

뇌 기반 진화적 접근법을 적용한 초등학교 학생의 과학 자유탐구에서 인지적 영역 분석

백자연[†] · 임채성 · 김재영
(서울신계초등학교)[†] · (서울교육대학교)

Analyses on Elementary Students' Cognitive Domain in Free Science Inquiry Activities Applying a Brain-Based Evolutionary Approach

Baek, Ja-Yeon[†] · Lim, Chae-Seong · Kim, Jae-Young
(Seoul Singye Elementary School)[†] · (Seoul National University of Education)

ABSTRACT

In National Curriculum of Science revised in 2007, the Free Inquiry was newly introduced to increase students' interest in science and to foster creativity by having students make their own question and find answer by themselves. The purpose of the study was to analyze characteristics, in cognitive domain, appeared in the processes of performing the Free Inquiry activities applying a brain-based evolutionary science teaching and learning principles. For this study, 106 fifth grade students participated, and they performed individually Free Inquiry activities. In order to characterize of the diversifying, estimating-evaluating-executing, and extending-applying activities in cognitive domain (C-DEF), the Free Inquiry diary constructed by the students, observations by a researcher, and interviews with the students were analyzed both quantitatively and qualitatively. The major results of this study were as follows: First, at C-D step, many students (71.5%) had difficulty in searching the meanings of their results and the contents of interpretations were at the level of simple description of their results. A few students (15.2%) derived interpretations based on causal relationships between specific variable and result. Also, the tendency that the numbers of interpretation about meaning of their results were increased as the scores of science attitude and achievement was appeared. Second, at C-E step, the students showed tendency of considering facts exactly explaining inquiry topic and being applicable to daily life rather than objectivity or accuracy of scientific knowledge. Third, at C-F step, there were three types of extension and application: simple repetition (8.2%), extension (64.0%), and upward application (17.6%) types. Based on these findings, implications for supporting appropriate interpretation, evaluation, and application of inquiry results are discussed.

Key words : brain-based evolutionary approach, free inquiry, cognitive domain, inquiry methods, science attitude, achievement

I. 서 론

과학과 기술의 급속한 발달로 인해 예상하기 어려운 다양한 문제 상황에 접하게 되는 현대와 미래 사회에서는 전통적인 과학 교육에서 많은 비중을 두는 정해진 주제, 안내나 지시에 따른 실험·관찰,

단순 지식의 습득·축적 방식으로는 급변하는 상황에 적절히 대처할 수 있는 능력을 함양하기 어렵다. 다양하게 급변하는 문제 상황에 능동적으로 대처하는 능력을 효과적으로 길러주기 위해서는, 학생들이 실제적 과학 탐구 활동을 통해 과학 문제를 해결하는 전체 과정을 직접 경험하게 해야 한다(Kim

et al., 1999). 우리나라에서는 과학 교육과정이 여러 차례 개정되어 왔는데, 자연을 과학적으로 탐구하는 능력을 기르고, 이러한 탐구 활동을 기초로 과학의 기본 개념을 이해하고 적용하는 것을 핵심적 목표로 일관되게 강조해 왔다. 특히, 2007 개정 과학과 교육과정에서는 학생들의 과학에 대한 흥미를 높이고, 창의력을 신장시키는 방안으로 학생 스스로 관심 있는 주제를 선정하여 탐구 활동을 수행하는 ‘자유탐구’를 새로 도입하였다(Ministry of Education and Science Technology, 2007). 자유탐구는 학생 스스로 해결할 가치가 있다고 생각하거나, 흥미를 가지고 있는 문제를 찾아 적절한 탐구 방법을 사용하여 문제를 해결하게 하는 것을 목적으로 한다.

자유탐구는 그 도입 취지에 맞게 실제 과학(authentic science)을 반영해야 한다(Martin-Hansen, 2002). 실제 과학은 학생이 비록 수준은 낮더라도 실제 과학자가 하는 것과 같은 방식으로 과학을 하게 하는 것으로, 다음과 같이 요약할 수 있다(Chinn & Malhotra, 2002; Ziman, 2000). 과학자는 자신이 흥미나 관심을 가지고 있는 현상에서 다양한 호기심 질문들을 찾아낸 다음, 사전 지식을 바탕으로 해결할 가치가 있다고 판단되는 질문을 선택하여 가설을 설정하고, 통제된 실험을 설계하여 수행함으로써 그 가설을 검증한다. 다음으로 동료 검토와 출판 과정을 통해 그 결과가 다른 과학자들에게 전파된다. 어떤 자연 현상을 정확하고 신뢰롭게 예상하는 것으로 밝혀지고, 동료 과학자들에 의해 충분히 검토되고 검증된 가설은 과학적 이론이 된다. 과학자는 이러한 과학적 이론들을 다른 상황에 확장시켜 적용한다. 과학자의 이러한 활동들에는 과학교육의 핵심적 영역인 동시에 인간의 뇌 기능과 밀접하게 관련되는 정의적·행동적·인지적 요소들이 포함되어 있을 뿐만 아니라, 흥미 문제, 해결 방법, 결과의 의미 해석 영역 각각에서 다양화(generating diversity; G)한 다음, 그 중에서 가장 적절한 것을 선택하여 실행하고(testing and selecting; T), 계속 확장·적용하는(reproducing; R) 진화적 속성들이 내재되어 있어 GTR 휴리스틱이 적용되고 있다(Hull, 1988; Plotkin, 1994).

그러나, 과학과 교육과정 해설서에서는 자유탐구 과정을 ‘주제 선정 및 소집단 구성 → 탐구 계획 수립 → 탐구 수행 및 중간 점검 → 최종 보고서 작성 → 탐구 결과 발표’로 크게 단순화시켜 제시하

고 있어서(Ministry of Education and Science Technology, 2007), 실제 과학자처럼 과학을 하게 한다는 자유탐구의 본질 측면에서 미흡한 점이 있다. 더욱이, 교과서나 학교 현장의 정규 과학 교수학습에서 대체로 내용이나 개념 이해를 위하여 탐구 과정이 자세히 서술된 요리책 식으로 구성되어 있어서, 실제적 탐구가 적절히 반영되지 못하고 있다(Hodson, 1998). 교사가 실험이나 탐구 활동 과정을 설명하면 학생은 활동의 목적이나 의미 등 중요한 내용을 적절히 이해하지 못한 상태에서 교사 안내나 지시에 따라 수동적으로 활동한다(Germann et al., 1996; Peters, 2005). 또한 과학 탐구 요소를 위주로 한 단편적·지시적 확인 실험으로 인해 포괄적이고 종합적인 과학 탐구, 즉 학생이 스스로 문제를 찾아 해결해 볼 수 있는 기회가 적어, 과학적 과정의 이해나 이에 필요한 능력을 기르는 데 한계를 보인다(Yoon & Pak, 2000). 이러한 활동에서는 학생들이 종합적으로 탐구하는 자기주도적 탐구를 수행하기 어렵다. 그 결과, PISA나 TIMSS 등의 교육 성취도에 관한 국제 비교 연구에서 우리나라 학생들은 과학에 대한 자신감, 과학에 대한 가치 인식, 과학에 대한 흥미 등에서 참가국 중 거의 최하위를 나타내고 있다(Kim et al., 2008).

