

과학 교수-학습 프로그램의 평가를 위한 두뇌기반 분석틀의 개발

이준기 · 이일선¹ · 권용주*
전북대학교 · ¹한국교원대학교

The Development of the Brain-based Analysis Framework for the Evaluation of Teaching-Learning Program in Science

Lee, Jun-Ki · Lee, Il-Sun¹ · Kwon, Yong-Ju^{*}
Chonbuk National University · ¹Korea National University of Education

Abstract: The purpose of this study was to develop a brain-based analysis framework for evaluating teaching-learning program in science. To develop the framework, this study categorized educational constructs of the teaching-learning programs into one of three teaching-learning factors: cognition, motive, and emotion, using previous studies on science program. Ninety-three articles on the brain functions associated with science program were analyzed to extract brain activation regions related to the three educational constructs. After delineating the brain activation regions, we designed the brain function map, “the CORE Brain Map.” Based on this brain map, we developed a brain-based analysis framework for evaluating science teaching-learning program using R & D processes. This framework consists of the brain regions, the bilateral dorsolateral prefrontal cortex, the bilateral ventrolateral prefrontal cortex, the bilateral orbitofrontal cortex, the anterior cingulate gyrus, the bilateral parietal cortex, the bilateral temporal cortex, the bilateral occipital cortex, the bilateral hippocampus, the bilateral amygdala, the bilateral nucleus accumbens, the bilateral striatum and the midbrain regions. These brain regions are associated with the aforementioned three educational factors; cognition, motivation, and emotion. The framework could be applied to the analysis and diagnosis of various teaching and learning programs in science.

Key words: Science teaching-learning program, brain region on science program, brain-based analysis framework, CORE Brain Map

I. 서 론

교육은 인간을 긍정적인 방향으로 변화시키고자 하는 유목적적인 행위이며, 과학과 교수-학습의 목표는 학생의 과학적 소양 및 탐구능력향상에 있다(AAAS, 1989). 과학교육 연구자들과 일선 교사들은 이러한 목표의 달성을 위해 다양한 노력을 기울여 왔다. 이중 가장 직접적이고 보편적인 것은 교수-학습 프로그램의 개발이다. 특히 과학에서는 탐구학습의 중요성이 오래전부터 강조되면서, 현재 매우 다양한 과학탐구 교수-학습프로그램이 학습내용이나 대상학생의 학교급별로 다양하게 존재하고 있다. 현재 이러한 다양한 과학탐구 교수-학습프로그램들이 소개되어있지만, 최근 학생의 뇌 기능에 기초를 두고 가르쳐야 한다는 주장이 제기되기 시작하면서 뇌 기반 교수-학습 프

그램들이 국내외 연구진들에 의해 개발되어 소개되기 시작하고 있다(임채성, 2005; 임채성, 2009; Ansari & Coch, 2006; Davis, 2004; Jensen, 2000; Kwon *et al.*, 2009; Posner & Rothbart, 2005; Sousa, 2001; Sűzcs & Goswami, 2007).

최근 뇌과학 연구의 비약적인 발전과 뇌과학에 대한 세간의 관심이 집중되면서 ‘학습과학(Science of Learning)’이라는 학문분야가 형성되었으며 ‘교육신경과학(Educational Neuroscience)’이라는 신조어도 생겨나고 있다. 교육신경학적 입장에서 살펴볼 때, 뇌기반 학습과학은 모든 학습은 뇌에서 이루어진다는 것을 대전제로 하고 있다. 또한, 인간의 사고 및 학습 과정에 대한 보다 과학적이고 체계적인 접근방법과 이해를 통해 학습자의 뇌를 효율적으로 활용할 수 있도록 돕는 것을 최종 목표로 하고 있다(Sűzcs &

*교신저자: 권용주(kwonyj@knue.ac.kr)
**2010.04.27(접수) 2010.06.01(1심통과) 2010.07.01(2심통과) 2010.07.02(최종통과)

Goswami, 2007).

그렇다면 학습자의 모든 학습을 뇌에서 이루어지는 것으로 전제하는 교육신경학의 논리에 입각해 현재의 다양한 교수-학습 프로그램들을 살펴보면, 별도의 뇌 기반 교육이 존재하는 것이 아니라 교실 안 혹은 밖에서 벌어지고 있는 모든 '교육' 그자체가 본래 학습자의 뇌를 교수자의 목표대로 변화시켜가는 것으로 볼 수 있다. 따라서 모든 교육은 뇌기반 교육의 하위 범주라고 해도 과언이 아니다(김성일, 2006). 즉, 소수의 연구자들이 개발한 뇌기반 과학 교수-학습 프로그램을 수업에 적용하는 것만이 학생의 뇌를 변화 및 향상 시켜주는 것이 아니라 기존의 다양한 교수-학습 프로그램을 통해 학생의 뇌 발달을 적절히 촉진시켜 줄 수 있다는 것이다. 다만 현재 교사가 적용하는 교수-학습 프로그램이 자신의 학생들에게 어떤 영향을 주고 있는지 두뇌 수준에서는 미리 가늠하기가 어려울 뿐이다.

특정 교수-학습 프로그램의 경험만으로도 학생의 인지구조나 뇌 활성 구조 자체가 물리적으로 변화한다는 연구결과들(권용주와 이준기, 2010; Kwon *et al.*, 2009; Lee, 2009)로 볼 때에 교사 자신의 교수-학습 프로그램이 학생의 두뇌의 각 영역과 네트워크들을 적절히 자극하는 구조로 설계되어 있는지에 대하여 미리 가늠해 보는 것은 과학탐구 교수-학습에 있어 매우 중요하다고 할 수 있다.

최근 과학교육에도 뇌기반 과학교육의 도입에 대해 그 필요성을 주장하는 연구들이 속속 등장하고 있다(이준기 등, 2006, 2008, 2009; 권용주 등, 2006, 2007a, 2007b; 권석원과 권용주, 2009; 정진수와 윤성규, 2008; 정진수 등, 2009; Kwon *et al.*, 2009). 하지만 이러한 연구들은 모두 학생의 두뇌를 EEG 혹은 fMRI와 같은 고가의 두뇌활성 측정 장비를 통해 실질 측정하는 방법을 사용하고 있다. 과학탐구 교수-학습프로그램이 충실히 뇌과학적 근거에 기초하여 설계되었고, 어떤 두뇌 영역과 네트워크를 자극하는지 점검해 보기 위하여 교사가 매번 모든 학생의 두뇌를 고가의 뇌영상 기기 속에서 학생의 두뇌를 스캐닝 할 수는 없는 노릇이다. 만약 과학 교수-학습 컨설팅을 위해 매번 이러한 방식을 취할 경우, 뇌과학적인 정확도는 높아지겠지만 이를 운용할 수 있는 집단은 일부 전문 연구자 그룹에 국한되는 점으로 볼 때에 현장에서의 활용도와 유용성은 극히 제한적이라 할 수

있겠다. 즉, 높아진 뇌과학과 뇌기반 과학교육에 대한 현장의 관심으로 인해 일선 교사가 자신의 수업을 뇌과학에 기초한 형태로 개선-변형하고자 하여도 현재로서는 이를 점검해줄 어떠한 수업 분석틀도 보고되어 있지 않은 실정이다. 따라서 보다 활용이 용이하고 실제의(authentic) 뇌과학적 근거에 기반을 둔 두뇌기반 수업분석틀의 개발이 시급히 요구되는 시점이다.

비록 과학교육분야에서는 실제 뇌과학 자료를 바탕으로 한 두뇌기반 수업분석틀이 개발되어있지 않은 상태이지만, 최근 각광받고 있는 분야인 신경마케팅(Neuro-marketing) 영역에서는 'Limbic[®] map'과 'Limbic type[®]'이라는 광고 및 소비자성향 분석틀이 소개된 바 있다. Limbic[®] map과 Limbic type[®]은 현실적으로 '모든 소비자의 두뇌활성 패턴을 측정해 볼 수 없는 상태에서 뇌과학적 근거에 입각한 마케팅 분석을 할 수 있는 방법이 없을까?'라는 고민에서부터 탄생되었다. 이 분석틀을 제작한 연구진들은 기존의 최신 뇌과학 문헌들을 면밀히 분석하고 공통요소를 귀납적으로 추출하여 실 측정 없이도 쉽게 광고나 소비자의 성향을 진단할 수 있는 분석틀을 구성한 것이다(Häusel, 2008).

이 연구는 'Limbic[®] map'과 'Limbic type[®]' 개발 과정에서처럼 선행연구 분석을 통해 제시된 항목요소들을 바탕으로 최신 뇌과학 문헌들의 실측 데이터들을 메타적으로 통합함으로써 뇌과학적 근거에 기반을 둔 과학 교수-학습프로그램 분석틀을 개발하고자 실시되었다.

II. 연구방법과 내용

1. 연구대상 문헌

연구대상으로는 1990년대 이후에 발표된 뇌과학 및 인지신경과학 문헌들 중에서 과학 교수-학습과정 분석항목과 관련되는 93편이 선정되었다. 결과의 신뢰성을 위하여 분석에 사용된 모든 문헌은 KCI 및 SCI에 등재된 저널로만 한정하였다. 또한 연구에 사용된 모든 문헌은, 문헌적 추정에 의해 도출된 심리학적 연구 문헌 배제하고, EEG, fMRI나 PET 등의 두뇌영상 측정 실험을 통해 얻은 두뇌활성 패턴에 대한 실측 자료들을 제시한 경우에만 유효 문헌으로 인정하였다.

2. 연구절차

연구자는 먼저 선행연구 내용들을 기반으로 과학 교수-학습프로그램의 두뇌기반 분석틀 개발을 위한 분석항목을 구성하였고, 이를 다시 93편의 뇌과학 및 인지신경과학 문헌들의 분석에 적용하였다. 이때, 두뇌활성 영역들에 대해 해당 문헌이 제시하고 있는 연구결과들의 공통성을 찾아내고 이에 대한 개념화를 시도하였다.

두 번째로 연구자는 두뇌의 해부학적 영역별로 수집화된 연구결과를 바탕으로 과학 교수-학습프로그램 분석을 위한 기능, 정의, 학습프로그램에서의 예시를 포함하는 분석틀을 제작하였다. 이 과정에서 정기적인 세미나를 통하여 분석틀을 수정-보완하였으며, 최종적으로 분석 신뢰도를 확보하기 위해서 과학교육 전문가 3인 및 뇌과학 전문가 3인에게 의뢰하여 내용 타당도를 확보하였다. 내용타당도는 80% 이상인 경우 타당하다고 판단된다(Davis, 1992).

