

계절 변화의 원인에 관한 초등학생의 멘탈 모델 변화 과정 분석

김순미 · 양일호* · 임성만

한국교원대학교

Analysis of Changes in Elementary Students' Mental Models about the Causes of the Seasonal Change

Kim, Soon-mi · Yang, Il-ho* · Lim, Sung-man

Korea National University of Education

Abstract: The purpose of this study was to identify changes in mental models of students in the elementary school about causes of seasonal changes. During a total of eight sessions, eight sixth graders were asked to describe the causes of seasonal changes through pictures, writing and thinking aloud by using microgenetic research methods, and the changes in mental models were examined. When the research was conducted, linguistic and behavioral factors and contents of interviews of participants were recorded on video. Moreover, a variety of materials such as field observation chart were written by a researcher and mental models records were written by a student. The protocol was written by integration of collected results, and it was repeated to read and was inductively categorized.

The results of this study were as follows:

First, participants' mental models about causes of seasonal changes were changed in various paths within and across sessions. Participants' mental models that had been more changed in various ways were closer to the scientific model. In addition, like rotation and revolution, students who correctly established the preconceptions related to seasonal changes formed the mental models consistent with scientific concept based on new information. On the other hand, students who did not correctly establish the preconceptions did not deviate from non-scientific mental models.

Second, prior knowledge, experience and information which participants held in advance, accuracy of prior knowledge, resolution of inconsistency between new knowledge and existing mental models, activation of mental models through operation of models and drawing a picture affected the changes of mental models.

Teachers should provide to learners with sufficient experience which can be configured to various mental models in order to form the scientific concepts. And they need to let learners feel the doubt and resolve it through presentation of new teaching material which is inconsistent with the existing mental models.

Key words: mental model, cause of seasonal change, microgenetic study

I. 서 론

초등학교 과학과 교육과정 내의 천문 영역은 일상생활에서 경험하는 내용이지만, 직접적으로 지각하거나 조작할 수 없는 것들이다(Subramaniam & Padalkar, 2009). 천문 분야는 다른 과학 분야와는 달리 연구 대상이 매우 먼 거리에 있고, 실험실에서의 동일 실험과 반복실험이 불가능하며(임청환과 정진우, 1993), 추상적이고 직접 관측하여 확인하기 어려운 개념이기 때문에(김범기 등, 1996) 학습자 내부적으로 멘탈 모

델을 활성화시켜 공간적으로 변환하는 능력을 필요로 한다(Subramaniam & Padalkar, 2009; Trafton *et al.*, 2005). 이러한 특성으로 인해 천문 내용은 학습자들이 학습에 큰 어려움을 느끼며, 그만큼 오개념이 많이 나타나는 영역이다(명전옥, 2001). 그러므로 효과적인 천문 영역 교수학습을 위해서는 학습자가 어떠한 멘탈 모델을 만들고, 그것이 어떤 과정을 거쳐 변화해 가는지 파악할 필요가 있다.

멘탈 모델은 외부 세계로부터 획득한 정보나 경험, 아이디어의 내부적인 표상으로, 내면화되고 조직화된

*교신저자: 양일호(yih118@knue.ac.kr)

**2013.03.27(접수), 2013.05.21(1심통과), 2013.07.02(2심통과), 2013.07.15(3심통과), 2013.07.23(최종통과)

지식의 구조를 말한다(Rapp, 2005). Linn 등(2004)의 연구에 의하면 학생들은 과학 현상을 이해하기 위하여 수많은 단일 개념을 획득하고 이를 의미 있게 연결하여 통합적인 멘탈 모델을 형성한다. 멘탈 모델은 학생들이 현상이나 사건에 대해 예측하고 설명하는데 유용하며(Greca & Moreira, 2002), 새로운 지식, 아이디어, 개념, 경험을 만드는 기초가 된다(Shepardson *et al.*, 2007; Vosniadou, 2002). 이러한 멘탈 모델은 학습 시 유용하게 활용되는데(Rapp, 2005), 학생들은 멘탈 모델을 활성화시킴으로써, 새로운 지식을 자신이 기존에 가지고 있던 지식과 융합시켜 나간다. 즉, 멘탈 모델이 현재 이론의 수정 및 새로운 이론 구성을 위한 중재적 메커니즘으로 작용하는 것이다(Libarkin *et al.*, 2003; Vosniadou, 2002).

이 뿐만 아니라, 아이들이 만드는 멘탈 모델은 후에 과학자들이 정교하고 의도적으로 사용하는 모델을 만드는 기초가 된다는 점에서(Vosniadou, 2002), 학생들이 사용하는 멘탈 모델에 대한 심도있는 이해가 필요하다. 교육자들은 학생들의 멘탈 모델을 깊이 있게 이해함으로써 학생들이 정확한 멘탈 모델을 형성하게 하기 위한 교육과정을 계획하는 데 도움을 얻을 수 있다(Driver *et al.*, 1994).

이러한 멘탈 모델의 구성이 학습과 구성주의의 핵심(Gilbert & Ireton, 2003)이라는 점에서, 멘탈 모델의 변화는 곧 지식의 변화를 의미한다(Chi *et al.*, 1994; Vosniadou & Brewer, 1994). 과학 학습은 일상 경험에 근거한 초기의 멘탈 모델에서 출발하여 점차 과학적 개념에 맞는 모델로 변화하는 방식으로 이루어진다(Shepardson *et al.*, 2007). 그러므로, 시간의 흐름에 따른 학습자의 멘탈 모델 변화 과정을 면밀히 분석하는 것은 학생이 어떠한 방식과 절차를 통해 지식을 습득하는지 살피는 데 매우 유용하다(Chinn, 1997; Rapp, 2005; Vosniadou & Brewer, 1994). 더 나아가 학습자가 멘탈 모델을 변화시킬 때 사용한 전략을 집중적으로 분석함으로써 변화에 영향을 미치는 요인이 무엇인지 파악할 수 있고, 언제 그 변화가 일어나는지 확인할 수 있다(Chinn, 1997; Siegler & Crowley, 1991).

이러한 학습자의 변화에 관한 메커니즘을 이해하려면, 개인의 변화 과정에 대한 세밀한 데이터를 산출하는 방법이 요구된다. 그러나, 지금까지의 발달 과정에 대한 연구들은 특정 시기에 연령차에 따른 발달 정도

를 비교하거나(변재성 등, 2004; Vosniadou, 1992; Vosniadou & Brewer, 1994), 수업 적용 전과 후의 개념을 비교하는 방식(나진호 등, 2005; 심기창 등, 2004; 장명덕 등, 2001)으로 이루어져 한 아동의 연속적인 발달 과정을 분석하기에는 한계가 있다. 이를 보완하기 위해서는 종단적인 연구가 효과적이지만(송현순, 2001), 종단적 연구는 많은 시간과 비용이 들며(Chinn, 1997), 본질적으로 빠르고 복잡하게 일어나는 발달 과정을 검증할 수 없다는 한계가 있다(Siegler & Chen, 1998). 이러한 연구 방법론상의 한계를 극복할 수 있는 방법으로 미시발생적 연구 방법을 들 수 있다(송현순, 2001; 최현동, 2011; Siegler & Crowley, 1991).

미시발생적 연구 방법은 아동 발달의 변화에 관한 연구에 적합한 방법이다. 이는 특정 변인의 발달과 직접적으로 관련된 경험을 집중적으로 제공하고, 관찰의 밀도를 높여 빠르게 변화하는 능력을 짧은 간격으로 측정하기 때문에(Siegler & Chen, 1998; Siegler & Crowley, 1991) 변화 전과 후의 사고를 조사함으로써 아동들의 학습 경로를 확인할 수 있고, 순간순간의 미세한 변화를 분석함으로써 지식 변화의 메커니즘을 추론할 수 있다(최현동, 2011; Chinn, 1997).

따라서 이 연구에서는 미시발생적 접근법을 사용하여 천문 현상 중 계절 변화의 원인에 대하여 시간의 흐름에 따라 초등학교생의 멘탈 모델이 어떤 경로를 거쳐 변화하는지 살펴봄으로써, 학습자의 지식 습득 과정을 파악하고자 한다. 또한, 멘탈 모델의 변화에 영향을 미치는 원인이 무엇인지 파악함으로써, 계절 변화의 원인 학습에 도움을 줄 수 있는 방안을 탐색해 보고자 한다.

II. 연구 방법

1. 연구 참여자

가. 참여자 선정 기준

이 연구는 시간의 경과에 따른 멘탈 모델의 변화 과정을 알아보기 위한 것으로, 미시발생적 연구의 특성을 고려하여 연구자의 목적 달성에 가장 적합한 학생을 의도적 표집에 의하여 선정하였다. 미시발생적 연구의 특성 상 외부의 처치나 피드백에 의한 변화가 아닌 학습자 스스로가 일으키는 변화의 과정을 확인하

기 위하여, 이전에 계절 변화의 원인에 대한 정규 수업을 듣지 않은 초등학생을 연구 참여자로 선정하였다. 또한 멘탈 모델의 변화 과정을 그림이나 말, 몸짓으로 표현해야 하므로, 자신의 생각을 분명하게 표현할 수 있는 설명 능력과 의사소통 능력을 참여자 선정 기준에 포함시켰으며, 사고 발생 능력과 시각화 능력도 고려하였다. 이에 덧붙여, 계절 변화의 원인을 파악하기 위해서는 지구의 자전과 공전의 개념이 선행되어야 한다고 판단하여, 이 모든 조건에 적합한 초등학교 6학년 학생을 연구 참여자로 선정하였다. 마지막으로, 연구 설계 상 여러 회기 동안 활동이 진행되므로 연구 참여자의 자발적 참여 의사가 중요하다고 판단, 이를 참여자 선정 준거에 포함하였다.

나. 참여자 선정 과정 및 참여자의 특성

연구에는 중소도시에 위치한 초등학교 6학년 학생

8명이 참여하였다. 연구 초기에 연구의 목적과 절차에 대해 상세한 설명을 들은 후 연구에 자발적으로 참여한 12명의 학생 중, 시간적인 이유로 과제 수행이 어려운 1명과 도중에 불참 의사를 밝힌 1명을 제외하고, 10명의 학생을 연구 참여자로 선정하였다. 이 중, 활동시 촬영기기로 인해 자료 수집에 문제가 있었던 1명과 최종 회기에 외국 여행으로 불참한 1명을 제외하여, 최종적으로 총 8명의 학생이 연구에 참여하였다.

