



# 대안적 인지 이론으로서 ‘자원 기반 관점’에 대한 이론적 고찰과 시험 적용

오필석\*  
경인교육대학교

## A Theoretical Review and Trial Application of the ‘Resources-Based View’ (RBV) as an Alternative Cognitive Theory

Phil Seok Oh\*  
Gyeongin National University of Education

### ARTICLE INFO

#### Article history:

Received 3 November 2015

Received in revised form

25 November 2015

27 December 2015

Accepted 28 December 2015

#### Keywords:

resources-based view, conceptual resources, epistemological resources, practical resources, model, seasons

### ABSTRACT

The purpose of this study is twofold: to theoretically review the ‘resources-based view’ (RBV) developed by D. Hammer and his colleagues as an alternative cognitive theory and to illustrate the usefulness of the theory by applying it to interpret a science learning activity in which undergraduate students worked together to construct a model of the seasons. The theoretical review was based on the exploration of relevant literature and dealt mainly with three types of resources: conceptual, epistemological, and practical resources. The trial application revealed that scientific models have been developed through the combination of different pieces of conceptual resources activated from participants, rather than emerging as unitary wholes. However, all the activated resources were not included into a model, and some of the conceptual resources acted as constraints to constructing a scientific model. The implications included that science educators should be attentive and responsive to students’ resources and help them use the resources productively to learn science.

## 1. 서론

과학 교육 연구는 사람의 지식과 사고를 다루는 인지 이론의 영향을 받아 왔다. 그런데 지금까지 인지적 측면의 과학 교육 연구들은 대체로 개념(conception)이나 믿음(belief)을 전체로서의 한 단위(as a whole or as a single unit)로 취급하는 단일적 관점(unitary view)에 따라 이루어져 왔다(diSessa, 2013). 예를 들어, 학생들은 과학 수업을 듣기 이전에도 자연 세계에 대한 선개념(preconception) 또는 오개념(misconception)을 가지고 있다고 믿어진다. 이 선개념이나 오개념은 과학자들이 가지고 있는 이론에 비견할만한 설명 체계라고 여겨지고, 안정적이고 견고하여 일반적인 학교 수업으로는 잘 변하지 않는다고 한다. 그래서 학생들의 개념을 바꾸기 위해서는 그것과 상충되는 현상을 제공하여 인지적인 갈등을 일으키고, 갈등을 해소할 수 있는 올바른 설명을 제공하여 잘못된 개념이 과학적인 개념으로 대체되도록 해야 한다는 주장이 오랫동안 지지를 받아 왔다(Driver & Oldham, 1986; Hewson & Hewson, 1984). 즉, 학생들의 지식과 사고를 다루는 과학 교육 연구에서 개념은 하나의 분석 단위로 다루어져 왔다고 할 수 있다.

사람들의 믿음에 관한 연구 또한 이와 유사한 관점을 토대로 이루어져 왔다. 예를 들어, 최근 연구자들의 관심을 받고 있는 주제 중의 하나인 개인적 인식론(personal epistemology)에 관한 연구는 대개 지식과 앎에 대한 사람들의 생각, 즉 개인의 인식론이 안정적이고 일관된 인지적 구조물인 ‘믿음’으로 이루어져 있으며 일정한 단계를 따라

발달한다고 가정한다(Chinn *et al.*, 2011; Hofer, 2001). 특히 이러한 관점에 터한 과학 교육 관련 연구들은 주로 학생들이 과학적인 사고를 수행하지 못하는 까닭이 그들이 특정한 발달 단계에 이르지 못했기 때문이라는 것을 입증하는 데 초점을 맞추어 왔다(Louca *et al.*, 2004).

그런데 개념이나 믿음에 관한 이러한 단일적 관점은 교육과 연구의 맥락에 널리 적용되고 있는 만큼 제한점 또한 가지고 있다. 예를 들어, 단일적 관점에서는 학생들의 오개념을 과학 학습을 어렵게 만드는 장애물로 여기고, 그것을 과학적인 개념으로 대체하는 수업을 강조한다. 하지만 이러한 접근은 학습자가 현재 가지고 있는 지식을 바탕으로 새로운 지식을 형성한다는 구성주의의 기본 전제와 상충되고, 학생들의 개념을 새로운 학습을 위한 디딤돌(steping stone)로 삼는 수업 전략에 대해서는 잘 말하지 못한다는 문제점이 있다(Clement *et al.*, 1989; Hammer, 1996; Lee, 2015; Smith *et al.*, 1993/1994). 또, 단일적 관점은 학생들이 맥락에 따라 다른 개념이나 믿음을 가진 것처럼 행동한다는 사실을 잘 설명하지 못한다(Hammer & Elby, 2002; Hammer *et al.*, 2005; Louca *et al.*, 2004). 특히 diSessa(2013)는 이와 관련하여 상황과 질문의 작은 차이가 단일적 관점으로는 설명하기 어려운 다양한 답변들을 이끌어 낼 수 있음을 증거하는 연구물들이 많이 존재한다고 역설한다.

위와 같은 비판적인 문제의식을 바탕으로 다수의 연구자들은 단일적 관점에 대비되는 대안적인 인지 이론을 발전시켜왔다. 이 관점은

\* 교신저자 : 오필석 (philoh@ginue.ac.kr)

\*\* 이 논문은 2015년 대한민국 교육부와 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(NRF-2015S1A5A2A01010327).

http://dx.doi.org/10.14697/jkase.2015.35.6.0971

사람의 개념이나 믿음이 사실 그보다 더 작은 지식의 조각들(pieces of knowledge)로 이루어져 있다고 가정하므로 흔히 ‘조각 지식(knowledge-in-pieces, KIP)’<sup>1)</sup>의 관점이라 불린다. 일찍이 diSessa (1993)는 지식을 구성하는 작은 단위들을 ‘현상학적 기초 요소(phenomenological primitive, p-prim)’라고 명명하고, 이를 물리 학습 상황에 적용하여 개념의 형성 과정을 설명하였다. 또한 Hammer와 그의 동료들(Elby & Hammer, 2010; Hammer, 2004a, b, c; Hammer & Elby, 2002; Hammer *et al.*, 2005)은 p-prims와 유사한 성격의 지식의 조각들을 ‘자원(resource)’이라 부르면서 diSessa(1993)의 아이디어를 더욱 발전시켜 개념 학습뿐만 아니라 과학 학습의 여러 가지 측면에 적용할 수 있는 인지 이론을 전개해 오고 있다. Hammer에 따르면, 사람들은 다양한 경험을 통해 광범위한 범위의 개념적 자원(conceptual resources)과 인식론적 자원(epistemological resources)을 개발하여 왔다. 그리고 어떤 문제 상황에 직면하게 되면 이들 자원들이 활성화되고 조합되어 구체적인 인지 행동을 결정하게 된다. 이러한 관점에서 보면, 흔히 안정적이고 상당 기간 고정적으로 존재한다고 생각되는 개념이나 믿음이 실은 수많은 분리된 작은 자원들이 상황에 따라 다르게 조합되어 나타난 결과라고 할 수 있다(Hammer, 2004a, b, c; Hammer & Elby, 2002; Hammer *et al.*, 2005). 즉, Hammer의 ‘자원 기반의 관점(resources-based view, RBV)’은 diSessa(1993)로부터 기원한 조각 지식의 관점을 토대로 하면서도 더욱 적용 범위가 넓은 인지 이론이라고 할 수 있다.

Hammer의 RBV, 즉 사람들의 지식과 믿음, 사고를 자원 중심으로 설명하는 관점은 과학 교육 분야에 새로운 시각을 제공해 준다. 예컨대, RBV에 따르면 소위 오개념이라고 하는 것은 대체되어야 할 학습의 장애물이 아니라, 교사가 수업 중에 과학적인 아이디어를 전개하는데 활용할 수 있는 중요한 기반이 된다(Clement *et al.*, 1989; Hammer, 1996; Smith *et al.*, 1993/1994). 또한 RBV는 학생들이 가지고 있는 자원은 맥락에 따라 다르게 활성화되고 조합되므로 교사가 적절하게 교수법적으로 개입한다면 학생들의 수행이나 성취 수준이 크게 달라질 수 있다는 것을 강하게 암시한다(Berland *et al.*, in press; Kittleson, 2011; Louca *et al.*, 2004). 이러한 장점에도 불구하고 아직까지 우리나라의 과학 교육 분야에서는 기존 단일적 관점의 인지 이론을 보완하고 그 대안이 될 수 있는 RBV에 대한 논의가 활발하게 이루어지지 않고 있다. 이러한 점들을 고려하여 본 논문에서는 Hammer와 동료들이 발전시켜 온 자원 기반의 인지 이론에 대해 집중적으로 고찰해 보고자 한다. 이를 위해 먼저 Hammer와 동료 연구자들의 저작들을 통해 RBV를 이론적으로 검토한다. 그 다음, RBV의 핵심적인 아이디어 중의 하나인 개념적 자원에 대한 관점을 최근 과학 교육 분야에서 주목을 받고 있는 모델 중심의 탐구 활동을 해석하는 데 시험적으로 적용하여 RBV의 유용성을 예시적으로 보이고자 한다.

## II. 연구 방법

1) ‘조각 지식’이라는 말은 knowledge-in-pieces에 대한 Lee(2015)의 번역을 따른 것이다. 하지만 논문 심사 과정 중에 이를 ‘부분적 지식 이해’ 또는 ‘분절적 지식 이해’라고 번역하는 것이 좋겠다는 의견이 있었다. 따라서 knowledge-in-pieces의 적절한 번역을 위해서는 앞으로 과학 교육 공동체 내에서 충분한 논의와 합의가 있어야 할 것으로 생각된다.

## 1. 이론적 고찰

본 연구의 첫 번째 목적은 Hammer와 동료들이 발전시켜 온 대안적인 인지 이론으로서 RBV를 관련 문헌을 통해 이론적으로 고찰하는 것이었다. 이를 위하여 먼저 Hammer의 홈페이지(<http://dhammer.phy.tufts.edu>)에 수록된 논문과 저서들을 찾아 읽고 그 저작들에서 제시하는 참고 문헌들을 연계적으로 찾아 이론적 고찰을 위한 문헌의 목록을 수립하였다. 이 목록은 총 85편의 논문과 저서들로 구성되었는데, 이 중 Hammer를 주저자 또는 공동 저자로 포함하는 논문이 29편이었으며, Hammer의 공동 연구자 또는 그와 유사한 견해를 명시적으로 피력하고 있는 저자들의 논문이 39편, 기타 RBV에 관한 맥락적인 정보를 제공하는 논문이 17편이었다. 이 문헌들을 반복적으로 검토하면서 RBV의 이론적 내용을 개념적 자원, 인식론적 자원, 실천적 자원, 교수법적인 접근이라는 범주에 따라 구별하였고, 각 범주의 핵심적인 아이디어를 요약정리하였다. 본 논문에서는 이 같은 방법에 따라 요약정리된 내용을 초안으로 하여 작성된 문헌 연구의 결과를 제 III장에 제시하였다.

## 2. 시험 적용

본 연구의 두 번째 목적은 Hammer의 RBV가 실제 과학 학습 활동을 해석하는 데 유용하게 적용될 수 있음을 예시적으로 보이는 것이었다. 이를 위하여 대학생들이 계절 변화에 관한 과학적인 모델을 구성하는 활동을 시험 적용을 위한 사례로 선정하고, RBV의 여러 가지 아이디어 중 학생들이 가지고 있는 개념적 자원이 활성화되고 조합되는 과정에 초점을 맞추어 해석하였다.

대학생들의 모델 구성 활동은 2015년 1학기에 본 논문의 저자가 한 교육대학교에서 진행한 수업의 일환으로 이루어졌다. 이 수업에는 총 12명의 4학년 학생들이 참여하였다. 이 학생들은 2학년 1, 2학기에 지구과학 전공 강좌(주당 2시간 총 4학점)를 수강하였으며, 3학년 2학기에 실험실습 중심의 과학 교과 교육 강좌(주당 4시간 3학점)를 통해 초등 교육과정에서 제시하는 과학 실험 수업을 직접 수행한 경험이 있었다. 이들을 위한 4학년 수업은 그동안 교육대학교의 교육과정을 통해 깊이 있게 다루지 못했던 초등 과학의 주요 개념과 실험을 집중적으로 학습하는 것을 목적으로 하였다. 특히 본 연구의 토대가 되었던 활동은 다양한 가설과 실험을 통해 계절 변화의 원인을 탐구하게 하는 교육과정의 취지(The Ministry of Education, 2011)에 따라 학생들이 계절 변화에 관한 개념적 모델(conceptual or mental model)을 구성하고 물리적인 모델(physical model)을 이용하여 자신들의 생각을 테스트하는 방식으로 진행되었다.

