를 수 있으므로 과제 수행으로 인한 변화율을 비교하기 위해, 상대 파워 활성화비

$$\left(\frac{\text{과제 수행시 상대 파워값} - \text{눈 뜨고 안정시 상대 파워값}}{\text{눈 뜨고 안정시 상대 파워값}} \right)$$

를 계산하였다(권용주 등, 2006; 김용진 등, 2005; Fitzgibbon *et al.*, 2004). 그리고 뇌 영역별(전전두엽 FP1, FP2; 전두엽 F3, F4, F7, F8, FZ, FC3, FC4, FT7, FT8, FCZ; 두정엽 C3, C4, CZ, CP3, CP4, CPZ, P3, P4, PZ; 측두엽 T7, T8, TP7, TP8, P7, P8; 후두엽 O1, OZ, O2)로 전체 학생에 대한 상대 파워 활성화비의 평균을 산출하여 그래프로 나타내고, 과제 수행 과정에서 나타난 30개 전극에서 뇌파 변화를 측정하기 위해 SPSS 18.0을 사용하여 대응표본 t-test로 통계 처리하여 유의미한 차이가 나타난 전극을 분석하였다. 그리고 과제해결 과정에서 뇌파별로 활성화된 정도를 알아보기 위해 MATLAB 환경에서 구현되는 EEGLAB 9.0 프로그램을 사용하여 뇌지도(Brain Mapping)를 전문가에게 의뢰하여 분석하였다.

III. 연구 결과 및 논의

1. 과학과제와 그림과제의 사전 해결 과정에서 뇌파별 상대파워 활성화비 분석

1) 알파파의 상대파워 활성화비 비교

과학과제와 그림과제를 사전에 해결하는 과정에서 눈 뜨고 안정 상태와 비교하여 과제를 해결하는 과정에서 뇌의 영역별 알파파 변화를 비교하기 위해 그림으로 나타낸 뇌지도(그림 5)와 각 전극에 대

해 대응표본 *t*-test한 결과, 유의미한 차이가 나타난 영역들은 그림 6과 같다.

알파파 대역의 상대파워 활성비를 각각의 전극에서 산출하여 뇌지도로 나타낸 결과, 그림 5에서 보여주는 것과 같이 알파파 상대파워 활성비는 그림과제를 해결하는 과정에서 전두엽의 일부와 두정엽에서 활성이 감소하였다. 그림 6에서 보는 것 알파파의 억제(alpha blocking)는 해당 지역에서 인

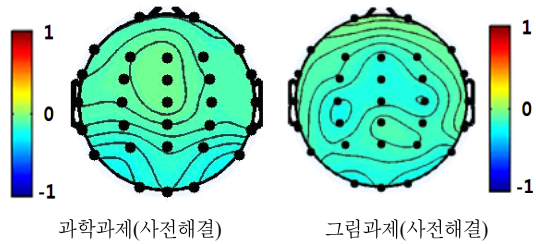


그림 5. 과학과제와 그림과제의 사전 해결 과정에서 알파파의 뇌지도

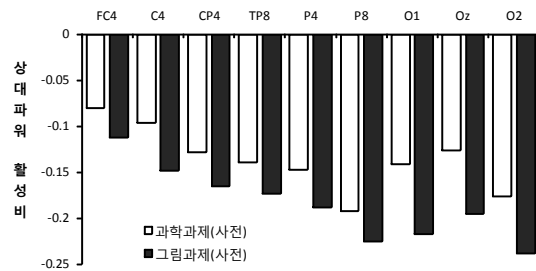


그림 6. 과학과제와 그림과제의 사전 해결 과정에서 알파파의 전극별 비교

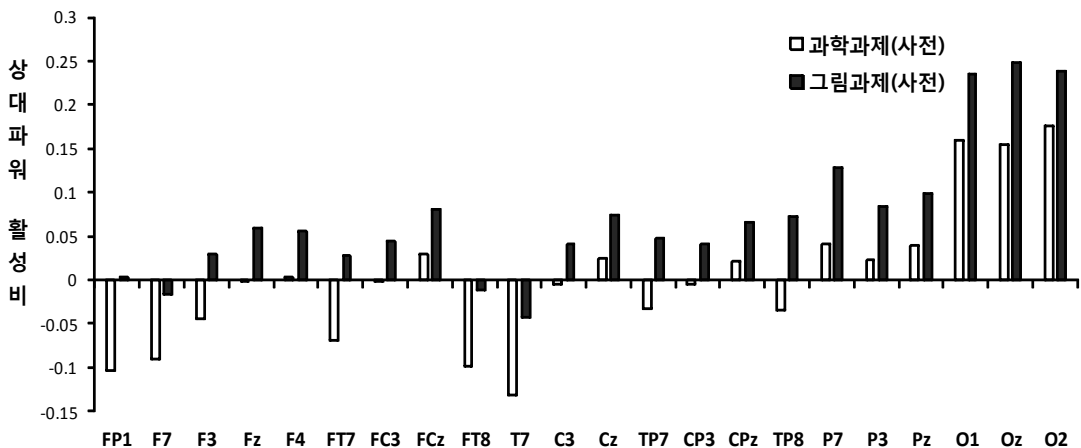


그림 8. 과학과제와 그림과제의 사전 해결 과정에서 베타파의 전극별 비교

지적인 활동을 반영(Bhattacharya & Petsche, 2005)하며, 알파파의 억제현상으로 베타파라는 빠른 뇌파가 나타난다(김대식과 최장욱, 2001; Fernandez *et al.*, 1995). 이러한 베타파는 피질 각성과 관련되어 있어 사람이 정신활동을 수행할 때 활성이 나타나며(Andreassi, 1989), 두뇌 외부에서 학습 정보가 입력될 때에는 베타파가 우세하게 작용한다(김용진, 2000)고 하였으므로, 그림과제는 과학영재들의 좌·우뇌의 후두엽, 우뇌의 두정엽(C4, CP4, P4), 우뇌의 측두엽(P8, TP8), 그리고 우뇌의 전두엽(FC4)의 상대적 활성도를 높이는데 기여했을 것이다.

