

초등과학교육에의 적용을 위한 뇌-기반 학습 연구의 교육적 의미 분석

최혜영 · 신동훈[†]

(서울 이태원초등학교) · (서울교육대학교)[†]

The Analysis of Researches on the Brain-based Teaching and Learning for Elementary Science Education

Choi, Hye Young · Shin, Dong-hoon[†]

(Seoul Itaewon Elementary School) · (Seoul National University of Education)[†]

ABSTRACT

The purpose of this study was to analyze 181 papers about brain-based learning appeared in domestic scientific journals from 1989 to May of 2012 and suggest application conditions in elementary science education. The results of this study summarizes as follows; First, learning activity suggested by brain-based learning study is mainly explained by working of brain function. Learning activity explained by brain-based learning study are divided into 'learning according to specialized brain function, learning according to brain function integration and learning beyond specialization and integration of hemispheres'. Second, it searched how increased knowledge of brain structure and function affects learning. Analysis from this point of view suggests that brain-based learning study affects learning in many ways especially emotion, creativity and learning motivation. Third, brain-based learning study suggests various possibilities of learning activity reflecting brain plasticity. Plasticity which is one of most important characteristics of brain supports the validity of learning activity as learning disorder treatment and explains the possibility of selective increment of brain function by leaning activity and the need of whole-brain approach to learning activity. Fourth, brain-based learning brought paradigm shifts in education field. It supports learning sophistication on the understanding of student's learning activity, guides learning method that reflects the characteristics of subject and demands reconstruction of curriculum. Fifth, there are many conditions to apply brain-based learning in elementary science education field, learning environment that fits brain-based learning, change of perspectives on teaching and learning of science educators and development of brain-based learning curriculum are needed.

Key words : brain science, brain-based learning, content analysis, brain-based learning environment, brain-based curriculum

I. 서 론

20세기 후반의 급속한 과학기술 발달은 PET, fMRI 등과 같은 방법을 통해 인간의 뇌 활동 관찰을 가능하게 하였으며, 이를 기반으로 인간의 사고와 정서에 대한 신경과학(neuroscience) 연구가 활발히 진

행되고 있다(Shin *et al.*, 2006). 신경과학 분야의 학자들은 동물은 물론이고, 인간 신경계의 해부학적 구조와 기능에 대한 방대한 지식을 밝혀내는 데 중심적 역할을 담당하고 있으며, 인지심리학에서 설명하고자 했던 수많은 인간의 내적 현상들, 예를 들면 주의, 지각, 기억, 사고 과정을 연구하는 데 새

로운 접근법을 제공하고 있다(Lee, 2009). 이와 관련해서 최근에 신경과학 연구에 기반하여 교육현상을 보다 과학적인 방식으로 설명하고 있으며, OECD에서도 최근 뇌 과학과 연계된 학습과학의 연구개발 성과를 크게 기대하면서 특히 언어, 독서, 수학, 정서와 학습의 연계, 자기조절 등의 문제와 뇌 기능의 연계는 물론, 이러한 결과를 학습에 적용하고자 하는 노력을 가속화하고 있다(Ansari & Coch, 2006; OECD, 2007). 우리나라에서도 과학교육 분야에서는 교수·학습이론을 위한 기초로 인지심리학이 활용되고 있으며, 앞으로는 교육과 인지신경과학을 연계시키는 연구가 많이 이루어질 것이라고 전망하고 있다(Shin & Kwon, 2007).

뇌 과학과 교육의 연계를 강조하는 학자들은 인지심리학, 교육학, 신경생리학 등의 연구를 기반으로 뇌-기반 학습 원리(brain-based learning principles)를 제시하고 있다(Jensen, 1998a; 1998b). 뇌-기반 학습이란, 교수·학습 효과 증진을 위하여 뇌 과학 연구 결과를 교육 영역에 적용하려는 시도라고 할 수 있으며, 교육학과 뇌 과학 두 학문 간의 융합된 성격을 가지고 있어 교육신경과학(educational neuroscience)으로도 불린다(Jensen, 2007). 또한, 뇌-기반 학습은 모든 학습이 뇌에서 이루어진다고 가정하며, 뇌 과학적 지식인 뇌의 인지기능 및 구조를 이해하고, 다양한 실험 상황에서 발견된 연구 결과와 일치하는 교육적 원리와 전략을 마련하여, 그것을 실제 교육 현장에 적용함으로써 모든 학습자들이 자신의 뇌 기능을 활용하여 주도적으로 학습을 계획, 수행할 수 있도록 하는 데 목표를 둔 새로운 교육 패러다임이다(Kim, 2006; Jensen, 2007).

세계적인 뇌-기반 학습에 대한 관심과 동향을 살펴보면, 미국의 경우 1990년부터 2000년까지의 10년을 ‘뇌의 세기(Decade of the Brain)’라고 명하며, 많은 연구자들로 하여금 뇌-기반 학습과 관련된 연구를 수행하도록 촉구하였고(Bear *et al.*, 2001), 2002년부터는 국립과학연구재단(NSF)을 비롯한 여러 정부 기관의 주도하에 뇌-기반 학습 연구의 활성화를 위해 범국가적 정책을 추진해왔다(Bainbridge & Roco, 2006). 또한 일본에서도 21세기를 ‘뇌의 세기(Century of the Brain)’라고 선포하여 뇌-기반 학습과 관련된 연구에 힘을 쏟고 있다(Cho, 2001a; 2001b). OECD의 교육연구혁신센터(CERI)에서도 1999년 뇌-기반 학습과 관련한 연구 프로젝트를 시작하여, 2000

년, 2001년, 2002년 3회의 포럼을 개최하였고, 2007년에는 ‘Understanding the Brain; The Birth of a Learning Science’라는 결과물을 발표하기도 하였다(OECD, 2007). 우리나라에서도 1998년도에 ‘뇌 연구 촉진법’이 제정되어, 2007년까지 약 10년간 막대한 자금을 투자하여 뇌 연구에 재정적 지원을 하였으며, 이러한 뇌 연구 결과는 교육계에도 커다란 영향을 주고 있다. 2003년에는 처음으로 뇌 과학, 인지과학, 심리학 및 교육학 분야의 학자들이 한 자리에 모여 ‘뇌-기반 학습과학 심포지엄’을 개최하였다. 이 심포지엄에서는 현재 교육의 문제점을 지적하고, 앞으로 뇌-기반 학습이 적극 활용될 수 있는 노력이 필요하다고 강조하였다(Chung, 2010).

이러한 뇌-기반 학습을 실시해야 한다는 주장과 함께 다양한 뇌-기반 학습 원리들이 제안되고 있다. 예를 들면, Kim(2002)은 기존의 신경과학 연구들을 종합하여 7개의 뇌-기반 학습 원리를 제시하고 있으며, Cho(1994; 2001a; 2001b)은 주의집중, 학습과 기억, 감정, 창의성 계발을 위해 신경과학 연구결과들을 교수·학습활동에 적용하려고 노력하고 있다.

하지만, 교육학 분야에서 뇌 과학 연구에 기초한 교육의 원리나 방법이 초창기여서 교육현장에서는 뇌의 학습 기제에 역행하는 교육 활동의 예를 쉽게 발견할 수 있고(Kim, 2006; Shin *et al.*, 2006), 깊은 이해 없이 뇌 과학 연구 결과들이 멋들어진 신화(myths)처럼 교육 분야에 도입되는 사례도 많았다(OECD, 2007). 뇌 연구를 기반으로 한 프로그램 및 다양한 서적들이 출판되고 있는데, 뇌 과학과 교육을 연계한 학제적인 접근보다는 기억력 강화 또는 좌·우뇌 동시 계발과 같은 뇌 발달을 촉진하는 방법적인 측면에 치중되고 있거나, 뇌 과학 분야의 연구를 과잉 해석, 편파적 또는 상업적으로 악용하는 사례도 적지 않은 것으로 지적되고 있다(Kim, 2006; Goswami, 2006). 또한, 우뇌형·좌뇌형 학습자 등의 오개념이 만연하고(Kim, 2006), 아동의 언어발달을 자극하는 기술, 초기 지적 발달을 극대화하는 기술, 편협한 조기 자극 등 근시안적 교육 상품이 검증 없이 부모들을 현혹하게 만들었다(OECD, 2007). 그러다보니 실제 현장에 제공된 뇌-기반 학습이 학생의 뇌 발달 상태를 정확히 이해하고 적합한 교육 경험을 제공하기보다는 부모나 교사의 입장에서 똑똑한 아이를 기르기 위한 효과적 교육 방법의 하나로만 여겨지게 된 것이다.

잘못된 뇌-기반 학습이 실제 교육 현장에서 발생하고 있는 원인을 Kim(2006a)은 지금까지 뇌 과학 분야의 연구와 교육학 분야의 연구가 독립적으로 이루어져 왔기 때문이라고 보고 있다(Yang, 2012). Bruer(1999) 또한 교육학이 뇌 과학 연구 결과 중 필요한 부분을 단순히 발췌하는 수준으로만 사용해 왔다고 지적하였다. Shin *et al.*(2006)도 뇌 과학 연구 결과를 토대로 한 교육적 제안들에 대한 일반인들의 관심은 점점 높아져가고 있는데 반해, 뇌 과학 연구의 많은 부분들이 깊은 이해나 통찰 없이 잘못 해석되고, 성급한 적용이 시도되면서 오히려 뇌 발달에 역행하는 교육활동들이 생겨나게 된 것이라고 지적하였다(Yang, 2012).

이에 이 연구에서는 국내 뇌-기반 학습과 관련된 연구가 어떻게 이루어지고 있는지 살펴보고, 뇌 과학 연구와 과학 교육학 분야 연구를 접목한 뇌-기반 학습의 교육적 의미를 탐색하였다. 뇌-기반 학습 연구의 흐름을 분석함으로써 앞에 제시된 제한점과 오류를 줄이기 위한 연구 방향을 확인할 수 있을 것이다. 나아가 학문적으로 미정립된 주요 연구 과제들을 심층적, 세부적으로 검토하고 정리하는 작업을 통해서 초등과학교육분야에서의 뇌-기반 학습 연구 수행의 실질적 증진을 위한 기초 자료로 활용될 수 있을 것이다. 이를 실현하기 위해 다섯 가지 연구문제를 중심으로 분석하였다.

첫째, 뇌-기반 학습에서 학습활동은 어떻게 정의되고 있는가?

둘째, 뇌 구조와 기능에 대한 지식의 증가는 학습에 어떤 영향을 미치는가?

셋째, 뇌 가소성의 특성은 뇌-기반 학습 연구에서 어떻게 반영되고 있는가?

넷째, 뇌-기반 학습이 초등과학 교육 패러다임에 가져온 변화는 무엇인가?

다섯째, 뇌-기반 학습의 초등과학교육에의 적용을 위한 조건은 무엇인가?

II. 연구 방법

1. 연구 대상

이 연구에서는 국내 뇌-기반 학습 관련 논문을 연구 대상으로 선정하였다. 연구 대상은 1989년부터 2012년 8월까지 학술지에 게재된 논문을 중심으로 뇌-기반 학습 연구 논문을 추출하였다. 한국교육학술정보원이 제공하는 데이터베이스(RISS)를 통해 검색하였으며, 이 때 활용된 키워드는 ‘뇌’, ‘두뇌’와 함께 ‘학습’, ‘교육’ 등이었다. 뇌-기반 학습은 연구자마다 다른 용어로 기술하기도 하기 때문에, 선행 연구를 바탕으로 다양한 키워드를 순차적으로 입력함으로써 포괄적 범위에서 점점 본 논문의 목적과 관련된 소범위로 좁혀가며 재분류하는 방식으로 대상 논문을 수집하였다. 여기서 학위 논문은 제외하고, 전문 학술지의 논문만 대상으로 하였다. 이러한 과정을 통해 1차적으로 수집된 학술지 논문의 수는 모두 800여 건에 달했지만, 내용상 분석 대상에 포함시키기 어려운 논문들과 동일한 제목과 내용으로 2개 이상의 데이터베이스에 수록된 논문, 그리고 기관에서 발행한 보고서류를 제외한 181건의 논문을 최종 분석 대상으로 선정하였다.

2. 분석 준거

뇌-기반 학습 관련 논문들의 분석을 위해 Kim *et al.*(2006)이 메타연구에서 연구 대상, 학위 종류, 전공명, 소속기관, 저자, 출판연도, 연구 영역, 연구 분야 및 연구 방법 등으로 분류해서 사용했던 분석틀을 일부 수정하여 코딩 체계와 양식을 개발하였다. 예비 코딩과 세미나를 통한 5인의 안면타당도

Table 1. Analysis criteria in research area

Criteria	Content
Duration	1989~2012.08.
Research objects	Kindergarten children, primary students, secondary students, university students, the gifted, the disabled, pre-teachers, teachers, literature
Research themes	Education Subject education Language, math, science, art, home economy, computer, moral, the gifted, the disabled, preschooler
Research contents	Examination/analysis, effect analysis, development/application, actual condition/theory/contents analysis
Research designs	Quantitative analysis, qualitative analysis, mixed method study

검사와 조정 과정을 거친 후, 수정·보완하여 Table 1과 같이 연구 연도, 연구 대상, 연구 주제, 연구 설계별 최종 분석 준거를 마련하였다. 분석 준거의 세부 내용은 Table 1과 같다.

3. 내용 분석

이 연구에서 제시한 연구 문제를 해결하기 위해 다음과 같은 내용 분석 과정을 거쳤으며, 전문가들이 참석한 10회의 세미나 과정으로 타당도를 확보하기 위해 노력하였다.

첫째, 문헌 연구를 통해 뇌-기반 학습 관점에서 설명하는 학습활동의 의미를 다루기 위해 논문 내의 뇌-기반 학습과 관련된 문장을 추출하고, 뇌-기반 학습과 관련된 연구를 진행한 연구자들이 사용한 용어를 분석함으로써 용어의 변화에 따른 연구의 흐름을 분석하였다.

