

고등학생들의 판 구조론에 대한 개념 분석

이미숙¹ · 정진우^{1,*} · 김형범²

¹한국교원대학교 지구과학교육과, 363-791, 충청북도 청주시 흥덕구 강내면 태성탑연로 250

²충북대학교 지구과학교육학과, 361-763, 충청북도 청주시 서원구 내수동로 52

The Analysis of High School Students' Conceptions on Plate Tectonics

Mi-Suk Lee¹, Jin-Woo Jeong^{1,*}, and Hyoungbum Kim²

¹Department of Earth Science Education, Korea National University of Education,
Cheongju 361-892, Korea

²Department of Earth Science Education, Chungbuk National University, Cheongju 361-763, Korea

Abstract: This study aimed to investigate high school students' conceptions of plate tectonics. Seventy students (N=70) in their 2 year of high schools in the province of Chungcheong-do participated in this study, and they took a conception test of visual representation. We conducted a semi-structured interview with 10 volunteering participants out of seventy. After learning about the concept of plate tectonics, this study found that participants ended up having alternative conceptions relating to terminology, meaning of colors, plates' movement, plates' boundaries, position and cause of melting, mantle's physical conditions, and driving forces of plate motion. The conceptions that the participants held after class were organically related, which included the meaning of colors, mantle's physical characteristic, and driving forces of plate movement. In addition, the visual representation used for teaching plate tectonics influenced the students' understanding about terminologies, plates' boundaries, position of melting, and the physical characteristic of mantle. The study found that there were the factors of visual representation that caused the learners to create alternative conceptions in learning about plate tectonics.

Keywords: alternative conception, plate tectonics, visual representation

요약: 이 연구는 판 구조론에 대한 학생들의 개념을 알아보는 것이다. 이를 위해 충청도에 위치한 고등학교 2학년 70명의 학생들을 대상으로 판 구조론에 대한 시각적 표상의 개념 검사를 실시하였으며, 이중 10명의 학생들을 대상으로 반구조화된 면담을 진행하였다. 연구 결과는 다음과 같다. 연구 참여자들은 판 구조론을 학습한 후에도 용어 및 색상의 의미, 판의 이동, 판의 경계, 용융의 위치 및 원인, 맨틀의 물리적 상태 및 판 운동의 원동력과 관련된 대안 개념을 가지고 있으며, 학생들이 가진 색상의 의미, 맨틀의 물리적 상태, 판 운동의 원동력 개념들은 유기적으로 관련되어 있었다. 또한 판 구조론 학습에 사용되는 시각적 표상은 용어, 판의 경계, 용융의 위치 및 맨틀의 물리적 특성에 대한 학생 응답에 영향을 주었으며, 판 구조론 학습에서 학습자에게 대안 개념을 유발하는 시각적 표상의 요소들이 있는 것으로 나타났다.

주요어: 대안 개념, 판 구조론, 시각적 표상

서론

판 구조론은 지구과학사의 중요한 부분을 차지하는 이론으로 지구 표면에서 일어나는 여러 지질 현상을 체계적으로 설명할 수 있어 학생들에게 지구에 대한 지식을 증대시키고 지질학적 현상에 대해서 많은 흥미를 유발시키는데 적합한 주제라 할 수 있다(Kim and Lee, 1991; Lee et al., 2012). 특히 지진, 화산과

*Corresponding author: jjeong@knue.ac.kr

Tel: +82-43-230-3724

Fax: +82-43-232-7176

같은 현상을 판 구조론과 연계하여 설명하기 위해서는 지구 내부 구조와 물리적 특성, 용융의 위치 및 원인, 판의 이동, 판의 경계, 판 운동의 원동력을 알아야 하며, 이러한 개념들이 어떻게 맞물려 있는지 전체적인 이해가 요구된다. 최근까지 국내·외 선행 연구에서 나타난 판 구조론 개념은 드로잉, 면담, 질문 조사 등을 통해 연구가 이루어졌으며, 구체적인 연구 방법과 결과는 다음과 같다.

