

## 판의 경계에 대한 고등학생들의 정신모형 분석

박수경\*

경남대학교 사범대학 과학교육과, 631-260, 경남 마산시 월영동 449

### An Analysis of High School Students' Mental Models on the Plate Boundaries

Sookyong Park\*

Department of Science Education, Kyungnam University, Masan, Kyungnam 631-260, Korea

**Abstract:** The purpose of this study was to derive the criterions of each type of mental models on the plate boundaries and to investigate high school students' mental models on these concepts. The 11th grade student participants were requested to draw the collisional, convergent, and divergent boundaries and were interviewed individually. The drawings and the data gathered through the interviews were analyzed qualitatively. The mental models on the plate boundaries were classified as 'naive model', 'unstable model', 'causal model', and 'conceptual model'. The criterions for analyzing the mental models were the differentiations of the lithospheric plates and the mantle, the explanations of the motion of the plates and lower mantle, the demonstrations of topographical features of the plate boundaries and the causal relationships between the mantle convection and the topographical features. The findings revealed that the students holding 'the naive model' and 'the unstable model' were unable to relate the mantle convection and the three boundaries. In contrast, the students holding 'the causal model' and 'the conceptual model' were able to explain that the mantle convection causes the three boundaries. Also, the types of epistemological belief were different depending on their mental models. Students holding the naive model and the unstable model tended to rely upon the external authorities.

**Keywords:** mental model, plate boundaries, causal model, conceptual model.

**요약:** 본 연구의 목적은 판의 경계에 대한 그리기와 면담의 결과를 바탕으로 정신모형의 유형별 분석 준거를 도출하고 이를 근거로 고등학생들의 정신모형을 밝히는데 있다. 이를 위하여 고등학교 2학년 학생을 대상으로 충돌형, 섭입형, 발산형 판의 경계에 대한 그리기 과제와 개별 면담을 병행하여 실시하고 그 결과를 정성적으로 분석하였다. 본 연구의 결과, 판의 경계에 대한 고등학생들의 정신모형의 유형은 소박한 모형(*naive model*), 불안정 모형(*unstable model*), 인과적 모형(*causal model*), 개념적 모형(*conceptual model*)의 4가지로 분류되었다. 이러한 정신모형에 대한 분석 준거는 판과 맨틀을 구분하는지, 판과 하부 맨틀의 이동을 파악하는지, 판의 경계 지형의 특징을 인식하는지, 맨틀의 대류와 지형의 특징을 관련짓고 있는지 등의 요인이다. 판의 경계에 대한 '소박한 모형'과 '불안정 모형'을 지닌 학생들은 맨틀의 대류와 지형의 생성원인을 관련짓지 못한 반면, '인과적 모형'과 '개념적 모형'을 지닌 학생들은 판의 경계에서 맨틀 대류와 지형의 생성과의 인과 관계를 인식하고 있었다. 정신모형 유형에 따라 지식 획득의 방법에 관한 학생들의 믿음을 조사한 결과, 소박한 모형과 불안정 모형을 지닌 학생들은 외부적인 권위에 의존하는 경향을 나타내었다.

**주요어:** 정신모형, 판의 경계, 인과적 모형, 개념적 모형.

## 서론

최근 학습자의 과학개념 형성에 영향을 미치는 요

인들에 대한 논의에 있어 정신모형(*mental model*)에 대한 관심이 높아지고 있다. 학습자가 사고활동을 전개할 때 의미론적 표상과 시각적 표상을 동원하여 현재의 사고과정에 대한 내적 표상체계를 형성하게 된다. 이 때 작업 기억 내에서 두 유형의 정보를 체계적으로 통합하여 현재의 현상을 인식하는 내적 표

\*Corresponding author: myspark@yahoo.co.kr  
Tel: 82-55-249-2014  
Fax: 82-55-249-2014

상을 정신모형이라고 한다(Johnson-Laird, 1983). 이러한 정신모형은 특정 시간에 특정 상황에 대한 정지된 관점인 이미지와 달리 동영상으로 보여지는 사건들을 보는 것과 같은 방식으로 마음속에 떠오르는 것으로 간주된다(Franco and Colinvaux, 2000). 이는 자신이 속한 문화적 체계와 결합되어 새로운 정신모형으로 발전하기도 하며, 자신의 믿음 체계에 의해 제약을 받기도 한다.

이러한 정신모형에 대한 개념들은 학습자의 정의적 요인과 학습이 이루어지는 맥락 변인 등을 포함한 융통성 있는 관점을 근거로 제시된 것이다. Vosniadou (1999)는 학생의 개념을 설명하는 다른 이론들의 구성 요인을 통합적으로 고려하여 인식론적 신념(epistemological belief)과 존재론적 신념(ontological belief), 믿음과 같은 구성요인과 추론, 맥락 등을 관련시키고 있다. 즉 학습에서 제시된 정보가 처리될 때 평상시 인식하고 있지 못하고 있던 기존 경험을 통해 형성된 인식론적 신념과 존재론적 신념이 문제 상황과 관련된 지식과 상호작용함으로써 최종적인 정신모형이 형성된다(박지연과 이경호, 2004). 여기서 인식론적 신념이란 지식의 근원과 확실성 그리고 지식 획득의 방법에 관한 학생들의 믿음을 의미하며, 우리나라 학생의 학습에 가장 큰 영향을 끼치는 인식론적 신념은 학생 스스로 독립적인 사고를 통해서 얻는 것보다 학교에서 교사에게서 배운 지식에 근거하는 경향이 강하다. 이러한 신념을 가진 학생들은 문제를 접할 때 문제의 정확한 이해를 통해 논리적으로 풀기보다는 학교에서 배운 지식을 떠올려서 풀려는 경향이 있는데 이러한 경향은 확실한 정답이 없는 과제 해결 시에 두드러진다(박지연 외, 2006).

한편, 존재론적인 신념은 '물체는 고체이고 안정적이며, 지지되지 않으면 떨어질 것이다'와 같은 물체의 본성에 대한 기본적인 신념이다. 이 때, 한 개념이 어떤 존재론적 범주에서 이와 다른 존재론적 범주로 이동해 간 것을 개념변화로 간주한다(Chi et al., 1994). 예를 들어 '고래'라는 개념이 '어류' 범주에서 '포유동물' 범주로 재배치되는 것을 개념의 존재론이 변화되었다고 간주한다. 이들은 이러한 존재론적 범주를 크게 물질(matter), 과정(processes), 감정적이거나 의도적인 진술(mental states)의 세 가지로 구분하였다. 이에 Libarkin et al.(2005)은 Chi et al.(1994)이 제시한 세 가지 범주를 수정하여 '전환' 범주를 추가하고 과정 범주를 '초기적 과정'과 '복합과

정'으로 나누어 학생들의 존재론적 관점을 조사한 바 있다. 이들은 지구과학 내용에 대한 존재론적 범주에 대하여 조사하면서 판구조론 그 자체는 물질 범주이지만, 과정 범주에 더 적절하다고 하였다. 즉 실제수업에서 많은 학생들이 상승하거나 냉각되어 떨어지는 열적 순환을 학습할 때 열을 대상을 가열하는 물질 범주로 배정하는 경향을 보이는데 이는 판구조론에서 열을 단지 연약권을 형성하는 물질로서 인식하게 유도한다. 그러나 실제로 지구 내부에서 가열되어 상승하고 하강하는 열은 '물질'과 '과정' 범주 모두에 포함된다. 따라서 정신모형 형성과정을 연구하기 위해서는 학습자의 인식론적 신념과 존재론적 기본전제, 기존의 관련 지식 등 인지적 요인과 학습에 대한 동기과 목표의식 등 정의적 요인뿐만 아니라 제시된 과제에 따라 달라지는 맥락 변인을 모두 고려해야 한다.

이와 같이 정신모형에 대한 연구는 기존의 오개념 연구보다 인지과정에 영향을 미치는 요인들을 통합적 관점에서 바라보며, 학습과정을 외부정보와 학습자 내부적인 요인의 상호작용 결과로 일어나는 보다 역동적인 것으로 파악한다. 기존의 학생 개념에 관한 연구에서는 학생들이 현상 혹은 개념에 대해 어떤 오개념을 가지고 있는지 분석하고 이를 목록화 하였다. 이러한 연구에서 밝혀진 학생의 개념은 특정 상황에서 학생이 가진 개념이 아닌 오히려 일반적 상황에서 학생이 가진 생각에 대한 연구자의 해석을 대표하는 것이라는 비판을 받고 있다(Gilbert and Watts, 1983).

따라서 학생의 정신모형과 그 형성과정을 알아보기 위해서는 전통적으로 사용되었던 통계기법을 활용하여 얻은 정량적인 데이터보다는 면담법 등을 이용하여 얻은 정성적인 데이터에 주로 의존한다. 즉 양적 연구의 방법으로는 각 개인의 내면적 체구성 과정인 복잡한 심리적 인지적 작용을 통해 형성되는 정신모형에 대해 밝히기 어렵기에 질적 연구방법으로 접근해야 할 필요성이 있으며 이에 본 연구에서는 그리기 과제 분석과 개별 면담법을 동시에 활용하고자 한다. 최근 지구과학분야 정신모형에 관한 국내의 연구는 지구의 내부, 조석, 달 크레이터 생성 등에 대하여 진행된 바 있다(이기영, 2006; 이호 외, 2007; 정구송, 2006).