본 논문에서는 이 중 학생들이 계절 변화의 원인에 관한 모델을 구성하고 실험을 설계하기 위하여 토의하는 상황을 RBV가 제안하는 자원의 유형 중 개념적 자원에 초점을 맞추어 해석하였다. 이때는 먼저 학생들의 토의 활동을 오디오로 녹음하고 이를 전사한 후, 녹음 자료와 전사본을 함께 보면서 계절 변화 모델이 변하는 것을 지표로 하여 학생들의 활동을 총 14개의 에피소드(episode)로 구분하였다. 그 다음, 각각의 에피소드에서 개념적 자원이 활성화되는 방식과 그것이 계절 변화 모델을 구성하는 데 기여하는 방식을 분석하여 연구자 메모를 작성하였다. 또, 계절 변화 모델이 하나의 전체로서 단번에 제안되는

것이 아니라 학생들이 맥락에 따라 활성화 해 낸 개념적 자원들이 조합되어 탄생한다는 것을 요약적으로 나타내기 위하여 메모의 내용을 표의 형태로 정리하였다. 마지막으로, 연구자 메모와 표의 내용을 녹음 자료 및 전사본에 비추어 반복적으로 검토함으로써 결과를 확정하였다. 이상과 같은 시험 적용의 결과는 본 논문의 제 IV장에 제시하였다.

### III. 이론적 고찰

#### 1. 개요

Hammer의 RBV는 학습과 사고에 관한 그의 기본적인 가정에 토대하고 있다. Hammer는 2004년 엔리코 페르미 여름학교(Enrico Fermi Summer School)의 강연을 위한 첫 번째 초록을, 수업을 관찰해 보면 학생들의 사고가 변화무쌍(variability)하고 심지어는 같은 교실의 같은 학생에게도 순간순간 그러한 변화를 관찰할 수 있다는 진술로 시작한다(Hammer, 2004a). 또, 보다 최근의 글에서는 “학습은 복잡하며 (complex)” 학생들의 사고가 이루어지는 방식은 “개개인에게 특별하고 특유하다(particular and idiosyncratic)”고 강조한다(Hammer & Sikorski, 2015, p. 428). 더 나아가 그는 “혼란(chaos)이 건강한 교실의 한 표준”(p. 429)이라고까지 주장하며, 과학 교육 연구에서도 특유성(idiosyncrasy)이 핵심적인 연구 주제가 되어야 한다고 역설한다. 사실 Hammer의 것 이외에도 교실 수업의 특유성을 주장하는 연구물은 어렵지 않게 찾아 볼 수 있다(Berliner, 2002; Rosebery *et al.*, 2010; Songer *et al.*, 2003). 예를 들어, Rosebery *et al.*(2010)은 3, 4학년 학생들이 열과 물질의 본성에 관한 과학적인 아이디어를 배워가는 과정을 자세히 기술하면서 이질성(heterogeneity)이 학습의 기본적인 성질이라고 주장하였다. 또, Berliner(2002)는 수업이 토대하고 있는 맥락은 제각각이라고 하면서, 수업의 이해와 개선을 위해서는 문화기술지, 사례 연구, 설계 기반 실험(design experiment)과 같은 질적 연구와 그로부터 얻은 국지적 지식(local knowledge)이 절대적으로 필요하다고 말하였다.

Hammer에 의하면, 이렇게 사람들의 학습과 사고가 특유성 또는 이질성을 특징으로 하는 까닭은 그것이 작은(fine-grained) 구성 요소인 자원들을 기반으로 발생하기 때문이다. 그는 자신의 자원 기반의 인지 이론, 즉 RBV의 특징을 자원의 성격에 따라 세 가지로 요약하여 설명한다(Hammer, 2004c). 첫째, 자원은 자연 세계에 관한 선언적인 진술(declarative statements)이라기보다 인지적 기능의 구성 원소(elements)이다. 따라서 자원은 그 자체로 옳거나 그르다고 판단되지 않고, 주어진 문제를 해결하는 데 어떻게 기여하는가로 평가된다. 둘째, 자원은 어느 상황이나 일반적으로 적용되는 것이 아니라 맥락에 따라 다르게 나타난다. 즉, 한 맥락에서 활성화된 자원이 다른 맥락에서는 활성화되지 않을 수 있고, 특정한 맥락에 고유한 활성화 패턴이 있을 수 있다. 셋째, 자원은 여러 가지이며 다양하다. 특히 Hammer는 두 가지 종류의 자원을 제시한다. 그 중 하나는 ‘개념적 자원’으로 자연 세계에 관한 지식을 구성하는 자원을 지칭하며, 다른 하나는 ‘인식론적 자원’으로 지식과 지식을 얻는 방법에 관한 생각을 구성하는 자원을 의미한다. 이와 더불어 Hammer는, 명시적으로 그 이름을 명명하지 않았지만, 여러 가지 자원을 이용하여 사고하고 기존의 자원으로

부터 새로운 지식을 구성하는 활동을 위해 필요한 자원(resources for reasoning with and building from that knowledge)이 있다고 말한다(Hammer, 2004a). 예를 들어, 과학의 개념을 이해하기 위해 비유를 만들거나 과학적인 논변에 참여하는 것이 이에 해당한다. 이들은 모두 개념이나 믿음이 아닌 사람의 능력(ability) 또는 실천 행위(practice)에 해당하는 것들로, 최근에 Oh(2014)는 이들을 ‘실천적 자원(practical resources)’이라 부를 것을 제안하였다.

이상과 같은 개괄적인 논의를 바탕으로 다음에 전개되는 각 절에서는 Hammer의 RBV의 핵심적인 내용으로서 세 가지 종류의 자원의 특징을 좀 더 자세히 고찰하기로 한다.

#### 2. 개념적 자원(conceptual resources)

개념적 자원이라는 Hammer의 아이디어는 오개념에 관한 기존 연구들이 가지고 있는 제한점으로부터 출발한다. Hammer는 지금까지의 오개념 연구들이 대부분 ‘개념’을 하나의 단일한 단위로 취급하고, 그것을 과학적인 개념으로 대체하는 데 초점을 맞추어 왔다고 지적한다. 그러다보니 학생들의 개념을 과학적인 개념으로 점진적으로 변화시키고자 할 때 수정해 주어야 할 보다 기초적인 구조(underlying structure)는 무엇인지, 새로운 개념을 형성하는 데 사용할 소재(raw material)에는 어떤 것들이 있는지, 만약 개념이 단계적으로 발달하는 것이라면 각 단계별 개념은 어떻게 형성되는지 등에 대해서는 잘 말하지 못하였다(Hammer, 2004c; Hammer & Elby, 2002).

또, 기존의 오개념 연구는 학생들의 개념이 다양한 맥락에 걸쳐 일관되게 나타난다고 가정한다. 하지만 이를 반증하는 증거들이 이미 여러 연구들을 통해 보고되어 왔다. 대표적인 예로 Hammer(Hammer & Elby, 2002; Hammer *et al.*, 2005)는 diSessa(1993)의 선구적인 연구를 인용한다. 즉, 학생들은 종종 책상을 이동시키려면 이동 방향으로 작용하는 힘이 있어야 하고 그 힘을 제거하면 책상이 곧 멈춘다는 ‘오개념’을 말하지만, 위로 던져 올린 공의 경우에는 힘이 없어도 계속 움직인다고 ‘옳게’ 말하기도 한다는 것이다. 일찍이 diSessa(1993)는 물리 현상에 대한 이러한 학생들의 직관적인 설명을 p-prims라는 지식의 조각들을 이용하여 설명하였다. 이를 Hammer가 재해석한 바에 따르면, 학생들은 어떤 효과가 유지되려면 그것을 일으키는 원인이 지속되어야 한다는 ‘지속성(maintaining agency)’이라는 p-prim과 어떤 효과는 그 원인이 사라진 후에도 유지될 수 있다는 ‘구동성(actuating agency)’이라는 p-prim을 모두 가지고 있다. 그래서 책상을 움직이는 상황에서는 지속성의 p-prim과 그와 관련된 다른 p-prims가 활성화되고, 공을 던지는 상황에서는 구동성을 포함한 p-prims가 활성화되어 마치 한 학생이 다른 개념을 가지고 있는 것처럼 보일 수 있다는 것이다(Hammer & Elby, 2002; Hammer *et al.*, 2005).

Hammer 자신도 인정하는 바와 같이, 개념적 자원에 관한 그의 견해는 diSessa(1993)의 아이디어로부터 유래하였다고 할 수 있다. 다만 그는 p-prims 보다 평범한 용어인 ‘resources’를 사용하여 사람들의 개념이 그보다 더 작은 단위의 자원들로 구성된다는 견해, 즉 RBV를 전개하였다. Hammer의 RBV에서 개념적 자원들은 diSessa(1993)의 p-prims와 유사한 역할을 한다. 즉, 문제 상황이 지각되면 개념적 자원들이 그 맥락에 부합되는 방식으로 활성화되고, 서로 다른 개념적 자원들이 결합하여 문제를 해결할 수 있는 보다 큰 규모의 인지적 구인인

‘개념’을 형성하게 된다(Hammer *et al.*, 2005). 이러한 관점에서 보면, 학생들의 오개념이란 것도 다양한 개념적 자원들이 맥락에 따라 활성화된 상태를 의미한다고 볼 수 있다. 또, RBV의 관점에 따르면, 학생들이 현재 가지고 있는 개념적 자원들은 새로운 개념을 형성하는 바탕이 된다. 예를 들어, RBV의 관점에서 수업을 연구하는 저자들은 학생들에게 익숙한 비유(analogy)가 과학 지식을 이해하기 위한 개념적 자원으로 활용되거나 다른 자원들을 활성화하는 역할을 할 수 있다고 말한다(Hammer & Elby, 2002; Hammer *et al.*, 2005; May *et al.*, 2006). Hammer(2000)에 따르면, 책상 위에 놓은 물체에 작용하는 수직 항력을 설명하기 위해 책상을 뻣뻣한 용수철(stiff spring)에 비유한 Minstrell(1982)의 사례가 그러한 좋은 예가 될 수 있다.

위와 같이 자원의 활성화를 기반으로 학생들의 개념을 설명하는 Hammer의 이론은 학교 과학 교육에도 중요한 시사점을 제공해 준다. 즉, 과학 교실에서는 학생들이 수업의 맥락에 적합한 개념적 자원을 발견하고, 그것의 적절성을 평가하며, 현재의 자원들을 재조직하여 과학을 배울 수 있는 기회가 주어져야 한다. 교사의 입장에서는 학생들이 어떤 상황에서 개념적 자원들을 생산적으로 활성화하는지 파악하여 그러한 수업 환경을 조성해 줄 수 있어야 한다(Hammer, 2004c; Hammer *et al.*, 2005; Levin *et al.*, 2009). 특히 이러한 교사의 교수법적인 역할은 다음 절에서 논의하게 될 인식론적 자원들을 활성화하는 일과 상호적으로 영향을 미칠 수 있다.

### 3. 인식론적 자원(epistemological resources)

개념적 자원에 관한 Hammer의 사고가 기존 오개념 연구에 대한 비판적인 문제의식에 토대하고 있는 것처럼, 개인의 인식론이나 인식적 믿음(epistemic beliefs)<sup>2)</sup>에 관한 RBV의 관점 또한 기존의 인지이론과 대비되는 가정에서 출발한다. 이제까지의 인지이론은 주로 개인의 인식론이 ‘믿음’이나 ‘발달 단계(developmental stages)’와 같이 안정적이고 일관된 인지적 구인들로 이루어져 있다고 전제하여 왔다(Chinn *et al.*, 2011; Hofer, 2001; Louca *et al.*, 2004). 하지만 RBV에서는 사람들의 ‘믿음’이 맥락에 따라 다르게 나타난다는 사실에 주목한다. 실제로 교사와 학생들이 일관된 인식론적 입장을 보이지 않고 오히려 맥락에 따라 다른 믿음을 가진 것처럼 말하고 행동한다는 것을 보여주는 선행 연구들이 다수 존재한다(Hammer *et al.*, 2005; Lidar *et al.*, 2006; Ogan-Bekiroglu & Akkoç, 2009; Sandoval & Millwood, 2008; Sandoval & Morrison, 2003; Tobin & MaRobbie, 1997). 예를 들어, Sandoval & Millwood(2008)는 과학적인 탐구나 논변에 참여하는 동안 학생들이 드러내는 인식적 믿음이 면담을 통해 얻은 것과 다를 수 있다고 지적하였다. 즉, 학생들은 형식적인 면담 상황에서는 과학적인 주장이 경험적 증거에 의해 뒷받침 되어야 한다고 진술하면서도, 실제 교실 학습 상황에서 자신들이 어떤 과학적인 주장을 하게

되었을 때에는 적절한 증거를 제시하는 경우가 드물다는 것이다. 또, 학생들은 혁신적인 과학 수업에 참여하는 동안 현 수업의 맥락을 ‘이해를 위한 기회’로 생각하기도 하지만 단순히 ‘공식을 적용하여 문제를 푸는 과정’으로 인식하기도 한다(Hammer *et al.*, 2005). 이와 더불어, 기존의 관점에서는 학생들이 대개 낮은 수준의 인식론이나 인식적 믿음을 가지고 있으며, 이것을 전문가들과 같은 세련된 수준으로 발달시키는 것이 교육의 과제라고 주장하여 왔다(Chinn *et al.*, 2011; Hofer, 2001). 하지만 여러 연구들은 미숙한 인식론을 가지고 있는 것처럼 보이는 학생들이 다른 상황에서는 성숙한 인식론적 태도를 보이는 경우가 있음을 보고하고 있다(Brewer & Samarapungavan, 1991; Kittleson, 2011; Louca *et al.*, 2004).