Marques and Thompson (1997)은 16-17세 포르투갈 학생 270명을 대상으로 대륙, 해양, 대륙의 이동, 지구자기장, 판과 판의 이동에 대한 학생 개념을 면담과 질문지를 통하여 연구한 결과 학생들이 판을 외부에서 관찰 가능한 부분으로 정의하거나 판이 지층이 쌓여 배열된 형태라는 개념을 가지고 있으며, 지자기이동과 지구의 회전에 의해 판이 이동한다는 개념을 가지고 있다고 하였다. Jeong and Jeong (2007)는 고등학생들의 암석, 지각, 판 구조론, 지구 내부의 대안 개념을 조사하고자 설문, 드로잉, 면담을 실시한 결과 일부 학생들은 판이 움직이지 않는다고 답하였으며, 판의 원동력으로 지구의 자전과 공전, 해류 등 지구 외부의 영향으로 답하거나 맨틀의 대류를 판의 원동력으로 제시하지만 상세한 설명을 못하는 것으로 나타났다. Park (2009)은 판의 경계에 대한 고등학생의 정신 모형 분석을 통해 학생들의 정신모형 유형을 소박한 모형, 불안정 모형, 인과적 모형, 개념적 모형으로 분류하고 그 분석준거로 판과 맨틀에 대한 구분, 판의 이동에 대한 이해 여부, 판 경계 지형의 특징에 대한 이해 여부, 맨틀의 대류와 지형과의 관련성 파악 여부 등을 제시하였으며, 발산형 경계에서 다른 판의 경계보다 낮은 수준의 모형이 많다는 연구 결과를 제안한 바 있다. Smith and Bermea (2012)는 대학 입문 과정의 수강생들을 대상으로 그림 그리기를 통해 판 구조론에 대한 개념 연구를 실시한 결과 다양한 대안 개념을 발견하였는데 학생들은 지구내부의 층상구조를 화학적, 물리적으로 구분하지 못하고 있다고 보고하였다. 그들의 연구에서 학생들은 지각을 암석권의 일부로 생각하기 보다는 그 위에 있다고 하거나 판은 지각으로 구성되어 있다고 하였으며, 판이 연약권을 포함한다고 하였다.

이처럼 학생들은 판 구조론 관련 개념을 학습한 후에도 대안 개념을 가지는 경우가 많았으며(Jeong and Jeong, 2007; Park, 2009; Clark et al., 2011; Smith and Bermea, 2012), 학생뿐만 아니라 현장에

있는 과학교사들도 판 구조론에 대한 과학적 개념을 형성하는데 어려움을 겪는다는 연구결과(King, 2000)를 발표한 바 있다. 그러나 이상의 연구들은 판 구조론 개념연구에 한정되어 있으며(Choi and Ann, 2008), 학생들이 판 구조론에 사용되는 시각적 표상을 어떻게 해석하는지에 대한 연구에는 한계가 있다. 이에 Clark et al. (2011)은 미국지질조사소(United States Geological Survey; USGS) 교육 홈페이지에 제시된 시각자료(Simkin et al., 1994), 즉 판 구조론의 도식적 이미지를 이용하여 지구과학 입문 과정 대학생들을 대상으로 개념 조사 도구를 개발하였으며, 이를 통해 학생들의 판 구조론 관련 개념 연구를 수행하였다. 그 결과 학생들은 용어, 판의 이동, 판과 관련된 지표 아래의 용융에 대한 다수의 대안 개념을 가지고 있었으며, 판 구조론 학습에 사용되는 이미지들의 일부 요소들이 학생들의 대안 개념을 강화시키고 있다는 연구결과를 제안한 바 있다. 그러나 Clark et al. (2011)가 사용한 구조화된 면담(structured interview)은 판 구조론 학습에 사용된 이미지의 일부 요소들이 학생들의 대안개념에 어떻게 영향을 미치는지에 대한 인과관계를 구체적으로 밝히기에는 한계가 있으며, 대학생들이 아닌 이러한 대안 개념이 형성되는 중등학생들을 대상으로 그들이 시각적 표상을 어떻게 해석하는지에 대한 연구가 필요하다.

특히 판 구조론에서 다루는 지구 내부는 관찰이 불가능하고 판 구조론은 거대한 규모의 과학적 개념으로 시각적 표상이 활용된다(Smith and Bermea, 2012). 시각적 표상은 과학 현상이나 개념에 대한 정보를 포함하는 그림, 그래프, 공식 등의 모든 외적 표상을 지칭한다(Perini, 2005a). 과학기술관련 논문의 전문적인 과학에서는 그래프와 식 등 추상적 표상이 자주 사용되지만 과학 교과서에서는 사진이나 삽화와 같은 구체적인 표상들이 주로 사용되며(Lee, 2007), 이러한 시각적 표상들은 학생들의 과학 개념 이해에 중요한 역할을 한다(Noh et al., 2009). 그러나 학생들은 시각적 표상에서 의도하는 것을 바르게 인식하지 못할 수 있으며, 시각적 정보에서 필요한 정보를 선택하여 작동 기억 내의 내적 표상으로 조직화하는데 인지적 부담으로 인해 오개념이나 대안 개념을 가질 수 있다고 한다(Kang, 2007; Yang et al., 2007). 특히 Cook (2006)은 학습자는 자신의 선행경험과 사전지식에 따라 시각적 표상의 의미를 집필자의 의도와 다르게 형성할 수 있다고 하였다.