특히 본 연구에서 조사하고자 하는 판구조론은 지구과학 분야에서 중요한 주제 중에 하나로 물질의

대류, 화산과 지진, 압력과 장력과 같은 기본적인 개념과 지구내부의 구조, 맨틀의 특성, 대륙의 이동 그리고 습곡과 단층 등 다양한 개념과 고차적 사고능력을 요구하는 복합적인 개념이다. 판구조론에 관한 학생들의 개념 이해를 밝히기 위하여 그리기 과제를 근거로 한 연구들(Gobert, 2005; Samarapungavan et al., 1996; Sibley, 2005; Skinner, 2001)이 있으나 이러한 연구들은 심층면담을 병행하지는 않았다. 판구조론과 관련하여 그리기 과제와 면담을 병행한 연구들(정구송, 2006; Libarkin et al., 2005; Beilfuss, 2004)이 있으며 이들 연구들은 지구내부 구조에 대한 학생들의 정신모형을 조사하였다. 여기서 판구조론의 주요개념인 판의 경계에 대한 정신모형에 관하여 다양한 조사 방법을 병행하여 실시한 연구는 아직 없다. 따라서 본 연구에서는 그리기 과제와 개별 심층면담을 병행하여 판의 경계에 대한 고등학생들의 정신모형을 조사하고자 하였다.

본 연구의 목적은 판의 경계에 대한 그리기와 면담의 결과를 바탕으로 정신모형의 유형별 분석 준거를 도출하고 이를 근거로 고등학생들의 정신모형을 밝히는데 있다. 이에 더하여 정신모형 유형에 따른 학생들의 인식론적 신념이 어떻게 다른지도 알아보고자 하였다.

## 연구 방법

### 연구대상

본 연구는 부산광역시에 소재한 일반계 B고등학교의 자연계열 2학년 68명의 학생들을 대상으로 그리기 과제 검사를 일차적으로 실시하였다. 본 연구의 주 목적이 학생들의 정신모형에 대한 질적 분석에 있기에 연구방법으로 채택한 면담법을 실시하기 위하여 전체 학생 중에서 일부 학생을 선정하였다. 먼저 실시한 그리기 과제의 결과를 분석하여, 정신모형 수준이 다양하게 포함되도록 10명의 학생을 표집한 후 인터뷰를 수행하였고 그 중 7명에 대하여 최종 분석을 실시하였다. 연구 대상 7명 중 남학생은 4명, 여학생은 3명이었다. 수업만족도 조사 결과 지구과학 과목에 대한 관심이나 흥미도에 대한 응답인원을 살펴보면 아주 높다 2명, 약간 높다 2명, 보통이다로 응답한 학생이 3명으로 나타났다.

연구 시기는 연구 영역에 해당되는 교과내용을 학습한 이후인 2008년 5월에 전체 학생을 대상으로 그

리기 과제를 부여하였고, 6월에 최종적으로 선정된 학생을 대상으로 인터뷰를 실시하였다.

### 연구 절차 및 내용

본 연구에서 판의 경계에 대한 정신모형을 유형별로 분석하기 위한 준거를 도출한 후 이를 근거로 개인 학습자들의 정신모형을 분석하였다. 연구자 외 3명의 지구과학 교사 등 4명이 평가자로서 그리기 과제결과와 면담 자료를 분석하였다. 먼저 전체 68명의 학생을 대상으로 그리기 과제를 실시하였고 그리기 결과에 대하여 평가자들이 분석을 실시하였다. 이 때 선행연구들(정구송, 2006; Beilfuss, 2004; Libarkin et al., 2005)에서 제시된 분류틀을 참조하여 판의 경계에 대한 4가지 정신모형 유형과 유형별 준거를 도출하였다. 이러한 첫 번째 정신모형 유형별 요소에 근거하여 전체 학생을 우선 분류하였다.

면담 대상자를 선정하는데 있어서, 피면담자가 연구에 대하여 부정적인 시각을 가지고 비협조적일 경우에는 심층 면담의 특성상 연구의 진행이 어려우므로 자발적인 참여의사가 전제되어야 한다(이용숙과 김영천, 1998). 따라서 전체 학생들 중 면담을 부담스러워하지 않고 자신의 생각을 표현할 수 있으며 면담에 필요한 시간을 할애할 의사가 있는 학생의 지원을 받은 결과 약 20명 정도였다. 그 중에서 그리기 과제가 시각적으로 명확하게 작성된 학생으로 압축하고 4가지 정신모형 유형과 남녀 학생이 고루 포함되도록 피면담자를 선정한 결과 10명이 선정되었다.

동일한 순서와 내용의 핵심질문을 포함하면서 피면담자의 반응에 따른 부수적인 질문은 개인별로 차이가 있는 반구조화된 심층면담을 실시하였다. 면담의 전체 과정을 동영상으로 촬영할 때 피면담자의 부담을 줄이기 위하여 얼굴이나 전신이 포함되지 않도록, 손 부분과 작성하는 자료에 대해서만 근접 촬영하였다. 녹화된 소리 데이터를 전사한 후 이를 분석하여 두 번째 정신모형 유형별 준거를 도출하였다. 첫 번째와 두 번째 정신모형 준거를 종합한 결과 초기에는 소박한 모형, 불안정 모형, 부분적 불안정 모형, 과학적 모형으로 분류되었다. 이렇게 설정된 분석 준거를 근거로 4명의 평가자가 최종 연구대상 학생들의 그리기 과제를 다시 분석한 후 서로 대조하고 토의하였다. 이 과정에서 평가자간 일치도가 낮은 학생 3명은 최종 분석 대상에서 제외시켰다. 이러한 과정을 거쳐 각 정신모형의 분석 준거를 더욱 명확하게

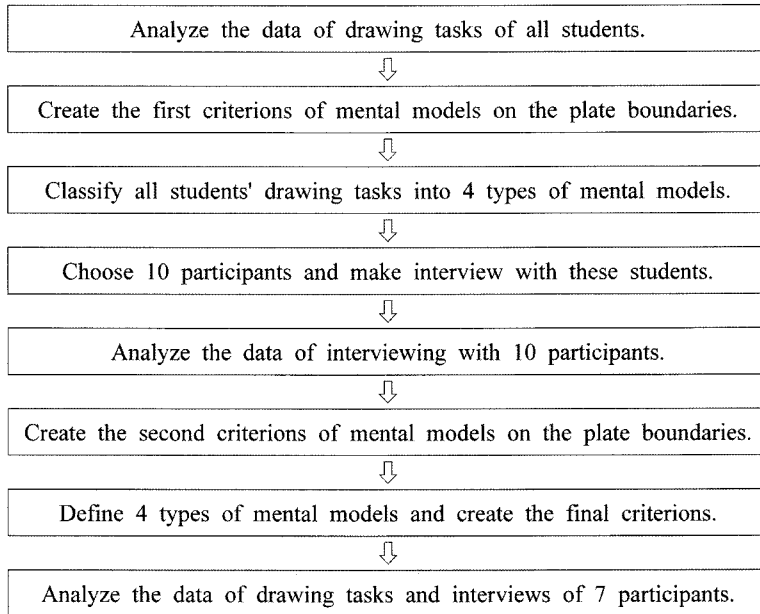


Fig. 1. The research procedure.

구성한 결과, 최종적인 판의 경계에 대한 정신모형은 소박한 모형 (naive model), 불안정 모형 (unstable model), 인과적 모형 (causal model), 개념적 모형 (conceptual model)으로 분류되었다. 4가지 정신모형의 분석 준거를 확정하였고 이를 근거로 최종 연구 대상 7명의 그리기 자료와 면담 자료를 종합적으로 최종 분석하였다. 본 연구의 절차를 요약하면 Fig. 1과 같다.

**검사도구 및 자료분석**

본 연구에서 사용한 판의 경계에 관한 그리기 과제는 제7차 과학과 교육과정에서 판구조론에 관한 내용 요소를 분석하고 고등학교 지구과학 I 교과서의 판구조론 단원에 나오는 설명의 원문을 비교 분석하여 구성하였다.

판의 경계 중에서 충돌형, 섭입형, 발산형 경계에

관한 그리기 과제의 문항은 Table 1과 같고, 학습자의 정신모형에 따라 2차원 또는 3차원으로 자유롭게 묘사하고 설명도 포함하도록 하였다. 이 때 판의 이동방향을 화살표로 표시하고 판의 경계에서 일어나는 지각변동이나 맨틀 대류의 방향도 그리도록 하였다.

본 연구에서의 심층 면담은 연구자가 모든 면담 대상자에 대하여 1:1로 진행하였고 시간은 약 30분 정도 소요되었다. 면담에 사용한 핵심 질문은 선행연구들 (Gobert and Clement, 1999; Gobert, 2000)에서 사용된 질의 내용을 참조로 구성하였으며 Table 2와 같다. 이 때 지식 획득의 방법에 관한 학생들의 믿음인 인식론적 신념을 조사하기 위해서는 관련 선행연구 (박지연 외, 2006)에서 사용한 ‘왜 그렇게 생각하지?’, ‘어떻게 알게 되었나?’, ‘그렇게 생각한 이유는?’ 등의 질문을 공통적으로 포함시켰다.

