

뇌 기능에 기초한 과학 교수학습: 뇌기능과 학교 과학의 정의적 · 심체적 · 인지적 영역의 연계적 통합 모형

임채성
(부산교육대학교)

A Brain-Based Approach to Science Teaching and Learning: A Successive Integration Model of the Structures and Functions of Human Brain and the Affective, Psychomotor, and Cognitive Domains of School Science

Lim, Chae-Seong
(Busan National University of Education)

ABSTRACT

In this study, a brain-based model for science teaching and learning was developed based on the natural processes which human acquire knowledge about a natural object or on event, the major domains of science educational objectives of the national curriculum, and the human brain's organizational patterns and functions. In the model, each educational objective domain is related to the brain regions as follows: The affective domain is related to the limbic system, especially amygdala of human brain which is involved in emotions, the psychomotor domain is related to the occipital lobes of human brain which perform visual processing, temporal lobes which perform functions of language generating and understanding, and parietal lobes which receive and process sensory information and execute motor activities of body, and the cognitive domain is related to the frontal and prefrontal lobes which are involved in thinking, planning, judging, and problem solving. The model is a kind of procedural model which proceed from affective domain to psychomotor domain, and to cognitive domain of science educational objective system, and emphasize the order of each step and authentic assessment at each step. The model has both properties of circularity and network of activities. At classrooms, the model can be used as various forms according to subjects and student characteristics. STS themes can be appropriately covered by the model.

Key words : brain-based approach, science teaching and learning model, affective domain, psychomotor domain, cognitive domain

I. 서 론

인류는 자연물이나 자연현상에 대해 끊임없는 호기심을 가지고 다양한 방법을 사용하여 그것을 점점 더 심층적으로 이해하는 과정을 통해 과학을 발전·활용해오고 있다. 학교 과학교육에서 다루어야 할 주요 내용은 교육과정상에 과학태도, 과학탐구과정기능, 과학개념, STS 등의 목표 영역으로 설정되어 있다. 과학 교과와 이러한 주요 목표 영역들을 달성하기

위한 교수학습 활동은 매우 복잡한데, 이들을 단순화시켜 교수학습 모형들이 제안된다. 그리고, 학습은 기본적으로 뇌기능을 바탕으로 이루어진다. 그러므로, 효과적이고 효율적인 과학 교수학습을 위해 인간이 주변 세계를 이해하는 기본적인 과정, 과학교육의 주요 목표 영역, 인간 뇌의 구조·기능을 통합하는 모형을 모색할 필요가 있다.

우리가 어떤 대상을 알게 되는 과정은 속성에 따라, 그것에 대해 관심이나 흥미를 갖는 단계, 다양한

방식으로 조작하거나 반응하는 단계, 이해 수준에 도달하는 단계로 구분할 수 있다. 그리고 이러한 단계와 과정들은 인간이 세상을 이해하는 기본적인 자연스런 과정이라고 할 수 있다. 과학자가 과학 지식을 생성하는 과정도 본질적으로 이와 같다. 즉, 자연물이나 자연현상에 대해 호기심을 가지고 다양한 신체적·지적 기능을 사용하여 그에 관한 지식을 생성한다. 이러한 과정은 과학적 탐구의 핵심이고(Schwab, 1962), 과학 교육의 주요 목표 영역인 정의적·심체적·인지적 영역과도 관련된다. 학생들의 과학 학습(science learning)과 과학하기(doing science)도, 비록 수준이나 규모는 다르더라도, 과학자가 지식을 생성하는 이러한 자연적 과정을 통해 이루어질 때 효과적이고 효율적이다(김찬종 등, 1999). Barr(1994)는 과학의 본성의 필수 요소들로서 과학 내용, 과정, 태도를 과학 교수학습에 반영해야 한다고 주장하지만, 과학자나 인간이 지식을 획득하는 기본적 과정을 충분히 고려했다고 보기는 어렵다.

학교 교육에서 정의적·심체적·인지적 영역은 모든 교과에서 중시되고(Bloom, 1956; Hauenstein, 1998; Krathwohl et al., 1964), 우리나라의 대부분의 과학 교육과정기에 공통적인 목표 영역이다(김찬종 등, 1999). 그런데, 과학 교육과정이 변천되어 오면서 이제 가지 영역이 자연스럽게 연계되기보다는 시대적 상황에 따라 제시되는 순서가 바뀌었다(배성열, 박운배, 2000).

한편, 교육과정 목표는 평가를 통해 그 달성 여부가 확인되어야 하는데, 과학에서의 전통적인 지필평가는 협소한 영역의 목표에만 국한되어 왔다는 비판과 함께 학교 과학의 실제성(authenticity)과 실제평가(authentic assessment)가 대두되었다(김찬종 등, 2001; 조희형, 최경희, 2000; Bencze & Hodson, 1999; Chinn & Malhotra, 2002; Kamen, 1996; Rahm et al., 2003). 우리나라에서는 1997년부터 교육부 지침으로 수행평가가 권장되기 시작하여 현재는 학습평가의 일정비율이 수행평가로 이루어지도록 규정되어 있다(교육부, 1997). 수행평가는 본질적으로 교수와 학습의 일원화를 추구하고, 학습자의 학습과정과 결과를 총체적으로 이해하고자 하는 목적에서 제기된 대안평가의 한 형태이다(Champagne, Lovitts, & Calinger, 1990; Wiggins, 1993; Wolf, 1991). 이러한 수행평가를 비롯하여 지금까지의 학습평가가 추구해온 과학 지식 영역의 한정성을 극복하고 학생들의 정의적·심체

적·인지적 영역과 STS 영역 등 주요 교육과정 목표의 전체 영역에 대한 체계적인 광범위 평가(broad-based assessment)를 지향하는 과학 교수학습 모형이 필요하다.

현재, 다양한 과학 교수학습 모형이 개발되어 사용되고 있다(권재술, 1989; 권치순 등, 1993; 김도옥, 1991; 김영민, 1991; 김익균, 1991; 김호권, 1989; 이범홍, 김영민, 1983; 박종원, 1992; 정완호 등, 1997; 조희형 등, 1994; 한국교육개발원, 1985; Cosgrove & Osborn, 1985; Driver & Oldham, 1986; Joyce, Welil, & Calhoun, 2004; Karplus, 1977; Kauchak & Eggen, 1980; Lawson, 1986; Nassbaum & Novick, 1982; Renner, 1982; Suchman, 1962; Yager, 1990). 그런데, 이들은 주로 특정 과학 교육목표 영역에 초점을 둔다(정완호 등, 1996). 그러므로, 정의적·심체적·인지적 영역을 통합적으로 연계시키는 모형도 필요하다 하고 할 수 있다.

Barr, Tagg(1995)는 교수(teaching)에서 학습(learning)으로의 교육적 패러다임 변화를 제안하였다. 인간의 학습은 본질적으로 뇌 기능에 기초하여 이루어지기 때문에, 학습자의 뇌 기능과 능력이 자연스럽게 최대로 발휘되는 상황에서 효율적인 학습이 이루어질 수 있다. 현재 교육계에서 크게 강조되고 있는 학습자중심 혹은 구성주의적 방식은 본질적으로는 학습자의 뇌 기능에 기초하여 이루어져야 실효를 거둘 수 있다.

최근에, 인간의 뇌가 학습하는 방식에 관한 방대한 연구를 교육에 적용하고자 하는 노력이 국내외적으로 활발하게 이루어지고 있다(강호감, 1991; 권용주, 1998; 임채성, 1997; Caine & Caine, 1994; 1997; Hart, 2002; Healy, 1994; Jensen, 1998, 2000; Kovalik & Olsen, 2001; Marzano et al., 2001; Sprenger, 1999; Sternberg & Williams, 2002; Sylwester, 1995). 이러한 상황에서 볼 때, 최근에 Caine, Caine(1994)이 제기한 두뇌중심 학습(brain-based learning)과 Kovalik, Olsen(1994)이 주장하는 뇌친화적 학습(brain-compatible learning)은 많은 시사점을 가지고 있다.

따라서, 본 연구에서는 효과적이고 효율적인 과학 교수학습의 한 토대를 제공하기 위해, 인간이 어떤 대상을 알아가는 기본적 과정, 뇌에서 이루어지는 학습 메커니즘에 대해 현재까지 연구된 결과, 과학 교육과정의 주요 목표 영역인 정의적·심체적·인지적 영역의 목표들을 연계·통합시키는 모형을 개발하였다.

II. 연구 내용 및 방법

본 연구는 인간이 어떤 대상을 알아가는 기본적인 과정, 인간 뇌의 구조와 기능에 관련된 연구 결과들을 토대로 학교 과학의 정의적·심체적·인지적 영역을 통합적으로 연계하는 모형을 개발하는 이론적 연구로서 크게 다음과 같이 세 단계를 통해 수행되었다.

(1) 과학교육 분야에서 현재까지 개발되어 사용되고 있는 교수학습 모형들의 주요 특징들을 과학교육의 주요 목표 영역과 연관시켜 분석·종합한다.

(2) 우리나라 과학교육과정 상의 목표 영역과 인간 뇌의 구조와 기능에 관한 연구 결과의 관련성을 탐색한다.

(3) 위의 결과들을 토대로 뇌기능에 기초한 과학 교수학습 모형을 개발하고, 이 모형을 실제 과학 교수학습 상황에 적용할 수 있는 다양한 방식과 유형들을 모색한다.

III. 결과 및 논의

1. 기존 과학 교수학습 모형의 주요 목표 영역 및 한계

인간이 어떤 대상을 알게 되는 기본적인 과정인 ‘흥미·관심 갖기 → 해보기 → 이해하기’ 과정과 이들 각 과정에 상응하는 과학 교수학습의 주요 영역인 과학태도, 과학탐구과정기능, 과학지식, 그리고 추가로 STS 영역을 그림 1과 같이 도식적으로 나타낼 수 있다.

그림 1에서 과학교육의 목표는 궁극적으로 올바른

자연관을 갖게 하는 것이며 하위 영역은 태도, 방법, 지식, STS라고 할 수 있는데 과학 교수학습 활동은 각 단원이나 차시 수업이 어떠한 영역에 초점을 두느냐에 따라서 달라질 수 있다.