3. 두뇌기반 분석틀 개발을 위한 분석항목 선정

이 연구에서는 두뇌기반 과학 교수-학습프로그램의 분석틀 개발을 위해, 많은 국내외 뇌기반 학습프로그램들(임채성, 2005; 임채성, 2009; Connell, 2005; Jensen, 2000; Sousa, 2001)이 기초 원리로 삼고 있는 MacLean (1978, 1990)의 삼위일체 뇌 모델(triune model of the brain)에 따라 연구대상 문헌들을 인지, 동기 그리고 감성의 측면에서 살펴보았다. 이것은 두뇌의 해부학적 특징을 통해서도 나타나고 있는데, 인간의 대뇌는 크게 나누어 추상적 사고와 탐구과정에서의 지식생성에서 중추적 영향을 담당하고 있는 신피질(neocortex) 영역, 흥미나 공포와 같은 정서적 반응의 조절과 생성을 통해 감성의 중추로 불리는 변연계(limbic system), 마지막으로 인간 두뇌의 가장 깊숙한 곳에 자리하면서 중독과 같은 뇌내 마약물질의 분비작용을 통해 내·외적 동기의 근원이 되는 보상을 통제하는 중뇌 보상계(midbrain reward system)로 이루어진다(Rosenzweig *et al.*, 2005). 따라서 모든 학습을 뇌에서 이루어지는 것으로 전제하는 교육신경학의 논리에 비추어 볼 때, 해당 학습프로그램이 학습자의 전뇌(whole brain)에 대해 어떤 부분을 어떻게 자극할 것인지를 가늠하기 위한 분석

항목으로 적절하다고 판단된다. 이들 분석항목에 대해 보다 자세히 살펴보면 다음과 같다.

1) 과학 교수-학습프로그램의 인지적 측면

과학 학습에는 학습자가 능동적으로 지식을 생성하는 탐구학습 유형과 지식을 수동적으로 받아들이는 지식이해형 학습이 있다. 탐구 학습은 학습자가 처한 문제상황 혹은 의문현상에 대한 과학지식을 그들 스스로 생성해 내는 '지식생성형 학습'을 의미한다(권용주 등, 2008). 이러한 과학지식은 학습자의 기억장소에 자연현상에 관해서 획득한 구조화된 정보를 기억장소에 체계적으로 저장해 놓은 것이며, 결국 학습자의 인지활동의 결과물로 나타나는 것이다(Solso, 2001). 이것은 앞서 설명한 뇌의 세 영역 중 신피질 영역에서 주로 담당하는 것이다.

또한 과학지식의 유형은 표상 유형에 따라 선언적 지식(declarative knowledge)과 절차적 지식(procedural knowledge)으로 구분될 수 있다. 선언적 지식은 과학적 지식생성의 결과 생성되는 사실, 법칙, 이론 등과 같은 '결과적 지식(terminal knowledge)'과, 과학적 탐구의 과정에서 발상 되는 의문, 의문에 대한 임시적인 설명인 가설, 가설평가를 위해 고안된 검증 방법, 평가기준 등과 같은 '중간적 지식(intermediate knowledge)'으로 다시 구분될 수 있다. 그에 반해, 절차적 지식은 선언적 지식을 산출하는데 요구되는 암묵적인 지식을 의미한다. 즉 과학 지식생성에서 사실, 이론, 의문, 가설, 검증방법 등의 선언적 지식을 산출하기 위해 표상되어야 하는 암묵적인 지식들이 곧 절차적 지식이다. 따라서 절차적 지식에는 탐구 전략, 과학적 추론, 실험 기구 조작 방법 등이 포함된다고 할 수 있다(권용주 등, 2003).

학생의 어떠한 단순한 지식생성과정도 한 종류의 과학지식만으로 이루어지지 않으며, 결과적 지식, 중간적 지식 그리고 절차적 지식이 상호작용해야만 온전히 이루어질 수 있다(권용주 등, 2009). 따라서 과학 교수-학습프로그램의 인지적 측면에 대한 분석에 있어, 이들이 어떤 과학지식을 생성해 내는 교수-학습프로그램인가를 살펴보는 것은 중요하다고 할 수 있다.

2) 과학 교수-학습프로그램의 동기적 측면

동기라는 용어는 원래 라틴어의 'movere'라는 말

에서 유래된 것으로서 ‘움직인다’는 의미를 가진다. 움직임(movement)의 의미는 동기를 우리가 가도록 하는 것, 계속 움직이도록 하는 것, 일을 하도록 하는 것이라는 상식적인 뜻에 반영되어 있다. 동기의 정의에 대한 학자들의 의견은 다양하지만 그 뜻하는 바는 거의 같다고 할 수 있다. 동기(motive)란 인간 행동의 에너지이고 행동의 활성을 증감시키며 행동의 방향을 결정해주는 심리적 요인이며, 행동을 발생하게 하고 그 행동이 계속해서 지적되도록 하며, 특정한 행동을 선택하게 하는 과정이다(Reeve, 2001). 이는 우리 뇌의 가장 깊숙한 곳에 위치한 중뇌와 선조체 및 측좌핵과 같은 보상계에서 일어나며 도파민(dopamine)이라는 쾌락물질의 분비 및 수용으로 조절되는 것으로 알려져 있다(Mizuno *et al.*, 2008).

이러한 학습자들의 학습동기는 일반적으로 내재적 동기와 외재적 동기로 구분해 볼 수 있다(Reeve, 2001). 내재적 동기(intrinsic motive)는 행동의 전개 자체가 목적이 된다. 즉, 학습하는 것 그 자체에 의미를 갖고 학습자 스스로 학습하는 경우이다. 외재적 동기(extrinsic motive)는 행동의 목적이 행동 이외의 것이어서, 학교에서 상을 주거나 진급 등의 보상을 사용하여 학습시키는 경우이다. 외재적 동기는 학습을 하지 않더라도 동기를 만족시키는 다른 방법이 존재할 수 있다

과학교육에서도 동기의 중요성이 많은 연구자들로부터 인식되어 동기가 강조된 교수-학습에 대한 연구가 진행되어 온 바 있다. 아무리 수업소재나 교재 등이 학생들이 재미있어 하는 것으로만 구성되었다고 하더라도 교육현장에서 교사들에 의한 동기부여가 적절히 이루어지지 않으면 그 흥미는 일회성에 그칠 가능성이 높다(김동렬 등, 2007). 학생 스스로 의문상황을 해결하고 자신만의 지식을 생성해 나가도록 돕는 과정인 과학수업의 지도에서 동기부여는 중요한 항목이다. 따라서 이 연구에서는 과학 교수-학습프로그램의 동기적 측면을 분석함에 있어 내재적 동기와 외재적 동기의 두 가지로 나누어 분석해 보았다.

3) 과학 교수-학습프로그램의 감성적 측면

과학수업에 대한 전통적 견해에 따르면 감성은 과학적 사고과정 속에서 그 역할이 미미하며, 이성에 대한 반대개념으로써 신뢰성이 없고 충동적이며, 논리적 사고에 대한 방해물 정도로만 여겨져 왔다(권용주

등, 2004). 그러나 최근의 많은 연구들은 감성이 과학적 사고의 모든 과정에서 나타날 뿐 아니라 필수적인 요소로 작용함을 보여주고 있다(신동훈, 2006; 이준기와 권용주, 2008; 정진수, 2007; 정진수 등, 2007). 특히, 어린 학습자들 뿐 아니라 과학자들에게서까지도 과학적 사고과정에서의 감성의 역할이 중요하게 작용했음이 재확인되고 있다(Thagard, 2002).

감성은 뇌의 세가지 영역 중 변연계에서 대부분 관장하고 있지만, 최근의 연구결과에 의하면 일부 전두엽 영역에서도 감성과 관련된 중요한 기능을 하는 것으로 드러나고 있다(Damasio, 1994). 뿐만 아니라 인간의 어떤 기억이나 추론도 감성과 분리되어 일어날 수 없다는 뇌과학의 증거들은 이 영역의 중요성을 말해주고 있다(LeDoux, 1996). 즉, 과학 교수-학습프로그램 분석에서도 감성을 배제한 인지영역만으로는 학습자들의 두뇌활동 전반을 이해했다고 보기 어렵다.

과학탐구 도중 나타나는 감성들에 대해서는 선행연구들에 의해 긍정감성 뿐만 아니라 부정감성들도 나타남이 보고된 바 있다. 긍정감성이 탐구과정과 학업성취도와 정적 상관관계를 형성함을 보고하는 연구가 많지만, 부정감성 역시 반드시 과학탐구에 나쁘게만 작용하는 것은 아니다(권용주 등, 2004). 따라서 이 연구에서는 과학 교수-학습프로그램의 감성적 측면을 크게 긍정감성과 부정감성의 두 가지로 나누어 분석해 보았다.

지금까지 설명한 과학 교수-학습프로그램의 두뇌기반 분석틀 개발을 위한 세 가지 범주와 그 하위 범주들을 종합적으로 정리하면 그림 1과 같다.

Ⅲ. 연구 결과 및 논의

1. 과학수업 관련 두뇌기능 영역의 분석

과학 교수-학습프로그램의 두뇌 기능과 관련된 뇌과학 문헌분석은 교수-학습 프로그램 관련 연구대상 문헌들을 통해 1차적으로 선정된 항목들을 기준으로 하여 실시되었다. 그림 1에서 제시한 바와 같이 인지, 동기, 감성적 측면을 고려하고 인지 항목에서 선언적 지식과 절차적 지식, 동기 항목에서는 외재적 동기와 내재적 동기 그리고 감성 항목에서는 긍정감성과 부정감성이라는 기준으로 점검하였다. 마지막으로 세부 항목인 인지 항목에 대해 결과적 지식과 중간적 지식

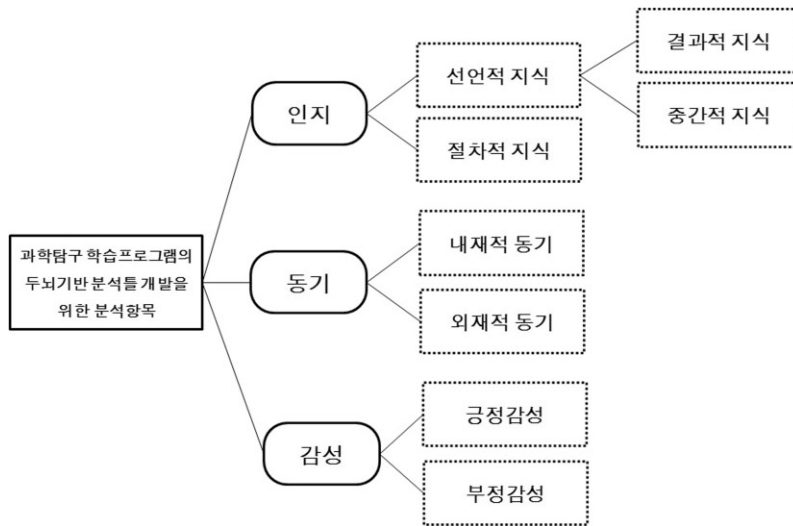


그림 1 과학 교수-학습프로그램의 두뇌기반 분석틀 개발을 위한 분석항목

이라는 기준으로 분석하였다.