연구 참여자에 대한 상세한 정보 수집을 위하여 사전에 담임교사에게서 학력수준, 과학에 대한 흥미도, 과학 수업 참여 태도, 의사 표현력, 적극성 및 끈기, 영재 교육 및 기타 과학 활동 참여 경험에 대한 자료를 요청하였다. 이에 연구자가 사전 면담을 통해 확보한 자료와 연구 초기 인터뷰 과정에서 수집한 자료를 더하여 연구 참여자의 세부 특성을 파악하였다. 연구 참여자의 특성은 표 1과 같다.

표 1
연구 참여자의 특성

이름	성별	의사 표현력	학업 성취도	연구 주제 관련 사전지식 습득 정도
김도○	남	매우 우수	매우 우수	<ul style="list-style-type: none"> • 자전, 공전의 용어와 그 의미에 대해 정확히 이해하고 있으며, 절기, 적도의 위치, 태양의 흑점과 표면온도에 관한 정보를 가짐 • 지구가 회전축을 중심으로 돌고 있는 회전체라고 설명함
김태○	남	매우 우수	보통	<ul style="list-style-type: none"> • 자전, 공전의 용어와 의미에 대해 정확히 이해하고 있으며, 위도에 따른 기후의 차이에 대해 알고 있음 • 지구상에서 태양이 지나가는 길을 적도라고 표현하여, 계절마다 적도가 달라진다고 표현함
김한○	여	매우 우수	매우 우수	<ul style="list-style-type: none"> • 자전, 공전의 의미에 대해 알고 있으나 처음에는 기억하지 못하다가 회기를 거듭할수록 하나씩 떠올림 • 자전축의 기울어짐과 빛의 직진에 대해서 알고 있음 • 각각의 개념에 대해서는 잘 알고 있으나, 통합하는 능력 다소 부족
남주○	여	매우 우수	우수	<ul style="list-style-type: none"> • 자전이 지구가 스스로 도는 것임은 알고 있으나, 자전이라는 용어는 모르며, 1년에 한 번 자전한다고 생각함 • 공전용어는 모르지만, 지구가 1년에 태양 주변을 한 바퀴 돈다고 설명함
박재○	남	우수	매우 우수	<ul style="list-style-type: none"> • 자전이 지구가 스스로 도는 것임을 알고 있고, 연구 중반에 자전주기가 하루라는 것을 떠올렸지만, 자전 용어는 모름 • 공전에 대해서 전혀 알지 못함
이재○	남	매우 우수	매우 우수	<ul style="list-style-type: none"> • 자전과 공전의 의미, 용어에 대해 명확하게 알고 있음 • 태양빛이 들어오는 각도를 처음부터 언급함
이한○	여	매우 우수	매우 우수	<ul style="list-style-type: none"> • 자전이 지구가 스스로 도는 것임은 알고, 용어도 알고 있으나, 주기는 모름 • 공전의 용어는 알고 있으나 의미는 모르며 지구가 다른 것의 힘을 빌려 도는 것이라고 설명
천주○	여	우수	보통	<ul style="list-style-type: none"> • 자전용어와 지구가 스스로 돈다는 것은 알고 있으나, 지구의 자전 주기를 1년이라고 설명함 • 지구가 태양의 주변을 돈다는 것은 알고 있지만, 해당 용어와 공전 주기에 관해서는 모름

2. 자료 수집

가. 과제 활동 정교화

계절 변화의 원인은 다른 천문 영역 내용과 마찬가지로 직접적으로 조작할 수 없고, 관측에 오랜 시간이 소요되므로 멘탈 모델의 활성화 과정에서 사용하기 위한 적절한 모형 활동이 필요하다고 판단하였다. 이 모형 활동은 계절 변화의 원인에 대한 교사의 수업 처치를 위한 것이라기보다는 참여자가 자유롭게 조작해 봄으로써 지속적인 인지의 변화를 일으키도록 하기 위한 것이다. 계절 변화의 원인과 관련한 멘탈 모델 활성화에 적절한 과제 활동을 선정하기 위하여, 국내외 연구에서 계절변화 학습에 사용된 활동들을 수집한 후, 과학교육 전문가와의 협의를 거쳐 적절한 모형 활동을 선정하였다. 미시발생적 연구의 특성 상 모형 활동은 교사의 도움이나 처치 없이 참여자 스스로 조작함으로써 멘탈 모델을 형성하도록 계획되어야 한다. 이에 따라, 지구와 태양을 가시적으로 보여주고 학습자 스스로 조작할 수 있도록 하는 모형 활동 두 가지를 고안하였다. 하나는 지구본과 전구를 이용한 모형 활동이고, 다른 하나는 스티로폼 공을 이용한 모형 활동이다. 지구본-전구 활동의 지구본은 자전축의 기울어진 정도를 변경할 수 있는 것으로 준비하되, 참여자에게 제시할 때에는 현재 지구 자전축의 기울어진 정도와 동일하게 공전 궤도면과 수직인 방향에 대해 23.5° 기울어진 상태로 제시하였다. 스티로폼 공 모형 활동 시에는 학생에게 다양한 크기의 스티로폼 공과 이쑤시개, 나무 막대, 우드락 판을 제공하여 학생들이 자유롭게 지구, 태양, 기타 행성을 표현해 보도록 하였다. 이 때, 최대한 지구의 모습과 가깝도록 스티로폼 공에 적도와 한반도의 위치를 표시하고, 양극을 관통하는 이쑤시개를 꽂은 지구 모양을 함께 제시하였다.

나. 예비 연구

먼저 연구 과제의 적절성을 파악하기 위하여 1차 예비 연구를 실시하였다. 연구 참여자는 중소도시에 위치한 초등학교 6학년 학생 2명이었으며, 매일 30분씩 3회에 걸쳐 모형활동을 실시하였다. 1차 예비 연구 결과 학생들이 모형을 조작할 때 전구와 지구본의 높이가 맞지 않아 어려움을 겪는 경우가 발생하였다. 또, 자전축을 세운 상태로 제시했을 때보다 23.5° 만큼 기

울여 제시하는 것이 실제 지구의 모습을 가장 잘 반영한 것이라고 판단하였다. 이에 따라 모형활동 자료를 수정·보완하여 지구본의 자전축을 23.5° 기울여 제시하고, 전구의 높낮이가 조정되는 것으로 바꾸어 제시하기로 하였다.

1차 예비 연구 결과를 바탕으로 하여 회기 수 및 간격의 적절성을 파악하고자, 5월 말부터 6월 초에 걸쳐 2차 예비 연구를 실시하였다. 연구 참여자는 대도시 소재의 초등학교 6학년 학생 2명으로, 총 10회기에 걸쳐 1일 간격으로 과제를 수행하도록 하였다. 그 결과 7, 8회기 이후에는 멘탈 모델의 변화가 거의 나타나지 않으며, 회기 간격이 짧을 경우 학생들이 지루해하는 경향을 보인다는 점을 고려하여 본 연구의 회기 수를 8회로 조정하고, 회기 간격을 2일로 결정하였다.

다. 본 연구

예비 연구를 거쳐 수정·보완한 내용을 적용하여 본 연구를 진행하였다. 회기 간격을 2일로 하여 총 7회기 활동을 수행하고, 1개월 후 8회기를 실시하여 멘탈 모델의 유지 여부를 점검하였다.

사전에 담임교사의 추천을 받아 학생과 학부모의 연구 참여 동의 여부를 확인하고, 동의서를 작성하였다. 원할 경우 언제든지 연구 참여를 중단할 수 있음을 공지하였다.

1회기 시작 전에 연구 참여자와 연구자가 면대 면으로 만나 연구 내용, 절차 및 주의점에 대해 상세하게 설명하고 레포를 형성하였다. 또 자신의 멘탈 모델을 효과적으로 설명하도록 하기 위하여 사고 발생법을 훈련시켰다. 이 연구에서 파악하고자 하는 멘탈 모델은 학생의 머릿속에 떠오르는 것이므로, 연구자가 매 순간의 멘탈 모델 변화를 파악하려면 학습자가 시시각각 변하는 자신의 생각을 매 순간마다 자세하게 설명해야 한다. 사고 발생 훈련은 약 30분 간 시행하였으며, 학생들이 사고 발생을 어려워할 때에는 적절한 발문을 통하여 자신의 생각을 자연스럽게 표현할 수 있도록 자극하였다. 발문의 내용이 학생들의 멘탈 모델 형성에 영향을 미치지 않도록, 발문 내용을 구조화하여 필요시 적절히 활용하였다(표 2).

이후 7회기에 걸쳐 계절 변화의 원인에 대한 연구 참여자의 멘탈 모델을 확인하였다. 1회기에는 모형 활동을 수행하지 않고, 계절이 변하는 이유에 대한 멘탈 모델을 말과 글, 그림으로 표현하게 하여 연구 참여자

표 2
발문 예시자료

단계	발문 예시
1 일상적인 대화 친근감 형성	- 오늘의 날씨, 가장 재미있었던 수업, 오늘 학교에서 가장 기억에 남는 사건 등
2 사고 발생법 재인식	- 활동 중에 머릿속에서 생각나는 것을 모두 말로 표현해 주세요.
3 연구 주제 재확인	- 우리가 알아보고자 하는 것이 무엇이지? - 우리가 계속 생각해보고 있는 내용이 뭐야?
4 현재 멘탈 모델 확인	- 지난 시간 활동했던 것과 그 밖의 너의 생각을 바탕으로 계절이 왜 변하는 지에 대해 지금 현재 너의 생각을 말해볼까? - 지금 현재 네가 생각하는 계절 변화의 이유가 뭐야?
5 개념이 바뀌었을 때, 개념을 바꾸게 한 이유 확인	- 생각이 이렇게 바뀌게 된 이유가 뭐야? - 무엇 때문에 생각이 바뀌었니?
6 질문지 작성	- 지금 현재 네가 생각하는 계절이 변하는 이유를 그림과 글로 표현해 볼까? - 그림으로 그리고, 필요하다면 글로 써서 추가적으로 설명해 줄래?
7 활동 유도	- 그림 네가 생각하는 계절 변화의 이유를 앞에 놓인 자료들을 사용하여 표현해 보자.
8 활동을 마친 후	- 더 궁금하거나 이상하다고 생각하는 점은 없니? - 있을 경우 : 어떤 점이 궁금하니? / 이상하니? - 그걸 해결하려면 어떻게 해야 할까?
9 활동 후 질문지 작성	- 자료를 이용하여 표현해 본 결과를 바탕으로 지금 현재 ○○가 생각하는 계절 변화의 이유가 무엇인지 그림이나 글로 표현해 보자.
10 회기 마지막 부분	- 더 궁금하거나 이상한 점 없니? - 연구에 대한 다른 사람이나 책, 인터넷 의견 공유 불가 재인식
아이에게 새로운 개념이 나왔을 경우 확인 발문	- 네가 생각하는 ○○이란 무엇이니?
활동 중 사고발성이 잘 되지 않거나, 머뭇거릴 때 자극 발문	- ○○○ 지금 무슨 생각 하고 있니? - 생각나는 대로 한 번 말해볼까? - 그렇게 생각하게 만든 게 뭐야? - 무엇 때문에 그렇게 생각했어?
기타 중요한 구절이나 어구를 말하지 않고 그냥 넘어갈 경우	- 더 자세히 구체적으로 말해보겠니? - 어떤 부분이 그런지 설명해 주세요. - 무엇 때문에 그렇게 생각했니?
잘 모르겠다고 얼버무리고 넘어가는 경우	- 네가 모르는 것이 무엇인지 설명해줄래? - 구체적으로 어떤 부분을 모르겠어? - 다시 한 번 차근차근 생각해볼까?
학생이 활동 내용 중 궁금증이 생겼다고 말하는 경우	- 왜 그런 궁금증이 생겼을까? - 무엇 때문에 그런 의문이 들었니? - 구체적으로 무엇이 궁금한지 얘기해 볼까?

