

뇌-기반 학습 과학적 관점을 적용한 교수·학습 프로그램 분석 -초등학교 5학년 과학을 중심으로-

이나연 · 신동훈[†]

(서울목동초등학교) · (서울교육대학교)[†]

Analysis of Teaching-Learning Programs from the Perspective of Brain-Based Learning Science -Focused on 5th Grade Elementary Science-

Lee, Na Yeon · Shin, Dong Hoon[†]

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

ABSTRACT

The purpose of this study was to examine the effects of teaching-learning programs from the perspective of brain-based learning science. Four units in 5th grade elementary science programs of the Revised 2007 National Curriculum were selected as contents to study. As the brain-based learning science analysis method, equations of the brain compatibleness index (BCI) and contribution degree on the brain compatibleness index (BCI_{CRE}) were applied to them. This study showed that there were qualitative and quantitative differences among the analyzed teaching-learning programs through the unit and curriculum. The results showed that hands-on activities like experiments or open inquiry activities improved their evaluation of the teaching-learning programs. From the analyzing, teachers can judge whether each teaching-learning program made considered the brain of the learners. Furthermore, this study can provide useful information to consult of various science teaching-learning programs brain-based learning.

Key words : teaching-learning programs, brain-based learning, the brain compatibleness index (BCI), contribution degree on the brain compatibleness index (BCI_{CRE}), brain-based learning science

I. 서 론

기존의 추상적 교육철학 개념이나 인문 사회적 기술 연구(descriptive study)를 기반으로 한 교육 연구와는 달리 자연과학적 방법을 교육현상 해석에 도입하려는 최근의 연구는 인간 본연의 신경 생리적 인지 사고 기능에 대한 새로운 시각을 열어주었다. 이와 같은 새로운 연구 패러다임은 ‘학습과학(the science of learning)’을 바탕으로 시작되어 ‘뇌-기반 학습과학(brain-based learning science)’이라는 새로운 분야를 만들게 되었으며, 교육 개혁에 있어서 매우 중

요한 시사점을 주고 있다(김성일, 2006; Ansari & Coch, 2006; Fugelsang & Dunbar, 2005). 뇌-기반 학습 과학은 모든 학습은 뇌에서 이루어진다는 것을 대전제로 하고 있으며, 두뇌 과학의 발전과 더불어 학생들을 위한 뇌-기반 교수·학습 프로그램을 개발하는 방향으로 진화하고 있다(임채성, 2005; 임채성 등, 2008; 조주연과 이병승, 2001; Jensen, 2008; Kwon *et al.*, 2009). 이러한 연구에 의하면 교수·학습 프로그램을 통한 교사의 학습 전략이 학생들의 두뇌를 변화시킬 수 있음을 알 수 있다. 이러한 뇌 연구의 성과는 교육과정과 교수·학습 방법의 평

가 및 개발 등에 많은 도움을 줄 수 있다. 과학과 교육과정과 교과서를 구성하고 평가하는 데 있어서 학습자의 뇌 특성을 고려하여 학생의 전뇌(whole brain)의 어떤 부분을 어떻게 자극하여 효율적으로 변화시킬 수 있는가를 고려하는 것은 필수적이다(신동훈과 권용주, 2007). 최근 들어 과학 교육계에서도 교육신경학에 기초하여 학생들의 뇌 발달 및 뇌 활성 패턴에 근거를 두고 교수·학습 전략이나 학습프로그램을 설계하고 평가하자는 주장이 제기되기 시작했다(이준기 등, 2010; 임채성, 2005; Lee & Kwon, 2011).

이와 같이 학습 과정에서 학습자의 뇌를 고려하는 것은 과학의 학문 체계에서 추출된 과학 교과 수업의 내용이 학습자에게 잘 전달되기 위해서 어떤 식으로 조직되고 표현되어야 하는지에 대해 매우 유용한 정보를 제공해 줄 수 있다. 결국, 뇌-기반 학습 과학적 관점에서 분석한다는 것은 학습자의 뇌의 특성에 맞게 교육과정이 구성되어있는지 살펴보고, 교사 스스로 사전에 자신이 실시할 교수·학습 프로그램이 학생의 학습에 관련된 뇌를 어떻게 자극하고 발달시킬지에 대해 가늠해보는 것이라고 할 수 있다(신동훈과 권용주, 2007; 이일선 등, 2010b; Ansari & Coch, 2006)

그러나 과학 교수·학습 프로그램의 구성 체제를 학습 과학적 방법으로 예측해 보기 위하여 교육과정 개정시기마다 전국 단위로 많은 수의 학생들을 학습 단위별로 두뇌 기능 영상을 실측한다면 엄청난 비용과 시간이 들 것이다. 물론 이러한 방법은 학문적으로는 객관적이고 타당한 연구 방법이며, 후속 연구에는 좋은 피드백을 줄 수 있지만 현장 유용성 면에서는 떨어지는 단점이 있다(이일선 등, 2010a). 이에 대한 대안으로 학습 과학적 근거를 둔 두뇌-기반 분석틀-CORE Brain Map(이준기 등, 2010), 두뇌 맞춤지수 산출식(이일선 등, 2010a)과 두뇌 맞춤 지수 기여도(Contribution Degree of BCI: BCI_{CRE}) 산출식(이일선 등, 2010b) 등을 이용하는 간접적 방법이 있을 수 있다.

이 연구에서는 이러한 산출식을 이용하여 과학 수업에 활용할 교수·학습 프로그램이 학생들의 두뇌 수준에서 어떤 영향을 주게 될지 실제 두뇌 측정 없이 예측해보고자 하였다. 이를 통해서 초등학교 현장에서 사용되는 과학 교수·학습 프로그램이 인지, 동기, 감성적 요소 측면에서 학생들의 두뇌 활

성에 어떤 영향을 주도록 구성되었는지 분석하였다. 분석 대상은 교과서 구성 체제인 FLOW 모형과 지도서에 제시된 학습 모형을 근거로 하였다. 이러한 연구 결과는 교수·학습 프로그램이 학생의 두뇌 활동에 어떤 영향을 주는지를 예측할 수 있고, 더 나아가 교사가 교재의 재구성, 발문 연구 등 학생들의 두뇌 활동을 향상시키는 뇌-기반 과학 학습이 가능하도록 하는 컨설팅 자료로 활용 가능할 것으로 기대된다.

II. 연구 방법

1. 연구 대상

이 연구의 목적은 초등학교 현장에서 이루어지는 과학 교수·학습 프로그램이 두뇌의 활동에 어떤 영향을 주는지를 간접적인 방법으로 분석하는 것이다. 따라서 현재 초등학교 현장에서 사용하고 있는 2007개정 과학과 교육과정의 교수·학습 프로그램을 연구 대상으로 하였으며, 교수·학습 프로그램은 교사가 작성한 것이 아니라 초등학교 과학 교사용 지도서에 제시하고 있는 학습 모형에 근거한 교수·학습 지도안으로 하였다. 분석 대상 학년은 과학 교육과정이 각 내용 영역별로 균등하게 구성되어 있는 5학년으로 선정하였다. 5학년 단원 중 각 영역을 가장 대표할 수 있는 단원을 선택하여 총 43차시 교수·학습 지도안을 분석하였다(표 1).