2) 베타파의 상대파워 활성비 비교

과학과제와 그림과제를 사전에 해결하는 과정에서 눈 뜨고 안정 상태와 비교하여 과제를 해결하는 과정에서 뇌의 영역별 베타파 변화를 비교하기 위해 그림으로 나타낸 뇌지도(그림 7)와 각 전극에 대해 대응표본 *t*-test한 결과, 유의미한 차이가 나타난 영역들은 그림 8과 같다.

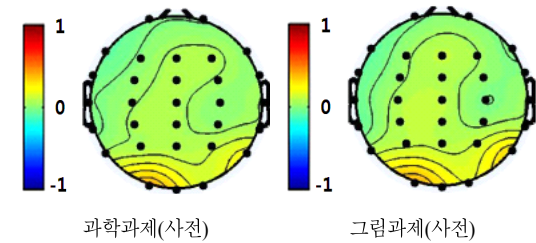


그림 7. 과학과제와 그림과제의 사전 해결 과정에서 베타파의 뇌지도

베타파 대역의 상대파워 활성비를 각각의 전극에서 산출하여 뇌지도로 나타낸 결과, 그림 7에서 보여주는 것과 같이 베타파 상대 파워 활성비는 그림과제를 해결하는 과정에서 좌뇌의 두정엽, 우뇌의 후두엽에서 활성이 증가하였다. 그림 8에서 보는 것과 같이 그림과제를 해결할 때 베타파의 활성이 전체적으로 뇌의 전 영역에서 유의미하게 높게 나타났다.

이러한 알파파의 억제(alpha blocking) 현상으로 베타파라는 빠른 뇌파가 출현(김대식과 최창욱, 2001; Fernandez *et al.*, 1995)하며, 베타파는 정신 활동 수행과 관련(Andreassi, 1989)이 있다. 특히, 후두엽에서의 베타파 증가는 내적으로 사물을 떠올리거나 장기기억 속의 경험상황 등을 떠올릴 때에도 활성화되는 지역(Mazard *et al.*, 2005; Knauff *et al.*, 2002)이다. 따라서 그림과제를 해결하는 과정이 과학과제를 해결하는 과정보다 알파파 차단 현상이 더 크게 나타나면서 외부의 정보를 받아들여서 문제를 해결하고 있다고 해석된다. 결과적으로 과학영재들은 과학과제를 해결하는 과정보다 새로운 그림과제를 해결하는 과정에서 외부의 입력된 새로운 정보를 활용하여 내적으로 사물을 떠올리거나, 장기기억 속의 경험 상황 등을 떠올려 문제를 해결하려는 정신 활동을 수행하고 있다고 할 수 있다.

3) 세타파의 상대파워 활성비 비교

과학과제와 그림과제를 사전에 해결하는 과정에서 눈 뜨고 안정 상태와 비교하여 과제를 해결하는 과정에서 뇌의 영역별 세타파 변화를 비교하기 위해 그림으로 나타낸 뇌지도(그림 9)와 각 전극에 대해 대응표본 *t-test*한 결과, 유의미한 차이가 나타난 영역들은 그림 10과 같다.

세타파 대역의 상대파워 활성비를 각각의 전극에서 산출하여 뇌지도로 나타낸 결과, 그림 9에서 보여주는 것과 같이 과학과제를 해결하는 과정에서 좌뇌의 전두엽 영역 주변에서 상대적으로 활성이 증가하였다. 그림 10에서 보는 것과 같이 과학과제를 해결하는 과정에서 세타파가 통계적으로 전두엽(F7, FT7), 측두엽(T7, TP7), 두정엽(P7)에서 유의미하게 높게 나타났다.

세타파는 뇌파의 안정화에 기여하고, 창의성과 학습능력에 공헌한다(Levine, 1972; Price, 1974). 특히 측두엽에서의 세타파는 저장된 정보의 인출과 관련(Harmony *et al.*, 1996; Jensen, 2005)되며, 특히

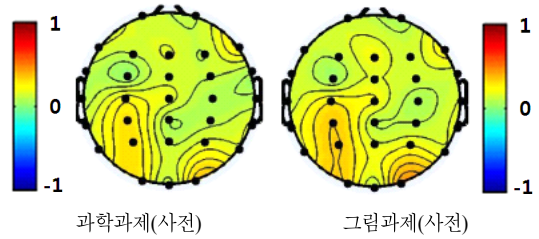


그림 9. 과학과제와 그림과제의 사전 해결 과정에서 세타파의 뇌지도

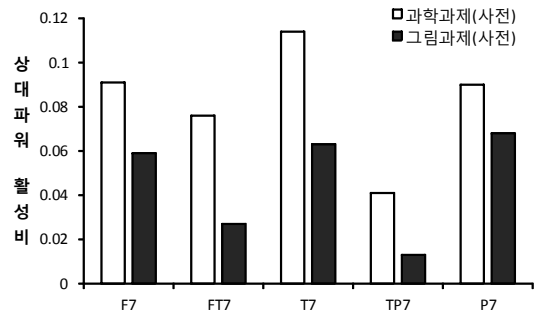


그림 10. 과학과제와 그림과제의 사전 해결 과정에서 세타파의 전극별 비교

Guderian과 Düzel(2005)은 측두엽에서 세타파의 진동은 관련 정보를 기억하는 동안 대뇌 피질에 분포되어 있는 정보의 결합과 관련되어 있다고 하였다. 결과적으로 과학영재들은 과학과제를 해결하기 위해 측두엽에 저장된 정보를 인출하여 전두엽, 그리고 두정엽에 분포되어 있는 정보와 결합하여 문제를 해결하고 있다고 할 수 있다.

2. 과학과제 해결 과정에서 뇌파별 상대파워 활성비 변화

1) 알파파의 상대파워 활성비 비교

동일한 과학과제를 사전과 사후에 해결하는 과정에서 뇌의 영역별 알파파 변화를 비교하기 위해 그림으로 나타낸 뇌지도를 비교한 결과(그림 11)와 30개 전극을 대상으로 대응표본 *t-test*한 결과, 유의미한 차이가 나타난 영역들은 그림 12와 같다.