의 초기 멘탈 모델을 파악하였다. 2회기부터 7회기까지는 지구본-전구 모형활동과 스티로폼 공 모형 활동을 번갈아가며 시행하면서 멘탈 모델을 설명하도록 하였다. 시간 및 자료 이용의 효율성과 모형 활동의 순서가 연구 결과에 영향을 미치지 않음을 확인하기 위하여(Chinn, 1997) 집단을 둘로 나누고, 한 집단은

지구본-전구 모형 활동을, 나머지 한 집단은 스티로폼 공 모형 활동을 먼저 시작하도록 설계하였다. 표 3은 집단에 따른 회기 별 모형 활동 내용을 나타낸 것이다.

2회기부터 7회기에 걸쳐 학생들 마음대로 모형을 조작하면서 계절 변화의 원인을 설명해보도록 하였

표 3
집단에 따른 회기 별 모형 활동 내용

회기	집단	집단 1				집단 2				
		김도○	김한○	이재○	이한○	김태○	남주○	박재○	천주○	
1		모형 활동 없이 계절 변화의 원인에 대한 멘탈 모델 형성								
2			지구본-전구 모형 활동				스티로폼 공 모형 활동			
3			스티로폼 공 모형 활동				지구본-전구 모형 활동			
4			지구본-전구 모형 활동				스티로폼 공 모형 활동			
5			스티로폼 공 모형 활동				지구본-전구 모형 활동			
6			지구본-전구 모형 활동				스티로폼 공 모형 활동			
7			스티로폼 공 모형 활동				지구본-전구 모형 활동			
8		학생이 두 활동 중 자유롭게 선택								

다. 조작을 하면서 순간마다 떠오르는 모든 내용을 말로 표현하도록 유도하였으며, 설명한 내용을 그림과 글로도 표현하게 하였다. 멘탈 모델 파악을 위하여 활용되는 그리기 방법은 학생들이 추상적인 내용을 학습할 때 개념을 구체화하도록 하여, 인지과정을 시각적으로 확인할 수 있게 해준다(Edens & Potter, 2003; Dove, 1999). 학습자 또한 멘탈 모델을 그림으로 그려보는 활동을 통해 개념을 독특하고 유의미한 방식으로 표상하고 부호화한다(Edens & Potter, 2001).

매 회기 활동 전에 연구 주제와 사고 발생의 중요성을 다시 한 번 언급한 후 계절 변화의 원인에 대한 멘탈 모델을 말로 설명하고 멘탈 모델 기록지에 글과 그림으로 나타내도록 하였다. 이 때 지난 회기에 표현했던 멘탈 모델과 차이점이 있다면, 그 이유를 설명하도록 요구하였다. 이후 모형 조작을 통해 자신이 생각하는 계절 변화의 원인을 설명하도록 하였다. 활동은 연구 참여자가 원할 때까지 지속하도록 하였으며, 활동 결과를 멘탈 모델 기록지에 다시 표현하도록 하였다. 이 과정에서 연구자가 학생의 멘탈 모델을 파악하기 어려울 경우, 적절한 질문을 통해 정확한 멘탈 모델을 파악하였고, 사후 인터뷰를 진행하여 이를 보충하였다.

7회기 수행 후, 1개월의 시간적 간격을 두고 8회기를 시행하여 상당한 시간 경과 후 학생들이 가진 멘탈 모델의 지속 여부를 확인하였다. 8회기에는 두 가지 모형 활동 자료를 모두 제시하고, 원하는 경우에 원하는 모형 자료를 선택하여 조작하면서 계절 변화의 원인을 설명하도록 하였다.

연구 참여자의 동의를 받아 활동 및 면담의 전 과정을 비디오로 녹화하고 녹음하였으며, 참여자의 멘탈 모델 기록지 외에도 연구자가 현장 관찰 기록지에 특이 사항이나 관찰 당시의 상황을 자세히 작성하여 정확한 자료를 수집하려고 노력하였다.

3. 자료 분석

연구 참여자의 활동과 면담 내용을 녹화한 비디오 자료를 전사한 후 여기에 연구자의 현장 관찰 기록과 활동 중 연구 참여자가 작성한 학생 멘탈 모델 기록지를 통합하였다. 이 자료로부터 의미 있는 진술과 그림 자료를 도출하여 프로토콜을 생성하였다. 생성한 프로토콜을 반복적으로 읽으면서 귀납적으로 비슷한 범주끼리 묶어 코드화하였다. 분석 결과의 신뢰도를 높여 연구의 진실성을 확보하기 위하여 질적 연구 경험이 있는 과학교육 전문가 2인이 분석 과정에 함께 참여하였다. 분석한 자료가 불일치하는 경우 서로 합의에 이를 때까지 반복적 협의 과정을 거쳤으며, 그 결과에 따라 최종 분석틀을 도출하였다. 최종적으로 코드화하여 조직한 분석틀은 표 4와 같다.

연구 참여자로부터 수집한 프로토콜을 위의 범주로 분류하고, 회기마다 개개인의 멘탈 모델을 분석하였다. 둘 이상의 코드가 하나로 묶여 동시에 멘탈 모델을 설명하는 경우에는 ‘+’ 기호 양 옆에 코드를 붙여서 표기하였다. 예를 들어, ‘지구가 경사진 궤도를 따라 공전하며, 태양과 지구 사이의 거리가 달라지기 때문에 계절이 변한다.’는 멘탈 모델은 <Og+D>로 표기하였다.

표 4
계절 변화의 원인에 대한 멘탈 모델의 범주

프로토콜에서 추출한 멘탈 모델의 내용	계절 변화의 원인 범주	코드
지구의 공전에 의해 계절 변화	지구의 공전	E
지구의 공전에 의해 우리나라가 태양과 마주보면 여름, 등지면 겨울		e
지구 자전축이 기울어진 채로 한 방향으로 고정되어, 계절마다 태양빛이 들어오는 양이 달라짐	자전축의 기울어짐	At
자전축이 기울어진 채로 계절마다 자전축의 방향이 바뀜		at
지구가 태양 주변을 공전할 때, 경사진 궤도를 돌면서 계절마다 지구의 높낮이가 바뀌어 들어오는 태양빛의 양이 달라짐	공전 궤도의 경사	Og
지구의 자전에 의해 우리나라가 태양과 마주보면 여름, 등지면 겨울	지구의 자전	R
태양과 지구 사이의 거리가 가까우면 여름, 멀면 겨울	태양-지구 사이의 거리	D
지구 상의 위도 및 위치에 따라 태양의 각도가 달라져 들어오는 태양빛의 양에 차이가 생김	태양빛이 지구에 들어오는 각도	Sa
태양빛의 세기가 세지면 여름, 약해지면 겨울	태양빛의 세기	Si
태양 각 부분의 온도 차에 의한 계절 변화		St
계절 별로 우리나라 주변에 위치하는 서로 다른 기단에 의해 불어오는 바람이 달라짐	기단에 의한 바람의 영향	M
낮의 길이가 길면 여름, 낮의 길이가 짧으면 겨울	낮의 길이	L
내핵의 온도가 높으면 여름, 내핵이 식어서 차가워지면 겨울	지구 내부의 온도 변화	C

R: Rotation, E: rEvolution, Og: gradient of Orbital, At: Axis tilt of the earth, Si: intensity of Sunlight, St: temperature of the Sun, Sa: altitude of the Sun, D: Distance, M: air Mass, L: day Length, C: temperature of the Core

III. 연구 결과 및 논의

1. 계절 변화의 원인에 대한 개인 별 멘탈 모델 변화 과정 및 특징

가. 계절 변화의 원인에 대한 개인별 멘탈 모델 변화의 경로

연구 참여자마다 계절 변화의 원인에 대한 멘탈 모델이 변화하는 경로에는 차이가 있었으며, 연구 참여자 개인 내에서도 회기마다 차이가 있었다. 여러 선행 연구의 결과(Coll & Treagust, 2003; Johnson-Laird, 1983; Norman, 1983; Vosniadou, 2002)처럼 이 연구에 참여한 학생들의 멘탈 모델도 불완전하고 안정적이지 않았으며, 학습자가 가진 선행 지식과 경험 및 이를 통합하는 능력의 차이로 인해 저마다 서

로 다른 멘탈 모델을 형성하였다. 표 5는 연구 참여자 8명의 회기별 멘탈 모델 변화의 경로를 정리한 것이다. 개인별 멘탈 모델 변화의 경로를 나타낼 때 각 회기의 대표적인 멘탈 모델을 코드로 표시하고, 각 회기 중간에 나타난 멘탈 모델의 변화는 ‘…’ 기호로 표시하였다.