둘째, 뇌 구조와 기능에 대한 지식의 증가가 학습에 미치는 영향을 알아보기 위하여 기존의 학습활동과 직접적으로 관련된 내용들보다는 뇌 관련 지식의 증가로 학습활동에 새롭게 등장하거나, 강화가 요청되는 요소들을 다룬 논문들을 중심으로 조사하였다.

셋째, 연구 대상, 교수·학습활동 등과 관련해 뇌 가소성의 특성이 뇌-기반 학습 연구에서 어떻게 반영되는지 조사하였다.

넷째, 뇌-기반 학습이 초등과학교육 패러다임에 가져온 변화를 살펴보기 위하여, 각 논문에서 뇌 활성 변화 측정을 위해 활용한 검사 도구를 추출하여 학습 중에 일어나는 뇌 변화의 추적 양상을 살펴보았다.

다섯째, 뇌-기반 학습의 초등과학교육에의 적용을 위한 조건을 파악하기 위해 교수·학습, 교과서, 교육과정, 교육 평가 등 교육학적 측면에서 분석하였다.

III. 연구 결과 및 논의

1. 뇌-기반 관점에서의 학습활동 의미

뇌-기반 학습과 관련된 181편의 논문에서는 뇌-기반 학습과 관련된 용어들이 다양하게 사용되었는데, 이는 연구자의 연구 목적과 필요에 따른 각각의 개별적 특성을 지니고 있을 것이다. 연구자들이 특정한 용어를 통해 세밀한 내용을 설명하려는

의도를 담고 있기 때문에, 작은 차이를 이해하려는 것은 중요하다. 하지만 일반적으로 교사가 이들의 자료를 활용하려고 할 때 사용된 용어들을 세밀하게 이해하고, 그 차이를 반영해서 교수·학습활동에 적용하기는 어렵다. 특히, 각각의 연구물에서 제시하는 뇌-기반 학습의 의미는 연구자에 의해 차이를 보이기 때문에 더욱 그렇다. 따라서 뇌-기반 관점에서의 학습활동의 의미를 더 명확하게 하기 위해, 크게 ‘분화된 뇌 기능에 의한 학습’, ‘뇌 기능 통합 관점에 의한 학습’, ‘뇌 기능 분화와 통합 관점을 넘어서는 학습’으로 범주화하여 고찰하였다.

1) 분화된 뇌 기능에 의한 학습

뇌-기반 학습과 관련된 연구들 중에는 뇌의 기능적 분화의 관점에서 학습활동을 이해하고 접근하는 특성을 보이는 것들이 있다. 이 관점에 따르면 학습이라는 것은 이미 분화되어 있는 뇌의 기능에 맞춰서 학습하는 활동을 의미한다. 즉, 우뇌적 특성과 좌뇌적 특성을 반영해 학습활동을 달리하는 것이 학습활동에서 필요하다는 입장이다.

Park(1999)의 연구에서는 뇌 기능에 대한 특성을 기능에 따라 나누고 있는 것을 쉽게 이해할 수 있다. 그녀는 뇌 기능특성 집단을 4집단, 즉 양뇌우세아 집단, 우뇌우세아 집단, 좌뇌우세아 집단, 양뇌부진아 집단으로 분류했을 때, 양뇌우세아 집단이 학업성취도, 창의성 점수도 높고, 양뇌부진아 집단이 학업성취도, 창의성에서 가장 낮다고 설명했다. 이 연구는 연구 결과와 상관없이 뇌의 기능을 좌·우뇌의 기능적 구분을 전제로 하고 있다. 이것은 뇌의 기능을 분화적으로 이해하는 한 예이다.

Chung *et al.*(1999)은 중학생을 대상으로 한 연구에서 과학탐구 능력과 우뇌 기능의 관련성을 밝히고 있는데, 우뇌 중심의 학습 프로그램으로 과학탐구 능력의 신장 가능성이 높아진다는 것과 뇌 기능 분화의 특성을 기초로 한 수업 방법의 개선 및 프로그램 개발의 필요성을 제시하였다. 이 연구에서는 현재의 과학교육이 좌뇌적 접근을 하고 있는데, 더 학습 성과를 높이기 위해서는 과학교육에서 우뇌적 접근을 해야 한다는 점을 설명하고 있다. 거기에 더해 학습활동 수업 방법과 프로그램이 뇌 기능 분화에 의해 구성되고 제시되어야 한다는 것을 결론적으로 정리하고 있다. 이 관점은 뇌의 기능 분화에 대한 전통적인 관점을 확인하는 입장

이라고 할 수 있으며, 좌·우뇌적 기능 분화의 특성에 걸 맞는 교과활동을 하는 것이 바로 뇌-기반 학습이라고 주장한다.

2) 뇌 기능 통합 관점에 의한 학습

기존의 뇌-기반 학습활동이 좌·우뇌의 특성에 따라 학습 내용, 교수방법, 학습 프로그램, 성취수준을 재구성해야 한다는 것이 정설이었다면 이와는 달리 비록 뇌가 좌·우로 분화되어 있어도 좌·우뇌의 발달을 통합적으로 발달시킬 수 있으며, 통합적 발달을 이끌어 내는 교수·학습활동을 제공해야 한다는 입장이 있다. 예를 들면 학생들의 과학적 탐구 능력을 발달시키기 위해서는 좌뇌의 영역만을 자극하는 학습활동보다는 우뇌의 영역을 함께 발달시킬 수 있는 활동이 제공되어야 진정한 학습이 이루어진다는 관점이다.

이러한 입장을 지지하는 연구들 중에서 초등학생을 대상으로 전뇌학습 프로그램을 개발 및 적용한 예가 있다. 이 연구에 의하면 전뇌학습은 통계적으로 창의력 향상에 효과적이며, 과학과 학업 성취에 있어서 효과가 있는 것으로 나타났다(Choe & Jang, 2003).

Ha(1992)은 자신의 연구에서 전뇌 개발이 학생들의 학습 발달에 도움을 주는 방법이라고 설명을 하고 있으며, Choi(1993)은 뇌 기능과 학습방법의 관계를 조사한 연구에서 좌·우뇌 기능은 분리되어 각각의 고유한 영역에 대한 영향을 끼치고 있지만, 좌·우뇌가 균형 있게 발달할 수 있는 학습 방안에 관한 연구가 필요함을 제시함으로써 양뇌 혹은 전뇌를 대상으로 교수·학습의 관점을 전환할 것을 요구하고 있다.

3) 뇌 기능 분화와 통합 관점을 넘어서는 학습

뇌를 좌·우뇌로 구분하고, 각 영역의 자극과 통합을 넘어서는 활동이 학습활동이라는 입장이 있다. 뇌의 인식작용과 관련된 학습활동은 좌·우뇌의 특정 영역으로 나누어 이해할 수 없으며, 단순히 통합만으로 설명되기도 어렵다는 것이다. 특히, 기존의 좌·우뇌의 영역과 관련된 학습활동의 특성이 다르게 나타남을 설명하고 있다.

중학생을 대상으로 과학문제 풀이 사고 과정에서 뇌파 분석에 의한 뇌 기능을 다룬 Kim(2003a)의 연구에 따르면 학생들이 과학문제를 풀이하는 과

정에서 대뇌 좌·우반구의 기능 우세성은 나타나지 않았다. 과학 문제의 인지와 풀이를 위한 과학적 사고 작용이 대뇌 좌·우반구의 기능 우세성을 보이지 않으면서 오히려 전두엽의 기능 활성화와 밀접한 관련이 있다고 설명한다. 좌·우뇌의 기능 분화라든지 혹은 이들의 통합이라는 관점이 아니라, 전두엽이라는 영역을 통해 설명하고 있는데, 여기에서의 특징적인 것은 과학적 사고, 과학교육 내용이 좌뇌적 특징을 지닌다는 기존의 관점과는 전혀 다르다는 것이다. 그렇기 때문에 좌·우뇌의 통합적 관점에 대해서도 언급을 하고 있지 않다.

좌·우뇌의 분화 및 통합과 상관없이 설명되어지는 내용 중의 하나는 논리적 사고이다. 기존의 좌·우뇌 분화의 관점에서 본다면 논리적 사고는 좌뇌의 영역이다. 하지만 Chung *et al.*(1998)은 논리적 사고와 관련된 연구에서 논리적 사고 발달이 뇌의 신경계 발달과 깊은 관련이 있다고 설명한다. 뇌의 신경계 발달로 동시에 많은 양의 정보를 처리할 수 있을 때 논리적 사고력이 발달되는 것을 알 수 있으며, 동시적/연속적 정보처리에서 높은 점수를 얻은 학생들이 논리적 사고력 수준이 높다고 설명한다.

현재까지 뇌-기반 학습 연구에서 설명된 학습의 특성을 분석하여 모형으로 나타내면 Fig. 1과 같다. 이것은 뇌-기반 연구와 관련된 과학기술의 발달에 의해 뇌-기반 학습 분석이 복잡적이고 다차원적으로 발달하는 과정을 정리한 것이다. 이 모형에 의하면 뇌-기반 학습 연구의 발달은 1차원, 2차원, 3차원, 4차원, 5차원의 흐름을 보인다.

1차원적 입장에서는 좌·우뇌를 구분하면서 뇌를 이해하고, 그에 따른 뇌 기능과 관련된 학습 형태를 분류해 왔다. 즉, 좌·우뇌의 선형적 구분을 통해 뇌 기능을 이해하는 수준이다. 좌·우뇌 구분을 통한 이해가 제한적이라는 것은 이미 알려져 있지만, 뇌를 이해하기 위한 첫 걸음으로서는 매우 의미 있는 단계이다.

하지만 이 관점만으로는 뇌 기능을 설명할 수 없는 한계와 다른 양상들이 나타난다. 선형의 1차원적인 관점을 넘어 뇌 기능에 대한 평면적인 이해를 요구하게 되는데, 그것이 2차원적인 해석이다. 즉, 뇌 기능에 대한 선형적 판단을 넘어 좌·우뇌의 상관성을 이해하고, 통합적으로 접근하는 것이다. 이 연구에서 분석된 논문들의 흐름을 보면, 좌·우뇌

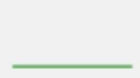

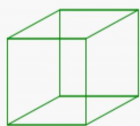
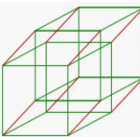
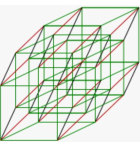
	Figurative model	Dimensional analysis (Components)
First stage: Linear research level		One-dimension ↓ (the view point of) The Left-right hemisphere separation
Second stage: Flat research level		Two-dimension ↓ The Left-right hemisphere separation + Whole brain
Third stage: Solid research level		Three-dimension ↓ The Left-right hemisphere separation + Whole brain + Brainwave
Fourth stage: Complex research level		Four-dimension ↓ The Left-right hemisphere separation + Whole brain + Brainwave + Neurotransmitter
Fifth stage: Complex solid research level		Five-dimension ↓ The Left-right hemisphere separation + Whole brain + Brainwave + Neurotransmitter + α (not found yet, Brain implant)

Fig. 1. Figurative model of meaning change of learning activity in brain-based learning

기능의 구분을 통한 뇌-기반 학습 활동 이후에 전 뇌적인 관점에서 뇌 기능을 이해하고, 이를 학습에 적용하려는 시도들이 등장한다. 기존의 좌·우뇌 기능 분화의 관점에서 본다면 큰 변화라고 할 수 있겠지만, 이는 여전히 뇌를 좌·우로 구분하고, 다시 이들의 구분을 통합하려는 수준에서 접근하는 것이다.

뇌 기능에 대한 3차원적 이해는 뇌 기능의 분화와 통합을 넘어 좌·우뇌의 발달 한계점을 넘어서기 위해서는 상대편 뇌의 협조가 반드시 필요하다는 관점이다. 2단계 수준의 통합과 차이가 있는데, 2단계에서는 뇌 기능이 상호 협조적이어야 한다는 관점이라면 3단계에서는 좌·우뇌의 뇌 기능 임계점 극복을 위해서는 다른(좌·우) 뇌의 영향을 받는다는 입장이다. 설명과 그 차이가 미묘하지만, 이것은 뇌-기반 학습의 통합적 접근의 방향을 제시하

는 내용이기도 하다. 좌·우뇌의 통합을 해야 하는 이유는 바로 한쪽 뇌의 발달 한계를 극복하는 주요 키(key)를 만나기 위한 것이라고 정리할 수 있기 때문이다. 이것의 증명을 가능하게 하는 것이 뇌파 연구의 등장인데, 뇌 기능 반응에서 뇌파의 등장은 좌·우뇌의 통합을 넘어 뇌의 활성화를 이루는 특정한 반응양식과 위치가 있다는 것을 설명하고 있기 때문이다.

4단계에서는 기존의 뇌-기반 학습 연구에 더해서 ‘신경전달물질’이라는 뇌 기능의 세밀한 요소가 등장한다. 신경전달물질과 학습반응의 관계를 다루는 연구들이 현재 활발히 시도되고 있고, 현재까지 뇌-기반 학습 연구의 흐름으로 볼 때 신경전달물질은 뇌-기반 학습 연구의 수준을 한 단계 발전시킬 것이라는 판단이 가능하다.

그리고 ‘신경전달물질’ 이후에 등장하게 될 그 무엇, ‘알파(α)’에 의해 그 이상의 발전을 하게 될 것으로 생각된다. 그러므로 뇌-기반 학습에서 제시하는 학습활동에 대한 정의는 고정적이기 보다는 상호 연계성을 지니고 있으며, 발달적·진화적 의미를 포함하고 있음을 이해할 필요가 있다. 이러한 발달은 물론 과학기술을 바탕으로 하는 것이지만, 이 흐름 속에 담겨진 관계의 맥락을 이해하는 것이 매우 중요하다.