이 연구에서는 이들 항목들을 기준으로 동일하거나 하위인지기능을 공유하는 정신활동에 대한 뇌과학 연구문헌들에서 나타나는 두뇌활성영역 및 네트워크 결과를 비교-분석하여 통합적 결론을 도출코자 하였다. 최초 기준이 되는 영역 범위는 선행연구들에서 많이 사용되고 있는 기능-해부학적 영역구분을 활용하였다(Cabeza & Nyberg, 2000; Rosenzweig *et al.*, 2005).

1) 인지 영역에 대한 뇌 과학 문헌 분석결과

뇌과학 문헌 분석 결과, 첫째, 과학 교수-학습프로그램 평가의 인지 항목 중 선언적 지식 중 결과적 지식과 관련된 두뇌 활성 영역은 28개의 활성 영역이 발견되었다. 이들은 양측 배외측전전두피질 (DLPFC; dorsolateral prefrontal cortex), 양측 복외측전전두피질(VLPFC; ventrolateral prefrontal cortex), 양측 안와전두피질(OFC; orbitofrontal cortex), 전방대상이랑(ACG; anterior cingulate gyrus), 후방대상이랑(PCG; posterior cingulate gyrus), 양측 상두정소엽(SPL; superior parietal lobule), 양측 하두정소엽(IPL; inferior parietal lobule), 양측 상측두이랑(STG; superior temporal gyrus), 양측 중측두이랑(MTG; middle temporal gyrus), 양측 하측두이랑(ITG; inferior temporal gyrus), 양측 상후두이랑(SOG; superior occipital gyrus), 양측 중

후두이랑(MOG; middle occipital gyrus), 양측 하후두이랑(IOG; inferior occipital gyrus), 양측 해마(HIPPO; hippocampus), 양측 선조체(STRI; striatum)영역이었다(표 1).

둘째, 선언적 지식 중 중간적 지식과 관련된 두뇌 활성 영역은 29개의 활성 영역이 발견되었다. 이들은 양측 배외측전전두피질, 양측 복외측전전두피질, 양측 안와전두피질, 전방대상이랑, 후방대상이랑, 양측 상두정소엽, 양측 하두정소엽, 양측 상측두이랑, 양측 중측두이랑, 양측 하측두이랑, 양측 상후두이랑, 양측 중후두이랑, 양측 하후두이랑, 양측 해마, 양측 선조체, 중뇌(MID; midbrain) 영역이었다(표 1).

셋째, 절차적 지식과 관련된 두뇌 활성 영역은 25개의 활성 영역이 발견되었다. 이들은 양측 배외측전전두피질, 양측 복외측전전두피질, 양측 안와전두피질, 전방대상이랑, 후방대상이랑, 양측 상두정소엽, 양측 하두정소엽, 양측 상측두이랑, 양측 중측두이랑, 양측 하측두이랑, 좌측 상후두이랑, 좌측 중후두이랑, 양측 해마, 양측 선조체, 중뇌이었다(표 1).

과학 교수-학습프로그램의 인지 항목에 관한 뇌과학 문헌 분석을 종합해보면, 일부 항목요소에서 안와전두피질, 대상이랑, 편도체, 해마, 선조체, 측좌핵, 중뇌영역이 관련되었지만, 대부분의 문헌에서 공통적으로 관련된 주요 두뇌 영역은 추상정보의 구성 및 생성에 관여하는 좌측 배외측전전두피질, 추상정보의

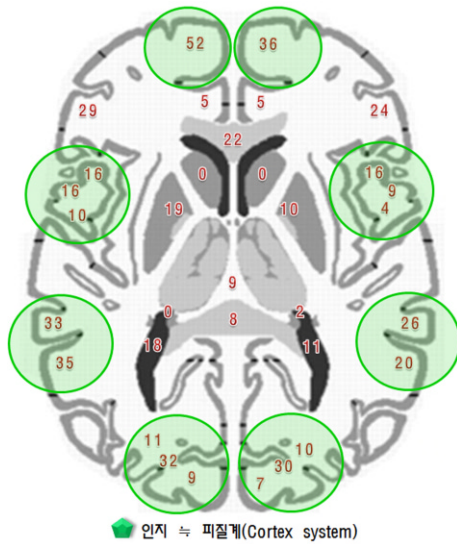


그림 2 인지 항목에 관한 뇌과학 문헌 분석결과 (숫자는 문헌상의 두뇌활성 결과 출현 빈도수, 초록색 원안은 동일 기능영역).

유지에 관여하는 우측 배외측전두피질, 정보의 상세 탐색 및 연합과 청각에 관여하는 양측 측두피질(temporal cortex), 시공간정보-수리정보의 유지 및 운용에 관여하는 양측 두정피질(parietal cortex), 구체적 정보의 수집 및 시각에 관여하는 양측 후두피질(occipital cortex)로 나타났다(그림 2)(권용주 등, 2007b; 이준기 등, 2009; Lee et al., 2008; Lotze et al., 2006; Lee et al., 2009; Goel & Dolan, 2003; Qiu et al., 2008). 양측 측두피질, 양측 두정피질, 양측 후두피질은 표 1에서 동일한 기능을 수행하는 영역들을 통합한 영역들이다. 이들 두뇌 영역들은 대부분 대뇌 피질계(cortex system)로, 과학 교수-학습 과정에서 인지 항목 요소들이 주로 피질계 영역에서 일어나는 것을 나타낸다.

2) 동기 항목에 대한 뇌 과학 문헌의 분석결과

동기 항목에 대한 문헌분석 결과, 첫째, 외재적 동기와 관련된 두뇌 활성화 영역은 24개의 활성화 영역이 발견되었다. 이들은 좌·우측 배외측전두피질, 양측 복외측전두피질, 양측 안와전두피질, 전방대상이랑, 후방대상이랑, 양측 상두정소엽, 좌·우측 하두정소엽, 양측 상측두이랑, 양측 중측두이랑, 좌측 중후두이랑, 양측 해마, 좌·우측 선조체, 양측 측좌핵, 중뇌영역이었다(표 1).

둘째, 내재적 동기와 관련된 두뇌 활성화 영역은 14개의 활성화 영역이 발견되었다. 이들은 양측 배외측전두피질, 양측 복외측전두피질, 양측 안와전두피질, 전방대상이랑, 양측 상두정소엽, 양측 하두정소엽, 우측 중측두이랑, 양측 선조체영역이었다(표 1).

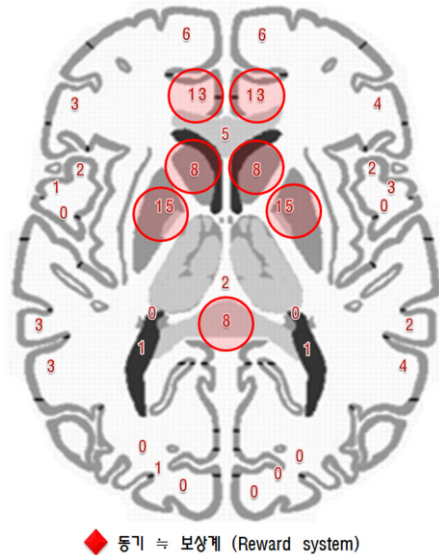


그림 3 동기 항목에 관한 뇌과학 문헌 분석결과 (숫자는 문헌상의 두뇌활성 결과 출현 빈도수, 최고빈도수의 절반 이상이 나타난 영역을 유효 영역으로 인정)

과학 교수-학습프로그램의 동기 항목에 관한 뇌과학 문헌 분석을 종합해보면, 배외측전두피질, 복외측전두피질, 대상이랑, 두정피질, 측두피질, 후두피질이 일부 관련되었지만, 대부분의 문헌에서 공통적으로 관련된 주요 두뇌 영역은 보상판단 및 감정조절과 후각에 관여하는 양측 안와전두피질, 긍정감성-보상 및 도파민 분비에 관여하는 양측 측좌핵과 양측 선조체, 보상중추로 알려진 중뇌로 나타났다(그림 3)(Berns et al., 2001; Camara et al., 2009; Delgado et al., 2008; McClure et al., 2004; Mizuno et al., 2008). 이들 영역들은 대부분 두뇌 보상계(reward system)영역으로, 과학 교수-학습 과정에서 동기 항목 요소들이 주로 보상계 영역에서 일어나는 것을 나타낸다.

3) 감성 항목에 대한 뇌 과학 문헌의 분석결과

감성 항목에 대한 문헌분석 결과, 첫째, 긍정감성과 관련된 두뇌 활성화 영역은 22개의 활성화 영역이 발견되

었다. 이들은 좌측 배외측전전두피질, 양측 복외측전전두피질, 양측 안와전두피질, 전방대상이랑, 후방대상이랑, 좌측 상두정소엽, 우측 하두정소엽, 양측 상측두이랑, 양측 상후두이랑, 양측 중후두이랑, 양측 해마, 양측 선조체, 양측 측좌핵, 중뇌영역이다(표 1).

둘째, 부정감성과 관련된 두뇌 활성화 영역은 11개의 활성화 영역이 발견되었다. 이들은 우측 복외측전전두피질, 양측 안와전두피질, 전방대상이랑, 양측 상두정소엽, 양측 하두정소엽, 양측 하후두이랑, 양측 편도체영역이다(표 1).

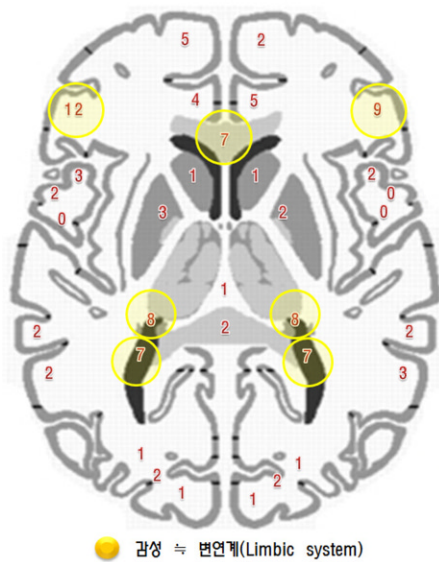


그림 4 감성 항목에 관한 뇌과학 문헌 분석결과 (숫자는 문헌상의 두뇌활성 결과 출현 빈도수, 최고빈도수의 절반 이상이 나타난 영역을 유효 영역으로 인정)

과학 교수-학습프로그램의 감성 항목에 관한 뇌과학 문헌 분석을 종합해보면, 배외측전전두피질, 복외측전전두피질, 두정피질, 후두피질, 선조체, 측좌핵, 중뇌영역이 일부 관련되었지만, 대부분의 문헌에서 공통적으로 관련된 주요 두뇌 영역은 감성 및 정보의 평가에 관여하는 대상이랑, 감성 및 새로운 정보의 부호화 및 기억에 관여하는 좌측 해마, 감성 및 기억의 재인에 관여하는 우측해마, 공포 및 조건화와 부정감성에 관여하는 양측 편도체로 나타났다(그림 4). 이들 두뇌 영역들은 대부분 변연계(limbic system)로(Bartels & Zeki, 2004; Mak et al., 2009; Marco et al., 2006; Naqvi et al., 2006; Phan et al., 2002), 과학 교수-학습 과정에서 감성 항목 요소들이 주로 두뇌의

변연계 영역에서 일어나는 것을 의미한다.