2. 연구 절차

연구 대상 단원의 교수·학습 프로그램에 대한 두뇌 맞춤지수와 두뇌 맞춤지수 기여도를 확인하기 위하여 다음과 같은 과정을 거쳤다.

첫째, 영역별로 선택한 네 단원의 각 차시별 교수·학습 프로그램을 단계별로 분절하여 조직화하였다.

둘째, 분절된 학습 과정의 예상 두뇌 활성 영역의

표 1. 연구 대상

번호	내용 영역	단원명	차시
1	운동과 에너지	물체의 속력	10차시
2	물질	용해와 용액	10차시
3	생명	식물의 구조와 기능	12차시
4	지구와 우주	지구와 달	11차시

결정은 뇌 기반 과학 교수·학습 프로그램 분석틀의 정의와 예시(이준기 등, 2010)를 기준으로 하였다. 이 때, 분석틀의 구성 항목인 각 두뇌 영역들의 주요 기능, 정의, 그리고 예시와의 적합성에 대해서 뇌과학교육 전문가 2인과 협의하여 구성하였다.

셋째, 결정된 활성 영역들 간의 네트워크 구성은 CORE Brain Map(이준기 등, 2010; McIntosh & Gonzalez-Lima, 1994)의 정성적 분석 방법을 따랐다. 교수·학습 프로그램과 관련된 두뇌 네트워크의 특성을 파악하기 위하여 CORE Brain Map에 표시된 영역들을 교수·학습 프로그램의 흐름에 맞춘 순차적인 연결(link)의 형태로 도식화하였다.

넷째, 각 교수 학습 과정안의 두뇌 활성 네트워크 모델에 계내 및 계간에서 나타나는 노드 수와 링크 수, 그리고 이에 따른 가중치에 따라 분석하여, 두뇌맞춤지수(이일선 등, 2010a; Milo *et al.*, 2002)를 산출하였다. 두뇌맞춤지수를 산출하기 위하여 2명의 연구자가 분석틀을 기준으로 코딩을 하였으며, 상호 교차 검토하여 틀린 부분은 협의하여 처리하였다. 43차시의 수업 지도안 중 8차시의 수업 지도안을 10인의 대학원생에게 2차례 투입하여 신뢰도를 검증받았다.

다섯째, 각각의 인지(피질계), 동기(보상계), 감성(변연계)적 측면과 관련된 두뇌 활성 영역과 기여도를 분석하고(이일선 등, 2010b), 각각이 인지, 동기, 감성적 측면에서 어떻게 학생들의 두뇌를 활성화시키는 지 정량적인 방법으로 살펴보았다. 이와 같은 연구 과정을 도식화하면 그림 1과 같다.

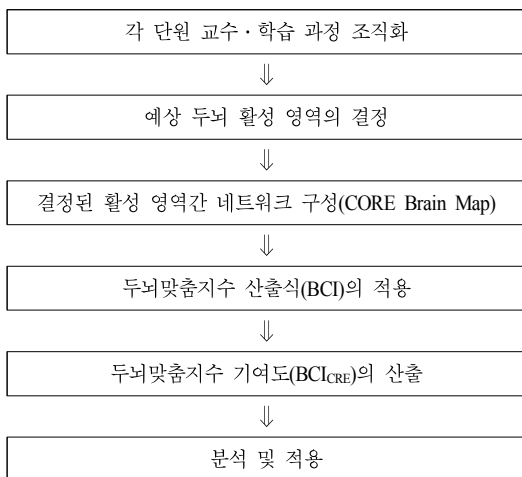


그림 1. 연구 과정

3. 분석 방법

1) 각 단원 교수학습 프로그램 조직화 및 예상 두뇌 활성 영역의 결정

그림 2는 5학년 1학기 3단원 ‘식물의 구조와 기능’ 8차시에 대한 교수·학습 프로그램을 단계별로 분절하고, 예상 두뇌 활성 영역을 결정하여 조직화한 예시이다. 전체 43차시의 수업을 이와 같은 방법을 사용하여 조직화하였다. 학생의 뇌는 교수·학습 과정의 시간적 순서에 따라 순차적 자극을 경험하게 되며, 순차적 흐름에 따른 경로 연결망을 지니는 네트워크를 형성하게 된다. 단, 같은 학습 단계 내에서 뇌의 각 기관들은 상호작용을 하며, 정보를 병렬적으로 동시에 처리하므로(김두정, 2010; Milo *et al.*, 2002) 학습 단계별로 활성화된 영역간 연결은 항상 양방향 링크로 처리하였다.

2) 결정된 활성 영역간 네트워크 구성 및 두뇌맞춤지수 산출식의 적용

조직화된 교수·학습 프로그램을 토대로 개발된 두뇌맞춤지수의 계내 및 계간 구성요소 분석틀(그림 2)과 두뇌맞춤지수 산출식(이일선 등, 2010a)을 적용하여 분석하면 그림 3과 같다. 이와 같은 방법으로 43차시를 모두 분석하였다.

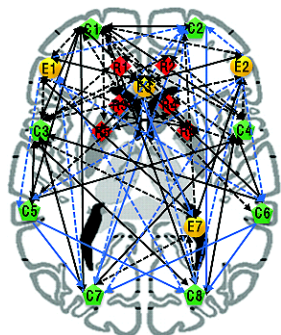
두뇌맞춤지수(BCI) 분석틀에 의하면, 전체 노드 수는 18개, 노드들 사이의 링크 수는 77개로 나타났다. 77개 링크들을 유형에 따라 나누면 시스템 내에서의 단방향 링크가 7개, 양방향 링크가 23개, 시스템 간의 단방향 링크가 19개, 양방향 링크가 28개임을 확인할 수 있다. 결국, 두뇌맞춤지수(BCI)는 노드의 수, 링크의 수, 링크의 유형별 가중치 값으로 나타난다. 두뇌맞춤지수는 91.41로 나타났는데, 이 지수는 다른 교수·학습 프로그램과 비교했을 때 상대적으로 높은 지수로 판단된다.