현재 사용되고 있는 과학 교수학습 모형은 이와 같은 틀 속에서 과학 개념, 탐구과정기능, 가치체제 등 강조하고자 하는 특정 영역에 초점을 맞추어 개발되었다(김한호, 1995; 정완호 등, 1996, 1997). 국내외적으로 시대적 배경에 따라 개발되어 과학 수업에서 사용되고 있는 다양한 과학 교수학습 모형들은 표 1과 같이 초점을 두는 목표 영역이 각각 다르다. 즉, 발견학습, 인지갈등, 발생학습 수업 모형 등은 주로 인지적 영역에 속하는 과학 개념을 목표로 하고, 순환학습 모형은 개념과 탐구를, 가설검증 수업 모형이나 탐구학습 모형은 주로 탐구과정기능을, STS 학습 모형은 탐구, 가치, 태도를 주요 목표로 한다. 그러므로, 기존의 주요 과학 교수학습 모형들은 교육과정에서 계속 중시되는 정의적·심체적·인지적 영역을 체계적으로나 통합적으로 다루는 측면에서는 미흡한 점이 있다.

교사의 수업 능력은 단순한 수업 기술이라기보다는 교수목표를 달성하기 위하여 학생과 수업 상황에 적합한 모형을 선정하고 이를 적절히 활용할 수 있는 능력이라고 할 수 있는데(Joyce, Weil, & Calhoun, 2004), 특히 과학 수업에서는 과학과 관련된 태도, 탐구능력의 신장, 다양한 과학 개념의 이해를 추구하므로 교사는 과학교육 목표를 달성하는 데 적합한 수업 모형을 선정하여 적절히 구사할 수 있어야 한다. 이를 위해서는 정의적·심체적·인지적 영역을 체계적으로 통합시키는 모형이 필요하다.

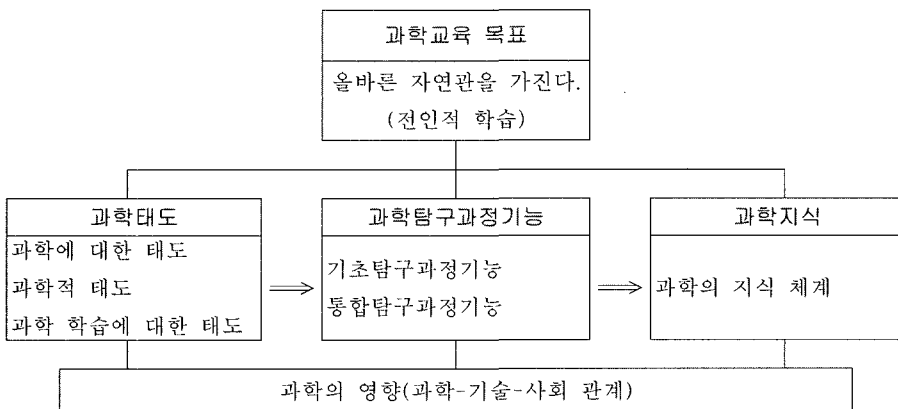


그림 1. 과학교육의 주요 목표 영역.

표 1. 목표 유형과 시대적 배경에 따른 과학 교수학습 모형의 분류

목표 유형	시대적 배경	수업모형
개념	오개념 연구	* 발생학습모형(Cosgrove & Osborne, 1985) * 인지갈등수업모형(개념변화수업모형; 권재술, 1989) * 초인지수업모형(박종원, 1992) * 기타(Renner, 1982, Driver & Oldham, 1986 등)
	학문중심사상	* 발견학습모형(이범홍과 김영민, 1983)
개념, 탐구	학문중심사상	* 순환학습모형(Karplus, 1977, Lawson)
탐구	학문중심사상	* 탐구수업모형(가설검증수업모형; Schwab, 1962) * 탐구훈련모형(Suchman, 1962) * 경험 및 가설검증수업모형(이범홍과 김영민, 1983) * 순환적 탐구수업모형(허명, 1984)
탐구, 가치 · 태도	STS 운동	* STS학습모형(Iowa Chautauque Model; Yager, 1990) * 의사결정, 가치명료화모형(Collete & Chiappetta, 1984)

인지적 영역에서는 과학 오개념(science misconception)에 관한 연구가 많이 이루어져 있으나, 과학학습의 출발점으로서 이후의 탐구과정이나 개념 획득에 큰 영향을 미치는 정의적 영역에서도 이에 상응하는 문제가 있다. 즉, 객관적이지 못한 사실을 무비판적으로 신뢰하거나 소수의 사례를 지나치게 일반화하는 것과 같은 잘못된 과학태도(science mis-attitude), 혹은 명확한 이유 없이 과학을 싫어하거나 과학 활동에 반감을 갖는 것과 같은 부정적 태도(negative attitude)를 올바른 과학적 태도(scientific attitude)나 긍정적 태도(positive attitude)로 변화시켜 줄 필요가 있다. 더욱이, 최근에 실시된 국제 과학학습성취도 비교에서 우리나라 학생들이 인지적 영역에서는 상위권에 해당하지만, 정의적 영역에서는 하위권에 속하는 것으로 밝혀져(홍미영 등, 2001), 이 영역에 대한 관심이 필요하다.

2. 인간 뇌의 구조 · 기능과 과학 교수학습 영역의 관련성

인간 뇌의 구조 · 기능에 대해 앞으로 밝혀질 부분은 많이 있지만, 학교 현장에서 효과적인 과학 교수학습 방법을 모색하기에 충분할 정도의 정보가 축적되었다. 이러한 측면에서 최근에 활발하게 연구되고 있는 뇌기반학습 접근법은 많은 가능성을 시사한다. 인간의 뇌에 관한 정보는 매우 방대하므로, 여기서는 본 연구에서 개발하고자 하는 뇌기반 과학 교수학습 모형의 토대가 되는 주요 내용을 살펴본다.

오랜 기간에 걸쳐 인간 뇌의 구성에 대한 다양한 모델들이 제안되었는데, 그 중에서도 인간의 뇌가 생존, 감성, 이성적 기능을 처리하도록 진화한 뇌간, 대

뇌변연계, 대뇌피질 세 층으로 된 하나의 위계적 뇌로 구성되어 있다는 MacLean(1978, 1990)의 삼위일체 뇌(triune brain) 이론은 교육 영역에 큰 시사점을 가지고 있다.

이 이론에 의하면, 인간의 뇌는 수백만 년에 걸쳐 진화하였고, 뇌간, 대뇌변연계, 대뇌피질이라는 뇌의 세 부위는 다양한 기능을 가지고 있는데, 인간은 자신이 처한 상황에 따라 이러한 기능들을 기초적인 생존기능을 주로 담당하는 뇌간이나 대뇌변연계로 하향변환(구뇌지향; downshift)시키거나 사고기능과 관련된 대뇌피질로 상향변환(신뇌지향; upshift)시킨다. 과학 교수학습 상황에서 학생의 급작스럽고 민활한 감정적 · 인지적 변환은 이러한 하향변환과 상향변환으로 설명될 수 있다. 삼위일체뇌의 주요 특징과 과학 교수학습의 주요 영역인 정의적 · 심체적 · 인지적 영역의 관계를 살펴보면 다음과 같다.

(1) 뇌간(brain stem)

이 뇌는 약 2억 여 년 전에 진화한 것으로, 인간의 세 가지 뇌 중에서 가장 오래된 것이며, 파충류뇌(reptilian brain)라고 부르기도 한다. 인간이 한 종으로서 현존한다는 것은 이 뇌의 성공을 입증하는 것이다. 이 뇌는 생명에 위협을 주는 사상들에 대해 항상 경계태세를 갖추고 있으므로, 이러한 상황들에 처했을 때 하향변환하여 반응을 나타내는 부분이다. 이러한 하향변환은 정보를 훨씬 더 느리게 처리하는 대뇌피질과 대뇌변연계로 들어가는 입력을 차단하는 효과를 가지고 있다. 뇌간에는 언어 기능이 없다. 뇌간은 보통 우리가 어떤 것을 보고 그 시각적 입력에 대해 반응하는 동안에 그것을 저장하지 않는다. 어떤

것들을 기억으로 저장하려면 어느 정도의 시간이 걸리므로, 생명이 위협받고 있는 상황에서는 이러한 절차보다는 즉각적으로 행위를 취하는 것이 생명을 유지하는 데 더 유리하다.

이러한 고대 뇌는 학교에서도 계속 작용한다. 뇌간은 실제 혹은 지각된 모든 위협 상황에 대해 경계를 늦추지 않는다. 그리고, 하향변환이 일어나 이 뇌가 자극되면 사고기능을 담당하는 대뇌의 기능이 차단되므로 구구단 학습, 긴 자릿수 나눗셈의 연산방식의 마스터, 가설 설정이나 실험 설계가 어렵다. 교실의 불량배로부터 위협을 받거나, 낮은 점수를 받으면 어찌나 하는 두려움을 갖거나, 공개적으로 웃음거리가 될 가능성이 있다고 느끼는 경우에는 학구적 학습(academic learning)이 일어나는 곳인 대뇌피질로부터 하향변환이 일어난다.

(2) 대뇌변연계(limbic system)

이 뇌는 구포유류뇌(old mammalian brain)라고도 하는데, 약 6천만 년 전에 진화되었다. 대뇌변연계는 크기가 대뇌 반구보다 훨씬 작지만, 인간이 제대로 기능하는 데 중대한 역할을 한다. 혈액 공급의 중요성에 비추어 볼 때, 대뇌변연계는 전 신체 중 혈액 공급이 가장 많은 곳 중 하나다. 대뇌변연계는 먹기, 마시기, 잡자기, 걷기, 체온, 혈당과 같은 화학적 균형, 심장박동, 혈압, 호르몬, 섹스, 감정 등을 조절한다(Goleman, 1995; LeDoux, 1996, 2000). 최근의 연구는 대뇌변연계가 문지기, 스위치, 혹은 정보여과 장치임을 시사한다(Sylwester, 1995). 여기에는 다음과 같은 기능들이 포함된다: (1) 감각기관을 통해 뇌로 전달되는 정보를 항상 점검하고 과거의 경험과 비교하여, 뇌가 받는 정보를 적절한 처리 유형으로 변환시킨다. (2) 정보를 뇌의 적절한 기억 저장 영역으로 향하게 한다. 기억들은 한 가지 특정 장소에 저장되어 있는 것이 아니고, 저장될 기억의 본성과 기능적으로 관련된 뇌 영역들에 분산되어 저장되기 때문에 이러한 기능이 필요하다. 예를 들면, 단어, 수, 시각적 이미지는 각각 언어 중추, 계산 중추, 시각 피질과 관련된 영역들에 저장되어 있다. (3) 정보를 단기기억에서 장기기억으로 전환시킨다.