알파파 대역의 상대파워 활성비를 각각의 전극에서 산출하여 뇌지도로 나타낸 결과, 그림 11에서 보여주는 것과 같이 과학과제를 해결하는 과정에서 알파파 상대파워 활성비가 사전과 비교하여 사

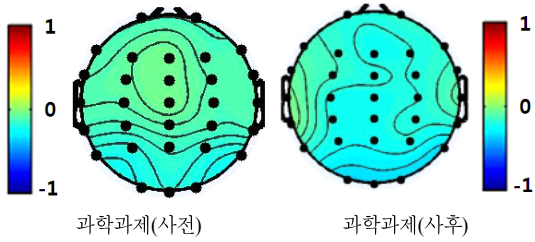


그림 11. 과학과제 해결 과정의 알파파의 뇌지도

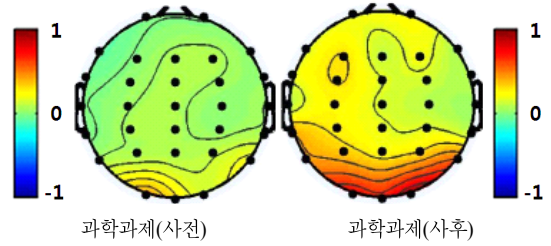


그림 13. 과학과제 해결 과정의 베타파의 뇌지도

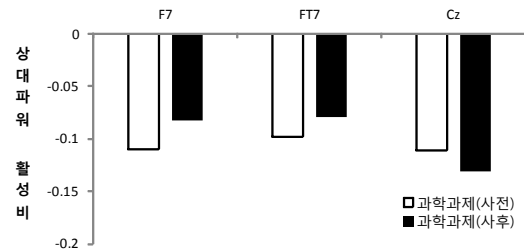


그림 12. 과학과제 해결 과정의 알파파의 전극별 비교

후에 좌·우 두정엽, 좌·우 전두엽과 전전두엽에서 더 감소하는 것으로 나타났다. Pfurtscheller 등 (1996)은 알파파의 감소는 인지와 관련된 대뇌 피질의 활성화와 관련되어 있다고 하였으므로 두정엽, 전두엽, 그리고 전전두엽에서는 과학과제 해결 과정과 관련된 뇌파가 출현할 것이다. 그림 12에서 보는 것과 같이 과학 과제를 해결하는 과정에서 사전에 비하여 사후에 좌뇌의 전두엽(F7, FT7)에서 알파파가 통계적으로 유의미하게 감소하였다. 이것은 과학과 기술 통합프로그램에 의해 좌뇌의 전두엽(F7, FT7)에서 알파파가 감소하면서 상대적으로 학습과 관련된 뇌파의 변화가 일어났을 것이다.

2) 베타파의 상대파워 활성비 비교

동일한 과학과제를 사전과 사후에 해결하는 과

정에서 뇌의 영역별 베타파 변화를 비교하기 위해 그림으로 나타낸 뇌지도를 비교한 결과(그림 13)와 30개 전극을 대상으로 대응표본 *t*-test한 결과, 유의미한 차이가 나타난 영역들은 그림 14와 같다.

베타파 대역의 상대파워 활성비를 각각의 전극에서 산출하여 뇌지도로 나타낸 결과, 그림 13에서 보여주는 것과 같이 과학과제를 해결하는 과정에서 베타파 상대파워 활성비가 사전 과제해결 과정과 비교하여 사후에 좌뇌의 전두엽, 좌뇌의 측두엽 일부, 좌·우뇌의 두정엽과 후두엽의 활성이 증가하였다. 그림 14에서 보는 것과 같이 과학과제를 해결하는 과정에서 사전과 비교하여 사후에는 좌뇌의 두정엽(P3, CP3), 좌뇌의 측두엽(TP7), 좌뇌의 전두엽(F7, FT7, F3, FC3), 우뇌의 측두엽(T8, TP8), 우뇌의 전두엽(FC4, FT8, F8), 그리고 중심부(Fz, FCz, Cz)에서 증가하였다.

특히 전두엽의 F3과 FC3에서의 베타파 증가는 좌측 중전두이랑(BA9)의 일부 지역으로 작업 기억 과정에서 나타나는 대표적인 활성영역(Haier et al, 2004)이며, 개념을 조직화 할 때 그 활성이 증가(Seeger, 2008)한다. 그리고 Shemyakina 등(2007)은 창의적인 과제를 수행하는 과정에서 베타파(β_2)의 증가를 동반한다고 하였다. 따라서 과학과제를 해결하는 과정에서 좌뇌의 전두엽에서는 정보를 일시적으로 보유하면서 각

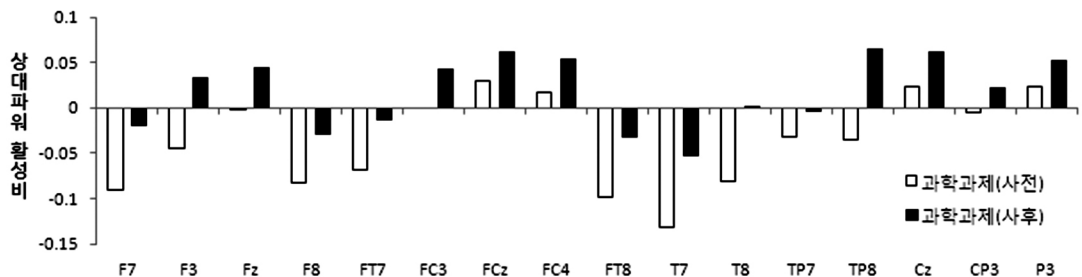


그림 14. 과학과제 해결 과정의 베타파의 전극별 비교

중 인지적 과정을 계획하고 순서 지으며 실제로 수행하기 위해 개념을 조직화하고 있다고 할 수 있다.

3) 세타파의 상대파워 활성비 비교

동일한 과학과제를 사전과 사후에 해결하는 과정에서 뇌의 영역별 세타파 변화를 비교하기 위해 그림으로 나타낸 뇌지도를 비교한 결과(그림 15)와 30개 전극을 대상으로 t-test한 결과, 유의미한 차이가 나타난 영역들은 그림 16과 같다.

