

지구 내부에 대한 고등학교 학생들의 정신모형 탐색

정 구 송*

양재고등학교, 137-072 서울시 서초구 서초2동 1376-4

Investigation of High School Students' Mental Models about the Earth's Interior

Ku-Song Jeong*

Yang Jae High School, Seoul 137-072, Korea

Abstract: The purpose of this study was to investigate students' mental models and alternative conceptions about the Earth's interior. A total of 126 10th grade students participated in this study. They were requested to draw Earth's interior tasks and were interviewed about their mental models. A coding frame was designed to classify the students' drawings and interview responses, and then a four step cognitive model was established based on the frame of coding. In addition, the relationship of mental models was compared in terms of students' gender, and the type of alternative conceptions was analysed. The research results showed a variety of alternative conceptions on the interior of the Earth. The classified mental models showed naive mental model (11%), unstable mental model (81%), conceptual model (8%), while 69% of all sampled students accounted for the static process. The gender difference in the cognitive model showed no statistical significance.

Keywords: mental model, alternative conception, earth's interior, drawing task

요약: 본 연구는 지구 내부에 대한 학생들의 정신모형을 분석하고 대안개념을 조사한 것이다. 연구는 고등학교 1학년 126명의 학생들을 대상으로 그리기 과제와 면담을 병행하여 실시하였다. 연구를 수행하기 위하여 그리기 과제와 분류틀을 제작하였다. 면담과 그리기 과제의 결과물들 통하여 부호화 틀에 따라 네 단계의 인지적 모형으로 분류하였고, 대안 개념의 유형을 파악하였다. 아울러 학생들의 성별에 따른 정신모형의 관련성을 비교하였다. 연구 결과에서 대부분의 학생들은 지구 내부에 대하여 많은 대안 개념을 보였다. 분류된 정신모형은 소박한 모형이 11%, 불안정 모형이 81%, 개념적 모형이 8%로 나타났으며, 정적 정신모형으로 분류된 학생은 69%로 나타났다. 정신모형의 성별 분포에서는 유의미한 차이를 보이지 않았다.

주요어: 정신모형, 대안개념, 지구 내부, 그리기 과제

서론

학습에 따른 이해는 학습자의 도식(schemata) 내부로 새로운 지식을 관련지어 결합시키는 것으로 정신모형은 도식을 활성화시키는데 중요한 역할을 한다(Vosniadou and Brewer, 1992). 이러한 도식의 총체적 표현으로 정의되는 정신모형은 관찰이나 수업을 통한 경험과 문화적 영향을 통하여 형성되고 학습자

들이 가진 신념의 방식이나 체제를 반영하게 된다(Libarkin et al., 2003).

정신모형에 대한 정의는 학자들에 따라 조금씩 차이를 보인다. Paivio(1990)는 학습자가 현상을 어떻게 예상하는지 알기 위해서는 정신모형을 구성하는 요소를 확인해야하며 이러한 요소로서 언어적 표상과 시각적 표상을 제시하였다. 일부 학자들은 은유적인 표현을 이용하거나 언어로서 의미를 전달할 때 단순히 정신모형을 나타내는 것이라 주장하기도 한다(Lakoff and Johnson, 1980).

선행 문헌에서 대부분 학자들은 외부 세계와의 상호작용을 통해 형성된 내적 표상(internal representation)

*Corresponding author: ggusong@chollian.net

Tel: 82-2-571-4459

Fax: 82-2-578-7507

을 정신모형으로 정의한다(Van der Veer, 2000). 그리고 정신모형은 저장된 지식의 활성화를 촉진하게하고 문제해결이나 과제를 수행하는 과정에서 필요에 따라 구성된다고 설명한다(Libarkin et al., 2003). 아울러 학자들은 문제 상황을 제시함으로써 구성되어 표현되는 학습자의 다양한 정신모형을 제시하였다(Vosniadou and Brewer, 1992; diSessa, 1993; Chi, 2000; Greca and Moreira, 2001).

최근 교수-학습 과정에서 학생들이 지구과학 현상들과 이에 따른 문제 상황에 직면했을 때 표상하는 정신모형에 대한 연구들이 진행되어왔다(Vosniadou and Brewer, 1992; Libarkin et al., 2003; Beilfuss, 2004). 또한 개념 변화와 오개념에 근거한 인지 구조와 요인들에 대한 종합적인 이해를 이끌어 내기위해 학습자의 정신모형 해석에 대한 연구들이 시도되었다(박지연과 이경호 2004; Glynn, 2004; 오준영과 김유신, 2006; 이기영, 2006; 정구송, 2006).

연구에서 개념에 대한 이해와 개념 변화 정도는 학습자들이 가지는 정신모형의 유형에 따라 다르게 나타나며(Vosniadou and Brewer, 1992; Chi, 1998), 낮은 수준의 정신모형을 지닌 학습자일수록 대부분 중대한 오개념을 지니고 있음을 밝히고 있다(Beilfuss, 2004; 정구송, 2006). 또한 대부분의 연구 결과는 학습자의 정신모형이 다양한 학습 활동을 통하여 보다 정교하고 숙련된 정신모형으로 발전될 수 있음을 강조하고 있다(Gobet, 2005). 그리고 정신모형이 지식 수용과 학습의 이해에 중요한 영향을 준다는 측면에서 발전적인 정신모형을 개발하기 위한 수업 전략의 시작으로 학생들의 정신모형을 밝혀내는 것이 중요하다고 주장한다(Johnson-Laird, 1983).

정신모형에 대하여 하나의 명확하고 통일된 정의가 존재하는 것은 아니지만 Libarkin 등(2003)은 초심자에 의해 나타나는 소박한 정신모형(*naive mental model*), 불안정한 정신모형(*unstable mental model*), 개념상 체제(*conceptual frameworks*)와 숙련자에 의해 나타날 수 있는 개념적 모형(*conceptual model*)의 4가지로 정신모형을 정리하고 있다.