시상(視床; thalamus)과 그에 인접한 시상하부(視床下部; hypothalamus)는 서로 관련된 대뇌변연계 구조들로서, 감성적 생활과 신체적 안전을 조절하는 일을 돕는다. 시상은 입력되는 감각 정보에 대한 주요 중

계 센터이므로, 뇌에게 신체 밖에서 어떠한 일이 일어나고 있는가를 알려 준다. 시상하부는 인체의 내부 조절 시스템을 모니터링하여, 뇌에게 신체 내부의 다양한 기관과 기관계에서 어떠한 일이 일어나고 있는가를 알려주는 역할을 한다. 예를 들어, 혈액에 염분이 너무 많이 함유되어 있으면 시상하부는 물을 탐색하여 염분 농도를 희석시키기 시작하고, 혈액에 당이 너무 많이 함유되어 있으면 식욕을 저하시킨다.

이성·감성에 관련된 뇌 구조들이 어떤 위협적인 상황에 대하여 적절한 해결책을 발견하지 못하면, 뇌 기능이 하향변환되어 시상하부가 뇌하수체와 접촉하여 내분비계에 영향을 끼침으로써 대항-도파 스트레스 반응을 활성화시킨다.

편도체는 대부분의 뇌 영역, 특히 대뇌피질의 감각 처리 영역들로부터 입력을 받고(Amaral et al., 1992), 이 채널들을 통해 처리되는 자극들이 잠재적 위협의 원천인지의 여부를 결정하는 감성적 처리를 담당한다. 그러나, 신경세포들이 편도체에서 피질의 감각 처리 영역들로도 뻗어 있다(Amaral et al., 1992). 이러한 형태적 배열은 변연계에 위치한 편도체가 피질 영역들로부터 전달된 외부 자극들의 감성적 중요성을 처리하는 것 외에도 이 영역들에서 일어나는 정보처리에도 영향을 미침을 시사한다. 반면에, 시상의 감각령들로부터도 감각 정보를 직접 전달 받아 처리하지만, 이 영역들로는 신경세포가 뻗어 있지 않다(LeDoux, Ruggiero, & Reis, 1985).

편도체는 피질에서 이루어진 감각 처리의 후기 단계 결과만을 받지만, 초기 단계로 투사한다(Amaral et al., 1992). 결국, 편도체가 시상이나 피질로부터 전달된 감각적 사상에 의해 일단 활성화되고 나면, 편도체로 전달되는 입력의 양과 종류를 통제한다. 편도체는 피질 영역으로 신경세포가 광범위하게 뻗어 있는 기저전뇌(basal forebrain)의 콜린성 체제, 뇌간의 콜린성 체제, 청반(locus coeruleus)의 노르아드레날린성 체제 등을 포함하는 다양한 각성망(arousal network)으로 뻗어 있는 신경세포들을 통해 피질에서 일어나는 감각정보 처리에 간접적으로 영향을 미치기도 한다. 따라서, 편도체는 감성의 종류에 따라 이러한 각성 체제들을 활성화시킴으로써, 감각정보 처리에 영향을 미칠 수 있다(Aston-Jones et al., 1996; Gallagher & Holland, 1994; Kapp et al., 1992; Weinberger, 1995). 그러므로, 편도체는 뇌에서 감성 중추(emotional center)라고 할 수 있다.

편도체에 인접해 있는 해마(海馬; hippocampus)는 두 개의 손가락 크기 만한 구조들이 통합된 형태를 하고 있으며, 중요한 단기 경험을 장기기억으로 전환시키는 기능을 한다. 편도체와 해마는 기억들을 선별하고 분류한다. 사실, 해마와 거기에 있는 연결들은 선별된 기억을 분류하여 적절한 다른 뇌 부위의 기억망에 저장한다.

신경세포 수준에서 종합해 볼 때, 뇌의 전체 크기에 비해 상대적으로 작은 감성 중추에서 크기가 큰 논리적·이성적 피질 중추들로 뻗은 신경섬유는 그 반대 방향으로 뻗은 신경섬유보다 더 많으므로, 감성이 뇌의 논리적·이성적 과정보다 인간의 행동에 더 강력한 영향을 미치는 경우가 많다(Armony & LeDoux, 2000; Damasio, 1994; Gazzaniga, Ivry, & Mangun, 1998; LeDoux, 1994, 1996, 2000; Panksepp, 1998; Sylwester, 1995, 2000). 매우 위협적이거나 화가 치밀어 있는 상태에서 할 말을 잃거나 아무런 생각이 나지 않는 현상은 뇌의 이러한 신경적 배열 상태 및 이러한 부정적 감성 상태에서 대뇌변연계의 정보 여과·차단 기능과 관련된다.

대뇌변연계는 어떠한 정보가 어떻게 처리되고, 나중의 회상과 사용을 위해 어떠한 것을 저장할 것인가를 결정하는 열쇠이기 때문에, 학습에서 이러한 문지기 역할은 교사와 학생 모두에게 많은 시사점을 가지고 있다. 권태와 좌절은 뇌를 폐쇄시키며, 호기심과 열정은 이러한 문들을 연다. 따라서 긍정적인 감성을 가지고 학습과제에 참여하는 것이 중요하다.

학급이나 교사로부터 혹평을 받거나 자기 집단에 소속감을 갖지 못하는 경우, 자아에 위협을 주며 방향변환을 야기한다. 이러한 자극들은 뇌간의 생존 반응들로 하향변환되도록 촉발시키기에 충분할 정도로 심각하지는 않지만, 대뇌피질로부터 격한 감정들의 혼합 상태로 하향변환시킬 수는 있다. 이러한 상태에서는 변인 동정·통제, 에세이 작성, 환경 문제의 원인과 대처 방안 등을 논리적·이성적으로 처리하기 어렵다. 이는 초등학교 학생이 지각한 감성 상태와 과학 학습 내용에 대한 기억의 관계를 조사한 연구에서도 잘 나타난다(임채성과 오운화, 2004). 이 연구에서는, 긍정적 상태에서 과학 학습을 한 경우 부정적 감성 상태에서 학습한 것보다 학습 주제에 대한 기억량이 훨씬 많은 것으로 밝혀졌다.

위의 사실들을 종합해 볼 때, 대뇌변연계, 특히 편도체는 과학 교수학습의 정의적 영역과 밀접하게 관

련된다고 할 수 있다.

(3) 대뇌피질(cerebral cortex)

세번 째 뇌인 신포유류뇌(new mammalian brain) 혹은 대뇌(cerebrum)는 불과 수백만 년 전에 진화하였다. 대뇌피질은 대부분 감각을 통해 획득된 수천 비트의 정보를 처리할 수 있는 다중양식, 다중경로 시스템이다. 이러한 방대한 정보 처리량 때문에, 세 뇌 중에서 대뇌피질에서의 정보처리 속도가 가장 느리다. 대뇌피질은 사고하고, 문제를 해결하고, 분석하고, 창출하고, 종합하고, 다수의 복잡한 과제들을 다룰 수 있다. 즉, 학습에 필요한 언어, 기호, 이미지 등을 다루고, 과학의 복잡성을 탐색하며, 에세이를 작성하고, 미래의 쟁점과 문제들에 관해 심사숙고하는 부분이다.

인간의 뇌는 진화함에 따라, 새로운 목적에 적응하는 데, 성공적으로 기능을 수행했던 초기 구조들을 그대로 가지고 있다. 그 결과 이 세 가지 뇌들이 독립적으로 작용하는 것이 아니라, 이들간에 항상 변환적 상호작용이 일어난다. 이러한 변환적 상호작용은 학생과 교사 행동의 급진적이고 신속한 변화들을 통해, 한 뇌에서 다른 뇌로 하향변환과 상향변환되기 때문에 일어난다.

① 좌우반구 뇌기능의 분화

대뇌피질을 위에서 보면 코 바로 뒤에서부터 시작되는 선을 따라 우반구와 좌반구로 나누어져 있다. 2억 개 이상의 축색으로 된 뇌량(腦梁; corpus callosum)이 두 반구에 있는 신경 칼럼들을 연결한다. 두 반구별로 처리 과제들이 분화(축화; lateralization)되어 있더라도, 두 반구는 서로 협력하여 대부분의 과제를 처리하므로, 뇌량은 이들의 활동을 동조시키는 역할을 한다. 예를 들면, 대부분의 사람들의 경우 좌반구는 언어의 객관적인 내용(objective content, 말해진 것)을 처리하는 반면에, 우반구는 얼굴 표정, 몸짓, 언어의 억양 등 감성적 내용(emotional content, 그것이 말해진 방식)을 처리한다. 대뇌반구들은 관련된 정보를 다른 방식으로 처리하지만, 서로 협력하여 하나의 단일화된 지적 경험을 생성한다.

종합하고 분석하며, 숲 전체와 그 숲의 개별적 나무들을 동시에 보아야 하는 뇌의 요구에 비추어 대뇌반구들의 기능적 역할을 생각해 볼 수 있다. 눈을 감고 있다가 갑자기 뜨면, 자기 시야에 있는 모든 것

을 순간적으로 볼 수는 있지만, 보는 것의 대부분은 그 형태들을 만드는 기본적인 선과 경계면들이다. 우리는 그 광경에 대한 상세조망(detailed view)이 아니라, 일반적인 배경조망(background, view)을 갖게 된다.

한 사물에 주의를 집중시켜 면밀하게 조사하는 경우, 자신의 여러 감각야에 있는 사물의 모든 것에 대한 세부 정보를 순간적으로 처리하는 것처럼, 뇌가 지속적으로 유입되는 정보를 모두 처리하려면 부하가 너무 커서 비효율적이다. 모든 것이 전경(foreground)이 되므로, 어느 것에도 주의를 집중시키기 어렵다.

그러므로, 인간의 뇌는 숲을 순간적으로 파악하는 일단의 메커니즘이 필요하다. 이 메커니즘은 감각야에 있는 수많은 각각의 정보 단위들로부터 약간의 고대비 정보를 수집하여 배경이나 맥락을 종합한다. 이러한 조합을 통해 외부에 무엇이 있으며 이러한 모든 단위들이 어떻게 관련되는가를 빠르고 포괄적으로 파악할 수 있다. 대부분의 사람들의 경우, 우반구는 이러한 과제로 분화된다. 우반구는 은유, 비유, 지도, 그래프, 만화 등 다양한 방식으로 경험되고 해석될 수 있는 광범위한 개념에 대한 윤곽들만을 제공하기 때문에, 은유적 마음이라고 지칭되어 왔다.

반대로, 좌반구는 대부분 광범위한 감각야의 개별적인 전경 요소들을 분석하는 메커니즘을 포함한다. 즉, 좌반구는 개별 나무에 대한 세부 정보를 면밀히 조사하는 반면에, 우반구는 숲을 모니터한다. 뇌는 시야의 다양한 영역에 있는 여러 개별적 나무들을 동시에 조사하지는 못하기 때문에, 이러한 분석은 순서적으로 이루어져야 한다. 따라서, 좌반구는 정보를 순서적으로 처리하도록 설계되어 있다.