3) 두뇌맞춤지수 기여도 산출

교수·학습 프로그램에 대한 두뇌맞춤지수 기여도 산출을 위해 두뇌맞춤지수의 계내 및 계간 각 구성요소를 보다 상세하게 분석하였다. 예를 들어 인지 영역 C1노드의 경우, 계간 링크를 이루는 동기 및 감성 영역의 노드 수는 10개, 링크 수는 10개(계간 양방향 링크 10개)로 나타났다(표 2). 이러한 코딩 과정에서는 2명의 연구자가 상호 교차 검토하여

단원명	3. 식물의 구조와 기능		차시	8/12
학습주제	잎에 도달한 물은 어떻게 될까요?		수업모형	탐구학습모형
학습목표	<ul style="list-style-type: none"> 가설을 세워 물방울이 생긴 이유를 설명할 수 있다. 가설을 검증할 수 있는 실험 설계를 할 수 있다. 			
단 계	학습 과정	교수·학습 활동		활성두뇌영역
		교사 활동	학생 활동	인지(C) 동기(R) 감성(E)
년 전	동기 유발	<ul style="list-style-type: none"> 뿌리에서 빨아올린 물이 잎에서 어떻게 될까요? 	<ul style="list-style-type: none"> 우리나라의 가장 큰 울문산의 나무의 꼭대기에 있는 잎에서 올라가는 방법을 생각해본다. 	<p>계간 양방향</p> <p>R3-R4 R5-R6</p>
	학습 문제 파악	<ul style="list-style-type: none"> 본시의 학습 문제 확인 후상적 정보 유지 - 우측 배외측전두피질 	<ul style="list-style-type: none"> 학습 문제 인지 	<p>계간 단방향</p>
개 년	탐색 문제 파악	<ul style="list-style-type: none"> 잎이 들어있는 비닐봉지에는 물방울이 왜 생겼을까요? 비닐봉지를 쓰워 둔 잎에서 물방울이 생긴 현상을 관찰해봅시다. 	<ul style="list-style-type: none"> 물방울이 생긴 현상을 자신의 경험 속에서 찾아본다. 	<p>계내 단방향</p> <p>C1 C7-C8 E7</p>
	가설 설정	<ul style="list-style-type: none"> 잎이 담겨있는 곳에만 물방울이 생긴 이유를 가설을 세워 설명해 봅시다. 	<ul style="list-style-type: none"> 물방울이 생기는 비슷한 현상을 생각해 가설을 세워본다. 	<p>계내 단방향</p> <p>C1 E1-E2</p>
	실험 설계	<ul style="list-style-type: none"> 가설을 검증하기 위한 실험 설계를 하도록 한다. 	<ul style="list-style-type: none"> 자신이 생각한 실험 설계 이유를 설명한다. 	<p>계내 양방향</p> <p>C3-C4 C5-C6 C7</p>
	실험	<ul style="list-style-type: none"> 가장 타당한 실험 설계를 선택하도록 한다. 감성의 평가/ 정보의 평가 - 대상이랑 보상판단 - 양측안와전두피질 	<ul style="list-style-type: none"> 토의하여 타당한 실험 설계를 선정한다. 	<p>R1-R2 E3</p>
	실험	<ul style="list-style-type: none"> 가장 타당한 실험 설계대로 실험 구체적 정보의 수집, 시각 - 양측 후두피질 	<ul style="list-style-type: none"> 실험 수행하고 결과 수집 	<p>C7-C8</p>

그림 2. 교수·학습 프로그램 조직화 및 예상 두뇌 활성 영역 결정 예시(단방향 링크는 파란색 화살표, 양방향 링크는 검정색 화살표, 계내 링크는 실선, 계간 링크는 점선으로 나타냄, 서로 다른 색깔의 노드는 다른 계를 나타냄)



(8/12차시) 잎에 도달한 물은 어떻게 될까요?

나타난 노드 수(N ₀)	나타난 링크 수(L ₀)	유형별 링크(i)의 수(i)			
		i=1	i=2	i=3	i=4
18	77	7	23	19	28
$BCI = \frac{77}{11(18-1)} \times (7 \times 1 + 23 \times 2 + 19 \times 3 + 28 \times 4) = 91.41$					

그림 3. ‘식물의 구조와 기능’ 8차시의 CORE Brain Map(좌)과 두뇌맞춤지수(BCI) 산출 과정(우)

틀린 부분은 협의하여 처리하였다.

이를 통해 두뇌맞춤지수 기여도를 산출하여, 각 영역별 두뇌맞춤지수들(Co , Re , Em)의 비율을 바탕으로 두뇌맞춤지수 기여도(BCI_C , BCI_R , BCI_E)를 나타내면, $BCI_C=55.35$ (BCI 에 대한 인지 영역의 기여 비율: 0.61), $BCI_R=9.146$ (BCI 에 대한 동기 영역의 기여 비율: 0.10), $BCI_E=26.92$ (BCI 에 대한 감성 영역의 기여 비율: 0.29)이다. 두뇌맞춤지수 기여도 측면에서 인지 영역의 기여 비율이 0.61인 것에 비하여 동기 영역이 0.10, 감성 영역이 0.29로 나타났다.

이러한 분석 방법을 통해 4개 과학 영역, 43차시에 대한 두뇌맞춤지수(BCI)와 두뇌맞춤지수 기여도(BCI_{CRE})를 모두 산출하였다.

4. 학습 모형 분석 방법

43차시의 수업 중 과학 학습 모형이 적용된 수업은 FLOW 모형 특성상 ‘L’ 단계에만 적용되었으므로 L단계에서 적용한 28차시의 학습 모형을 5개로 분류하여(표 3) 평균적인 두뇌맞춤지수와 그 기여도를 산출하였다.

III. 연구 결과 및 논의

연구 대상 네 단원의 차시별로 산출한 두뇌맞춤지수와 두뇌맞춤지수 기여도를 토대로, FLOW 모형과 적용된 교수·학습 모형에 따라 두뇌 활성 정도를 비교·분석하였다.

표 2. 과학 교수·학습프로그램의 두뇌맞춤 지수 기여도 산출을 위한 두뇌맞춤지수의 계내 및 계간 구성요소 분석 결과

계 (시스템)	Intra(계내)				Inter(계간)				
	나타난 노드 수	나타난 링크 수	유형별 링크 수		노드 번호	계간 노드 수	계간 링크 수	유형별 링크 수	
			$i=1$	$i=2$				$i=3$	$i=4$
인지 (피질계)	8	21	6	15	C1	10	10	·	10
					C2	7	7	6	1
					C3	5	5	·	5
					C4	5	5	·	5
					C5	4	4	3	1
					C6	4	4	3	1
					C7	5	5	3	2
					C8	5	5	3	2
동기 (보상계)	5	4	·	4	R1	6	6	2	4
					R2	6	6	2	4
					R3	2	2	1	1
					R4	2	2	1	1
					R5	2	2	1	1
					R6	2	2	1	1
					R7	·	·	·	·
감성 (변연계)	5	5	1	4	E1	8	8	5	3
					E2	8	8	5	3
					E3	7	7	2	5
					E4	·	·	·	·
					E5	·	·	·	·
					E6	·	·	·	·
					E7	6	6	·	6

표 3. 단원별 학습 모형 적용 차시

단원	학습모형	경험 학습	발견 학습	탐구 학습	순환 학습	POE 학습
물체의 속력				2,3,4,5,6,7		
용해와 용액			5	2	3,4,6,7	
식물의 구조와 기능	3,4	6,9	8	10	2,5,7	
지구와 달	2,3,4	7,8		5	6	
소계(수)	5	4	2	9	8	

1. FLOW 모형에 따른 두뇌맞춤 지수 기여도 분석 결과

2007개정 5~6학년 과학 교과서는 재미있는 과학 F(Fun science), 과학실험방 L(Lab, experience), 과학생각모음 O(Organizing knowledge), 나도 과학자 W(Willing to be a scientist), 이렇게 한 단원이 ‘FLOW’ 모형 한 단위로 구성되어 있다(교과부, 2011). 각 단계별 특성과 실제 구성되어 있는 학습 내용과의 관계를 학습 과학적 관점으로 분석하였다.