2. 뇌 구조와 기능에 대한 지식의 증가와 학습에 대한 이해

최근 뇌 영상화 연구들을 중심으로, 발달, 학습, 기억, 사고 과정에 대한 새로운 이해는 물론, 난독증을 비롯한 읽기장애, 발달장애 등의 원인 파악, 진단과 처방에 관한 연구에 이르기까지 다양한 연구가 폭발적으로 진행되고 있다. 뿐만 아니라, 거울 뉴런의 발견과 마음이론에 관한 연구는 타인의 의도를 파악하고, 공유된 인지과정에 대한 연구로 관찰학습, 협동 학습 및 교사와 학습자 상호작용에 관한 많은 시사점을 제공한다.

학습과 관련된 뇌 기능을 여러 가지 영역으로 구분하여 대표적인 논문들을 중심으로 뇌 구조와 기능에 대한 지식의 증가와 학습에 대한 이해에 대해서 논의하였다.

1) 정서와 학습의 관계

교육의 주된 영역인 학습활동은 현재까지 인지

적 영역으로 여겨지고 지속되어져 왔다고 할 수 있다. 실제로 인지적 영역에 속한 부분이 많기도 하지만 무엇보다도 교사의 입장에서 수업을 진행하기에 인지적 영역으로 이끄는 것이 수월하기 때문일 수도 있다.

수업에서 인지적 측면 외의 다른 활동으로는 정의적 측면을 생각할 수 있다. 정의적 측면은 학생의 학습활동과 관련이 있다고 각 교과에서 정당화하고, 교과서의 구성과 활동에 반영을 하고 있다. 이 정의적 측면의 한 특징을 바로 정서라고 할 수 있다. 학습은 정서의 영향을 강하게 받는다(Wolfe & Brandt, 1998). 편안하고 긴장이 어느 정도 이완된 상태에서 학습이 이루어질 때 학습의 효과가 극대화 될 수 있다. 예를 들어 협동학습 상황에서는 기본적으로 다른 사람들의 생각을 격려하고 칭찬해주는 긍정적인 분위기를 조성하는 것을 목표로 하기 때문에 특별히 긴장하면서 학습하게 되는 경우는 거의 없다고 볼 수 있다. 정서적으로 안정적인 분위기를 만들어 주기 때문에 학습에 긍정적인 효과를 미친다고 볼 수 있다(Choi, 2006).

이러한 정서에 대한 다양한 정의가 있지만, 뇌 과학적 입장에서 설명하는 정서는 정보를 저장하고 회상을 촉진시키는 역할을 하기 때문에, 정서가 기억에 결정적인 역할을 한다(Miller, 2000). 이런 역할을 잘 이해하기 위해 정서를 뇌 기관 및 구조와 기능으로 연계해 더 세밀하게 살펴볼 필요가 있다. 뇌 기능적인 관점으로 보면 정서는 변연계와 대뇌피질과 관련이 있음을 알 수 있다.

Cho and Lee(2005)은 변연계에서 학습에 대한 흥미와 의욕이 유발될 때 학습이 용이하고, 또한 약간의 두려움과 긴장을 유발하여 변연계를 각성시킬 때 대뇌피질이 더불어 각성되어 학습이 증가한다고 말한다. 하지만, 지나친 흥분이나 두려움을 유발하게 되면, 학습은 제대로 이루어지지 못한다고 설명한다.

기존의 심리학이나 신경과학의 연구에서는 정서와 인지가 마치 독립적인 메카니즘인 것처럼 다루어왔다. 그러나 정서를 담당하는 뇌가 인지 일반을 담당하는 뇌와 밀접하게 연결되어 있다는 견해가 점차 수용되고 있다(Caine & Caine, 1994; Jensen, 1998a; 1998b; 1998c; Shin, 2006). 학습은 단순히 이루어지는 것이 아니라, 학습에 대한 기대, 편견, 자아존중감, 사회적 상호작용에 의한 감정 상태의 영

향을 받는다(Caine & Caine, 1994).

해마와 편도체는 감정반응과 운동신경을 관리하는 대뇌변연계를 이룬다. 전자는 의식적인 중립적 기억을 전전두엽 피질과 함께 담당하고, 후자는 부정적 감정(고통스러움, 놀람, 불안 등)을 회피하여 생존능력과 제고하는 공포조건화에 관여한다. 해마와 편도체는 상호작용하여 정서적 기억을 만들고, 이는 뇌속에서 장기기억화 되는 과정을 거친다(Blakemore & Friths, 2005; Immordino-Yang & Damasio, 2007). 따라서 최근 신경과학적 학습연구에서는 학습과 정서의 밀접한 상관성을 밝히고 있다. 예를 들어 정서적으로 불안한 학생은 합리적 의사결정 능력과 학습능력이 저하된다는 것이다. 불안과 공포와 연관된 학습경험은 회피본능을 자극하여 학습의 능률성을 저하시킨다. 정서와 분리된 사실적 지식만을 강조하는 기존의 수업형태나 체벌과 스트레스가 만연하는 현재의 교육현장은 학습에서의 정서의 중요성을 재인식할 필요가 있다(Park, 2009). 따라서 최적의 학습능력을 계발하기 위해서 학생은 정서적으로 유능해야 할 것이다.

학습과 정서의 관계는 과학 교과에서 좀 더 구체적으로 그 관계를 설명할 수 있다. 과학적 창의력과 정서적 감수성의 관계에 대한 연구를 한 Cho and Kim(2011)에 의하면 과학영재들의 정서적 민감성이 일반 학생들보다 높게 나타나므로, 과학영재들의 정서적인 측면을 계발하는 교육프로그램의 개발이 필요하다고 설명한다. 또한 Lim and Oh(2004)는 초등학교 학생이 긍정적인 감정상태에서 과학 학습을 할 때 기억을 더 많이 한다는 결과를 발표하였다.

이는 정서가 학습의 성과를 위해 반드시 필요한 요소임을 뇌 기능을 통한 객관적 근거를 제시하고 있다는 점에서 큰 의미가 있다고 할 수 있다.

2) 창의성 교육

창의성의 특징 중 하나가 ‘새로운 아이디어의 생성’이라는 점에서 그동안 많은 사람들이 창의성을 전적으로 우뇌 피질의 작용으로만 생각해 온 경향이 있다. 그러나 창의성에 대한 뇌 과학적 규명이 이루어질수록, 창의성은 그렇게 단순하게 발견되어 결실에 이르는 것이 아님이 알려지고 있다.

창의성 개념은 우선 창의성을 두 관점에서 이해하려는 시도가 필요하다. 하나는 인지심리학적이고,

다른 하나는 뇌 과학적 관점에서 의미이다.

우선 종래의 거시적 관점에서 연구해 온 인지심리학의 설명을 살펴볼 필요가 있다. 인지심리학적 설명과 뇌 과학을 통해 밝혀지는 사실들이 상호보완적으로 창의성의 종합적 이해에 기여할 수 있기 때문이다. 인지심리학적으로 볼 때, 창의성은 ‘주어진 문제 상황에 대하여 적절하면서도 새로운 사고를 해낼 수 있는 능력’으로 정의된다(Im, 1993). 달리 말하면, ‘유기체가 어떤 상황 속에서 새로운 관계를 지각하거나, 기존의 사고 유형에서가 아닌 새로운 유형으로 사고하여 참신한 아이디어를 산출해 내는 능력’을 말한다(Cho, 2001a).

창의성 개념에 대한 또 하나의 관점으로서 뇌 과학적 입장은 ‘유기체 뇌 안에서의 신경망이 기존의 연결과는 다른 유형으로 재구성됨으로써, 문제해결이나 창조를 위한 새로운 아이디어 생성을 이루는 성향 또는 능력’이라고 정의할 수 있다. 한 개인이 경험하고 기억하는 모든 학습 내용은 뇌 속에서 독립된 사고 기능 단위(즉, 모듈) 형성을 통해 담겨진다(Son, 2000; Cho, 2001a). 모듈의 연합으로 인해 보다 큰 범주의 사고나 행위가 나타나게 되는데(Sylwester, 1995; Cho, 2001a), 때로는 순간적으로 기존의 연합과는 전혀 다른 새로운 연합을 이루어 작용할 수 있다(Cho, 2001a). 이 때 그 개인의 뇌에서는 이전에는 전혀 떠올리지 못했던 새로운 의미나 아이디어, 즉 창의적 사고가 떠오른다.

Uemura(1980), Katz(1983)의 연구에서는 언어적인 자극에 대한 창의성 검사에서 오히려 좌뇌와 긍정적인 상관관계를 보였다. Park(1999)에 의하면 창의성은 우뇌보다는 좌뇌와 더 높은 상관관계를 보였으며, 그 차이는 유의했다. 반면에 창의적 사고는 뇌 기능의 특성상 우뇌의 인지활동이라고 주장하는 연구 결과(Lee, 1987)도 있다. Denny and Wolf(1984)는 우뇌 기능과 창의성과는 긍정적인 상관관계이나, 좌뇌와는 부정적인 상관관계가 있다고 설명한다. 위와 같이 상반되는 결과는 과제의 속성에 따라서 달라진다고 해석할 수 있다.

한편, 좌·우뇌의 분화적 관점이 아니라, 통합적 접근을 제시하기도 한다. 창의력을 증진시키기 위해서는 우뇌 기능만을 집중적으로 자극함으로써 길러지는 것이 아니라, 좌·우뇌의 기능을 통합적으로 자극함으로써 보다 더 잘 길러진다는 주장도 있다(Grady, 1978).

이상과 같이, 창의성과 관련된 뇌-기반 학습 연구들에 의하면 창의성의 특성은 아직 확정적이지 않다. 그렇다고 해서 모호한 것은 아니다. 분명한 것은, 좌·우뇌의 분화적 관점이든 혹은 통합의 전 뇌적 관점이든 간에 창의성은 분명하게 뇌의 작동 기체에 의해 이루어지는 현상으로서 학습 과정에서 다룰 수 있다는 점이다.

3) 자발적 학습동기 유발 방법

교사에게 있어서 학생들의 학습활동을 성공적으로 이끌 수 있는 적합한 학습동기를 제시한다는 것은 매우 어렵다. 교사가 부담을 가질 수 있는 학습동기 유발 방법에 대해 뇌 과학 연구는 매우 긍정적이고 발전적인 관점을 제시하고 있다.

뇌 과학 연구에 의하면 동기 저하의 정도와 원인은 각기 다르겠지만, 그 해결책은 비교적 용이하다. 교사는 학습자의 교실 밖 세계를 학습의 출발점으로 하는 정서적 고리를 만들고, 새롭고 다양한 학습경험을 통해 선택의 기회를 부여한다. 학습자가 스스로 목표를 도출하고, 긍정적 사고를 익힐 기회를 제공하며, 다양하고 질 높은 피드백을 활용하는 것이다. 그런 활동을 하는 동안 학습자의 뇌에서는 편도체가 입력 정보를 유쾌하게 수용하고 도파민이 분비되어 전측대상회(anterior cingulate)가 학습하려는 의욕을 가지며, 전두엽이 목표를 설정하고 과제수행을 지시하여 동기가 유발되기 마련이다. 실제로 뇌-기반 교수·학습을 구현하려는 의도에 만들어진 한 학습 프로그램에서는 만성적인 동기 저하를 경험한 12~22세의 학생들을 대상으로 이들 활동을 적용하여 성공적인 결과를 제시한 바 있다(Jensen, 1998a; 1998b; Kim, 2006).

그러나 우리의 교육현장에서는 오랫동안 뇌의 작용기체와는 무관한 학습동기 유발 방법이 남용되어 온 나머지, 뇌의 내적 동기 유발기체를 제대로 활용하지 못하였다. 그 대표적인 예로는 교사들이 ‘학습자의 동기를 어떻게 유발시킬 것인가?’에 관심을 가지고 너무 많은 외적 동기를 활용해 온 것들을 들 수 있다. 교사들이 학습자에게 외적 동기를 많이 활용해 온 이유는 학습이란 기본적으로 외적 동기에 의해 일어난다는 행동주의자들의 가정에 기반을 두었기 때문이다.

그러나 많은 뇌 연구에서 밝혀진 바에 따르면, 외적 동기가 정보적인 가치가 있고, 과제 참여를

촉진할 수는 있지만, 학습자의 뇌는 결코 물질적 보상, 관리, 또는 위협으로 회유되어야 하는 수동적인 존재가 아니다(Hennessey, 2000; Ryan & Deci, 2000; Kim, 2006). 이런 사실을 비추어 볼 때, 이제 우리는 ‘학습자의 동기를 어떻게 유발시킬 수 있을까?’라는 질문을 제기하는 것보다, ‘뇌는 어떤 식으로 동기가 유발될까?’라는 질문을 제기하는 것이 더 적절할 것이다. 뇌 과학에서 뇌 작동 기제를 바탕으로 설명하는 학습동기 유발의 방법은 교사라면 한두 번쯤 생각하고 경험했을 내용이다. 하지만 그 과학적 근거를 지니고 있지는 못했을 것이다.

그러나 뇌 과학에 의한 연구들은 학생들의 학습동기 유발을 뇌 기제를 통해 설명해 줌으로써 교사들이 학생들의 자발적 학습동기 유발을 이끌어 내는 것에 대한 과학적, 실제적 근거를 밝혀주고 있다. 이것은 교육 현장에 매우 의미 있는 일이다. 뇌 과학 연구는 학습동기 유발과 관련된 교사의 개별적인 성공과 실패를 명확하게 설명해줄 수 있기 때문이다.

3. 뇌 가소성의 특성을 반영한 학습활동

뇌 가소성은 뇌의 각 부분이 기능적 특성이 결정된 뒤에도 그 부분 안에서 세포들 간의 신경 전달의 연결 관계가 강화되거나 약화되어 그 기능적 특성의 정도가 변화되는 것을 말한다. 또는 뇌의 구조와 기능이 전적으로 유전적인 요인에 의해 결정되기 보다는 출생 후 주어진 환경의 영향에 따라 얼마든지 변화될 수 있다는 관점이다(Cho, 1994).