소박한 정신모형은 문제 상황에 대처하거나 해석을 위하여 직관적이거나 무의식적으로 구성되며(Vosniadou and Brewer, 1992; Chi, 2000), 불안정한 정신모형은 부정확하며 유동성을 보임에 따라 새로운 상황이 제시될 때 기존의 정신모형을 쉽게 수정하거나 적용을 위한 의미로서 정보를 단순하게 받아들이는 관점에서 구



Cognitive Model	Description
Naive Mental Model	
Unstable Mental Model	
Conceptual Frameworks or Conceptual Model	Pictorial "down" is always gravitational down

Fig. 1. Four categories of cognitive models (Libarkin et al., 2003).

성된다(Libarkin et al., 2003). 이와는 대조적으로 개념적 모형은 비교적 안정적이며 조직화되어있어 학습자가 현상을 예견하고 설명하는 능력을 제시한다(Johnson-Laird, 1983). 그러나 대안 개념을 일부 포함하는 개념상 체제는 현상에 대하여 정확하고 타당성을 보이는 표상으로 나타나는 개념적 모형과는 차이를 보인다(Greca and Moreira, 2001). Fig. 1은 지구 모양에 대한 학생들의 사고 모형(Vosniadou and Brewer, 1992)을 적용한 것으로 편평한 모양으로 사고하는 소박한 정신모형과 이증적 사고의 불안정 모형, 중력 방향을 고려한 개념적 모형의 예를 제시한다.

이러한 정신모형을 밝히기 위한 방법의 하나로 일부 교육학자들은 그리기를 활용하고 있다(Dove, 2000; Lillo, 1994). 적절한 그리기 과제는 학생들이 추상적인 내용을 학습할 때 개념을 구체화하여 제시하도록 함으로써 시각적 표상으로 조직하는 인지과정의 표현을 확인할 수 있게 한다(Edens and Potter, 2003), 그리고 경우에 따라서는 대상에 대한 학생의 신념이나 태도까지도 드러내게 할 수도 있다(송진웅, 1993). 즉 그리기를 이용한 연구방법은 가장 개방적인 방법의 하나로 학생들의 인지적 측면뿐만 아니라 태도, 느낌 등을 포함한 질적 측면의 이해 양상에 대한 전체적인 파악까지도 가능하게 할 수도 있다는 의미다.

그리기를 이용하여 정신모형을 밝혀낸 대부분의 연구들은 강과 산이 포함된 지리환경(Dove, 2000), 물의 순환, 지하수(Dicker et al., 2004) 등과 같은 추상적인 개념들을 대상으로 실시되었다. 특히, Beilfuss(2004)는 지구 내부구조에 대한 학생들의 내부 모형을 정적모형과 동적모형으로 구분하여 정적모형을 지니는 학생들의 제한적 한계를 제시했으며, Gobet(2005)는 지구 내부와 화산 분출에 대한 학생들의 다양한 내부 모형을

구분하고 반복적 그리기 활동이 보다 정교한 정신모형으로 이끌 수 있음을 확인하였다.

추상적 내용을 포함하는 과제에 대한 효과적인 수업을 위해서는 그리기 활동을 통하여 정신모형을 밝히는 것이 필요하다. 이러한 확인은 교수-학습 과정에서 개념 변화 전략이나 수업 처치를 고려하게 할 수 있다. 그리고 교육 과정의 계획 단계에서 정보를 제공할 수 있으며, 올바른 개념 형성을 위한 학습 지도 자료로도 제시할 수 있기 때문이다(Marques and Thompson, 1997). 본 연구에서는 정신모형이 제시된 과제의 지식 구조와 내용에 대한 표상으로 나타난다고 보고, 학생들의 그리기 과제와 면담 결과물을 분석함으로써 유형에 따른 정신모형으로 분류할 수 있다고 가정하였다.

연구 목적은 지구 내부에 대한 학생들의 정신모형과 대안개념의 유형으로 알아보고 아울러 성별에 따른 차이가 있는지 밝히는 것이다.

연구 방법 및 절차

연구대상 및 시기

본 연구는 연구자가 근무한 서울 소재 인문고등학교 2개교의 1학년 총 126명(남학생 64명, 여학생 62명)의 학생들을 대상으로 실시하였다. 연구 시기는 연구 영역에 해당되는 교과 내용을 학습한 이후인 2005년 6월부터 9월에 걸쳐 진행되었다.

검사도구 개발

본 연구에서는 10학년 '지구의 변동' 단원의 '지구 내부 구조와 판구조론'에 대한 그리기 과제의 검사도구를 개발하였다(Fig. 2).

그리기 과제는 정신모형의 상황 의존적 특성(Wittmann, 2002)을 고려해 하나의 과제만으로는 명확한 정신모형의 규명이 어려울 것으로 판단하여 동일한 상황을 포함하는 그리기 과제 1과 과제 2를 개발하였다. 그리기 과제 1은 지구 내부에 대한 학생들의 관점과 정신모형을 알아보기 위한 주요 도구로, 과제 2는 과제 1과 면담에서 제시되지 못한 시각적 표상에 대한 부가 자료로 활용하였다. 모든 대상 학생들에게 Fig. 2의 그리기 과제 1, 2를 부여하였으며 결과물에 애매한 표현이 포함된 학생들(82명)에 한하여 추후 약속에 의해 면담을 병행하였다.

Drawing Task 1.

지구 내부의 단면에서 볼 수 있는 모든 것들을 그림으로 표현해 보자.



Probing Questions.