평가자 간의 신뢰도를 높이기 위하여 4명의 연구

Table 1. Drawing task questions in categories

categories	drawing task questions
collisional boundary	• Draw a figure of the continental-continental boundary producing the Himalayas and indicate the motion of the lithospheric plates and the convection currents of lower mantle by using arrows.
convergent boundary (subduction zone)	• Draw a cross-section of the volcanic island arcs and an ocean trench (Japan and Japan trench) and indicate the motion of the lithospheric plates and the convection currents of lower mantle by using arrows.
divergent boundary	• Draw a figure of sea-floor spreading along the mid-ocean ridges and indicate the motion of the lithospheric plates and the convection currents of lower mantle by using arrows.

**Table 2.** Interview questions in categories

categories	interview questions
collisional boundary	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Describe the movement of the lithospheric plates producing the Himalayas.</li> <li>• Describe the relation between the mountain building and the plate tectonics.</li> <li>• Explain the reasons why the Himalayas are so high.</li> </ul>
convergent boundary (subduction zone)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Explain how the volcanic island arcs and the ocean trenches are produced.</li> <li>• Describe the real geographical features of an ocean trench which we can see by taking a submarine boat.</li> <li>• What relation exists between the figures of the volcanic island arcs, ocean trenches and the convection currents of lower mantle?</li> </ul>
divergent boundary	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Describe the real geographical features of the mid-ocean ridges which we can see by taking a submarine boat.</li> <li>• Explain how the mid-ocean ridges are produced.</li> <li>• What relation exists between the figures of the mid-ocean ridges and the convection currents of lower mantle?</li> </ul>

자들은 그리기 과제 응답지와 면담 전사 자료를 분석하고 토의를 통하여 일치도를 높였다. 본 연구에서는 학생들의 정신모형 분석 결과를 학습자 별로 기술하여 동일한 학생의 정신모형을 비교 검토할 수 있도록 하였다.

### 연구의 제한점

정신모형이란 학습자의 작업기억 상에 형성되는 내적 표상이므로 연구자들은 학습자와의 언어, 상징, 그림 등을 이용한 면담을 통해 표현된 정신모형을 통해 간접적으로 실체를 확인할 수 밖에 없기에 근본적인 제한점이 있다. 특히 인터뷰를 이용한 연구과정에서 면담자가 의식하지 못했지만 면담 대상에게 정보를 주는 질문을 함으로써 사고과정에 영향을 끼칠 수 있다는 점을 간과할 수 없다. 이러한 제한점을 줄이기 위하여 본 연구에서 면담자는 면담 전에 연구자들의 회의를 통하여 정리된 핵심 질문을 위주로 면담을 수행하였다.

사전 수업 요인이 연구 결과에 미칠 영향을 최소화하기 위해 연구 영역에 해당되는 11학년 내용의 수업은 동일한 교사가 강의식 수업으로 진행하였으며 학습 후 2주가 경과한 이후에 연구를 진행하였다. 또한 본 연구에서 분석대상의 수가 한정되어 다양한

정신모형에 대한 심도있는 논의에 제한점이 있을 수 있다.

## 연구 결과

### 판의 경계에 대한 정신모형 분석 준거 도출

본 연구에서는 판의 경계에 대한 고등학생들의 정신모형을 분석하기 위하여 정신모형 유형을 구분하고 그 구체적인 분석 준거를 개발하였다. 지각과 지구내부에 대한 정신모형을 다룬 두 가지 선행연구(정구승, 2006; Libarkin et al., 2005)에서 제시된 정신모형 유형을 비교하면 다음과 같다(Table 3). 두 연구 모두 ‘소박한 정신모형’은 직관적이며 관련 용어를 바르게 제시하지 못하는 것으로 정의한다. Libarkin et al.(2005)의 연구에서 ‘불안정한 정신모형’은 정보를 단순하게 받아들이고 새로운 상황이 제시될 때 기존의 정신모형을 쉽게 수정하는 경우에 해당한다. ‘개념상 대체 틀’은 현상에 대한 대안개념을 일부 포함하며 ‘개념적 모형’은 숙련자에게서 나타날 수 있는 안정적이며 조직화된 모형이다. Table 3에서 ‘정적 불안정 모형’에 분류된 학생들은 판의 이동을 막연하게 언급하는 경향을 보였고 ‘동적 불안정 모형’을 나타낸 학생들은 지각과 순환하는 맨틀의 동적 관점을 제시하였지

**Table 3.** Classifications of the mental models

Mental models of the earth's interior (Libarkin et al., 2005)	Mental models of the earth's interior (Jeong, 2006)	Mental models of the plate boundaries (this article)
naive model	naive model	naive model
unstable mental model	static unstable model	unstable model
conceptual frameworks	dynamic unstable model	causal model
conceptual model	conceptual model	conceptual model

만 분명하지 못한 경우였다(정구송, 2006).

본 연구에서 연구 방법에서 기술한 과정을 거쳐서 최종 결정된 판의 경계에 대한 정신모형의 유형은 소박한 모형(*naive model*), 불안정 모형(*unstable model*), 인과적 모형(*causal model*), 개념적 모형(*conceptual model*)의 4가지로 분류되었다. 소박한 모형은 선행 연구와 마찬가지로 관련 용어에 대한 기본적인 개념이 형성되어 있지 않은 경우에 해당한다. 습곡산맥, 호상열도와 해구, 해령 등의 지형이 근원적으로 맨틀의 대류 때문에 생겨났다는 인과 관계를 파악하지 못한 경우는 ‘불안정 모형’에 해당하고 이를 인지하고 있는 경우에는 인과적 모형에 해당한다. 그리고 ‘개념적 모형’은 분석준거에 의하면 과학적인 개념에 가장 근접한 경우에 해당한다. 이 때 그리기 과제에서 실제와의 비율이 차이가 있는 경우와 같이 오개념이라고 할 수는 없으나 완벽한 과학자적 개념과는 부분적으로 차이가 있기에 ‘개념적’ 모형으로 분류하였다.

Table 3의 선행 연구에서는 정신모형을 유형별로 분류한 준거를 명확히 제시하고 있지 않았으나, 본 연구에서는 판의 경계에 대한 정신 모형별로 그 분석 준거를 도출하였고 그 결과는 Table 4와 같다. Table 4에서 보는 바와 같이 판과 맨틀을 구분하고 있는지, 판과 하부 맨틀의 이동에 대하여 설명하고 있는지, 판의 경계 지형의 특징을 파악하고 있는지, 맨틀의 대류와 지형의 특징을 관련짓고 있는지 등의 요인이 분석의 준거가 된다.

이와 같은 유형별 준거에 근거하여 그리기와 면담 자료를 분석한 결과는 아래와 같다. 연구 대상 학생

들이 작성한 그리기 과제 결과는 부록의 각 그림과 같고 (A)는 충돌형 경계인 습곡산맥을, (B)는 섭입형 경계인 호상열도와 해구를 (C)는 발산형 경계인 해령을 묘사한 것이다. 여기서 동일한 학생의 각각의 개념에 대한 정신모형을 비교 검토할 수 있도록, 학습자 별로 결과를 기술하였다.

**소박한 모형과 불안정 모형을 지닌 경우**

판의 경계에 대한 ‘소박한 모형’은 판의 이동과 지형의 핵심적인 특징에 대하여 설명하지 못하며, 지형의 생성원인을 파악하지 못하는 경우이다. 반면에, ‘불안정 모형’은 판의 경계에서 생기는 판의 이동과 지형의 핵심적인 특징에 대하여 설명하고 있으나 부분적으로 타당하지 못한 진술이 있고, 판의 이동과 지형의 생성원인을 관련짓지 못하는 경우이다.

김○○의 판의 경계에 대한 정신모형: 부록 1의 (A)에서 충돌형 경계에 대한 그리기 과제 결과를 보면 두 대륙판이 충돌하는 것으로 묘사하였으나 판의 기저부는 평평하게 유지되고 판의 표면부만 솟아오른 형태로 나타내고 있다. 횡압력 작용으로 생긴 습곡과 역단층을 묘사하였으나 이를 산맥내의 구조로 인식하지 않고 있어, 맨틀의 대류와 지형의 생성원인을 관련짓지 못하고 있기에 불안정 모형으로 분류되었다. 이와 같은 정신모형은 지각과 지구내부에 대한 대학생들의 이해 수준을 조사한 선행연구(Libarkin et al., 2005)에서 다수의 학생들이 판과 지각 사이에 불연속면이 존재한다고 믿거나 지구 내부에 판이 평판 형태로 존재하는 것으로 인식하는 것과 유사하다. 인터뷰에

**Table 4.** Types of the mental models on the plate boundaries and criterions

mental model	criterions
naive model	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Does not differentiate the lithospheric plates from the mantle.</li> <li>• Does not explain the motion of the lithospheric plates.</li> <li>• Does not demonstrate the topographical features of the plate boundaries.</li> </ul>
unstable model	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Differentiates the lithospheric plates from the mantle inappropriately.</li> <li>• Explains the motion of the lithospheric plates and lower mantle incompletely.</li> <li>• Demonstrates the topographical features of the plate boundaries incompletely.</li> <li>• Does not relate the mantle convection and the topographical features of the three boundaries.</li> </ul>
causal model	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Differentiates the lithospheric plates from the mantle.</li> <li>• Explains the motion of the lithospheric plates and lower mantle.</li> <li>• Demonstrates the topographical features of the plate boundaries incompletely.</li> <li>• Relates the mantle convection and the topographical features of the three boundaries.</li> </ul>
conceptual model	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Differentiates the lithospheric plates from the mantle.</li> <li>• Explains the motion of the lithospheric plates and lower mantle.</li> <li>• Demonstrates the topographical features of the plate boundaries completely.</li> <li>• Relates the mantle convection and the topographical features of the three boundaries completely.</li> </ul>

서 히말라야 산맥이 그렇게 높은 이유가 무엇인지에 대한 물음에 두 판이 충돌했기 때문이라고만 응답하였다.