이러한 뇌의 가소성 개념은 풍부한 환경적 자극을 강조하기 때문에 교육적 시사점이 많다고 볼 수 있다. 예를 들어 교사가 뇌의 발달에 어떠한 환경이 도움이 되는가를 이해하고 있다면, 수업활동을 설계할 때 어떠한 환경이 필요한지에 대한 분명한 목표의식이 생길 것이기 때문이다(Lee, 2002). 이처럼 뇌의 가소성 개념은 뇌 발달에 영향을 미치는 유전적인 요소보다는 뇌 발달에 도움이 되는 풍부한 환경적 자극과 영향을 중시한다고 볼 수 있다(Choi, 2006).

이 뇌 가소성은 교육이라는 활동을 적극적으로 해야 하는 당위적 목적의 하나를 제공하는 조건일 수 있다. 즉, 교육을 받으면 뇌가 반응을 하고, 그 반응은 바로 뇌의 변화를 가져올 수 있다는 것을 설명할 수 있기 때문이다. 이 뇌 가소성은 뇌-기반

학습과 밀접한 관련을 가지고 있다. 하지만 뇌 가소성과 관련된 일부의 잘못된 이해가 있는 경우가 있다. 예를 들면 뇌는 새로운 세포를 만들 수 없다든지, 뇌를 한번 다치면 영원히 회복 불가능하다는 생각이다. 이런 관점이 옳다면 뇌의 가소성과 이 가소성을 기반으로 하는 학습활동의 변화 가능성을 주장할 수 없을 것이다. 하지만 뇌가 뇌세포를 새로 만들 수 없다든지, 한번 뇌를 다치면 영원히 회복할 수 없다는 것은 근거 없는 확신일 뿐이고, 또한 뇌의 가소성을 바탕으로 학습활동을 이해하려는 것에 장애가 되는 요소일 수 있다는 것을 염두에 둘 필요가 있다.

1) 학습장애 치료로서의 학습활동 타당성 제공

몇몇 학생들은 학습활동에 있어서 제한점을 가지고 있다. 통계적으로 보면 학생들의 5~15% 정도가 학습활동에 장애를 일으키는 요소를 지니고 있다고 한다(Taylor, 1976). 이 학습장애는 학생 스스로가 인지를 하는 경우와 인지를 못하는 경우로 나누어 생각할 수 있다. 문제는 학습장애에 대한 학생의 인지 여부와는 상관없이 학생 스스로는 학습활동의 문제를 개선하기 힘들다는 점이다.

뇌-기반 학습에서는 학생에게 나타나는 학습장애의 현상을 분석적으로 파악하고, 이를 개선할 수 있는 방법을 구체적으로 제시할 수 있다는 특징을 지닌다. 이것은 뇌-기반 학습의 가장 큰 장점이라고도 할 수 있는데, 장애의 정도에 따라서는 약물 사용 없이 학생의 학습장애를 일정 부분 조정할 수 있는 가능성을 제시하고 있다. 이것이 가능한 것은 바로 뇌가 갖는 가소성의 특성 때문이다. 이를 자세히 알아보면 다음과 같다.

Jeon(1989)은 정신박약아의 뇌 기능을 구분하고, 우세한 영역을 직접적으로 제시함으로써 교사로서 하여금 정신박약아를 지도함에 있어서 우뇌 기능적 관점을 유지하는 것이 효과적이며, 뇌 기능을 활성화하는 것에 도움이 된다는 것을 안내하고 있다. 뇌 기능 분화이론에 근거한 이러한 접근은 정신박약아 학생들의 학습과 동시에, 뇌를 자극하는 치료의 성격을 지니고 있다고 할 수 있다.

Kang and Lee(2007)는 뇌의 역기능이 장애의 원인과 밀접한 관련이 있다는 전제 하에 뇌의 기능 및 기능부전에 대한 이해를 토대로 뇌 과학을 통한 학습 전략의 적용과 발달 수준에 적합한 환경 및

경험 제공, 뇌 반구 훈련과 다감각적 방법을 통한 읽기 능력의 향상과 좌·우뇌의 교류촉진의 관점에서 장애아동들의 학습에 접근을 해야 한다고 설명한다.

Lee *et al.*(2007)은 국외의 연구에서 아동기 장애와 관련된 뇌 부위의 연구결과를 효과적으로 활용하여, 치료개입을 통한 성공적인 결과가 있다고 소개하고 있다. 이는 뇌-기반 학습이 단순히 학습이론의 하나로서만이 아니라, 뇌-기반이라는 특성화된 관점에 의해 장애 학생들을 치료할 수 있는 구체적인 활동으로서의 성격도 지니고 있음을 설명해 주는 좋은 예라고 할 수 있다.

2) 학습을 통한 뇌 기능의 선별적 향상

학생들의 뇌 기능의 분포는 다양한데, 단순하게 뇌 기능 중심으로 구분하여 설명을 한다면, 좌뇌형, 우뇌형, 양뇌형으로 제시될 수 있다. 학습활동 방법에 따라 학생들의 뇌 기능을 구분되게 발달시킬 수 있다면, 그것은 뇌-기반 학습의 또 다른 장점이 될 것이다. 학생들이 지니고 있는 장점을 살리면서 부족한 뇌 기능을 향상시킨다면 학생들에게 많은 도움을 줄 수 있는 가능성이 커지기 때문이다. 이러한 가능성은 바로 뇌 가소성이 반영된 학습활동이라고 할 수 있다. 이 학습활동은 학생들의 학년과 성별에 따라 다르게 반응이 나타날 수 있다. 하지만 뇌-기반 학습은 뇌 기능에 따른 선별적 학습의 가능성을 설명하고 있다. 그 근거는 바로 뇌 가소성에서 찾을 수 있다.

Ha(1992)은 좌·우뇌 기능 중 열세인 뇌 기능과 관련된 경험을 통해서 부족한 뇌 기능을 발달시킴으로써 좌·우뇌 기능이 균등한 특성을 갖도록 할 수 있다고 말한다.

이 관점은 미술교육과 관련해서도 제시되었는데, Baik(2008)은 좌·우뇌 기능 중 열세한 뇌 기능과 관련된 부분들을 교육을 통해 부족한 뇌 기능을 발달시켜 아동들이 좌·우뇌 기능이 균등한 특성을 갖도록 할 수 있다고 설명한다.

또한, 창의성은 고정적인 것이 아니라, 훈련을 통해서 증진될 수 있다는 가능성에 대한 이론적 개발과 함께 영재아의 경우도 우뇌 프로그램을 경험함으로써 창의력 증진이 가능하다고 설명한다(Park & Ha, 1995).

Kim *et al.*(2010)의 연구에서는 수학과 관련된 개

방형 문제가 뇌 기능에 미치는 효과를 다루고 있는데, 개방형 문제를 통해서 학생들은 세타(θ)파를 낮추고, SMR파가 활성화되어 주의력이 높아진다고 말한다.

이상의 연구들을 통해 보면 좌·우뇌 기능의 차이가 있음을 알고, 기능에 따라 선별적으로 학습을 하는 것이 가능하다는 것을 생각할 수 있는데, Chung and Park(2010)의 연구에 의하면 한 가지 더 생각해 볼 것을 제시하고 있다. 지구과학 영재들의 좌·우뇌 활용 선호도에 따른 문제해결 방식을 연구한 결과에 의하면, 좌·우뇌 성향별로 문제해결력의 점수 차이는 없었지만, 문제를 해결하는 방식에서는 차이가 있다고 말한다. 이는 좌·우뇌 성향에 맞는 차별화된 교수·학습 자료를 개발해야 하는 근거가 되기도 한다. 이러한 것들은 바로 뇌 기능을 분화적으로 이해하고, 또한 그 영역들을 강화하는 것이 학습 능력과 관련이 있다는 명확한 근거를 설명하고 있다.

3) 학습활동의 전뇌적 접근의 필요성

뇌 기능의 관점에서 본다면 기존의 교과학습들은 교과의 특성에 따라 어느 정도의 구분을 할 수 있다. 예를 들면, 언어와 과학은 좌뇌적 특성이 강하고 미술과 음악은 우뇌적 특성이 강하다고 그 특징을 구분할 수 있다. 하지만 뇌 가소성의 특징을 반영한다면 이러한 뇌 기능적 구분이 오히려 뇌의 역할을 제한시킬 수 있다. 일정한 수준에 이르기까지는 뇌 기능적 관점으로 접근을 하는 것이 의미 있을 수 있다. 즉, 과학 수업을 하는 것에 있어서 좌뇌적 특성을 반영해서 과학학습활동을 구성하는 것이 의미 있다. 하지만 창의성을 지닌 과학적 관점을 갖도록 하기 위해서는 학생들에게 전뇌적 접근이 가능한 과학학습활동을 구성해야 한다는 점이다. 특히, 특정 교과를 떠나서 학생들의 창의성을 끌어내는 경우에는 더욱 그렇다.

Ha(1992)은 창의성을 요구하는 수학적 문제해결력을 향상시키기 위해서는 전뇌 개발 교육이 이루어져야 한다고 설명한다.

학습활동에 대한 전뇌적 접근을 직접적으로 한 연구에 의하면 강의식 수업은 좌뇌형 특성인 언어적 매체에 주로 의존하기 때문에 좌뇌형으로 나타나고, 실험 수업은 다양한 시각적 정보와 손의 움직임에 주로 의존하기 때문에 우뇌형으로 나타난

다고 한다. 직관적·통합적·확산적 뇌 인지 기능을 자극시키고, 창의력과 학습 능력을 증가시키기 위해서는 과학교육에서 실험 수업의 지속적 시행과 전뇌 학습의 도입이 필요하다고 말한다(Park & Chang, 2001). 이 연구는 전뇌 학습의 직접적인 필요성에 대해서 언급하고 있다.

전뇌 학습의 효과에 관한 것은 유치원생을 대상으로 한 연구에서 명확하게 나타나는데, Song and Lee(2004)의 연구에 의하면 유아의 창의성 증진을 위하여 교육 현장에 전뇌 창의성 프로그램을 개발 보급하고 적용함이 효과적이며, 유아의 창의성 증진을 위하여 유아 교육현장에 적용 가능한 전뇌 창의성 프로그램의 개발이 필요하다고 제시한다.

이상의 논의에서 확인할 수 있는 것은 뇌-기반 학습이 전뇌 학습의 필요성과 효과에 대해서 구체적인 증거들을 제공하고 있다는 사실이다. 특히, 전뇌 학습을 다루는 연구들은 모두 창의성과 관련지어 설명을 하고 있는 특징이 있기도 하다.

4. 뇌-기반 학습이 초등과학교육 패러다임에 가져온 변화

최근에 급속도로 발달하고 있는 뇌 영상화 기법을 포함한 인지신경과학은 학습이 실제적으로 일어나는 장소인 뇌에 대해 직접적으로 설명할 수 있는 길을 열어가고 있으며, 이에 따라 뇌-기반 학습이 출현하게 되었다. 이를 통해 밝혀지는 뇌에 관한 지식들은 전통적인 인지주의 학습 패러다임을 ‘학습 과학 패러다임’으로 변화시키고 있다(Kim, 2010; Kim, 2004). 즉, 인지주의 개념의 모호성을 구체적으로 해결하고, 이 이론이 설명할 수 없었던 동기나 감성의 영역뿐만 아니라, 고등 사고의 기작을 뇌의 구조와 기능적 차원에서 설명할 수 있는 가능성을 열어가고 있는 것이다.

한편, 교육제도의 거시적 효과에 중점을 둔 교육 정책 중심의 과거 교육 패러다임이 최근에는 학습자 개인의 학습 효과와 같은 미시적 효과에 초점을 맞추고 있으며, 협동 학습이나 서비스 기반 학습 등의 접근을 통해 개인의 학습 과정이 사회적 네트워크와 연계성을 맺게 됨으로써 학습과 교육의 인지생태적 가치를 높이려는 방향으로 변화되고 있다(Kim, 2006). 다시 말해, ‘교수(teaching) 중심’의 패러다임에서 ‘학습(learning) 중심’의 패러다임으로 전이되었으며, 자기주도적인 학습, 협력적 학습문

화와 학습공동체를 강조하는 교육이 부각되었다. 이러한 변화 추세와 함께 등장한 인지신경학적 연구는 주로 미시적 수준에서 이루어지고 있지만, 학습자의 변화와 적응에 초점을 맞추어 이미 학습자의 발달 및 학습 과정에 대한 중요한 함의를 제공해 주고 있으며, 교육과정의 설계는 물론 학습재료의 구성 및 교수법, 학습에서의 개인차와 평가방식의 개발 등을 포함하는 학습 환경의 설계에 변화를 예고하고 있다(Kim, 2006).

이처럼, 뇌-기반 학습은 뇌 영상 기법의 발달과 학습자 중심의 교육 패러다임의 전환으로 등장하였고, 뇌의 학습 원리에 적절한 교육을 실행하기 위한 가이드라인을 제시해 주었다. 이러한 바탕 위에 학습자의 뇌에서 일어나는 학습의 원리와 과정이 발견되었고, 이는 교육과정 개발과 초등과학 교수·학습에 지침을 제공하였다. 다음에서는 뇌가 어떻게 학습하고, 어떤 상황에서 가장 효과적으로 활동하는지 그 원리를 밝혀줌으로써 학습자에게 최적의 교육서비스를 제공할 수 있는 기반을 조성한 뇌-기반 학습이 초등과학교육 패러다임에 준 영향을 구체적으로 세분화하여 살펴본 결과 및 논의는 다음과 같다.