지구의 중심은 어떠한가?(학생이 맨틀, 지각만을 그리고 난 후에). 핵 이외에 무엇을 알고 있니?(핵만을 표현 했을 때)



만일 우리가 여행을 중심까지 할 수 있으면, 그곳(핵, 또는 내핵, 외핵, 맨틀, 맨틀 내의 연약권)은 무엇과 같을까?(고체, 액체, 기체)



지구의 중심이 뜨거운 이유는 왜일까?(학생 응답이 뜨겁다고 답변 할 경우 응답 유형에 따라 질문이 다름)



...

Drawing Task 2.

지각 내부로 들어갈수록 그림 단면에서 볼 수 경계면을 포함하여 모든 것들을 묘사해 보자.

Probing Questions.

만약, 지구 내부에 물질의 이동이나 에너지의 흐름이 있다면 표현해 볼까?(경계만을 표시했을 때)



내가 그린 단면도에서 안쪽 층이 바깥층과 비교하여 어떻게 다르지?(층들에 대한 특성 설명 없이 경계를 선으로만 구분 하였을 때)



마그마(또는 용암)은 어디에서 생성된 것일까?(답변 부족 시 부가 질문)



...

Fig. 2. Drawing tasks and probing questions.

결과 부호화

결과 자료의 부호화는 지구 내부 구조에 대한 학생들의 이해 연구(Beilfuss, 2004)에서 제시된 분류들을 준거로 현행 우리나라 교육과정 내용에 맞추어 초기 기준 틀을 설정하였다. 이후 예비 조사에서 제시된 분류에 필요한 더 세부적인 내용을 포함하여 최종 기준 틀은 3명의 지구과학 교사들의 논의를 통해 완성하였다(Table 1).

평가자 간의 신뢰도를 높이기 위하여, 세 명의 연구자들은 20명의 학생 결과물을 초기 분류 틀에 근거하여 개개인의 기준으로 평가하고 토의를 통하여 일치도를 높였다. 그리고 최종 분류틀이 만들어진 후 나머지 자료들은 통일성을 기하기 위하여 본 연구자가 분류를 진행하였다.

부호화는 먼저, 지구 내부에 대한 그리기 과제와

면담자료를 포함하는 학생들의 결과물을 종합하여 정적 관점과 동적 관점으로 분류하였다. 이후 부호화들에 근거하여 소박한 모형(*naive model*), 정적 불안정 모형(*static unstable model*), 동적 불안정한 모형(*dynamic unstable model*), 개념적 모형(*conceptual model*)으로 분류하였다. 그리고 면담과 결과 분석과정에서 나타난 대안 개념도 함께 조사하였다.

그리기 결과물들은 지구의 크기나 내부 층들의 두께, 그리고 각 부분의 비율에 있어서도 다양하고 과장되게 묘사되기도 했지만 분류에 있어서 기준으로 고려하지는 않았다.

연구의 제한점

이 연구에 참여한 학생들은 지구과학 영역에 해당되는 내용을 교육과정상 10학년까지 일관성 있게 적용 받아왔다. 물론 연구가 진행되기 이전까지는 학교에 따라 교수 환경 및 선택 교과서의 내용 구성에 있어서 차이를 가질 수도 있었을 것이다. 그러나 연구 결과에 미칠 영향을 최소화하기 위해 연구 영역에 해당되는 10학년 내용의 수업은 두 학교 모두 동일한 교과서에 의한 강의식 수업으로 실시하였으며 일정시간이 경과한 이후에 연구를 진행하였다.

이 연구는 자료를 분석하고 결과를 도출하는 과정에서 면담과 그리기 분석만으로는 학생들이 가지고 있는 모든 생각들을 표현하게 할 수 있는 것이 아니기 때문에 분석 방법에는 한계가 있을 수 있다. 따라서 정·동적 모형으로 분류된 결과는 학생들의 낮은 이해도 때문이 아닌 제한된 면담과 그리기에서 나타난 결과일 수도 있다. 연구 결과는 일반화에 어려움을 가질 수 있지만 많은 학생들이 이 연구와 근접한 분포를 보일 것으로 생각한다.

결과 및 논의

그리기 과제 분석에서 나타난 일반적인 경향은 지구 내부 구조의 과학적인 모형(지각 - 암석권 - 연약권 - 하부맨틀 - 외핵 - 내핵)과는 다른 묘사와 화학적 성질과 물리적 상태의 혼합된 묘사가 우세하게 나타났다. 그리고 면담에서도 내부 과정의 복잡한 이해를 요구하는 질문을 제시했을 때 대부분 적절하지 못한 설명을 보였다. 결과 분석에서 나타난 학생들의 정신 모형에 대한 분류 결과는 Table 2와 같다.

자료들을 분석해 볼 때, 지구 내부에 대한 학생들

Table 2. Observed characteristics of drawings of earth's interior (N= 126)

Perspective	Model	% of drawing
Static	Naive Model	11
	Unstable Model	58
Dynamic	Unstable Model	23
	Conceptual Model	8

의 사고는 토양이나 암석의 수평적인 층으로 구성된 지구 내부의 단순 모형으로부터 독특한 물리·화학적 특성과 함께 동심의 층으로 묘사된 복잡한 모형에 이르기까지 다양하게 나타났다. 학생들 중 11%는 지구 내부 구조의 물리·화학적 특성을 나타내지 않는 비 동심원 구도로 묘사했다. 그리고 나머지 대부분의 학생들은 영역으로 구분되는 각 층에 대하여 동심원적인 구도로서 지구 내부를 표현했다. 그러나 표본 학생들 중 일부만이 물리·화학적 특성에 따라 지구 내부 구조를 세분화했고, 면담 내용에서도 근거에 의하여 정확하게 응답을 제시했다.