섭입형 경계에 대한 그리기 과제 결과인 (B)를 보면 해구와 호상열도의 구조를 단층과 같은 구조로 묘사하고 있다. 태평양판이 유라시아판 아래로 내려가는 방향에서 오인이 나타나고 있으며, 양 쪽 판의 밀도 차이나 호상열도의 생성 원인에 대한 이해가 나타나지 않으므로 소박한 모형으로 분류되었다.

(C)에서 발산형 경계에 대한 정신모형을 살펴보면, 지구내부의 열에너지에 의해 맨틀 대류가 발생하며 대류의 상승부분에서 해령이 생성된다고 이해하고 있으나 지각의 실제 지형이 전혀 묘사되지 않고 있다. 특히 해양지각 생성에 대한 묘사가 불분명하고 판이 변화되는 원인을 연약권의 대류에 의한 것으로 파악하지 않고 지각자체가 이동하고 있는 것으로 묘사하고 있다. 김○○과의 면담 내용 중 해령에 해당하는 내용은 아래와 같다. 여기서 밑줄 그은 부분은 지식을 어떻게 얻었는지에 관한 학생들의 믿음인 인식론적 신념을 조사하기 위한 질문과 응답이다.

- 연구자: 해령은 어떤 지형일까?  
 김○○: 분출해서 나오는 거  
 연구자: 왜 분출을 하지?  
 김○○: 마그마가 안에 있어요.  
 연구자: 마그마는 어떻게 생긴 거야? 맨틀하고 관련지어서 생각해봐.  
 김○○: 맨틀이 벌어져서..  
 연구자: 맨틀이 깊는데 있잖아. 깊는데 있는 맨틀이 어떻게 되길래 솟아오를 수 있지?  
 김○○: 온도 차이에 의해 올라가고 내려가요.  
 연구자: 맨틀물질이 바깥까지 다 튀어 나오니?  
 김○○: 그건 아니고..  
 연구자: 그러면 해령은 어떻게 만들어졌지?  
 김○○: 대류를 하면 이 맨틀이 밀고 올라와요.  
 연구자: 어떻게 알게 되었니?  
 김○○: 수업시간에 들었어요.  
 연구자: 우리가 잠수함을 타고 해저에 내려가서 해령을 보면 어떤 모습일까?  
 김○○: 움푹 파인 모습인가?  
 연구자: 웅덩이야?  
 김○○: 그건 아니고... 밀어 올리니까 솟아있기도 하고....  
 연구자: 해령에서는 어떤 변화가 일어날까?  
 김○○: 지진이 생겨요.

김○○의 해령 그림과 인터뷰 내용을 종합해 볼

때 맨틀의 대류 개념은 가지고 있으나 해령의 실제 지형이나 생성 과정에 대하여 설명하지 못하므로 소박한 모형으로 분류된다. 김○○의 면담에서 학생이 응답한 내용을 어떻게 알게 되었는지 수 차례 질문한 결과 ‘수업시간에 들었어요’, 또는 ‘수업 시간에 들어서 알게 되었다’로 반복하여 응답하였다. 따라서 이 학생의 인식론적 신념은 교사의 의견을 그대로 받아들이는 지식의 권위에 의존한 인식론적 신념으로 해석되었다.

안○○의 판의 경계에 대한 정신모형: 부록 2의 (A)에서 안○○의 습곡산맥 그림을 살펴보면, 대륙판들이 서로 충돌하면서 한 쪽 대륙지각이 다른 쪽 대륙지각 아래로 침강하는 것으로 묘사하고 있다. 두 판의 경계부에 있던 퇴적물이 습곡을 이루는 현상을 나타내었으나 이에 대한 이해가 정확한 것인지 인터뷰 결과와 비교해 볼 필요가 있다. 히말라야 산맥에 대하여 필요한 그림을 다시 그리게 하면서 안○○과 인터뷰한 결과는 아래와 같다.

- 연구자: 두 판이 이동하는 화살표 방향을 나타내볼까?  
 안○○: (히말라야 산맥을 중심으로 마주보는 화살표를 그리면서) 이렇게..  
 연구자: 이렇게 서로 마주치면 어떤 힘이 생길텐데.  
 안○○: 네  
 연구자: 그러면 그 힘에 의해 히말라야 산맥 안에 어떤 지형이 나타날까?  
 안○○: 들어갔어요... 들어갔어요.  
 연구자: 들어갔어? 들어갔다는 게 무슨 말이지?  
 안○○: 밀려서 파였어요  
 연구자: 그러면 히말라야 산맥이 왜 저렇게 높을까?  
 안○○: 서로 밀어서..  
 연구자: 히말라야 산맥에서 발견되는 화석은 어떤 게 있지?  
 안○○: 히말라야 산맥 꼭대기에서 조개껍질..  
 연구자: 어떻게 된 걸까?  
 안○○: 그전에는 바다였어요.  
 연구자: 그 사실에서 산맥이 높은 이유를 설명해볼까?  
 안○○: 판이 떨어져 있다가 충돌해서요..  
 연구자: 설명한 내용을 어떻게 알게 되었지?  
 안○○: 수업시간에 들어서....

위의 면담 내용에서 안○○은 히말라야 산맥 지역이 예전에 바다였다고 응답하고 있으나 산맥이 높은 이유에 대하여 질문에는 해저 퇴적물과 관련짓지 못하고 판의 충돌로만 설명하고 있다. 이는 해저의 퇴적물이 밀려올라가서 산맥의 높이를 이루는 현상을

인식하지 못하는 것으로 분석되어 불안정 모형으로 분류되었다. 그리고 이러한 불안정 모형은 실제 해저의 지층이 두껍게 퇴적되어 있었고 판의 충돌로 판 사이의 해저 퇴적물이 상승하는 역동적인 과정에 대한 심층적인 이해가 부족하기 때문에 생기는 것이다.

안○○이 작성한 섭입형 경계인 (B)그림에 의하면 판과 연약권을 구분 짓지 못하고 있으며, 호상열도와 해구의 형태에 대한 기본적인 설명이 미숙한 상태이다. 맨틀 허부 연약권의 대류에 대한 묘사도 불분명하여 맨틀의 대류와 지형의 생성을 전혀 관련짓지 못하고 있으므로 소박한 모형으로 분류된다. 이는 현상이나 사건만을 단순하게 제시한 경우로 존재론적 범주로 보았을 때 물질 범주에 해당한다. 지구 내부에서 가열되어 상승하고 하강하는 대류개념을 포함할 때 판구조론은 '과정' 범주에 포함된다(Libarkin et al., 2005)는 관점에 근거할 때, 이 학생은 과학적 개념의 범주와 학생의 범주가 불일치된 경우로 학습에 어려움이 나타날 수밖에 없다.

(C)그림에서 발산형 경계에 대한 정신모형을 살펴 보면, 맨틀 연약권에서 대류 방향과 암석권의 이동 방향을 바르게 묘사하고 있다. 그러나 해저산맥으로 솟아오른 지형이나 열곡의 묘사가 빈약하므로 대류현상으로 인하여 마그마가 올라와 산맥 형태의 지형이 형성된다는 사실에 대한 인식이 불명확한 것으로 판단된다. 특히 안○○ 학생은 평가자 간의 의견 일치 과정에서 가장 논란이 많았던 경우로, 충돌형과 섭입형 경계가 각각 불안정 모형과 소박한 모형으로 평가된 점을 참조로 발산형 경계도 최종적으로 불안정 모형으로 평가되었다.

안○○ 역시 김○○과 유사하게 설명한 내용을 어떻게 알게 되었는지에 대한 질문에 수업시간에 들어서 알게 되었다고 대답하여 수업 시간 교사의 권위에 의존한 인식론적 신념으로 볼 수 있다.

이○○의 판의 경계에 대한 정신모형: 부록 3의 (A)그림에서 대륙판들이 서로 충돌하되 한 쪽 대륙지각이 다른 쪽 대륙지각 아래로 침강하지 않고 충돌한 대륙판 자체가 솟아오른 산맥을 형성하는 것으로 묘사하고 있다. 이는 선행연구(정경진 외, 2007)에서 두 대륙판이 충돌하여 중심부가 블록해 지면서 산맥을 형성하는 것으로 표현한 오개념 C유형과 유사하다. 또한 희미하게 마그마가 상승하는 모습을 묘사하고 있어 습곡산맥과 마그마 분출에 의한 화산을 유사하게

인식하는 것으로 드러나 소박한 모형으로 분류된다.