인간의 언어는 순서적 과정이다. 우리는 정보를 문자 자체가 아니라 문자와 단어의 순서를 달리하여 암호화하므로, 좌반구는 일반적으로 구어, 문어, 기호화된 언어를 주로 처리한다. 단어는 상당히 많은 정보를 소수의 유사한 소리나 기호로 묶기 때문에, 그것을 이해하기 위해서는 소리와 선 방향의 미묘한 변화에 세심한 주의를 기울여야 한다. 이것이 좌반구 정보 처리의 특징이다.

어떤 것들을 서로 연결시키는 작용이 인간 뇌의 핵심적 기능이라고 볼 수 있다. 음표를 엮어 여러 가지 노래를 만들고, 스텝과 몸동작을 특별한 방식으로 연결시켜 다양한 춤을 만든다. 사상들을 연결하여 많은 이야기를 만들고, 행위들을 연결하여 다양한 게임

을 만든다. 어떤 것들을 여러 가지 순서로 연결시키는 활동을 통해 생활을 유지한다. 그리고 이것은 아미노산을 연결하여 신체를 구성하고 유지시키는 단백질들을 만드는 것처럼 생활에 기본적이다.

Gazzaniga(1997)는 인간의 좌반구가 주로 중요한 해석자(interpreter) 기능을 포함하고 있다고 주장한다. 아마도, 이러한 기능이 분석적·언어적 기능과 밀접한 관계가 있기 때문일 것이다. 뇌의 해석자 기능은 다른 방도로는 설명하기 어려운 사상들에 대한 합리적인 설명을 창출한다. 이들은 개인적 경험에서 나오므로, 추론이나 다른 사람들의 설명과는 다를 수 있다. 따라서, 이러한 해석자 기능은 인간의 신념체계와 자아개념에 중추적이다.

감성과 관련된 대뇌반구들의 역할에 관한 연구들은 확정적이지는 않지만, 몇 가지 일반적 패턴들이 나타났다(Corballis, 1991). 사람의 경우 감성은 정보의 분석보다는 종합 속성이 더 많고 강하기 때문에, 우반구가 전반적으로 더 우세한 역할을 하는 것으로 보인다. 우반구는 공포, 혐오감과 같은 후퇴행동(withdrawal behavior)으로 이어지는 감성의 부정적 측면들을 처리하는 반면, 좌반구는 웃음, 즐거움과 같은 접근행동(approaching behavior)으로 이어지는 긍정적 측면들을 처리한다. 아마도, 모든 것이 잘되어 가고 있다고 교신하는 것보다는 어떤 문제가 있다고 알리는 것이 뇌에 더 중요하기 때문에, 강한 느낌은 부정적인 경향을 보인다고 할 수 있다.

② 대뇌피질의 부위별 기능의 분화

각 대뇌반구는 다시 크게 4가지 뇌엽(腦葉; lobe)으로 나누어져 있다. 양쪽 귀를 잇는 선을 기준으로 대략 뒤쪽에 위치한 뇌엽들은 감각적 정보·기억들을 처리한다. 머리 뒤쪽에 위치한 후두엽(後頭葉; occipital lobe)은 시각을 처리하고, 귀의 위 뒤쪽에 위치한 측두엽(側頭葉; temporal lobe)은 청각과 언어를 처리하며, 머리 꼭대기에 위치한 두정엽(頭頂葉; parietal lobe)은 촉각(체감각령)과 운동(운동령) 통제를 처리한다. 중요한 연결들이 감각적 정보·기억들을 조합하므로, 바나나라는 단어를 들으면 실제로 바나나가 없더라도 마음속에 있는 바나나를 보고 느낄 수 있다. 이러한 감각엽들은 인간이 마스터해야 하는 현존 범주들을 처리하기 때문에 과거를 표상한다고 볼 수 있다.

전두엽(前頭葉; frontal lobe)에 위치한 비판적 사고

와 문제해결 메커니즘들은 위기 상황에 대처한다. 뇌의 이러한 비판적 사고와 문제해결 메커니즘들은 개념들을 창출하고 대처할 때, 모호성·은유·추상·패턴·변화들을 빠르게 처리하는 데 특히 효과적이다. 이 메커니즘들을 통해 100개의 식물 잎 중에 똑같은 것이 하나도 없더라도 이들이 모두 은행나무 잎이라고 범주화할 수 있다. 뇌의 비판적 사고능력 덕분에, 우리가 직면하는 대부분의 문제들이 상세한 정밀도보다는 빠르고 일반적인 반응을 요구하는 세계에서 성공할 수 있다. 그러므로, 우리는 직면하는 사물들을 일반적 범주들로 빠르게 분류하고 문제들에 대한 일반적 해결책들을 추정한다. 그런 다음에는 준거 자료와 더 정밀한 수준에서 조사하여 새로 수집한 정보를 가지고 예비적인 의사결정 내용을 각색한다.

전두엽은 감성적 상태와 판단들을 조절하는 데에도 중요한 역할을 한다. 전두엽의 비판적 사고와 문제해결 조절 능력 덕분에, 감성적 편향에 의해 자극되는 자동적·파괴적·불법적·비도덕적인 행동들을 억누를 수 있다.

시각력이 위치한 후두엽, 청각력과 언어이해력(베르니케 영역)이 위치한 측두엽, 감각력과 운동력이 위치한 두정엽, 언어생성력(브로카 영역)이 위치한 전두엽은 과학 교수학습에서 과학탐구과정기능에 해당하는 심체적 영역과 밀접하게 관련된다고 할 수 있다.

전두엽의 앞부분과 이마 윗부분의 바로 뒤에 위치한 전두전엽피질(前頭前葉皮質; 전두엽연합령; prefrontal cortex)이 가지고 있는 메커니즘들을 통해, 미래의 행위들을 계획하고 리허설해 볼 수 있으며, 실세계가 아닌 뇌의 지적 세계에서 모험을 감행할 수 있다. 전두전엽피질은 예산, 수업 계획 등과 같은 활동을 관장한다. 이것은 청소년기 후기에 최종적으로 성숙하는 피질 부위이다.

뇌가 사상들을 예측하는 능력은 과학적 사고에 매우 중요하지만, 미래에 대한 걱정으로 이어질 수도 있다. 그러나, 자기의 미래를 걱정할 수 있어야, 다른 사람의 미래와 환경의 미래에 관해서도 걱정할 수 있다. 결국, 전두전엽피질은 대뇌변연계와도 연결되어 있으므로, 감성이입·동정심·이타성·협동심 등과 같은 감성적 생활의 중요한 요소들을 조절하기도 한다.

전두엽의 일부와 전두전엽의 기능은 과학 교수학습에서 과학지식에 해당하는 인지적 영역과 밀접하게 관련된다고 할 수 있다.

전경과 배경은 다소 공간적인 속성을 갖지만, 인간의 뇌는 문제의 시간적 차원에도 대처해야 한다. 사상들은 현재 일어나지만, 이전의 사상들로부터 기인되어 미래 사상들로 이어지는 경우가 많다. 뇌의 주요 관심사는 잠재적으로 이롭거나 해로운 환경적 변화들을 동정하고 대처하는 것인데, 이러한 문제해결 활동 중 많은 부분이 대뇌피질에 중심을 두고 있다. 현재의 포로가 되는 것을 피하려면, 과거 경험을 토대로 현재 직면하는 문제를 해결하고 미래에 일어날 것을 예측할 수 있어야 한다.

그러므로 대뇌피질은 주요 영역들에 기억(과거), 비판적 사고와 문제해결(현재), 계획과 리허설(미래)를 담당하는 다양한 처리 기능들을 할당함으로써, 과거·현재·미래를 통합하여 현재의 문제들을 해결하도록 조직화되어 있다. 뇌가 이러한 시간적 기능들을 빠르게 통합할 수 있는 능력은 피질 전체에 매우 복잡하게 상호연결된 메커니즘들이 퍼져 있음을 시사하지만, 특정 기능들의 위치와 성숙 측면에서 볼 때, 대체로 뇌의 뒤쪽은 과거를, 중앙은 현재를, 앞쪽은 미래를 다루는 방식으로 조직화되어 있다. Piaget가 주장한 인지발달 단계는 피질의 성숙 단계를 대략적으로 구분한 것으로서, 초기에 발달하는 감각운동과 구체적 조작 단계들은 뇌의 절반 뒤쪽에 집중되어 있으며, 나중에 발달하는 형식적 조작 단계는 뇌의 앞쪽 절반에 집중되어 있다(Sylwester, 1995).

지금까지 살펴본 바와 같이, 대뇌피질의 주요 처리 과제는 공간적·시간적으로 일어나는 사물과 사상을 수반한다. 사물과 사상들은 공간적으로는 대뇌피질의 우-좌축(right-to-left axis)을 따라 처리되고, 시간적으로는 후-전축(back-to-front axis)을 따라 처리된다(Sylwester, 1995).

지금까지 살펴본 계통발생적 측면에서의 뇌의 진화, 개체발생적 측면에서의 뇌 발달과 부위별 기능, 과학 교육의 주요 목표 영역과의 관련성을 그림 2와 같이 종합적으로 나타낼 수 있다.

삼위일체뇌 이론은 뇌간 → 대뇌변연계 → 대뇌피질 시스템을 핵심으로 하고 있지만, 뇌간은 주로 기초적인 생존기능과 관련되므로, 본 연구에서는 과학 교육의 정의적 영역과 관련되는 대뇌변연계, 심체적·인지적 영역과 관련되는 대뇌피질의 구조·기능에 초점을 맞춘다. 대뇌피질 부위는 다시 뇌의 발달과 기능 측면에서 감각운동 기능, 의사소통기능을 담당하는 부위(시각력, 청각력, 감각력, 운동력, 언어력 등)

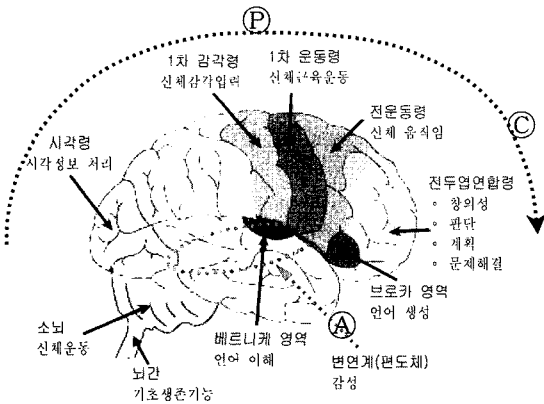


그림 2. 인간 뇌의 주요 기능 영역과 과학 교수학습 영역의 관계.