이를 해결하기 위해서는 실제적인 과학 탐구 활동을 수행하게 할 필요가 있다. 즉, 학생들이 과학자처럼 자신의 흥미 주제를 찾아내고, 탐구 방법을 계획하여 직접 탐구하고 문제를 해결하는 자유탐구 활동이 적합하다. 이러한 실제적 과학 탐구는 정규 과학 교수학습에서도 지향해야 바람직하지만, 정해진 시간에 많은 내용을 다뤄야 하는 효율성 추구라는 현실에서는 어려우므로, 최소한 자유탐구 영역에서만이라도 반영해야 한다. 과학자들이 실제로 과학을 하는 데 관련된 주요 영역과 이에 수반되는 인간의 주요 뇌 영역인 정의적·행동적·인지적(Affective-Behavioral-Cognitive; ABC) 영역과 이들 각 영역에 일어나는 다양화 → 비교·선택·실행 → 확장·적용(Diversifying → Estimating, Executing, Evaluating → Furthering; DEF)이라는 진화적 과정을 토대로, 실제과학적 교수학습과 창의적 과학 문제 해결 지도를 위해 개발된 뇌기반 진화적 과학 교수학습 접근법(Brain-Based Evolutionary Approach; ABC-DEF; Lim, 2009, 2012)은 실제과학적 자유탐구 자체와 그에 대한 체계적인 연구에 효과적이라고 판단된다.

Lim *et al.*(2012)은 뇌기반 진화적 과학 교수학습 접근법에 따른 초등학생들의 자유탐구 활동 중 정의적 영역에서 학생들의 과학 흥미 주제가 어떻게 다양화되고, 이들 중 어떤 것들이 왜 선택되며, 선택된 흥미 주제들이 어떻게 확장·적용되는가(A-DEF)를 분석하여 보고하였고, Kim *et al.*(2014)은 그 다음 단계인 행동적 영역에서 학생들이 자신의 호기심 문제를 해결하기 위한 방법들을 얼마나, 어떻게 다양하게 고안해내고, 이들 중 어떤 것을 왜 선택하여 실행하며, 사용한 방법을 어떻게 확장·적용하는가(B-DEF)를 상세히 보고하였다. 이 논문에서는 그 다음 단계로 학생들이 앞 단계에서 나온 결과나 그 의미를 다양화하고, 각각의 중요도를 비교하여 평가하며, 알게 된 사실을 확장·적용하는 인지적 영역(C-DEF)에서 나타난 특징들을 정량적·정성적으로 분석하였다.

II. 연구 방법 및 절차

1. 연구 대상

본 연구는 서울 소재 S 초등학교 5학년 4개 반 106명을 대상으로 하였다. 이 학교가 속한 학군은 학생의 학업성취도가 비교적 낮고 가정 형편이 여유 있는 편은 아니어서, 대부분 학교 수업에 의존하는 편이다. 2007 개정 과학과 교육과정 적용에 따라 이전 학년에서 자유탐구 활동을 해본 경험이 있는 4, 5학년 중에서 발달 단계상 4학년과 비교하여 과학 탐구 능력과 구체적 조작 능력이 높고, 관찰과 면담을 위한 연구자 접근의 용이성과 자료 수집 가능성 등을 고려하여 5학년을 선정하였다.

2. 자유탐구 활동 실시

2007 개정 과학과 교육과정에 의한 초등학교 5학년 과학 교사용지도서와 선행연구를 바탕으로 총 8차시의 수업을 구안하였으며, 공휴일과 학교 행사 등과 같은 시간 공백으로 인한 자유탐구 활동의 지속적인 수행의 어려움(Shin & Kim, 2010)을 고려하여 3-4월에 걸쳐 개인별로 자유탐구 활동을 실시하였다. 학생들의 전체적인 자유탐구는 Lim(2009, 2012)이 제시한 뇌기반 진화적 과학 교수학습 모형과 창의적 과학 문제해결 지도 모형을 토대로 수행되었다. 이 접근법에 대한 학생들의 이해를 돕기 위해 주제 선정, 탐구 방법 선정, 탐구 계획서 작성,

탐구 결과 해석, 탐구 보고서 작성의 각 단계마다 학생들에게 ‘민국이의 자유탐구 일지’라는 구체적인 자유탐구 시나리오를 예시로 제시하였다(Lim *et al.*, 2012). 본 연구에서 사용한 뇌기반 진화적 접근에 따른 자유탐구 방식은 실제 과학자들의 활동에 내재된 정의적·행동적·인지적 요소의 뇌기반 요소와 다양화 → 비교·선택·실행 → 확장·적용이라는 진화적 요소를 체계적으로 반영한다는 측면에서 교사용 지도서에서 제시하는 방식과 중요한 차이가 있다. 본 연구에서는 뇌기반 진화적 접근법(ABC-DEF)에 따른 자유탐구에서, A-DEF 단계(Lim *et al.*, 2012)와 B-DEF 단계(Kim *et al.*, 2014)를 거쳐 얻은 결과의 의미들을 학생들이 어떻게 다양하게 탐색하고(C-D), 그 의미들의 가치를 평가하며(C-E), 이들을 확장·적용·심화시킬 방안을 제시(C-F)하게 하였다.

3. 자료 수집 및 분석

본 연구는 뇌기반 진화적 요소를 반영한 자유탐구 활동을 통해 Lim *et al.*(2012) 및 Kim *et al.*(2014)에서와 마찬가지로 학생의 태도, 탐구 수행 과정을 알아보기 위하여 정량적 검사 도구와 정성적 검사 도구를 함께 사용하였다. 사전·사후 태도 검사 도구를 이용하여 자유탐구 활동 후 학생의 태도 변화 양상에 관한 자료와 자유탐구 수행 과정 관찰, 심층 면담, 자유탐구 일지 분석 등 타당도와 신뢰도를 높이기 위해 다양한 방법으로 자료를 수집·분석하였다. 인간의 뇌기능과 관련해 볼 때, 정의적 요소는 인지적 요소보다 더 먼저 강하게 작용하기 때문에(Lim, 2005), 학생들의 과학 태도와 학업성취도 수준을 각각 상·중·하로 나누고, 각 유형에 해당하는 학생들이 C-DEF 단계에서 보이는 특징들을 분석하였다.