RBV에 따르면, 위와 같은 현상들은 인식론적 자원들이 맥락에 따라 다르게 활성화된 결과이다. 예를 들어, Louca *et al.*(2004)은 3학년 학생들이 잎의 색깔 변화에 관한 교사의 두 가지 질문에 서로 다르게 반응하는 것을 관찰하였다. 먼저 학생들은 “왜 잎의 색깔이 변할까?”라는 질문에 “잎은 그렇게 겨울을 준비하기 때문이에요”와 같이 목적론적으로(teleologically) 답하였다. 하지만 “잎의 색깔이 변하기 위해서 잎 안에서는 무슨 일이 일어나고 있을까?”라는 질문과 그 질문의 성격에 관한 교사의 적절한 비유가 주어졌을 때, 학생들은 물리적인(mechanical) 설명을 말하기 시작하였다. Louca *et al.*(2004)은 이러한 결과를 RBV의 관점에서 이렇게 설명한다. 학생들은 목적론적 형식과 물리적인 형식의 지식을 제공해야 하는 상황을 구별할 수 있는 인식론적 자원을 모두 가지고 있다. 그런데, 목적론적 설명을 하던 학생들이 물리적인 설명을 하게 된 것은 교사의 질문과 비유가 그러한 형식에 부합하는 인식론적 자원들을 자극함으로써 학생들이 현 상황을 과학적인 설명을 구성하는 상황으로 이해하게 되었기 때문이다. 따라서 학생들이 가지고 있는 다양한 인식론적 자원들 중에 과학의 인식론에 부합하는 것들이 활성화되면 그들의 과학 학습 수행도 개선될 것이라고 기대할 수 있다(Berland *et al.*, in press). 실제로 Kittleson(2011)의 연구는 3학년 학생들이 점차 과학적 인식론으로 발전할 수 있는 인식론적 자원들을 가지고 있으며, 이들이 수업의 맥락과의 상호작용을 통해 다채롭게 발현된다는 것을 보여 주기도 하였다.

RBV에서는 이렇게 인식론적 자원들이 활성화되어 현재의 맥락을 특정한 방식으로 이해하게 되는 것을 ‘이해의 틀(frame)’ 또는 ‘이해의 틀 짜기(framing)’라는 개념으로 설명한다. 이때 사용된 frame 또는 framing이라는 용어는 본래 언어학이나 인류학에서 사용되었던 것으로, 상황이나 활동에 관한 이해(sense)를 형성한다는 의미를 담고 있다. Hammer가 RBV의 관점에 차용한 용어 역시 비슷한 뜻으로 쓰인다. 즉, framing은 일군(a set)의 자원들을 활성화하여 상황을 이해하는 것을 뜻하며, frame은 그러한 자원의 활성화 패턴 또는 활성화된 자원들이 국지적으로 정합적인(locally coherent) 네트워크를 이룬 것을 지칭한다(Elby & Hammer, 2010; Hammer *et al.*, 2005). 그런데 현 상황을 어떠한 틀로 이해하는가 하는 것은 그 상황에서 활성화되는 자원들에 따라 달라진다. 물론 과학자들은 자신의 전문 분야에 관한 문제 상황마다 비교적 일관된 활성화 패턴, 즉 안정된 이해의 틀을 가지고 있는 것처럼 보인다. 반면에 학생들이 구성하는 이해의 틀은 맥락에 매우 민감하며 임의적인 경우가 많다(Louca *et al.*, 2004). 하지만, 바꾸어 말하면, 이러한 특성은 적절한 도움이 주어진다면 학생들도 과학자적인 이해의 틀 짜기가 가능하다는 것을 암시해 주는 것이다. 더 나아가

2) 일부 학자들은 ‘인식적(epistemic)’이라는 용어와 ‘인식론적(epistemological)’이라는 용어를 구별하여 사용하기를 권한다. 예를 들어, Kitchener(2002)는 ‘인식적’이라는 말은 ‘지식과 지식을 얻는 방법에 관한’ 것이고, ‘인식론적’이라는 말은 지식과 지식을 얻는 방법에 대한 ‘이론에 관한’ 것이라는 점에서 서로 다르다고 한다. 본 논문에서는 이러한 견해에 동의하는 입장에서, ‘지식과 지식을 얻는 방법에 관한 믿음’을 지칭할 때에 ‘인식적 믿음’이란 용어를 사용하고자 한다. 하지만 ‘인식론적 자원’이나 ‘개인적 인식론’과 같이 ‘믿음’이란 단어 없이 인식 행위에 관한 개인의 메타적이고 관념적인 생각을 지칭해야 하는 상황에서는 ‘인식론’ 또는 ‘인식론적’이라는 용어를 사용하기로 한다.

가, 그러한 이해의 틀을 구성할 기회가 반복적으로 주어진다면 어떠한 맥락에서도 안정적이어서 '믿음'이라고 불릴만한 인지적 구인을 정립하는 것 또한 가능하다는 것을 알 수 있다(Elby & Hammer, 2010).

이와 관련하여 Hammer는 학생들이 '지식의 근원', '지식의 형태', '인식적 활동', '인식적 태도'라는 4가지 차원에서 다양한 인식론적 자원을 가지고 있으며, 이들이 활성화되고 조합되면 서로 다른 이해의 틀을 구성할 수 있다고 말한다(Hammer, 2004c; Hammer & Elby, 2002; Hammer *et al.*, 2005). 그리고 앞서 인용한 Sandoval & Millwood(2008)의 연구에서처럼 학생들을 면담하여 파악한 인식론과 그들의 행위를 통해 추론한 인식론에 차이가 있다는 사실은, 단순히 믿음과 실천의 불일치를 나타내는 것이 아니라, 맥락에 따라 다른 '인식론적 이해의 틀(epistemological frame)'이 발현된 것이라고 설명한다(Hammer & Elby, 2002). 또, Levin *et al.*(2009)은 학생들에게도 비교적 안정화된 이해의 틀이 여러 가지 발견되며, 이 중 바람직한 틀이 발현될 수 있도록 하는 것이 교사의 몫이라고 주장한다. 예를 들어, Hammer가 자주 인용하는 Rosenberg *et al.*(2008)의 연구에서는 암석의 순환에 대해 공부하는 8학년 학생들이 맥락에 따라 서로 다른 틀로 자신들의 학습 활동을 이해하는 것이 발견되었다. 즉, '전달되는 것'으로서의 지식(knowledge as propagated stuff), '정보(information)', '축적(accumulation)', '배열(ordering)', '일람표(ordered list)' 등의 자원이 활성화되면 학생들은 정보를 오려 붙이기 하듯이 하여 과제를 완성한다. 하지만, '만들어지는 것'으로서의 지식(knowledge as fabricated stuff), '상상하기(imagining)', '원인(cause)', '인과적 이야기(causal story)' 등의 자원들이 활성화되면 학생들이 서로 논변하며 문제를 해결하는 활동을 전개한다. 그런데 이러한 전환의 계기가 되는 것은 교사의 발화였다는 점을 주목해 볼만하다. 다시 말하여, 학생들의 다양한 인식론적 자원의 존재를 인정하고, 학습을 보다 생산적으로 진행할 수 있는 자원들이 활성화되도록 하며, 그러한 기회를 반복적으로 제공하여 세련되고 안정적인 이해의 틀로 발전시키는 교사의 역할이 중요하다는 것을 알 수 있다.

#### 4. 실천적 자원(practical resources)

이 장의 개요를 통해 언급한 것처럼, Hammer나 동료 연구자들이 실천적 자원이라는 용어를 명시적으로 사용하지는 않는다. 하지만 곳곳에서 개인의 실천 행위나 능력 또한 자원으로 이해할 수 있다는 암시를 제공하고 있다.<sup>3)</sup> 예를 들어, Hammer(2004a, b, c)는 용암이 올라오면서 땅을 흔들고 지각의 틈을 벌려 지진이 일어난다고 하는 3학년 학생의 설명을 자주 인용한다. 이때 Hammer는 이 학생의 설명을 오개념이라고 하지 않고, 오히려 학생이 '지구가 화가 나서 지진이 일어난다.'와 같이 물화론적으로 설명하지 않고 지진이 발생할 수 있는 물리적인 기작을 이야기한 것에 주목한다. 즉, 어린 학생들에게도 장차 과학적인 실천 행위로 발달할 수 있는 능력이 조금씩은(a bit of) 있다는 것이다. 그리고 그러한 예로는 '인과적 요인의 추구(seeking causal factors)', '비유와 모델의 구성과 사용(making and using analogies and models)', '반대되는 논증과의 조정(reconciling contra-

dictory arguments)' 등과 같은 다양한 것들이 있을 수 있다고 말한다(Hammer, 2004a, c). 이에 더하여 Hammer(2004b, c)는, 자신이 관찰한 수업을 토대로, 학생들의 실천 행위나 능력은 맥락의 변화에 따라 짧은 순간에도 달라질 수 있다고 주장한다. 그렇기 때문에 교사는 학생들의 발달 단계가 특정한 수준에 이르지 못했다고 판단하기보다, 적절한 개입이 이루어진다면 학생들이 다른 방식으로 과제를 수행할 수 있을 것이라고 기대하는 것이 더욱 타당하고 바람직하다고 역설한다(Hammer, 2004b, c).

몇몇 연구자들은 Hammer와 같은 입장에서 사람들의 습관적인 행위나 능력을 과학 학습을 위한 중요한 자원으로 취급하고 있다. 한 예로, Ford(2008, 2012)는 '행위에 대한 이해(grasp of practice)'를 사람들이 사고하는 데 필요한 자원으로 개념화하였다. 그가 말한 행위에 대한 이해는 지금까지 선언적인 지식(declarative knowledge)의 형태로 가르쳐져 왔던 과학의 방법이나 기능과는 달리, 그것을 이용하여 구체적인 행위를 할 수 있는 정도의 이해를 포함한다. 다시 말해 그것은 "과학적인 주장의 인식적 바탕을 이루고 있는 핵심적인 형태의 담화와 활동에 참여할 수 있는 능력"(Ford, 2012, p. 208)을 뜻한다. 이와 유사하게 Manz(2015)는 선언적인 지식들뿐만 아니라 상황의 중요한 측면을 파악하고 정보를 조직하며 추론하는 실천 행위 또한 다양한 과학 활동에 참여하는 데 필요한 자원이라고 주장하였다.

이상과 같은 자원 기반의 관점을 토대로 Oh(2014)는 최근에 실천적 자원이라는 개념을 제안하였다. 이것은 체화된(embodied) 형태로 존재하는 낱말의 실천 행위들이나 그러한 실천 행위들을 수행하는 데 필요한 능력이라고 정의할 수 있다. 그리고 이것은 개념적 자원이나 인식론적 자원과 마찬가지로 맥락에 따라 서로 다르게 활성화되고 조합되어 어떤 행동을 결정하게 하는 역할을 한다. Oh(2014)는 이러한 실천적 자원의 특징을 현장 교사들과의 협력적인 연구를 통해 구체화하였다. 그의 연구에서 김교사는 탐구적인 초등 과학 수업을 어떻게 진행할 것인가에 관련된 대부분의 질문에 주저함 없이 답변하였지만, 다른 교사들은 그렇게 잘 응대하지 못하였다. 예를 들어, 실험을 설계하기에 앞서 학생들이 실험을 통해 테스트할만한 가설을 세울 수 있게 하는 수업 전략을 물었을 때 김교사는 학생들에게 처음부터 명제적으로 완성된 가설을 이끌어 내려고 하지 않고 문제 현상에 영향을 미칠 법한 변인들을 먼저 이야기하도록 하겠다고 답변하였다. 이러한 김교사의 모습에 대하여 Oh(2014)는 김교사가 오랜 기간 동안 학생 중심의 과학 탐구 수업을 진행해 온 경험 덕분에 상대적으로 풍부한 실천적 자원을 가지고 있었고, 그에 따라 여러 가지 수업 상황에 관한 물음에 잘 응대하였다고 해석하였다. 반면에 다른 교사들은 과학 탐구 수업을 시도해 본 경험이 상대적으로 부족하거나 교육 경력이 적어서 제한된 정도의 실천적 자원만을 가지고 있고, 그래서 가상의 탐구 수업 상황에 상대적으로 잘 대처하지 못하였다고 하였다.