1) 물체의 속력

F단계는 활성화된 노드 수가 많았으며, 링크의 수도 많은 편이어서 두뇌맞춤지수가 51.45로 가장 높았고, 동기 영역의 기여도가 0.31로 높게 나타났다. 이를 통해 학생들이 직접 고무동력수레를 제작해보고, 경기 종목과 규칙을 정하여 경주해보는 활동이 학생들의 흥미 유발에 효과적이었다는 점을 알 수 있다. 또한, 학생들이 적극적으로 참여하는 것은 이해도 향상에 많은 도움을 주기 때문에 이 차시의 교수·학습 프로그램은 단원의 학습 내용을 이해하는 데 많은 도움을 줄 것으로 보인다.

L단계는 두뇌맞춤지수는 가장 낮으나 동기 영역의 기여도가 다른 단원에 비하여 상대적으로 높았다. 스스로 제작한 고무 동력 수레를 활용한 활동, 모둠별로 달리기 경기를 하는 활동을 통해 학생들의 뇌 보상계 부분을 자극하여 학습 과정에서 계간 양방향 교류를 유발시켰음을 확인할 수 있다. 학습자 주도의 모둠별 학습을 구성한 결과 탐구 기능 영역에 미치는 효과가 높아졌다는 뇌 기반 과학 교수 학습 모형의 적용한 수업의 효과 연구(임채성 등, 2008)에서 알 수 있듯이 모둠별 학습은 학습자들이 좀 더 직접적인 경험을 할 수 있고, 스스로 탐구하도록 하며, 다른 모둠의 결과를 보고 장단점을 평가하면서 뇌

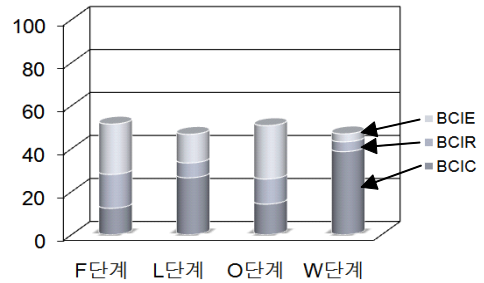


그림 4. ‘물체의 속력’ 단원의 두뇌맞춤지수 기여도

기반 학습에 긍정적인 영향을 미친다고 할 수 있다.

O단계는 감성 영역의 기여도가 월등히 높지만, 피질 내의 활용 영역과 이들 간의 네트워크 형성 정도가 우측 해마로 집중되는 경향을 발견할 수 있었다. 호기심은 해마에서 세타파를 발생시켜 효율적인 기억을 돕지만(신동훈, 2006; Gazzaniga et al., 2002), 이것은 과거의 기억에 대한 재인 과정을 단순 확인하는 과정에서 1차적으로 종종 일어나는 반응으로, 이 수업이 창의적인 지식 생성형의 탐구라기보다는 학생들의 기존 개념 확인에 관련되는 두뇌 영역만을 많이 자극하고 있다는 것을 의미한다. 뇌는 이미 기억하고 있는 대상이나 개념과 연결하여 새로운 내용을 학습할 때 학습된 적이 없는 개념과 연결하여 학습할 때보다 더욱 빠른 반응을 보이므로 학생들의 경험과 연계하는 네트워크를 형성하기 위한 유의미한 교수-학습 전략이 필요하다(조희형 등, 2011).

2) 용해와 용액

F단계는 물과 아세톤에서 스티로폼 공의 용해 정도를 관찰하고, 액체담을 만드는 등 흥미로운 소재로 구성되어있음에도 불구하고, 두뇌맞춤지수가 낮은 편이고, 동기과 감성 영역의 기여도도 낮다. 이는 거의 대부분 피질계를 자극하는 과정으로만 이루어져 있으며, 관련 노드들 사이의 연결이 많지 않고, 계내에서만 교류가 활발할 뿐 계간의 단방향과 양방향 모두 링크가 활발하게 이루어지지 않았기 때문이다. 보다 두뇌 최적화하기 위해서는 우선적으로 두뇌 보상계를 자극할 수 있는 학습 요소(동기 유발, 칭찬 등)가 반영되어야 할 것이고, 학습 과정에서 계간의 교류를 일으킬 수 있도록 인지, 동기와 관련된 학습 단계간 순서를 조절해야 할 것이다. 또한, 교사의 설명에 따른 활동이 아니라 스스로 장단점을 평가해보고 내면화하는 활동일수록 더 긍정적

인 효과를 나타냈다는 점(임채성과 오윤화, 2004)에서 학생들이 스스로 실험을 설계할 수 있도록 도움을 주는 수업 방법을 연구해볼 필요가 있다(권용주 등, 2011).

L단계는 실험을 설계하여 학생 스스로 결론을 도출하게 하여 좌측 해마뿐만 아니라 다양한 감성 영역을 자극하는 학습 과정으로 구성되어 있어 나타난 노드 수 및 각 계간을 연결하는 링크들이 많이 나타났고, 링크의 유형에 따른 가중치도 높게 나타났다. 특히, 감성 영역의 기여도가 상대적으로 높은 편인데, 다른 단원에서는 잘 활성화되지 않았던 좌측해마와 양측 편도체가 활성화되었기 때문으로 볼 수 있다. 어떤 대상에 대한 정보를 받아들이고 처리할 때, 뇌신경 배열로 인해 감성적 측면이 인지적 측면보다 더 먼저 작용하고 더 강력한 효과를 내기 때문에(신동훈, 2006; 임채성과 오윤화, 2004) 이처럼 여러 감성적 요소가 활성화되어 인지 영역과의 네트워크가 잘 형성된 것으로 보인다.