세타파 대역의 상대파워 활성비를 각각의 전극에서 산출하여 뇌지도를 비교한 결과, 그림 15에서 보여주는 것과 같이 과학과제를 해결하는 과정에서 세타파 상대파워 활성비가 사전 과제해결 과정과 비교하여 큰 변화는 나타나지 않았지만, 우뇌의 후두엽에서 약간 증가하였다. 그림 16에서 보는 것과 같이 좌뇌의 전두엽(F7, FT7), 우뇌의 전두엽(FT8), 좌우뇌의 측두엽(T7, T8, TP8), 우뇌의 두정엽(P8)에서 세타파가 통계적으로 유의미하게 감소하였다. 과학과 미술 통합프로그램은 과학적인 탐구 활동을 바탕으로 과학적 지식을 획득하게 되고, 미술 활동을 통하여 창의적으로 상상한 후 작품으로 표현하는 활동이 이루어지게 된다. 따라서 통합프로그램을

통해 학생들은 과학적인 지식과 예술적인 상상력과 표현력이 발달하게 된다. 이러한 활동은 과학적인 지식을 반복적으로 활용함으로써 장기 기억으로 더 쉽게 저장할 수 있게 해 준다. 그러므로 과학과제를 사전에 해결할 때와 사후에 해결할 때에 세타파가 감소하는 것은 장기 기억에 저장된 정보를 쉽게 인출하여 해결할 수 있기 때문으로 해석된다.

뇌의 많은 영역에서 세타파가 감소하고 있지만, 좌뇌의 전두엽(FC3), 우뇌의 전두엽(F4, FC4), 전두엽 중심부(Fz, FCz), 좌뇌의 두정엽(C3, CP3, P3), 우뇌의 두정엽(C4, CP4, P4), 두정엽 중심부(Cz, CPz, Pz), 그리고 우뇌의 후두엽(O1)에서는 증가하였다. 특히 좌뇌의 측두엽인 TP7지역은 물체 인식영역이다. 이 지역에서 세타파의 활성이 매우 높게 나타난 것은 과학과 미술의 공통점인 관찰 능력의 향상에 의해 물체 인식 능력이 향상되었기 때문으로 생각된다. 그리고 좌·우뇌의 두정엽과 우뇌의 전두엽(F4)에서 세타파의 활성이 증가한 것은 과학적 지식을 이용해서 창의적인 작품을 구상하는 과정에서 세타파의 활성이 증가하기 때문에, 과학과제를 해결하는 과정에서도 두정엽과 우뇌의 전두엽(F4)에서의 세타파의 활성이 증가하였을 것이다. 이것은 2차원적인 물체를 3차원적인 이미지로 만들 수 있는 능력이 향상되고 있다고도 볼 수 있다. 특히 과학과제를 해결하는 과정에서 좌뇌의 측두엽(T7), 좌뇌의 전두엽(F3)에서 세타파가 감소하고, 좌뇌의 두정엽(CP3, P3), 우뇌의 두정엽(P4), 우뇌의 전두엽(F4)에서 세타파가 증가하였다. 우뇌의 전두엽(F4) 지역과 좌·우뇌의 두정엽(CP3, P3, P4)에서 세타파의 증가는 본 프로그램의 예술 활동 중에서

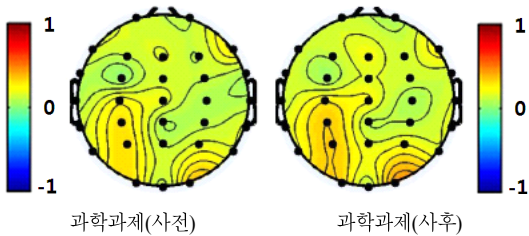


그림 15. 과학과제 해결 과정의 세타파의 뇌지도

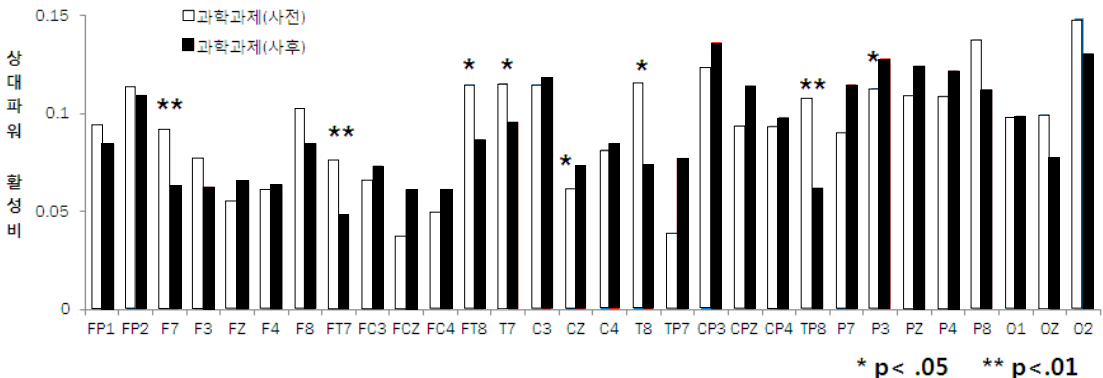


그림 16. 과학과제 해결 과정의 세타파의 전극별 비교

상상하는 활동에 의한 효과라고 볼 수 있다. 상상하는 활동을 하게 되면 우뇌의 특정 지역에서 세타파가 증가하게 되며, 이 증가된 세타파는 두정엽으로 보내져서 두정엽의 세포들을 활성화시켜 물체에 대한 이미지를 만들게 한다(Holz *et al*, 2010).

3. 그림과제 해결 과정에서 뇌파별 상대 파워 활성비 분석

1) 알파파의 상대파워 활성비 비교

동일한 그림과제를 사전과 사후에 해결하는 과정에서 뇌의 영역별 알파파 변화를 비교하기 위해 그림으로 나타낸 뇌지도를 비교한 결과(그림 17)와 30개 전극을 대상으로 대응표본 *t*-test한 결과, 유의미한 차이가 나타난 영역들은 그림 18과 같다.

알파파 대역의 상대파워 활성비를 각각의 전극에서 산출하여 뇌지도를 비교한 결과, 그림 17에서 보여주는 것과 같이 그림과제를 해결하는 과정에서 알파파의 상대파워 활성비는 사전 과제 해결 과정과 비교하여 사후에 좌뇌의 측두엽은 약간 증가하고, 전두엽과 전전두엽은 상대적으로 감소하였다. 그림 18에서 보는 것과 같이 알파파는 그림과제를 해결하는 과정에서 사전과 비교하여 사후에는 좌뇌의 전두엽(F3), 중심부(FZ), 그리고 우뇌의 전두엽(F4, FC4)에서 상대파워 활성비가 유의미하게 감소하였다($p < .05$).