이 그림은 뇌의 주요 부위별 기능을 나타낸다. 위 바깥쪽의 점곡선은 뇌의 진화 과정과 발달 순서를 나타낸 것이고, 중앙 아래의 점타원은 뇌 내부에 위치한 대뇌변연계를 나타낸다. ①, ②, ③은 각각 정의적·심체적·인지적 영역과 밀접하게 관련된 뇌 부위를 나타낸다.

와 고차적인 사고를 담당하는 부위(전두엽, 전두엽연합영역)로 나누어 다룬다. 이 세 가지 부위를 각각 과학교육의 정의적·심체적·인지적 영역과 연관시켜 뇌 기반 과학 교수학습 모형을 제시하고자 한다.

3. 뇌기반 과학 교수학습 모형

본 연구는 앞에서 인간이 어떤 자연 사물이나 현상에 관심을 가지고 다양한 방식으로 반응하여 그것을 이해하는 과정, 과학 교육과정상의 주요 목표 영역인 정의적·심체적·인지적 영역의 관계, 뇌기능의 진화·발달에 관한 정보를 토대로 그림 3과 같은 ‘뇌기반 과학 교수학습 모형(brain-based science teaching and learning model)’을 제안한다.

이 과학 교수학습 모형의 주요 특징과 실제 수업에서의 활용 방안들을 살펴본다.

(1) 순서의 주요성

그림 3에서 전체적으로 대뇌변연계 [정의적 영역] → 대뇌피질의 후두엽, 측두엽, 두정엽, 전두엽 일부 [심체적 영역] → 대뇌피질의 전두엽 일부, 전두엽연합영역 [인지적 영역]의 순서로 진행되는 것은 이것이 개체 수준에서 뇌가 발달하는 순서이기도 하고 외부 환경 정보가 입력·처리되는 대략적인 순서이기도 하기 때문이다(MacLean, 1978, 1990; Sylwester, 1995).

이 뇌기반 과학 교수학습 모형은 과학자들이 과학

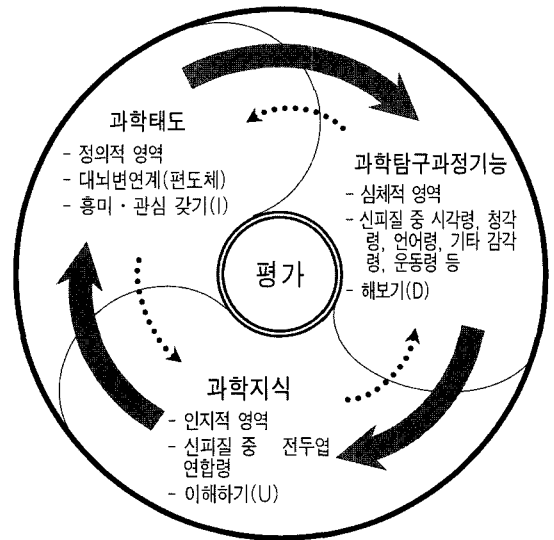


그림 3. 뇌기반 과학 교수학습 모형의 주요요소와 단계

이 그림은 과학교육의 세 가지 주요 목표 영역과 이들에 연관된 뇌 부위의 기능들을 토대로 교수학습 활동 순서를 나타낸 것이다. 그림에서 I는 어떤 대상에 대해 흥미, 호기심, 관심 등을 갖는 단계(Interesting), D는 그 대상을 관찰, 측정, 비교 등 직접 해보는 단계(Doing), U는 사실, 개념, 원리, 법칙, 이론 등을 이해하는 단계(Understanding)를 나타낸다.

지식을 생성하는 원리와 과정도 반영한다. 과학자들은 어떤 대상에 대해 알고자 하는 호기심, 의문, 지적 욕구(과학태도; 정의적 영역; 대뇌변연계)를 가지고, 그것을 직접 관찰하거나 측정하고 비교하여(과학탐구과정기능; 심체적 영역; 후두엽, 측두엽, 두정엽, 일부 전두엽), 그 대상을 이해하거나 그에 대한 개념을 구성한다(과학지식; 인지적 영역; 일부 전두엽 전두엽연합영역). 본 연구에서는 이를 ‘IDU (Interesting; 흥미·관심 갖기 → Doing; 해보기 → Understanding; 이해하기) 접근법’이라고 지칭한다. 이 접근법의 핵심적인 절차와 관련된 일반교육목표 영역, 과학교육목표 영역, 뇌 영역은 표 2와 같이 요약할 수 있다.

장기적 혹은 대규모적 측면에서, 이 세 목표 영역 각각을 분리하여 강조하기보다 이러한 순서에 입각하여 교육과정 목표를 설정하고 제시할 필요가 있다. 우리나라 과학 교육과정에서 제시된 목표의 순서를 살펴보면, 6차 과학 교육과정에서는 ① 자연을 탐구하는 초보적인 방법을 습득하게 하고, 문제해결에 이를 활용하게 한다(과학탐구과정기능), ② 자연 현상에 관한 사실과 개념을 알게 하고, 자연 현상을 설명하는데 이를 적용하게 한다(과학개념), ③ 자연 현상

표 2. IDU 접근법에 관련된 일반교육목표 영역, 과학교육목표 영역, 뇌 영역

영역	단계	흥미·관심 갖기(Interesting) ⇒	해보기(Doing) ⇒	이해하기(Understanding)
교육목표 영역		정의적 영역	심체적 영역	인지적 영역
과학 교육목표		과학에 대한 흥미와 호기심을 갖고 주변의 자연 현상을 탐구하려는 기본적인 태도를 기른다.	과학학습에 필요한 기초적인 탐구과정 기능을 익혀 실생활에 활용한다.	과학의 기본 원리와 법칙을 이해하고 과학적 사고로 문제를 해결하는 방법을 익힌다.
과학과 기술이 우리 생활에 미치는 영향을 이해한다(STS).				
뇌 영역 및 기능	대뇌변연계(편도체)	감성을 관장하는 뇌 부위로서 흥미와 호기심, 안정적인 심리상태를 유지하고 촉발시킬 때 뇌기능이 더 상향변환된다.	뇌의 기억력, 편도체, 피질, 소뇌 등의 작용을 관장하는 부위들로서 기본적인 탐색, 관찰, 기록, 비교, 의사소통 등의 탐구과정기능을 지탱해주는 역할을 통해 과학 학습을 지원한다.	논리·수학적 유형에 대한 민감성, 식별력, 해석, 계획 등의 역할을 통해 과학적 개념, 원리, 법칙, 이론 등의 이해를 촉진한다.

과 과학 탐구에 흥미와 호기심을 가지게 하고, 과학적 태도를 기르게 한다(과학태도)는 식으로 심체적 영역에 해당하는 탐구과정 기능의 향상을 강조하여 가장 먼저 제시한 반면, 7차 과학 교육과정에서는 ① 자연 현상의 탐구를 통하여 과학의 기본 개념을 습득하게 한다(과학개념), ② 과학의 탐구 능력을 함양하여 자연 현상과 실생활 문제의 해결에 활용할 수 있게 한다(과학탐구과정기능), ③ 자연 현상과 과학 학습에 흥미를 가지고 자기 주위의 문제들을 과학적으로 탐구하고 해결하려는 태도를 기른다(과학태도)와 같은 순서로 제시하여 인지적 영역에 해당하는 과학적 개념을 강조한다(김찬중 등, 1999).

교육과정에서 목표가 제시되는 순서가 중요한 것이 아니라 각각이 동등한 중요성을 가지고 있다고 할 수도 있으나, 과학교육 목표 영역별 중요도에 대한 조사에서 현장의 교사들은 탐구를 가장 강조하고 그 다음으로 과학적 태도, STS, 지식에 비중을 두는 것으로 나타났다(배성열, 박윤배, 2000). 국가 수준에서 과학 교육과정 목표가 제시되는 방식과 현장의 교사들이 인식하는 과학 교육과정 목표 영역별 중요도에서, 인간이 일반적으로 지식을 획득하는 기본적 과정이나 순서가 적절히 반영되고 있다고 보기 어렵다. 지식 획득의 기본적 과정을 반영하여 과학교육 목표를 제시한다면 교육자와 학생 모두에게 과학의 본성에 대한 더 강력한 토대를 제공할 수 있을 것이다. 그러므로, 앞으로는 과학지식 생성의 기본적인 속성과 과정 및 뇌기능을 토대로 ① 정의적 영역 → ② 심체적 영역 → ③ 인지적 영역의 순서로 제시하고 이러한 순서의 중요성도 명시함으로써, 교육자들의 인식 변화를 유도할 필요가 있다.

한편, 과학 교육과정에서는 타 교과에 비해 특징적으로 ‘과학이 기술의 발달과 사회의 발전에 미치는 영향을 인식하게 한다’는 STS와 관련된 목표가 있으나, 이 영역도 궁극적으로는 정의적·심체적·인지적 영역과 밀접하게 연관된다.

단기적 혹은 소규모적 측면에서, 단위이나 차시 수업의 수준에서도 목표를 진술할 때, 이러한 순서를 반영할 필요가 있다. 예를 들면, ‘부레옥잠이 물에 떠서 사는 원리를 안다’는 형태의 수업 목표 진술에서, ① 부레옥잠의 형태에 흥미를 가지고 과학적으로 탐구하려는 태도를 기른다. ② 부레옥잠을 체계적으로 관찰하고 실험한다. ③ 부레옥잠이 물에 떠서 사는 원리를 이해한다’ 혹은 ‘부레옥잠의 특징적인 형태에 관심과 흥미를 가지고, 체계적인 방식으로 관찰하고 실험하여, 부레옥잠이 물에 떠서 사는 원리를 이해한다’는 식으로 진술해야 할 것이다.

어떤 교수학습 모형이든지 그것을 구체화하는 수업 기법은 다양하다. 본 연구에서 제시하는 뇌기반 과학 교수학습 모형은 교실, 과학실, 야외 등 다양한 환경에서 적용할 수 있다. 교실이나 과학실 활동의 경우, 제시된 절차나 방법을 따라 기계적으로 수행하는 방식을 지양하고, 학습하거나 탐구하는 대상에 대해 먼저 의문이나 호기심을 가질 수 있도록 유도하고 (interesting), 그 의문이나 호기심을 해결하기 위해서는 어떻게 해야 할지 생각하면서 관찰하거나 실험을 통해 데이터를 수집·분석하며 (doing), 그렇게 해서 얻은 결과를 토대로 처음에 의문이나 관심을 가졌던 현상을 이해하게 한다 (understanding). 특히, 과학학습에서는 현장에서의 실물 경험이 매우 중요하므로 (Kovalik & Olsen, 1994, 2001), 야외 수업은 과학의

출발점인 호기심을 불러일으키는 데 매우 적합한 수업 기법 중 하나라고 할 수 있다. 요즘 학생들은 평소에 자연을 접하는 기회가 적으므로, 자연 속에서 특정한 대상이나 현상에 호기심이나 흥미를 가지고 관찰·측정·비교·분류 등 다양한 탐구과정기능을 사용하여 호기심을 가졌던 대상을 이해하는 과정을 자연스럽게 거치도록 할 필요가 있다.