그리기와 면담 자료 분석에서 표본 학생들의 81%가 불안정 모형으로 부호화되었으며, 69%의 학생들은 정적 정신모형으로 분류되었다. 그리고 지구 내부 구조의 물리·화학적 특성에 대한 완벽한 묘사와 대류 과정에 대한 설명을 보인 개념적 모형에 분류된 학생은 8%에 불과했다.

성별에 따른 분포에서는 남학생이 여학생에 비하여 완전한 내부 묘사와 적절한 응답으로 개념적 모형 비율은 다소 많이 나타났다(Fig. 3). 그러나 남녀 성별에 따른 정신모형의 교차분석 결과 유의수준 .05수준에서 차이는 보이지 않았다(Table 3).

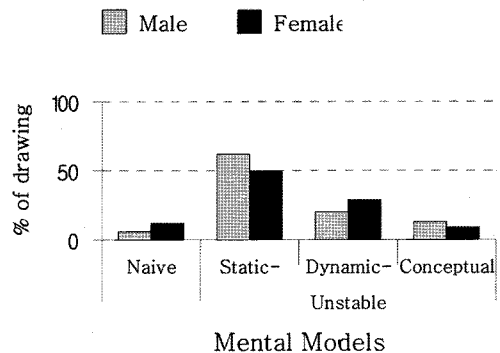


Fig. 3. The gender difference of four mental models about the earth's interior.

Table 3. Pearson Chi-Square Tests of gender difference and mental models

χ^2 -Value	df	P-value
1.873	3	.599



Fig. 4. An example of naive model.

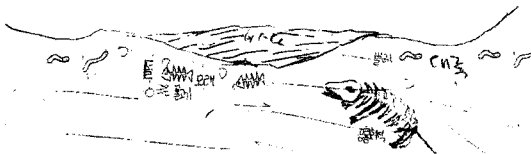


Fig. 5. An example of naive model (Drawing task 2).

소박한 모형 (naive model)

소박한 모형으로 분류된 그림에서는 핵과 맨틀 같은 핵심적 특징들에 대한 구분이 나타나지 않으며 일반적으로 지구 내부에서 일어나는 물리·화학적 변화들의 묘사도 나타나지 않는다.

Fig. 4를 그린 학생은 지표에서 쉽게 관찰할 수 있는 지층이나 특정한 광물, 화석, 그리고 쓰레기와 같은 물질들로서 지각뿐만 아니라 지구 중심부까지 묘사하였다. 이 학생이 그린 Fig. 5에서도 단면도상의 어떠한 경계면에 대한 구분이 나타나지 않는다. 아래 내용은 위 그림을 묘사한 학생의 면담 내용 중 일부 분이다.

연구자: 네가 그려 놓은 지구 내부에 대한 설명을 나에게 해 줄 수 있겠니?

학생: 예... 여기 내부에는 많은 퇴적물들 같은 것이 있을 것 같아요. 퇴적물 속에는 화석도 있을 것이고, 화석을 어떻게 그려야할지 모르겠지만, 공통 같은 거요... 그리고 여기(중심부를 가리키며)에는 아주 오래전부터 있었던 많은 다른 층들이 있을 것 같아요.

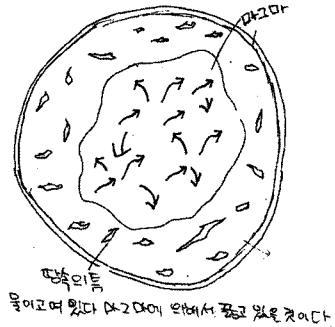


Fig. 6. An example of naive model.

연구자: 지구의 겉 부분에서 중심부까지 그러한 물질들만 존재하고 있을까?

학생: 글썽요... 아아... 다른 물질 같은 것들도 있을 것 같아요. 저는 무슨 종류인지는 모르겠고, 그러나 다른 물건(딱연한)같은... 광물이나 석유, 석탄 같은 거요.

Fig. 6에서는 핵과 맨틀의 구분이 없고 지구 겉 부분에 대한 정의도 불분명하다. 그리고 지구 내부의 일정 깊이에서 마그마로 가득 찬 내부를 보여주고 있다. 학생은 마그마의 열 때문에 지각 심부에서는 끓는 물이 존재한다고 설명하며 지각이 갈라진다면 어느 곳에서나 화산이 분출된다고 믿고 있다.

위와 같이 대부분 소박한 모형으로 분류된 학생들의 설명에서는 공통적으로 면담 과정에서 지구 내부에 대한 관련 용어들(핵, 맨틀, 암석권 등)을 적절하게 제시하지 못하는 경향을 보였다. 그리고 면담 과정에서 일상적인 서술적 표현으로 설명함으로써 이 영역에 대한 이해력과 개념이 부족함을 드러냈다. 또한, 일부 학생들 중에는 교과서나 수업 내용과는 관계없이 추상적인 지구 내부에 대한 정착된 초기 신념(직접 들어가 보지 않으니 알 수 없음)을 드러내 보이는 경우도 있었다.

학생들이 지구 내부 구조에 대하여 수평층, 또는 비동심원 구조의 표현 자체만으로 증대한 대안 개념을 지니고 있다고 볼 수 있다. 또한 지구 내부에 대한 정적 관점은 판 구조론이나 지진·화산 활동과 같은 확장된 개념을 이해하는데 어려움을 줄 수 있다. 이런 측면에서 연속되는 학습을 위하여 지구 내부에 대한 개념 이해와 동적인 사고로서의 전환이 필요하다.