그런데 실천적 자원에 관한 위와 같은 논의는 교사들뿐만 아니라 학생들의 활동에도 확장하여 적용할 수 있다. 즉, 과학의 실험실습 활동(practical work)을 많이 경험해 본 학생들이 풍부한 실천적 자원을 얻게 되고 새로운 상황에서도 과학적인 문제를 수월하게 해결할 수 있다고 예견할 수 있다. 이 점에서 Hammer(Hammer *et al.*, 2008; May *et al.*, 2006)는 실험실습 활동이 단순히 개념을 이해하는 목적에만 봉사하는 것이 아니라, 과학적인 실천 행위로 발전하는 시작이라는 점을 일관되게 강조한다. 예를 들어, 학생들은 상상, 추측, 추론, 비유

3) 더 나아가 Hammer(Elby & Hammer, 2010; Hammer & Elby, 2002)는 물리적 자원(physical resources)이나 감정적 자원(emotional resources), 사회적 자원(social resources) 등이 학생들의 학습과 사고에 영향을 미칠 수 있음을 인정한다.

등 여러 가지가 뒤섞인 방식으로 탐구 활동을 시작할 수 있지만, 그러한 행위들이 차츰 정교화 되면 가설 설정, 증거의 사용과 같은 보다 세련된 과학적인 실천 행위로 발전할 수 있다는 것이다(Hammer, 2004c). 또, 학생들의 자원이 당장의 문제를 해결하지는 못하더라도 다른 상황에서는 유용하게 사용될 수 있고, 이러한 경험이 쌓이다보면 탐구를 수행하는 것이 점차 용이해 질 것이라고 기대할 수 있다(Hammer, 2004a). 따라서 실험실습 활동의 가치를 단기간의 효과에 따라 판단하기 보다는 장기적인 안목에서 학생들이 다양한 과학 탐구를 경험하고 그것을 실천적 자원으로 체득하게 할 필요가 있다.

RBV에서는 실험실습 활동을 전개하는 데 학생들이 일상생활에서 체득한 실천적 자원 또한 의미 있게 기여할 수 있다고 주장한다(Hammer et al., 2008; Tang et al., 2010; Warren et al., 2001). 이를 지지하는 한 예로, Warren et al.(2001)은 다양한 지역 공동체 출신의 학생들이 가지고 있는 언어적 습관이나 일상적인 이해의 방식이 과학을 가르치고 배우는 데 중요한 지적 자원(intellectual resource)으로 활용될 수 있음을 보여 주었다. 결국, 다시 한 번 강조하게 되는 것처럼, 학생들이 체득하고 있는 다양한 실천적 자원들을 자극하여 과학 수업을 진행하는 교사의 역량이 중요하다는 것이 알 수 있다. 특히 수업의 맥락에 적합한 인식론적 자원들이 활성화되는 경우에 그에 부합하는 실천적 자원의 활성화도 보다 수월하게 이루어질 수 있다는 사실에

유념할 필요가 있다(Hammer, 2004c; Hammer et al., 2005).

## IV. 시험 적용

### 1. 개요

앞 장에서는 Hammer의 RBV를 세 가지 유형의 자원을 중심으로 이론적인 측면에서 고찰하였다. 본 장에서는 그러한 이론적인 논의를 과학 학습 활동 사례에 적용하여 RBV가 실제 인지 과정을 해석하는 데 유용하게 쓰일 수 있음을 예시적으로 보이고자 한다. 연구 방법에서 언급한 것처럼, 시험 적용을 위해 선택한 사례는 교육대학교 4학년 학생들이 계절 변화에 관한 모델을 구성하고 실험을 설계하기 위해 토의하는 상황이다. 본 장의 주된 목적은 RBV가 제안하는 것처럼 계절 변화 모델이 하나의 전체로서 단번에 제안되는 것이 아니라 학생들이 활성화해 낸 다양한 개념적 자원들의 결합으로 탄생하게 된다는 것을 예증(illustration)하는 데 있다.

아래에서는 먼저 RBV를 적용하여 학생들의 모델 구성 활동을 해석한 결과를 Table 1에 요약하여 나타내었다. Table 1의 왼쪽 열에는 학생들의 토의를 통해 점차로 달라진 총 14개의 모델을 제시하였다. 모델의 내용 중 굵은 글씨로 표시한 것은 바로 전후(前後)의 모델과

Table 1. Students' Models of the Earth's Seasons and the Conceptual Resources Activated

순번	학생들의 계절 변화 모델		활성화된 개념적 자원	
	내용	모델에 포함된 자원	모델에 포함되지 않은 자원	
1	지구가 기울어진 채 <b>자전</b> 하고, 그리고 태양 주위를 공전하고 있기 때문에 계절의 변화가 생긴다.	· 지구 공전 · 지구 자전 · 지구 자전축 경사		
2	지구가 기울어진 채 태양 주위를 공전하고 있기 때문에 계절의 변화가 생긴다.		· 지구의 자전과 밤낮의 관계	
3	지구가 기울어진 채 태양 주위를 <b>타원 궤도를 따라</b> 공전하기 때문에 계절의 변화가 생긴다. <b>지구가 근일점에 있을 때는 겨울이고 원일점에 있을 때는 여름이다.</b>	· 지구 공전 궤도 모양(타원) · 공전 궤도 상 지구의 위치와 계절	· 근일점, 원일점 위치의 천문학적 변화	
4	지구가 기울어진 채 태양 주위를 공전하기 때문에 계절의 변화가 생긴다.		· 거리와 온도의 관계	
5	[모델 4의 내용] + <b>지구가 태양 주위를 공전하는 동안 지구 자전축의 방향은 변하지 않고 일정하다.</b>	· 지구 자전축 경사 방향의 변화		
6	[모델 5의 내용] + <b>계절 변화의 일차적인 원인은 햇빛을 받는 것에 있다.</b>	· 기온 변화의 원인으로 햇빛		
7	[모델 6의 내용] + <b>공전 궤도 상의 서로 다른 위치에 있는 지구의 기온이 다르다.</b>	· 계절에 따른 기온 변화		
8	[모델 7의 내용] + <b>북반구의 여름에는 많은 면적에 에너지를 받고 겨울에는 적은 면적에 에너지를 받는다. 에너지를 받는 면적이 다르기 때문에 북반구와 남반구의 계절도 다르다.</b>	· 여름과 겨울에 입사하는 에너지양(에너지를 받는 면적)의 차이 · 북반구와 남반구의 계절 차이		
9	지구가 기울어진 채 태양 주위를 <b>원궤도를 따라</b> 공전하기 때문에 계절의 변화가 생긴다. + [이하 모델 8의 내용]		· 타원 궤도 상에서 지구 공전 속도의 변화 · 공전 속도에 따라 받는 태양 에너지의 차이	
10	[모델 9의 내용] + <b>여름에는 태양의 고도가 높아 그림자의 길이가 짧고, 겨울에는 태양의 고도가 낮아 그림자의 길이가 길다.</b>	· 태양의 고도와 그림자 길이의 관계 · 계절에 따른 그림자의 길이 변화		
11	[모델 10의 내용] + <b>여름에는 단위 면적에 입사하는 태양 에너지 양이 많고, 겨울에는 단위 면적에 입사하는 태양 에너지 양이 적다.</b>	· 여름과 겨울에 입사하는 에너지양의 차이	· 광원의 고도, 빛이 비추는 면적, 단위 면적당 에너지양 사이의 관계	
12	[모델 10의 내용] + 여름에는 <b>태양의 고도가 높아</b> 단위 면적에 입사하는 태양 에너지 양이 많고, 겨울에는 <b>태양의 고도가 낮아</b> 단위 면적에 입사하는 태양 에너지 양이 적다.	· 태양의 고도와 단위 면적당 입사 에너지양의 관계		
13	[모델 12의 내용] + <b>태양의 고도에 따라 입사하는 에너지양이 다르기 때문에 같은 북반구에서도 위도에 따라 기온이 다르다.</b>	· 위도에 따른 기온의 차이		
14	[모델 10의 내용] + 여름에는 태양의 고도가 높아 단위 면적에 입사하는 태양 에너지 양이 많고 <b>낮의 길이가 길다.</b> 겨울에는 태양의 고도가 낮아 단위 면적에 입사하는 태양 에너지 양이 적고 <b>밤의 길이가 길다.</b> 태양의 고도에 따라 입사하는 에너지양이 다르기 때문에 같은 북반구에서도 위도에 따라 기온이 다르다.	· 계절에 따른 밤낮의 길이 차이 · 태양의 고도에 따른 태양의 일주운동 경로 차이	· 지구의 자전과 태양의 일주운동의 관계 · 태양의 일주운동 경로, 일조량, 기온 사이의 관계	

비교하여 새롭게 추가되거나 변화된 내용을 강조한 것이다. Table 1의 오른쪽 열에는 각각의 모델이 구성될 때 활성화된 개념적 자원들을 모델에 포함된 것과 포함되지 않은 것으로 구분하여 제시하였다.

이어지는 다음 절에서는 위와 같은 개괄적인 이해를 바탕으로 학생들의 계절 변화 모델 구성 활동을 질적으로 기술하고 그 특징을 RBV의 관점에서 논의한다. 이때는 학생들의 활동을 시간 순서에 따라 기술하면서 그들의 개념적 자원이 어떻게 활성화되고 그것이 계절 변화 모델을 구성하는 데 어떻게 기여하는지 보이게 될 것이다. 이 활동에는 총 12명의 학생들이 참여하였고, 이 중 본문에 인용된 담화 사례에서 이름으로 식별된 학생들은 총 6명이다. 본문에 사용된 학생들의 이름은 모두 가명이며, 누구인지 확인하지 못한 학생은 '학생'으로, 2명 이상의 학생들이 함께 이야기한 경우에는 '학생들'로 표시하였다.

## 2. 계절 변화 모델 구성 활동의 실제

본 연구자(교수)가 진행한 교육대학교 4학년 수업에서 학생들의 모델 구성은 "계절의 변화가 왜 생길까?"라는 직접적인 질문에 답하는 것으로부터 시작되었다. 아래의 발췌문에서 보는 것처럼 교수의 질문에 학생들은 입을 맞추어 답하였다.

교수: '계절의 변화가 왜 생길까요?'라고 하는 게 우리가 탐구해서 알아봐야 할 문제예요. ... 계절의 변화가 왜 생기죠?

학생들: (동시에 말한다.) 자전축이 기울어져 있고 돌아가기 때문입니다.

교수: ... 여기다 적어 볼게요. 뭐라고요? 다시.

학생들: 지구가 기울어진 채 자전을 하고, 기울어져 있기 때문,

교수: (판서하며 말한다.) 자, 지구가 기울어진 채,

학생들: (교수가 판서하는 동안 툭툭툭 말한다.) 자전하고 있고,

교수: 자전하고 있고,

학생들: 그리고 지구가 태양 주위를 공전하고 있기 때문입니다.

교수: 그리고 태양 주위를 공전하고 있기 때문이다.

위의 담화에서 확인할 수 있는 '지구가 기울어진 채 자전과 공전을 하기 때문에 계절 변화가 생긴다.'는 생각은 지구의 계절에 관한 학생들의 개념을 조사한 다른 연구에서도 흔히 지적되어 왔던 것으로 (Atwood & Atwood, 1996; Chae, 1992; Kikas, 1998), 본 연구에서도 계절 변화의 원인을 묻는 질문에 의해 자동적으로 활성화되는 것처럼 보였다. 즉, 학생들은 계절 변화의 원인을 묻는 질문에 '지구는 자전한다.', '지구는 태양 주위를 공전한다.', '지구의 자전축은 기울어져 있다.'와 같은 개념적 자원들을 자동적으로 활성화해 내고 그들을 결합하여 최초의 모델(모델 1)을 구성하였다고 할 수 있다.

하지만 이 최초의 모델은 곧 '지구의 자전은 밤낮을 좌우한다.'는 개념적 자원을 활성화해 낸 학생들 자신에 의해 새로운 모델로 변화하였다. 아래의 담화에서 보는 것과 같이, 모델 2에서는 모든 학생들의 합의를 바탕으로 지구의 자전이 계절 변화를 설명하는 모델의 내용에서 제외되었다.

교수: 혹시 이것[모델 1]에 대해서 좀 더 보충하거나 이상하다, 고쳐야 되겠다 싶은 사람 있으면 얘기해 보세요. '지구가 기울어진 채 자전하고 있고, 그리고 태양 주위를 공전하고 있기 때문에 계절의 변화가 생긴다.'

학생들: 자전을 빼고.

교수: 자전을 빼고 싶어요?

가인: 저거는 밤낮을 좌우.

학생들: 맞아요.

교수: 자전은 밤낮을 좌우하는 거다? 다 그렇게 생각해요?

학생들: 네.

교수: ... 그럼 지울게요. 자, '지구가 기울어진 채 태양 주위를 공전하고 있기 때문에 계절의 변화가 생긴다.'