2. 두뇌기반 과학 교수학습 프로그램 분석틀 개발

1) 과학 교수-학습 프로그램 관련 통합 Brain Map 고안

표 1과 같이 과학수업과 관련된 뇌과학 문헌들의 다양한 두뇌활성 근거들을 분석하면 대체로 그림 2~4와 같은 인지, 동기, 감성 별 두뇌의 해부학적 구분인 대뇌 피질계(cerebral cortex system), 중뇌 보상계(midbrain reward system) 그리고 엽하의 변연계(sub-lobar limbic system)로 유집되는 것을 발견할 수 있었다. 그런 다음, 그림 2~4의 두뇌기능 영역을 통합하면 하나의 통합된 'CORE (Cognition, Reward and Emotion) Brain Map' 을 얻을 수 있다(그림 5). 이것은 MacLean (1990)이 주장한 '뇌의 삼위일체(The triune brain)' 이론과 부합되며, 인간의 고등정신 기능인 교육과 학습의 두뇌 기능을 표현하고 분석하는데 효과적인 분석 지도가 될 수 있다.

2) 두뇌기반 과학 교수-학습프로그램 분석틀 개발

그림 5의 CORE Brain Map에 나타난 과학 교수-학습 관련 두뇌영역과 기능 요소를 바탕으로 두뇌기반 과학 교수-학습프로그램 분석틀을 구성해 보면 표 2와 같은 체계로 구성할 수 있다. 분석틀의 구성 항목인 각 두뇌영역들의 주요기능, 정의 그리고 과학 교수-학습프로그램에서의 예시에 대해서는 과학교육전문가 및 뇌과학 전문가 3인에게 검토를 받은 후 수정을 거쳐 내용타당도를 의뢰했다. 그 결과 내용타당도 지수 0.95를 얻었고, 내도의 일반적인 수락기준인 0.80(Davis, 1992) 이상에 해당하므로 매우 높다고 볼 수 있다. 이 분석틀을 바탕으로 프로그램의 인지, 동기, 그리고 감성 관련 두뇌기능의 활성화 정도를 분석한다면 교수-학습에서 프로그램의 효과를 두뇌기능기반에서 체계적으로 과학적으로 평가할 수 있을 것이다. 또한, 두뇌기반 과학 교수-학습프로그램 분석틀(표 2)의 항목을 통해 학습프로그램들을 분석한 뒤, CORE Brain Map(그림 5)에 pointing하여 분석대상 학습프로그램의 두뇌 활성화 자극 정도를 표현한다면 그 프로그램의 두뇌활성 정도를 더욱 용이하게 가능 할 수 있다.

표 1
과학관련 뇌과학 문헌에서 나타난 두뇌활성 결과

| 관련 근거 문헌 | 해당 두뇌 영역 | | | | | | | | | | | | | | 항목요소 | | | | | |
|------------------------------------|----------|------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------|-------|------|-----|-----|--------|
| | DLPFC | VLPC | OFC | ACG | PCG | SPL | IPL | STG | MTG | ITG | SOG | MOG | IOG | AMY | | HIPPO | STRI | NAC | MID | |
| | L | R | L | R | L | R | L | R | L | R | L | R | L | R | L | R | L | R | C | |
| 권석원(2009) | ✓ | | | | | | | | | | | ✓ | ✓ | | | | | | ✓ | 중간적 지식 |
| 권용주 등(2006) | ✓ | ✓ | ✓ | | | ✓ | ✓ | ✓ | | | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | | | | | | 결과적 지식 |
| 권용주 등(2007a) | ✓ | ✓ | | ✓ | | ✓ | ✓ | ✓ | | | | | | | | | | | | 중간적 지식 |
| 권용주 등(2007b) | ✓ | ✓ | | ✓ | | ✓ | ✓ | | | | ✓ | ✓ | ✓ | | | | | | | 중간적 지식 |
| 권용주와 이준기(2007) | ✓ | | | | | ✓ | | ✓ | ✓ | | ✓ | ✓ | ✓ | | | | | | | 중간적 지식 |
| 이준기 등(2006) | ✓ | ✓ | ✓ | | | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | | ✓ | ✓ | ✓ | | | | | | | 중간적 지식 |
| 이준기 등(2008) | ✓ | ✓ | ✓ | | | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | | ✓ | ✓ | ✓ | | | | | | | 결과적 지식 |
| 이준기 등(2009) | ✓ | | | | | ✓ | ✓ | ✓ | | | ✓ | ✓ | ✓ | | | | | | | 중간적 지식 |
| 이준기 등(2009) | ✓ | | | | | ✓ | ✓ | ✓ | | | ✓ | ✓ | ✓ | | | | | | | 결과적 지식 |
| 권용주와 이준기(2010) | ✓ | ✓ | ✓ | | | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | | ✓ | ✓ | ✓ | | | | | | | 결과적 지식 |
| 이혜정 등(2008) | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | | ✓ | ✓ | ✓ | | | | | | | 결과적 지식 |
| Aron et al. (2004) | | | ✓ | ✓ | ✓ | | | | | | | | | | | | | | | 결과적 지식 |
| Bar (2007) | ✓ | | ✓ | ✓ | ✓ | | | | | | ✓ | ✓ | ✓ | | | | | | | 중간적 지식 |
| Bartels & Zeki (2004) | | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | | | | | | | | | | | | | | | 공정감성 |
| Berns et al. (2001) | | | ✓ | ✓ | ✓ | | | | | | | | | | | | | | | 외재적 동기 |
| Blackwood et al. (2004) | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | | | | | | ✓ | ✓ | ✓ | | | | | | | 중간적 지식 |
| Camara et al. (2009) | ✓ | ✓ | | ✓ | | ✓ | ✓ | ✓ | | | | | | | | | | | | 외재적 동기 |
| Camara et al. (2009) | ✓ | ✓ | | ✓ | | ✓ | ✓ | ✓ | | | | | | | | | | | | 부정감성 |
| Canessa et al. (2005) | ✓ | ✓ | | ✓ | | ✓ | ✓ | ✓ | | | | | | | | | | | | 중간적 지식 |
| Castriota-Scanderbeg et al. (2005) | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | | | | | | | | | | | | | | | 결과적 지식 |

주) DLPFC (dorsolateral prefrontal cortex; 배외측전두피질), VLPCF (ventrolateral prefrontal cortex; 복외측전두피질), OFC (orbitofrontal cortex; 안외측전두피질), ACG (anterior cingulate gyrus; 전방대상이랑), PCG (posterior cingulate gyrus; 후방대상이랑), SPL (superior parietal lobule; 상두정소엽), IPL (inferior parietal lobule; 하두정소엽), STG (superior temporal gyrus; 상측두이랑), MTG (middle temporal gyrus; 중측두이랑), ITG (inferior temporal gyrus; 하측두이랑), SOG (superior occipital gyrus; 상후두이랑), MOG (middle occipital gyrus; 중후두이랑), IOG (inferior occipital gyrus; 하후두이랑), AMY (amygdala; 편도체), HIPPO (hippocampus; 해마), STRI (striatum; 신조체), NAC (nucleus accumbens; 측좌핵), MID (midbrain; 중뇌), L (left hemisphere; 좌반구), R (right hemisphere; 우반구)

표 1 (계속)

| 해당 두뇌 영역 | DL PFC VLPFC OFC ACG POG SPL IPL STG MTG ITG SOG MOG IOG AMY HIPPO STRI NAC MID | | | | | | | | | | | | | | 형목요소 | | | | | |
|-------------------------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|------|---|---|---|---|--------|
| | L | R | L | R | C | C | L | R | L | R | L | R | L | R | | L | R | L | R | C |
| Koenig et al. (2005) | ✓ | | | | ✓ | | | | | | | | | | | | | | ✓ | 결과적 지식 |
| Kuperberg et al. (2006) | ✓ | ✓ | ✓ | | | | | | ✓ | | | | | | | | | | | 중간적 지식 |
| Kwon et al. (2009) | ✓ | ✓ | ✓ | | ✓ | | | | | | | | | | | | | | ✓ | 중간적 지식 |
| Lee et al. (2008) | ✓ | | | ✓ | | | | | | | | | | | | | | | | 결과적 지식 |
| Lee et al. (2009) | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | | | | | ✓ | | | | | | | | | | ✓ | 중간적 지식 |
| Leube et al. (2001) | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | | | | | ✓ | | | | | | | | | | ✓ | 결과적 지식 |
| Lisman & Grace (2005) | | | | | ✓ | | | | | | | | | | | | | | ✓ | 공정감성 |
| Little et al. (2004) | ✓ | | | | | | | | | | | | | | | | | | ✓ | 결과적 지식 |
| Lotze et al. (2006) | ✓ | ✓ | ✓ | | | | | | | | | | | | | | | | ✓ | 결과적 지식 |
| Mak et al. (2009) | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | | | | | | | | | | | | | | | ✓ | 공정감성 |
| Mak et al. (2009) | ✓ | | | | ✓ | | | | | | | | | | | | | | ✓ | 부정감성 |
| Marco et al. (2006) | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | | | | | | | | | | | | | | | ✓ | 부정감성 |
| Martin et al. (1996) | ✓ | | | | | | | | | | | | | | | | | | ✓ | 중간적 지식 |
| Mason & Just (2004) | ✓ | | | | | | | | | | | | | | | | | | ✓ | 중간적 지식 |
| Mazard et al. (2005) | ✓ | | | | | | | | | | | | | | | | | | ✓ | 결과적 지식 |
| McClure et al. (2003) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | ✓ | 외재적 동기 |
| McClure et al. (2004) | ✓ | | | | | | | | | | | | | | | | | | ✓ | 외재적 동기 |
| Medford (2005) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | ✓ | 공정감성 |
| Mizuno et al. (2008) | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | | | | | | | | | | | | | | ✓ | 외재적 동기 |
| Mizuno et al. (2008) | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | | | | | | | | | | | | | | ✓ | 내재적 동기 |
| Moll et al (2000) | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | | | | | | | | | | | | | | | ✓ | 중간적 지식 |
| Naqvi et al. (2006) | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | | | | | | | | | | | | | | | ✓ | 중간적 지식 |
| Naqvi et al. (2006) | ✓ | | | | | | | | | | | | | | | | | | ✓ | 공정감성 |
| Naqvi et al. (2006) | ✓ | | | | | | | | | | | | | | | | | | ✓ | 부정감성 |
| Okuda et al. (2003) | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | | | | | | | | | | | | | | | ✓ | 중간적 지식 |
| Pagnoni et al. (2002) | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | | | | | | | | | | | | | | | ✓ | 외재적 동기 |
| Parris et al. (2009) | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | | | | | | | | | | | | | | | ✓ | 중간적 지식 |
| Pastor et al. (2008) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | ✓ | 중간적 지식 |