1) 학습활동 과정 이해에 대한 정교성 제고

뇌-기반 학습 연구들에 제시된 특징 중의 하나는 학생들의 학습활동에 대한 이해과정을 명확하게 하는 내용들을 담고 있다는 점이다. 기존의 교육활동은 학생들의 학습활동의 과정에 대한 이해를 확인하기 보다는 평가를 통해 학습활동의 이해 정도에 대한 수준을 파악하는 것이었다. 하지만 뇌-기반 학습은 학습활동이 이루어지는 상황을 구체적으로 측정하고 파악함으로써, 학생들이 주어진 학습활동에 참여하며 나타내는 순간의 반응을 통해 학습 이해과정을 밝혀주고 있다. 학습활동에 대한 학생들의 반응, 학생의 이해 정도, 학생의 사고 수준 등에 관한 뇌 활동을 파악하는 것은 매우 중요한데, 이 자료는 바로 교육과정, 교과서, 교사용 지도서, 수업 설계 등의 과정에서 영향을 줄 수 있기 때문이다. 학생이 주어진 수업을 어떻게 이해하는 지를 파악하는 것은 학습의 성과 및 반성을 위해 반드시 필요하다. 특히, 기존의 시험을 통한 학습활동에 대한 평가는 엄밀히 말해서 학습 과정에 대한 이해를 담고 있다고 말할 수 없다. 다만 평가 결과를 통해

학생이 학습을 성적 수준으로 이해했을 거라는 추측을 하는 것이다.

Kwon *et al.*(2006)은 과학적 가설 생성 학습이 초등학생 뇌의 사고 작용을 촉진시킨다는 사실을 뇌파를 이용하여 증명하였고, Kwon *et al.*(2007a)의 또 다른 연구에서는 뇌파 반응을 통한 분석의 중요성을 확장하였다. 즉, fMRI를 이용하여 피험자의 뇌 활성화 변화 양상을 조사한 후, 과학적 가설 생성 과정은 수리 연산 과정과 다른 뇌 기작을 가지고 있다는 사실을 발견한 것이다.

이 관점은 대학생을 대상으로 한 연구에서도 확인이 가능하다. 생명 현상에 대한 가설 검증 방법의 고안 과정에서 나타나는 초등 예비 교사의 뇌 활성화를 fMRI를 이용하여 측정하였다(Kwon *et al.*, 2007b). 이 연구의 결과를 통해서도 확인되는 것은 피험자의 학습 반응과 사고 과정 속에서 실질적으로 일어나는 일들이 무엇인지를 파악할 수 있도록 해주는 것이다. 이 연구에서 관찰, 부호화, 표상, 초기 작업 기억, 언어적 전략, 일화 기억 등 주어진 문제 해결과정에 반응하는 세밀한 학습 처리 정보를 확인할 수 있다.

한편, Shin and Kwon(2006)은 예비교사들이 생물학 가설을 생성할 때 나타나는 과학적 감성의 생성 과정의 4가지 유형을 fMRI를 이용하여 객관적이고 실증적인 뇌 활동에 대한 정보를 조사하였다. 이는 인지심리학적으로 규명된 4개의 감성 생성 과정이 뇌에 실제로 존재한다는 것을 신경생리학적으로 규명했다는 점에서 의의가 크며, Shin(2006)은 감성의 생성과정을 설명하는 모형을 제시하였다.

이것은 뇌-기반 학습이 현재의 교육 패러다임에 가져온 명확하고도 구체적인 영향력이다. 이러한 정보들이 축적되어진다면 결국에 학습의 개별 영역에 대한 학습 내용 구성과 교수 방법의 변화를 가져오게 될 것이다.

2) 교과 교육의 특성이 반영된 학습방법 안내

뇌-기반 학습의 연구들을 통해 찾아볼 수 있는 특징 중의 하나는 바로 교과 교육의 특성을 잘 발휘할 수 있는 학습방법을 구체적으로 제시하고 있다는 점이다. 학습활동과 뇌 기능의 관계를 전제로 교과 교육의 특성이 반영된 구체적인 접근방법을 제시함으로써 학습활동을 극대화할 수 있는 방법의 예를 보여주고 있다.

뇌-기반 학습 프로그램을 개발하여 그 효과를 분석한 연구(Shin *et al.*, 2002; Kim, 2000), 협동학습, 자기조절능력의 활용, 토의학습과 같이 기존에 실행 중인 교수·학습방법을 뇌 과학의 관점에서 재조명하고, 그 효과성을 탐색한 연구(Lee, 2002), 기억, 정서, 동기, 동작, 음악 등을 학습과 연관시키고, 뇌-기반 교수·학습의 전략을 개발한 연구(Kim, 2002, 2003; Cho, 1998) 등으로 구분할 수 있다. 이러한 연구의 특성을 정리하고 논의하였다.

Kwon(1999)는 중학교 학생들을 대상으로 하는 연구에서 과학 교수·학습활동이 구두에 의한 강의식 설명보다는 실험에 의한 수업이 많이 이루어지는 것에 대한 신경학적 근거를 제시했다.

초등학생의 과학탐구 능력과 관련된 연구에서는 뇌-기반 학습 원리에 기초한 초등과학 수업 방법이 기존의 전통적인 수업방법과 의미 있는 차이를 보이고 있음을 설명한다. 우선 뇌-기반 학습 방법은 과학탐구능력 변화를 이끌고, 특히 학습과 관련된 예상, 추리, 일반화 영역에서 그 효과는 두드러지게 나타났다. 정의적 영역의 인식, 흥미, 과학적 태도 모두에서도 의미 있는 변화가 있음을 설명한다(Kim & Choe, 2003). 이 연구에서 알 수 있는 것은 뇌-기반 학습 방법이 초등학생들의 과학수업에 대한 인지적 영역과 정의적 영역 그리고 태도에 있어서 변화를 가져올 수 있다는 근거를 찾을 수 있다는 점이다. 바로 뇌 기능에 대한 이해를 바탕으로 교수·학습방법을 전환하는 것이 필요하다는 것을 밝히고 있다.

그리고 과학교육과 관련된 흥미로운 연구도 있는데, 바로 뇌 기능 관점에서 학습양식의 유형을 분석한 것이다. 이것은 과학교육을 이루는 내용적인 요소들을 담고 있는 교과서, 실험관찰 그리고 교사용 지도서를 활동 내용에 따라 다양하게 분석을 하고 있는데, 그 결론에 의하면 교과서, 실험관찰, 교사용 지도서에서 좌뇌적인 성향의 교수·학습활동이 가장 많이 나타났으며, 우뇌적인 성향의 교수·학습활동이 가장 적게 나타났고 있음을 설명한다(Bae & Lim, 2004). 이 연구에 의하면 현재 과학교육의 교수·학습 내용을 담고 있는 교과서, 실험관찰 그리고 교사용 지도서의 내용이 좌·우뇌적인 특성이 균형을 이룰 필요가 있음을 암시하고 있다. 이것은 뇌 기능 관점에서 과학교육을 해석하려는 시도의 한 모습이다.

Baik(2004)은 미술 교과와 관련해 현행 교육과정은 논리력을 중시하여 학생들을 좌뇌 우세형으로 만들 수 있기 때문에, 아동화 그림을 통해 균형 있는 인격으로 학생들이 발달할 수 있도록 해야 한다고 주장하고 있다. 이를 위해 좌뇌 그리기와 우뇌 그리기, 전뇌 그리기 등의 방법으로 분류하여 제시하였다.

Woo(2005)는 초등학교 문학교육과 관련해서 뇌의 특성을 반영한 문학교육 방법을 제시하고 있다. 즉, 뇌-기반 학습 원리를 전제로 문학학습 방법을 설명하고 있는데, 이것은 뇌-기반 학습이 구체적이고, 또한 직접적으로 교육에 영향을 주고 있는 예이다.

Han(2008)은 뇌 과학적 연구 성과가 도덕교육에 미치는 영향에 대한 설명을 하면서 인간의 도덕적, 윤리적 사고를 물리적 생물학적 차원에서 조명하는 것이 의미가 있으며, 최근의 비환원주의적 합의는 환원을 통하지 않고도 정신적 속성과 물리적 속성과의 관계를 설명하는 것이 반드시 필요하며, 이 과정에서 뇌 과학적 관점의 연구들이 제시하는 내용들이 중요하다고 설명하고 있다.

Lim(2009)는 과학교육의 주요 목표 영역인 정의적, 행동적, 인지적 영역과 뇌에서 일어나는 진화적 과정을 체계적으로 통합시켜 뇌-기반 진화적 과학 교수학습모형을 개발하였다.

이상의 교과와 관련된 뇌-기반 학습 연구들의 특징은 몇 가지로 요약될 수 있다. 첫째, 뇌-기반 학습은 기존 교과의 필요성을 강화하는 근거를 제공하고 있다. 각 교과들이 지닌 특성이 뇌에서 의미 있게 반응하는 것을 구체적으로 확인할 수 있는 내용을 담고 있다. 둘째, 교과 특성이 반영된 새로운 학습방법에 대한 요구를 제시한다. 뇌-기반 학습의 특성을 고려했을 때 기존의 교수·학습방법에서 개선할 것을 요청한다. 셋째, 각각의 교과를 지도함에 있어서 인지·정의·행동(실습)의 통합적 접근의 뇌 과학적 근거를 발견하고 있다. 이전에는 당위적인 이유로 인지·정의·행동(실습)의 통합적 접근을 생각했다면 이제는 뇌의 반응과 학습의 활성화를 위해 당연히 선택해야할 방법이 되었다.

3) 교육과정의 재구성에 대한 요구

뇌-기반 학습이란 신경생물학, 인지심리학, 인공지능 등의 학문 분야에서 fMRI, PET, DTI, MEG/

EEG 등과 같은 뇌 촬영 기법을 통해 밝혀진 뇌의 학습 원리를 교육과정과 학습에 접목시키려는 패러다임이다. 이 이론은 뇌의 학습 원리에 적합한 교육을 통해 학습자에게 최적의 교육적 성과를 가져오는 것을 목표로 한다(Jensen, 2007). 이 설명에서 볼 수 있듯이 뇌-기반 학습의 새로운 점은 단순히 학습활동의 새로운 방법을 제공하는 것만이 아니라, 뇌-기반 학습이 반영될 수 있는 관점을 포함할 수 있도록 교육과정이 제공되어야 함을 암시하고 있다. 이것은 뇌-기반 학습이 기존의 학습 패러다임 속에서 활용될 수 있는 학습활동의 한 종류라기보다는 전혀 새로운 학습 관점이라는 것을 의미하는 것이다. 즉, 뇌-기반 학습을 단순히 학습방법으로서 설명할 수 있는 것이 아니라, 학습이론의 새로운 장을 열고 있음을 나타내는 것이다. 특히, 현재의 2009 개정 교육과정에서 요구하는 창의성과 인성을 기르기 위한 목적을 위해서라면 기존의 교육과정이 재조정되어야 한다는 당위성과 방향을 뇌-기반 학습과 관련된 연구들에서 발견할 수 있다.

Kim(2004)는 신경생물학, 인지심리학, 인공지능 등의 학문 분야에서 최첨단 뇌 촬영기법을 통해 밝혀진 뇌 과학 연구의 결과가 학습 및 교육과정개발에 적용될 경우, 교육의 질이 향상되고 궁극적으로 최적의 교육적 성과를 가져올 수 있다고 설명한다. Lim(2005)은 뇌 기능과 학교 과학의 정의적·심체적·인지적 영역의 연계적 통합 모형 개발에 있어서 과학 교육과정, 인간이 자연물을 알아가는 과정의 본질, 뇌의 구조와 기능 측면을 포함하여 더 다양한 요인들을 고려한 이론적 검토 과정이 필요하다고 제언을 하고 있다. Kim(2010)은 뇌 과학이 학교 교육과 교육과정에 주는 시사점에 관한 연구에서 개인적 뇌 발달에 초점을 둔 학습 목표의 설정, 높은 수준의 개념 형성을 위한 학습 경험의 반복과 정교화, 뇌 기능에 부합된 통합적 교과 구성, 정서의 역할이 증대된 교수·학습, 교과에 따라 사회적 뇌를 활용하는 모방 학습 등으로 교육과정 체제 개혁이 있어야 한다고 설명한다.

뇌-기반 학습은 새로운 학습방법으로 제시된 것이 아니다. 일반적으로 학습이론이 소개될 때에는 시대적인 특성을 반영하든지, 학생의 발달단계와 상황을 고려하든지 한다. 그리고 교육과정을 최대한으로 잘 실현시키기 위한 방법을 제시한다. 하지만 뇌-기반 학습은 교육과정의 실현과 동시에 변화

를 요구하고 있다. 이것은 뇌-기반을 연구하는 연구자들 및 교육과정을 책임지고 있는 국가에서도 귀를 기울여야 할 매우 특별한 요구이다.

5. 뇌-기반 학습의 초등과학교육에의 적용을 위한 조건

뇌-기반 학습과 관련된 교육 일반 연구 내용은 1993년부터 지금까지 해마다 발표되었으나, 앞으로 뇌-기반 학습의 다양성을 위한 토대가 될 교육과정, 교수·학습, 교육평가 등에 대한 연구는 상대적으로 미흡하다. 이는 뇌 과학의 연구 결과를 일부 교과나 특정한 교육과정 영역에 부분적으로 적용함으로써, 뇌-기반 학습이론에 기초한 교육과정 개발을 위한 통합적이고 분석적인 개념의 틀을 제시하지 못하고 있음을 의미한다(Kim, 2010). 뇌-기반 학습이 교육의 한 흐름으로서, 학교 현장에 정착하기 위해서는 여러 조건이 필요하다. 실제로 뇌-기반 학습이 실행될 수 있는 환경이 있어야 하며, 그 실행을 위한 교수·학습방법이 있어야 한다. 그리고 무엇보다도 실행의 정당성을 갖기 위한 뇌-기반 교육과정이 제시되어 있어야 한다. 이러한 조건들이 갖추어져 있을 때 비로소 뇌-기반 학습이 의미를 지닐 수 있다.

1) 뇌-기반 학습 환경의 제공

뇌-기반 학습이 학교현장에 적용될 수 있도록 하기 위해서 우선적으로 전제되어야 할 것은 환경의 변화를 꼽을 수 있다. 환경이라는 것은 우선적으로 학습 대상인 학생, 교실, 학교환경을 들 수 있다. 환경의 중요성은 특히 학생들의 창의적 특성이 각 교과에서 나타도록 하기 위한 경우에 필요요소로 제시되는 경우가 있다.