멘탈 모델은 외부 세계로부터 획득한 정보나 경험, 아이디어의 내부적 표상(Rapp, 2005)이므로, 학습자마다 인지 구조가 다를 때, 개개인이 형성한 멘탈 모델은 서로 다를 수밖에 없다. 그런데, 멘탈 모델을 형성하는 과정에서 학생들은 암묵적으로 기억 속에 저장되어 있던 정보들을 끌어내었고, 이를 유기적으로 통합함으로써 새로운 개념 지식 체계 안으로 수용하는 모습을 연구를 통하여 확인할 수 있었다. 즉, 멘탈 모델이 지식 형성의 매개체로 작용한 것이

표 5 계절 변화의 원인에 대한 연구 참여자 8명의 회기별 멘탈 모델 변화 경로

연구참여자 \ 회기	1회기	2회기	3회기	4회기	5회기	6회기	7회기	8회기
김도○	E+St	E+St	E+D+Sa	E+D ↔ D+Og	Og+at	Og+at	Og+At	E+At
김태○	M ↔ Sa	R ↔ Sa ↔ Og	Og					
김한○	e	e ↔ e+at	E+at+D	E+At+D ↔ E+at+D	E+At+D ↔ E+At	E+At ↔ e+at+D	e+at+D ↔ e+at ↔ e+at+D	E+At
남주○	e+R	e+R ↔ e	e					
박재○	R					C ↔ L	L ↔ L+R	R
이재○	e ↔ M ↔ C	e+Sa		e+Sa ↔ E	e+Sa ↔ E+Si+Sa	E+Si+Sa	E+Si+Sa ↔ E	E+Sa
이한○	R+D		R	D	e	e+D	e	e+D
천주○	D ↔ e+D	R						

다. 그 동안 암묵적으로 학습자에게 내재되어 있던 지식이 멘탈 모델을 활성화하는 과정에서 작용하면서 분명한 형태를 띠게 되고, 개념 지식 체계로 명료화되면서 지식의 이론화에 유용하게 사용된다. 그러므로 멘탈 모델을 형성하는 활동은 새로운 개념적 지식의 생성 및 이론 형성에 중요한 역할을 한다(Vosniadou, 2002).

나. 멘탈 모델 변화 과정에서 나타나는 특징

기존지식과 모순되는 새로운 정보는 멘탈 모델이 주목할 만한 변화를 보이는 데 중요하게 작용하였다. 김도 의 경우, 연구 초기에는 태양의 각 부분의 온도가 다르고 그 주위를 지구가 공전할 때 들어오는 태양 빛의 양에 차이가 있어 계절이 변한다고 설명하였으나, 여러 차례의 변화 과정을 거쳐 최종적으로 계절 변화의 원인에 대한 과학적 멘탈 모델을 형성하였다(그림1). 이 과정에서 급격한 멘탈 모델의 변화를 보인 데에는 기존 지식으로 설명할 수 없는, 매우 새로운 지식이 중요한 역할을 하였다. 김도○의 경우, 여름 방학 때 호주 여행을 준비하는 과정에서 남반구인 호

주의 계절이 우리나라와 정 반대라는 새로운 지식을 획득하게 되었다. 이를 통해, 자신이 형성한 멘탈 모델의 모순점을 발견하고는 지금까지와 전혀 다른 새로운 대안을 찾으려는 시도를 하였다. 이러한 시도와 위도에 따른 기온 변화라는 사전 지식이 결합함으로써 위도에 의한 태양의 고도차를 생각해내었고, 이를 정교화함으로써 공전 궤도의 경사, 자전축의 기울어짐이라는 멘탈 모델을 거쳐 최종적으로 과학적 멘탈 모델을 형성하였다.

김도○ : 호주는……. 잠깐만요. 그냥 이렇게 받을 때, 호주는 여기(남반구의 아래쪽)에 있으니까, 지금 겨울이라고 가정하면 될지도 모르겠는데요? 이렇게(태양을 지구보다 높은 위치로 들어 올림) 우리나라는 태양빛을 받는 데, 호주는 정면으로 못 받고 이렇게 태양 빛을 비스듬히 받으니까 겨울이 아닐까요? (의욕적으로)솔직히 공전 궤도도요. 이렇게 해 가지고(왼손은 낮게, 오른손을 높게 올림) 이렇게(높이 위치해 있던 오른손을 낮

추면서 태양 반대편으로 이동) 도는 것일 수도 있고, 어, 그럼 설명이 되네요.

인이 태양빛이 들어오는 각도라고 확신하고, 이를 바탕으로 멘탈 모델을 형성하였다.

즉, 기존 지식과 모순되는 새로운 지식의 유입이 사고의 전환에 중요한 역할을 했다고 할 수 있다. 우리나라의 계절과 반대인 호주의 계절에 대한 정보는 기존에 가지고 있던 멘탈 모델과 완전히 불일치하는 새로운 정보였으며, 이를 계기로 계절 변화에 대해 지금까지와는 전혀 다른 멘탈 모델을 구성하기 시작하였다. 이는 새로 획득한 정보가 기존 지식과 매우 다를 경우, 새로운 정보에 기초하여 정확한 멘탈 모델을 구성할 수 있다(Greca & Moreira, 2000)는 선행 연구의 결과와 일치한다.

김도○의 멘탈 모델 변화 과정은 아이들이 만드는 멘탈 모델이 이후 과학자들이 정교하고 의도적으로 사용하는 모델을 만드는 기초가 되며, 아이들이 구성한 멘탈 모델이 개념 발달과 개념 변화에서 중요한 역할을 한다(Vosniadou, 2002)는 선행 연구 결과를 뒷받침하는 예가 될 수 있다. 김도○은 자전과 공전에 대한 선행 지식이 인지 구조에 정확하게 안착되어 있었고, 호주의 계절과 같은 새로운 정보를 받아들였을 때 정착된 선행 지식을 바탕으로 모순을 해결하면서 지속적인 변화를 보였다. 이는 멘탈 모델이 역동적인 표상으로, 새로운 정보가 들어오면 기존의 멘탈 모델과 협응하여 확장, 발전된다(성나해와 최승언, 2008; Johnson-Laird, 1983)는 연구 결과와 일치한다.

멘탈 모델을 형성하는 과정에서 학습자가 기존에 가지고 있던 경험이나 지식 또한 과학적 멘탈 모델을 형성하는 데 도움이 되었다. 예를 들어 김태○의 경우, 빛이 들어오는 각도에 따라 들어오는 에너지의 양에 차이가 있다는 선행 지식에 따라 계절이 변하는 원

김태○ : 여기(적도)는 90도라고 했을 때, 한 이 정도(태양으로부터 오는 광선을 일직선으로 많이 그림)나 받을 수 있고, 여기는 90도 각도라고 했을 때 이 정도 받을 수 있고(아까보다 적음), 그리고 여기(극지방)보다 더 길어가지고 더 많이 받을 수 있을 때... 기울기에 따라 햇빛의 양이 받을 수 있는 양이 적고 많고에 차이가 나 가지고서. 이제 우리나라가 이렇게 기울기에 따라...

하지만, 오히려 이러한 선행 지식이 과학적 멘탈 모델을 형성하는 데 방해가 되기도 하였다. 예를 들어, 자전과 공전에 대하여 잘못된 선행 지식을 가지고 있는 연구 참여자의 경우에는 이러한 오개념이 올바른 멘탈 모델 형성을 방해하였다. 천주○은 2회기에 자전이라는 용어를 기억해 내었으며, 자전을 “지구가 365일 동안 천천히 한 바퀴 도는 것”이라고 설명하였다. 이 때문에 계절이 변한다고 설명하였으며, 2회기 이후에는 끝까지 자전이라는 멘탈 모델을 고수하였다.

천주○ : 자전. 자전을 하기 때문에 태양이 비추는 곳은 항상 일정하지 않다.

연구자: 그럼, 자전에 대해 다시 설명해 줄래요?

천주○ : 자전은 지구가 365일 동안 아주 Slow motion으로 도는 것을 말해요.

이처럼 멘탈 모델을 이용한 지식 통합 과정에서 과학적으로 오류를 가진 개념이 강하게 작용할 경우, 오

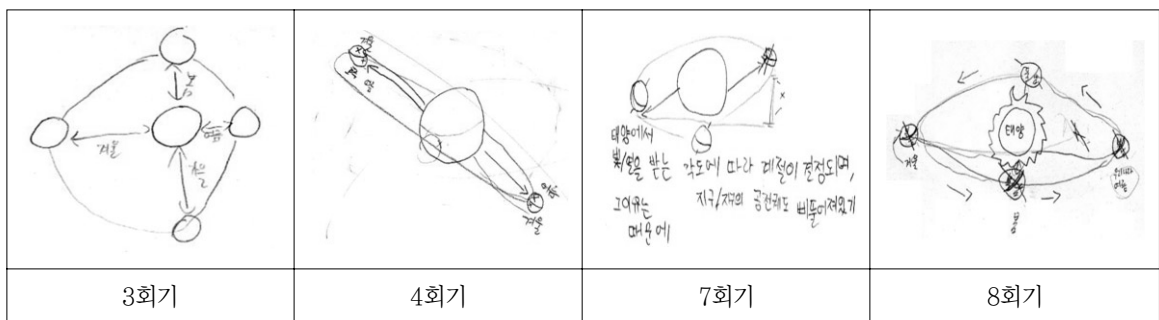


그림 1 연구 참여자 김도○의 회기별 멘탈 모델

히려 올바른 과학적 개념 형성에 방해 요인으로 작용하기도 하였다. 많은 선행 연구 결과들 또한 이러한 결과를 뒷받침한다(김찬종과 이소옥, 1995; 명전옥, 2001; 성나해와 최승언, 2008; Diakidoy & Kendeou, 2001; Greca & Moreira, 2000; Johnson-Laird, 1983; Vosniadou, 1992, 1994).

또 다른 연구 참여자인 남주○의 경우, 3회기 이후 공전에 의한 계절 변화라는 멘탈 모델을 확립한 후 더 이상의 변화가 일어나지 않았다(그림2). 그 이유는 사전에 지구의 자전 개념이 명확하게 정착되지 않았고, 이에 따라 자신의 멘탈 모델을 설명하는 데 방해가 되는 자전 개념을 초기부터 무시했기 때문이다. 그 결과 다른 나라의 계절에 관한 의문점이 생기더라도 그것을 무시하고, 자신이 가진 멘탈 모델에 끼워 맞추었다. 즉, 새로운 정보의 유입이나 의문이 발생 하더라도 이미 확고하게 만들어진 멘탈 모델과 상충되는 것이라면 자신의 멘탈 모델로써 바꾸어 해석하거나 무시하였다. 이는 그들이 이미 가지고 있는 지식에 기초하여 해석을 시도하는 경우 변형된 멘탈 모델을 만들게 되며, 초기 모델이 완전히 새로운 개념으로 대체되는 것이 매우 어렵다(Greca & Moreira, 2000)는 선행 연구 결과와 일치한다. 또한, 앞서 언급한 김도○이 형성한 멘탈 모델과 비교했을 때, 남주○의 멘탈 모델

은 과학적 개념과 동떨어지고 수준이 낮음을 확인할 수 있었다. 이것은 두 연구 참여자가 가진 선행 지식의 정확성에서 나온 차이라고 해석할 수 있다. 다시 말해 남주○처럼 낮은 수준의 멘탈 모델을 가진 학습자인 경우, 수준이 높은 멘탈 모델을 가진 학습자에 비해 오개념을 많이 가지고 있었다. 낮은 멘탈 모델을 가진 학습자일수록 중대한 오개념을 지닌다는 정구송(2007)의 연구 결과 또한 이 연구의 결과를 뒷받침한다.