이○○은 (B)그림에서 해구와 호상열도의 단면을 극히 간단하게 묘사한 반면 '판이 비스듬하게 파고 들면서 생기는 마찰에 의해 분출물들이 해수면으로 올라와서 호상열도가 생성된다'고 적고 있다. 그러나 그림에서는 마그마 생성지역과 호상열도를 연결 짓지 못하고 있으므로 불안정 모형으로 분류된다. 이는 언어적인 정보의 지식을 가지고 있으나 이를 시각적으로 변환하는데 어려움을 겪는 경우로 보인다. (C)의 해령 그림에서 연약권의 대류 방향과 암석권의 이동방향을 바르게 나타냈으나 맨틀 연약권의 변화와 지형의 생성을 관련짓지 못하고 암석권과 봉우리 모습의 해령을 분리하여 묘사하고 있어 불안정 모형으로 분류된다. 아래는 이○○의 해령에 대한 면담 자료이다.

연구자: 잠수함을 타고 해저에 내려가서 해령을 보면 어떤 모습일까?

이○○: 동굴?

연구자: 동굴? 왜 동굴이라고 생각해?

이○○: 가운데...바다에 빈 곳이...아..까먹었다.

연구자: 밀고 올라오면 지각이 어떻게 되겠어?

이○○: 밀려서... 절벽같이...아닌가요?

연구자: 절벽이 될까?

이○○: 네.

연구자: 맨틀이 밀고 올라오면 지각이 어떻게 되겠니?

이○○: 아...울퉁불퉁하게 되요.

연구자: 이 솟아오른 게 무슨 지형이니?

이○○: 이런 지형이?

연구자: 땅보다 솟아올라 있는 게 뭔데?

이○○: 산이요

연구자: 그래, 산이지. 그럼 산이 길게 연결되어 있잖아. 이게 뭐니?

이○○: 산이 올라온게...산맥이요. 해저산맥이요.

연구자: 해령에서는 어떤 변화가 일어나고 있을까?

이○○: 변환단층이 있어서 해령이 끊어져 있어요.

연구자: 그걸 어떻게 알게 되었니?

이○○: 수업시간에 선생님이 설명하셔서...

이○○과의 인터뷰에서 해령의 실제 지형에 대해 질문하였을 때, 울퉁불퉁하다고 표현하고 있어 연약권에서 물질이 분출하여 생성되는 해령과 열곡에 대한 이해가 부족하였다. 이는 해령의 실제 지형에 대한 그리기에 나타난 모형과 일치하며 학습자 나름의 대안개념이라 할 수 있다. 이러한 대안개념은 교과서에 제시된 모식화된 그림으로는 실제 지형에 대해서 과학적인 정신모형을 형성하기 어려움을 보여준다.



해령에서 일어나는 지각변동에 대한 응답은 이 학생 역시 변환단층과 관련하여 해령의 단층 현상에 대해 서만 언급하였고 화산과 지진에 대해서는 언급하지 않고 있다. 이○○도 위의 두 학생과 마찬가지로 ‘응답한 내용을 어떻게 알게 되었느냐?’, ‘왜 그렇게 생각하느냐?’는 질문에 ‘수업시간에 선생님의 설명으로 배웠다’, ‘선생님이 설명한 중에 기억나는 것’ 등으로 응답하였다. 따라서 소박한 모형과 불안정 모형을 지닌 학생들의 경우 공통적으로 교사의 의견을 그대로 받아들여 지식의 권위에 의존하는 인식론적 경향을 나타내었다.

### 인과적 모형을 지닌 경우

‘인과적 모형’은 맨틀의 대류가 근원적으로 판의 경계에 나타나는 지형의 생성 원인이 된다는 인과 관계를 파악하고 있으나 부분적으로 대안개념이 나타나는 경우이다.

강○○의 판의 경계에 대한 정신모형: 부록 4의 (A)와 같이 맨틀과 판의 구분은 불분명하나, 인도판과 유라시아판으로 표시한 부분의 이동방향과 침강하는 상태를 바르게 묘사하고 있다. 또한 판이 침강하고 그 사이의 퇴적층이 밀려올라가 산맥이 되는 과정을 나타내었고 인터뷰를 통해서도 맨틀과 판의 이동을 지형의 생성과 관련지어 설명하였다. 따라서 강○○은 인과적 모형을 지닌 것으로 분석되었다.

반면에 (B)에서는 해구의 지형적 특징을 묘사하였으나 전체적인 판의 이동방향을 나타내지 않고 있었다. 판의 침강과 마그마 생성에 대한 표시가 없이 호상열도의 생성과정을 습곡산맥과 유사하게 묘사하고 있기에 불안정 모형으로 일차 분류되었다. 이에 강○○의 해구와 호상열도에 대한 정신모형을 분석하기 위하여 참조한 면담 내용은 아래와 같다.

연구자: 일본 섬을 무슨 지형이라고 부르지요?  
 강○○: 호상열도...  
 연구자: 자, 호상열도가 왜 생기는지 설명해보자. (학생이 그림 그리기 사용)  
 강○○: 이게...판이요...해양판의 밑도가 무거워서 (해구) 안으로 들어가거든요. 부딪히면서. 그때 마찰력이 발생하면서 (마찰된 부분이) 녹아서 올라오는데, 이게 올라와서 굳은 게 호상열도 같아요.  
 연구자: 마그마가 올라온다는 것은 저 맨틀이 올라오는 거야?  
 강○○: .....  
 연구자: 태평양 쪽 맨틀이 이렇게 내려가니까 녹은 물질은 어

느 부분이지?

강○○: 지각부분.

연구자: 마그마가 어떻게 이렇게 올라올 수가 있지?

강○○: 마그마가..가벼우니까

연구자: 왜 그렇게 생각하지요?

강○○: 지도 공부를 하면서 보니까 교과서에 마그마가 붙어서 올라오는 것처럼 그려져 있던데 왜 그런지 설명이 안 나와 있어서 잘 모르겠어요.

연구자: 가벼워서 올라올 수 있을까 여기는 딱딱한 부분인데?

강○○: 수증기가 먼저 올라오니까 따라 올라오나요?

연구자: 수증기에 의한 압력이 밀고 올라오나요?

강○○: 아! 압력이 밀고 올라오면서 그 틈을 뚫고 올라오는군요.

그리기 과제에서 마그마 생성에 대한 묘사가 없었지만 인터뷰 결과 밀도 차이 때문에 해양판이 침강하여 생긴 마찰력 때문에 마그마가 생기고 이 부분이 상승하여 호상열도가 생성된다는 바른 설명을 하고 있었다. 강○○의 경우 그리기 과제보다 인터뷰에서 더 안정적인 개념을 보여주어 섭입형 경계에 대한 정신모형은 인과적 모형으로 최종 분석되었다. 부록 4의 (C)에서 강○○의 해령에 대한 정신모형을 살펴보면 습곡산맥의 그림에서와 마찬가지로 맨틀과 지각의 구분이 없이 이동 방향만 화살표로 나타내고 있다. 또한 해령의 형태를 열곡이 없이 단지 솟아 오른 봉우리의 형태로 나타내고 있다. 해령에 대한 인터뷰에서도 열곡 개념이나 맨틀 대류와 해령의 구조를 관련지어 설명하지 못하였으므로 불안정 모형으로 분석하였다.

강○○의 인식론적 신념을 알아보기 위하여 왜 그렇게 생각하는지 질문한 결과 자신이 교과서로 공부를 한 점을 언급하여 앞서의 소박한 모형이나 불안정 모형을 가진 학생들과 달리 자신의 논리적 사고 과정을 근거로 하는 인식론적 신념을 나타내었다.

한○○의 판의 경계에 대한 정신모형: 이 학생은 세 가지 판의 경계를 모두 3차원 그림으로 묘사하는 특징을 보이고 있다. 부록 5의 그림 (A)에서 한쪽 판이 다른 쪽 판 아래로 내려가는 모습을 나타내고 있으나 상부 판의 경계를 실제와 반대 방향으로 나타내고 있다. 그리고 암석권과 산맥을 분리하여 평평한 바닥으로 묘사하고 있으며 횡압력이나 습곡산맥이란 용어를 사용하지 않고 있다. 역시 퇴적물이 밀려올라가서 높은 산이 된다는 개념 형성이 되지 않으므로 불안정 모형으로 분류된다. 대륙지각-대륙지각의 수

럼 경계에 대하여 조사된 두 가지의 공통적인 오개념이 있다(Sibley, 2005). 첫째 유형은 딱딱한 판 위에 놓여있는 산들을 그린 것이었는데 그 산들은 뿌리도 없었고 지표 아래의 암석권이 두꺼워짐도 보이지 않았다. 둘째 유형은 딱딱한 지지층 위에 놓여있는 얇고 유연한 판들이 위를 향하여 기울어지는 결과로 산이 만들어지는 모습을 그린 것이었다. 본 연구에서 연구대상의 정신모형을 분석한 결과 첫째 유형의 오개념이 다수 나타났다.

섭입형 경계를 나타낸 부록 5의 (B)그림에서 태평양판이 유라시아판 아래로 침강해 들어가면서 해구가 형성되고 마그마가 분출하여 호상열도를 생성한다는 과학적 개념을 묘사하였다. 베니오프대라는 용어를 사용하고 있고 진원의 깊이에 대하여 부연설명도 바르게 하였으므로 개념적 모형으로 분류되었다. 발산형 경계를 나타낸 (C)에서는 맨틀이 상승하여 해령에서 확산해 나가는 방향을 나타내고 있으며 분출한 마그마가 새로운 해양 지각을 형성하는 것으로 묘사하고 있어 인과적 모형으로 분류되었다. 하지만 맨틀 상승에 의해 암석권 하부물질이 굳어져 해양지각을 생성한다는 개념이 명확하지 않고 맨틀 자체가 흘러넘치는 것처럼 생각하는 대안 개념을 보여주었다.