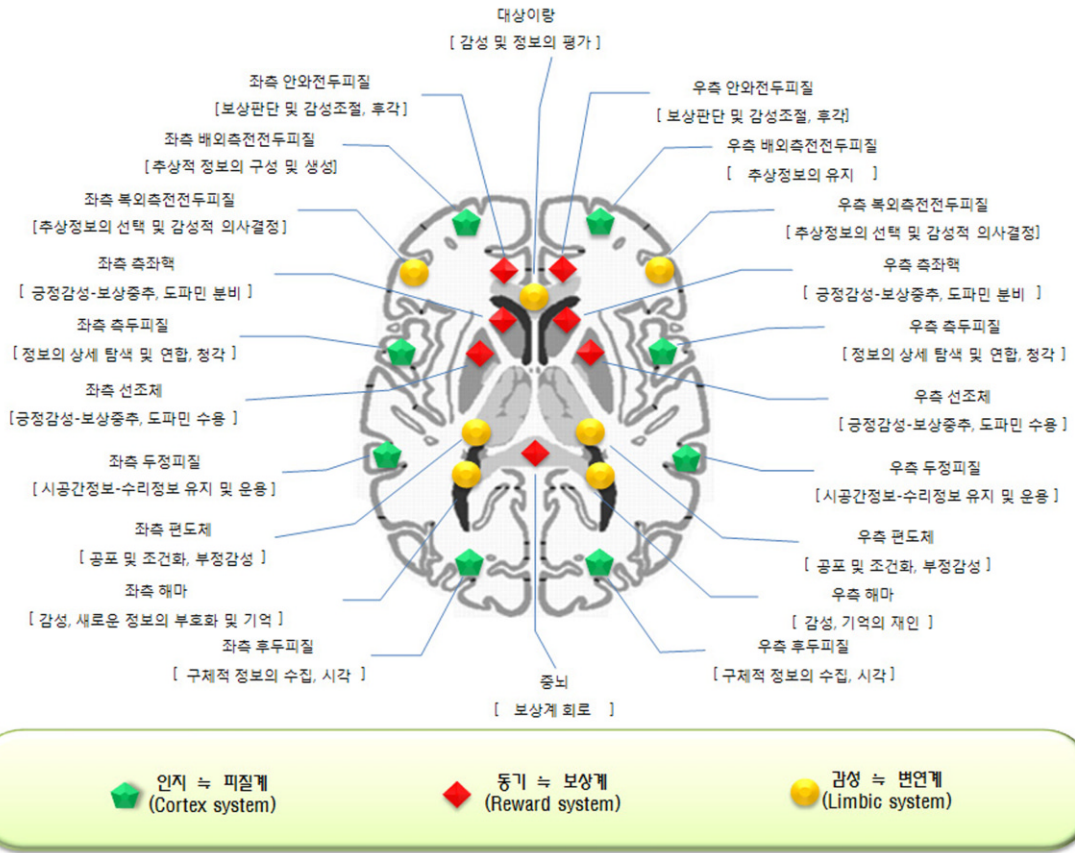


그림 5 두뇌기반 과학 교수-학습 프로그램 분석을 위한 CORE Brain Map

IV. 결론 및 교육적 적용

이 연구에서는 과학 교수-학습과정과 관련된 선행 연구들을 통해 제시된 분석항목에 근거하여 최신 뇌 과학문헌을 리뷰하고, 이를 통해 뇌과학적 근거에 기반한 두뇌기반 과학 교수-학습프로그램 분석틀을 개발하였다. 이 연구의 결과를 통해 얻을 수 있는 결론 및 교육적 시사점은 다음과 같다.

과학 교수-학습 관련 선행문헌에서 제시된 인지-동기-감성이라는 분석범주에 입각하여 뇌과학 문헌을 분석-종합해 본 결과, 과학 교수-학습프로그램들에서 주요 두뇌활성 영역은 대뇌피질, 변연계, 중뇌보상계의 세 도메인으로 유집되었다. 대뇌피질에서는 양측 안와전두피질, 양측 배외측전두피질, 양측 복외측전두피질, 양측 측두피질, 양측 두정피질, 양측 후두피질이, 변연계에서는 대상이랑, 양측 편도체, 양측 해마가, 보상계에서는 중뇌, 양측 측좌핵, 양측 선

조체가 핵심적인 영역으로 나타났다. 이를 통합하여 실질적인(authentic) 뇌과학적 근거에 기반을 둔 두뇌기반 과학 교수-학습프로그램 분석틀인 ‘CORE Brain Map’을 얻을 수 있었다.

이 연구의 결과로 개발된 두뇌기반 과학 교수-학습 프로그램 분석틀[CORE Brain Map]은 현장교사들의 과학수업에 대한 두뇌기반 수업 컨설팅에 활용이 가능할 것으로 전망된다. 또한, 두뇌기반 과학 교수-학습 프로그램 분석틀[CORE Brain Map]은 과학 교수-학습에 사용되는 각종 교재들의 구성방식에 대한 두뇌기반 진단 및 평가를 통한 컨설팅에 활용할 수 있을 것으로 전망된다. 그러나 이 연구를 통해 제시된 두뇌기반 과학 교수-학습프로그램 분석틀[CORE Brain Map]은 다음과 같은 점들로 인하여 해석상의 제한점을 지닌다.

첫째, 이 연구에서 분석에 사용된 뇌 과학 문헌들은 물론 최신의 결과들로만 구성되었다. 그러나 뇌과학

표 2
두뇌기반 과학 교수-학생프로그램 분석틀

| 항목 | 두뇌영역 | 대표적 기능 | 정의 | 예시 |
|----|------------|---------------------------------|---|---|
| 인지 | 좌측 배외측전두피질 | 추상적 정보의 생성 | 직접 관찰할 수 없는 대상에 대한 정보를 스스로 만들어 내는 것 | · 각 조는 먼저 크레아티어의 크기가 유성체의 어떤 물리량에 어떻게 관련되어있을지 가설을 설정하고 다음으로 가설을 검증할 수 있는 실험을 설계하도록 한다 |
| | 우측 배외측전두피질 | 추상적 정보의 유지 | 직접 관찰할 수 없는 대상에 대한 정보를 보존하거나 변환 없이 지행하는 것 | · 생僻인식물과 외떡잎식물의 특징에 대하여 알려준다 · 생물을 간의 먹고 먹히는 관계인 먹이그물에 대하여 알려준다 |
| | 좌측 측두피질 | 정보의 상세 탐색 / 정보의 연합 / 청각 | 관찰이나 측정을 통하여 수집한 자료를 보다 구체적으로 찾아 밝히거나 하나이상의 자료들을 조직화 하는 것 / 귀(소리)를 통해 학습자가 관찰 사실을 수집하는 것 | · 씨의 껍질을 벗기고 두 쪽으로 나누어 속의 구조를 상세히 알아보자 · 양식물에 들어있는 에너지양이 나타나있는 표 1과 영양성분이 제시된 표 2를 이용하여 준호가 점심에 먹은 음식의 에너지량을 구해보자 · 녹음기로 자신의 목소리를 1분 정도 녹음하여 들어보자 |
| 인지 | 좌측 두정피질 | 시·공간 정보 유지 및 응용 / 수리 정보 유지 및 응용 | 사물이나 현상의 위치나 크기 혹은 시간적 속성에 대한 정보를 변환 없이 보존하거나 적절한 형태로 변환하여 활용함 | · 가로축을 전압, 세로축을 온도의 변화로 하여 그래프를 그려보자 · 전압계, 진류계, 발열량 측정 장치를 이용하여 진류에 의한 물의 온도변화를 측정할 수 있는 방법을 생각해 보자 |
| | 우측 두정피질 | 시·공간 정보 유지 및 응용 / 수리 정보 유지 및 응용 | 구체적 정보의 수집 / 시각 | · 옥수수와 강낭콩 씨앗을 관찰하여 스케치해보자 · 각지에 싸여 있는 땅콩의 길모양을 들여다보고, 씨를 찾아보자 |
| 동기 | 좌측 인와전두피질 | 보상판단 / 후각 | 수업 중 학습자의 행위를 촉진하거나 학습 분위기를 조성하기 위하여 주는 물질이나 칭찬에 대하여 스스로 가능해 봄 / 수업 중 느껴지는 정서양상에 대한 조절 / 코(냄새)를 통해 학습자가 관찰사실을 수집함 | · 자석 모듬왕 선정하기: 정해진 시간 안에 자석에 붙는 곳 찾기 준비물: 개인별 자석1개 - 가장 많이 찾은 모듬을 자석 모듬왕으로 선정하기 · 연소되는 초에서 나는 냄새를 맡아보게 한다 |
| | 우측 인와전두피질 | 보상판단 / 후각 | 학습자가 학습목표 달성에 쉽게 접근하도록 유인하는 수업 중 활동이나 사례의 제시 / 수업 중 학습자의 행위를 촉진하거나 학습 분위기를 조성하기 위한 물질, 칭찬, 석차 등과 같은 외적 보상의 제시 | · 바닷물 깨뜨려~ 노래 부르기 · 바닷물 깨뜨려 돌덩이, 돌덩이 깨뜨려 돌멩이, 돌멩이 깨뜨려 자갈돌, 자갈돌 깨뜨려 모래알~ 알알 알알라 랄라 랄라 알알라 알알라~ · 위 노래에서 바닷물, 돌덩이, 돌멩이, 자갈돌, 모래알의 차이점은 무엇일까요? |