과학적 멘탈 모델의 형성에 방해가 되는 또 다른 이유를 김한○의 예를 통하여 확인할 수 있다. 김한○은 선행 학습을 통하여 6개월 전에 계절 변화의 원인을 학습한 경험이 있었다. 하지만 1회기 때 공전과 자전이 혼합된 멘탈 모델로 계절 변화의 원인을 설명하였는데, 이것은 사전에 들은 지식이 명확하게 인지구조에 정착되지 못하고 들은 지식 중 자신이 가진 멘탈 모델과 일치하는 것만 일부 받아들였기 때문이다. Vosniadou와 Brewer(1994)의 지구의 형태에 관한 멘탈 모델 연구 결과를 살펴보면, 전문가가 아닌 일반인들은 지구의 형태에 관하여 교육을 받았음에도 불구하고, 자신의 일상생활 경험과 관련지어 속이 텅 빈 지구나 편평한 지구와 같은 멘탈 모델을 구성하였다. 이러한 선행 연구 결과와 이 연구의 결과를 비교하여 보더라도 학생들은 학교에서 교육을 받더라도 그들이

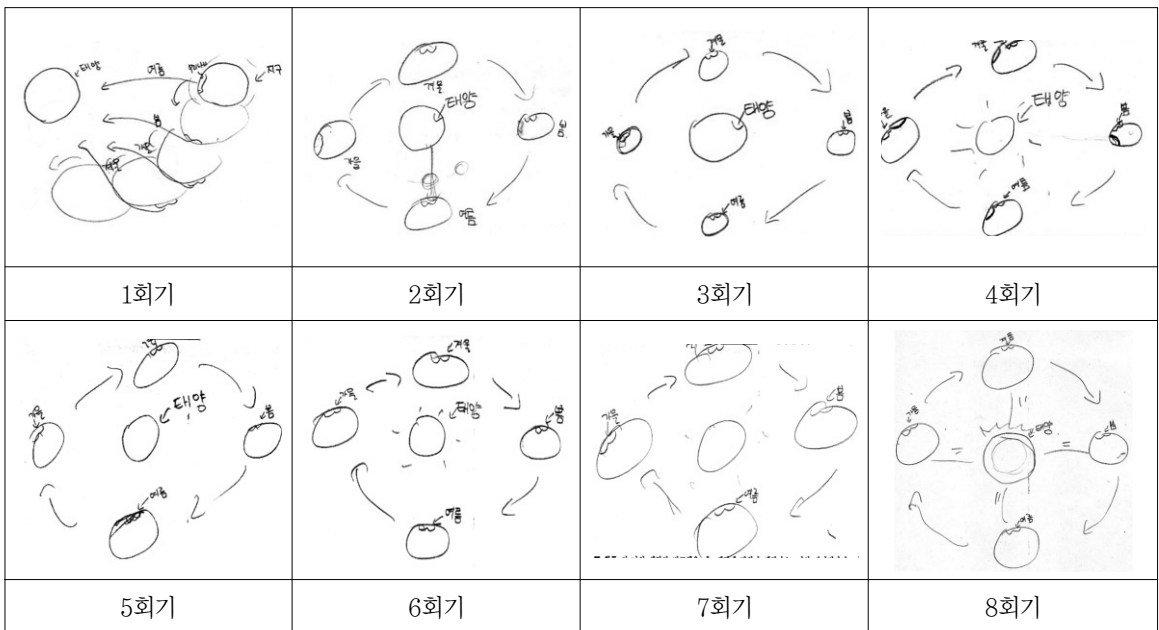


그림 2 연구 참여자 남주○의 회기별 멘탈 모델

이미 알고 있거나 이미 만들어진 멘탈 모델에 비추어 과학적 모델과 일치하지 않는 멘탈 모델을 형성한다는 것을 알 수 있다.

덧붙여 김한○의 경우에는 8회기까지의 멘탈 모델 변화 과정을 거치는 동안 비교적 과학적 모델과 근접한 멘탈 모델을 형성하였고, 중간에 과학적 모델과 완전히 일치하는 멘탈 모델을 형성하기도 하였으나, 다시 비과학적 멘탈 모델로 돌아갔다(그림 3). 그 이유는 과학적 멘탈 모델 형성에 필요한 각각의 개념을 정확히 알고 있지만, 이를 결합하는 과정에서 두 개념을 독립적으로 인식하지 못하였기 때문이다. 다시 말해, 자전과 공전 각각의 개념을 정확하게 알고 있음에도 불구하고, 두 가지 개념을 결합시켜 멘탈 모델을 만들 때, 둘을 독립적으로 인식하지 못하였음을 보여준다. 즉, 김한○은 공전주기가 365일, 자전주기가 24시간이라는 것을 명확하게 알고 있으며 계절의 변화가 1년 동안 일어나는 변화라는 것을 인식하고 있음에도 불구하고, 자전을 동시에 고려하는 멘탈 모델에서 벗어나지 못하였다.

김한○은 공전주기가 365일, 자전주기가 24시간이라는 것을 명확하게 알고 있으며 계절의 변화가 1년 동안 일어나는 변화라는 것을 인식하고 있음에도 불구하고, 자전을 동시에 고려하는 멘탈 모델에서 벗어나지 못하였다.

김한○ : 음... (고개를 저으며) 또 수정해야 할 것 같아요. 자전축이 그대로면, 지구본을 돌려다보면 태양을 등지고 있을 때가 낮이어야 하는데, 그건 낮이 아니라 밤이잖아요. 그러니까 이렇게(자전축의 방향을 계절마다 바꾸면서) 해야 해요.

김한○의 이러한 사례는 왜 오개념이 변하기 어려운지에 대하여 멘탈 모델을 통해 이해할 수 있는 가능성을 제시한다. Greca와 Moreira(2000)는 멘탈 모델이 독립적인 개념이 아니며, 개인의 인지적 수용력의 한계나 지각적 편견에 의해 변화하는 것이 어렵다고 설명하였다. 자전이 낮과 밤의 원인이고, 자전과 공전의 주기가 분명히 다름을 알고 있으나, 계절 변화의 원인을 설명할 때 둘을 분리시키지 못하는 데에서 문제가 발생한 것이다. 이것으로 보아, 멘탈 모델이 한 번 형성되고 나면 이것이 새로운 정보가 개념적 체계로 들어가 해석되는 도중에 제약 조건으로 작용한다(Vosniadou & Brewer, 1994)는 것을 확인할 수 있다. 결국 학생들은 과학 시간에 개념을 학습하여도 스스로가 형성한 멘탈 모델에 비추어 그것을 해석하는 경향을 보임을 알 수 있다. 자신이 이전에 만든 모델이 새로운 개념 학습에 있어 강한 제약 조건으로 작용하는 것이다.

이와 같이 멘탈 모델이 이전의 신념이나 전제에 의해 제약을 받기도 하였지만, 연구 참여자들은 새롭게 받아들이거나 회상해낸 정보를 기존의 정보와 연결시키면서 계절의 변화를 더욱 정교하게 설명하려고 하였다. 회기 안에서, 또는 회기 간에 걸쳐 다양한 경로로 멘탈 모델을 변화시키면서, 그 사이에서 발생하는 모순점을 최소화하려는 노력을 보였다. 그 결과 변화가 많이 일어난 일부 연구 참여자는 과학적 모델과 일치하는 멘탈 모델을 형성하기도 하였다. 연구 참여자들이 새로운 정보들을 기존의 멘탈 모델과 비교하고 통합하여 이를 확장시키고 발전시킨 것은 멘탈 모델의 발달 과정이 곧 학습의 과정(Snow, 1989)임을 보여주는 것이라고 할 수 있다.

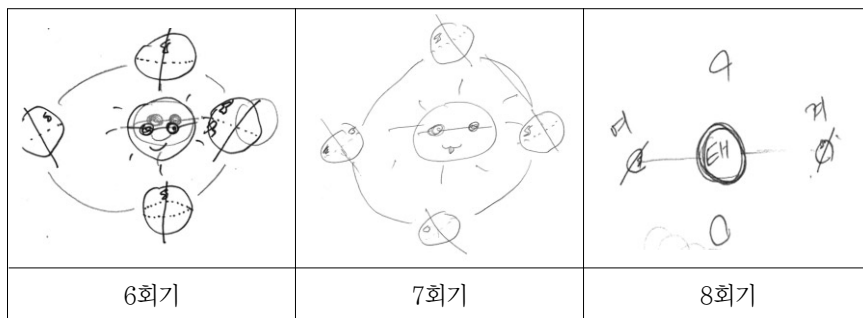


그림 3 연구 참여자 김한○의 회기별 멘탈 모델

다. 계절의 변화에 대한 학습자 멘탈 모델 수준과 특징

멘탈 모델이 개인의 인지 구조에서 내면화되고 조직화된 지식의 구조이고(Rapp, 2005), 학생들이 멘탈 모델을 활성화시킴으로써 현재 이론을 수정하여 새로운 이론을 구성해나간다는 점으로 미루어볼 때(Libarkin *et al.*, 2003; Vosniadou, 2002), 멘탈 모델의 발달 과정을 파악하면 학생의 내부에서 일어나는 지식 구성의 과정을 파악할 수 있다(Chi *et al.*, 1994). 이 부분에서는 위에서 설명한 연구 참여자들의 멘탈 모델 변화의 경로를 통해 계절 변화의 원인에 대한 지식이 학습자 내부에서 어떻게 형성되어 가는지를 살펴보고자 한다.

연구 참여자 8명의 회기별 멘탈 모델 변화 경로는 표 6과 같다. 변화의 정도 및 과학적 개념 여부 도달 여부에 따라 연구 참여자 8명을 세 부류로 구분하였다. 먼저 과학적 모델에 도달한 김도○은 과학적 모델

과 일치하는 부류로, 과학적 모델에 도달하지는 못했지만 이와 비슷한 멘탈 모델을 형성한 김태○과 이재○은 과도기 부류에 포함시켰다. 김한○의 경우, 8회기에 과학적 모델과 일치하는 멘탈 모델을 형성하였으나, 자신이 완벽히 과학적 개념을 이해하지는 못했다고 하였으므로 과도기로 분류하였다. 나머지 4명의 연구 참여자는 과학적 모델과 동떨어진 멘탈 모델을 형성하였으므로 비과학적 모델 부류에 포함시켰다.

이 세 부류의 회기 내, 회기 간 멘탈 모델의 변화 과정을 살펴본 결과, 몇 가지 특이사항을 발견할 수 있다.