박○○의 판의 경계에 대한 정신모형: 부록 6의 그림 (A)에서 대륙판들이 서로 충돌하면서 한 쪽 대륙지각이 다른 쪽 대륙지각 아래로 침강하는 것으로 묘사하고 있다. 이 학생은 강○○의 경우와 유사하게 두 판의 경계부에 있던 퇴적물이 습곡을 이루는 현상을 나타내어 맨틀의 대류와 지형의 생성을 관련짓고 있으므로 인과적 모형으로 볼 수 있다.

그림 (B)에서 판이 침강하는 모습을 적절히 묘사하였고 호상열도와 해구의 형태를 적절히 묘사하였으나 해구의 위치를 중심으로 볼 때 호상열도의 위치가 부적절하게 배치되어있다. 이로써 마그마의 분출로 호상열도가 생성되는 과정에 대하여 기본적인 개념 형성이 되어 있지 않아 불안정 모형으로 분류되었다. 그러기 과제에서 나타난 정신모형을 재검토하기 위한 면담 내용은 아래와 같다.

연구자: 잠수함을 타고 해저에 가서 해구를 보면 어떤 모양의 지형일까?

박○○: .....깊숙하게 파져있어요.

연구자: 길이는?

박○○: 해구부분만 수렴해서 생기잖아요. 수렴하다가 그 부분

만...

연구자: 태평양 주변에 해구가 많기 때문에 나타나는 지각변동은?

박○○: 지진 확산 활발하다.

연구자: 이유는 뭘까?

박○○: 맨틀대류하고 판들이 충돌하고 섭입해서 그래요.

연구자: 섭입하는 모습을 그려 볼래?

박○○: 해양판이 밀도가 커서 내려간다

연구자: 일본섬은 어디에 있을까? 뭐라고 부르지요?

박○○: 호상열도

연구자: 호상열도는 어디 있니?

박○○: ... 글썽요

연구자: 마그마가 어디생기니?

박○○: 여기에....

연구자: 어떻게 해서 섬이 되니?

박○○: 식어서 솟아올라서...

연구자: 그걸 어떻게 알게 되었지?

박○○: 제가 생각해 보니깐 그러네 확실히는 모르겠어요.

박○○의 인터뷰 결과에 의하면 해구가 생기는 원인이거나 형태에 대해서는 타당하게 응답을 하지만 호상열도가 어디 있는지는 스스로 응답을 하지 못하였다. 판의 침강으로 마그마가 형성된다는 인식은 있지만 그것이 화산섬을 이루는 과정은 역시 시각적으로 직접 관찰할 수 없는 대상이라 인지하는데 어려움이 있는 것으로 해석된다. 부록 6의 (C)에서 해령이 주변보다 높고 양쪽으로 이동해가는 상태를 묘사하고 있으나 연약권의 대류에 대한 묘사가 없으므로 해령의 지형적 특징에 대한 원인 파악이 되지 않고 있다. 따라서 맨틀의 대류와 지형의 생성원인을 관련짓지 못한 경우로 불안정 모형으로 분류된다.

박○○의 인식론적 신념을 알아보기 위하여 어떻게 알게 되었는지 질문한 결과 자신이 생각해본 결과라고 하면서 이에 대한 확신은 없는 상태로 응답하였다. 이런 경우에도 강○○과 유사하게 자신의 논리적 사고과정을 근거로 하는 인식론적 신념으로 간주할 수 있다.

### 개념적 모형을 지닌 경우

'개념적 모형'은 판의 이동과 실제 지형의 특징에 대하여 타당하게 설명하고 있으며, 맨틀의 대류와 지형의 생성과의 인과관계를 분명하게 이해하고 정확한 용어를 사용하여 설명한 경우에 해당한다.

최○○의 판의 경계에 대한 정신모형: 부록 7의 (A)그

림에서 대륙판들이 서로 충돌하면서 한 쪽 판이 다른 쪽 판 아래로 침강하는 모습을 묘사하고 있다. 두 판의 경계부에 있던 퇴적물이 산을 이루고 습곡을 이루는 현상을 나타내고 있는데 습곡의 묘사가 전형적이지는 않지만 압력에 의한 구조의 변화에 주목하고 있기에 개념적 모형으로 분류하였다.

최○○가 작성한 그리기 과제는 실체를 얼마나 밀접하게 모방하였는가의 척도인 충실도(fidelity) 측면에서 높은 수준을 보여주어, 과학적인 정신 모형을 지닐수록 해당 주제에 대하여 더 구체적으로 묘사 가능함을 보여주는 사례로 간주된다. 부록 7의 (B)에서 해양판이 대륙판 아래로 침강해 들어가면서 해구가 형성되고 물질이 녹아 마그마가 되어 분출하여 호상열도를 생성한다는 과학적으로 정확한 개념을 제시하였다. 추가적으로 기술한 설명에서 섭입형 경계라는 정확한 용어를 사용하고 있고 판의 상호작용, 진원의 깊이, 화산활동에 대하여 바르게 설명하고 있다. 해구와 호상열도의 실제 지형에 대한 정신모형을 확인하기 위한 면담 자료는 아래와 같다.

연구자: 우리가 해저에 실제로 내려가서 해구를 보면 어떤 모양의 지형일까?

최○○: 만나서 썩 들어 가면서 지각이 소멸되고 있어요.

연구자: 썩 들어갔다는 게 우물처럼 뚫린거야? 어떤 모양을 이루고 있지?

최○○: 이렇게 되 있을꺼 같다. (골짜기 형태의 단면도를 그린다)

연구자: 그 규모는?

최○○: 많이 클 거 같다.

연구자: 길이는?

최○○: 많이 길 거 같다.

연구자: 길게 깊이 파여 있는 건 어떤 지형이라고 하지?

최○○: 계곡 형이라고 할까.

연구자: 일본섬은 판 구조론에서 어떤 지형이라고 하지?

최○○: 호상열도.

연구자: 호상열도는 어떻게 만들어 졌지?

최○○: 섭입형 경계에서 판이 이렇게 움직이면서 마그마가 되고 화산이 올라오는데 이 화산으로 만들어진 섬을 호상열도라고 해요.

연구자: 그걸 어떻게 알게 되었니?

최○○: 판이 내려가면 당연히 마침로 마그마가 생길 거 같아요.

연구자: 마그마가 어떻게 뚫고 올라올 수 있지?

최○○: 암석에서 약한 부분을 가스 같은 게 밀고 올라 올 거 같아요.

연구자: 왜 그렇게 생각하게 되었지?

최○○: 제 생각에 압력 밥솥이 끓을 때 기체가 나오는 거랑 비슷할 거라고 생각해서요.

인터뷰에 의하면 해구에서 지각의 소멸에 대하여 설명하고 있고 전체적으로 대안개념이 발견되지 않고 있으므로, 그리기 과제에서 대륙지각의 두께를 실제보다 두껍게 그린 것 외에는 과학적인 정신모형에 근접한 것으로 분석된다.

부록 7의 (C)그림에서는 발산하는 해양판 사이로 연약권으로부터 마그마가 올라와 해령을 형성한다는 과학적 개념을 나타내고 있다. 화산과 천발지진이 발생하며 심발지진이 발생하지 않는다는 정확한 지식이 있으며 맨틀의 대류에 의한 지각의 생성과 소멸을 지형의 생성원인으로 관련짓고 있으므로 개념적 모형으로 분류되었다. 그리기 과제에는 제시하지 않았지만 인터뷰에서는 해령에 관해 설명할 때 ‘열곡’이나 ‘발산형’ 등의 용어를 정확하게 사용하였다. 최○○은 인식론적 신념을 알아보기 위한 질문에, ‘자신이 생각하기에 당연히 그렇다’ 또는 ‘자신의 생각에 압력 밥솥이 끓을 때 기체가 나오는 거와 비슷하다’ 등과 같이 자기 자신의 생각임을 분명히 밝히고 있다.

이상과 같이 면담 대상자별로 세 가지 판의 경계에 대한 정신모형을 살펴본 결과, 동일한 학습자라도 정신모형의 수준이 학습 내용에 따라 다르게 나타남을 알 수 있었다. 예를 들어 충돌형 경계나 섭입형 경계보다 발산형 경계에 대하여 가장 불안정한 모형이 많이 나타났다. 이에 발산형 경계에 대한 각 정신모형에 해당하는 그리기 과제의 예와 분석 준거를 요약하면 Table 5와 같다.

## 결론 및 제언

본 연구에서는 판구조론의 주요 개념인 충돌형, 섭입형, 발산형 경계에 대한 고등학생들의 정신모형을 조사하고자 하였다. 이를 위하여 그리기과제와 심층면담 결과를 바탕으로 정신모형의 유형을 분류하고 개발된 분석 준거를 근거로 고등학생들의 판의 경계에 대한 정신모형을 분석하였다. 연구 결과에 대한 논의를 바탕으로 향후 적절한 교수·학습 활동을 위한 시사점을 제안하면 아래와 같다.