표 2 (계속)

| 항목 | 두뇌영역 | 대표적 기능 | 정의 | 예시 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|-------------|-----------------------------------|--------|--|--|------|-----|-----|------|----|----|-----|-----|-----|-----|------------|---|----|---|---|--------|--------|--------|--------|--------|
| 동기 중뇌 | 외직동기 | | 수업 중 학습자의 행위를 촉진하거나 학습 분위기를 조성하기 위한 물질, 칭찬, 석차 등과 같은 외적 보상물의 제시 | <ul style="list-style-type: none"> · 교실(필통)에서 가장 많은 물질로 이루어진 물체 찾기 / 아동들에게 주어질 상황을 잘 설명하고, 주어질 시간 내에 빨리 찾는 사람에게 보상을 해준다. - 예: 교실 - 게시판, 시계, 컴퓨터, 프린터 필통 - 사프 등 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 좌측 복외측진전두피질 | 추상정보의 선택 / 감성적 의사결정 / 긍정감성 / 부정감성 | | 직접 관찰할 수 없는 대상에 대한 정보의 선택 / 학습자의 정서 상태에 기반을 두고 행위나 태도를 정함 / 학습자에게 수업 중 유발된 정서 | <ul style="list-style-type: none"> · 대륙이동설을 뒷받침할 수 있는 여러 증거들 중 가장 유력한 증거하나를 선택해 설명하도록 한다 · 자신이 관찰한 나무들 중에 제일 마음에 드는 한 가지를 고르도록 한다 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 우측 복외측진전두피질 | 추상정보의 선택 / 감성적 의사결정 / 긍정감성 / 부정감성 | | 학습자가 자신의 정서적 상태와 수업과정에서 제시되거나 생성한 지식에 대해 스스로 기념함 | <ul style="list-style-type: none"> · 학생들에게 워크시트를 나누어주고 질문을 한다. · 아래의 표는 식물이 산발적으로 나 있는 황갈색의 모래로 된 해변에 살고 있는 네 마리의 암컷 쥐에 대한 실험이다. 어떤 쥐가 생물학적으로 가장 적합한가? 왜 이 쥐가 적합한지 설명해 보자. | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 대상이랑 | 감성의 평가 / 정보의 평가 | | | <table border="1"> <thead> <tr> <th>털 색깔</th> <th>검은색</th> <th>황갈색</th> <th>진한갈색</th> <th>흰색</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>수명</td> <td>2개월</td> <td>8개월</td> <td>4개월</td> <td>2개월</td> </tr> <tr> <td>각각이 낳은 새끼수</td> <td>0</td> <td>11</td> <td>3</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>달리는 속도</td> <td>8m/min</td> <td>6m/min</td> <td>7m/min</td> <td>5m/min</td> </tr> </tbody> </table> | 털 색깔 | 검은색 | 황갈색 | 진한갈색 | 흰색 | 수명 | 2개월 | 8개월 | 4개월 | 2개월 | 각각이 낳은 새끼수 | 0 | 11 | 3 | 0 | 달리는 속도 | 8m/min | 6m/min | 7m/min | 5m/min |
| 털 색깔 | 검은색 | 황갈색 | 진한갈색 | 흰색 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 수명 | 2개월 | 8개월 | 4개월 | 2개월 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 각각이 낳은 새끼수 | 0 | 11 | 3 | 0 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 달리는 속도 | 8m/min | 6m/min | 7m/min | 5m/min | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 감성 | | | | <ul style="list-style-type: none"> · 약물의 오 · 남용이 인체에 미치는 영향을 표 2를 보며 설명한다 · 세계 곳곳에서 발생한 생물농축에 의한 피해사례 사진을 보고, 각 사례에서 생물농축이 일어나기까지의 경로를 설명하게 한다 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 좌측 편도체 | 공포 및 조건화 / 부정 감성 | | 학습자에게 느껴지는 두렵고 무서운 정서 / 수업 중 학습자의 지구력과 반응을 적절히 연합시켜줌 / 학습자에게 수업 중 유발된 나쁜 혹은 불쾌한 정서 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 우측 편도체 | 공포 및 조건화 / 부정 감성 | | 학습자에게 수업 중 유발된 정서 / 학습자가 기존에 알고 있지 못하던 정보를 변환하고 기억함 | <ul style="list-style-type: none"> · 고체가 액체를 거치지 않고 바로 기체로 승화되는 것을 보여준다 - 준비물: 드라이아이스 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 좌측 해마 | 긍정감성 / 새로운 정보의 부호화 및 기억 | | 학습자의 기억과 연관된 수업 중 유발된 정서 / 학습자가 자신의 기억내용에 대하여 재차 인식하게 됨 | <ul style="list-style-type: none"> · 선수학습 확인 - 뿌리가 드러난 식물의 사진을 보여주면서 뿌리의 역할에 대한 질문에 답하도록 한다 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 우측 해마 | 긍정감성 / 부정감성 / 기억의 재인 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

및 인지신경과학은 하루에도 수백 편 이상의 논문이 출판되고 있기 때문에 모든 관련문헌을 연구대상으로 하는 것이 사실상 불가능하다. 따라서 모든 교수-학습 상황을 분석할 수 있는 다양한 뇌기능 전반에 대한 일반화된 해석에는 제한점을 지닌다. 차후에 더욱 다양한 연구결과들을 추가해 해석의 스펙트럼을 넓혀 나아가야 할 것이다.

둘째, 과학 교수-학습프로그램의 분석은 장차 일어날 학생의 반응을 전제로 이루어지기 때문에 학생이 생성한 지식이 직접적으로 표현된 활동지 분석과는 차이가 있다. 인지, 동기 항목의 경우 학습프로그램이 전제한 내용과 학생의 실제 반응이 대부분 일치하지만, 감성 항목의 경우 학생 개인에 따라 일부 다르게 나타날 수도 있다. 따라서 감성 항목에 대한 분석은 일부 제한점을 갖는다. 이는 실제 교수-학습 과정에서의 학생 감성 자료들이 대단위로 모일 때 보완될 수 있을 것이다.

국문 요약

이 연구의 목적은 과학 교수-학습프로그램을 평가하기 위한 두뇌기반 분석틀을 개발하는 것이다. 분석틀의 개발을 위해, 이 연구는 과학 교수-학습과 관련된 선행연구들로부터 교수-학습 프로그램의 분석항목을 3가지로 범주화 하였다: 인지, 동기, 감성. 첫 번째로, 각 항목에 관련된 두뇌활성 영역을 파악하기 위하여 과학수업과 관련된 두뇌 기능에 대한 93편의 뇌과학 문헌들을 분석하였다. 두 번째로, 두뇌의 해부학적 영역별로 범주화된 연구결과를 바탕으로 과학 교수-학습프로그램 분석을 위한 분석틀을 제작하였다. 분석틀의 제작은 R & D 방법을 따랐다. 그 결과, 두뇌활성 결과들은 대뇌 피질, 보상계, 변연계의 세 영역으로 범주화되어 나타났다. 이를 바탕으로 개발된 두뇌기반 과학 교수-학습 프로그램 분석틀인 'CORE Brain Map'은 양측 배외측전전두피질, 양측 복외측전전두피질, 양측 안와전두피질, 전대상이랑, 양측 두정피질, 양측 측두피질, 양측 후두피질, 양측 해마, 양측 편도체, 양측 측좌핵, 양측 선조체 그리고 중뇌영역으로 구성된다. 두뇌기반 과학 교수-학습프로그램 분석틀은 다양한 과학 교수-학습프로그램의 분석 및 진단에 활용 가능할 것으로 전망된다.

주요어: 과학 교수-학습 프로그램, 과학 관련 두뇌 영역, 두뇌기반 분석틀, 코어(CORE) 브레인 맵

참고 문헌

- 권석원, 권용주(2009). 생명현상 관찰에서 나타나는 인과적 의문 생성의 ERF 특성: MEG 연구. 과학교육연구지, 33(2), 336-345.
- 권용주, 신동훈, 한혜영, 박윤복(2004). 과학적 관찰과 규칙성 발견 활동에서 나타나는 감성 단어 유형과 과학지식 생성력과의 관계. 한국과학교육학회지, 24(6), 1106-1117.
- 권용주, 이준기 (2010). 분류 지식의 생성과 이해 형태 학습을 통한 학생들의 두뇌활성 변화. 한국과학교육학회지, 30(4), 487-497.
- 권용주, 이준기(2007). 생물학자와 고등학생의 생물학 가설 생성에서 나타나는 두뇌 활성: fMRI 연구. 한국생물교육학회지, 35(4), 601-610.
- 권용주, 이준기, 신동훈, 이효녕(2006). 생명현상의 관찰과 명화 감상에서 나타나는 생물교육학자들의 두뇌활성: fMRI 연구. 중등교육연구, 54(3), 475-500.
- 권용주, 이준기, 신동훈, 정진수(2007a). 기공과 새우 과제에서 초·중등 교사들이 생성한 관찰의 분석 및 관찰력 지수의 개발. 중등교육연구, 55(3), 83-112.
- 권용주, 정진수, 강민정, 박윤복(2005). 생명현상에 대한 초·중등 과학교사의 관찰에서 나타난 과학적 관찰의 유형. 한국과학교육학회지, 25(3), 431-439.
- 권용주, 정진수, 박윤복, 강민정 (2003). 선언적 과학 지식의 생성과정에 대한 과학철학적 연구 - 귀납적, 귀추적, 연역적 과정을 중심으로 -. 한국과학교육학회지, 23(3), 215-228.
- 권용주, 정진수, 이준기, 신동훈, 양일호(2007b). 생명현상에 대한 가설검증방법의 고안과정에서 나타나는 초등 예비 교사의 두뇌 활성 - fMRI 연구. 한국생물교육학회지, 35(2), 212-224.
- 권용주, 정진수, 이준기, 양일호(2007c). 생명현상에 관한 과학적 의문 생성 과정에서 나타나는 생물학자의 두뇌 활성 양상. 한국과학교육학회지, 27(1), 84-92.
- 권용주, 정진수, 이준기, 이일선 (2008). 과학적 탐구사고력 향상을 위한 과학지식의 생성과 평가. 서울: 메이드.

김동렬, 손연아, 문두호 (2007). 동기 유발 전략을 적용한 하이퍼미디어 학습 프로그램이 학생들의 인지 수준에 따른 생물 학업 성취도와 학습 동기에 미치는 효과. *한국생물교육학회지*, 35(1), 38-51.

김성일 (2006). 뇌기반 학습과학: 뇌과학이 교육에 대해 말해주는 것은 무엇인가? *인지과학*, 17(4), 375-398.

신동훈 (2006). 생물학 가설생성에서 나타나는 과학적 감성의 생성 과정 설명을 위한 신경 인지적 모형 개발. *한국생물교육학회지*, 34(2), 232-245.

이준기, 권용주 (2008). 생명현상에 대한 과학적 가설생성과 이해과정에서 나타나는 감성의 유형. *중등교육연구*, 56(3), 1-36.

이준기, 권용주, 정진수(2006). 생명 현상에 대한 가설 생성에서 나타나는 과학교사의 두뇌 활성-fMRI 연구. *한국생물교육학회지*, 34(4), 453-464.

이준기, 변정호, 권용주(2009). 생명현상에 대한 과학적 관찰에서 나타나는 과학 교사들의 두뇌 활성 및 기능적 연결. *한국과학교육학회지*, 29(6), 731-741.

이준기, 양일호, 권용주(2008). 생명현상에 관한 생물학자들의 경향성 지식 생성과정에서 나타나는 두뇌 활성 양상. *한국생물교육학회지*, 36(2), 178-188.

이준기, 이일선, 권용주(2009). 생명현상에 관한 가설평가과정에서 나타나는 두뇌활성양상 및 기능적 연결 네트워크. *생물교육학회지*, 309-320.

이혜정, 이준기, 권용주(2008). 생명 현상의 공통성 지식 생성과 적용에서 나타나는 예비 교사의 뇌 활성화 양상: fMRI 연구. *한국생물교육학회지*, 36(3), 251-265.

임채성(2005). 뇌 기능에 기초한 과학 교수학습: 뇌기능과 학교 과학의 정의적·심체적·인지적 영역의 연계적 통합 모형. *초등과학교육*, 24(1), 86-101.