과학적인 견지에서 볼 때, 지구의 자전은 태양의 일조 시간과 관계하기 때문에 기존의 계절적인 변화를 초래하는 한 요인이 된다. 하지만 학생들은 '지구의 자전은 밤낮을 좌우한다.'는 개념적 자원을 근거로 최초의 모델을 수정한다. 즉, 지구의 자전과 밤낮의 관계에 대한 개념적 자원은 모델의 내용에 포함되지는 않았지만 기존의 모델을 평가하는 역할을 하였다고 할 수 있다.

그런데 모델 1이 모델 2로 변하는 것과 유사한 과정이 곧 이어졌다. 한 학생(나정)이 '지구의 공전 궤도는 타원이다.'라는 개념적 자원을 활성화해 내었고, 연이어 다른 학생들도 '지구가 근일점에 있을 때 겨울이고, 원일점에 있을 때 여름이다.'라고 자신들이 이미 학습하여 알고 개념적 자원을 기억해 내었다. 그 결과, 학생들의 모델은 타원 궤도를 포함하는 모델 3으로 변화하였다. 하지만 곧 다시 다른 학생(가인)이 문제를 제기하였고, 모든 학생들이 동의함으로써 학생들의 계절 변화 모델은 모델 4로 변하게 되었다.

가인: 만약에 타원 궤도를 따라 공전하는 게 ... 계절의 변화가 생기는 데 결정적인 역할을 하는 것이라면, 근일점일 때 여름인 게 일반적으로 생각하는 것과 맞고 원일점일 때 겨울인 게 일반적으로 맞는데, 반대인 거를 보니까 타원 궤도를 따라 공전하는 게 큰 영향을 주진 않는 거 같아요.

교수: 큰 영향을 주지 않을 것 같다? 다시 지우자? (학생들 웃음) ... 어떻게 할까요? 타원 궤도 얘기를 추가를 할까요, 뺄까요? ...

다빈: 중요하진 않을 것 같아요.

교수: 중요하진 않을 것 같아요? 왜요?

다빈: 타원 궤도가 아니라고 ... 생각하고, 기울어진 것만을 생각 했을 때도 계절 변화는 일어나기 때문에. ...

라희: 가인이 말이 맞는 거 같아요.

교수: 아, 이게 상황이 이러니까, 가인이가 얘기한 대로?

다빈: 예.

교수: 만약에 타원 궤도가 영향을 미치는 거면, 결국 거리의 영향을 받는다는 얘기잖아요. 그런데 저런 상황을 봐서는, 근일점에서 겨울인 걸 봐서는 거리가 영향을 미치지 않는 것 같다.

다빈: 맞다. 네. (학생들 웃음.)

교수: 네, 좋아요. 다시 지울게요. 자, '지구가 기울어진 채 태양 주위를 공전하고 있기 때문이다.'

위의 담화에서는 먼저 가인이 '광원에서 가까울수록 온도가 높다.'는 개념적 자원에 비추어 타원 궤도가 계절의 변화에 미치는 영향이 적다는 점을 지적하였고, 학생들이 같은 의견을 연달아 제시함으로써 모델의 수정이 이루어졌다. 즉, 이 경우에도 거리와 온도의 관계에



대한 개념적 자원이 기존의 모델을 평가하는 데 기여하였다고 할 수 있다. 결국 계절 변화의 원인에 관한 학생들의 모델은 ‘지구가 기울어진 채 태양 주위를 공전하기 때문에 계절의 변화가 생긴다.’는 것이 되었다(모델 4). 특히 학생들의 모델이 모델 1에서 4로 변하는 과정을 보면, 하나의 개념적 자원이 활성화되면 그와 관련된 자원들이 연계적으로 활성화되는 특징을 발견할 수 있다. 또, 이렇게 연쇄적으로 활성화된 자원들은 모델의 내용에 추가되어 모델의 내용을 풍부하게 하거나, 기존의 모델을 평가하는 역할을 하여 모델 수정에 기여하였다.

그런데 학생들의 모델 4는 지구의 자전축 경사가 어떻게 계절 변화를 일으키는지, 그 구체적인 인과적인 과정이 결여된 단순한 것이었다. 이 모델이 좀 더 구체화된 것은 모델의 타당성을 테스트하기 위하여 실험을 설계하는 과정에서였다. 실험을 위하여 학생들은 어떤 재료를 가지고 물리적인 모델(physical model)을 만들고 그것을 어떻게 작동할 것인지 토의하여 결정해야 했다. 실제 이 과정에서는 먼저 ‘지구가 태양 주위를 공전하는 동안 지구 자전축 방향은 변하지 않는다.’는 개념적 자원이 활성화되어 모델의 내용에 추가되었고(모델 5), ‘기온 변화의 원인은 햇빛을 받는 것에 있다.’, ‘계절 변화는 기온 변화를 통해 확인할 수 있다.’는 개념적 자원이 각각 모델 6과 모델 7을 구성하는 데 기여하였다(모델 5, 6, 7의 내용은 Table 1 참조). 학생들은 모델 7까지 합의한 후에 백열전구 주위에 자전축이 기울어진 지구본과 기울어지지 않은 지구본을 공전 궤도상의 4개 지점에 놓고 우리나라 위치에서 온도를 재는 실험을 통해 자신들의 모델을 테스트하는 실험을 설계하였다.

그런데 위와 같은 모델과 실험 방법 역시 계절 변화의 원인으로 태양 에너지를 언급하고 있을 뿐, 계절에 따라 우리나라에 입사하는 태양 에너지가 달라지는 기작(mechanism)을 설명하기에는 부족한 것이었다. 이와 관련하여 다음과 같이 한 학생(마영)이 새로운 실험 방법을 제안하였다.

마영: 제가 생각하기에는 [단순히] 온도의 변화가 [생긴다고 말하기]보다 전구를 켜었을 때 단위 면적당 받는 그 에너지 차이를 보아야 된다고 생각을 해요. (교수: 예.) 만약에 지구본을 둘 거면 ... 면적을 볼 수 있는 거를 써서 (교수: 음.) 여름일 때 북반구가 도대체 어느 정도 면적에 에너지를 ... 받고 있는가, 그게 눈으로 보여야 된다고 생각을 해요. 온도 차이보다는 그게,

교수: 그러니까 이 상태에서 온도 변화를 넣지 말고,

마영: ... 북반구에 여름이고 남반구에 겨울인 게 눈에 보여야 한다고 생각을 해요. 그래서 만약에 지구본을 둘 거면 ... 면적이 있는 걸로 써야져 있다가나, 그런 걸로,

교수: 아, 모눈 같은 걸로?

마영: 네, 지구본을 그렇게 생긴 걸로 둘러싸서 전구를 켜었을 때 과연 북반구에 어느 면적에 빛에너지를 많이 받고 남반구에는 안 받느냐 봐야 된다고 [생각해요.]

교수: 지금 마영이가 얘기한 것은 ‘북반구와 남반구의 계절이 반대다.’라는 것을 설명하려는 거 같은데요. 그죠? ...

마영: 제가 생각했을 때는, 계절의 변화라는 게 여름이 있고 겨울이 있는 거잖아요. (교수: 네.) ... 이쪽에 있을 때는 적은 면적에 에너지를 받잖아요. (교수: 음.) ... 수직이라면 여기 있든, 여기 있든 동일한 면적에 에너지를 받잖아요.

교수: 아, 굳이 남반구, 북반구 비교가 아니라 ... 여름의 위치에 있을 때하고, 우리나라가 겨울에 있을 때하고 받는 에너지양이 다르다는 것이 보여야 된다, 이런 식으로. 그렇단 얘기네요.

마영: 온도 변화보다는 그게 눈에 더 잘 보여야 된다는 얘기예요.

마영이가 활성화해 낸 개념적 자원은 계절 변화가 단순히 햇빛을 받는 것에 따라 좌우되는 것이 아니라 입사하는 에너지양에 따라 다르다는 좀 더 구체적인 인과적인 설명을 담고 있는 것이었다. 다만 마영이는 입사 에너지양을 에너지를 받는 ‘면적’과 동일하게 취급하였다. 하지만 결과적으로 마영이가 활성화한 개념적 자원이 모델에 포함됨으로써 학생들의 계절 변화 모델은 더욱 구체적으로 변화하였다(모델 8). 이밖에도 마영이는 “[지구의 공전 궤도가 타원이라면] 공전 속도까지 계산을 해야 되니까” 지구가 원궤도를 돈다는 가정을 분명히 하자고 하였다. 즉, 실제 지구는 근일점을 지날 때와 원일점을 지날 때 속도에 차이가 나므로 그 때 받는 태양 에너지도 다르다는 것이다. 하지만 이것을 실제로 실험을 통해 구현하기는 어려우므로 지구의 공전 궤도를 원궤도로 가정하고 실험에서도 지구본을 백열전구 주위에 같은 거리에 놓아야 한다고 주장하였다. 이에 따라 학생들의 모델은 원궤도를 적시하는 것으로 좀 더 변화하였다(모델 9).

그런데 앞서 학생들의 개념적 자원이 연쇄적으로 활성화되었던 것처럼, 에너지를 받는 면적을 측정하자는 마영이의 제안은 다른 학생들이 새로운 개념적 자원들을 활성화하는 계기가 되었다.

나정: 그, 그,

교수: 뭐, 뭐?

나정: 예전에 해 봤는데, 기억이 안 나.

교수: 응?

나정: 그림자 보는 거.

교수: 그림자 보는 거?

나정: 이렇게 지구본에다 막대기가 세워진 거 있거든요. (교수: 예.) ... 그거를 우리나라 위도에 맞춰서 놓고 전구를 쏘면 이게 수직이니까 각이 생기잖아요. (교수: 예.) 그 각도에 따라서 ...

교수: 각이 어디서 생긴다는 얘기예요?

나정: 그 바닥에 뭐가 있어요.

교수: 예. (칠판에 ‘막대기 장치’의 그림을 그리며) 이런 게 있는 거죠, 이런 게?

나정: 네, 맞아요. (학생들 웃음) 그런 게 햇빛하고, 그 뭐냐, 각도가 생기잖아요.

교수: 네. (그림을 그리며) 여기서 빛이 올 테니까, 이렇게 오면 각이 생기겠죠? 이 각을 얘기하는 거예요?

나정: 네, 네. 그 각도의 차이가 뭘 의미했는데, 그게 뭔지, 차이가 뭔지 잘 모르겠어요.

위에서 나정이는 과거 수업에서 막대기의 그림자 길이를 이용하여 광원의 고도를 간접적으로 측정할 수 있도록 만들어진 ‘막대기 장치 (또는 고도 측정기)’를 상기하면서, 그로부터 알게 된 개념적 자원을 활성화해 내려고 애쓰고 있다. 나정이가 활성화해 내려는 개념적 자원은 태양의 남중고도에 관한 것으로, 장치 남중고도가 달라져 계절 변화가 일어난다는 인과적 설명을 포함하는 세련된 모델을 구성하는 데 크게 기여할 수 있는 것이었다. 하지만 위의 담화에서 보는 것처럼



나정이는 자신의 개념적 자원을 잘 활성화해 내지 못하고 있다. 사실 나정이는 처음 지구의 공전 궤도가 타원이라는 개념적 자원을 이야기 할 때도 “기억이 안 나.”, “근일점하고 원일점은 배운 기억만 가지고 있습니다.”와 같이 자신 없는 태도를 보이곤 했다. 따라서 이번에는 막대기 장치의 사용과 관련된 다른 학생들의 개념적 자원을 활성화하기 위하여 교수가 질문을 던졌다.

교수: 이게 뭘지 아는 사람 있어요? 지금 나정이가 얘기하는 게 뭘 의미하는 건지? ... 나정인 각도와 그랬는데. 이거 그림자가 생기는데.

학생들: 태양 고도. ...

교수: 태양의 고도가 여기서 필요한 이유는 뭐예요? ... 이 각도는 막대기하고 입사하는 빛이 이루는 각인데 ... 그림자의 길이하고 태양의 고도하고 어떤 관계가 있길래, 그리고 그게 또 계절의 변화하고 무슨 상관이 있길래 저 실험을 하라고 하는 거죠?

바현: 기울어 있지 않으면, 그림자의 길이나, 뭐 각도나 똑같지 않아요?

교수: 아, 그러니까 지구가 기울어져 있지 않으면 막대를 세워 봤자 일 년 내내 막대 그림자의 길이나 저기서 얘기했던 각도나 변하지 않을 거다, 그런 얘기죠? 그럼 기울어져 있으면 어떻게 변하는데요? 여기서는요?

바현: 그림자가 짧아요.

교수: 그림자가 짧아요? 여기가, 여름이라고 생각하는 여기가 그림자가 짧고, 반대로 겨울에는?

학생들: 길어요.

교수: 그것만 가지고도 겨울인지, 여름인지 확실할 수 있다는 말이지. 그죠?