자유탐구 일지를 투입하기 전에 자유탐구 전체 과정의 각 단계별로 뇌기반 진화적 요소를 반영한 시나리오를 개발하였다. 자유탐구 시나리오는 자유탐구 일지와 함께 자유탐구의 각 단계마다 투입하여 학생들에게 자세하게 안내하였다. 공동 연구자 중 한 사람이 수업을 직접 진행하면서 학생들의 자유탐구 수행 과정을 관찰하여 태도와 행동 특징들을 기록하였다. 그리고 자유탐구 일지와 탐구 결과 발표만으로는 드러나지 않는 학생의 특성이나 상태를 더 구체적이고 심층적으로 파악할 필요가 있

는 경우에 자유탐구 과정 중 어느 것이 얼마나, 어떻게, 왜 변했는지 등 연구에 유의적절하다고 생각 되는 것들에 대해서는 상황에 따라 추가 질문을 하였다.

뇌기반 진화적 접근법에 따른 자유탐구 중 흥미 주제와 관련된 A-DEF 단계와 방법 및 실행과 관련된 B-DEF 단계를 거쳐 나온 결과의 의미들에 관한 C-DEF 단계에서 나타난 특징들을 조사하였다. 먼저, 첫 단계인 다양화 단계(C-D)로서, 탐구 결과나 해석의 다양화 정도와 양상을 자유탐구 일지의 탐구 결과 해석하기 단계에서 학생들이 탐구를 통해 알아냈다고 제시한 주제와 직접 관련이 있는 항목의 수로 측정하고, 학생이 탐구를 통해 알아낸 결과의 해석 특징들을 유형화하여 분석하였다. 다음으로 탐구 결과에 내포된 의미들을 비교·평가하는 단계(C-E)에서는, 다양하게 구성한 해석들에 대해 학생들이 부여한 중요도 순위와 그에 대한 이유를 분석하였다. 마지막으로, 자유탐구를 통해 알아낸 것을 확장·적용·심화하는 단계(C-F)로서, 학생들이 탐구 결과를 어떻게 확장·적용·심화하는지를 알아보기 위해 자유탐구 후 더 알고 싶은 것, 결과를 어디에 어떻게 활용할 것인가, 자신의 탐구에서 보완할 점 등을 적게 하여 분석하였다.

인지양식은 대상을 지각하거나 해석하는 데 중요한 영향을 끼치므로, 자유탐구의 C-DEF 단계에서 학생들이 보인 특징들을 해석하는 데 인지양식을 한 인지적 특징으로서 삼았다. 인지양식 검사는 Witkin *et al.*(1971)이 개발한 집단잠입도형검사(Group Embedded Figures Test)를 사용하여 학생들을 장독립 집단과 장의존 집단으로 구분하였다.

III. 연구 결과 및 논의

과학자들은 자연 사물·현상에 대해 자신이 흥미·호기심을 가지고 있거나, 해결할 가치가 있다고 생각하는 문제를 찾아내고, 관찰이나 체계적인 실험을 통해 수집한 데이터를 분석하여, 그 결과에

내재된 의미를 해석한다. 그 결과가 갖는 의미를 다양한 측면에서 해석하고 평가하며, 이들을 다른 상황에 심화하거나 확장하여 적용한다(Campbell, 1960; Hull, 1988; Simonton, 2011). 이러한 과학적 활동의 본성을 토대로 하는 뇌기반 진화적 접근의 세 번째 요소와 단계(C-DEF; Cognitive Component: Diversifying → Evaluating → Furthering Stages)로서, 과학 자유탐구 결과에 대한 학생들의 해석 특징을 각 단계별로 정량적·정성적으로 알아보았다.

1. 탐구 결과 해석의 다양화(C-D)

모든 과학 탐구에서 데이터 수집·분석, 결론 도출을 포함한 실험이 중요한 부분이라는 하지만, 전부 다는 아니다. 대다수의 탐구는 상관관계를 연구하는데, 우선 원인과 결과를 체계적으로 조사하고 이론을 구상한다(Hodson, 1998). 세 가지 뇌기반 요소인 정의적·행동적·인지적 요소들 중 인지적 요소에서 진화적 접근법의 첫 단계인 다양화 단계(C-D)로서, 탐구 결과나 해석의 다양화 정도와 양상을 자유탐구 일지의 탐구 결과 해석하기 단계에서 학생들이 탐구를 통해 알아냈다고 제시한 주제와 직접 관련이 있는 항목의 수로 측정하여 분석한 결과는 Table 1과 같다. 엄격한 의미에서 보면, 이 단계는 본질적으로 탐구 결과 자체보다는 그 결과에 포함되어 있거나, 관련된 의미들을 다양하게 탐색하고 해석하는 과정인데, 본 연구에서는 예비 투입 과정에서 초등학생들이 이 두 가지를 구분하는 능력이 매우 제한되어 있는 것으로 확인되었기 때문에, 이를 구분하지 않고 통합하여 처리하였다.

자유탐구를 실제로 수행하기 전에, 뇌기반 진화적 접근법의 각 단계마다 학생들에게 ‘민국이의 자유탐구 일지’라는 구체적인 자유탐구 시나리오를 예시로 안내했음에도 불구하고, 많은 학생들(71.7%)이 자신의 탐구 주제에 부합하는 다양한 결과를 찾아내고 해석하지 못하는 것으로 나타났다. 위 표에서 개수가 1인 것에는 ‘액체의 종류에 따라 비누가 녹는 정도’라는 주제에 대해 ‘물에서는 울퉁불퉁해

Table 1. Degree of diversification of the meanings on the results obtained from free inquiry

No. of statements on the meanings of the results	1	2	3	4	5	Total
No. of students	76	13	8	7	2	106
(Proportion, %)	(71.7)	(12.3)	(7.5)	(6.6)	(1.9)	(100)

지고 좀 작아졌으며, 소금물에서는 변화가 없고, 설탕물은 조금 작아졌다'와 같이, 탐구 결과의 의미보다는 결과 자체를 재진술하는 경우가 많았다. 그리고, '부메랑의 재료에 따른 움직임'이라는 주제에 대해 '플라스틱 부메랑은 던지면 휘어져 돌아오지만, 스티로폼 등으로 만든 부메랑은 휘긴 휘지만 돌아오지 않는다', '스티로폼으로 만든 부메랑과 플라스틱으로 만든 부메랑 중 스티로폼이 바람의 영향을 더 많이 받는다'와 같이 탐구 결과나 그 의미를 2가지 이상으로 다양화한 내용도 대부분 탐구 결과에 대한 자료나 데이터 등을 단순히 진술하는 수준이다.