계절 변화의 원인에 대한 멘탈 모델 변화 과정에서 두드러진 점은 모든 연구 참여자들이 지구-태양 사이의 거리와 관련된 변인을 고려했다는 점이다. 선행 연구 결과를 살펴보면, 계절 변화의 원인에 대해 학생들이 가지고 있는 선행 지식 중 두 번째로 많은 것이 지구와 태양 사이의 거리에 의한 것이다(채동현, 2011).

표 6
연구 참여자 8명의 회기별 멘탈 모델 변화 경로에 따른 수준 구분

연구 참여자		회기	1회기	2회기	3회기	4회기	5회기	6회기	7회기	8회기
		과학적 모델과 일치	김도○	E+St	E+St	E+D+Sa	E+D ↔ D+Og	Og+at	Og+at	Og+At
과도기	김태○	M ↔ Sa	R ↔ Sa ↔ Og	Og						
	김한○	e	e ↔ e+at	E+at+D	E+At+D ↔ E+at+D	E+At+D ↔ E+At	E+At ↔ e+at+D	e+at+D ↔ e+at ↔ e+at+D	E+At	
	이재○	e ↔ M ↔ C	e+Sa		e+Sa ↔ E	e+Sa ↔ E+Si+Sa	E+Si+Sa	E+Si+Sa ↔ E	E+Sa	
비 과학적 모델	박재○	R						C ↔ L	L ↔ L+R	R
	남주○	e+R	e+R ↔ e	e						
	이함○	R+D		R	D	e	e+D	e	e+D	
	천주○	D ↔ e+D	R							

이는 학생들이 일상생활에서 경험한 내용이 멘탈 모델 형성에 영향을 주었기 때문이라고 생각된다.

또 하나의 특이한 점은 자전이나 공전에 대한 그들의 선행 지식이 멘탈 모델의 변화 양상에 상당한 영향을 주었다는 것이다. 먼저 과학적 모델과 일치하거나 과도기에 해당하는 멘탈 모델을 나타낸 연구 참여자들은 자전과 공전의 용어와 의미를 명확하게 구분하였으며, 1년 동안 계절이 변화하는 원인이 지구의 공전과 밀접한 관련이 있다는 사실에 주목한다. 또한, 이들은 계절에 따라 지표면에 들어오는 빛의 양에 차이가 있음에 주의를 기울이며, 그 원인을 공전궤도의 경사나 자전축의 기울어짐으로 설명하는 경향을 보인다. 반면, 비과학적 모델에 해당하는 멘탈 모델을 나타낸 연구 참여자들은 계절의 변화와 공전이 어떤 관계가 있다는 사실에는 착안하였으나 자전과 공전의 의미와 그 주기를 확실히 구분하지 못한다. 따라서 그로 인해 나타나는 모순점을 해결하기 위하여 실제로 계절의 변화 원인과 무관한 태양과 지구 사이의 거리나 기단의 영향, 낮의 길이, 지구 내부의 온도 변화와 같은 다른 요인에서 이유를 찾으려고 노력한다.

표 7은 연구 참여자의 자전과 공전에 대한 선행 지

식의 유형과, 그들이 설명한 계절 변화의 원인 범주를 나타낸 것이다. 연구 참여자들의 멘탈 모델 변화 과정에서 자전과 공전을 둘 다 무시하는 경우, 자전만 고려하는 경우, 자전과 공전을 혼용하는 경우, 자전과 공전을 분리하는 경우의 네 가지 유형을 찾아볼 수 있었다. 유형별로 그들이 설명한 계절 변화의 원인 범주에 동그라미로 표시하였다.

계절 변화의 원인에 관한 과학적 모델을 형성하기 위해서는 학습자가 공전과 자전축의 기울어짐에 대해 고려해야 한다. 표 7의 내용으로 보아, 자전과 공전의 분리 여부가 과학적 개념 형성에 매우 중요한 요소로 작용함을 살펴볼 수 있다. 자전과 공전의 의미와 주기를 분명히 알고 둘을 분리하기 시작하면서 비로소 학생들의 멘탈 모델이 급변하기 시작하였다. 이후 지구가 공전할 때 계절마다 태양빛이 들어오는 양에 차이를 일으키는 원인을 탐색하기 시작하였고, 그 결과 공전궤도의 경사나 자전축의 기울어짐과 같은 새로운 변인에 주목하는 경향을 보였다. 따라서 학교 현장에서 자전과 공전을 분리시켜 이해하도록 하는 교육이 매우 중요하다고 여겨진다.

표 7
자전과 공전에 대하여 학습자가 가진 선행지식 유형별로 응답한 계절 변화의 원인 범주

설명한 계절 변화의 원인 범주	연구 참여자의 유형	연구 참여자의 유형			
		자전/공전 무시	자전	자전/공전 혼용	자전/공전 분리
지구의 자전	R		○	○	
지구의 공전	E				○
	e			○	
공전 궤도의 경사	Og				○
자전축의 기울어짐	At				○
	at				○
태양빛의 세기	Si				○
	St				○
태양빛이 지구에 들어오는 각도	Sa				○
태양-지구 사이의 거리	D	○	○	○	○
기단에 의한 바람	M	○			
낮의 길이	L	○			
지구 내부의 온도 변화	C	○			

2. 멘탈 모델 변화에 영향을 준 원인

학습자 멘탈 모델의 변화에 영향을 주는 원인을 파악하는 것은 효과적인 과학 수업을 위한 시사점을 제공하는 데 중요한 역할을 한다. 학생들이 멘탈 모델을 형성해 나가는 동안 사용한 자원을 파악함으로써 학습자가 어떻게 그러한 멘탈 모델을 형성하였는지 알 수 있을 뿐만 아니라, 더 나아가 유사한 경험을 가진 학생들이 멘탈 모델을 만들어가는 모습도 미루어 짐작할 수 있기 때문이다(이호 등, 2007). 이 연구에서 참여자의 멘탈 모델이 변하는 데 영향을 준 원인은 크게 다섯 가지로 나타났다. 표 8은 멘탈 모델 변화에 영향을 준 원인과 이를 보여주는 프로토콜의 예시이다.

가. 선행 지식 및 경험, 정보

연구 참여 전에 이미 가지고 있던 경험이나 지식, 정보가 멘탈 모델의 변화에 중요한 역할을 하였다. 연구 주제를 제시했을 때, 모든 연구 참여자들은 먼저 각 계절별 기온이나 특징, 계절 변화에 의한 현상 및 계절 별 생활모습의 차이 등 계절에 대하여 자신이 알고 있는 것들을 상기시키고, 그 차이의 원인을 알아내

려고 하였다. 이를 통하여 공통적으로 태양이 지구의 계절 변화에 영향을 미칠 것이라고 추측해 내었고, 태양과 지구 사이의 관계에서 계절 변화의 원인을 찾아내려고 시도하였다. 또한, 회기가 거듭될수록 3학년과 5학년 때 학습한 자전과 공전의 개념을 차근차근 떠올려가며 멘탈 모델을 정교화 하였다.

나. 선행 지식의 정확성

연구 참여자가 가진 선행 지식의 정확성 또한 멘탈 모델 변화 과정에 영향을 주었다. 계절 변화의 원인을 설명하기 위해서는 자전과 공전, 자전축의 기울어짐 등 관련된 여러 가지 개념을 통합적으로 고려하여야 한다(성나해와 최승연, 2008). 그리고 이러한 선행 지식이 정확하게 인지 구조에 정착되어 있어야 이를 통합하여 올바른 과학적 멘탈 모델을 형성할 수 있다. 멘탈 모델을 형성하는 단일 개념들은 상호 관련을 맺고 있기 때문에, 학습 목표 개념을 구성하는 단일 개념 중 잘못된 개념이 있을 경우는 표적 개념의 이해에 지장이 있게 된다(김찬중과 이조옥, 1995; 명전옥, 2001; 장명덕 등, 2001; Diakidoy & Kendeou, 2001). 이 연구를 통해서도 이를 확인할 수 있었는데,

표 8
멘탈 모델 변화에 영향을 준 원인 및 해당 프로토콜

멘탈 모델 변화에 영향을 준 원인	프로토콜
선행 지식 및 경험, 정보	- 제가 머릿속으로 곰곰이 생각하고 있었는데요. 좀 뭐가 제가 설명한 게 이상한 것 같아서요. 좀만 더 생각을 하다가, 자전이 생각났어요.
선행 지식의 정확성	- 한 계절은 3개월이구요, 그러니까 한 계절마다 91번 자전해요. 공전은, 1년에 태양 주위를 1바퀴 도니까 3개월마다 0.25바퀴. 그러니까, 한 계절마다 91번 자전하고, 0.25바퀴 태양 주변을 공전해요. 그 때 지구의 높이가 달라져서 빛을 받는 양이 달라서 계절이 변하는 거예요. - 자전은 지구가 365일 동안 아주 Slow motion으로 도는 걸 말해요. 자전을 하기 때문에 계절이 바뀌는 것 같아요.
새로운 지식의 수용	- 처음에는 지구 전체의 계절이 똑같다고 생각했는데, 호주는 우리나라랑 정 반대니까요. 갑자기 모순이 생겨가지고, 아예 틀을 바꿨는데…….
모형 조작을 통한 멘탈 모델 활성화	- 호주는…… 잠깐만요. 우리나라가 빛을 많이 받을 때 남아메리카는 여기(남반구의 아래쪽) 있으니까, 지금 호주랑 남아메리카가 겨울이라고 가정하면 될지도 모르겠는데요.
그림으로 그려보기	- 잠깐만요. 어, 각도는 들어가 있는 것 같아요. 왜냐하면 겨울에 태양이 아래에 있는 것처럼 보이니까……. 아, 우리 지구가 조금 올라오는 것 같기도 하고, 그래서 태양이 아래 부분에서 정지해 있고 지구는 그 위에서 돌고 있다고…….

자전과 공전에 대한 정확한 개념을 지닌 김도○, 김한○, 이재○의 경우, 잘 형성된 자전과 공전 멘탈 모델을 바탕으로 여기에 새로 획득하거나 떠올린 지식들을 통합시켜가며 멘탈 모델을 지속적으로 변화 발전시켜 나갔다.