O단계에서는 마술과 연결시키는 활동 등의 다양한 방법을 통해 C5-C6를 제외한 전 노드가 활성화 되도록 진행되는 교수·학습 과정은 노드가 서로 연합하여 정보를 처리하는 뇌의 특성에 알맞다. 교수 활동의 도입부뿐만 아니라 교수 활동이 전개되는 도중에도 학생들의 흥미를 지속시키기 위해 흥미 있는 자료들을 적절하게 배합하여 제시하는 것이 필요하다는 점(김성일, 2006; 조주연, 1998)에서 풍부한 자극으로 뇌의 신경망을 재구조화할 수 있도록 하여 구성되어있음을 알 수 있다. 또한, 링크도 활발하게 연결되어 있어 각 영역들 간의 두뇌 수준 교류가 잘 이루어지는 경험을 할 수 있을 것이라 예측된다. 하지만, 계간 양방향보다는 단방향 링크가 상대적으로 활성화되어있으므로 인지, 동기, 감성 영역 간 학습 단계를 조절한다면, 더욱 두뇌 친

화적인 교수·학습 구성이 될 것이다.

3) 식물의 구조와 기능

F단계는 기억 놀이를 통해 식물의 구조와 기능에 흥미를 갖게 하는 것으로 ‘기억왕 되기’라는 게임적 요소를 활용하여 학생들의 호기심을 이끌어내었다. 활성화된 노드 수에 비해 링크의 수가 많았고, 시스템 계내와 계간 모두 단방향 보다 양방향 링크가 많아서 두뇌맞춤지수가 높게 나타났고 동기 영역의 기여도도 0.31로 높은 편이다. 그리고 수업의 구성이 뇌의 피질계, 보상계, 변연계 영역 모두를 자극하는 것으로 분석되지만, 상대적으로 변연계 영역에 대한 보완이 필요함을 확인할 수 있다. 학생들의 동기 유발을 위한 질문이 많았으나, 동기 유발 질문들 중 인지 갈등을 일으킬만한 질문은 없었고, 사고를 확장시키는 질문도 보이지 않았기 때문이다. 따라서 학생들이 감성적 의사결정이나 긍정감성, 부정감성이 생길 수 있도록 E1-E2 노드를 활성화시키는 학습 요소의 추가가 필요하다(신동훈, 2006).

L단계에서는 다른 단원에 비하여 인지 영역의 기여도가 높게 나타났다. 주로 식물의 구조를 관찰하고 구조와 관계를 통합하여 다루는 것이 중요한 목표로 구조를 관찰할 때에는 현상적인 사실뿐만 아니라 구조가 가질 수 있는 기능을 추리하여 연관할 수 있도록 하면 동기 영역과 감성 영역의 기여도가 높아지며 학생들이 흥미를 가지고 탐구하는 자세를 가지도록 하기 위해서 사고를 확장시키는 질문이 보충되어야 한다(임채성, 2009; 조주연과 이병승, 2001). 따라서, 교수·학습 프로그램을 두뇌에 최적화하기 위해서는 우선 학생 자신의 예상과 다른 인지 갈등 상황이 감성과 동기 영역의 두뇌 자극으로 이어지도록 하는 교사의 발문이 필요한 것으로 나타났다.

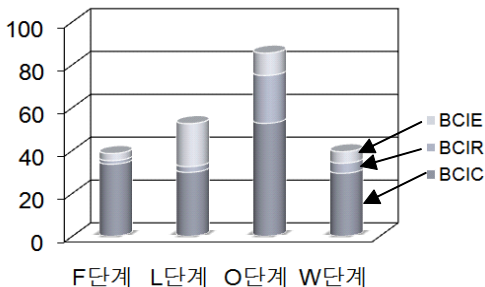


그림 5. ‘용해와 용액’ 단원의 두뇌맞춤지수 기여도

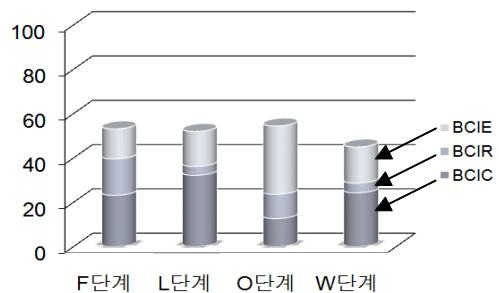


그림 6. ‘식물의 구조와 기능’ 단원의 두뇌맞춤지수 기여도

O단계는 나타난 노드 수에 비하여 링크가 활성화 되지 않았으며, 계간 양방향보다 단방향 링크가 활성화되어 두뇌맞춤지수는 낮은 편이다. 피질계의 모든 영역이 나타났음에도 불구하고 점수가 높지 않은 것은 피질계 외의 다른 영역과의 연결이 활성화 되지 않았기 때문이다. 뇌의 여러 부위가 활성화 되도록 다양한 자극을 줄 수 있는 자료를 활용하는 것이 필요하다. 두뇌맞춤지수 기여도 측면에서는 인지 영역의 두뇌맞춤지수 기여 비율이 0.23으로 낮게 나타났고, 감성 영역의 기여 비율이 0.57로 비교적 높게 나타났다. 하지만, 감성 영역 중 대상이랑과 우측해마, 두 노드로 자극이 편중되는 것으로 나타나, 학생들의 정서적·감성적 측면을 고려한 재구성이 필요하다(신동훈, 2006; Jensen, 2008). 차시의 구성에 있어서도 학습의 감성적 측면과 인지적 측면의 상호작용에 대해 좀 더 인식하고 가장 효과적인 상호작용을 유발하도록 노력할 필요가 있는 것으로 나타났다(조주연과 이병승, 2001).

4) 지구와 달

F단계는 지구와 달의 퍼즐 조각을 맞추면서 지구와 달의 전체적인 모양의 관찰에만 주안점을 두도록 구성되어있다. 흥미로운 소재를 도입했음에도 불구하고 두뇌맞춤지수가 네 단원 중 가장 낮았고, 기여도 측면에서도 동기 영역의 기여도가 0.10으로 매우 낮게 나타났다. 그 이유는 나타난 노드 수 및 링크의 수가 매우 적었기 때문으로 볼 수 있다. 수업의 구성이 뇌의 피질계, 변연계, 보상계 영역들을 고루 자극하지 못하여 이들 간 네트워크를 잘 형성시킬 수 없음을 의미한다. 학습 개념과 관련이 높은 게임이나 활동일지라도 학습자의 호기심을 일으킬만한 활동으로는 부족하거나, 이를 두뇌 특성에 맞게 학습활동과 연결시키지 못하면 학습자의 뇌가 활성화 되지 않는다는 것을 알 수 있다.