결과의 의미를 다양하게 해석하는 정도는 탐구 내용의 다양성과 연관된다. 주제에 적합한 실험을 설계하여 여러 가지 방법으로 탐구한 경우에는 그에 따른 결과도 과학적이고 정확하며 다양하게 제시하였으나, 주제에 대한 탐구 내용을 한 가지만 구안하여 실시하거나, 주제에 적절하지 못한 탐구를 한 경우에는 자신이 직접 알아낸 것이 아니라, 평소 알고 있던 내용이나 인터넷으로 조사한 내용을 그대로 적는 경우가 많았다. 이것으로 보아 결과의 해석은 주제 선정, 탐구 방법 선정과 밀접하게 관련되어 있음을 알 수 있다. 주제가 직접 탐구하기에 적절하지 않거나 다양한 방법으로 탐구를 구안하지 않으면 탐구 결과 해석에도 어려움을 겪어 탐구 결과의 적절한 의미를 도출하지 못하거나, 한 가지 정도의 결과 해석만 제시한 경우가 많다. 이는 뇌기반 진화적 접근법의 정의적 · 행동적 · 인지적 영역(ABC)의 다양화 단계가 서로 독립적이지 아니라, 서로 연계되어 작용함을 시사한다. 자유탐구 수행이 체계적이고 구체적이면 결과를 더 다양하게 해석하고, 각 해석의 내용이 유기적으로 연관되어 있다.

학생들의 자유탐구 결과에 대한 해석에서 나타난 특징들을 상세히 알아보기 위해, 과학태도와 학업성취도 수준에 따라 9개 집단(C1~C9)으로 나누

었을 때 각 집단별로 학생들이 제시한 결과나 해석의 평균적인 수는 Table 2와 같다.

일반적으로 예상할 수 있는 바와 같이, 과학 태도 점수와 학업성취도가 높을수록 제시한 탐구 결과나 해석의 수가 더 많은 경향을 보인다. 탐구 결과 해석에는 종합적이고 고차적인 사고 능력이 수반되는데, 대다수의 학생이 탐구 결과 해석을 어려워하여 자신의 탐구 결과에 내포되거나, 관련된 의미를 다양하게 해석하지 못했지만, 태도와 학업성취도 점수가 높은 학생은 그렇지 않은 학생에 비해 탐구 결과를 더 다양하게 해석하였다.

그러나, 태도 '상'이고 학업성취도 '하'인 집단(C3)과 태도 '하'이고 학업성취도 '상'인 집단(C7)은 이러한 일반적 경향에서 벗어나기 때문에 주목할 필요가 있다. C3에 속하는 학생은 특정 대상이나 내용에 대해 개인흥미를 가지고 있는 사람이라도 그 내용에 대해 흥미를 적게 가지고 있는 사람보다 지식을 더 적게 가지고 있을 수 있는 경우이다(Renninger, 2000). C7에 속하는 학생은 지식은 많이 가지고 있지만, 그 내용에 대한 흥미는 별로 없을 수 있는 경우로(Renninger et al., 2002), 이들 중 일부는 탐구 과정 중 교사의 지속적인 지도에도 불구하고, 자유탐구에 대한 흥미가 긍정적인 방향으로 변화되지 않아, 탐구 방법의 다양화 단계부터 자유탐구에 열심히 참여하지 않았으며, 이로 인해 탐구 결과 해석의 다양화 단계에서도 어려움을 겪고, 자유탐구 일지 작성을 소홀히 하여 다양화 점수가 낮았다. 이러한 학생의 사례를 통해서 감성적 요소를 포함하는 과학 태도와 탐구 결과의 다양한 의미 탐색이 서로 관련되어 있음을 알 수 있다(Hidi et al., 2004; Krapp, 2002a, 2002b; Renninger, 1989, 1990, 2000; Renninger & Shumar, 2002). 그리고, C3나 C7과 같이 감성과 인지적 활동 사이에 존재하는 일반적인 정적 상관관계 경향에서 벗어나는 특이 유형의 학생들에 대해서는 체계적이고, 심층적인 연구

Table 2. The mean numbers of interpretations on the results obtained from free inquiry by the science attitude and achievement (number of cases, percentage)

		Achievement levels		
		High	Average	Low
Attitude levels	High	C1: 2.6 (15, 14.2)	C2: 2.2 (14, 13.2)	C3: 1.1 (3, 2.8)
	Average	C4: 1.8 (8, 7.5)	C5: 1.5 (32, 30.2)	C6: 0.7 (8, 7.5)
	Low	C7: 0.5 (4, 3.8)	C8: 0.3 (7, 6.60)	C9: 0.1 (17, 16.0)

를 통해 효과적인 지도 방법을 모색할 필요가 있다.

과학 태도 변화 양상에 따라 탐구 결과를 어떻게 해석하는지 알아보기 위해 사전-사후 태도가 모두 평균 이상으로 유지된 H-H(76명, 71.7%), 상위에서 하위로 감소한 H→L(9명, 8.5%), 하위에서 상위로 증가한 L→H(12명, 11.3%), 모두 평균 이하로 유지된 L-L(4명, 3.8%) 유형별로 학생의 탐구 결과 해석 사례를 분석하였다. 인터뷰를 통해 ‘탐구에서 얻은 결과를 해석하고 정리하는 과정에 대해 어떻게 생각하는가?’라고 물었을 때, 각 유형에 속하는 학생들의 대표적인 응답 사례는 다음과 같다.

H-H

이세* : 처음 정한 자유탐구 주제는 범위가 너무 넓었습니다. 그래서 콩나물 실험으로 바꿨는데, 결과는 좋았습니다. 식물을 키워서 실험 결과가 좋았습니다. 자유탐구로 인해 식물을 키우면서 ‘잘 자라는 조건과 잘 자라지 못하는 조건’ 그런 것으로 과학 공부라 된 것 같습니다. 자유탐구 실험 주제는 생활 속에 관련되어 있어서 평소 애용했던 궁금증을 풀어 주면서 과학 공부도 되고, 호기심을 찾아 관찰하고, 예상하고, 분류하고, 이런 것들이 과학 공부를 잘 할 수 있게 해 준 것 같습니다.

H→L

김혁* : 내가 알고 싶은 것을 탐구한다는 게 재미있을 줄 알았는데 힘들고 재미없었습니다. 얻은 것도 별로 없어서 보람이 없었습니다. 과학 공부에도 별로 도움이 되지 않았다고 생각합니다.

L→H

박은* : 자유탐구에 대해 선생님께서 설명할 때에는 복잡할 것 같습니다. 처음에는 어려워서 하기가 싫어서 억지로 하려고 했는데, 자유탐구를 끝내니 상식도 많아지고 주변 현상에 대해 호기심이 생겼습니다. 자유탐구는 많은 도움이 되었다고 생각합니다.