Lim(1997)의 연구에 의하면 교사는 학생들 사이의 아이디어 공유 창출이 잘 일어나게 하는 환경을 창출할 수 있는 역량을 갖추고 있어야 하는데, 이러한 환경을 창출하기 위해서는 구성원 각자 자기 아이디어나 정보를 자유롭게 제한할 수 있는 분위기, 즉 긍정적인 사회적 분위기가 조성되어야 한다고 제시한다. 또한 다른 구성원의 아이디어나 정보를 충분히 반성하여 자기 아이디어나 개념체계를 건설적으로 변형시킬 수 있는 능력과 자제가 필요하고, 문제, 과제, 프로젝트가 충분히 도전적이어야 한다고 설명한다. 이것은 물리적인 환경보다는

내면과 관계에 관한 환경이 준비되어져야 한다는 설명이다.

긍정적이고 허용적인 분위기는 어느 학습 환경에서나 필요한 조건이다. 이 긍정적인 분위기의 중요성에 대해서는 Cho and Lee(2001)도 동일하게 주장하고 있다. 특히, 뇌-기반 학습은 뇌의 특성에 맞게 진행되는 학습인데, 이 학습을 하기 위해 경직된 분위기를 제하는 것은 매우 중요하다. 이 문제점은 현재의 학교에서 가르치는 교육과정이 좌뇌 중심적이라는 것 자체도 이미 경직된 환경을 제공하고 있는 것인데, 이에 Lee and Ahn(2002)는 지적을 하고 개선 방향에 대해 설명하고 있다. 그 내용을 보면 초등학교 저학년 학생을 대상으로 창의력 증진을 위한 웹기반 우뇌 훈련 프로그램의 설계 및 개발 연구의 결과, 학교교육의 좌뇌 중심 교육환경을 개선하고, 우뇌 활동 기회와 개발 가능성을 제공함으로써, 결국 궁극적으로 아동기에 좌·우뇌의 통합적인 발달을 도모하여 정보화 사회에 강조되는 창의력의 증진에 도움이 될 수 있다는 것이다.

뇌-기반 학습이 이루어지기 위한 조건 중에는 학부모의 관점도 한 요소가 된다. Choi(1993)의 연구에서 뇌 기능 분화와 자연과 단원별 성취도를 살펴보면, 균형 발달이 즉 좌·우뇌가 균형 있게 발달한 아동이 자연과 단원별 성취가 약간 높게 나타났으며, 그는 교사, 부모 등은 아동의 좌·우가 균형 있게 발달될 수 있는 방안을 모색할 것을 요청하고 있다. 여기에서 특징적인 것은 부모의 이해도 필요하다는 것이다. 일반적으로 많은 학부모들이 학생들에게 관심이 있다. 하지만 좌뇌에 대한 관심이 학부모들에게 집중되는 것을 예상할 수 있는데, 뇌-기반 학습이 이루어지기 위해서는 학부모의 이해와 관심도 필요하다는 것을 강조하고 있다. 그리고 교사의 이해가 매우 중요하다고 설명하기도 한다.

Lim et al.(2008)의 연구에 의하면 자연과 수업 시 교사가 아동에게 제공하고 있는 뇌 친화적 요소를 분석해 본 결과, 협동 요소에서 교사들의 인식이 가장 높다고 말한다. 이는 자연과 학습에 있어 협동학습의 중요성 및 효과를 실제 교수·학습활동을 통해 느끼고 있는 것으로 판단된다고 말한다. 그리고 8가지 뇌 친화적 요소 중에서 교사들이 가장 부족하다고 인식하는 요소는 풍요로운 환경 요소로 나타났고, 이를 개선하기 위해서는 학교 관리자의 인식 변화와 교육 당국의 재정적인 지원이 필

요하다고 제시하고 있다.

뇌-기반 학습은 분명히 학습 원리의 하나인 것이 분명하다. 특히, 교육 현장의 개인적 경험이나 고전적 심리학적 연구를 토대로 하는 기존의 학습 원리들과는 많은 차이를 가지고 있는데, 그것은 바로 뇌에서 출발하기 때문이다. 이는 뇌-기반 학습이 기존의 학습 원리와의 차이를 지니는 것을 설명하기도 하지만, 이 차이로 인해서 뇌-기반 학습만이 요청하는 특별한 환경이 있을 수 있다. 물리적 환경, 학교 관리자 및 교사의 인식, 교과서 구성 등의 여러 조건들이 갖춰져야 할 필요가 있음을 알 수 있다.

2) 교수·학습활동에 대한 관점의 전환

최근의 뇌-기반 학습 연구들의 특징은 학교 교육 과정 개발에 대한 요구를 하고 있다는 점이다. 뇌-기반 교육과정에 대한 중요성과 필요는 Kim(2000)에 의해 일찍이 그 시작을 보이고 있다. Kim(2000)은 뇌 기능에 기초한 교육과정을 개발하기 위해서는 뇌 친화적 요소로서 단편적이지 아니한 유의미한 내용 구성, 교육체제의 경직된 동일성을 타파하기 위한 선택권 부여, 뇌 기능을 자극할 수 있는 적정 시간, 학생들이 선호할 수 있는 풍요로운 시간, 협동적 학습 분위기, 학생 활동에 대한 즉각적인 피드백, 학습 활동과 관련된 숙달 정도가 반영될 수 있어야 한다고 설명하고 있다.

뇌-기반 학습이 학교현장에서 실제적으로 진행되고 의미 있는 결과를 얻기 위해서는 학습활동의 정의적 영역에 대한 교사 및 학교관리자의 민감한 인식과 반응이 필요하다. 사실 모든 학습활동에서 학생들의 학습 성취를 위한 직접적 환경과 간접적 환경을 모두 고려한다는 것은 매우 중요하다. 뇌-기반 학습에서도 동일하게 그 중요성이 강조된다. 특히, 뇌-기반 학습의 성공적인 실행을 위해 교수·학습에 대한 관점과 그 방법을 달리하는 것이 반드시 필요하다. 이 관점은 매우 중요하다. Cho(1998)은 인지과학적 관점에서 학습과 기억의 개념 및 그에 관련되는 기제들을 확인하고, 교수·학습의 효율성을 높이는데 기여하는 교육의 기본 방향을 제시하였다.

뇌-기반 학습의 특징은 교사의 전문성을 높일 수 있는 근거를 인지과학적 연구들이 제시하고 있다는 것이다. 뇌-기반 학습의 교수·학습과 관련된 내용들을 살펴보면 다음과 같다.

Kim and Hong(2005)은 뇌 과학적 연구들은 현 유아교육 상황에서 더욱 고려 혹은 반영해야 할 교수·학습 원리의 방향을 제시한다고 말한다. 유아 교수·학습 원리의 뇌 과학적 의의는 교사나 교육 전문가들이 그 동안 개인적인 경험이나 상식에 입각해 실행해 오던 교수·학습 원리에 대한 뇌 과학적 근거를 마련해 줌으로써 교사의 수업 전문성을 높일 수 있는 기반을 조성하였다는 것이다.

Kim *et al.*(2000)은 문제풀이 활동에서 뇌파 측정에 의한 뇌 기능 상태를 평가하면서 학생들의 반응을 고려한 교수·학습활동의 개발이 필요함을 강조하였다. 여기에 이어진 연구에서 두뇌순환 학습 모형을 설명함으로써 교수·학습활동을 매우 구체화 할 수 있도록 하고 있다(Kim & Chang, 2000).

Bae and Lim(2004)은 초등학교 과학과 관련해 4MAT 학습 모형의 학습 양식에 대한 연구를 실시했다. 이 방법에 의해 기존의 학습 내용을 뇌 친화적 관점에서 재구성하여 학습을 실시했다. 이 학습 모형은 뇌 기능성 유형을 반영하고 있기 때문에, 학생들의 좌·우뇌 반응에 대한 고려를 담고 있다.

이와 같이 뇌-기반 교수·학습방법의 필요성에 대한 인식을 하고, 모형을 개발하는 것은 매우 중요하다. 하지만 뇌-기반 학습은 단순한 학습 모형의 하나가 아닌, 기존 교육의 패러다임을 바꾸는 커다란 흐름이라는 것을 인식할 필요가 있다. 그렇기 때문에 현재의 교과 내용을 그대로 뇌-기반 학습 모형으로 전환을 해서 교수·학습활동을 구성할 수는 없다. 현재의 교육과정에서 제시된 내용 중에서 뇌-기반 학습으로 재구성이 가능한 내용이 있고, 또한 그렇지 못한 내용들도 있다. 그렇기 때문에 선별적으로 교수·학습방법과 내용을 구성하는 것이 필요하다(Lim *et al.*, 2008). 이 유의점을 생각하고 뇌-기반 학습 방법을 초등 과학 수업 현장에 적용하는 것이 뇌-기반 학습의 특성을 잘 발현시키는 방법이 될 것이다.

3) 뇌-기반 학습 교육과정의 개발

뇌-기반 학습 교육과정의 개발을 설명하기에 앞서 뇌-기반 학습의 근간이 되는 신경과학과 교육과정을 결합하려는 시도들에 대해서 살펴볼 필요가 있다. 신경과학을 교육과정에 적용하려는 연구들은 매우 복잡한 주제들을 다루고 있는데, 첫째, 교육과정과 신경과학의 상관성을 주제로 다루는 내용들

이 있다. 둘째, 개념의 명확성을 위한 철학적 근거를 다루는 데, 이것은 인식론적·환원주의적 관점을 바탕으로 이루어졌다. 셋째, 신경과학을 활용이 가능한 지식의 관점에서 접근하는 것으로, 이것은 실제적 활용에 초점을 두고 있다. 하지만 교육 정책과 실행에 신경과학이 직접적으로 적용될 수 있다는 것을 명확하게 제시하는 연구와 증거들은 거의 없다. 그럼에도 불구하고, 신경과학과 교육과정의 관련성에 관한 연구들은 실제의 행동·실천으로 수행할 수 있는 상세하고, 설명과 안내가 가능한 자료들을 제공하고 있다. 그리고 역사적으로 보면 심리학, 발달이론 영역과 관련된 연구들은 학습활동의 본질을 이해하는 것을 설명하기 위해 생물학적인 내용들을 다루기도 했는데, 이러한 접근이 신경과학과 교육을 연계하려는 시초라고 할 수 있다(Clement & Lovat, 2004).

우리나라처럼 다인 수 학습을 가르치는 환경의 경우, 어느 한쪽 뇌만의 기능을 활용하는 교수전략은 상대적으로 약한 쪽 뇌의 인지 과정을 활용할 수 있는 기회를 잃게 하여 더욱 약화시킬 가능성이 있다. 특히, 우리나라의 교육 현장이 좌뇌를 강화하는 것이 현실이라고 볼 때 양뇌의 인지기능을 균등하게 발달시킬 수 있는 통합된 학습프로그램과 교육과정이 필요한 것이다(Park & Ha, 1995).

뇌-기반 학습이 학교 현장에서 정당하게 다뤄지기 위해서는 학교 교육과정에 뇌-기반 학습의 특성이 반영되어야 한다. 뇌-기반 학습의 특성이 반영된다는 의미는 교육과정의 목표, 내용체계, 내용목표 등에 반영이 되어야 한다는 의미이다. 아무리 좋은 학습방법 혹은 관점이라 하더라도 교육과정에 반영되지 않으면 학습 현장에서 진행되기는 더욱 어렵기 때문이다. 뇌-기반 학습에 대한 논의가 확산되고, 그 필요성이 부각되면서 교육학 연구와 교육과정 연구 내에서 이를 적용하려는 논의가 지속적으로 이루어지고 있다. 그러나 일부 교과를 중심으로 교육과정을 개발하거나, 뇌-기반 학습이론의 한 요소만을 부각하였다는 점에서 뇌-기반 교육과정 모형에 대한 청사진을 제대로 제시하지 못하고 있다. 그러므로 개별 연구들을 새로운 개념적 틀에 따라 분석하고 평가하여, ‘뇌-기반 교육과정’이라는 지식의 형태로 종합하고 통합할 필요성이 있다(Kim, 2004). 이 관점은 뇌-기반 학습이 의미 있게 실행되기 위해서 반드시 전제되어야 할 조건이다.

뇌-기반과 관련된 기존의 연구들은 뇌-기반 학습이 성공적으로 이루어지기 위한 환경, 실천을 위한 교수·학습방법, 행정적·내용적 정당성을 갖기 위한 교육과정과 관련해 다양하게 내용들을 다루고 있다. 이것은 뇌-기반 학습이 한 때에 잠깐 등장하는 교육 방법이 아니라, 한 시대의 장을 여는 중요한 학습방법이며, 교육 패러다임의 전환을 불러오는 이 시대의 강한 힘이라는 것을 간접적으로 설명하는 것이라고 할 수 있다.

IV. 결론 및 제언

국내 학술지에 발표된 뇌-기반 학습 연구 논문을 분석을 통해 얻은 결과를 요약하면 다음과 같다.

첫째, 뇌-기반 학습 연구에서 설명하는 학습활동은 고전적 조건형성이론, 조작적 조건형성이론, 인지적 학습이론에서 설명하는 관점과는 분명한 차이를 보이고 있다. 뇌-기반 학습 연구에서 제시하는 학습활동은 뇌 기능의 관점에서 설명을 하는데, 이는 외부적인 조건, 조작, 강화 등이 학습활동의 주요소가 아니라, 뇌 기능의 작동이 학습내용을 파악하는 주된 활동이라고 설명을 한다. 이 관점이 의미 있는 것은 기존의 학습활동들이 외부적인 자극을 전제로 학습내용의 주입을 전제하고 있다면 뇌-기반 학습은 뇌 기능의 활성화를 도와 학습이 진행되도록 하는 입장이라는 점이다. 즉, 뇌의 활동을 이끌어 내는 것이 학습활동이라고 정의할 수 있다. 이런 관점에서 설명된 뇌-기반 학습 연구에서의 학습활동을 크게 세 가지로 구분하면, 분화된 뇌 기능을 따르는 학습, 뇌 기능 통합의 관점에서의 학습, 좌·우뇌 기능의 분화와 통합을 넘어서는 학습’으로 설명할 수 있다.