임채성(2009). 뇌기반 진화적 과학 교수학습 모형의 개발. *한국과학교육학회지*, 29(8), 990-1010.

정진수 (2007). 초·중등 학생들을 위한 과학적 감성 측정 도구 개발과 생물학 가설 생성에서 나타나는 감성 조사. *한국생물교육학회지*, 35(1), 11-26.

정진수, 마이클 매튜스, 신동훈 (2007). 과학적 가설 생성의 인지적 과정과 감성 요소의 인과적 상호 작용에 관한 모형 개발. *한국생물교육학회지*, 35(4), 663-677.

정진수, 윤성규(2008). Caminalcules를 이용한 귀

납적 탐구 과제 수행에서 나타난 뇌파의 상대 파워 스펙트럼 분석. *한국생물교육학회지*, 36(4), 456-467.

정진수, 윤성규, 김상은(2009). 세타 및 알파 상대 파워스펙트럼 분석을 통한 생물학 용어 유의미 기억의 특성 분석. *한국생물교육학회지*, 37(4), 495-503.

AAAS (American Association for the Advancement of Science) (1989). Science for all Americans. A project 2061 report on literacy goals in sciences, mathematics and technology: Washington, D. C. AAAS.

Ansari, D., & Coch, D. (2006). Bridge over troubled waters: education and cognitive neuroscience. *Trends in Cognitive Sciences*, 10(4), 146-151.

Aron, A. R., Shohamy, D., Clark, J., Myers, C., Gluck, M. A., & Poldrack, R. A. (2004). Human midbrain sensitivity to cognitive feedback and uncertainty during classification learning. *Journal of Neurophysiology*, 92, 1144-1152.

Bar, M. (2007). The procreative brain: using analogies and associations to generate. *Trends in Cognitive Sciences*, 11(7), 280-289.

Bartels, A., & Zeki, S. (2004). The neural correlates of maternal and romantic love. *NeuroImage*, 21, 1155-1166.

Berns, G. S., McClure, S. M., Pagnoni, G., & Montague, P. R. (2001). Predictability modulates human brain response to reward. *The Journal of Neuroscience*, 21(8), 2793-2798.

Blackwood, N., Ffytche, D., Simmons, A., Bentall, R., Murray, R., & Howard, R. (2004). The cerebellum and decision making under uncertainty. *Cognitive Brain Research*, 20, 46-53.

Byeon, J. H., Lee, J. K., Kwon, Y. J. (2009). Brain activation pattern and functional connectivity network during classification on the living organisms. *Journal of Korean Association for Research in Science Education*, 29(7), 751-758.

Cabeza, R., & Nyberg, L. (2000). Imaging cognition II: An empirical review of 275 PET

and fMRI studies. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 12(1), 1-47.

Camara, E., Rodriguez-Fornells, A., Ye, Z., & Mnte, T. F. (2009). Reward networks in the brain as captured by connectivity measures. *Frontiers in neuroscience*, 3(3), 350-362.

Canessa, N., Gorini, A., Cappa, S., F., Piattelli-Palmarini, M., Danna, M., Fazio, F., & Perani. (2005). The effect of social content on deductive reasoning: An fMRI study. 26, 30-43.

Castriota-Scanderbeg, A., Hagberg, G. E., Cerasa, A., Committeri, G., Galati, G., Patria, F., Pitzalis, S., Caltagirone, C., & Frackowiak, R. (2005). The appreciation of wine by sommeliers: a functional magnetic resonance study of sensory integration. *NeuroImage*, 25, 570-578.

Chao, L. L., & Martin, A. (2000). Representation of manipulable man-male objects in the dorsal stream. *NeuroImage*, 12, 474-484.

Cheng, D. T., Knight, K. C., & Smith, C. N. (2003). Functional MRI of human amygdala activity during pavlovian fear conditioning: Simulus processing versus response expression. *Behavioral neuroscience*, 117(1), 3-10.

Choi, S. H., Na, D. L., Kang, E., Lee, K. M., Lee, S. W., & Na, D. G. (2001). Functional magnetic resonance imaging during pantomiming tool-use gesture. *Experimental Brain Research*, 139, 311-317.

Cohen, M. X., Heller, A. S., & Ranganath, C. (2005). Functional connectivity with anterior cingulate and orbitofrontal cortices during decision-making. *Cognitive Brain Research*, 23, 61-70.

Cohen, M. X., Schoene-Bake, J., Elger, C. E., & Weber, B. (2009). Connectivity-based segregation of the human striatum predicts personality characteristics. *Nature neuroscience*, 12, 32-34.

Connell, J. D. (2005). Brain-based strategies to reach every learner. [정종진, 임청환, 성용구 공역 (2008). *뇌기반 교수-학습전략*. 학지사.]

Damasio, A. R. (1994). *Descartes's error: Emotion, reason, and the human brain*. William Morris Agency, Inc., NewYork.

Daselaar, S. M., Veltman, D. J., Romnouts, S. A. R. B., Raaijmakers, J. G. W., Lazeron, R. H. C., & Jonker, C. (2002). Medial temporal lobe activity during semantic classification using a flexible fMRI design. *Behavioural Brain Research*, 136, 399-404.

Davis, A (2004). The credentials of brain-based learning. *Journal of Philosophy of Education*, 38, 21-25.

Davis, L. (1992). Instrument review: Getting the most from your panel of experts. *Applied Nursing Research*, 5(4), 194-197.

de Marco, G., de Bonis, M., Vrignaud, P., Henry-Feugeas, M. C., & Peretti, I. (2006). Changes in effective connectivity during incidental and intentional perception of fearful faces. *NeuroImage*, 30, 1030-1037.

Delgado, M. R., Gillis, M. M., & Phelps, E. A. (2008). Regulating the expectation of reward via cognitive strategies. *Nature neuroscience*, 11(8), 880-881.

Delgado, M. R., Miller, M. M., Inati, S., & Phelps, E. A. (2005). An fMRI study of reward-related probability learning. *NeuroImage*, 24, 862-873.

Delgado, M. R., Nystorm, L. E., Fissell, C., Noll, D. C., & Fiez, J. A. (2000). Tracking the hemodynamic responses to reward and punishment in striatum. *Journal of Neurophysiology*, 84, 3072-3077.

Doeller, C. F., Optiz, B., Krick, C. M., Mecklinger, A., & Reith, W. (2006). Differential hippocampal and prefrontal-striatal contributions to instance-based learning. *NeuroImage*, 31, 1802-1816.

Elliot, R., & Dolan, R. J. (1998). Activation

of different anterior cingulate foci in association with hypothesis testing and response selection. *NeuroImage*, 8, 17-29.

Elliott, R., Rees, G., & Dolan, R. J. (1999). Ventromedial prefrontal cortex mediates guessing. *Neuropsychologia*, 37, 403-411.

Fareri, d. S., Martin, L. N., & Delgado, M. R. (2008). Reward-related processing in the human brain: Developmental considerations. *Development and Psychopathology*, 20, 1191-1211.

Filoteo, J. V., Maddox, W. T., Simmons, A. N., Ing, A. D., Cagigas, X. E., Matthews, S., & Paulus, M. P. *NeuroReport*, 16(2), 111-115.

Flagerty, A. W. (2005). Frontotemporal and dopaminergic control of idea generation and creative drive. *The journal of comparative neurology*, 493, 147-153.

Fugelsang, J. A., & Dunbar, K. N. (2005). Brain-based mechanisms underlying complex causal thinking. *Neuropsychology*, 43, 1204-1213.

Fugelsang, J. A., Roser, M. E., Corballis, P. M., Gazzaniga, M. S., & Dunbar, K. N. (2005). Brain mechanisms underlying perceptual causality. *Cognitive Brain Research*, 24, 41-47.

Fujii, T., Suzuki, M., Okuda, J., Ohtake, H., Tanji, K., Yamaguchi, K., Itoh, M., & Yamadori, A. (2004). Neural correlates of context memory with real-world events. *NeuroImage*, 21, 1596-1603.

Ganis, G., Thompson, W. L., & Kosslyn, S. M. (2004). Brain areas underlying visual mental imagery and visual perception: an fMRI study. *Cognitive Brain Research*, 20, 226-241.

Goel, V., & Dolan, R. J. (2003). Explaining modulation of reasoning by belief. *Cognition*, 87, B11-B22.

Goel, V., & Dolan, R. J. (2003). Reciprocal neural response within lateral and ventral medial prefrontal cortex during and cold reasoning. *NeuroImage*, 20, 2314-2321.

Green, A. E., Fugelsang, J. A., & Kraemer, D. J. M. (2006). Frontopolar cortex mediates

abstract integration in analogy. *Brain Research*, 1096, 125-137.

Han, S., Jiang, Y., & Mao, L. (2006). Right hemisphere dominance in perceiving coherence of visual events. *Neuroscience Letters*, 398, 18-21.

Häusel, H. (2008). *Brain View. Warum Kunden kaufen* [배진아 옮김, 이인식 감수(2008). 뇌, 욕망의 비밀을 풀다. 흐름출판.]

James, T. W., Servos, P., Kilgour, A. R., Huh, E., & Lederman, S. (2006). The influence of familiarity on brain activation during haptic exploration of 3-D facemasks. *Neuroscience Letters*, 397, 269-273.

Jensen, E. (2000). *Brain-based learning* 2nd Ed. Turning Point Publishing.

Johnson, M. R., Mitchell, K. J., Raye, C. L., D'Esposito, M., & Johnson, M. K. (2007). A brief thought can modulate activity in extrastriate visual areas: Top-down effects of refreshing just-seen visual stimuli. *NeuroImage*, 37, 290-299.

Jung-Beeman, M., Bowden, E. M., Haberman, J., Frymiare, J. L., Arambel-Liu, S., Greenblatt, R., Reber, P., & Kounios, J. (2004). Neural activity when people solve verbal problems with insight. *PLoS Biology*, 2(4), 500-510.

Knauff, M., Fangmeier, T., Ruff, C. C., & Sloutsky, V. (2006). fMRI-Evidence for a three-stage-model of deductive reasoning. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 18(3), 320-334.

Knutson, B., Adams, C. M., Fong, G. W., & Hommer, D. (2001). Anticipation of increasing monetary reward selectively recruits nucleus accumbens. *The Journal of Neuroscience*, 21 RC159, 1-5.

Koenig, P., Smmith, E. E., Glosser, G., DeVita, C., Moore, P., McMillam, C., Gee, J., & Grossman, M. (2005). The neural basis for novel semantic categorization. *NeuroImage*, 24, 369-383.