다. 새로운 지식의 수용

새롭게 획득한 지식은 멘탈 모델의 변화에 매우 큰 영향을 미쳤다. 김도○이 연구 중반에 획득한 호주의 계절에 대한 정보는 그가 과학적 모델을 만드는 데 결정적인 영향을 미쳤다. 호주의 계절이 우리나라와 정반대라는 새로운 정보는 김도○이 이전까지 갖고 있던 모델과는 완전히 다른 새로운 것이었다. 이에 따라 그는 기존에 자신이 가지고 있던 멘탈 모델을 완전히 버리고 새로이 획득한 정보에 기초하여 전혀 다른 멘탈 모델을 형성하기 시작하였다. 새로운 지식이 기존에 자신이 가진 지식과 완전히 다를 경우, 획득한 정보에 기초하여 정확한 멘탈 모델을 구성할 수 있음(Greca & Moreira, 2000)을 확인할 수 있었다. 김한○은 과학실 게시판에서 본 태양계 행성들의 궤도 사진을 보고, 계절마다 태양-지구 사이의 거리가 다르던 기존의 멘탈 모델을 버리고 새로운 모델을 만들어내었다. 다른 연구 참여자들도 의도치 않게 획득한 새로운 정보들을 기존의 멘탈 모델과 비교하고, 통합하여 이를 확장 발전(Johnson-Laird, 1983)시키며 멘탈 모델을 변화시켜 나갔다. 이러한 결과들은 새로운 정보를 기억 안의 선행 지식과 통합하여 강한 결합을 형성하면, 정보가 기억 속에 잘 저장되고, 그 정보를 미래에 잘 인출해낼 수 있다(Rapp, 2005)는 연구 결과와 일치한다.

라. 모형 조작을 통한 멘탈 모델 활성화

지구본-전구활동이나 스티로폼 공 모형 활동도 멘탈 모델 변화를 일으키는 데 영향을 주었다. 머릿속으로 구성한 멘탈 모델을 실제로 조작하고 표현해 보는 과정에서 막연하게 생각했던 모델을 확인하고, 모순점을 찾고, 이를 해결하며 멘탈 모델을 정교화 하였다. 남주○의 경우 모형 활동 전까지는 지구가 자전과 공전을 동시에 할 때 우리나라가 태양을 마주보고 등지는 정도의 차이가 계절 변화의 원인이라고 설명하였다. 그런데, 스티로폼 공으로 모델을 표현해 보는 과정에서 자신의 모델에 의하면 1년에 각 계절이 2번 이상

생기거나, 아예 없는 계절도 있다는 사실을 깨닫고, 지구가 공전만 한다는 새 모델을 만들었다.

지구본에서 확인한 각 나라의 위지도 멘탈 모델을 변화시키는 데 도움이 되었다. 학생들은 연구 전에 나름대로 각 나라의 계절에 대한 사전 멘탈 모델을 형성하고 있었다. 그런데, 지구본 상에서 실제로 그 나라들을 확인하는 과정에서 자신의 멘탈 모델과의 모순점을 확인하고 멘탈 모델을 변화시켜 나갔다. Gobert(2000)는 모형과 모의실험이 규모가 커서 직접 관찰할 수 없는 과학적 현상의 밑바탕을 이루는 과정이나 인과적 체계에 대해 시각적으로 설명할 수 있게 해 준다고 주장하였다. 활동을 통해 모의실험을 하게 하는 것은 학생들이 복잡한 인과적 과정에 대해 깊이 학습하는 것을 촉진한다(Gobert & Pallant, 2004).

마. 그림으로 그려보기

자신이 가진 멘탈 모델을 그려보는 것 또한 멘탈 모델 변화를 일으키는 데 영향을 준 원인으로 작용하였다. 강훈식 등(2005)은 언어로 표현한 후 이에 대한 학생 자신의 멘탈 모델을 그리는 활동이 언어와 시각적 정보를 효과적으로 연계하고 통합시키는 방안이 될 수 있다고 하였다. 또한 그림이 추론을 돕는 멘탈 모델 구성을 촉진한다는 연구 결과도 있다(Gobert & Clement, 1999). 이번 연구에서도 연구 참여자들은 활동하면서 사고 발성으로 표현한 멘탈 모델을 그림으로 그리고 글로 쓰는 과정에서 자신이 만든 멘탈 모델의 오류를 찾고, 이를 수정해 나갔다. 예를 들어, 김태○은 태양이 지나가는 길이 계절마다 다르다는 멘탈 모델을 만들었으나, 이를 그림으로 표현하는 과정에서 지동설의 개념을 떠올렸다. 이를 바탕으로 태양이 움직이는 것이 아니라 지구의 높낮이가 달라진다고 설명하여, 공전 궤도의 경사라는 멘탈 모델을 형성하였다.

덧붙여, 이 다섯 가지 원인 이외에도 연구 참여자의 정의적 특성 또한 멘탈 모델 변화 과정에 영향을 주었다. 멘탈 모델을 지속적으로 변화시키고, 과학적 모델에 근접한 연구 참여자들은 전반적으로 과제 집착력, 끈기, 주제에 대한 흥미와 관심정도가 매우 높았다. 반면, 상대적으로 변화가 적었던 연구 참여자들은 주제에 대한 흥미를 보이지 않거나, 회기가 진행되는 동안 지루함을 느꼈다. 그렇지 않은 경우에도, 새로운 생각이나 대안적인 멘탈 모델을 찾아내려는 의지가

부족하였으며, 새로운 의문을 갖고 해결하려는 욕구가 낮았다. 이는 과학과에 대한 흥미와 선호도가 높을수록 인지 갈등을 많이 일으키고, 그것이 개념 변화를 효과적으로 이끈다는 권난주와 권재술(2004)의 연구 결과와 일치한다.

IV. 결론 및 제언

계절 변화의 원인에 대하여 학습자들은 저마다 다른 멘탈 모델을 가지고 있다. 이는 개인이 기존에 가지고 있는 경험과 지식이 모두 다르기 때문이다. 학습자는 수업 전에 이미 자신만의 멘탈 모델을 형성하며, 이것이 학습의 과정에 지속적으로 영향을 미친다. 과학적 모델은 아동이 형성한 멘탈 모델을 기초로 하여 이를 더 정교화하거나 의도적인 모델로 발전시킨 것으로, 이러한 모델은 과학 학습에서 새로운 이론을 발견하고 설명하거나, 현상을 예측하는 데 중요한 도구로 쓰인다(Vosniadou, 2002). 그러므로, 학생들이 특정 현상에 대해 멘탈 모델을 구성하여 보는 것은, 설명 과정에서 자신의 이론을 수정하거나 변경하여 점차 과학적 개념으로 변화시켜 나가는 데 있어 매우 중요하다. 특히 천문 현상은 눈으로 직접 확인하기 어려운 개념이기 때문에, 천문 현상을 이해하기 위해서는 학습자가 스스로 멘탈 모델을 만들어 설명해 보는 과정이 요구된다.

이 연구에서 얻어진 결과와 논의를 바탕으로 다음과 같은 결론을 내릴 수 있다.

첫째, 학습자의 멘탈 모델은 계절의 변화를 더욱 정교하게 설명하는 방향으로 회기 내 및 회기 간에 걸쳐 개인마다 다양한 경로로 변화하였으며, 변화가 많이 일어난 학습자일수록 과학적 모델에 근접하였다. 멘탈 모델은 정적이지 않고, 역동적으로 변화하였으며, 자신이 기존에 가지고 있던 경험과 선행 지식을 차근차근 끌어내면서, 기존 지식과 새로이 획득한 지식 사이의 모순점을 해결하는 방향으로 멘탈 모델을 변화시켜 나갔다. 특히 계절의 변화와 관련된 경험이나 선행 지식이 많은 학습자의 경우, 이를 멘탈 모델 정교화 과정에서 활용하려고 시도하였다. 또한 자신이 가진 멘탈 모델로 설명되지 않는 현상에 대하여 지속적인 의문을 가지고 해결하려는 의지를 가진 학습자일수록 멘탈 모델을 다양하게 변화시켰다. 이로 볼 때, 멘탈 모델은 새로운 정보가 기존의 멘탈 모델과 협응

하여 확장되고 발전하면서 변화한다고 할 수 있다.

둘째, 멘탈 모델의 변화에는 학습자가 사전에 보유한 지식과 경험 및 정보, 이러한 선행 지식의 정확성, 새로운 지식과 기존 멘탈 모델 사이의 불일치 해결, 모형 조작을 통한 멘탈 모델 활성화, 그림으로 그려보기 등이 중요한 원인으로 작용하였다. 학습자는 과거의 경험이나 정보를 하나 둘씩 끌어내며 점점 멘탈 모델을 정교화 하였으며, 정확한 선행 지식을 보유할수록 멘탈 모델의 변화가 많이 일어났다. 또한 모형을 조작하는 활동을 해보고, 그림으로 그리는 과정에서 모순점을 찾고 새로이 획득한 지식과 자신의 멘탈 모델 사이의 불일치를 해소하면서 멘탈 모델을 변화시켜 나갔다.

이 연구를 통하여 과학 학습 지도에 다음과 같은 시사점을 줄 수 있다.

첫째, 학교 현장에서 과학적 개념을 학습할 때 학생 스스로가 멘탈 모델을 구성하고, 이를 설명해 보도록 하는 기회를 제공할 필요가 있다. 학습자가 스스로 멘탈 모델을 구성해 보는 활동을 통하여, 그들이 자신의 지식 구조 안에 내재된 개념들을 연결시켜 개념 체계 안으로 편입시킬 수 있다. 즉, 멘탈 모델을 구성해보는 활동이 과학 학습 내용을 이론화하는 매개체가 되어, 새로운 개념을 형성하고 이론을 만드는 데 중요한 역할을 하는 것이다. 교사 또한 학습자의 멘탈 모델을 파악함으로써 학습자가 가진 부정확한 개념들을 확인하고 이를 올바르게 교정하는 데 필요한 교육 계획을 수립할 수 있다. 교사는 먼저 학습자의 멘탈 모델을 파악하고, 이를 바탕으로 새로운 개념을 연결시켜 나갈 수 있는 수업을 설계해야 한다.

둘째, 학습 내용과 관련된 선행 지식을 정확하게 인식시킬 필요가 있다. 이번 연구에서도 참여한 대상자 중 지적 능력이나 학업 성취도가 비슷함에도 불구하고 서로 다른 멘탈 모델을 형성한 데에는, 선행 지식의 정확성 여부가 큰 변수로 작용하였다. 과학적 모델은 여러 가지 관련 개념들이 상호 작용을 함으로써 구성된다. 그러므로 각각의 개념들을 정확히 파악하고 있을 때 과학적 모델을 구성할 수 있고, 이를 이해할 수 있다. 잘못된 선행 지식을 가진 학습자는 변형된 멘탈 모델을 만들게 되고, 결국 오개념을 형성한다.