결과적으로 교수의 단계적인 질문에 따라 학생들은 지구본에 설치된 막대기 장치를 이용하여 태양의 남중고도를 알 수 있고, 여름에는 태양의 남중고도가 높아 그림자의 길이가 짧고 겨울에는 태양의 남중고도가 낮아 그림자의 길이가 길다는 개념적 자원들을 연계적으로 활성화하였다. 이러한 자원들은 모두 학생들의 모델에 포함되어 그들의 모델은 계절에 따른 그림자의 길이 차이를 설명하는 것으로까지 발전하였다(모델 10). 그런데 여기서 주목하여 볼 것은 학생들은 태양의 남중고도를 단순히 ‘고도’라고 지칭하고 있다는 것이다. 또, 모델 10은 태양의 (남중)고도 변화를 언급하고는 있지만, 그것이 특정한 지역에 입사하는 태양 에너지양과 어떻게 관계하여 계절 변화를 일으키는지에 대한 설명은 아직 포함하고 있지 않다. 그런데 여름과 겨울에 입사하는 태양 에너지의 양을 측정하는 실험 방법에 관하여 이야기하는 중에 학생들 간에 논쟁이 벌어졌다.

교수: 지금 3가지 방법이 나왔어요. ... 여름, 겨울을 확인하는 방법. 온도를 재서 높으나, 낮으나, 이걸 재자. 그 다음에 모눈종이를 깔아서 ... 이쪽에 단위 면적에 입사하는 에너지양이 많으나, 적으나, 이걸 보자는 얘기하고, ... 막대기를 써서 그림자가 짧으나, 기냐를 가지고 여름, 겨울을 판단하자는 얘기가 나왔어요. ... 만약 모눈종이를 썼으면 여름에는 어떻게 되는 거예요? 모눈의 눈금이 많아요, 적어요?

마영: 많아요. (잠시 후 동료들에게) 적어요?

가인: 모눈의 양이 적어요.

교수: 마영이. (마영: 네.) 여름, 여기에다가 모눈종이를 쪽 깔았어요. (마영: 네.) 그러면, 비추면, 여름에는 모눈이?

학생: 적어요.

마영: 많,

학생: 적어요.

가인: 작아요. (학생들이 ‘적다’고 반복하여 대답한다.)

교수: 적은 거예요?

학생들: 네.

가인: 적어요. 당연하지.

교수: 겨울에는 많고?

학생들: 네.

마영: 왜?

교수: 확실해?

라희: 에너지가 단위 면적당 많이 받으면 적으니까,

학생들: 응, 적어야지. ...

마영: 많잖아? 많지 않아?

학생: [에너지 차이가] 나잖아.

마영: 어, 많은데.

교수: ... 이거 딱 갈리는데. 모눈의 개수가 적다는 의견도 있고, 많다는 의견도 있어요.

학생: 단위 면적당 에너지가 높으려면 당연히 면적이 적어야 되는 거지.

학생: 면적이 적어야지.

마영: 아, 그렇게 생각하면 맞는데, 저렇게 하면 당연히 많지. 음, 모눈이.

위 담화에서 교수는 지구본에 모눈종이를 씌우고 전구의 빛을 비추었을 때, 북반구의 여름에 빛을 받는 모눈의 개수가 겨울에 비하여 많은지 혹은 적은지를 묻고 있다. 이에 대해 학생들은 서로 다른 의견을 제시하고 있다. 특히 마영이는 다른 학생들과 다른 주장을 반복하며 동료들과 논쟁하고 있다. 이렇게 의견이 다른 까닭은 학생들이 이전에 하였던 실험의 맥락과 현재 하려고 하는 실험의 맥락이 다르기 때문이었다. 다른 수업에서 학생들은 평면에 모눈종이를 놓고 손전등을 수직으로 세워 빛을 비추고, 또 기울여서 빛을 비추는 후 빛이 비추는 모눈의 개수를 세어 단위 면적당 입사하는 에너지양을 비교하였다. 물론 그 경우에는 손전등을 수직으로 세웠을 때, 즉 태양의 남중고도가 높은 여름에 상응하는 때에 빛이 비추는 모눈의 개수가 적었다. 대부분의 학생들은 그 때 얻은 개념적 자원을 그대로 적용하여 현재의 실험에서도 여름에 빛이 비추는 모눈의 개수가 적어야 한다고 말하고 있다. 하지만 현재의 실험은 백열전구가 둥근 지구본을 비추는 상황이므로 북반구가 여름의 위치에 있을 때 북반구가 남반구보다 더 넓은 면적에 빛을 받게 된다. 따라서 마영이는 현재의 상황에 충실한 의견을 제시하였고 다른 학생들은 이전의 실험 상황에 근거한 의견을 제시하여 서로 대립하고 있다고 할 수 있다. 위의 논쟁은 이후에도 좀 더 진행된 뒤에 이전 실험과 지금의 실험 상황이 다르다는 것을 깨닫게 되면서 해소되었고, 학생들의 새로운 모델(모델 11)에는 이전 실험을 통해 얻은 개념적 자원의 내용이 추가되었다. 즉, 모델 11은 여름에는 단위 면적당 받는 태양 에너지의 양이 많고 겨울에는 적다는 설명도 포함하게 되었다.

하지만 학생들은 실험이 지니는 맥락의 차이 때문에 여전히 입사 에너지양의 변화를 태양 고도의 변화와 연결시키는 데 어려움을 겪었다. 실제로 논쟁의 과정 중에 몇몇 학생들은 맥락의 차이가 어떤 혼란을 불러 오는지 다음과 같이 이야기해 주었다.

라희: 그럼 오개념이 생길 수 있지 않을까요?

가인: 그런데 이거 저번에 실험을 했을 때도 그랬는데, (교수: 네.) ... 햇빛을 저희가 전구라고 생각을 하는 거잖아요 (교수: 네, 네.) 그 때 모눈종이에 다 대고 그냥 수직 방향에서 ... 봤을 때 [빛이 비추는 면적] 이게 작아지잖아요. 작아졌을 때, 이게 에너지가 많다, 이렇게 배웠고, 그걸 [기울이면] 많이 분산이 되어서 에너지가 적다라고 배웠는데, 정작 저 상황에서는 ... [북반구가 태양을 향해] 기울어져 있을 때는 ... 이게 또 넓어지고, 그래서 약간 오개념이 생겼어요.

따라서 이제 학생들의 모델이 과학적인 설명과 더욱 부합하는 것으로 발전하기 위해서는 여름과 겨울에 단위 면적에 입사하는 에너지량의 차이를 남중고도와 관련지어 설명할 필요가 있었다. 그런데 이와 관련된 개념적 자원을 활성화해 낸 것은 활동 내내 자신감 없는 태도를 보였던 나정으로부터였다.

나정: (동료에게 질문한다.) ... 단위면적당 에너지는 고도가 높아지면,

가인: 집중되지.

라희: 집중 돼.

나정: 그럼 아까 그 실험은 뭐가, 어디가 문제야?

가인: 응?

나정: 아까 너네가 오개념이 생길 수 있다고 했잖아.

가인: 아, 그러니까,

나정: 아, 나 헛갈려!

교수: 헛갈릴 거야. 이 실험이 이해가 안 된다는 얘기잖아, 지금?

나정: 네, 네. ...

교수: 그러니까 ... 평면에 빛이 어떻게 입사하느냐에 따라서 실제로 단위 면적당,

나정: (갑작스럽게 끼어들며) 태양 고도랑 지면에 받는 단위 면적당 에너지랑 관련이 있는 거잖아요?

교수: 관련이 있죠.

나정: 그러면은 아까 ... 말했던 저 실험 있잖아요. (교수: 예.) 그림자가 생길 거 아니에요. 그 그림자 끝이랑 막대의 끝이랑 이으면 각도를 잴 수 있잖아요. (교수: 예.) 그게 태양 고도 아니에요?

교수: 그림자 끝이랑 막대의 끝? 맞죠. 태양 고도를 그렇게 잴 수 있죠.

나정: 그러면은 그 태양 고도에 따라서, 단위 면적당 에너지가 태양 고도와 관련이 있으니까, 단위 면적당 에너지 나오고 그럴 때 저걸 써도 되지 않아요? ...

교수: 음, 막대기를 쓰자?

나정: 그거를, 태양의 고도와 에너지의 양에 관계가 있으니까.

물론 다른 학생들도 태양의 고도와 단위 면적당 에너지량의 관계를 알지 못하였다고는 할 수 없다. 하지만 평면에서 수행하였던 실험과 현재의 실험 간의 맥락 차이로 인해 혼란스러워하는 동안 학생들은 그 관계에 관한 개념적 자원을 적절하게 적용하지 못하였다. 반면, 자신이 처음 제안한 막대기 장치에 관해 숙고하던 나정이는 태양 에너지량의 차이를 남중고도와 관련짓는 개념적 자원을 활성화해 낼 수 있었다. 그 덕분에 학생들의 모델은 새로운 것으로 발전하였고(모델 12), 실제 실험에서는 막대기의 그림자 길이를 통해 태양의 남중고도를 간접적으로 측정하고 그것을 단위 면적당 입사하는 에너지량과 관

련짓는 데 합의하게 되었다. 학생들의 모델 12는 여름과 겨울에 기온의 차이가 나는 이유까지 설명할 수 있는 것으로, 지구의 계절에 관한 과학적인 설명에 매우 근접한 것이다. 그리고 이러한 계절 변화 모델은 특정한 학생이 단번에 제안하여 얻어진 것이 아니라, 다수의 학생들이 토의에 참여하면서 다양한 개념적 자원들을 활성화해 내고 그들이 지속적으로 결합하여 얻어진 것이라는 점에서 의의가 있다.

그런데 학생들이 다시 모눈종이를 이용한 실험에 관해 이야기하기 시작하였을 때 교수가 좀 더 도전적인 질문을 던졌고, 이것이 학생들의 개념적 자원을 활성화하여 그들의 모델이 더욱 설명 범위가 넓은 것으로 발전하는 계기가 되었다.

미영: 이게 당연히, 이렇게 [평면에 모눈종이를] 놔두면 당연히 양빛이 비추는

모눈의 개수가 작아지지. (가인: 어, 어.) 그런데 이렇게 [지구본에서]

따지면 이게[빛이 비추는 모눈의 개수] 훨씬 많은데다가, 고도가 ...

가인: 실험을 할 거면 이렇게 두 번을 나눠서 가야 되는 거라고.

미영: [평면도] 보고, 고도도 봐야 하는데, 이렇게 따지면 이상한 거잖아.

나정: 그렇지. 그러네. 그러네.

교수: 자, 그러면 내가 질문. 총량이 많다는 게 모눈의 개수가 많다는 얘기잖아.

가인: 그런데 저희가 그때 ... 고도만 따진 거예요. 총량을 따진 게 아니라.

교수: 어, 뭘 세었는지는 알겠는데 ... 내 질문은 뭐냐 하면, 그렇다고 하면 북반구에 우리나라나 적도나 북극 쪽이나,

나정: 아아.

가인: 똑같아야 된다는 거야?

교수: 똑같이 온도가, (나정: 아아.) 똑같아야 될 거 아냐. (나정: 으음.) 그렇지 않아요? 북반구의 에너지 총량이 남반구보다 많다는 건 이해가 돼.

(학생들: 네.) 그런데 우리가 경험하는 계절은, 우리나라의 계절이랑,

미영: 다 다르니까. ... 그래도 막대기로 하면,

나정: 그래 막대기로. (학생들 웃음.) ...

가인: 위도에 따라서 다 틀리지, 막대기의 그림자의 길이, 즉 태양의 남중고도는 ...

나정: 여러 개, 하나가 아니라, 다르게 생기잖아, 위도 값에 따라서.

라희: 같은 위치[경도]에 있어도 위도 따라 틀리잖아.

교수: 그렇지. 그러니까 만약에,

라희: 북극에 막대기를 세운 거랑, 우리나라에 막대기를 세운 거랑 똑같지가 않아요. ...

나정: 응. 응.

미영: 아, 막대기를 여러 개를 해 놓으면 되지 않아요?

나정: 어. 어.

교수: 그렇다면 이거는 뭐가 되느냐 하면 단순히 우리나라에 계절 변화가 왜 생기느냐의 문제가 아니라, 계절 변화가 생김에도 불구하고 북반구가 위도에 따라서,

라희: 차이난다.

교수: 그치. 같은 계절인데도 온도가 차이난다, 이거를 설명할 수 있겠죠.

위에서 보는 것과 같이, 학생들은 교수의 질문을 단서 삼아 같은 북반구에서도 위도에 따라 기온이 다르다는 과학적 사실을 개념적 자원으로 활성화해 내었다. 그리고 그것을 이미 활성화하였던 태양 고도와 입사 에너지량, 그림자의 길이 사이의 관계에 대한 개념적 자원들과 결합하여 위도에 따른 기온 차이를 설명할 수 있는 모델을 구성하였다

(모델 13). 더 나아가 학생들은 나정이의 새로운 질문을 계기로 또 다른 개념적 자원을 활성화해 내고, 좀 더 새로운 모델을 제안하게 된다.