첫째, 본 연구의 결과 판의 경계에 대한 고등학생들의 정신모형의 유형은 소박한 모형, 불안정 모형, 인과적 모형, 개념적 모형의 4가지로 분류되었다. 이러한 정신모형을 분석할 때 준거는 판과 맨틀에 대

**Table 5.** The mental models of the divergent boundary and criterions

types	an example of mental model	criterions
naive model		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Does not differentiate the lithospheric plates from the mantle.</li> <li>• Does not demonstrate the geographical features of the plate boundaries.</li> </ul>
unstable model		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Explains the motion of the lithospheric plates incompletely.</li> <li>• Does not relate the mantle convection and the geographical features of the three boundaries.</li> </ul>
causal model		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Demonstrates the geographical features of the plate boundaries incompletely.</li> <li>• Relates the mantle convection and the geographical features of the three boundaries.</li> </ul>
conceptual model		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Demonstrates the geographical features of the plate boundaries completely.</li> <li>• Relates the mantle convection and the geographical features of the three boundaries completely.</li> </ul>

한 구분, 판의 이동에 대한 이해 여부, 판 경계 지형의 특징에 대한 이해 여부 그리고 맨틀의 대류와 지형과의 관련성 파악 여부 등이다. 특히, 인과적 모형과 개념적 모형은 맨틀의 대류가 근원적으로 판의 경계에 나타나는 지형의 생성 원인이 되는 인과 관계를 파악한 경우에 해당한다. 본 연구에서 밝힌 증거는 초등학교생이나 중학생 또는 영재학생 등 다양한 학습 능력과 환경에 있는 학습자들을 대상으로 판의 경계에 대한 이해 정도를 판단할 수 있는 근거를 제공할 수 있을 것이다.

둘째, 본 연구의 결과 발산형 경계에 대한 정신모형이 다른 두 가지 판의 경계 보다 소박한 모형과 불안정 모형이 더 많이 나타났다. 이러한 결과의 원인을 사회·문화적 맥락 내의 관찰 또는 획득한 정보 요인 면에서 유추해 볼 수 있다. 즉 습곡산맥은 현재

의 외형적 형태를 사진으로 관찰할 기회가 많고, 호상열도는 일반적인 지도나 사진으로 외형적인 형태를 볼 수 있으며 화산 지진대의 특성을 우리나라 부근 일본에서의 현상으로 접할 수 있다. 반면에 해령은 외형적인 형태를 직접 관찰하기 어렵고 관련 자료도 흔하지 않기 때문에 발산형 경계에 대한 정신 모형이 불안정한 것으로 해석된다. 마찬가지로 호상열도의 실제 형태에 대해서는 타당하게 설명한 경우가 다수 있었지만 해구의 실제 지형에 대해서는 명확하게 설명하지 못하는 경우가 많았다. 이 역시 시각적으로 직접 관찰할 수 없는 대상이기에 인지하는데 어려움이 있는 것으로 해석된다. 따라서 직접 관찰이 어려운 대규모 현상일수록 관찰가능한 선행지식의 내용과 관련지어서 인식하도록 설명을 제시해야 한다.

셋째, 본 연구에서 정신모형을 조사한 결과 나타난

고등학생들의 대안개념을 판의 경계별로 살펴보면 다음과 같다. 먼저 충돌형 경계에 관하여 대륙판들이 서로 충돌하되 한 쪽 대륙지각이 다른 쪽 대륙지각 아래로 침강하지 않고 충돌한 대륙판 자체가 솟아오른 산맥을 형성한다는 대안개념이 나타났다. 섭입형 경계에 대해서는 해양판이 대륙판 아래로 내려가는 방향을 잘못 인식하거나 해구와 호상열도의 위치를 바꾸어 생각하는 하는 오개념이 발견되었다. 그리고 발산형 경계에 대해서는 암석권과 해령이 분리되어 있거나 열곡이 없이 단지 솟아 오른 봉우리의 형태로 지각하는 대안개념이 나타났다. 이와 같은 대안 개념은 지각과 지구내부에 대한 대학생들의 이해 수준을 조사한 선행연구(Libarkin et al., 2005)에서 다수의 학생들이 판과 지각 사이에 불연속면이 존재한다고 믿거나 지구 내부에 판이 평판 형태로 존재하는 것으로 인식하는 것과 유사하다. 그리고 해령에서 단층이 있다는 사실은 잘 인식하지만 화산이나 지진의 발생에 대해서는 상세하게 설명하지 않는 경향이 있었다. 이러한 경향은 대부분의 교과서에서 호상열도 그림에는 화산분출물이 포함되어있지만 해령 그림에서는 화산 분출물이 포함되어 있지 않는 것도 그 원인으로 추정된다. 따라서 교과서에서 판의 경계를 설명하는 해령 그림에서 지형적인 구조나 변환단층 뿐 아니라 화산이 분출되고 있음을 보여주어야 할 것이다.

넷째, 지식 획득의 방법에 관한 학생들의 믿음인 인식론적 신념을 조사한 결과 소박한 모형이나 불안정 모형으로 분류된 학생들은 수업시간에 선생님의 설명으로 알게 되었다고 응답하여 교사의 의견을 그대로 받아들이는 지식의 권위에 의존한 인식론적 신념으로 판단되었다. 이렇게 외부 권위에 의존하여 지식을 형성하는 경우 면담과정에서 본인이 이해한 바를 설명하기보다는 수업 시간에 교사에게서 배웠다고 기억하는 내용만 설명하는 경향이 있었다. 또한 인과적 정신모형으로 분류된 한 학생 중에는 교과서의 설명이나 그림과 같이 기존의 교재에 의존하여 지식을 형성하는 예가 나타났다.

본 연구에서는 판의 경계에 대한 고등학생의 정신모형 유형과 분석 준거를 제시하였고 이는 관련 주제에 대하여 적합한 교수·학습 활동이 이루어지도록 구체적인 방안을 찾는 데 근거 자료가 될 것이다. 본 연구의 논의와 관련하여 후속 연구에서는 정신모형 형성과 관련되는 다면적인 요인이 학습자의 정신모형에 구체적으로 어떤 영향을 미치는지 밝혀내는 연구

가 필요하다. 즉 학습자의 인식론적 신념, 메타인지 등 인지적 요인과 제시된 과제 등 맥락요인이 정신모형에 어떤 영향을 미치는지를 밝히기 위한 다각도의 방법론과 적용연구가 이루어져야 한다. 이를 위하여 지구과학 분야의 주요 개념에 대하여 정신모형 이론에 기반한 수업 모형과 수업 과정안을 개발하고 이를 수업에 적용하여 학생들의 정신모형 형성과정에 미치는 효과를 알아보는 것도 한 가지 방법이 될 것이다.

## 참고문헌

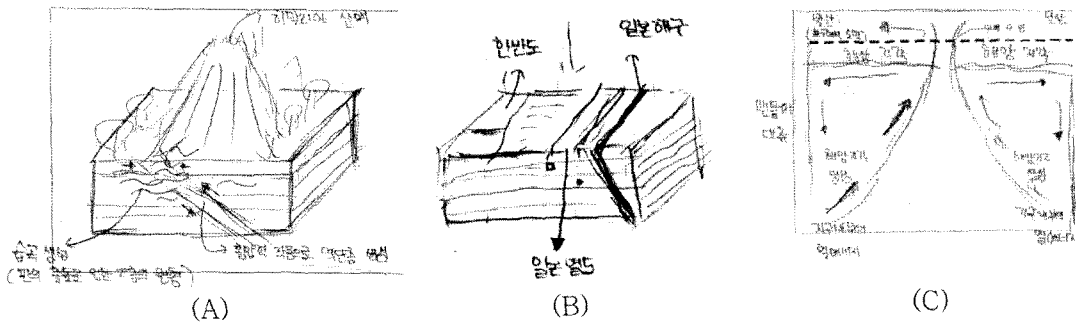
- 박지연, 이경호, 2004, 과학개념변화 연구에서 학생의 개념에 대한 이해: 오개념에서 정신모형까지. 한국과학교육학회지, 24, 621-637.
- 박지연, 이경호, 신종호, 송상호, 2006, 과학수업후 변하는 것과 변하지 않는 것: 정신모형 이론을 중심으로 한 고등학생의 원운동 개념변화 사례 분석. 한국과학교육학회지, 26, 475-491.
- 이기영, 2006, 상황에 따른 개념 유형의 국면 분석을 통한 중학교 과학 영재아들의 조석에 관한 정신모형 탐색. 한국지구과학회지, 27, 6-14.
- 이용숙, 김영천, 1998, 교육에서의 질적연구: 방법과 적용. 교육과학사, 서울, 604 p.
- 정경진, 정구송, 문병찬, 정진우, 2007, 판구조론에 관한 고등학교 1학년 학생들의 오개념. 한국지구과학회지, 28, 762-774.
- 정구송, 2006, 존재론적 범주와 정신모델에 근거한 지각과 지구 내부에 대한 고등학교 학생들의 대안개념. 한국교원대학교 박사학위논문, 159 p.
- 이호, 조현준, 이효녕, 2007, 달 크레이터 생성에 대한 대학생들의 정신모형 분석. 한국지구과학회지, 28, 653-670.
- Beilfuss, M., 2004, Exploring conceptual understanding 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., Slotta, J.D., and Leeuw, N., 1994, From things to processes: A theory of conceptual change for learning science concepts. Learning and Instruction, 4, 27-43.
- Franco, C. and Colinvaux, D., 2000, Grasping mental models. In John, G. and Carolyn, B. (eds.), Developing Models in Science Education. Kluwer Academic Publishers, Boston, USA, 93-118.
- Gilbert, J. and Watts, M., 1983, The concepts, misconceptions and alternative conceptions: Changing perspectives in science education. Studies in Science Education, 10, 1-98.