셋째, 올바른 멘탈 모델 형성을 위하여 학습자가 다양한 경험 상황이나, 새로운 지식에 노출되도록 할 필요가 있다. 연구에서 사전 경험이나 지식의 양이 많을

수록 그것을 상기해내어 다양한 대안적 멘탈 모델을 형성하였으며, 자신이 가진 멘탈 모델과 완전히 다른 새로운 지식을 수용하였을 때 멘탈 모델의 변화가 두드러지게 나타났다. 이것으로 볼 때, 학습자에게 다양한 멘탈 모델을 구성할 수 있는 경험을 많이 제공하고, 기존 멘탈 모델과 불일치하는 새로운 수업자료를 제시함으로써 의문을 느끼고 이를 해결하도록 할 필요가 있다. 모순을 느끼고 그것을 해결하는 멘탈 모델의 정교화 과정을 거치게 함으로써, 개념과 관련된 올바른 과학적 모델을 형성하는 데 도움을 줄 수 있을 것이다.

국문 요약

이 연구의 목적은 계절 변화의 원인에 대한 초등학생의 멘탈 모델의 변화 과정을 파악하는 것이다. 미시 발생적 연구 방법을 사용하여 총 8회기 동안 초등학교 6학년생 8명에게 계절 변화의 원인을 그림과 글, 사고 발생을 통해 설명하게 함으로써 멘탈 모델의 변화를 파악하였다. 연구 진행 시 연구 참여자의 언어적, 행동적 요소 및 면담 내용을 모두 비디오 녹화하였으며, 연구자의 현장 관찰 기록지와 학생이 작성한 멘탈 모델 기록지 등 다각적 자료를 함께 수집하였다. 수집한 결과를 통합하여 프로토콜을 작성하고, 이를 반복적으로 읽으며 귀납적으로 범주화하였다.

연구 결과는 다음과 같다.

첫째, 계절 변화의 원인에 대한 학습자의 멘탈 모델은 회기 내 및 회기 간에 걸쳐 개인마다 다양한 경로로 변화하였으며, 다양한 변화를 일으킨 학습자의 멘탈 모델이 과학적 모델에 더 근접하였다. 또한 자전이나 공전처럼, 계절의 변화와 관련된 선행 지식이 바르게 정착된 학생들은 새로운 정보에 기초하여 과학적 개념과 일치하는 멘탈 모델을 형성하였다. 반면에, 선행 지식이 바르게 정착되지 않은 경우에는 변형된 멘탈 모델에서 벗어나지 못하였다.

둘째, 멘탈 모델이 변화하는 데에는 학습자의 선행 지식과 경험 및 정보, 선행 지식의 정확성, 새로운 지식과 기존 멘탈 모델 사이의 불일치 해결, 모형 조작을 통한 멘탈 모델 활성화, 그림으로 그려보기와 같은 요인들이 영향을 미쳤다.

교사는 학습자의 과학적 개념 형성을 위하여 그들에게 다양한 멘탈 모델을 구성할 수 있는 경험을 충분히 제공하고, 기존 멘탈 모델과 불일치하는 새로운 수

업자료 제시를 통해 학습자가 의문을 느끼게 하고, 이를 해결하도록 할 필요가 있다.

참고 문헌

- 강훈식, 김보경, 노태희(2005). 물질의 입자적 성질에 대한 다중 표상 학습에서 외적 표상들 간의 연계와 통합을 촉진시키는 방안으로서의 그리기와 쓰기. *한국과학교육학회지*, 25(4), 533-540.
- 권난주, 권재술(2004). 인지갈등 전략을 이용한 과학 개념변화에서 학습자 특성의 효과. *한국과학교육학회지*, 24(2), 216-225.
- 김범기, 이항로, 김기정(1996). 천문 개념 성취도와 공간 능력과의 상관관계에 관한 연구. *한국초등과학교육학회지*, 15(2), 315-325.
- 김찬중, 이조옥(1995). 달의 위상 변화와 빛에 대한 중등학교 학생들의 개념 사이의 관계. *한국지구과학회지*, 17(1), 8-21.
- 나진호, 정미영, 경재복(2005). 인지갈등 수업전략을 통한 초등학생들의 지층에 관한 개념. *한국지구과학회지*, 26(8), 777-789.
- 명전옥(2001). 예비교사들이 지구과학 문제 해결 실패 요인: 달과 행성의 운동을 중심으로. *한국지구과학회지*, 22(5), 339-349.
- 변재성, 정재구, 문병찬, 정진우(2004). 지구와 달의 운동에 대한 고등학생들의 생각. *한국지구과학회지*, 25(7), 519-531.
- 성나해, 최승연(2008). 달의 위상 변화에 관한 교과서의 지식 통합 과정 및 학생 정신 모델의 비교 연구. *한국지구과학회지*, 29(2), 163-174.
- 송현순(2001). 초등학생의 실과 문제해결 전략에 대한 미시발생학적 분석. *실과교육연구*, 7(1), 129-146.
- 삼기창, 김희수, 정정인(2004). 인지갈등 수업모형을 적용한 중학생의 달의 운동 개념 변화. *한국지구과학회지*, 25(5), 348-363.
- 이호, 조현준, 이효녕(2007). 달 크레이터 생성에 대한 대학생들의 정신모형 분석. *한국지구과학회지*, 28(6), 653-670.
- 임정환, 정진우(1993). 국민학교 자연과 천문분야 내용 분석과 문제점. *한국과학교육학회지*, 13(2), 247-256.
- 장명덕, 정철, 정진우(2001). 계절 변화에 대한 초등학생의 선개념과 개념 변화 양상. *한국지구과학회지*, 22(4), 268-277.

정구송(2007). 지구 내부에 대한 고등학교 학생들의 정신모형 탐색. *한국지구과학회지*, 28(6), 643-652.

채동현(2011). 계절 변화의 원인에 대한 초등학교 6학년 학생들의 선개념 조사. *초등과학교육학회지*, 30(2), 204-212.

최현동(2011). 대학생이 과학 관련 과제에서 사용한 분류 전략의 미시발생적 분석. *대한지구과학교육학회지*, 4(2), 151-165.

Chi, M. T., Slotta, J., & Leeuw, N. (1994). From things to processes: A theory of conceptual change for learning science concepts. *Learning and Instruction*, 4(1), 27-43.

Chinn, C. A. (1997). A Microgenetic Study of Learning about The Molecular Theory of Matter and Chemical Reactions. Urbana-Champaign: University of Illinois doctoral dissertation.

Coll, R. K., & Treagust, D. F. (2003). Investigation of secondary school, undergraduate, and graduate learners' Mental models of ionic bonding. *Journal of Research in Science Teaching*, 40(5), 464-486.

Diakidoy, I. N., & Kendeou, P. (2001). Facilitating conceptual change in astronomy: A comparison of the effectiveness of two instructional approaches. *Learning and Instruction*, 11(1), 1-20.

Dove, J. (1999). Exploring a hydrological concept through children's drawing. *International Journal of Science Education*, 21(5), 485-497.

Driver, R., Asoko, H., Leach, J., Mortimer, E., & Scott, P. (1994). Constructing scientific knowledge in the classroom. *Educational Researcher*, 23(7), 5-12.

Edens, K. M., & Potter, E. R. (2001). Promoting conceptual understanding through pictorial representation. *Studies in Art Education*, 42(3), 214-233.

Edens K. M., & Potter, E. (2003). Using Descriptive Drawing as a conceptual change strategy in elementary science. *School Science and Mathematics*, 103(3), 135-144.

Gilbert, S. W., & Ireton, S. W. (2003). Understanding models in earth and space science. NATA press. Arlington, VA, USA.

Gobert, J. S., & Clement, J. (1999). Effects of student-generated diagrams versus student-generated summaries on conceptual understanding of causal and dynamic knowledge in plate tectonics. *Journal of Research in Science Teaching*, 36(1), 39-53.

Gobert, J. D. (2000). A typology of models for plate tectonics: Inferential power and barriers to understanding. *International Journal of Science Education*, 22(9), 937-977.

Gobert, J. S., & Pallant, A. (2004). Fostering student's epistemologies of models via authentic model-based tasks. *Journal of Science Education and Technology*, 13(1), 7-22.

Greca, I. M., & Moreira, M. A. (2000). Mental models, conceptual models, and modelling. *International Journal of Science Education*, 22(1), 1-11.

Greca, I. M., & Moreira, M. A. (2002). Mental, Physical, and Mathematical models in the teaching and learning of physics. *Science Education*, 86(1), 106-121.

Johnson-Laird, P. N. (1983). *Mental Models: Towards a cognitive science of language, inference, and consciousness*. Harvard University Press.

Libarkin, J. C., Beifuss, M., & Kurdziel, J. P. (2003). Research methodologies in science education: Mental models and cognition in education. *Journal of Geoscience Education*, 51(1), 121-126.

Linn, M. C., Davis, E. A., & Bell, P. (2004). *Internet environments for science education*. Lawrence Erlbaum Associates Mahwah, NJ, USA.

Norman, D. (1983). *Some observations on mental models*. Mental models, New Jersey, Lawrence Erlbaum Associates, Inc.

Rapp, D. N. (2005). Mental models: Theoretical issues for visualizations in science education. In J. K. Gilbert (Ed.), *Visualization in Science Education*. (pp. 43-60). Dordrecht, The Netherlands: Springer.

Shepardson, D. P., Wee, B., Priddy, M., & Harbor, J. (2007). Students' mental models of the environment. *Journal of Research in Science Teaching*, 44(2), 327-348.

Siegler, R. S., & Chen, Z. (1998). Developmental differences in rule learning: A microgenetic analysis. *Cognitive Psychology*, 36(3), 273-310.

Siegler, R. S., & Crowley, K. (1991). The microgenetic method: A direct means for studying cognitive development. *American Psychologist*, 46(6), 606-620.

Snow, R. E. (1989). Toward assessment of cognitive and conative structures in learning. *Educational Researcher*, 18(9), 8-14.

Subramaniam, K., & Padalkar, S. (2009). Visualisation and reasoning in explaining the phases of the moon. *International Journal of Science Education*, 31(3), 395-417.

Trafton, J. G., Trickett, S. B., & Mintz, F. (2005). Connecting internal and external representations: Spatial transformations of scientific visualizations. *Foundations of Science*, 10(1), 89-106.

Vosniadou, S. (1992). Knowledge acquisition and conceptual change. *Applied Psychology: An International Review*, 41(4), 347-357.

Vosniadou, S. (1994). Conceptual change in the physical sciences. *Learning and Instruction*, 4(1), 1-121.

Vosniadou, S. (2002). *Mental Models in Conceptual Development*. In Magnani, L., & Nersessian, N. (Eds.), *Model-Based Reasoning: Science, Technology, Values*, New York: Kluwer Academic Press.

Vosniadou, S., & Brewer, W. F. (1994). Mental models of the day/night cycle. *Cognitive Science*, 18(1), 123-183.