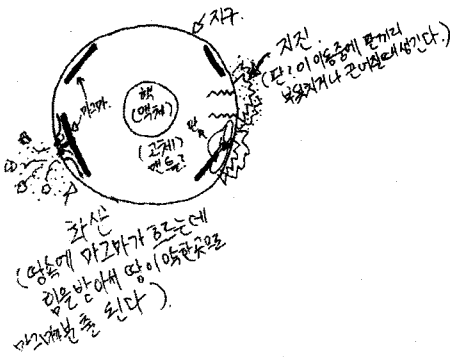


Fig. 7. An example of static unstable model.

정적 불안정 모형(static unstable model)

정적 불안정 모형으로 분류된 학생들은 핵심적인 특징들과 지구 내부의 물리·화학적 특성을 묘사하거나 설명하는데 있어 어려움을 보였다. 그리고 많은 학생들이 지구 내부에 대하여 부분적인 대안 개념을 나타냈다. 한 예로, 표본 학생들의 60% 가량은 결과물에서 연약권과 암석권(판), 지각에 대한 구분을 보이는 묘사가 없었으며, 질문을 통한 면담에서도 명확하게 진술하지 못했다.

Fig. 7의 그림에서 학생은 핵심적 특징을 표현하고 설명하였지만 지각과 암석권, 상부 맨틀에 대한 묘사가 불분명하다. 그리고 핵의 분류가 나타나지 않으며 핵은 액체로 이루어졌다는 대안 개념을 드러내고 있다. 그리고 이 학생은 면담에서도 그림에서 화산과 지진활동에 대하여 서술한 것과 같이 과학적 배경이나 근원적 사고 없이 막연한 자신만의 주장을 드러냈다.

정적 불안정 모형에 분류된 대부분의 학생들은 판의 이동을 막연하게 언급하는 경향을 보였다. 아울러 지각 변동 또는 지형의 형성을 부분적으로 제시하는 경우도 있었지만, 대부분 근원적 설명을 요구했을 때 내부 구조와 연관된 과정적 설명을 보이지는 못했다.

Fig. 8을 그린 학생은 다방면의 다양한 설명을 언급하였으나 대안 개념을 가지고 있다. 예를 들면, 이 학생은 지각에서 발생하는 지진과 화산 활동을 중심부에 존재하는 핵에 의한 원인으로 설명한다. 이 학생은 지진이 발생하는 원인이 외핵의 불규칙한 유동에 의해 충격파가 지각에 전달되기 때문이라고 믿고 있다. 또한, 핵으로부터 마그마가 상승하여 화산 활동이 일어난다고 설명하였다.

Fig. 8과 유사하게 전체 표본 학생들의 14%가 마그마는 지구 중심부에서만 상승한다는 의견을 제시하

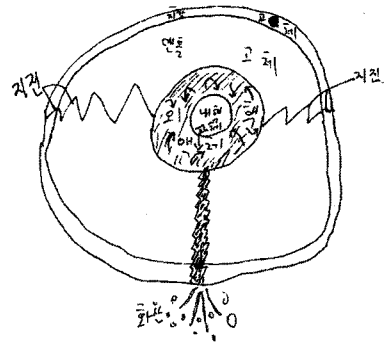


Fig. 8. An example of static unstable model.

였다. 이러한 학생들은 면담에서 지구 역사의 냉각 과정을 이해하지 못하고 있었으며, 대류와 같은 지구 내부의 순환 과정에 대한 내용도 알고 있지 못했다.

이 수준에서 몇몇 학생들은 그림에서 핵, 맨틀과 지각을 적절하게 분리하여 표시하였지만 지각을 판의 일부만으로 표시하지 않고 지각 아래 또는, 위에 소재하여 묘사하는 예도 있었다. 또한 학생들 중에는 태양열이 핵 내부까지 영향을 준다고 믿고 있는 예도 있었다. 이러한 중요한 대안 개념을 보이는 학생들은 적절한 내부 구조를 묘사하였다 하더라도 정적 불안정 모형으로 분류하였다.

한편, 맨틀과 연약권의 화학적 특성에 대한 응답에서 맨틀 또는 연약권은 판이 움직일 수 있을 정도로 흐르는 ‘용암과 같은 것’이라고 설명하는 예가 많았다. 이러한 학생들은 면담 과정에서 맨틀의 화학적 특성에 대한 세부적 응답을 요구했을 때 많은 어려움을 보였다. 이러한 경향은 대륙 이동에 대한 원인을 설명하는 과정에서 맨틀의 상태와 역할을 설명할 때와 같이 많은 학생들에서 보이는 일반적인 어려움이었다.

학생: 맨틀이 완전한 고체라고는 생각하지 않아요. 핵보다는 아마 더 고체일 것 같고... 핵은 확실하게 액체예요. 맨틀은 아마 마그마일 거예요. 암석이 섞여 있을 수도 있고... 어떤 흐름을 수 있는, 고체 덩어리들이 포함된, 암석들 덩어리 같은 거요.

수업이나 미디어에서 자주 언급되는 ‘연약권은 녹아있다.’ 또는 ‘연약권 위의 판이 뱀목처럼 표류한다’와 같은 유추는 학생들에게 오히려 대안 개념을 가지도록 유도할 수도 있다. 일부 학자들(Kathary and

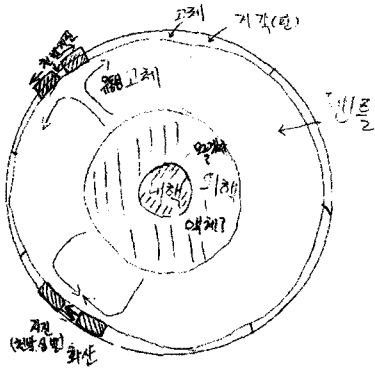


Fig. 9. An example of dynamic unstable model.