Pfurtscheller 등(1996)은 알파파의 감소는 인지와

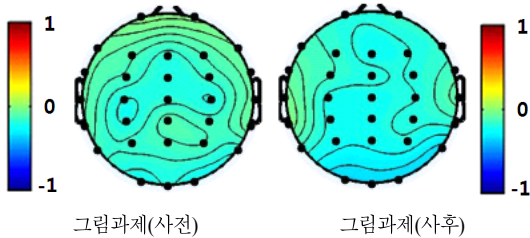


그림 17. 그림과제 해결 과정의 알파파의 뇌지도

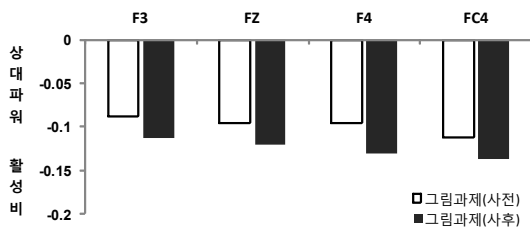


그림 18. 그림과제 해결 과정의 알파파의 전극별 비교

관련된 대뇌 피질의 활성화와 관련되어 있다고 하였으므로 이 지역에서의 뇌파를 비교하면 과제 해결에 중요한 뇌파를 알 수 있을 것이다. 결과적으로 그림과제를 해결하는 과정에서 좌우뇌의 전두엽(F3, F4, FC4)에서 알파파가 감소하고, 학습과 관련된 다른 뇌파의 활성이 증가하게 될 것이다.

2) 베타파의 상대파워 활성비 비교

동일한 그림과제를 사전과 사후에 해결하는 과정에서 뇌의 영역별 베타파 변화를 비교하기 위해 그림으로 나타낸 뇌지도를 비교한 결과(그림 19)와 30개 전극을 대상으로 대응표본 *t*-test한 결과, 유의미한 차이가 나타난 영역들은 그림 20과 같다.

베타파 대역의 상대파워 활성비를 각각의 전극에서 산출하여 뇌지도를 비교한 결과, 그림 19에서 보는 것과 같이 그림과제를 해결하는 과정에서 베타파의 상대파워 활성비가 사전 과제 해결 과정과 비교하여 뇌의 전 영역에서 감소하였다. 그림 20에서 보는 것과 같이 베타파는 그림과제를 해결하는 과정에서 사전과 비교하여 사후에는 좌뇌의 측두엽(T7, TP7)에서 상대파워 활성비가 유의미하게 감소하였다($p < .05$).

따라서 그림속에서 과학적 현상을 찾고, 새롭게 그림을 상상하는 과정에서는 베타파의 활성이 아니라, 다른 뇌파가 상대적으로 출현하게 될 것이다.

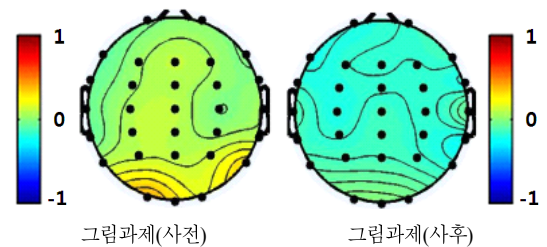


그림 19. 그림과제 해결 과정의 베타파의 뇌지도

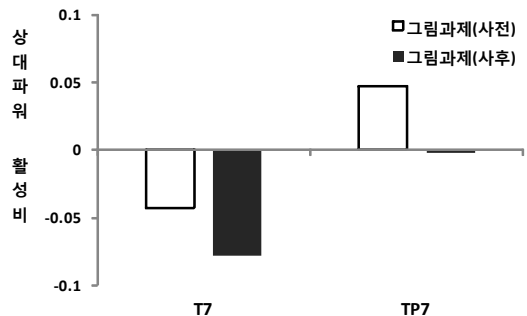


그림 20. 그림과제 해결 과정의 베타파의 전극별 비교

3) 세타파의 상대파워 활성비 비교

동일한 그림과제를 사전과 사후에 해결하는 과정에서 뇌의 영역별 세타파 변화를 비교하기 위해 그림으로 나타낸 뇌지도를 비교한 결과(그림 21)와 30개 전극을 대상으로 대응표본 *t*-test한 결과, 유의미한 차이가 나타난 영역들은 그림 22와 같다.

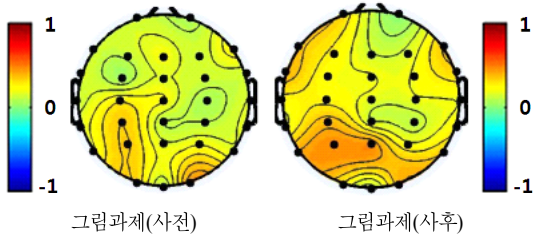


그림 21. 그림과제 해결 과정의 세타파의 뇌지도

세타파 대역의 상대파워 활성비를 각각의 전극에서 산출하여 뇌지도를 비교한 결과, 그림 21에서 보는 것과 같이 그림과제를 해결하는 과정에서 사전과 비교하여 사후에 전체적으로 뇌의 전 영역에서 활성이 증가하였지만, 특히 좌·우뇌의 전두엽, 좌뇌의 측두엽, 좌뇌의 두정엽에서 상대파워 활성비가 증가하였다. 그림 22에서 보는 것과 같이 세타파는 그림과제를 해결하는 과정에서 사전과 비교하여 사후에는 좌뇌의 전전두엽(FP1), 좌뇌의 전두엽(F7, F3, FT7), 우뇌의 전두엽(F4, F8, FT8), 좌뇌의 측두엽(T7, TP7, P7), 좌뇌의 두정엽(CP3, P3), 우뇌의 두정엽(P4), 좌·우뇌의 후두엽(O1, Oz, O2), 전두엽 중심부(FCz), 두정엽 중심부(CPz, Pz)에서 상대파워 활성비가 유의미하게 증가하였다($p < .05$).