(2) 평가의 중요성

기존의 모형들에는 대부분 과학 교수학습 절차와 평가가 분리되어 있거나 명시적으로 제시되지 않은 문제점이 있다. 과학 교수학습에서 정의적·심체적·인지적 영역은 모두 중요한 비중을 차지하므로, 이들을 포괄하고 이 영역들에 대한 평가 부분이 구체적으로 명시될 필요가 있다.

본 연구에서 개발하여 제시하는 뇌기반 과학 교수학습 모형의 IDU 접근법은 기본적으로 실제 과학자들이 과학을 하는 방식(authentic science)을 단순화시켜 핵심적 요소들을 모형화한 것이므로, 과학 교수학습도 그렇게 실시하고, 평가도 정의적·심체적·인지적 영역 전체에 걸쳐 지필평가, 수행평가, 포트폴리오 평가, 학생의 자평 등 다양한 방식으로 적절한 실제평가(authentic assessment)가 이루어져야 할 것이다. 즉, 전체적으로 어떠한 태도를 가지고(정의적 영역), 어떻게 하여(심체적 영역), 무엇을 알게 되었는가(인지적 영역)에 대한 평가가 이루어져야 한다. 이러한 이유 때문에 이 교수학습 모형에서는 평가를 중앙에 위치하게 하였다.

과학 교수학습의 정의적 영역은 일반적으로 과학태도로 지칭되는데 과학에 대한 태도, 과학적 태도, 과학교육에 대한 태도를 포함하고, 심체적 영역은 과학

탐구과정기능으로 지칭되며 기초탐구과정기능과 통합탐구과정기능을 포함하며, 인지적 영역은 과학의 산물로 지칭되는 과학지식으로 이루어진다(김찬중 등, 1999). 정의적 영역 중 과학에 대한 태도는 다시 과학에 대한 인식, 과학에 대한 가치부여, 과학에 대한 흥미, 과학자에 대한 태도 등으로 이루어지고, 과학적 태도는 자진성 및 적극성, 안정성, 적응성, 솔직성 및 객관성, 비판성, 협동성, 개방성 등으로 이루어진다. 과학탐구과정 기능 중 기초탐구과정기능은 관찰, 분류, 측정, 추리, 예상 등으로 이루어지고, 통합탐구과정기능은 자료해석, 자료변환, 가설설정, 변인통제, 일반화 등으로 이루어진다. 과학지식은 사실, 개념, 원리, 법칙, 이론 등으로 구성된다.

한 단원이나 차시 수업에서 이들을 모두 다루는 것은 실질적으로 불가능하다. 정의적·심체적·인지적 영역 중 어느 한 영역이 특히 많이 강조될 수도 있고, 한 영역내에서도 과학태도의 비판성, 탐구과정기능의 분류 기능, 과학지식의 원리와 같이 특정한 하위 요소들을 주로 다룰 수 있다. 그러므로, 이 모형에서는 세 영역을 모두 다루는 것을 지향하되, 평가는 구체적으로 내용특이적(content-specific)이어야 함을 강조한다.

(3) 모형의 선형적·순환적 성격과 상호작용적 성격

이 교수학습 모형은 전체적으로 I → D → U의 순서로 진행되는 것을 지향한다. 그러나, 대뇌변연계와 대뇌피질에서 신경세포들이 일방적으로만 배열되어 있는 것이 아니라 네트워크 방식으로 구성되어 있다. 각 부위별로 주로 처리하는 정보의 유형과 영향을 미치는 전반적인 방향이 있기는 하지만 명확히 구분되지 않는 경우도 있고 실질적으로 서로 영향을 주

표 3. 뇌기반 과학 교수학습 모형에 따른 정의적·심체적·인지적 영역의 분류

목표 영역	정의적 영역		심체적 영역		인지적 영역	
내역	대뇌변연계		후두엽, 측두엽, 두정엽, (전두엽 일부)		(전두엽 일부), 전두엽연합영	
하위 범주	감성적 태도 (emotional attitude)	인지적 태도 (cognitive attitude)	신체적 과정기능 (physical process skill)	인지적 과정기능 (cognitive process skill)	기초지식 (basic knowledge)	통합지식 (integrated knowledge)
· 흥미· 호기심	· 신뢰로운 정보원에	· 관찰	· 예상	· 사실	· 원리	
· 인내심	· 대한 요구	· 분류	· 추리	· 개념	· 법칙	
· 개방성	· 회의	· 측정	· 가설설정		· 이론	
· 협동성	· 과도한 일반화 지양	· 의사소통	· 변인 동정· 통제			
	· 판단유보	· 기구조작	· 실험			
	· 미신, 근거없는 주장 거부		· 데이터 해석			
			· 의사결정			

고받는다.

그림 3에 제시한 뇌기반 과학 교수학습 모형에서 각 영역이나 단계의 경계가 직선이 아니라 곡선으로 구분된 이유는 이들이 혼합적 성격을 가지거나 명확히 구분되지 않는 경우가 있기 때문이다. 그리고, 시계반대 방향의 점선화살표는 각 영역이 부분적으로 영향을 미치는 방향을 나타낸다. 그러므로 전통적으로 구분되는 정의적·심체적·인지적 영역 각각의 하위범주와 세부범주는 전통적인 분류 방식과는 달리고 속성과 뇌기능간의 관련성에 따라 표 3과 같이 재분류할 수 있다.

표 3에서 사용된 몇 가지 용어를 정의할 필요가 있다.

과학교육의 정의적 영역은 전체적으로 대뇌변연계와 관련되지만 이 뇌부위와 특히 많이 혹은 강하게 관련되는 흥미·호기심, 인내심, 개방성, 협동성 등은 감성적 태도(emotional attitude)라고 할 수 있고, 다른 영역보다 우선적으로 먼저 작용한다는 의미에서 1차 태도(primary attitude)라고 할 수 있다. 대뇌변연계에서 관장하는 감성적 기능 이외에도 신뢰로운 정보에 대한 요구, 회의, 과도한 일반화 지향, 판단유보, 미신이나 근거없는 주장의 거부 등과 같이 전두엽 혹은 전두엽연합령에 기반을 두는 인지적 요소를 포함하고 있는 영역은 인지적 태도(cognitive attitude)라고 할 수 있고, 1차 태도보다 더 복잡하게 작용하고 나중에 작용한다는 의미에서 2차 태도(secondary attitude)라고 할 수 있다.

심체적 영역 중, 관찰, 분류, 측정, 의사소통, 기구 조작 등과 같이 신체적 기능의 비중이 높고 대뇌피질의 후두엽, 측두엽, 두정엽, 일부 전두엽(언어령)에 기반을 두는 기능들은 신체적 과정기능(physical process skill)이라고 할 수 있고, 이들이 다른 과학탐구과정기능들보다 우선적으로 필요하고 작용한다는 의미에서 1차 과정기능(primary process skill)이라고 할 수 있다. 예상, 추리, 가설설정, 변인 동정·통제, 의사결정 등과 같이 인지적 요소가 상당 부분 포함되어 있고 일부 전두엽 및 전두엽연합령과 관련되는 과정기능들은 인지적 과정기능(cognitive process skill)이라고 할 수 있고, 1차 과정기능들보다 나중에 작용하고 더 복잡적이라는 의미에서 2차 과정기능(secondary process skill)이라고 할 수 있다.

한편, 인지적 영역은 과학지식의 복잡도 측면에서 상대적으로 낮은 수준에 해당하는 사실, 개념 등은

기초지식(basic knowledge)이라고 할 수 있고, 이들간의 관계에 대한 이해를 바탕으로 하는 원리, 법칙, 이론 등은 복잡도나 곤란도 측면에서 상대적으로 높은 수준에 해당하므로 통합지식(integrated knowledge)이라고 할 수 있다. 과학지식은 복잡도 수준에 따라 지식, 이해, 적용, 분석, 종합, 평가로 나누기도 한다. 본 연구에서 제시한 이러한 분류 방식의 타당성과 유용성에 관해서는 더 많은 연구가 요구된다.

그림 3의 모형에서 시계반대 방향의 점선화살표의 의미를 살펴볼 필요가 있다. 탐구과정기능을 사용하는 동안에 새로운 흥미나 호기심이 발생할 수 있고(D → I), 자기가 이미 알고 있는 것을 새로운 방식으로 조합하여 다른 방식으로 탐구과정기능을 사용할 수도 있으며(U → D), ‘뭘이 되면 왜 꽃이 피고 새가 울까?’라는 의문이나 호기심에서 시작하여 기존의 자기 지식을 새롭게 종합하여 해답을 찾아내는 경우도 있고(I → U), 학생이 이미 알고 있는 것을 가지고 나름대로 다양한 방법으로 시도해보는 과정에서 새로운 의문이나 호기심이 자극될 수도 있다(U → D → I). 물론, 대부분의 경우는 ‘흥미·호기심·의문 갖기 → 다양하게 시도해보기 → 이해하기(IDU)’와 같이 시계방향의 굵은 화살표 방향으로 진행된다고 할 수 있다. 이와 같이, 이 모형에서 이루어지는 활동은 선형적·순환적 성격과 상호작용적 성격을 모두 나타낼 수 있으므로, 정의적·심체적·인지적 측면은 뇌의 구조·기능과 마찬가지로 ‘단계’의 의미와 ‘영역’의 의미를 모두 포함한다고 할 수 있다.

한편, 그림 3에 제시된 모형은 평면이 아니라 구형태나 입체로 생각하여 이러한 학습 과정이 반복될수록 입체의 크기가 증가한다고 볼 수 있다. 즉, 시계방향이든 그 반대방향이든 순환 과정이 반복될수록 자연 세계에 대한 호기심 수준이 높아지고 그것을 탐구하는 기능들이 더 발달하고 조직화되며 자연을 이해하는 폭이 넓어지고 심화되어 자연관이 점점 더 체계화된다고 할 수 있다. 이러한 맥락에서 볼 때, 과학교육의 목적은 학생 개인에게서 이러한 IDU 과정이 자동화·내면화되도록 하고 구의 크기를 증대시키는 것이라고 할 수 있다.