나정: 근데 있잖아, 나 궁금한 게 있는데 ... 단위 면적당 에너지가 많으면 당연히 온도가 올라가잖아.

라희: 응.

나정: 이해 됐어. 그러면 ... 여름에는 밤이 길고, 아니 낮이 길고 겨울엔 밤이 길잖아? 그건 뭐 때문이지?

학생들: 고도 때문. 고도.

나정: 태양 때문이야?

학생들: 어.

라희: 고도가 높잖아. 그러면, 이렇게 가는 거랑, 이렇게 가는 거랑,

나정: 어, 맞네. 고도네, 고도야.

위의 담화에서 주목하여 볼 것은 역시 과학적인 개념에 자신이 없어 하는 나정이의 질문이 계절에 따른 밤낮의 길이 차이, 남중고도에 따른 태양의 일주운동 경로의 차이에 관한 다른 학생들의 개념적 자원을 활성화 하였고, 그렇게 활성화된 자원들이 모델을 보다 발전시키는 데 기여하였다는 점이다. 즉, 나정이의 질문으로부터 시작하여 학생들의 모델은 태양의 고도가 밤낮의 길이와도 관계한다는 내용을 포함하는 것으로 바뀌게 되었다(모델 14). 이와 더불어, 다음 마지막 담화 사례에서 보는 것처럼, 토의 과정 중에는 모델 2에서 제외되었던 지구의 자전이 계절 변화에 영향을 미치는 요인 중의 하나로 다시 고려되기도 하였다. 하지만 학생들은 이를 자신들의 모델에는 포함하지 않기로 결정한다. 즉, 지구의 자전과 일조량의 관계에 관한 개념적 자원이 활성화되었지만 새로운 모델로 발전되지는 못하였고, 학생들의 모델은 모델 14에서 완성되었다.

교수: 굉장히 중요한 얘길 했는데, 결국에는 그 얘기는 고도가 높으면 일조량이 많다는 얘기잖아.

학생들: 네.

교수: ... 그 얘기는 자전도 영향을 미친다는 얘기 아니냐?

학생들: (놀라며) 어!

교수: 계절의 변화에. (학생들, “우와!”하며 웅성거린다.) 그렇지 않아요?

나정: 자전?

교수: 그 얘기 아니야?

학생들: (웅성거리며 말한다.) 고도 때문이죠.

교수: 고도 때문?

가인: 응응. 그죠. 그죠. 자전이 아니라.

교수: 고도가 더 근본적이다?

학생들: 네, 네.

교수: 응응. 고도 때문이다. 알겠어. (학생들 웃음)

이상과 같이 본 절에서는 교육대학교 4학년 학생들이 계절 변화 모델을 구성하고 실험을 설계하기 위하여 토의하는 과정을 RBV에서 제안한 개념적 자원에 초점을 맞추어 해석하였다. 이러한 작업을 통해 알 수 있는 특징을 학생들의 개념적 자원이 활성화되고 그것이 모델 구성에 기여하는 방식을 중심으로 요약하면 다음과 같다.

첫째, 학생들의 계절 변화 모델은 하나의 전체로서 단번에 제안된 것이 아니라 학생들이 활성화해 낸 다양한 개념적 자원들이 결합하여 만들어졌다. 특히 개념적 자원의 활성화는 연계적이고 연쇄적으로 발생하였다. 즉, 학생들이 계절 변화를 주제로 토론하고 합의하는 활동의 맥락이 다양한 개념적 자원들의 활성화에 기여하고, 활성화된 자원들이 다시 학생들 간의 토의를 촉진하여 새로운 자원을 이끌어 내는 역할을 하였다. 또, 이 과정에서는 과학에 자신감이 없어 하는 학생의 아이디어조차 논의를 위한 자원의 하나로 고려되었다.

둘째, 활동에 참여한 학생들이 다양한 개념적 자원들을 활성화해 내었다고 해서 그것들이 모두 모델에 포함되는 것은 아니었다. 오히려 활성화된 자원들 중에 어떤 것이 모델에 포함되는가 하는 것은 학생들 간의 토론에 의해 결정되었다. 이는 개념적 자원의 활성화가 대부분 현재까지의 모델을 평가하고 모델이 설명하는 ‘범위(range)와 자세함(resolution)’(Parnafes, 2012)을 높이려는 과정에서 이루어졌다는 점과 맥을 같이 한다. 즉, 과학적 실천 행위의 하나로서 모델 구성 활동은 개념적 자원의 활성화뿐만 아니라 그것의 평가까지도 포함하는 메타(meta)적인 성격의 활동임을 알 수 있다.

셋째, 학생들이 활성화한 자원이 과학적인 모델을 구성하는 데 제한점으로 작용하기도 하였다. 이는 태양 고도와 기온과의 관계에 관하여 학생들이 평면상에서 수행한 실험의 결과로 인해 입체적인 모델을 이용한 실험 상황을 잘 이해하지 못하는 것을 통해 잘 드러났다. 물론 본 연구에서는 한 학생이 활성화해 낸 개념적 자원 덕분에 문제가 해결되었지만, 학생들이 활성화한 자원만으로는 과학적인 모델에 이르는 것이 쉽지 않다는 것을 잘 알 수 있다. 또 다른 예로, 학생들은 토론하는 내내 ‘남중고도’라고 해야 될 것을 ‘고도’라고 말하였고, 계절 변화의 원인으로 ‘지구의 자전’을 거의 자동적으로 활성화하였지만 그것이 지구의 계절에 어떻게 기여하는지 설명하는 모델을 구성하는 데까지는 이르지 못하였다. 따라서 학생들의 개념적 자원을 기반으로 하는 모델 구성 활동에서도 교사의 교수법적인 역할이 필수적이라는 것을 시사 받을 수 있다.

## V. 결론

지금까지 본 논문에서는 Hammer와 동료들이 발전시켜 온 대안적인 인지 이론으로서 RBV를 이론적으로 고찰하고, 그것을 대학생들의 모델 구성 활동을 해석하는 데 적용하여 이론의 유용성을 예시적으로 살펴보았다. 이러한 연구의 결과가 과학 교수학습과 과학 교육 연구에 시사하는 점을 결론으로 제시하면 다음과 같다.

첫째, RBV가 제안하는 과학 교수-학습 방법은 기본적으로 학생들은 자연 세계를 이해하고 그것에 관해 과학적으로 추론하는 데 싹이 될 만한(nascent) 자원들을 다양하게 가지고 있다는 믿음을 바탕으로 한다. 그리고 학생들이 수업의 맥락에 적절한 자원들을 찾아 적용할 수 있도록 도와주고, 학생들로부터 활성화한 자원을 바탕으로 수업을 내용과 방법, 과정의 측면에서 생산적인 방향으로 전개해 가는 것이 교사의 역할이라고 말한다. Hammer(Hammer *et al.*, 2012)와 Maskiewicz & Winters(2012)는 이러한 접근법을 ‘반응적 교수(responsive teaching)’라고 개념화하면서, 이러한 방법은 학생들이 개념적 지식을 얻게 하는 데 뿐만 아니라 과학 수업을 탐구적으로 발전시키는 데 효과적이라고 주장하였다. 교사가 반응적 교수를 실현하기

위해서는 학생들이 가지고 있는 자원의 옳고 그름이나 개인 능력의 성숙·미성숙 정도를 판단하려 하지 말고, 그런 자원들이 활성화되거나 활성화되지 않는 상황에 관심을 가지는 태도가 필요하다. 즉, 왜 그런 자원들이 발현되거나 발현되지 않았는지 이해하고, 그것을 바탕으로 생산적인 자원의 활성화가 일어날 수 있는 맥락을 조성하기 위해 노력해야 한다(Elby & Hammer, 2010; Hammer *et al.*, 2005; Levin *et al.*, 2009). 특히 그러한 맥락의 조성은 기존 수업 방식을 획기적으로 전환해야만 가능한 것이 아니라 질문의 형태, 설명의 방법, 문제의 구조화 방식 등과 같은 작은 변화로부터 유도될 수 있다는 점을 기억할 필요가 있다(Elby & Hammer, 2010; Hammer, 2004c; Louca *et al.*, 2004; May *et al.*, 2006; Rosenberg *et al.*, 2008).

둘째, 탐구에 대한 인식도 확대되어야 한다. Hammer(2004c)는 학생들이 일정한 단계를 따라 옳은 결론에 이르게 하는 활동만을 좋은 과학 탐구로 여겨왔던 전통적인 시각을 비판적으로 지적한다. 그에 따르면, 학생들이 가지고 있는 다양한 자원들이 활성화되어 수많은 사고(reasoning)의 가능성이 시험되는 활동을 좋은 활동이라 할 수 있다. 이점에서 RBV는 탐구를 위한 고정된 절차와 방법이 있거나 학생들이 주도적으로 모든 단계를 매끄럽게 수행해야만 탐구가 되었다고 생각하는 것이 모두 탐구에 대한 협소한 관점이라고 지적해 온 여러 연구자들(Hodson, 1996; Millar & Driver, 1987; Oh, 2014; Songer *et al.*, 2003)의 견해와 맥을 같이 한다. RBV의 시각에서 보면, 탐구의 시도가 특정한 개념을 성취하거나 현재의 문제를 해결하는 데 성공적이지 못하더라도 그러한 활동을 경험하는 것 자체가 교육의 과정으로서 의미가 있다. 왜냐하면 탐구의 경험과 그로부터 얻은 지식이 새로운 자원이 되고, 그것이 다른 활동의 맥락에서 생산적으로 활성화됨으로써 학생들은 점차 세련된 과학적 탐구를 수행할 수 있다고 기대되기 때문이다(Hammer, 2004a, c). 따라서 과학의 탐구에는 매우 다양한 종류의 활동과 행위가 포함된다는 것을 인식하고 학생들의 행위와 능력을 자원으로 삼아 교실의 맥락에 적합한 탐구의 상을 조금씩 만들어 가는 교사의 노력과 그러한 노력을 존중하는 태도가 필요할 것이다(Hammer *et al.*, 2008; Levin *et al.*, 2009; Tang *et al.*, 2010).

셋째, 과학 교육 연구의 측면에서는 지금까지의 수업 연구의 방향을 점검하고 재정정할 필요가 있다. 그동안 과학 교육 분야에서는 교사 전문성에 관한 연구가 다각도로 진행되어 왔지만, 수업을 잘 하는 교사나 좋은 과학 수업에 관한 일관된 관점을 정립하지는 못하였다. 이러한 문제의 원인 중의 하나로는 좋은 수업을 기능 중심으로 정의하는 공학적인 태도를 꼽을 수 있다. 예를 들어, 지금까지 수업 연구와 평가, 장학 등에서는 학술적인 관점에서 제작한 평정 척도나 체크리스트를 기준으로 삼아 그러한 기준에서 기술하고 있는 기능들을 만족스러운 수준으로 수행하는 교사가 전문성을 갖추었다고 판단하여 왔다(Suh, 2013). 하지만 수업은 과학적일 뿐만 아니라 예술적이고 맥락에 따라 변화무쌍하기 때문에 이러한 기능 중심의 공학적인 접근으로는 좋은 수업을 정의하기 어렵고 교사의 전문성을 설명하는 데에도 한계가 있을 수밖에 없다(Lee, 2007; Oh, 2013; Suh, 2013).

과학 수업 연구에서 공학적인 접근이 가지는 제한점을 극복하기 위해서는 먼저 교사가 어떻게 말하고 행동하며 가르쳐야 하는지를 규정하는 공식이나 고정된 방법은 존재하지 않는다는 것을 전제해야 한다(Lidar *et al.*, 2006). RBV에 의하면 그것은 상황에 따라 다르다. 따라서 과학 수업 연구자들에게는 구체적인 다양한 수업의 맥락을

고려하여 교사와 학생의 행위를 이해하려는 태도가 우선적으로 필요하다. 예를 들어, 그동안 강의 중심, 교사 중심의 수업을 전통적인 것이라 하여 비판의 대상으로 삼아 온 연구자들의 태도를 재점검해 볼 필요가 있다. 만약 학교의 교실에서 RBV에 토대한 반응적 교수(Hammer *et al.*, 2012; Maskiewicz & Winters, 2012)가 이루어지고 있다면, 그것이 강의 중심으로 진행된다고 하더라도 학생들의 학습에는 유의미한 일이 될 수 있을 것이다. 또한, 연구자들이 제안하는 체크리스트의 모든 항목을 만족시키지는 못하더라도 RBV의 관점과 현장의 맥락에 비추어 가치 있는 탐구 수업 역시 존재할 수 있을 것이다. 그렇다면 그러한 수업을 발굴하여 학술 연구의 맥락에서 소개하고 과학 교육 공동체가 함께 숙고해 볼 수 있도록 하는 것이 과학 교육 연구자들에게 주어진 새로운 과제가 될 것이다.