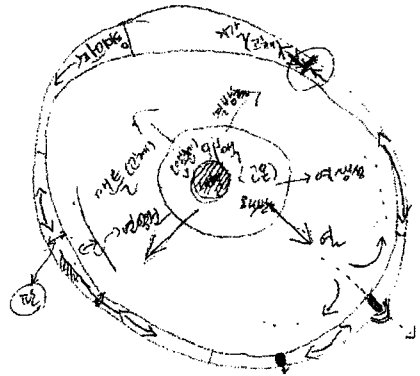


Fig. 10. An example of dynamic unstable model.

Ketter, 1999; Hall-Wallace, 2002)은 수업에서 이러한 유추들을 이용할 경우에 학생들에게 오해를 불러일으키게 할 수도 있다고 지적한다.

수업 시간에 맨틀 상하부의 특징들을 열거하고 차이점을 분명하게 설명해 줌으로써 학생들이 맨틀의 특성과 관련되어 가질 수 있는 혼란을 정리하는데 도움을 줄 수 있을 것이다.

동적 불안정 모형(dynamic unstable model)

표본 학생들의 23%정도가 동적 불안정 모형으로 분류되었는데, 전반적으로 이 수준의 결과물들은 핵심적인 특징들이 적절하게 분류되어 나타난다. 그리고 학생들의 면담에서도 과학적인 개념들이 드러나 보였다. 그러나 학생들은 지구 내부에 대한 변화의 과정 또는 원인을 묘사하고 설명할 때에 언급이 부적절하거나 종종 대안 개념을 드러내 보였다.

Fig. 9에서는 핵심적인 특징들을 적절하게 구분하여 표현하였고 중심부로부터 열의 상승을 보여주고 있다. 그러나 이 학생은 면담에서 판이 움직이는 원인(밀도 차에 의한 대류 과정)에 대하여 분명하게 언급하지 못했다. 그리고 맨틀의 열대류 과정에 대한 추가적 질문에서 설명의 어려움을 보였다. 또한, 지각과 판을 동일한 개념으로 생각하고 있었으며, 핵은 모두 액체라고 대답했다.

이 수준의 모형으로 분류된 학생들의 결과물에서는 일반적으로 지구 내부에 대하여 복잡한 묘사를 제시하며 중심부의 핵으로부터 두터운 열이나 에너지의 상승을 묘사하였다. 그 중 Fig. 10을 묘사한 학생은 중심부 열의 근원을 아래와 같이 핵의 융합 반응이 원인이라고 설명하고 있다.

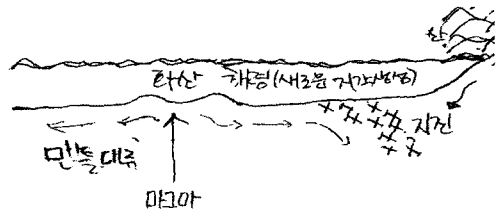


Fig. 11. An example of dynamic unstable model (Drawing task 2).

학생: 예... 지구의 안쪽은 거대한 불덩어리였어요. 지구가 처음 형성될 때, 충돌에 의해서나, 핵반응, 또는 예... 다른 무엇 때문에.. 이런 에너지들이 모든 것들을 뜨겁게 만들어 버렸어요.

이 학생은 비록 지구 내부의 열원에 대하여 적절하지 못한 묘사를 제시하였다 할지라도 초기 지구 생성 과정에 대한 복잡한 개념을 비교적 잘 인식하고 있는 것으로 보여진다. 비록 열의 근원에 대하여 핵반응으로 설명하는 대안 개념을 가지고 있지만 지구 내부의 순환적 과정에 대한 분명한 이해를 보이고 있다. 이 학생은 에너지 발생에 따른 순환 과정에 대한 적절한 언급으로 동적 불안정 모형으로 분류하였다.

Fig. 11은 동적 불안정 모형으로 분류된 지각과 맨틀 단면에 대한 대부분의 결과물이다. 이 학생의 경우는 면담에서 약간의 어려움을 보였지만 중심부로부터 상승하는 마그마와 연약권의 역할에 따른 판의 이동에 대하여 설명하였다. 또한, 순환하고 있는 지각 물질의 복잡하고 추상적인 개념에 대한 부분적인 언급을 제시하였다. 대부분 이 수준의 학생들은 그림 묘사나 면담에서 이동하는 지각과 순환하는 맨틀의

동적 관점을 제시하였지만 아래 학생과 같이 명확성을 보이지는 못하는 경우가 많았다.

학생: 지각은 또 다른 지각 아래로 들어 갈수 있어요. 밀도차에 의한 것이라고 배운 것 같은데... 해구에서 처럼요. 아래로 들어간 지각은 잘은 모르겠지만... 일부는 그 아래에서 마그마로 되겠지요.

동적 불안정 모형으로 분류된 학생들은 공통적으로 에너지의 흐름, 그리고 대류와 관련된 물질의 순환 과정에 대한 이해를 보였다. 그러나 고체로 이루어진 맨틀 물질의 속성과 역할, 그리고 새로운 해양 지각이 생성되고, 판 아래로 섭입되는 지각의 순환 양상에 대하여 부분적인 대안 개념을 보였으며 명확한 확신을 가지지 못하였다.

개념적 모형(conceptual model)

개념적 모형은 그리기를 통하여 부호화 된 최고의 이해 수준으로 표본 전체 학생들 중 8%로 집계되었다. 이 수준에서는 지구 내부 구조를 묘사하는데 있어 핵심적 특징들을 잘 표현하였을 뿐만 아니라 물리·화학적 특성, 그리고 지구 내부에 대한 면담 내용에서도 과학적으로 정확한 개념을 제시하였다. 또한 핵으로부터 상승하는 에너지의 흐름(밀도차에 의한 맨틀의 대류)에 대한 타당한 설명을 보였다. 그리고 핵에 존재하는 열의 근원이 행성의 생성 이후 보존된 것으로 지구는 46억년의 역사를 통하여 냉각 과정에 놓여 있음을 숙지하고 있다.