L단계에서는 주로 관찰과 추리, 예상, 일반화 도출을 통해 이루어지기 때문에 두뇌맞춤지수가 높은 편이며, 감성 영역의 기여도도 가장 높다. 하지만, 동기 영역의 기여도가 0.06으로 매우 낮다. 수업을 하는 동안 직접 해보는 활동에서 학생들이 많은 즐거움과 흥미를 느끼며, 수업에 대한 긍정적인 반응과 흥미가 교과에 대한 긍정적인 반응, 학습에 대한 이해도로 이어진다(임채성 등, 2008). 달을 직접 관찰하고, 뇌가 받아들인 다양한 감각 정보를 종합하

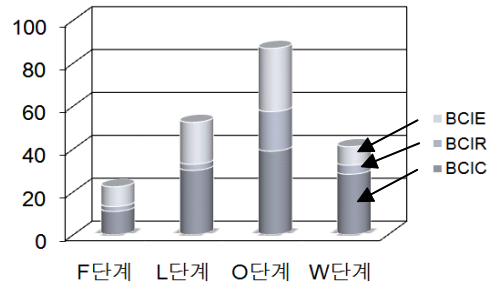


그림 7. '지구와 달' 단원의 두뇌맞춤지수 기여도

고 뇌의 여러 부분에 저장되어 있는 기존 지식을 활용하여 학생들의 동기 유발로 연결될 수 있도록 동기적 측면의 학습 단계를 재구성하거나 추가적으로 반영하여 좀 더 두뇌 친화적으로 구성해야 한다. 특히, 직접 경험할 수 없는 지구나 우주 주제에서는 그림이나 사진, 동영상 등의 다양한 형태의 탐구 활동이 호기심 유발에 효과적이며, 뇌의 특성에 맞는 좋은 학습 자료이다.

O단계는 자신의 느낌을 회상하는 활동과 이를 발표하는 활동을 통해 뇌의 다양한 영역을 활성화시키고 이를 활발하게 연결시켜 두뇌맞춤지수가 높게 나타난 것으로 보인다. 학생들의 경험을 유도해서 새로운 내용과 연결시키기 위한 활동으로 구성되어 있고, 계간 링크가 매우 활성화되도록 학습 단계가 구성되어 있으며, 단방향보다 양방향 링크가 활성화 되어 있어 뇌가 학습하는 방식으로 구성된 수업이라고 할 수 있다. 또한, 교사의 발문을 통해 학습 내용에 대해 다양하게 접근할 수 있도록 자극을 입력받을 수 있는 통로를 다변화하도록 도와주어야 한다.

5) 단원별 두뇌맞춤지수 기여도 비교

각 단원은 대체로 F에서 L단계, O단계로 가면서 두뇌맞춤지수가 올라가고, W단계에서는 두뇌맞춤지수가 내려가는 형태로 구성되어 있었다. 뇌의 고유한 기능의 극대화를 위해서는 학습자의 흥미와 동기를 유발할 수 있는 학습 분위기를 조성해야 한다는 연구(김성일, 2006; Jensen, 2008)와 뇌 친화 학습을 적용한 결과 과학적 태도 중 호기심과 흥미를 향상시키고, 과학지식 향상에 효과가 있는 것으로 나타났다(임채성, 2009)에서 알 수 있듯이, 뇌 기반 과학 수업에서 중요하게 여기는 도입 단계의 동기 유발에 단원 학습의 성공이 달려있다고 해도 과언이 아니다. 그러나 연구 대상 단원을 두뇌맞춤

지수 기여도 측면에서 보면, 각 단원의 F단계 동기 영역의 기여도가 높지 않았으며, 본격적으로 학습을 하게 되는 L단계에서는 동기영역의 기여도는 더욱 낮게 나타났다. L단계에서 두뇌맞춤지수는 ‘용해와 용액’ 단원이 가장 높았으며, ‘물체의 속력’ 단원이 가장 낮게 나타났으나, 단원별로 큰 차이는 보이지 않았다. O단계는 L단계에서처럼 실험을 하거나 조작 활동을 많이 하지 않아 나타나는 노드의 수가 많지 않았지만, 연결이 활성화되어 있고, 계내 보다는 계간 링크가 매우 활발하게 연결되어 두뇌맞춤지수도 가장 높게 나타났고, 지수 기여도 측면에서도 가장 두뇌 친화적인 교수 학습 과정이라고 할 수 있다. 두뇌맞춤지수는 ‘용해와 용액’ 단원과 ‘지구와 달’ 단원에서 가장 높게 나타났으며, ‘물체의 속력’, ‘식물의 구조와 기능’ 단원에서는 다소 낮게 나타난 편이었는데, 이는 지수 기여도의 경향성과도 일치한다.

반면, W단계는 연구 대상 단원 모두에서 인지 영역의 기여도가 가장 집중되어 나타났으며, 두뇌맞춤지수가 낮게 나타났다. ‘L’단계에서 배웠던 과학 탐구 활동과 관련된 과학자들의 활동을 학생들이 꼬마과학자가 되어 다양한 문제 상황에서 창의적으로 해결해보는 활동으로 구성하였으나 공통적으로 C1, 즉 과학지식 생성과 관련된 노드가 활성화되지 않았다. 이는 정보의 평가나 기억의 재인과 관련된 변연계 영역만을 활성화시켜 배운 내용을 기억하고 확인하며, 주어진 정보를 보존하여 형태만 변환시키는 활동으로 이루어져있어 학생들이 스스로 의사 결정을 하고 지식 생성 과정을 경험할 수 있도록 재구성되어야 한다는 것을 의미한다(권용주 등, 2011). 그리고, 창의성은 또래들과의 상호작용뿐 아니라 교사와의 상호작용을 통해 학습자들은 창의성을 발휘하는 데 도움을 준다. 따라서, 학생들의 창의적 문제 해결력을 향상시키기 위해서 교사가 격려와 함께 긍정적인 피드백을 제공하며 적극적으로 상호작용하는 등의 학생들의 감정이나 정서에 관련된 다양한 변연계 단계 발달을 위한 학습 단계를 추가로 구성한다면 보다 두뇌 친화적인 수업 구성이 될 것으로 생각한다.

2. 과학 교수·학습 모형에 따른 두뇌맞춤지수 기여도 분석

교수·학습 프로그램을 조직화하여 예상 두뇌 활

성 영역을 코드화한 결과 학습 단계별로 활성화되는 두뇌 영역의 양상이 비슷하다는 것을 알 수 있다. 이에 따라 과학 교수·학습 모형별로 두뇌 활성 영역과 네트워크의 연결 정도를 분석하였다(그림 8). L단계에서 두뇌맞춤지수는 각 단원별로는 큰 차이를 보이지 않았지만, 교수·학습 모형별로 차이가 보이므로, 주요 과학 교수·학습 모형들이 인지, 동기, 감성적 요소 측면에서 학생들의 뇌를 체계적으로 통합하여 활성화 시키는지 알아보기 위하여 분석하였다.

교육과정상의 과학 교수·학습 모형은 크게 학습자 중심 모형군(경험 학습, 발견 학습, 탐구 학습)과 학습자 지원 모형군(순환 학습, POE 학습)으로 나눌 수 있다(교과부, 2011). 두뇌맞춤지수와 그 기여도 측면에서 살펴보면 학습자 중심 모형군이 학습자 지원 모형군보다 보다 두뇌친화적인 것을 알 수 있다(그림 8).