L-L

김서* : 자유탐구 바꾸기는 너무 복잡하고 방법도 어렵습니다. 시간이 많이 걸리고, 공부에는 도움이 안 될 것 같습니다.

H-H 학생은 지식과 탐구 방법을, L→H 학생은 지식, 호기심 등의 정의적 영역까지 알게 된 것으

로 간주하였으나, H→L, L-L 학생은 자유탐구를 통해 알게 된 것이 없다고 생각하였다. 이를 통해 자유탐구에 대한 흥미가 높은 학생들은 흥미, 방법, 지식 등도 탐구 결과에 포함시켜 해석하지만, 자유탐구에 흥미가 감소하거나 낮은 학생은 얻는 것이 없다고 생각하는 경향이 있음을 알 수 있다.

학생들이 왜 이러한 양상을 보이는지 확인하기 위하여 각 유형의 학생이 수행한 자유탐구의 내용과 수준을 알아보았다. H-H 유형에 해당하는 이세* 학생의 경우, 다양한 조건에서 콩나물을 키워보며, 콩나물이 잘 자라는 조건에 대해 탐구하였다. 자유탐구의 내용이 체계적이고 구체적이었고, 적절한 자료를 표나 그래프 형태로 제시하였으며, 다양한 탐구 방법을 사용하였다. 또한 자신의 결과를 바탕으로 콩나물의 자람에 대한 결론을 도출하였다. 탐구 전반에 걸쳐 관찰, 측정, 변인 통제, 자료 해석 등 기초탐구기능이나 통합탐구기능을 사용하여 과학적 연구방법을 습득한 것이 도움이 되었다고 하였다.

H→L 유형에 해당하는 김혁* 학생은 집에서 키우는 햄스터의 습성을 탐구하여 먹이와 행동 등을 관찰하였다. 햄스터에 관해 궁금한 것이 많아, 주제 선정 단계에서는 의욕적이었으나, 탐구 수행 과정에서 관찰과 기록이 성실하지 않았고, 그 결과 이번 탐구를 통해 새롭게 알게 된 것보다 자신이 원래 알고 있던 햄스터에 관한 특성만 기술하였다.

L→H 유형의 박은* 학생은 온도에 따른 과일 껍질의 변화를 탐구하였다. 주제 선정에서 알아보고 싶은 것이 없다고 하여 어려움을 겪었으나, 교사가 제시한 자유탐구 시나리오에서 아이디어를 얻어 탐구 방법을 선정하기 전에 주제를 변경하였고, 계획한 대로 성실하게 탐구하여 온도가 낮으면 과일 껍질의 변화 속도가 느리다는 결과를 얻었다. 자신의 자유탐구에 대해 만족하여 탐구 후 변화한 자신의 정의적 상태까지도 도움이 된 것으로 생각하였다.

L-L 유형의 김서* 학생은 단순히 교사가 예로 제시한 주제의 일부를 바꾸어 일반 과자와 유기농 과자가 썩는 데 걸리는 시간을 비교하는 탐구를 하였다. 과자가 썩는 것을 관찰하는 데 시간이 많이 걸려서 결과가 안 나온다고 생각하였고, 인터뷰에서는 진도나 빨리 나갔으면 좋겠다고 응답하였다.

과학 태도 점수가 높고, 자유탐구 초반에 의욕적이고, 궁금한 것이 많은 학생들은 내용과 방법은

단순하지만 구체적인 계획을 세워서 탐구를 수행하여 탐구 결과도 좋았지만, 호기심과 의욕이 높아 알아보고 싶은 내용의 범위가 넓은 학생은 처음부터 너무 어렵게 생각하여 흥미가 떨어졌고, 자유탐구에 대한 관심이 자연스럽게 낮아짐에 따라 탐구 결과가 좋지 않았으며, 과학 태도가 낮은 학생은 탐구 전반에 걸쳐 의욕이 없었고, 탐구 수행과 각 단계별 자유탐구 일지 기록이 불성실하였다. 학생들의 응답을 통해서 과학 태도가 탐구 결과를 다양화하고, 결과를 해석하는 데 영향을 끼쳤음을 알 수 있다.

학생이 탐구를 통해 알아낸 결과의 해석 특징들을 유형화하였다. 먼저, ‘무순의 씨앗이 자주색인데, 불리면 연노랑으로 바뀐다’와 같이 탐구 과정을 통해 관찰 · 측정된 단순 사실을 제시하는 유형이 56.5%로 가장 많았고, ‘장미는 3-4월경에 물빠짐이 좋은 흙에 씨앗을 심는다’와 같이 인터넷이나 책 등 자료 조사를 통해 알게 된 단순 사실을 제시하는 유형도 34.8%로 상당히 많았다. ‘딱지를 접는 종이의 종류에 따라 딱지가 잘 뒤집어지므로 딱지 시합을 할 때는 종이 종류를 잘 선택해야 한다’와 같이 결과의 실제적 의미를 탐색하여 제시한 학생은 4.3%에 불과했고, ‘자유 탐구를 하려면 인내심이 필요하다’와 같이 느낀 점을 적는 학생도 일부(2.9%) 있었다.

Kim(2010)이 제시한 지식 분석틀에 의해 학생들이 다양화한 탐구 결과를 사실적 · 현상적 지식(What), 메커니즘적 · 근접적인 지식(How), 궁극적인 지식(Why)의 하위 유형으로 범주화하였다. What 유형의 지식은 양적 변화, 차이, 사실과 현상을 대상으로 하고, How 유형의 지식은 질적 변화, 차이, 메커니즘을 대상으로 하며, Why 유형의 지식은 변화 · 차이의 궁극적인 이유를 대상으로 한 것이다. 90% 이상의 학생들이 단순 사실, 양적 변화 등 What 유형의 결과 해석을 하였다. 정규 과학교육 과정 내용에 관해 조사한 김도영의 연구에서는 학업성취도가 높을수록 Why 수준의 고차 지식 유형을 선호하는 것으로 나타났지만, 본 연구의 자유탐구를 통해 스스로 실제 지식을 산출해내는 과정에서는 Why 유형의 지식보다는 단순한 What 유형의 지식을 산출해냄을 알 수 있었다. 이는 Lim *et al.*(2012)이 보고한 바와 같이, 학생들이 A-D 단계에서 흥미 주제를 다양화하고, A-E 단계에서 비교 · 선택한 것이 대부분 What 유형의 사실적 정보를 알아내기 위한

예측적 가설의 형태였다는 결과로 볼 때, 당연한 경향이다. 그러므로, 자유탐구를 지도할 때 A-DEF 단계에서 예측적 가설보다는 인과적 의문에 따른 가설연역적 문제를 고려하도록 안내하고, 탐구 결과에 내포된 의미를 탐색하는 활동의 필요성과 방식을 이해시키는 방안을 모색할 필요가 있다.