따라서 과학과 미술 통합프로그램은 그림과제를

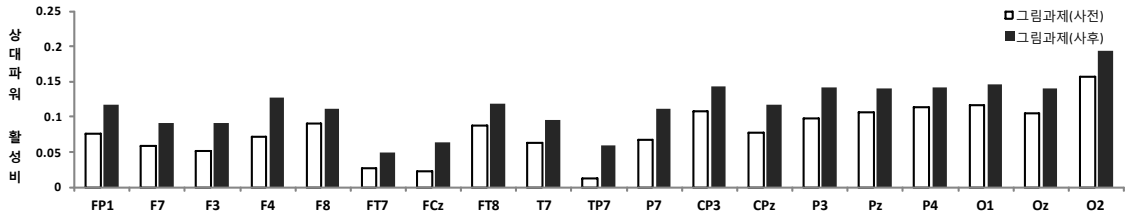
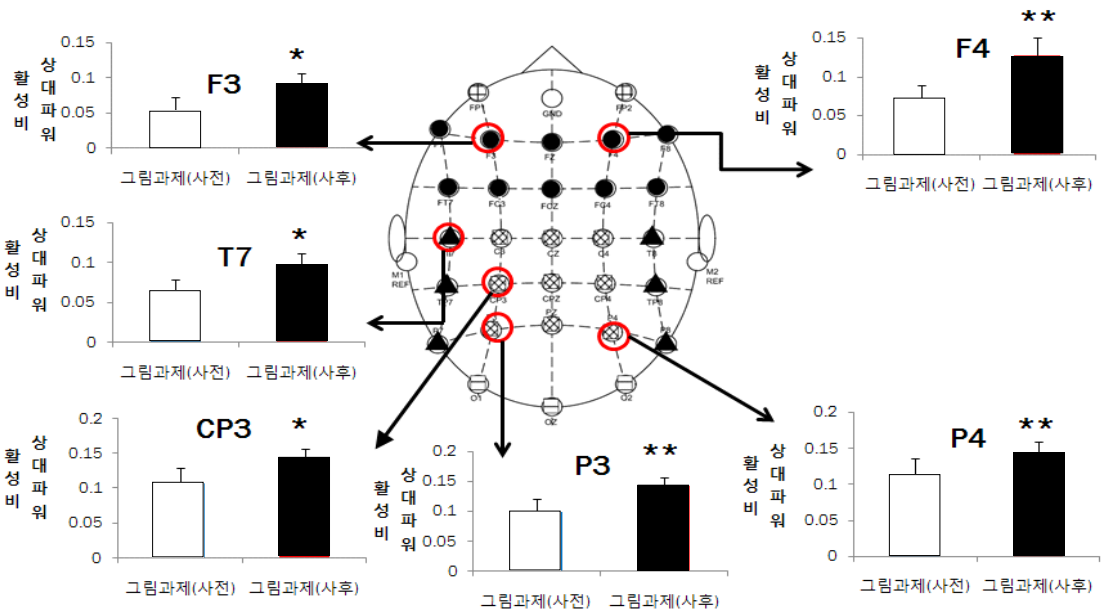


그림 22. 그림과제 해결 과정의 세타파의 전극별 비교



* $p < .05$ ** $p < .01$

그림 23. 창의적 사고 관련 영역에서 세타파의 상대파워 활성비 변화

해결하는 과정에서 세타파의 활성을 증가시킨다고 할 수 있다. 특히 뇌의 전 영역에서 세타파 진동은 관련 정보를 기억하는 동안 대뇌 피질에 분포되어 있는 정보의 결합과 관련되어 있으며(Guderian & Düzel, 2005), 또한 기억한 것에 대해 성공적으로 회상할 때는 베타파는 감소하고 세타파가 증가한다고 하였으므로(Hanslmayr *et al.*, 2011) 그림 속에서 과학적 현상을 찾고, 새롭게 작품을 상상하는 과정에서 뇌의 다양한 영역에 저장되어 있는 정보를 효율적으로 인출하여 활용하고 있다고 할 수 있다.

그림 23은 창의적 사고와 관련된 대표적인 전극에서의 세타파의 상대파워 활성비의 변화를 나타낸 것이다.

세타파는 해마(hippocampus)와 대상피질(=띠이랑 the cingulate cortex)과 같은 변연계의 구조에서 대부분 생성된다(Miller, 1991; Raghavachari *et al.*, 2006). 해마는 새로운 정보를 해석하고, 이전의 정보와 결합하는 작업을 할 때 세타파를 생성한다(Klimesch *et al.*, 1994). 그리고 측두엽에서 생성된 세타파는 대뇌 피질의 여러 영역과 단기 기억을 연결하는 등의 내부 인지 과정과 연관되어 있다(Harmony *et al.*, 1996, Jensen, 2005). 작업 기억의 통제를 위해서 세타파 활성을 논의할 때, 세타파 진동은 뇌 활성의 영역내에서 통합적 역할에 중요할 것이라고 제안했다(Sauseng *et al.*, 2005). 작업 기억 과제와 관련된 뇌 영역은 중앙 집합 기능을 위해서 떨어져 있는 뇌 영역들 사이에 세타파 동기화에 의해 조정된다(Kawasaki *et al.*, 2010). 특히 베타파는 감소하고 세타파가 증가하는 것은 저장된 기억을 성공적으로 회상했다는 것(Hanslmayr *et al.*, 2011)을 의미한다.

따라서 과학영재 학생들이 그림 속에서 과학적 지식을 찾고 그림을 다시 상상하여 재구조화하는 과정에서 뇌의 다양한 영역들에서 세타파의 활성이 증가하여 외부로부터 들어오는 정보와 저장되어 있는 지식들을 서로 연결하기 위해 뇌 활성이 활발하게 일어나고 있다고 할 수 있다.

IV. 결론 및 제언

본 연구는 초등 과학영재들에게 STEAM 교육의 한 영역인 과학과 미술 통합프로그램을 관찰하기, 흥미·호기심 갖기, 실험 설계 및 수행하기, 내면화하기, 그리고 예술로 표현하기 절차로 개발한 후

적용하였을 때 뇌 활성 영역과 뇌파의 변화를 분석하였고, 경기도 소재의 Y초등학교 영재 학급 6학년 20명으로 단일집단 사전·사후설계의 방법으로 실시하였다.