넷째, 이상과 같이 대안적인 인지이론으로서 RBV는 과학 수업과 연구에 새로운 시사점을 제공하는 것이지만, 그와 관련된 논쟁점도 함께 생각해 보아야 한다. 예를 들어, RBV가 기본적으로 가정하고 있는 것과 같이 학습이 학생 개인에게 특별하고 고유한 방식으로 일어난다면, 한 교실에서 30명 내외의 학생들을 만나야 하는 교사는 어떻게 수업을 준비해야 할까? 이와 관련하여 Hammer & Sikorski(2015)는 학생들의 자원이 활성화되는 예측 가능한 패턴이 있다고 말한다. 또, 일군의 자원들이 반복적으로 활성화되고 조합되면, 그것이 점차 안정적인 인지적 구인으로 확립되어 여러 상황에서도 일관되게 나타날 수 있다고 주장한다(Hammer *et al.*, 2005). 하지만 지금까지는 학생들의 자원을 활성화하는 예측 가능한 방식이나 자원의 활성화가 안정하게 되는 과정에 대한 연구를 찾아보기 어렵다. 따라서 앞으로의 연구에서는 다양한 과학 수업 사례들로부터 학생들이 가지고 있는 자원의 활성화 패턴과 안정화 과정을 자세하게 탐색할 필요가 있다.

## 국문요약

본 연구의 목적은 두 가지였다. 첫째는 대안적인 인지 이론으로서 D. Hammer와 그의 동료들이 발전시켜 온 ‘자원 기반의 관점(RBV)’을 이론적으로 고찰하는 것이고, 둘째는 그것을 대학생들이 계절 변화에 관한 모델을 구성하는 학습 활동을 해석하는 데 적용하여 이론의 유용성을 예시적으로 보이는 것이었다. 이론적인 고찰은 관련 문헌을 탐색하여 이루어졌으며, 그 결과를 세 가지 유형의 자원들-개념적, 인식론적, 실천적 자원을 중심으로 정리하였다. 시험 적용을 통해 과학 모델은 하나의 전체로서 제안되기보다 참여자들에게서 활성화된 여러 가지 자원들이 결합하는 과정을 통해 구성된다는 것을 알 수 있었다. 하지만 활성화된 자원들이 모두 모델에 포함되는 것은 아니었으며, 어떤 개념적 자원들은 과학적인 모델을 구성하는 데 제한점으로 작용하기도 하였다. 과학 교육자들은 학생들이 가지고 있는 자원들에 주의를 기울이고 그에 반응적이어야 하며, 학생들이 자신의 자원을 생산적으로 활용하여 과학을 배울 수 있도록 도와야 한다는 것을 시사점으로 제안하였다.

**주제어** : 자원 기반 관점, 개념적 자원, 인식론적 자원, 실천적 자원, 모델, 계절

## References

- Atwood, R. K., & Atwood, V. A. (1996). Preservice elementary teachers' conceptions of the causes of seasons. *Journal of Research in Science Teaching*, 33(5), 553-563.
- Berland, L. K., Schwarz, C. V., Krist, C., Kenyon, L., Lo, A. S., & Reiser, B. J. (in press). Epistemologies in practice: Making scientific practices meaningful for students. *Journal of Research in Science Teaching*. Advance online publication doi: 10.1002/tea.21257.
- Berliner, D. C. (2002). Educational research: The hardest science of all. *Educational Researcher*, 31(8), 18-20.
- Brewer, W. F., & Samarapungavan, A. (1991). Children's theories vs. scientific theories: Differences in reasoning or differences in knowledge. In R. R. Hoffman & D. S. Palermo (Eds.), *Cognition and the symbolic processes: Applied and ecological perspectives* (pp. 209-232). Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.
- Chae, D.-H. (1992). Students' naïve theories about change in seasons. *Journal of the Korean Earth Science Society*, 13(3), 283-289.
- Chinn, C. A., Buckland, L. A., & Samarapungavan, A. (2011). Expanding the dimensions of epistemic cognition: Arguments from philosophy and psychology. *Educational Psychologist*, 46(3), 141-167.
- Clement, J., Brown, D., & Zietsman, A. (1989). Not all preconceptions are misconceptions: Finding anchoring conceptions for grounding instruction on students' intuitions. *International Journal of Science Education*, 11(5), 554-565.
- diSessa, A. A. (1993). Toward an epistemology of physics. *Cognition and Instruction*, 10(2&3), 105-225.
- diSessa, A. A. (2013). A bird's-eye view of the “pieces” vs. “coherence” controversy (from the “pieces” side of the fence). In S. Vosniadou (Ed.), *International handbook of research on conceptual change* (2nd ed., pp. 31-48). New York: Routledge.
- Driver, R., & Oldham, V. (1986). A constructivist approach to curriculum development in science. *Studies in Science Education*, 13, 105-122.
- Elby, A., & Hammer, D. (2010). Epistemological resources and framing: A cognitive framework for helping teachers interpret and respond to their students' epistemologies. In L. D. Bendixen & F. C. Feucht (Eds.), *Personal epistemology in the classroom: Theory, research, and implications for practice* (pp. 409-434). Cambridge: Cambridge University Press.
- Ford, M. (2008). ‘Grasp of practice’ as a reasoning resource for inquiry and nature of science understanding. *Science & Education*, 17, 147-177.
- Ford, M. (2012). A dialogic account of sense-making in scientific argumentation and reasoning. *Cognition and Instruction*, 30(3), 207-245.
- Hammer, D. (1996). More than misconceptions: Multiple perspectives on student knowledge and reasoning, and an appropriate role for education research. *American Journal of Physics*, 64(10), 1316-1325.
- Hammer, D. (2000). Student resources for learning introductory physics. *Physics Education Research, American Journal of Physics*, 68(Suppl. 7), S52-S59.
- Hammer, D. (2004a). The variability of student reasoning, lecture 1: Case studies of children's inquiries. In E. Redish & M. Vicentini (Eds.), *Proceedings of the Enrico Fermi Summer School, Course CLVI* (pp. 279-299). Bologna: Italian Physical Society.
- Hammer, D. (2004b). The variability of student reasoning, lecture 2: Transitions. In E. Redish & M. Vicentini (Eds.), *Proceedings of the Enrico Fermi Summer School, Course CLVI* (pp. 301-319). Bologna: Italian Physical Society.
- Hammer, D. (2004c). The variability of student reasoning, lecture 3: Manifold cognitive resources. In E. Redish & M. Vicentini (Eds.), *Proceedings of the Enrico Fermi Summer School, Course CLVI* (pp. 321-340). Bologna: Italian Physical Society.
- Hammer, D., & Elby, A. (2002). On the form of a personal epistemology. In B. K. Hofer & P. R. Pintrich (Eds.), *Personal epistemology: The psychology of beliefs about knowledge and knowing* (pp. 169-190). Mahwah, NJ: Erlbaum.
- Hammer, D., Elby, A., Scherr, R. E., & Redish, E. F. (2005). Resources, framing, and transfer. In J. Mestre (Ed.), *Transfer of learning from a modern multidisciplinary perspective* (pp. 89-120). Greenwich, CT: Information Age Publishing.
- Hammer, D., Goldberg, F., & Fargason, S. (2012). Responsive teaching and the beginnings of energy in a third grade classroom. *Review of Science, Mathematics and ICT Education*, 6(1), 51-72.
- Hammer, D., Russ, R., Mikeska, J., & Scherr, R. (2008). Identifying inquiry and conceptualizing students' abilities. In R. A. Duschl & R. E. Grandy (Eds.), *Teaching scientific inquiry: Recommendations for research and implementation* (pp. 138-156). Rotterdam, The Netherlands: Sense Publishers.
- Hammer, D., & Sikorski, T.-R. (2015). Implications of complexity for research on learning progressions. *Science Education*, 99(3), 424-431.
- Hewson, P. W., & Hewson, M. G. A. (1984). The role of conceptual conflict in conceptual change and the design of science instruction. *Instructional Science*, 13, 1-13.
- Hodson, D. (1996). Laboratory work as scientific method: Three decades of confusion and distortion. *Journal of Curriculum Studies*, 28(2), 115-135.
- Hofer, B. K. (2001). Personal epistemology research: Implications for learning and teaching. *Journal of Educational Psychology Review*, 13(4), 353-383.
- Kikas, E. (1998). The impact of teaching on students' definitions and explanations of astronomical phenomena. *Learning and Instruction*, 8(5), 439-454.
- Kitchener, R. F. (2002). Folk epistemology: An introduction. *New Ideas in Psychology*, 20, 89-105.
- Kittleson, J. M. (2012). Epistemological beliefs of third-grade students in an investigation-rich classroom. *Science Education*, 95, 1026-1048.
- Lidar, M., Lundqvist, E., & östman, L. (2006). Teaching and learning in the science classroom: The interplay between teachers' epistemological moves and students' practical epistemology. *Science Education*, 90, 148-163.
- Lee, H. (2007). A research on the necessities and methods of criticism of classroom instruction. *Anthropology of Education*, 10(1), 155-185.
- Lee, S.-K. (2015). *Conceptual change in learning science*. Seoul: SNU press.
- Levin, D. M., Hammer, D., & Coffey, J. E. (2009). Novice teachers' attention to student thinking. *Journal of Teacher Education*, 60(2), 142-154.
- Louca, L., Elby, A., Hammer, D., & Kagey, T. (2004). Epistemological resources: Applying a new epistemological framework to science instruction. *Educational Psychologist*, 39(1), 57-68.
- Manz, E. (2015). Resistance and the development of scientific practice: Designing the mangle into science instruction. *Cognition and Instruction*, 33(2), 89-124.
- Maskiewicz, A. C., & Winters, V. A. (2012). Understanding the co-construction of inquiry practices: A case study of a responsive teaching environment. *Journal of Research in Science Teaching*, 49(4), 429-464.
- May, D. B., Hammer, D., & Roy, P. (2006). Children's analogical reasoning in a third-grade science discussion. *Science Education*, 90, 316-330.
- Millar, R., & Driver, R. (1987). Beyond processes. *Studies in Science Education*, 14, 33-62.
- Minstrell, J. (1982). Explaining the ‘at rest’ condition of an object. *Physics Teacher*, 20, 10-20.
- Oh, P. S. (2013). Secondary science teachers' thoughts on ‘good’ science teaching. *Journal of the Korean Association for Science Education*, 33(2), 405-424.
- Oh, P. S. (2014). Characteristics of teacher learning and changes in teachers' epistemic beliefs within a learning community of elementary science teachers. *Elementary Science Education*, 33(4), 683-699.
- Ogan-Bekiroglu, F., & Akkoç, H. (2009). Preservice teachers' instructional beliefs and examination of consistency between beliefs and practices. *International Journal of Science and Mathematics Education*, 7, 1173-1199.
- Parnafes, O. (2012). Developing explanations and developing understanding: Students explains the phases of the moon using visual representations.

- Cognition and Instruction, 30(4), 359-403.
- Rosebery, A. S., Ogonowski, M., DiSchino, M., & Warren, B. (2010). "The coat traps all your body heat": Heterogeneity as fundamental to learning. *The Journal of the Learning Sciences*, 19, 322-357.
- Rosenberg, S., Hammer, D., & Phelan, J. (2008). Multiple epistemological coherences in an eighth-grade discussion of the rock cycle. *The Journal of the Learning Sciences*, 15(2), 261-292.
- Sandoval, W. A., & Millwood, K. A. (2008). What can argumentation tell us about epistemology. In S. Erduran & M. P. Jimenez-Aleixandre (Eds.), *Argumentation in science education: Perspectives from classroom-based research* (pp. 71-88). Dordrecht, The Netherlands: Springer.
- Sandoval, W. A., & Morrison, K. (2003). High school students' ideas about theories and theory change after a biological inquiry unit. *Journal of Research in Science Teaching*, 40(4), 369-392.
- Smith, J. P., diSessa, A. A., & Roschelle, J. (1993/1994). Misconceptions reconsidered: A constructivist analysis of knowledge in transition. *The Journal of the Learning Sciences*, 3(2), 115-163.
- Suh, K.-W. (2013). A lesson, how we see: Looking for children's eyes. Paju: Kyoyookbook.
- Songer, N. B., Lee, H.-S., & McDonald, S. (2003). Research towards an expanded understanding of inquiry science beyond one idealized standard. *Science Education*, 87, 490-516.
- Tang, X., Coffey, J., Elby, A., Levin, D. (2010). The scientific method and scientific inquiry: Tensions in teaching and learning. *Science Education*, 94, 29-47.
- The Ministry of Education (2011). *Science 6-1: Teacher guide*. Seoul: Author.
- Tobin, K., & McRobbie, C. (1997). Beliefs about the nature of science and the enacted science curriculum. *Science & Education*, 6, 355-371.
- Warren, B., Ballenger, C., Ogonowski, M., Rosebery, A. S., & Hudicourt-Barnes, J. (2001). Rethinking diversity in learning science: The logic of everyday sense-making. *Journal of Research in Science Teaching*, 38(5), 529-552.