- Kuperberg, G. R., Lakshmanan, B. M., Caplan, D. N., & Holcomb, P. J. (2006). Making sense of discourse: An fMRI study of causal inferencing across sentences. *NeuroImage*, 33, 343-361.
- Kwon, Y. J., Lee, J. K., Shin, D. H., & Jeong, J. S. (2009). Changes in brain activation induced by the training of hypothesis generation skills: An fMRI study. *Brain and Cognition*, 69, 391-397.
- LeDoux, J. E. (1996). *The emotional brain: the mysterious underpinning of emotional life*. NY: Touchstone.
- Lee, I. S., Lee, J. K., Kwon, Y. J. (2009). Brain activation pattern and functional connectivity network during experimental design on the biological Phenomena. *Journal of Korean Association for Research in Science Education*, 29(3), 348-358.
- Lee, J. K. (2009). Dissociation of the brain activation network associated with hypothesis-generating and hypothesis-understanding in biology learning: Evidence from an fMRI study. Unpublished Doctoral Dissertation. Cheongwon, Chungbuk: Korea National University of Education.
- Lee, J., Kwon, Y., & Jeong, J. (2008). Neural substrates during finding target objects and observing natural phenomena : An fMRI study. In *Advances in Cognitive Neurodynamics*, R. Wng, F. Gu & E. Shen (Eds.). Dordrecht, The Netherlands: Springer.
- Leube, D. T., Erb, M., Grodd, W., Bartels, M., Kircher, T. T. J. (2001). Activation of right fronto-temporal cortex characterizes the 'living' category in semantic processing. *Cognitive Brain Research*, 12, 425-430.
- Lisman, J. E., & Grace, A. A. (2005). The hippocampal-VTA loop: Controlling the entry of information into long-term memory. *Neuron*, 46, 703-713.
- Little, D. M., Klein, R., Shobat, D. M., McClure, E. D., Thulborn, K. R. (2004). Changing patterns of brain activation during category learning revealed by functional MRI. *Cognitive Brain Research*, 22, 84-93.
- Lotze, M., Heymans, U., Birbaumer, N., Veit, R., Erb, M., Flor, H., & Halsband, U. (2006). Differential cerebral activation during observation of expressive gestures and motor acts. *Neuropsychologia*, 44, 1787-1795.
- MacLean, P. D. (1978). A mind of three minds: Educating the triune brain. In J. Chall & A. Mirsky (Eds.), *Education and the Brain*. Chicago: Chicago University Press.
- MacLean, P. D. (1990). *The triune brain in evolution*. New York: Plenum Press.
- Mak, A. K. Y., Hu, Z., Zhang, J. X., Xiao, Z., & Lee, T. M. C. (2009). Neural correlates of regulation of positive and negative emotions: An fMRI study. *Neuroscience Letters*, 457, 101-106.
- Martin, A., Wiggs, C. L., Ungerleider, L. G., & Haxby, J. V. (1996). Neural correlates of category-specific knowledge. *Nature*, 379, 649-653.
- Mason, R. A., & Just, M. A. (2004). How the brain processes causal inferences in text. *Psychological Science*, 15(1), 1-7.
- Mazard, A., Laou, L., & Mellet, J. E. (2005). Neural impact of the semantic content of visual mental images and visual percepts. *Cognitive Brain Research*, 24, 423-435.
- McClure, S. M., Berns, G., & Montague, P. R. (2003). Temporal prediction errors in a passive learning task activate human striatum. *Neuron*, 38, 339-346.
- McClure, S. M., Li, J., Tomlin, D., Cypert, K. S., & Montague, L. M. (2004). Neural correlates of behavioral preference for culturally familiar drinks. *Neuron*, 44, 379-387.
- Medford, N., Phillips, M. L., Brierley, B., Brammer, M., Bullmore, E. T., & David, A. S. (2005). Emotional memory: Separating content

and context. *Psychiatry Research Neuroimaging*, 138, 247–258.

Mizuno, K., Tanaka, M., Ishii, A., Tanabe, H. C., Onoe, H., Sadato, N., & Watanabe, Y. (2008). The neural basis of academic achievement motivation. *NeuroImage*, 42, 369–378.

Moll, J., de Oliveira-Souza, R., Passman, L. J., Cunha, F. C., Souza-Lima, F., & Andreiuolo, P. A. (2000). Functional MRI correlates of real and imagined tool-use pantomimes. *Neurology*, 54, 1331–1336.

Naqvi, N., Shiv, B., & Bechara, A. (2006). The role of emotion in decision making – A cognitive neuroscience perspective. *Current directions in psychological science*, 15(5), 260–264.

Okuda, J., Fujii, T., Ohtake, H., Tsukiura, T., Tanji, K., Suzuki, K., Kawashima, R., Fukuda, H., Itoh, M., & Yamadori, A. (2003). Thinking of the future and past: The roles of the frontal pole and the medial temporal lobes. *NeuroImage*, 19, 1369–1380.

Pagnoni, G., Zink, C. F., Montague, P. R., & Berns, G. S. (2002). Activity in human ventral striatum locked to errors of reward prediction. *Nature neuroscience*, 5, 97–98.

Parris, B. A., Kuhn, G., Mizon, G. A., Benattayallah, A., & Hodgson, T. L. (2009). Imaging the impossible: An fMRI study of impossible causal relationships in magic tricks. *NeuroImage*, 45, 1033–1039.

Paulus, M. P., Hozack, N., Zauscher, B., McDowell, J. E., Frank, L., Brown, G. G., & Braff, D. L. (2001). Prefrontal, parietal, and temporal cortex networks underlie decision-making in the presence of uncertainty. *NeuroImage*, 13, 91–100.

Phan, K. L., Wager, T., Taylor, S. F., & Liberzon, I. (2001). Functional neuroanatomy of emotion: A meta-analysis of emotion activation studies in PET and fMRI. *NeuroImage*, 16, 331–348.

Phelps, E. A. (2004). Human emotion and memory: interaction of the amygdala and hippocampal complex. *Current opinion in Neurobiology*, 14, 198–202.

Posner, M. I., & Rothbart, M. K. (2005). Influencing brain networks: implications for education. *Trends in Cognitive Science*, 9(3), 99–103.

Qiu, J., Li, H., Yang, D., Luo, Y., Li, Y., Wu, Z., & Zhang, Q. (2008). The neural basis of insight problem solving: An event-related potential study. *Brain and Cognition*, 68, 100–106.

Qiu, J., Li, H., Jou, J., Liu, J., Luo, Y., Feng, T., Wu, Z., & Zhang, Q. (2010). Neural correlates of the “Aha” experiences: Evidence from fMRI study of insight problem solving. *CORTEX*, 46, 397–403.

Reeve, J. (2001). *Understanding motivation and emotion*. John Wiley & Sons.

Reverberi, C., Cherubini, P., Rapisarda, A., Rigamonti, E., Caltagirone, C., Frackowiak, R. S. J., Macaluso, E., & Paulesu, E. (2007). Neural basis of generation of conclusions in elementary deduction. *NeuroImage*, 38, 752–762.

Rodriguez-Moreno, D., & Hirsch, J. (2009). The dynamics of deductive reasoning: An fMRI investigation. *Neuropsychologia*, 47, 949–961.

Rosenzweig, M. R., Breedlove, S. M., & Watson, N. V. (2005). *Biological psychology: An introduction to behavioral and cognitive neuroscience*, (4th ed.), Sinauer associate, Inc.

Satpute, A. B., Fenker, D. B., Walmann, M. R., Tabibnia, G., Holyoak, K. J., & Lieberman, M. D. (2005). An fMRI study of causal judgements. *European Journal of Neuroscience*, 22, 1233–1238.

Schienle, A., Schäfer, A., Hermann, A., Walter, B., Stark, R., & Vaitl, D. (2006). fMRI responses to pictures of mutilation and contamination. *Neuroscience Letters*, 393, 174–178.

Silvia, P. (2006). *Exploring the psychology*

of interest. Oxford University Press.

Solso, R. L. (2001). *Cognitive psychology*, 6th Ed. New York: Allyn & Bacon.

Sousa, D. A. (2001). *How the brain learns*. Thousand Oaks, CA: Corwin Press.

Strange, B. A., Henson, R. N. A., Friston, K. J., & Dolan, R. J. (2001). Anterior prefrontal cortex mediates rule learning in humans. *Cerebral Cortex*, 11, 1040-1046.

Süzs, D., & Goswami, U. (2007). Educational Neuroscience: Defining a new discipline for the study of mental representations. *Mind, Brain and Education*, 1(3), 114-127.

Takahashi, H., Yahata, N., Koeda, M., Matsuda, T., Asai, K., & Okubo, Y. Brain activation associated with evaluative processes of guilt and embarrassment: an fMRI study. *NeuroImage*, 23, 967-974.

Tanaka, S. C., Doya, K., Okada, G., Ueda, K., Okamoto, Y., & Yamawaki, S. (2004). Prediction of immediate and future rewards differentially recruits cortico-basal ganglia loops. *Nature neuroscience*, 7(8), 887-893.

Tanaka, S. C., Schweighofer, N., Asahi, S., Shishida, K., Okamoto, Y., Yamawaki, S., & Doya, K. (2007). Serotonin differentially regulates short- and long-term prediction of rewards in the ventral and dorsal striatum. *PLoS ONE*, 2(12), e1333.

Taylor, S. F., Welsh, R. C., Wager, T. D., Phan, K. L., Fitzgerald, K. D., & Gehring, W. J. (2004). A functional neuroimaging study of motivation and executive function. *NeuroImage*, 21, 1045-1054.

Thagard, P. (2002). The passionate scientist: Emotion in scientific cognition. In P. Carruthers, S. Sitch, & M. Siegal (Eds.), *The Cognitive basis of science*. Cambridge

University Press.

Tomasi, D., Chang, L., Caparelli, E. C., & Ernst, T. (2007). Different activation patterns for working memory load and visual attention load. *Brain Research*, 1132, 158-165.

Virtue, S., Haberman, J., Clancy, Z., Parrish, T., & Jung-Beeman, M. (2006). Neural activity of inferences during story comprehension. *Brain Research*, 1084, 104-114.

Volz, K. G., Schubotz, R. I., & Cramon, Y. V. (2005). Variants of uncertainty in decision-making and their neural correlates. *Brain Research Bulletin*, 67, 403-412.

Williams, L. M., Phillips, M. L., Brammer, M. J., Skerrett, D., Lagopoulos, J., Rennie, C., Bahramali, H., Olivieri, G., David, A. S., Peduto, A., Gordon, E. (2001). Arousal dissociates amygdala and hippocampal fear responses: Evidence from simultaneous fMRI and skin conductance recording. *NeuroImage*, 14, 1070-1079.

Zald, D. H., Boileau, I., El-Dearedy, W., Gunn, R., McGlone, F., Dichter, G. S., & Dagher, A. (2004). Dopamine transmission in the human striatum during monetary reward tasks. *The Journal of Neuroscience*, 24(17), 4105-4112.

Zanolie, K., Leijenhorst, L. V., Rombouts, S. A. R. B., & Crone, E. A. (2008). Separable neural mechanisms contribute to feedback processing in a rule-learning task. *Neuropsychologia*, 46, 117-126.

Zhang, J. X., Leung, H., & Johnson, M. K. (2003). Frontal activations associated with accessing and evaluating information in working memory: an fMRI study. *NeuroImage*, 20, 1531-1539.