(4) 모형의 다양한 형태

학습 주제나 대상 학생에 따라 강조하는 교육 목표 영역이 다를 수 있으므로, 그에 따라 그림 3에 나타낸 모형의 형태도 달라질 수 있다. 즉, 그림 4와

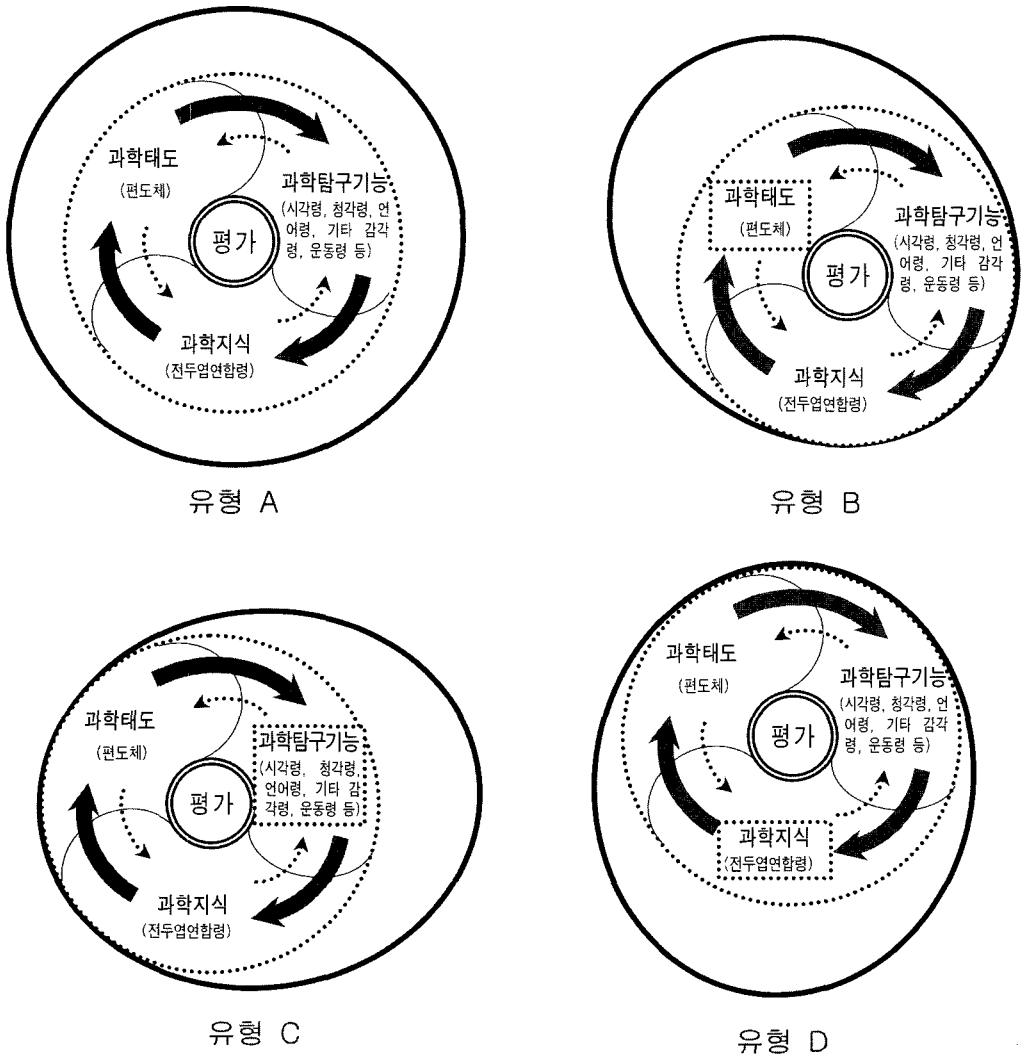


그림 4. 뇌기반 과학 교수학습 모형의 다양한 유형.

가장 바깥쪽의 실선은 과학 교수학습을 통해 확장되는 영역을 나타낸다. 유형 A는 정의적·심체적·인지적 영역을 거의 고르게 확장시켜가는 방식, 유형 B는 주로 정의적 영역을 강조하는 방식, 유형 C는 심체적 영역에 초점을 맞추는 방식, 유형 D는 인지적 영역에 많은 비중을 두는 방식이다.

같이 특정 영역이 확장되거나 튀어나온 형상을 취할 수 있다. 물론, 과학태도 → 과학탐구과정기능 → 과학지식이라는 기본적인 절차(유형 A)는 거쳐야 한다. 과학에 대한 태도, 과학적 태도, 과학 교과에 대한 태도 등 과학과 관련된 태도를 강조하는 단원이나 차시 수업의 경우에는 유형 B의 형태를 띠 수 있다. 여기서도 어느 정도의 탐구과정기능과 과학지식이 활용되거나 습득될 수 있다. 관찰이나 분류 기능과 같이 탐구과정기능의 함양에 초점을 두는 경우에는 유형 C, 과학적 사실, 개념, 원리, 법칙, 이론 등에 비

중을 두는 경우에는 유형 D의 형태를 취할 수 있다.

그러므로, 유형 A는 기본형이라고 할 수 있고, 강조하고자 하는 측면이나 수업의 초점에 따라 유형 B, C, D와 같이 각각 과학태도, 과학탐구과정기능, 과학지식 영역을 강조하는 파생형이 가능하고 나아가 이들이 다양하게 조합된 형태로 활용될 수 있다.

(5) STS 영역에서의 활용 방법

본 연구에서 제안하는 뇌기반 과학 교수학습 모형은 정의적·심체적·인지적 영역을 통합적으로 연계시

키는 것에 초점을 맞추었지만, 과학-기술-사회간의 관계를 다루는 STS 영역의 목표에 대해서도 그림 4에 있는 다양한 형태로 활용할 수 있다.

예를 들어, ‘자기 고장의 환경 문제에 관심을 가지고(Interesting), 신문, 인터넷, 실제 관찰 등을 통해(Doing), 그 환경 문제를 본질적으로 이해하고 해결하는 방안을 모색할 수 있다(Understanding)’는 목표를 갖는 단원·수업의 경우에는 유형 A의 형태를 취할 수 있다. ‘개발과 보전에 대해 어떠한 태도를 취해야 하는가?’라는 문제를 다루는 경우에는 유형 B와 같은 형태로 진행할 수 있다. ‘환경 오염 물질을 여과하거나 덜 발생하게 하는 장치를 만들어보기’의 경우에는 유형 C, ‘환경 문제를 야기하는 요인들의 구체적인 특징과 각 요인들의 비중 알아보기’와 같은 경우에는 유형 D의 형태를 취할 수 있다.

IV. 결론 및 제언

1. 결론

본 연구에서는 과학교육의 주요 목표 영역인 정의적·심체적·인지적 영역과 인간 뇌의 주요 기능을 통합적으로 연계시키는 뇌기반 과학 교수학습 모형을 개발하였다. 이 모형의 주요 특징과 활용방법은 다음과 같다.

(1) 학교 교육과정에서 전 교과에 걸쳐 공통적으로 강조되는 정의적·심체적·인지적 영역을 인간의 지식 획득 과정에 따라 체계화하고 이를 IDU 접근법이라고 지칭하였다.

(2) 이러한 과정을 현재까지 밝혀진 인간 뇌의 구조·기능과 연계시켰다.

(3) 교수학습 과정에서 각 단계마다 적절한 평가가 이루어지도록 하였다.

(4) 이 모형은 순환적 성격과 상호작용적 성격을 모두 갖는다.

(5) 정의적·심체적·인지적 영역의 목표뿐만 아니라 STS 영역의 목표도 적절히 다룰 수 있다.

2. 제언

이 모형에 대한 연구 및 활용과 관련하여 다음과 같은 제언을 할 수 있다.

(1) 과학 교육과정, 인간이 자연물을 알아가는 과정의 본질, 뇌의 구조와 기능 측면을 포함하여 더 다양한 요인들을 고려한 이론적 검토 과정이 필요하다.

(2) 학교 현장의 실제 과학 교수학습 상황에 적용하여 그 효과를 체계적으로 검증하는 연구가 필요하다.

참고문헌

- 강호감(1991). 두뇌의 기능분화에 따른 교수전략이 창의력 및 자연과 학업성취도에 미치는 영향. 서울대학교 박사학위논문.
- 교육부(1997). 과학과 교육과정. 대한교과서주식회사.
- 교육부(1998). 제7차 과학과 교육과정(별책 9). 대한교과서주식회사.
- 권용주(1998). 청소년들에게서 전두연합령은 어떻게 과학적 추론 및 과학개념 변화의 수행을 매개하는가? 한국과학교육학회지, 18(3), 427-442.
- 권재술(1989). 과학 개념 형성의 한 인지적 모형. 물리교육, 7(1), 1-9.
- 권치순, 우종욱, 한안진, 김효남, 강호감, 이재혁(1993). 초등학교 자연 교과의 수업 모형·수업방법·평가방법 및 평가도구 개발에 관한 연구. 연구보고 RR 92-I-4, 479-511. 한국교육원대학교 부설 교과교육공동연구소.
- 김도욱(1991). 물개념의 학습에서 오인을 감소시키기 위한 수업모형의 효과. 서울대학교 박사학위논문.
- 김영민(1991). 중학생의 전류 개념변화에 미치는 체계적 비유수업의 영향. 서울대학교 박사학위논문.
- 김익균(1991). 대립개념의 증거적 비판 논의와 반성적 사고를 통한 대학생의 힘가 가속도 개념 변화. 서울대학교 박사학위논문.
- 김찬중, 김진규, 임형(2001). 과학과 수행평가의 이해와 활용. 경문사.
- 김찬중, 채동현, 임채성(1999). 과학교육학개론. 북스힐.
- 김한호(1995). 과학수업모형들의 특성에 관한 이론적 분석. 한국과학교육학회지, 15(2), 201-212.
- 김호권(1989). 현대 교수 학습 이론(9). 교육출판사.
- 박종원(1992). 상대론 기초 개념 변화에 있어서 초인지의 역할. 서울대학교 박사학위논문.
- 배성열, 박윤배(2000). 교사들이 인식하는 과학과 목표의 영역별 중요도와 장애요인. 한국과학교육학회지, 20(4), 572-581.
- 이범홍, 김영민(1983). 과학과 수업과정 모형 및 평가방법 개선 연구: 초등학교 자연과를 중심으로. 연구보고 RP 83-7. 한국교육개발원.
- 임채성(1997). 협동학습의 대뇌생물학적 기초: 아이디어-공유 창출 모델. 한국생물교육학회지, 25(2), 143-155.
- 임채성, 오윤화(2004). 초등학교 학생이 지각한 감성 상태와 과학 학습 경험에 대한 기억의 관계. 한국생물교육학회지, 32(2), 173-180.
- 정완호, 권재술, 정진우, 김효남, 최병순, 허명(1997). 과학과 수업모형. 교육과학사.
- 정완호, 권재술, 최병순, 정진우, 김효남, 허명(1996). 과학 수업모형의 비교 분석 및 내용과 활동 유형에 따른 적정 과학수업모형의 구안. 한국과학교육학회지, 16(1),