이 연구를 통해 내려진 결론 및 제언은 다음과 같다.

첫째, 과학영재들은 과학과제를 사전에 해결하는 과정에서 좌뇌의 전두엽(F7, FT7)과 측두엽(T7, TP7, P7)에서 높은 세타파의 상대파워 활성비가 나타났고, 그림과제를 사전에 해결하는 과정에서 좌뇌의 전전두엽(FP1), 좌·우뇌의 전두엽(F7, F3, Fz, F4, F8, FT7, FC3, FCz), 좌·우뇌의 측두엽(T7, TP7, TP8, P7), 좌뇌의 두정엽(CP3, CPz, P3, Pz), 좌·우뇌의 후두엽(O1, Oz, O2)에서 높은 베타파의 상대파워 활성비가 나타났다.

둘째, 과학과제를 사전에 해결하는 과정에서 측정된 뇌파와 과학과 미술 통합 프로그램을 적용한 후 동일한 과학과제를 사후에 측정하였을 때 좌뇌의 측두엽(T7), 좌뇌의 전두엽(F3)에서 창의적 사고와 관련된 세타파의 상대파워 활성비는 감소하였지만 통계적으로 유의미하지 않았다. 그러나 좌뇌의 측두엽(T7)에서 베타파의 상대파워 활성비는 통계적으로 유의미하게 감소하고, 좌뇌의 전두엽(F3)에서 베타파의 상대파워 활성비는 통계적으로 유의미하게 증가하였다($p < .05$). 즉, 과학과제를 해결하는 과정에서는 베타파의 상대파워 활성비는 측두엽(T7)에서는 감소하고, 좌뇌의 전두엽(F3)에서는 통계적으로 유의미하게 증가하였다.

셋째, 그림과제를 사전에 해결하는 과정에서 측정된 뇌파와 과학과 미술 통합프로그램을 적용한 후 동일한 그림과제를 사후에 측정하였을 때 좌뇌의 측두엽(T7), 좌뇌의 전두엽(F3), 우뇌의 전두엽(F4), 그리고 좌·우뇌의 두정엽에서 세타파가 통계적으로 유의미하게 높게 나타났다($p < .05$). 그러나 베타파의 상대파워 활성비는 감소하였지만 통계적으로 유의미하지 않았다. 즉, 그림과제를 해결하는 과정에서는 창의적 사고와 관련된 세타파가 증가하였다.

결론적으로 과학과제와 그림과제를 해결하는 과정에서 창의적 사고와 관련 있다고 알려진 세타파의 상대파워 활성비가 과제의 종류에 따라서 출현하는 영역이 다르게 나타났다. 특히, 그림과제를 해결하는 과정에서는 전두엽에서 창의적인 능력을 수

행한다고 알려진 우뇌의 전두엽(F4)에서 세타파가 통계적으로 유의미하게 증가하였다($p < .01$).

이를 통해 뇌 기반 과학영재 교수 학습 전략에 기초한 과학과 미술 통합프로그램은 과학영재들의 창의적인 사고와 관련 있는 좌·우뇌의 전두엽 영역에서 세타파를 증가시켜 양반구의 균형 발달을 촉진시킨다는 것을 알 수 있었다.

따라서 STEAM 교육이 더 체계적으로 이루어지기 위해서는 수업 후에 나타나는 뇌의 변화에 대한 심층적이고, 체계적이며, 중단적인 연구가 이루어져, 이를 바탕으로 뇌의 다양한 활성화를 위한 여러 유형의 영재교육 프로그램들이 개발되어야 할 것이다.

참고문헌

강호감, 노석구, 이희순, 홍석인, 최선영, 원용준, 하정원, 김지선(2001). 창의력 계발을 위한 자연과 교수학습자료 개발과 적용. 한국과학교육학회지, 21(1), 89-101.

과학 대사전(1958). 서울: 학원사.

권석원, 강민정, 신동훈, 권용주(2007). 초등학교 과학 영재아의 뇌파 기반 변별 척도 개발. 초등과학교육, 25(5), 556-566.

권용주, 박지영, 신동훈(2006). 가설 생성 학습 후에 나타난 초등 예비교사의 뇌파 변화. 초등과학교육, 25(2), 159-166.

권용주와 이준기(2010). 분류 지식의 생성과 이해 형태 학습을 통한 학생들의 두뇌활성 변화. 한국과학교육학회지, 30(4), 487-497.

김대식, 최장욱 편저(2001). 뇌파 검사학. 서울: 고려의학.

김용진(2000). 학습활동의 뇌파 분석에 기초한 두뇌순환 학습 모형의 개발과 과학학습에의 적용. 서울대학교 대학원 박사학위논문.

김용진, 김재영, 권치순(2005). 창의적 과학문제 해결에서 초등학교 과학영재아와 보통아의 뇌파 활성 차이. 한국생물교육학회지, 33(1), 23-32.

김은선, 권영식, 이길재(2011). 공간 능력을 활성화하는 과학 활동이 초등학생의 공간 능력과 창의성에 미치는 효과. 초등과학교육, 30(2).

김형석, 정용재, 광성일, 하은성, 이선양, 이현정(2004). 과학창의력 신장을 위한 '일상생활소재 다중 활동' 중심의 6-7학년 '재량활동' 프로그램 개발과 효과 탐색. 초등과학교육, 23(4), 344-356.

이인혜, 김용희, 김인석, 김청송, 노대균, 연미영, 유제민, 이유정, 이장한, 전영임, 최미례, 최혜경, 현명호(1997). 정신 생리학. 서울: 학지사.

임채성(2005). 뇌 기반 과학 교수학습 모형의 개발: 뇌기능과 학교 과학의 정의적·심체적·인지적 영역의 연계 통합 모형. 과학교육연구, 29(1), 1-29.

조선희, 최유용, 이건호(2012). 과학고 학생과 외국어고 학생의 지능과제 수행 시 뇌활동성 분석. 영재교육연구, 22(2), 317-332.

최선영(1999). 전뇌학습 프로그램이 초등학생의 창의력, 자연과 학업성취도, 과학적 태도 및 학습 양식에 미치는 효과. 서울대학교 대학원 박사학위논문.