- Gobert, J.D. and 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, 39-53.
- Gobert, J.D., 2000, A typology of causal models for plate tectonics: Inferential power and barriers to understanding. *International Journal of Science Education*, 22, 937-977.
- Gobert, J., 2005, The effects of different learning tasks on model-building in plate tectonics: Diagramming versus explaining. *Journal of Geoscience Education*, 53, 444-455.
- Johnson-Laird, P.N., 1983, *Mental models: Towards a cognitive science of language, inference and consciousness*. Cambridge University Press, Cambridge, USA, 298 p.
- Libarkin, J.C., Anderson, S., Dahl, J., Beilfuss, M., and Boone, W., 2005, Qualitative analysis of college students' ideas about the earth: Interviews and open-ended questionnaires. *Journal of Geoscience Education*, 53, 17-26.
- Samarapungavan, A., Vosniadou, S., and Brewer, W.F., 1996, Mental models of the Earth, Sun, and Moon: Indian children's cosmologies. *Cognitive Development*, 11, 491-521.
- Sibley, D., 2005, Visual abilities and misconceptions about plate tectonics. *Journal of Geoscience Education*, 53, 471-477.
- Skinner, L., 2001, Case studies of middle school students' alternative conceptions and conceptual changes concerning the theory of plate tectonics. unpublished dissertation in Auburn University, 215 p.
- Vosniadou, S., 1999, Conceptual change research; State of the art and future direction. In Schnotz, W., Vosniadou, S., and Carretero, M. (eds.), *New perspectives on conceptual change*. Pergamon, NY, USA, 3-13.

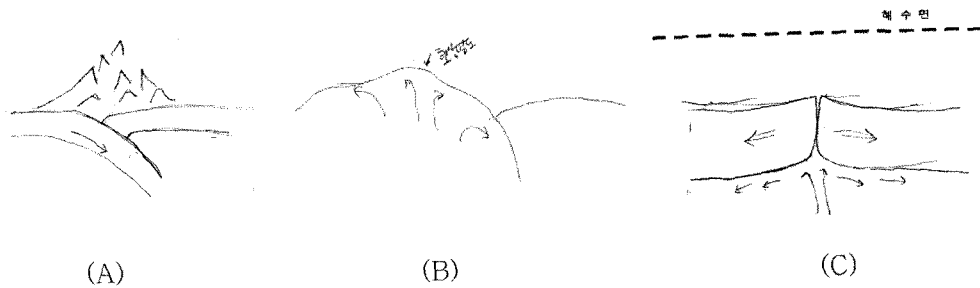
---

2008년 10월 16일 접수  
 2008년 11월 12일 수정원고 접수  
 2009년 1월 30일 채택

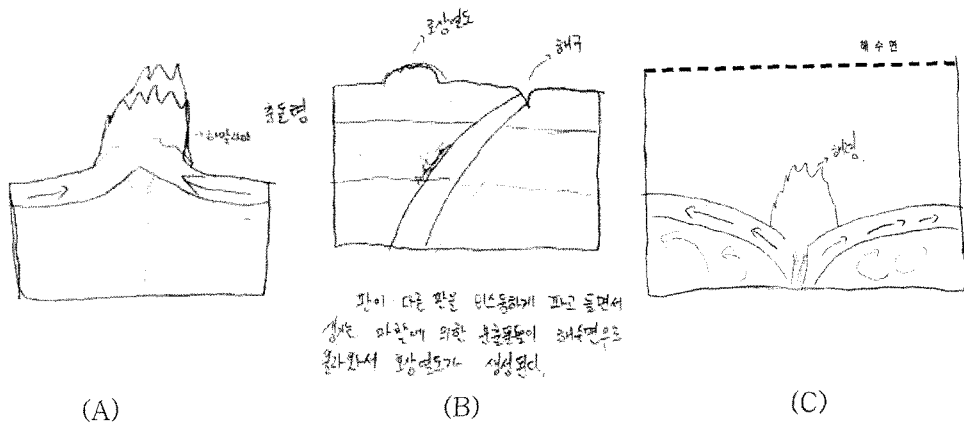
### 부 록



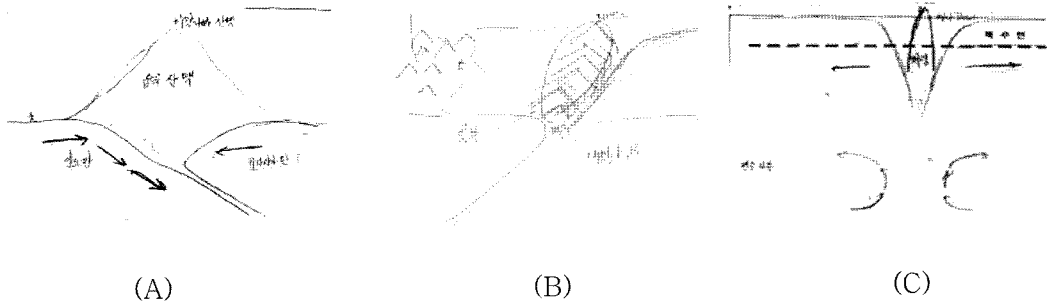
부록 1. Figures of the plate boundaries drawn by Kim.



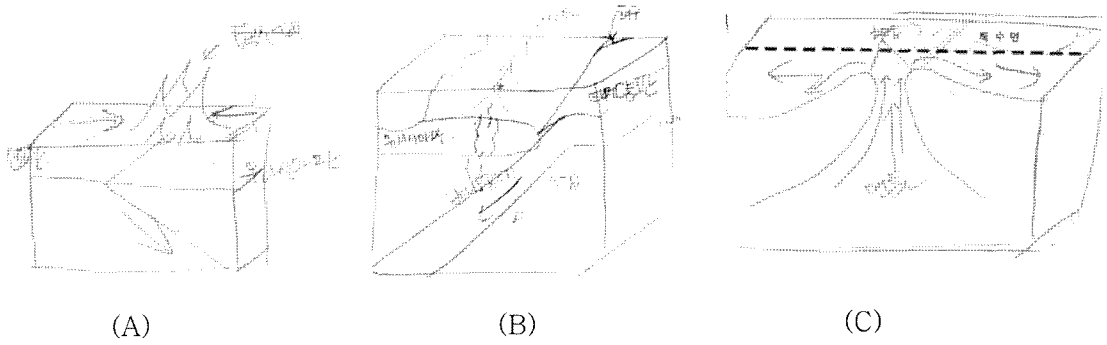
부록 2. Figures of the plate boundaries drawn by Ann.



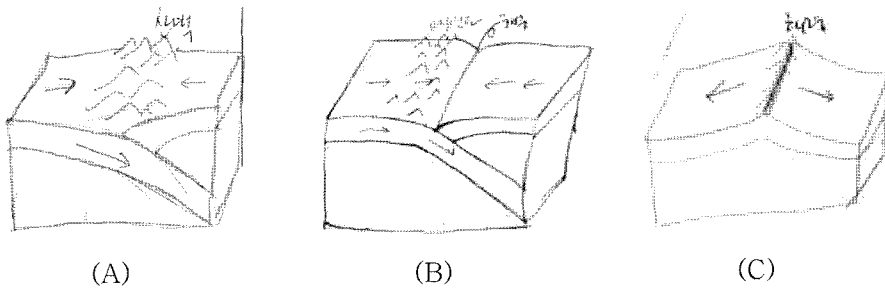
부록 3. Figures of the plate boundaries drawn by Lee.



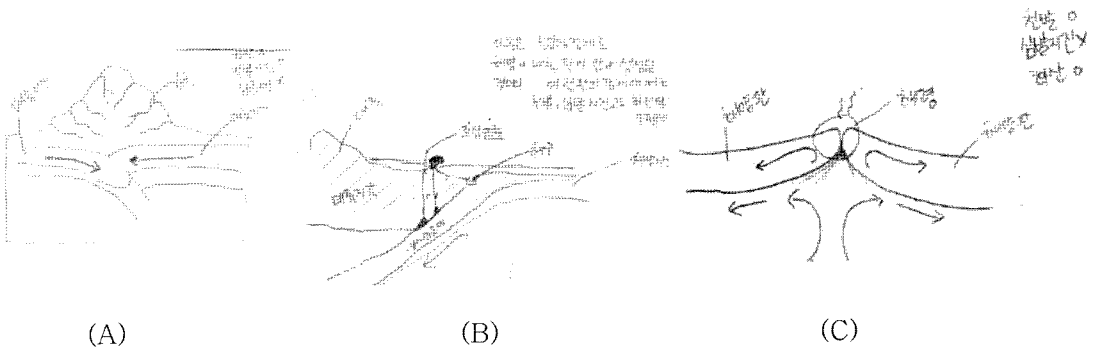
부록 4. Figures of the plate boundaries drawn by Kang.



부록 5. Figures of the plate boundaries drawn by Han.



부록 6. Figures of the plate boundaries drawn by Park.



부록 7. Figures of the plate boundaries drawn by Choi.