그리기 Fig. 12와 13은 중앙 해령에서 에너지의 상승에 기인한 지각 생성을 표현하고, 지각이 맨틀 아래로 들어가는 섭입 과정을 묘사하여 나타냈다. 이러

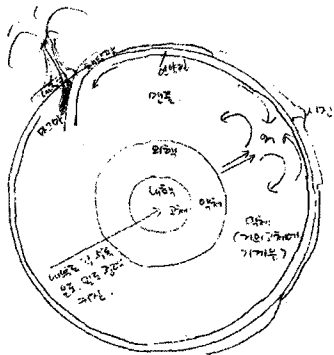


Fig. 12. An example of conceptual model.

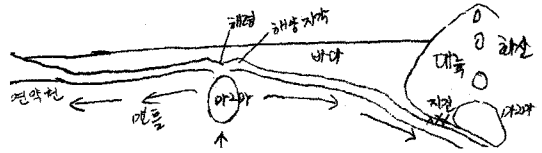


Fig. 13. An example of dynamic unstable model (Drawing task 2).

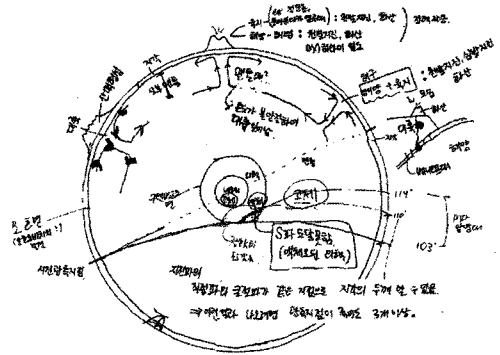


Fig. 14. An example of conceptual model.

한 그림을 표현한 학생은 중앙 해령으로부터 새로운 해양 지각이 생성되어 미는 힘이 유지됨으로써 지각의 지속적인 확장이 일어난다고 설명하였다.

또한 Fig. 14에서는 지구 내부의 물리·화학적 경계면뿐만 아니라 동적인 흐름을 포함하여 지진 관측 실험에 의해 각 영역에 도달되는 지진파의 진행 양상까지도 정확하게 묘사하였다.

이 수준의 학생들은 지구의 역동성을 언급하며 수 억년을 통하여 이루어지는 지각, 판의 움직임에 대한 원인이나 증거를 제시하였다. 그리고 지구 내부의 열원과 물리·화학적 성질에 따른 순환 과정을 적절하게 과학적인 견해로서 설명하였다.

결론 및 제언

결과를 종합해 볼 때, 대부분의 학생들은 지구 내부에 대하여 정적 관점을 보이는 것으로 나타났다. 그리고 그림에서 핵, 맨틀 그리고 지각으로 구성된 3~4개의 동심원 층들의 이미지를 묘사하였다. 그러나 대부분은 지구의 내부를 정확하게 묘사하지 못했으며, 많은 대안개념을 드러냈다. 결과를 바탕으로 얻은 결론은 다음과 같다.

첫째, 학생들의 89%는 동심원의 지구 내부 구조를

표현 했지만 지구 내부의 물리적 특징과 화학적 특성을 적절하게 묘사하고 설명한 학생들은 일부에 불과했다. 분류된 정신모형은 소박한 모형이 11%, 정적 불안정 모형 58%, 동적 불안정 모형 23%, 개념적 모형이 8%로 나타났다. 이러한 결과는 많은 학생들이 동적인 본질과 관련된 현상, 개념들에 대한 이해가 부족함에 따라 정적 정신모형을 지니게 됨을 의미하며, 추상성을 가지는 지구 내부구조에 대한 사고에서 부정확하고 유동적으로 표상하고 있음을 의미한다.

둘째, 나타난 주요 대안 개념은 지구 내부의 수평층 구조, 맨틀의 유동과 관련된 지진 활동, 핵으로부터 상승되는 마그마의 화산 활동, 핵의 열원에 대한 기원, 지각과는 분리되어 존재하는 판의 위치 묘사, 암석권과 연약권, 판 등에 대한 적절하지 못한 용어상의 이해와 구분 등이다. 아울러 지구 내부에 기인한 판 운동과 지진·화산 활동, 대류 이동과 지형적 특징을 연관시키지 못했다. 이러한 결과의 주요한 원인은 맨틀 특히, 상부 맨틀의 화학적 특성과 대류 과정에 대한 근원적인 이해가 부족하기 때문으로 해석된다.

셋째, 성별에 따른 학생들의 정신모형 수준 분포에서는 통계적으로 유의미한 차이를 보이지 않는 것으로 나타났다.

연구 결과를 선행 연구와 비교해 볼 때, Beilfuss (2004)의 대학생들을 대상으로 실시된 연구 결과에서는 동적 관점으로 분류된 학생들이 91%로 본 연구 결과에 비해 우세하게 나타났다. 그러나 지구 내부에 대한 동적 관점과 함께 물리·화학적 특징을 정확하게 묘사하여 동적 개념적 모형으로 분류된 학생들의 비율은 유사하게 나타났다.

연구 결과와 같이 많은 학생들이 지구 내부의 물리·화학적 특성, 대류와 같은 과정들에 대한 이해 부족으로 정적 정신모형을 지니는 것으로 보여진다. 학생들이 지구 내부에 대하여 정적 관점을 가지게 된다면 동적 본질과 관련된 현상이나 개념들 즉, 판 구조론과 지각 변동, 지형적 변화, 그리고 지각을 이루고 있는 물질들에 대한 추가적인 학습을 진행하는데 어려움을 느끼게 하는 원인이 될 수 있다. 따라서 학습의 연속성과 효율적인 교수·학습을 위하여 추상성과 동적 과정을 내포하는 지구 내부에 대한 학습은 선행 조건으로 관련 개념들을 확인해야하는 과정이 이루어져야 할 것이다.