- 13-34.
- 조희형, 이문원, 조영신, 강순희, 박종윤, 허명, 김찬중, 송진웅(1994). 중등 과학교과의 수업모형 개발에 관한 연구. 한국과학교육학회지, 14(1), 1-11.
- 조희형, 최경희(2000). 과학 교수-학습과 수행평가. 교육과학사.
- 한국교육개발원(1985). 새 교육체제 개발을 위한 3차 소규모 시범결과보고서.
- 허명(1994). 과학학습방법의 혁신: 과학탐구학습의 본질. 11-21. 월간 과학교육장간 30주년기념 과학교육세미나 발표 유인물.
- 홍미영, 박정, 김성숙(2001). 제3차 수학·과학 성취도 국제 비교 반복 연구(TIMMS-R) 과학 성취도 분석. 한국과학교육학회지, 21(2), 328-341.
- Amaral, D. G., Price, J. L., Pitkanen, A., & Carmichael, S. T. (1992). Anatomical organization of the primate amygdaloid complex. In J. P. Aggleton, (Ed.). *The amygdala: Neurobiological aspect of emotion, memory, and mental dysfunctions*. New York: Wiley, pp. 1-66.
- Armony, J. L., & LeDoux, J. E. (2000). How danger is encoded: Toward a systems, cellular, and computational understanding of cognitive-emotional interactions in fear. In M. S. Gazzaniga (2nd ed.). *The new cognitive neuroscience*. A Bradford Book. Cambridge, The MIT Press. pp. 1067-1079.
- Aston-Jones, G., Rajkowski, J., Kublak, P., Valentino, R. J., & Shipley, M. T. (1996). Role of the locus coeruleus in emotional activation. *Progress in Brain Research*, 107, 379-402.
- Barr, B. B. (1994). Research on problem solving: Elementary school. In D. L. Gable (Ed.), *Handbook of research on science teaching and learning*. New York: Macmillan. pp. 237-247.
- Barr, R. B., & Tagg, J. (1995). From teaching to learning: A new paradigm for undergraduate education. *Change*, 26(6), 13-25.
- Bencze, L., & Hodson, D. (1999). Changing practice by changing practice: Toward more authentic science and science curriculum development. *Journal of Research in Science Teaching*, 36(5), 521-539.
- Bloom, B. S. (Ed.), Englehart, M. D., Furst, E. J., Hill, W. H., & Krathwohl, D. R. (1956). *Taxonomy of educational objectives. The classification of educational goals, Handbook I: Cognitive domain*. New York: Longmans, Green, Co.
- Caine, R. N., & Caine, G. (1994). *Making connections: Teaching and the human brain*. Addison-Wesley.
- Caine, R. N., & Caine, G. (1997). *Unleashing the power of perceptual change: The potential of brain-based teaching*. Alexandria, VA: Association for Supervision and Curriculum Development.
- Champagne, A. B., Lovitts, B. E. & Calinger, B. J. (1990). *Assessment in the service of instruction*. Washington D.C.: American Association for the Advancement of Science.
- Chinn, C. A., & Malhotra, B. A. (2002). An Epistemologically authentic inquiry in schools: A theoretical framework for evaluating inquiry tasks. *Science Education*, 86(2), 175-218.
- Corballis, M. C. (1991). *The lopsided ape: Evolution of the generative mind*. New York: Oxford University Press.
- Cosgrove, M., & Osborne, R. J. (1985). Lesson frameworks for changing children's ideas. In R. J. Osborne, P. Freyberg, (ed.). *Learning in science: The implications of children's science*. Auckland: Heinman.
- Damasio, A. (1994). *Descartes' error: Emotion, reason, and the human brain*. New York: A Grosset/putnam Book.
- Driver, R., & Oldham, V. (1986). A constructivist approach to curriculum development in science. *Studies in Science Education*, 13, 105-122.
- Gallagher, M., & Holland, P. H. (1994). The amygdala complex: Multiple roles in associative learning and attention. *Proceedings of National Academic Society: U.S.A.* 91, 11771-11776.
- Gazzaniga, M. (1997). *Nature's mind: The biological roots of thinking, emotions, sexuality, language, and intelligence*. New York: Basic Books.
- Gazzaniga, M. S., Ivry, R. B., & Mangun, G. R. (1998). *Cognitive neuroscience: The biology of the mind*. New York: W. W. Horton & Co.
- Goleman, D. (1995). *Emotional intelligence*. New York: Bantam Books. [황태호 옮김 (1997). *감성지능(상, 하)*. 비전코리아.]
- Hart, L.A. (3rd ed. 2002). *Human brain and human learning*. Books for Educators, Inc.
- Hauenstein, A. D. (1998). *A conceptual framework for educational objectives*. University Press of America, Inc. [김인식, 박영무, 이원희, 최호성, 장현석, 최병욱, 박창언, 박찬혁 공역 (2004). *신 교육목표분류학*. 교육과학사.]
- Healy, J. M. (1994). *Your child's growing mind: A practical guide to brain development and learning from birth to adolescence*. New York: Doubleday.
- Jensen, E. (1998). *Teaching with the brain in mind*. Alexandria, VA: Association for Supervision and Curriculum Development. [김유미 옮김 (2000). *두뇌기반@교수*. 푸른세상.]
- Jensen, E. (2nd ed. 2000). *Brain-Based Learning*. Turning Point Publishing.
- Joyce, B., Weil, M., & Calhoun, E. (7th ed. 2004). *Models of teaching*. New York: Pearson Education, Inc.
- Kamen, M. (1996). A teacher's implementation of authentic assessment in an elementary science classroom. *Journal of Research in Science Teaching*, 33(8), 859-877.
- Kapp, B. S., Whalen, P. J., Supple, W. F., & Pascoe, J. P. (1992). Amygdaloid contributions to conditioned arousal

- and sensory information processing. In J. P. Aggleton, (Ed.). *The amygdala: Neurobiological aspects of emotion, memory, and mental dysfunctions*. New York: Wiley, pp. 229-254.
- Karplus, R. (1977). *Science teaching and development of reasoning*. Berkeley: University of California Press.
- Kauchak, D., & Eggen, P. (1980). *Exploring science in the elementary schools*. Houghton Mifflin Company.
- Kovalik, S. J., & Olsen, K. D. (1994). *Kid's Eye View of Science: A Teacher's Handbook for Implementing an Integrated Thematic Approach to Teach Science K-6*. Center for the Future of Public Education.
- Kovalik, S. J., & Olsen, K. D. (2001). *Exceeding expectations: A user's guide to implementing brain research in the classroom*. Convington, WA: Susan Kovalik & Associates.
- Krathwohl, D. R., Bloo, B. S., & Masia, B. B. (1964). *Taxonomy of educational objectives. The classification of educational goals, Handbook II: Affective domain*. New York: McKay Co. Inc.
- Lawson, A. E. (1986). *Integrating research on misconceptions, reasoning patterns and three types of learning cycles*. ED 278 567.
- LeDoux, J. E. (1994). Emotion, memory, and brain. *Scientific American*, 270(6), 50-57.
- LeDoux, J. E. (1996). *The emotional brain: The mysterious underpinnings of emotional life*. New York: Simon & Schuster.
- LeDoux, J. E. (2000). Emotion circuits in the brain. *Annual Review of Neuroscience*, 23, 155-184.
- LeDoux, J. E., Ruggiero, D. A., & Reis, D. (1985). Projections to the subcortical forebrain from anatomically defined regions of the medial geniculate body in the rat. *Journal of Comparative Neurology*, 242, 182-213.
- MacLean, P. D. (1978). A Mind of Three Minds: Educating the Triune Brain. In J. Chall & A. Mirsky (Eds.) *Education and the Brain*. Chicago: University of Chicago Press.
- MacLean, P. D. (1990). *The triune brain in evolution*. New York: Plenum Press.
- Marzano, R. J., Pickering, D. J., & Pollock, J. E. (2001). *Classroom instruction that works: Research-based strategies for increasing student achievement*. Alexandria, VA: Association for Supervision and Curriculum Development.
- Nassbaum, J., & Novick, S. (1982). Alternative frameworks, conceptual conflict and accommodation: Toward a principled teaching strategy. *Instructional Science*, 11, 183-200.
- Panksepp, J. (1998). *Affective neuroscience: The foundations of human and animal emotions*. New York, Oxford: Oxford University Press.
- Rahm, J., Miller, H. C., Hartley, L., & Moore, J. C. (2003). The value of an emergent notion of authenticity: Examples from two student/teacher-scientist partnership programs. *Journal of Research in Science Teaching*, 40(8), 737-756.
- Renner, J. (1982). The poser of purpose. *Science Education*, 66(5), 709-716.
- Schwab, J. J. (1962). The teaching of science as inquiry. In J. J. Schwab and P. F. Brandwein (Eds.), *The teaching of science*. Cambridge, Mass: Harvard University.
- Sprenger, M. (1999). *Learning and memory: The brain in action*. Alexandria, VA: Association for Supervision and Curriculum Development.
- Sternberg, R. J., & Williams, W. M. (2002). *Educational psychology*. Boston: Allyn & Bacon.
- Suchman, J. R. (1962). *The elementary school training program in scientific inquiry*. Report to the Us office of Education. Project title VII. Urbana: University of Illinois.
- Sylwester, R. (1995). *A celebration of neurons: An educator's guide to the human brain*. Alexandria, VA: Association for Supervision and Curriculum Development.
- Sylwester, R. (2000). *A biological brain in a cultural classroom: Applying biological research to classroom management*. Thousand Oaks, CA: Corwin Press.
- Weinberger, N. M. (1995). Retuning the brain by fear conditioning. In M. S. Gazzaniga, (1st Ed.). *The cognitive neurosciences*. Cambridge, Mass: Mit Press, pp. 1071-1089.
- Wiggins, G. P. (1993). Assessment: Authenticity, context and validity. *Phi Delta Kappan*, 75, 200-214.
- Wolf, D. P. (1991). To use their minds well: Investigating new forms of student assessment. In G. Grant (Ed.). *Review of Research in Education*, 17, 31-74. Washington, D.C.: American Educational Research Association.
- Yager, R. E. (1990). *The Iowa Chautauqua Program: What assessment results indicate about STS instruction*. Unpublished Paper.