학습자는 교사 주도의 전체 학습보다 실제적이고 직접적인 경험과 체험을 했을 때(Jensen, 2008), 실험 활동 중심의 조작적 교수·학습 과정(권용주, 1999)이 뇌에 더 잘 패턴화된다. 발견 학습 모형이나 탐구 학습 모형은 전형적인 학습자 중심 모형군으로 학생들이 스스로 규칙성을 발견하거나 가설 검증을 통해 스스로 탐구하는 활동이 주를 이루게 되어 두뇌맞춤지수가 높게 나타났고, 기여도 측면에서도 계내 및 계간 링크가 활성화되어 있다. 하지만, 같은 학습자 중심 모형군이지만 경험 학습 모형은 다른 양상을 보인다. 주로 구체적이고 조작적인 경험을 요구하여 일부 앞 차시에서만 나타나 학습 활동이 뇌의 특정 부위만을 활성화시키고 네트워크 형성이 원활하지 않음을 알 수 있다. 교육과정에서 강조하고 있는 학습자 중심 혹은 구성주의적 방식은 본질적으로 학습자의 뇌 기능에 기초하여 이루어져야 실효를 거둘 수 있을 것이다(교과부, 2011;

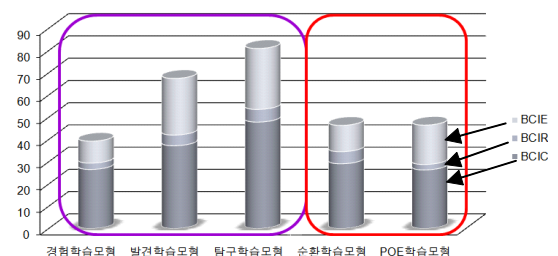


그림 8. 학습 모형별 두뇌맞춤지수 기여도

임채성, 2005; 2009). 따라서, 탐구 방법에 대한 안내를 자세히 하기보다는 실험 활동 중심의 장점을 살려 학생들이 조작 활동을 하며 스스로 사고할 수 있도록 학생들의 경험에서 의미를 끌어내는 질문을 통해 이루어져야 한다. 특히, 학생들이 스스로 실험을 설계하고 장단점을 평가해보며 내면화하는 활동이 필요하다. 이런 과정에서 정서가 기억의 형성과 저장 및 기억의 인출에 영향을 크게 미치기 때문에(신동훈, 2006), 학생들이 흥미와 호기심을 가지게 하는 학습은 과학지식과 탐구 방법을 전달하는 것 못지않게 중요하다.

POE 학습 모형과 순환 학습 모형은 학습자 지원 모형군으로 전자보다 교사의 직접적인 개입이 증가하므로 학생들의 두뇌맞춤지수가 다소 낮게 나타난 것으로 보인다. 이는 교과서와 지도서를 기반으로 하는 일반적인 교수·학습 모형은 수업 시간 중 교사의 설명이 차지하는 비중이 높은 반면, 뇌-기반 교수 학습 모형을 적용한 수업은 학생 스스로 직접 경험을 하는 기회가 많아 기억 영역의 점수가 유의미하게 향상되었다는 연구 결과(임채성 등, 2008)에서 보듯이 시사한 바가 크다. 교사의 발문은 지식의 전달을 넘어 학생들의 능동적 활동을 불러일으키는데 중요한 만큼 교수·학습 과정에 있어서 교사는 학생의 지적호기심을 자극하는 확산적 발문을 하여 생각을 충분히 표현할 수 있도록 하고, 여러 학생들의 경험을 중요한 수업 내용과 연결하여 학습자가 의미조각망을 형성할 수 있도록 도와주는 것이 중요하다(조희형 등, 2011). 흥미와 호기심을 일으키는 확산적 발문을 통해 학습자의 확산적 사고를 유도하는 수업 환경을 조성하여 학습자가 적극적으로 수업에 참여할 수 있도록 한다면 좀 더 두뇌친화적인 수업 구성이 될 수 있을 것으로 생각한다.

IV. 결론 및 교육적 적용

교사는 학습자 뇌 기능과 능력이 자연스럽고 최대한 발휘되는 상황에서 효율적인 학습이 이루어질 수 있다는 점을 염두에 두고 지도해야 한다. 앞에서 살펴본 바와 같이, 교수·학습 프로그램이 학습자의 학습 동기나 호기심을 자극할 만한 자료로 제시되지 못하고, 뇌가 학습하는 과정에 따라 학습 순서가 적절하지 않은 경우가 있다. 뿐만 아니라 두뇌맞춤지수 기여도면에서는 인지 영역의 기여도가 동기 영역과

감성 영역의 기여도를 합친 비율보다 높아 인지 영역에 지나치게 편중되어 있다. 또한 위계성을 강조한 교수·학습 모형의 단계를 기계적으로 진행하게 될 경우 정보를 병렬적으로 동시에 처리하는 뇌의 정보 처리 방식에 부합되지 않을 수 있다. 그러므로 뇌 세포의 효율적인 네트워크 구성을 위해 교사의 재량에 따라 학습 단계를 재조정하여 학습 경험이 통합적으로 조직되어야 할 필요가 있다.

FLOW 모형 중 F단계에서는 동기 영역의 기여도가 높지 않으므로 학생들에게 과학 수업에 대한 긍정적 인식과 참여 의지를 높여주기 위해서 동기가 강조된 교수 학습에 대한 연구가 필요하다. L단계에서는 학생 스스로 실험을 하거나 조작 활동을 많이 할수록 두뇌맞춤지수가 높아지므로, 학습자 중심의 조작적 실험 활동이 주를 이루도록 교수 학습 프로그램을 조직화해야 한다. O단계에서는 활동으로 나타나는 로드 수는 많지 않았지만, 연결이 활성화되어 있었고, 계내보다는 계간 링크가 매우 활성화되어 두뇌 활동이 최적화되어 있으므로 학습자의 뇌를 자극시킬 수 있는 교사 발문에 대한 연구가 필요하다. W단계에서는 인지 영역의 기여도 비율이 상대적으로 매우 높으므로 수업 과정에서 학생 스스로 의사 결정을 하고, 지식을 생성할 수 있는 학습 활동으로 재구성하고, 학생들의 동기와 감성에 관련된 보상계, 변연계 발달을 위한 학습 내용을 추가로 구성하는 것이 필요하다.

이러한 연구의 결과를 통해 얻을 수 있는 결론 및 교육적 시사점은 다음과 같다.

첫째, 이와 같은 교수·학습 프로그램대로 과학 수업이 이루어진다면, 학생들의 두뇌 발달은 대뇌 피질계 영역으로만 편중되게 된다. 따라서 교사의 재량에 의해 학생들의 감정이나 정서에 관련된 변연계 발달을 위한 학습 내용의 추가가 이루어져야 한다. 특히, 동기 영역의 기여도가 전 단원, 전 차시에 걸쳐 매우 낮게 나타났으므로 학생들의 과학 수업에 대한 긍정적 인식과 참여 의지를 높이기 위해서는 동기가 강조된 교수·학습에 대한 연구가 필요하다.