본 연구의 논의와 관련하여 후속 연구에서는 학생

들이 문제 상황에서 과학적 현상들을 설명하기 위하여 정신모형이 지니는 특성들을 이용한다면 그러한 모형과 특성들을 해석하기 위한 가장 유용한 이론적 구조들이 무엇인지 밝혀내는 연구가 필요하다. 그리고 학습자의 정신모형을 더 발전되고 숙련된 모형으로 이끌기 위해서는 소박한 정신모형과 불안정 모형 단계에서 어떠한 도움을 주어야하는지 밝혀내기 위하여 방법론적인 연구가 계속적으로 요구된다.

참고문헌

- 박지연, 이경호, 2004, 과학개념변화 연구에서 학생의 개념에 대한 이해: 오개념에서 정신모형까지. 한국과학교육학회지, 24(3), 621-637.
- 송진웅, 1993, 교사의 과학자에 대한 이미지와 존경하는 과학자. 한국과학교육학회지, 13(1), 48-55.
- 오준영, 김유신, 2006, 천문 현상들을 설명하는 예비 초등 교사들의 정신모형의 연구: 계절과 달의 위상변화. 한국과학교육학회지, 26(1), 68-87.
- 이기영, 2006, 상황에 따른 개념 유형의 국면 분석을 통한 중학교 과학 영재아들의 조식에 관한 정신모형 탐색. 한국지구과학학회지, 27(1), 6-14.
- 정구송, 2006, 존재론적 범주와 정신모델에 근거한 지각과 지구 내부에 대한 고등학교 학생들의 대안개념. 한국교원대학교 박사학위논문, 159 p.
- Beilfuss, M., 2004, Exploring conceptual understandings of ground-water through student's interviews and drawings. Paper presented at the National Association for Research in Science Teaching Annual Conference, Vancouver, British Columbia, 146 p.
- Chi, M.T., 1998, The nature of naive explanations of natural selection. *International journal of science Education*, 20 (10), 1231-1256.
- Chi, M.T., 2000, Cognitive understanding levels. *Encyclopedia of psychology*. Kazkin, A.E. (ed), 2: 146-151. APU and Oxford University Press.
- Dicker, R., Kafantaris, V., Coletti, D.J., Padula, G., Pleak, R.R., and Kane, J.M., 2004, Lithium treatment of acute mania in adolescents: A placebo-controlled discontinuation study. *Journal of the American Academy of Child and Adolescent Psychiatry*, 43 (8), 984-993.
- diSessa, A.A., 1993, Toward an epistemology of physics. *Cognition and Instruction*, 10, 105-225.
- Dove, J., 2000, Exploring a hydrological concept through children's drawings. *International Journal of science Education*, 21 (5), 485-497.
- Edens, K. and Potter, E., 2003, Using descriptive drawings as a conceptual change strategy in elementary science. *School Science and Mathematics*, 103 (3), 135-144.

- Glynn, S., 2004, Guidelines for drawing mental models available on-line <http://www.coe.uga.edu/edpshch/faculty/glynn/guidelines/guidelines.html>.
- Greca, I.M. and Moreira, M.A., 2001, Mental, physical, and mathematical models in the teaching and Learning of physics. *Science Education*, 85 (6), 106-121.
- Gobet, J.D., 2005, The effects of different learning tasks on model-building in plate tectonics: Diagramming versus explaining. *Journal of Geoscience Education*, 53 (4), 444-455.
- Hall-Wallace, M., 2002, Visualizing earth's inaccessible interior-what works for students? Proceedings of the Geological Society of America Annual Meeting, Denver, CO, USA.
- Johnson-Laird, P.N., 1983, *Mental models: Towards a cognitive science of language, inference, and consciousness*. Harvard University Press, Cambridge, MA, USA.
- Katharyn, E. and Ketter, N., 1999, Using analogies to teach plate tectonics concepts. *Journal of Geoscience Education*, 47 (5), 449-454.
- Lakoff, G. and Johnson, M., 1980, *Metaphors we live by*. University of Chicago Press, USA, 276 p.
- Libarkin, J.C., Beilfuss, M., and Kurdziel, J., 2003, Research methodologies in science education: Mental models and cognition in education. *Journal of Geoscience Education*, 51 (1), 121-126.
- Lillo, J., 1994, An analysis of the annotated drawings of the internal structure of the earth made by students aged 10-15 from primary and secondary schools in Spain. *Teaching Earth Sciences*, 19 (3), 83-89.
- Marques, L. and Thompson D., 1997, Misconceptions and conceptual changes concerning continental drift and plate tectonics among Portuguese students aged 16-17. *Research in Science and Technological Education*, 15 (2), 195.
- Paivio, A., 1990, *Mental representations: A dual-coding approach* (2nd ed.). Oxford University Press, NY, USA, 322 p.
- Van der Veer, G., 2000, *Mental models of incidental human-machine interaction* [www]. Faculty of Sciences, Vrije Universiteit, Amsterdam, The Netherlands. Retrieved Jun, 10, 2002, <http://www.cs.vu.nl/~gerrit/mmi9910-report1.doc>
- Vosniadou, S. and Brewer, W.F., 1992, Mental models of the earth: A study of conceptual in childhood. *Cognitive Psychology*, 24 (4), 535-585.
- Wittmann, M.C., 2002, The object coordination class applied to wave pulses: Analysing student reasoning in wave physics. *International Journal of science Education*, 24 (1), 97-118.

2007년 5월 8일 접수
 2007년 7월 10일 수정원고 접수
 2007년 8월 19일 채택