둘째, 뇌-기반 학습 연구들은 초등과학학습을 비롯해서 전 교과에 많은 영향을 끼치고 있다. 특히 기존의 우리 교육이 인지적 측면을 강조하고, 인지적 내용을 중심으로 학생들을 교육하고 있는데, 이런 상황에 문제와 한계가 있다는 것을 뇌-기반 학습 연구들은 여러 자료를 통해 다각도로 설명하고, 또한 경고를 하고 있다. 이런 과정에서 발전적으로 생각할 수 있는 내용이 발견되는데, 그것은 대표적으로 창의성, 정서, 학습동기 유발에 관한 것이다. 창의성의 중요성은 공감할 수 있지만, 그 특성을 명확하게 설명할 수 없기 때문에, 창의성 교육을

시도하는 것은 매우 어려운 것이다. 하지만 뇌-기반 학습 연구들은 창의성의 의미와 특성에 대해서 뇌 작동기제와 관련해 비교적 설명을 명확하게 하고 있다. 이것은 창의성을 교육함에 있어서 구체적인 접근방법을 생각할 수 있는 안내를 하고 있다. 창의성에 대한 다른 연구들은 나름대로 창의성의 특성을 설명하지만, 그 구체적인 접근방법에 대한 내용은 거의 없다. 혹여 있다고 할지라도 창의성과 그 방법과의 관련성에 대한 것을 확신할 수 없었다. 하지만 뇌-기반 학습 연구들이 제시하는 창의성에 관한 내용들은 뇌의 반응과 기능 등에 대한 이해를 통해 창의성 교육의 구체적 실현 가능성을 설명하고 있다.

정서와 관련된 뇌-기반 학습 연구들은 인지적 접근 방식으로 구성된 현재의 교육이 지니는 한계점을 제시하고, 이를 극복하기 위한 방법으로 반드시 정서를 다루어야함을 설명하고 있다. 이것은 정서의 학습적 기능에 대한 설명과 함께 데이터 등을 통해 설명하고 있기 때문에 그 객관성을 높이고 있다. 정서와 관련된 뇌-기반 학습 연구들은 단순한 학습활동에서 뿐만 아니라, 교육과정에서도 인지적 내용과 함께 정서적 내용이 동등한 지위와 내용으로 다뤄져야 하는 것을 제시하고 있다.

뇌-기반 학습 연구를 통해 특징적으로 발견할 수 있는 내용은 바로 학습동기 유발에 관한 사항이다. 교육장면에서 학습동기 유발은 매우 중요하다. 그런데 교사들이 사용하는 학습동기 유발 방법 중에는 뇌-기반 학습의 관점으로는 일치되지 않으며, 뇌 작동기제를 근거로 판단한다면 학습활동을 방해하는 학습동기 유발 방법을 사용하는 경우도 있다. 바로 학생의 자발성을 훼손하는 학습동기 유발 방법을 활용하는 상황인 경우에 그렇다. 이러한 학습동기 유발의 문제점을 뇌-기반 학습 연구에서는 학생들의 자발적 학습동기 유발 유도의 가능성을 명료하게 설명하고 있다. 바로 뇌가 자발적이고 적극적으로 작동하도록 해야 하는데, 이것은 내적 동기와 긍정적 정서로 가능하다고 설명한다. 왜냐하면 뇌에서 학습을 진행하는 해마와 대뇌피질이 정서를 담당하는 편도체와 관련되어 있기 때문이다. 이것은 현장의 교사로 하여금 자신이 활용하는 학습동기 유발 방법을 반성해 보고, 학생들을 자발적으로 이끌 수 있는 학습동기 유발 방법에 대한 분명한 안내를 하고 있다.

셋째, 뇌 가소성의 특성을 반영한 학습활동의 다양화 가능성을 뇌-기반 학습 연구에서는 제시하고 있다. 뇌의 중요한 특성 중의 하나인 가소성은 학습장애 치료로서의 학습활동에 대한 타당성을 제공하고, 학습활동을 통한 뇌 기능의 선별적 향상의 가능성과 학습활동의 전뇌적 접근의 필요성을 말한다. 뇌 가소성의 특성을 반영한 학습활동은 교육이 단순히 지식의 전달에 있지 않으며, 교사가 전문성을 지녀야 하는 이유의 한 근거를 제시한다고도 할 수 있다.

뇌-기반 학습 연구들은 뇌 가소성 특성은 학습장애를 가진 학생들에게 치료의 과정으로 학습활동이 진행되어야 한다는 것을 설명하고 있다. 학습장애의 이유는 다양하겠지만, 교사는 뇌 작동기제의 원리와 학생의 학습장애 사이의 관계를 이해하고, 이를 바탕으로 학습장애를 지닌 학생의 뇌에 긍정적 자극을 줄 수 있는 치료로서 학습활동을 이해해야 한다는 점을 강조하고 있다.

뇌 가소성의 특징은 학습활동에서 좌·우뇌의 선별적 기능 향상이 가능하다는 것을 설명하고 있다. 학생의 학습능력에서 특정한 부분, 혹은 영역이 제한되는 경우, 그 부분과 관련된 뇌 기능을 이해하고, 이를 바탕으로 학습활동을 재구성하여 실행하는 것은 학습향상을 이끌 수 있다. 이 내용이 중요한 것은 학생의 학습 특성이나 혹은 능력과 관련해서 교사, 학부모, 학생 스스로가 학습 능력을 제한해 버리는 경우가 있다. 하지만 뇌 가소성의 관점에서 본다면 현대의 학습능력 부족은 충분히 극복 가능한 문제이며, 그 방법은 학습활동을 뇌의 특성에 맞게 구성을 하면 된다는 것이다. 이것 역시 교사의 전문성을 발휘할 수 있는 요소 중의 하나이다.

그리고 학습의 전뇌적 접근이 필요하다는 것은 예를 들어 언어와 과학은 좌뇌적 특성이 강하고, 미술과 음악은 우뇌적 특성이 강하다고 그 특징을 구분하는 경우, 뇌 가소성의 특징을 반영한 입장에서 보면 이러한 뇌 기능적 구분이 오히려 뇌의 역할을 제한시킬 수 있다는 것이다. 일정한 수준에 이르기까지는 뇌 기능적 관점으로 접근을 하는 것이 의미 있을 수 있다. 하지만, 일정수준 이상의 사고가 작동하는 단계에서는 학생들에게 전뇌적 접근이 가능한 학습활동을 제공해야 한다. 뇌 가소성의 특성은 좌·우뇌가 매우 밀접한 영향을 끼치고 있다는 것을 생각할 수 있도록 하는 것이 중요한 요소이다.

넷째, 뇌-기반 학습은 교육 패러다임에 많은 변화를 가져왔다. 그것은 학생의 학습활동 이해에 대한 정교성을 제공하고, 교과 교육의 특성이 반영된 학습방법을 안내하며, 교육과정에 대한 재구성을 요구하는 것으로 정리할 수 있다. 뇌-기반 학습 연구 이전의 상황에서는 학생의 학습활동에 대한 이해가 결과 중심이었다. 즉, 평가를 통한 학생의 성적이 바로 학습내용에 대한 학생의 이해 수준으로 이해되었다. 하지만 뇌-기반 학습에서는 학습 과정에 대한 정밀한 관찰을 통해 학습이해 과정을 분석적으로 파악할 수 있도록 하고 있다. 학습활동에 대한 학생들의 반응, 학생의 이해 정도, 학생의 사고수준 등에 관한 뇌 활동을 파악함으로써 교육과정, 교과서, 교사용 지도서, 수업 설계 등의 과정에서 영향을 줄 수 있는 요소들이 추출될 수 있다. 이것은 현재의 결과와 성과 중심의 교육관점과는 매우 다른 입장이다. 학습활동 과정에 충실할 수 있는 방법을 생각하도록 하고 있기 때문이다.

뇌-기반 학습의 연구들이 현재의 교육 패러다임에 가져오는 변화 중의 하나는 바로 초등 과학 교육의 특성을 잘 발휘할 수 있는 학습방법을 구체적으로 제시하고 있다는 점이다. 학습활동과 뇌 기능의 관계를 전제로 교과 교육의 특성이 반영된 구체적인 접근방법을 제시함으로써 학습활동을 극대화할 수 있는 방법의 예를 보여주고 있다. 좌·우뇌의 기능적 특성과 교과내용의 수준에 따른 전뇌적 접근 단계에 대한 설명을 가능하도록 하였다. 그리고 교과의 필요성을 설명하는 객관적 근거를 뇌 기능과 관련해 설명하고 있다.

무엇보다도 현재의 교육 패러다임에 대해 뇌-기반 학습 연구가 강하게 요구하는 변화의 내용은 바로 교육과정과 관련된 부분이다. 뇌 기능을 고려했을 때 현재의 교육과정은 좌뇌적 기능으로 치우쳐 있으며, 교육과정을 구현하는 교과서, 지도서, 평가 등 역시 좌뇌적 기능 영역에 한정된 모습이다. 현재의 이러한 모습은 뇌 작동기제를 바탕으로 생각한다면 심각한 문제 상황이 아닐 수 없다. 이 문제점은 연구자들 및 교육과정을 책임지고 있는 국가에서도 귀를 기울여야 할 매우 특별한 요구이며, 현재의 교육 패러다임에 가져오는 매우 중요한 도전이라고 할 수 있다.

다섯째, 뇌-기반 학습을 초등과학교육현장에 적용하기 위해서는 여러 조건들이 있겠지만, 뇌-기반

에 어울리는 학습 환경, 교수·학습활동에 대한 교육 관련자들의 관점 전환, 뇌-기반 학습 교육과정의 개발이 필요하다.

학습 환경이 제공되어야 한다는 것은 뇌-기반 학습이 현재의 학습 관점과 매우 다른 입장이라는 것을 나타내는 표현이기도 하다. 앞서서도 언급했지만, 뇌-기반 학습은 기존의 학습관점과는 전혀 다른 입장이라는 것을 반드시 인지해야 한다. 그 특성이 반영되기 위해서는 이에 어울리는 학습 환경을 제공해야 하는 것은 당연하다. 우선적으로 물리적인 환경과 학생의 수와 관련된 부분을 생각할 수도 있고, 교실의 구조에 관한 것일 수도 있다.

이미 이러한 변화를 가져온 상황이 있다면 그 안에서 교육활동에 참여하는 교사, 학교 관리자, 교육청 관계자들의 관점이 반드시 전환되어야 한다. 물리적 환경의 변화가 곧바로 학생들의 뇌 작동기제에 영향을 주는 것이 될 수는 없기 때문이다. 뇌-기반 학습도 학습의 한 형태이기 때문에, 수업이라는 학습장면을 통해 진행되고, 이 경우 교사와 이외의 교육 관련자들의 유기적인 이해가 이루어져야 성공적인 뇌-기반 학습을 이룰 수 있다고 할 수 있다.

좀 더 큰 관점에서 본다면 이러한 뇌-기반 학습이 이루어지도록 하기 위해서는 무엇보다도 뇌-기반 학습 교육과정의 개발이 절실하다. 왜냐하면 학교의 교육, 교과서, 교사의 관점은 결국 교육과정을 따르게 되어 있기 때문이다. 아무리 뇌-기반 학습의 의미와 중요성을 강조하더라도 교육과정이 뇌-기반 학습과 상관없는 내용이라면 학생들은 뇌-기반과 관련 없는 교육활동에 참여하게 될 것이 분명하기 때문이다.

이상으로 연구문제와 관련된 결과를 바탕으로 초등과학교육에의 적용을 위한 제언을 하면 다음과 같다.

첫째, 초등과학교육 관점에서 뇌-기반 학습의 정의를 명료하게 제시할 수 있어야 한다. 본문에서도 언급을 했지만, 뇌-기반 학습에 관한 정의가 매우 다양하여 교육현장에 있는 교사들이 그 의미를 이해하기가 쉽지 않다. 이런 상황에서 뇌-기반 학습의 과학교육적 의미가 제시되지 않는다면, 뇌-기반 학습에 의한 초등과학교육의 특성은 교육현장에서 반영할 수도 설명할 수도 없을 것이다. 따라서 초등과학교육에서는 뇌-기반 학습의 의미를 교과 교육의 특성을 담아 규정을 할 수 있어야 한다.

둘째, 초등과학교육에서 정의적 영역에 대한 내용 강화가 필요하다. 기존의 뇌-기반 학습 연구에서는 정서의 학습적 기능 및 공헌에 대한 내용을 객관적으로 설명하고 있다. 인지적 영역의 성장을 위한 필수 조건으로서 정의적 특성이 제시되고 있는데, 초등과학교육에서는 아동들의 가역적 사고 발달단계를 고려하더라도 정의적 영역을 고려해 교과 내용을 구성하는 것이 타당하다. 그런데 뇌-기반 학습은 이 정의적 영역의 교육적 기여에 관한 객관적 근거를 제시하고 있다. 이를 바탕으로 과학교육 내용 구성에 있어서 정의적 영역을 강화할 필요가 있다.

셋째, 뇌-기반 학습의 특성이 반영된 초등과학교육 교수·학습방법의 안내가 필요하다. 뇌-기반 학습 관점에서 과학교육의 내용을 해석하고, 교육에 적용하는 것은 매우 어려운 일이다. 따라서 뇌-기반 학습에 기초한 초등과학교육 학습방법을 학년별, 영역별, 단원별 특성에 맞춰 그 내용을 개발하여 안내하는 것이 필요하다. 구체적인 학습방법의 안내가 없다면 뇌-기반 학습에 근거한 초등과학교육의 성공을 예측하기 어렵다.

넷째, 뇌-기반 학습의 특성이 반영된 초등과학교육 교육과정 구성이 필요하다. 무엇보다도 뇌-기반 학습을 초등과학교육에 적용하기 위해서는 명확한 기준이 되는 교육과정을 제시할 수 있어야 한다. 기존의 과학교육 교육과정과 어떤 차이가 있는지, 그 변화는 무엇인지, 제시되는 교육과정을 성취하는 과정은 어떻게 되는지, 그 상세한 내용들이 제시되어야 교육 현장에서 뇌-기반 초등과학교육을 실현할 수 있을 것이다.