둘째, 보다 두뇌 친화적인 교수·학습 프로그램의 구성을 위해서는 계간의 양방향 교류가 적절하게 이루어지는 것이 매우 중요하다. 학생들뿐만 아니라 교사와의 적극적인 상호작용이 학습의 효과로 나타나므로, 인지, 동기, 감성과 관련된 학습 단계를

재구성하거나 순서를 조절하여 구성 체계를 적절히 변환할 필요가 있다.

셋째, 학생들이 스스로 지식을 생성하는 활동이 주요 학습활동일수록 두뇌맞춤지수가 높아짐을 알 수 있다. 학습자 지원 모형군을 선택하여 수업을 진행할 경우 교사의 직접적 개입이 증가하게 된다. 따라서 학생의 뇌를 자극시킬 수 있는 확산적 발문을 하며, 학생들의 경험을 중요한 수업 내용과 연결하여 학습자가 의미조직망을 형성할 수 있도록 교사의 교수활동과 수업 환경을 적절하게 결합하여 계간 영역들 간의 다양한 링크를 활성화시키는 노력이 필요하다.

넷째, 교사의 언어적 설명보다는 실험 활동 중심의 조작적 교수·학습 프로그램이 뇌가 학습하는 방법에 맞게 구성되어 훨씬 효과적이다. 학습자 중심 모형군으로 교수·학습 지도안을 구성할 경우, 교사의 설명에 따른 활동이 아니라 스스로 실험을 설계하고, 장단점을 평가해보고 내면화하는 등의 활동을 보다 적극적으로 도입하여 학생들의 동기와 감성을 자극시켜야 할 것이다.

이 연구는 최신 뇌과학 문헌들의 실측 데이터들을 메타적으로 통합한 뇌-기반 프로그램 분석들과 두뇌맞춤지수 산출식을 통해 간접적인 방법으로 뇌활성 상태를 예상한 것이다. 따라서, 현장에서 교사들이 실제로 수업에 사용하고 있는 과학 교수·학습 프로그램에 대한 분석이 이루어진 것이 아니므로 활용 및 해석시 제한점을 지닌다. 이러한 점은 추후 실제적인 과학 교수·학습 프로그램에 대한 적용 및 분석 연구들을 통해 보완해나가야 할 것이며, 두뇌맞춤지수를 활용한 교수·학습 프로그램이 학습자의 뇌를 얼마만큼 변화시켰는지 실측적 뇌영상 연구를 통해 보완되어야 할 필요성을 가지고 있다.

참고문헌

교과부(2011). 초등학교 교사용 지도서 과학 5-1. (주)금성출판사.
 권용주(1999). 과학 교수·학습 과정에서 실험 활동 중심 수업의 효율성에 대한 신경학적 설명. 한국과학교육학회지, 19(1), 29-40.
 권용주, 정진수, 신동훈, 이준기, 이일선, 변정호(2011). 과학 지식의 생성과 평가. 서울, 학지사.
 김두정(2010). 뇌과학: 학교 교육과 교육과정에서의 시사점. 한국교육과정학회지, 28(3), 127-145.

김성일(2006). 뇌-기반 학습과학: 뇌과학이 교육에 대해 말해주는 것은 무엇인가?. 인지과학, 17(4), 375-398.
 신동훈(2006). 생물학 가설 생성에서 나타나는 과학적 감성의 생성과정 설명을 위한 신경 인지적 모형 개발. 한국생물교육학회지, 34(2), 232-245.
 신동훈, 권용주(2007). 초등 과학 교육에서 두뇌 연구 방법의 고찰-fMRI 활용법을 중심으로-. 초등과학교육, 26(1), 49-62.
 이일선, 이준기, 권용주(2010a). 과학 교수-학습 프로그램의 두뇌-기반 분석을 위한 두뇌맞춤지수 산출식 개발. 한국과학교육학회지, 30(8), 1031-1043.
 이일선, 이준기, 권용주(2010b). 두뇌맞춤지수 기여도 산출식의 개발 및 적용 - 7학년 과학 '세포의 구조와 기능' 단원을 중심으로. 한국생물교육학회지, 38(4), 531-546.
 이준기, 이일선, 권용주(2010). 과학 교수-학습 프로그램의 평가를 위한 두뇌-기반 분석틀의 개발. 한국과학교육학회지, 30(5), 647-667.
 임채성(2005). 뇌 기능에 기초한 과학 교수 학습: 뇌기능과 학교 과학의 정의적·심체적·인지적 영역의 연계적 통합 모형. 초등과학교육, 24(1), 86-101.
 임채성(2009). 뇌-기반 진화적 과학 교수 학습 모형의 개발. 한국과학교육학회지, 29(8), 990-1010.
 임채성, 오윤화(2004). 초등 과학 교수 학습 활동 유형에 대한 초등학생들의 감성 상태. 한국생물교육학회지, 32(4), 381-389.
 임채성, 하지연, 김재영, 김남일(2008). 뇌-기반 과학 교수 학습 모형을 적용한 「슬기로운 생활」 수업의 효과. 한국초등과학교육학회지, 27(1), 60-74.
 조주연(1998). 학습 및 기억에 대한 인지과학적 발견의 교육적 적용. 초등교육연구, 12(2), 5-27.
 조주연, 이병승(2001). '감성(emotion)'의 뇌과학적 기제와 초등학교 감성교육의 방향. 초등교육연구, 14(3), 391-410.
 조희형, 김희경, 윤희숙, 이기영(2011). 과학교육의 이론과 실제. 서울, 교육과학사.
 Ansari, D. & Coch, D. (2006). Bridges over troubled waters: education and cognitive neuroscience. *Trends in Cognitive Science*, 10(4), 146-151.
 Fugelsang, J. A. & Dunbar, K. N. (2005) Brain-based mechanisms underlying complex causal thinking. *Neuropsychologia*, 43, 1204-1213.
 Gazzaniga, M. S., Ivry, R. B. & Mangun, G. R. (2002). *Cognitive neuroscience: The biology of the mind* (2nd ed.). W. W. Norton & Company.
 Jensen, E. (2008). *Brain-based learning: Thousand oaks*. CA: Corwin Press.
 Kwon, Y. J., Lee, J. K., Shin, D. H. & Jeong, J. S. (2009). Changes in brain activation induced by the training of hypothesis generation skills: An fMRI study. *Brain and Cognition*, 69, 391-397.

- Lee, J. K. & Kwon, Y. J. (2011). Why traditional expository teaching-learning approaches may founder? An experimental examination of neural networks in biology learning. *Journal of Biological Education*, 45(2), 83-92.
- McIntosh, A. R. & Gonzalez-Lima, F. (1994). Structural equation modeling and its application to network analysis in functional brain imaging. *Human Brain Mapping*, 2, 2-22.
- Milo, R., Shen-Orr, S., Itzkovitz, S., Kashtan, N., Chklovskii, D. & Alon. U. (2002). Network motifs: Simple building blocks of complex networks. *Science*, 5594(298), 824-827.