2. 탐구 결과의 비교 · 평가(C-E)

과학자는 설정한 과학적 가설을 검증하기 위해 여러 실험적 방법들 중 자기가 처한 상황과 연구의 맥락에서 적절한 방법을 선택하여 실행하고, 제안된 가설로부터 예상된 결과와 실험을 통해 얻은 실제 결과를 비교하고, 다른 유사한 실험을 통해 나온 결과들과 비교 · 평가하여 제안된 가설을 채택하거나 기각한다(Hull, 1988; Popper, 1968, 1972). 본 연구에서 적용한 뇌기반 진화적 접근의 인지적 영역 중 두 번째 단계는 과학자가 하는 것처럼 탐구 결과에 내포된 의미를 비교 · 평가하는 단계(C-E)이다.

이 단계에서 앞 단계(C-D)에서 학생들이 다양하게 구성한 해석들을 비교하여 평가할 때 중요하게 고려한 기준의 유형(C1~C6)과 그 비율은 Table 3과 같다. 여기에서, 탐구 주제를 정확하게 설명하는 것(C1)에는 ‘나의 주제는 딱지의 원리와 어떤 딱지가 잘 뒤집혀지는가인데 딱지는 작용, 반작용의 원리에 의해 넘어가고, 만드는 재료에 따라 넘어가는 정도가 다른가를 잘 설명해주는 결과이기 때문에’, 일상생활에 적용할 수 있는 정도(C2)에는 ‘내가 케이크에 있는 생크림을 좋아해서 많이 먹는데, 실험을 하고 나니 생크림에 기름이 많이 포함되어 있다는 것을 알고 안 먹게 되어서’, 새롭게 알게 된 것(C3)에는 ‘부메랑의 모양뿐 아니라, 재료도 부메랑이

Table 3. Criteria used to compare and evaluate the interpretations of the results

Criteria	Percentage
Degree to explain exactly their inquiry topics (C1)	38.2
Degree to apply it to daily life (C2)	36.4
Things newly known to them (C3)	5.7
Difficulty levels to find it (C4)	3.8
Clarity of the results (C5)	2.8
Whether to include all results of their experiments (C6)	1.8
Total	100.0

잘 날아가는 데에 영향을 미친다는 것을 알아서', 알아내는 데 힘든 정도(C4)에는 '어렵게 여러 번 반복 실험을 하여 얻어낸 결과이기 때문에', 결과가 뚜렷한 정도(C5)에는 '여러 식물들 중 가장 변화가 뚜렷하여 결과가 한 눈에 보이기 때문에', 실험 결과가 모두 포함되었는지의 여부(C6)에는 '탐구 결과 알게 된 모든 것을 종합하는 사실이기 때문에' 라는 예들이 포함된다.

학생들은 탐구 결과의 의미를 비교·평가할 때, 주로 자신의 탐구 주제를 정확하게 설명하는가와 일상생활에 적용할 수 있는가에 가치를 많이 부여함을 알 수 있다. 학생들은 자유탐구의 초기 단계부터 주제를 구체화하고, 주제에 초점을 맞추어 적합한 탐구 방법을 생각해내고, 주제에 적합한 탐구 계획을 세워 탐구를 진행해 왔으므로, 많은 학생들이 자신의 탐구 주제를 정확하게 설명하는 결과를 중요시하였다. 이를 통해 학생들은 과학 지식의 엄격성, 객관성, 정확성보다는 자기 입장에서의 명확성과 유용성을 탐구 결과 해석의 중요한 기준으로 여긴다고 할 수 있다.

인지 양식은 대상을 지각하는 방식이므로, 탐구 결과 해석 내용 각각에 대해 학생 자신이 부여한 중요도 유형별로 학생들의 인지 양식의 특징을 살펴해보았다. (C1), (C3), (C5), (C6) 유형에 속하는 학생들은 대부분(82%) 장독립적이었고, (C2), (C4) 유형에 속하는 학생들의 상당수(71%)가 장의존적이었다. 장독립적인 학생들은 우세한 분석적 성향 때문에(Witkin *et al.* 1977), 탐구 주제를 정확하게 설명하고, 실험 결과 중 가장 뚜렷한 사실을 잘 파악해내며, 실험 결과를 재조직하여 모든 결과가 포함된 탐구 결과에 중요도 비중을 두는 것으로 해석된다. 학생들은 탐구 결과 해석 내용을 비교·평가하는 단계에서 자신의 결론이 과학적으로 타당하고 유용한가의 여부도 고려해야 한다. 즉, 인터넷 자료나 문헌 조사, 실험실습을 통해 확인한 사실이 과학적 이론과 경험적 사실에 비추어 얼마나 타당한가와 어떤 의미가 있는지를 판단할 할 수 있게 지도할 필요가 있다.

3. 탐구 결과의 확장·적용(C-F)

자신이 해결하기로 결정한 문제를 자신이 고안한 방법으로 해결하고, 그 결과에 내포되거나 관련된 의미·가치를 파악했다고 해서 문제해결이 완

전히 끝난 것은 아니다. 모든 질문과 문제에 하나의 유일한 해답이나 정답이 있는 것은 아니고, 이미 얻은 해답을 더 깊이 있게 탐구해야 하는 경우가 많다. 즉, 과학을 하다보면 종종 답만큼이나 많은 새로운 질문이 생긴다(Hodson, 1998).

과학자들은 다양한 방법을 사용하여 문제를 해결한 다음, 이를 통해 얻은 지식을 고찰하고, 자신이 알아낸 것을 다른 상황에 확장하여 적용한다(Pennock, 2000). 뇌기반 진화적 접근에 따른 자유탐구에서 인지적 영역의 세 번째 단계는 과학자처럼 자신이 알아낸 것을 확장·적용·심화하는 단계(C-F)로서, 학생들이 탐구 결과를 어떻게 확장·적용·심화하는지 알아보기 위해 자유탐구 후 더 알고 싶은 것, 결과를 어디에 어떻게 활용할 것인가, 자신의 탐구에서 보완할 점을 적게 하였다. 그 결과는 Table 4와 같이 요약할 수 있다.