뇌-기반 학습은 여러 학습방법 중의 하나가 아니며, 기존의 교육 패러다임의 변화를 요구하는 큰 전환의 한 흐름이다. 그리고 일시적이고 특정한 교과에 제한된 학습이 아니라, 지속적이고 전 교과에 의미 있는 학습이라고 할 수 있다. 그리고 마지막으로 뇌-기반 학습은 과학기술의 발달과 함께 진화하는 학습이라고 할 수 있다. 그렇기 때문에 뇌-기반 학습과 관련된 연구는 앞으로도 계속되어야 될 것이다.

참고문헌

Ansari, D. & Coch, D. (2006). Bridge over troubled waters:

- Education and cognitive neuroscience. *Trends in Cognitive Sciences*, 10(4), 146-151.
- Bae, J. & Lim, C. (2004). An analysis of 4MAT system learning styles and brain specialization types in 'Pleasant Environment' unit of elementary school science. *Biology Education*, 32(2), 107-113.
- Baik, J. (2008). Effect of right-brained art program on brain preference and emotional intelligence of children. *Art Education Review*, 32, 189-219.
- Bainbridge, W. S. & Roco, M. C. (2006). Managing nano-bio-info-cogno innovations. Netherlands: Springer.
- Bear, M. F., Connors, B. W. & Paradiso, M. A. (2001). Neuroscience exploring the brain. USA: Lippincott Williams & Wilkins.
- Blakemore, S-J. & Frith, U. (2005). The learning brain: Lessons for education. Oxford: Blackwell Publishing.
- Bruer, J. T. (1999). The myth of the first three years. NY: Free Press.
- Caine, G. & Caine, R, N. (1994). Making connections: Teaching and the human brain. NJ: Dale Seymour Publication.
- Cho, J. & Lee, B. (2001). The human brain mechanism of 'emotion' and directions of emotion education in the elementary school. *Journal of Elementary Education Studies*, 14(3), 391-410.
- Cho, J. & Lee, W. (2005). Brain-scientific comprehension of 'imagery' and its implications for the elementary teaching-learning. *The Journal of Korea Elementary Education*, 16(1), 367-397.
- Cho, J. (1994). Implication of cognitive science research on brain plasticity for the educational practice. *The Journal of Seoul National University of Education*, 32(2), 23-38.
- Cho, J. (2001a). Principles and methodology of the brain-based creativity education. *Journal of Student Guidance*, 27, 115-141.
- Cho, J. (2001b). The human brain mechanism of 'emotion' and directions of emotion education in the elementary school. *Journal of Elementary Education Studies*, 14(3), 391-410.
- Cho, S. & Kim, M. (2011). An analysis of brain dominance, cognitive characteristics, and emotion between scientifically gifted students and general students. *Biology Education*, 39(3), 345-354.
- Choe, S. & Jang, N. (2003). Development and application of the whole brain learning cycle for nurturing creativity, science achievement, science-related attitude of elementary students. *Biology Education*, 31(4), 282-291.

- Choi, J. (1993). Effects of hemispheric specialization on logical thinking and elementary school science unit achievement. *The Research of Science Mathematics Education*, 17, 53-89.
- Choi, J. (2006). Educational implications of cooperative learning based on brain-science. *Journal of Brain Education*, 1(1), 129-146.
- Chung, D. & Park, S. (2010). A study on the problem solving styles according to left/right brain preference of earth science gifted students. *Journal of the Korean Earth Science Society*, 31(2), 172-184.
- Chung, J. (2010). The concept and principal of brain-based teaching and learning. *The Proceeding of The Korea Association of Yeolin Education*, 2, 19-39.
- Chung, W., Kim, Y. & Kwon, Y. (1998). Neuropsychological variables on the development of logical thinking in junior high school students. *The Journal of the Institute of Science Education*, 8(1), 105-124.
- Chung, W., Lee, W. & Kim, S. (1999). A relationship between the scientific inquiry ability of the middle school students and their hemispheric lateralization. *Biology Education*, 27(1), 35-42.
- Clement, N. D. & Lovat, T. (2012). Neuroscience and education: Issues and challenges for curriculum. *Curriculum Inquiry*, 42(4), 534-557.
- Denny, D. & Wolf, R. (1984). Comparison of two personality tests as measures of left right brain cerebral hemisphere preference and creativity correlates. *The Journal of Creative Behavior*, 18(2), 142-146.
- Goswami, U. (2006). Neuroscience and education: From research to practice?. *Nature Neuroscience Reviews*, 7, 406-413.
- Grady, M. P. (1978). Education and brain Bloomington phi delta kappa educational foundation. *ERIC Document*, 153-258.
- Ha, J. (1992). The effect of right brain training on the cognitive laterality and the mathematical problem solving. *Journal of Education Research*, 10-11, 55-83.
- Han, H. (2008). A study on application of neurobiological researches to moral education. *The Journal of Moral & Ethics Education*, 26, 215-235.
- Hennesey, B. A. (2000). Rewards and creativity, In C. Sansone & J. M. Hara-ckiewica(eds.), *Intrinsic and extrinsic motivation*. NY: Academic Press.
- Im, S. (1993). Conflicts observed in developing thinking education program. *The Keimyung Journal of Behavioral Sciences*, 6(1), 53-63.
- Immordino-Yang, M. H. & Damasio, A. (2007). We feel, therefore we learn: The relevance of affective and social neuroscience to education. *Mind, Brain and Education*, 1(1), 3-10.
- Jensen, E. (1998a). How Julie's brain learns. *Educational Leadership*, 56(3), 41-45.
- Jensen, E. (1998b). *Teaching with the brain in mind*. VA: ASCD.
- Jensen, E. (1998c). *Introduction to brain-compatible learning*. CA: The Brain Store.
- Jensen, E. (2007). *Introduction to brain-compatible learning*. Sage Pubns.
- Jeon, Y. (1989). The cognitive characteristic of EMR children. *The Korean Journal of Educational Psychology*, 3(1), 91-112.
- Kang, K. & Lee, M. (2007). The education application of brain science theory to students with disabilities. *Korean Journal of Early Childhood Special Education*, 7(3), 165-188.
- Katz, A. N. (1983). Creativity and individual differences in asymmetrical cerebral hemispheric function. *Empirical Studies of Art*, 3-16.
- Kim, D. (2010). Brain science: Its implications for education and the school curriculum. *The Journal of Curriculum Studies*, 28(3), 127-145.
- Kim, J. & Choe, S. (2003) The effects of brain-based learning program of science on the elementary students -On the biology area of the fourth grade-. *Biology Education*, 31(2), 119-131.
- Kim, J. (2000). A study on the development of elementary science curriculum based on the differentiation of brain functions. Unpublished paper, Seoul National University.
- Kim, J., Lee, C., Nam, H. & Lee, J. (2006). Trends and issues in practical arts education research. *Practical Arts Education Research*, 19(special Edition), 131-151.
- Kim, K. & Hong, J. (2005). Brain-science's significance of young children teaching-learning principle. *The Journal of Korea Open Association for Early Childhood Education*, 10(4), 199-224.
- Kim, M. (2004). A brain-based curriculum development and its implication. *The Journal of Curriculum Studies*, 22(4), 135-164.
- Kim, S. (2006). Brain-based learning science: What can the brain science tell us about education? *Korean Journal of Cognitive Science*, 17(4), 375-398.
- Kim, S., Kwon, Y. & Bae, J. (2010). The effects of open-ended problems on mathematical creativity and brain function. *Journal of Elementary Mathematics Education*

- in Korea, 14(3), 723-744.
- Kim, Y. & Chang, N. (2000). Development of a brain-cycle learning model based on the rhythmicity in brain functions and its test by brain wave's measure. *Biology Education*, 28(4), 396-407.
- Kim, Y. (2002). An investigation of brain-based teaching-learning principles and application methods. *Korean Journal of Educational Research*, 40(3), 247-270.
- Kim, Y. (2003a). A study of the brain functions by electroencephalographic analysis in the thinking processes for science problem solving. *Biology Education*, 31(4), 313-319.
- Kim, Y. (2003b). The motivation in brain based teaching-learning. *The Journal of Korea Open Association for Early Childhood Education*, 8(1), 93-110.
- Kim, Y., Chang, N., Cho, S., Park, M., Park, J., Kim, H., Kang, K., Min, Y. & Chae, H. (2000). The evaluations of the functional state of the brain by brain wave measure during problem - Solving activities. *Biology Education*, 28(3), 291-301.
- Kwon, H. (2009). Quantitative EEG research by the brain activities on the various fields of the English education. *Journal of the Korean Data & Information Science Society*, 20(3), 541-550.
- Kwon, Y. (1999). Why do most science educators encourage to teach school science through lab - based instruction?: A neurological explanation. *Journal of the Korean Association for Research in Science Education*, 19(1), 27-40.
- Kwon, Y., Jeong, J., Lee, J., Shin, D. & Yang, I. (2007b). Brain activities during invention of hypothesis-testing methods about biological phenomena - An fMRI study. *Biology Education*, 35(2), 212-224.
- Kwon, Y., Park, J., Shin, D., Jeong, J. & Park, K. (2006). Changes of the brain activities after learning hypothesis-generation in elementary students. *Biology Education*, 34(1), 72-80.
- Kwon, Y., Shin, D., Lee, J. & Yang, I. (2007a). Brain activation in generating hypothesis about biological phenomena and the processing of mental arithmetic: An fMRI study. *Journal of the Korean Association for Research in Science Education*, 27(1), 84-92.
- Lee, B. (2002). Brain-scientific understanding and applications on basic principles of cooperative learning. Thesis (Ed. M.). Seoul National University of Education.
- Lee, C. (1987). Experimental study on creativity development through training of right brain. Unpublished paper, Yeonsei University of Education.
- Lee, J. (2009). Cognitive science and cognitive systems. *Communications of the Korean Institute of Information Scientists and Engineer*, 30(12), 9-18.
- Lee, M. & Ahn, J. (2002). Design and development of a web-based right brain training program for improvement of creativity: For elementary school lower grade students. *Journal of Educational Technology*, 18(2), 197-221.
- Lee, M., Ahn, S., Kim, H. & Seo, Y. (2007). Brain science approach of childhood disorder -Reading disability, ADHD and autism-. *The Journal of Special Education*, 8(1), 153-172.
- Lim, C. & Oh, Y. (2004). Relationships between the emotional states perceived by elementary school children and their memory on science learning experiences. *Biology Education*, 32(2), 173-180.
- Lim, C. (1997). Brain biological basis of cooperative learning: Aldea-sharing creation model. *Biology Education*, 25(2), 143-155.
- Lim, C. (2005). 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. *Journal of Korean Elementary Science Education*, 24(1), 86-101.
- Lim, C. (2009). Development of a model of brain-based evolutionary scientific teaching for learning. *The Journal of Korea Association Science Education*, 29(8), 990-1010.
- Lim, C., Ha, J., Kim, J. & Kim, N. (2008). The effects of a brain-based science teaching and learning model on intelligent life course of elementary school. *Journal of Korean Elementary Science Education*, 27(1), 60-74.
- Miller, E. K. (2000). The prefrontal cortex and cognitive control. *Nature Neuroscience Reviews*, 1(1), 59-65.
- OECD (2007). Understanding the brain: The birth of a learning science. Paris: OECD Publishing.
- Park, J. & Chang, N. (2001). The evaluation of brain functions based on the analysis of the brainwaves during science learning. *Biology Education*, 29(4), 365-374.
- Park, J. & Ha, J. (1995). The effect of right brain activities on creativity. *Journal of Educational Psychology*, 9(1), 117-130.
- Park, S. (1999). A study on the difference between symmetry and asymmetry of brain lateralization. *Journal of Educational Psychology*, 13(1), 203-228.
- Park, S. (2009). Towards developing learning sciences of

- education. *The Journal of Yeolin Education*, 17(3), 27-49.
- Ryan, R. M. & Deci, E. L. (2000). When rewards compete with nature: The understanding of intrinsic motivation and self-regulation. San Diego, CA, US: Academic Press.
- Shin, D. (2006). Development of neurocognitive models for explaining the generating process of scientific emotion in the generation process of biological hypothesis. *Biology Education*, 34(2), 232-245.
- Shin, D. & Kwon, Y. (2006). Brain activities by the generating-process-types of scientific emotion in the pre-service teachers' hypothesis generation about biological phenomena: An fMRI study. *Journal of the Korean Association for Research in Science Education*, 26(4), 568-580.
- Shin, J., Cho, Y., Lee, K. & Lee, H. (2006). Study on the validity of brain-based learning evaluated through research in educational psychology and cognitive neuroscience. *Asian Journal of Education*, 7(4), 87-109.
- Son, Y. (2000). Brain science research on creativity and directions of creativity education. Thesis(Ed. M.), Seoul National University of Education.
- Song, Y. & Lee, Y. (2004). Effects of creative promotion program through hemispheric lateralization on creativity of young children. *Journal of Education Development*, 20(1), 69-87.
- Sylwester, R. (1995). A celebration of neuron: An educator's guide to the human brain. VA: ASCD.
- Taylor, H. G. (1976). Learning disabilities. Prevalence estimates and the need for definition. In Knight, R., & Bakker, D. J. (Ed). *The neuropsychology of learning disorders*. Baltimore: University Park Press.
- Uemura, G. H. (1980). Individual differences in hemispheric lateralization. Unpublished Ph.D. dissertation, University of Maine, Orono, ME.
- Wolfe, P. & Brandt, R. (1998). What do we know from brain research?. *Educational Leadership*, 56(3), 8-13.
- Woo, M. (2005). Principles of brain-based of elementary literature education. *Literary Education*, 18, 445-469.
- Yang, S. (2012). The trend in domestic research on the brain-based education for early childhood. *Korean Education Inquiry*, 30(1), 239-265.