콘라드 G. 윌러, 메이 루돌프(1978). 라이프/인간과 과학 시리즈. 타임라이프 북스.

하종택(1993). 우뇌기능 훈련이 뇌의 인지특성 및 수학적 문제해결력에 미치는 효과. 한국교육학연구, 31(3).

황요한, 박종석(2010). 과학영재의 창의성 신장을 위한 CNP 모형의 개발과 적용. 영재교육연구, 20(3), 847-866.

Amabile, T. M.(1986). The personality of creativity. *Creative Living*, 15(3), 12-16.

Andreassi, J. L.(1989). *Psychophysiology: Human behavior and physiological response*. Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.

Bhattacharya, J. & Petsche, H.(2005). Drawing on mind's canvas: differences in cortical integration patterns between artists and non-artists. *Human Brain Mapping*, 26, 1-14.

Bub, D. N. & Lewine, J.(1988). Different modes of word recognition in the left and right visual fields. *Brain and Language*, 33(1), 161-188.

Fernández, T., Harmony, T., Rodríguez, 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(3), 175-182.

Fitzgibbon, S. P., Pope, K. J., Mackenzie, L., Clark, C. R. & Willoughby, J. O.(2004). Cognitive tasks argument gamma EEG power. *Clinical Neurophysiology*, 115, 1802-1809.

Guderian, S. & Düzel, E. (2005). Induced theta oscillations mediate large-scale synchrony with mediotemporal areas during recollection in humans. *Hippocampus*, 15(7), 901-912.

Haier, R. T., Jung, R. E., Yeo, R. A., Head, K. & Alkire, M. T. (2004). Structural brain variation and general intelligence. *NeuroImage*, 23, 425-433.

Hanslmayr, S., Volberg, G., Wimber, M., Raabe, M., Greenlee, M. W. & Bäuml, K. H. (2011). The relationship between brain oscillations and BOLD signal

- during memory formation: A combined EEG-fMRI study. *Journal Neuroscience*, 31(44), 15674-80.
- Harmony, T., Fernández, T., Silva, J., Bernal, J., Diaz-Comas, L., Reyes, A., Marosi, E. & Rodriguez, M. (1996). EEG delta activity: an indicator of attention to internal processing during performance of mental tasks. *International Journal of Psychophysiology*, 24(1-2), 161-171.
- Holz, E. M., Glennon, M., Prendergast, K. & Sauseng, P. (2010). Theta-gamma phase synchronization during memory matching in visual working memory. *Neuroimage*, 52(1), 326-335.
- Jensen, O. (2005). Reading the hippocampal code by theta phase-locking. *Trends in Cognitive Sciences*, 9(12), 551-553.
- Kawasaki, M., Keiichi Kitajo, K. & Yoko Yamaguchi, Y. (2010). Dynamic links between theta executive functions and alpha storage buffers in auditory and visual working memory. *European Journal of Neuroscience*, 31, 1683-1689.
- Klimesch, W., Schimke, H. & Schwaiger, J. (1994). Episodic and semantic memory: An analysis in the EEG theta and alpha band. *Electroencephalography Clinical Neurophysiology*, 91(6), 428-441.
- Knauff, M. & Johnson-Laird, P. N. (2002). Visual imagery can impede reasoning. *Memory and Cognition*, 30, 363-371.
- Levine, P. H. (1972). Transcendental meditation and the science of creative intelligence. *The Phi Delta Kappan*, 54(4), 231-235.
- MacLean, P. D. (1990). *The triune brain in evolution*. New York: Plenum Press. Major in Biology Education.
- Mazard, A., Laou, L., Joliot, M. & Mellet, E. (2005). Neural impact of the semantic content of visual mental images and visual percepts. *Cognitive Brain Research*, 24(3), 423-435.
- Melamed, F. & Zaidel, E. (1993). Language and task effects on lateralized word recognition. *Brain and Language*, 45(1), 70-85.
- Miller, R. (1991). *Cortico-hippocampal interplay and the representation of contexts in the brain*. Berlin, Heidelberg, New York: Springer.
- Pfurtscheller, G., Stancak, A. & Neuper, C. (1996). Event-related synchronization (ERS) in the alpha band-An electrophysiological correlate of cortical idling: A review. *Int. J. Psychophysiol*, 24, 39-46.
- Price, J. F. (1974). Education and the sciences of creative intelligence. *The Australian Universities' Review*, 17(1), 28-37.
- Raghavachari, S., Lisman, J. E., Tully, M., Madsen, J. R., Bromfield, E. B. & Kahana, M. J. (2006). Theta oscillations in human cortex during a working-memory task: Evidence for local generators. *Journal of Neurophysiology*, 95(3), 1630-1638.
- Sauseng, P., Klimesch, W., Schabus, M. & Doppelmayr, M. (2005). Fronto-parietal EEG coherence in theta and upper alpha reflect central executive functions of working memory. *International Journal of Psychophysiology*, 57(2), 97-103.
- Seger, C. A. (2008). How do the bascal ganglia contribute to categorization? Their roles in generalization, response selection, and learning via feedback. *Neuroscience and Biobehavioral Review*, 32(2), 265-278.
- Shemyakina, N. V., Danko, S. G., Nagornova, Z. V., Starchenko, M. G. & Bechtereva, N. P. (2007). Changes in the power and coherence spectra of the EEG rhythmic components during solution of a verbal creative task of overcoming a stereotype. *Human Physiology*, 33(5), 524-530.
- Sperry, R. W. (1982). Some effects of disconnecting the cerebral hemispheres. *Science*, 217, 1223-1227.
- Sylwester, R. (1995). *A celebration of neurons: An educator's guide to the human brain*. Alexandria, VA: Association for Supervision and Curriculum Development (ASCD).
- Toni, I., Krams, M., Turner, R. & Passingham, R. E. (1998). The time course of changes during motor sequence learning; a whole-brain fMRI study. *NeuroImage*, 8(1), 50-61.
- Warach, S., Gur, R. C., Gur, R. E., Skolnick, B. E., Obrist, W. D. & Reivich, M. (1992). Decreases in frontal and parietal lobe regional cerebral blood flow related to habituation. *Journal of Cerebral Blood Flow and Metabolism*, 12(3), 546-553.