학생들이 탐구를 확장·적용·심화하는 방식은 그동안 실시했던 자유탐구 내용이나 수준을 거의 그대로 반복하는 '단순반복형', 내용의 본질적 성격은 똑같고 독립변인이나 종속변인만 바뀌 범위를 확장하는 '연장확장형', 탐구의 수준을 심화하는 '수준상향적용형'의 3가지로 범주화하였다. 예를 들면, 단순반복형에는 '온도에 따라 사과가 썩는 데 걸리는 시간을 알아봤는데 다음에는 배나 다른 과일을 가지고 실험해 보고 싶다', 연장확장형에는 '여러 종류의 액체에서만 무의 씨앗을 싹 틔워봤는데 흙에서 싹을 틔워 잘 자라는지 알아보고 싶다', '콩나물을 투명, 흰색, 검은 색의 덮개를 씌워 키워 봤는데, 빨강, 파랑, 노랑은 어떤 결과가 나오고 투명, 흰색, 검정과 어떻게 다른지 더 알고 싶다', 수준상

Table 4. Categories and incidences of extending, applying, and deepening of results

Categories	Incidences
Things to know further	<ul style="list-style-type: none"> · Inquiry about the reason of my experiment topic · Extending and diversifying my topic area · Applying it to other phenomena
Application of results	<ul style="list-style-type: none"> · Cultivating other animals and plants · Studying science · To my health · Using my inquiry experience to the next free inquiry
Things to supplement in my inquiry	<ul style="list-style-type: none"> · I want to get more exact results by planning experiment carefully · I want to add more contents to experiment directly

향적용형에는 ‘블록렌즈와 오목렌즈를 비교하는 탐구를 하였는데, 다음에 탐구를 한다면 망원경의 원리를 알아보고, 그에 따라 망원경을 직접 만들어보고 싶다’ 등의 응답 내용이 포함된다.

C-F단계에서 단순반복형은 18.4%, 연장확장형은 64%, 수준상향적용형은 17.6%로 나타났다. 즉, 많은 학생들이 같은 주제에 대해 단순히 독립변인이나 종속변인을 바꾸는 식으로 범위를 확장하여 탐구하면 어떤 결과가 나타날지 알아보고 싶다고 응답하였다. 자신의 자유탐구 결과에 대한 이유를 탐색하고, 주제 영역을 확대하여 다른 현상에도 적용하려는 경향이 있었으며, 탐구 결과를 과학 학습과 일상생활에 활용하고자 함을 알 수 있었다.

인지양식 측면에서 단순반복형에 속하는 학생들은 주로 장의존적이고 연장확장형과 수준상향적용형에 속하는 학생들은 장독립적 인지양식을 보였다. 또한 세 유형 가운데 연장확장형과 수준상향적용형으로 탐구 결과를 심화한 학생들 중 많은(68%) 학생이 단순반복형보다는 학업성취도가 우수했다. 탐구를 단순반복형으로 확장·적용·심화하는 학생들은 대부분 자신의 탐구가 불만족스러워서 다시 해보고 싶다고 응답한 반면, 연장확장형과 수준상향적용형으로 확장·적용·심화하는 학생들은 자신의 연구 결과가 성공적이라고 생각하여 다른 현상이나 대상에도 적용해 보고 싶어 하며, 결과를 활용하고자 함을 알 수 있는데, 후자의 두 유형에 속하는 학생이 많은 이유는 장독립적 학생이 장의존적 학생보다 과학 탐구 능력이 높다는 연구 결과(Tinajero & Paramo, 1997; Witkin *et al.*, 1977; Witkin & Goodenough 1981)와 장독립적 성향의 학생이 분석적 접근을 하기 때문에, 과학 문제 해결 정도가 높다는 Niaz(1996)의 연구 결과에서 그 이유를 찾아볼 수 있다.

IV. 결론 및 제언

이 연구에서 과학자의 과학적 활동에 수반되는 뇌기능을 토대로 개발된 뇌기반 진화적 접근법을 적용한 초등학교 5학년 학생들의 과학 자유탐구에서 인지적 영역의 활동 특징들을 분석한 결과, 다음과 같은 결론과 제안을 할 수 있다.

첫째, 탐구 결과의 의미를 다양하게 해석하는 C-D 단계에서 많은 학생들(71.7%)이 자신의 탐구 주제

에 부합하는 다양한 결과를 찾아내고 해석하는 것을 어려워 하였고, 탐구 결과나 그 의미를 다양화한 내용도 탐구 결과에 대한 자료나 데이터 등을 단순히 진술하는 수준이었다. 과학 태도 점수와 학업성취도가 높을수록 제시한 탐구 결과나 해석의 수가 더 많은 경향을 보였는데, 과학 태도는 자유탐구 수행 과정과 결과에 영향을 끼치고, 자유탐구 수행 과정과 결과도 과학 태도에 영향을 끼치므로 교사는 자유탐구 전반에 걸쳐 학생들이 지속적으로 흥미를 가지고 성공적인 자유탐구를 할 수 있도록 단계에 따라 적절히 안내할 필요가 있다. 대부분의 학생들(91.3%)이 실험 결과와 관련하여 관찰·측정한 단순 사실이나 자료 조사 중 알게 된 내용 등을 탐구 결과 알게 된 사실로 제시하였다. 자신이 알아낸 사실을 종합하고 적용하는 결론 도출 수준의 학생은 소수(4.3%)에 불과했다. 탐구 결과가 그런 식으로 나타난 이유로 절반 이상의 학생(57.3%)이 단순히 조사, 실험, 관찰 과정을 거쳤기 때문이라고 응답한 반면, 낮은 비율의 학생(15.2%)만이 탐구 방법의 구체적인 변인들과 인과적으로 관련지어 응답하였다.

둘째, 각 결과에 내포된 의미들의 중요도를 평가하는 C-E 단계에서 학생들은 과학 지식의 엄격성, 객관성, 정확성보다는 자신의 탐구 주제를 정확하게 설명하는 사실과 일상생활에 적용할 수 있는 사실에 가치를 많이 부여하는 경향을 보였다.

셋째, 탐구를 통해 알아낸 내용을 확장·적용·심화시키는 C-F 단계에서, 학생들은 이미 실시했던 자유탐구 내용이나 수준을 거의 그대로 반복하는 단순반복형(8.2%), 내용의 본질적 성격은 똑같고 독립변인이나 종속변인만 바뀐 범위를 확장하는 연장확장형(64.0%), 탐구의 수준을 심화하는 수준상향적용형(17.6%)의 세 가지 유형이 나타났다.

본 연구는 과학 태도 및 학업성취도를 변인으로 하여 학생들의 자유탐구 수행 과정과 결과를 분석하였으나, 이외에도 사전지식, 자유탐구에 대한 선호도나 자신감, 학습양식 등 어떠한 변인이 자유탐구에 어떠한 영향을 미치는가를 규명하는 후속 연구가 필요하다. 과학자들의 과학적 활동은 과학자 개인 수준에서 수행되기도 하지만, 비슷한 전공 분야나 인접한 학문 분야에 종사하는 여러 과학자들이 공동으로 수행하는 경우도 많기 때문에, 뇌기반 진화적 접근법에 따른 자유탐구를 개인과 소집단 형태로 수

행하게 하여 그 특성들을 밝히는 연구도 필요하다. 또한, 뇌기반 진화적 접근법을 통한 자유탐구 경험이 자유탐구 자체, 과학의 본성, 특히 과학과 과학적 활동의 진화적 속성에 대한 학생들의 인식에 미치는 영향에 관한 체계적 연구도 필요하다.

참고문헌

- Campbell, D. T. (1960). Blind variation and selective retention in creative thought as in other knowledge processes. *Psychological Review*, 67(6), 380-400.
- Chinn, C. A. & Malhotra, B. A. (2002). Epistemologically authentic inquiry in schools: A theoretical framework for evaluating inquiry tasks. *Science Education*, 86(2), 175-218.
- Germann, P. J., Haskins, S. & Auls, S. (1996). Analysis of nine high school biology laboratory manuals: Promoting science inquiry. *Journal of Research in Science Teaching*, 33(5), 475-499.
- Hidi, S., Renninger, K. A. & Krapp, A. (2004). Interest, a motivational construct that combines affective and cognitive functioning. In D. Dai and R. Sternberg (Eds.), *Motivation, emotion and cognition: Integrative perspectives on intellectual functioning and development* (pp. 89-115). Mahwah, NJ: Erlbaum.
- Hodson, D. (1998). Is this what scientists do? Seeking a more authentic science in and beyond the school laboratory. In J. J. Wellington(Ed.). *Practical work in school science: Which way now?* NY : Routledge. pp. 93-108.
- Hull, D. L. (1988). *Science as a process: An evolutionary account of the social and conceptual development of science*. The University of Chicago Press, Chicago.
- Kim, C. J., Chae, D. H. & Lim, C. S. (1999). *Introduction to science education*. Seoul: BooksHill.
- Kim, D. Y. (2010). Development and application of the taxonomic framework of types of biological knowledge and learning in elementary school science. Unpublished master's thesis. Seoul National University of Education, Seoul, Korea.
- Kim, J. Y., Lim, C. S. & Baek, J. Y. (2014). Analyses on elementary students' behavioral domain in free science inquiry activities applying a brain-based evolutionary approach. *Journal of Korean Elementary Science Education*, 33(3), 579-587.
- Kim, K., Kim, S., Kim, N., Park, S., Kim, J., Park, H. & Jung, S. (2008). Characteristics of achievement trend in Korea's middle and high school students from international achievement assessment (TIMSS/PISA). KICE, Research Report RRE 2008-3-1.
- Krapp, A. (2002a). An educational-psychological theory of interest and its relation to self-determination theory. In E. Deci & R. Ryan (Eds.), *The handbook of self-determination research* (pp. 405-427). Rochester, NY: University of Rochester Press.
- Krapp, A. (2002b). Structural and dynamic aspects of interest development. Theoretical considerations from an ontogenetic perspective. *Learning and Instruction*, 12, 383-409.
- Lim, C. S. (2009). Development of a model of brain-based evolutionary scientific teaching for the learning. *Journal of the Korean Association for Science Education*, 29(8), 990-1010.
- Lim, C. S. (2012). Development of an instructional model for brain-based evolutionary approach to creative problem solving in science. *Biology Education (Korea)*, 40(4), 429-452.
- Lim, C. S., Kim, J. Y. & Baek, J. Y. (2012). Analyses on elementary students' science attitude and topics of interest in free inquiry activities according to a brain-based evolutionary science teaching and learning model. *Journal of Korean Elementary Science Education*, 31(4), 541-557.
- Martin-Hansen, L. (2002). Defining inquiry. *The Science Teacher*, 69, 34-37.
- Ministry of Education and Science Technology (2007). *Science curriculum*. Ministry of Education and Science Technology Announcement 2007-79 (Supplement 9).
- Niaz, M. (1996). Reasoning strategies of students in solving chemistry problems as a function of developmental level, functional M-capacity, and disembedding ability. *Journal of Chemical Education*, 64, 502-505.
- Peters, E. (2005). Reforming cookbook labs. *Science Scope*, 29(3), 16-21.
- Plotkin, H. (1994). *Darwin machines and the nature of knowledge*. Harvard University Press. Cambridge.
- Popper, K. R. (1968). *The logic of scientific discovery*. New York: Harper and Row.
- Popper, K. R. (1972). *Objective knowledge: An evolutionary approach*. Oxford: Oxford University Press.
- Renninger, K. A. (1989). Individual differences in children's play interest. In L. T. Winegar (Ed.), *Social interaction and the development of children's understanding* (pp. 147-172). Norwood, NJ: Ablex.
- Renninger, K. A. (1990). Children's play interests, representation, and activity. In R. Fivush & K. Hudson

- (Eds.), *Knowing and remembering in young children* (pp. 127-165). New York: Cambridge Press.
- Renninger, K. A. (2000). Individual interest and its implications for understanding intrinsic motivation. In C. Sansone & J. M. Harackiewicz (Eds.), *Intrinsic motivation: Controversies and new directions* (pp. 373-404). New York: Academic Press.
- Renninger, K. A. & Shumar, W. (2002). Community building with and for teachers: The Math Forum as a resource for teacher professional development. In K. A. Renninger & W. Shumar (Eds.), *Building virtual communities: Learning and change in cyberspace* (pp. 60-95). New York: Cambridge University Press.
- Renninger, K. A., Ewen, L. & Lasher, A. K. (2002). Individual interest as context in expository text and mathematical word problems. *Learning and Instructions*, 12, 467-491.
- Shin, H. H. & Kim, H. N. (2010). Analysis of elementary teachers' and students' views about difficulties on open science inquiry activities. *Journal of Korean Elementary Science Education*, 29(3), 262-276.
- Simonton, D. K. (2011). Creativity and discovery as blind variation: Campbell's (1960) BVS model after the half-century mark. *Review of General Psychology*. Advance online publication. doi: 10.1037/a0022912.
- Tinajero, C. & Paramo, M. F. (1997). Field dependence-independence and academic achievement: A re-examination of their relationship. *British Journal of Educational Psychology*, 67, 199-212.
- Witkin, H. A. & Goodenough, D. R. (1981). *Cognitive styles: Essence and origins: Field dependence and field independence*. New York: International Universities Press.
- Witkin, H. A., Moore, C. A., Goodenough, D. R. & Cox, P. W. (1977). Field dependent and field independent cognitive styles and their educational implications. *Review of Educational Research*, 47(1), 1-64.
- Witkin, H. A., Oltman, P. K., Raskin, E. & Karp, S. A. (1971). *A manual for the embedded figures test*. Palo Alto: Consulting Psychologists Press.
- Yoon, H. G. & Pak, S. J. (2000). The change of middle school students' motivation for investigation through the extended science investigations. *Journal of the Korean Association for Science Education*, 20(1), 137-154.
- Ziman, J. (2000). *Real science: What it is, and what it means*. Cambridge, UK: Cambridge University Press.