그러므로, 학습자가 시각적 표상이 의도하는 바와 다르게 의미를 형성하는 것은 결과적으로 개념의 이해 수준이 낮아 질 수 있음을 의미한다. 따라서 학습자 중심에서 시각적 표상을 어떻게 이해하는가에 대한 연구는 중요하다. 국내의 경우, Park (2009)은 학생들의 판 구조론 개념에 영향을 미치는 요인을 사회·문화적 맥락 내의 관찰 또는 획득된 정보요인을 결과로 제시하였으며, Choi and Ahn (2008)는 다양한 내·외적 요인을 제시하고 개념을 형성하게 된 요인을 작성하는 설문조사를 실시하여 교과서와 참고서가 오개념에 가장 큰 영향을 미친다는 결과를 발표하였으나, 고등학생들의 시각적 표상에 대한 해석을 구체적으로 조사한 연구는 아직 이루어지지 않았다.

따라서, 이러한 필요성을 바탕으로 본 연구에서는 판 구조론에 널리 사용되는 시각적 표상을 이용하여 고등학생들을 대상으로 한 판 구조론과 관련된 개념들을 종합적으로 분석하고, 시각적 표상이 학습자의 개념에 어떤 영향을 미치는지 조사하여 이에 대한 개선점을 모색한다는 점에서 의의가 있을 것이다.

연구 방법

연구 대상

연구대상은 충청도 소재 고등학교 2학년 70명으로 2014년 3월-6월에 걸쳐 지구과학 I ‘생동하는 지구’의 ‘고체 지구의 변화’ 단원에서 판 구조론 내용을 학습하였다. 학생들의 개념에 대한 이해를 위해 질적 연구방법을 사용하였으며, 이는 심층 면담의 주된 자료 수집 전략이며, 그 중 반구조화된 면담(semi-structured interview)은 여러 명의 연구 참여자들에 대한 비교 가능한 자료를 수집할 수 있다는 장점이 있기 때문에(Bogdan and Biklen, 2007), 이 연구에서는 반구조화된 면담을 실시하였으며, 이를 위해 70명의 학생 중 10명의 학생을 단순무선표집(simple random sampling)을 통해 10명의 학생들을 추출하였다. 검사 전 면담에 대한 동의를 얻었다. 면담 참여자는 남학생 6명, 여학생 4명으로 구성하였다.

연구 절차

연구 문제를 해결하기 위한 전체적인 연구 절차를 그림으로 나타내면 Fig. 1과 같다.

교육과정 내용, 판 구조론 학생 개념, 학습에서 사용되는 시각적 표상의 유용성 및 시각적 표상을 이

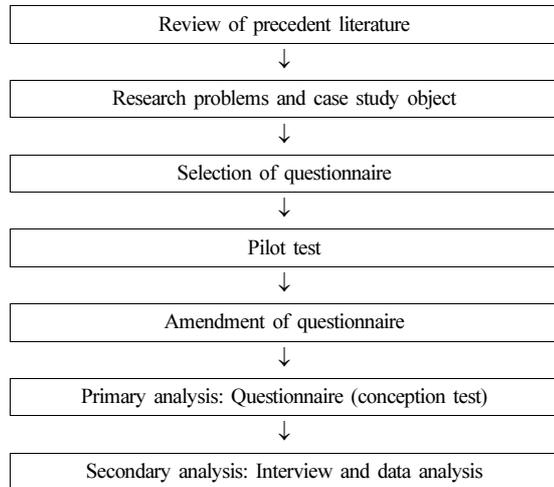


Fig. 1. Research process.

용한 학습에 대한 문헌 및 선행 연구를 고찰하였다. 학생들의 판 구조론 개념을 분석하기 위해 Clark et al. (2011)이 개발한 개념 검사를 번안하여 2013년 10월-11월 고등학교 2학년 35여명을 대상으로 1차 투입하였다. 투입한 결과를 분석한 뒤 학생들이 이해하기 쉽도록 수정하고, 과학 전문가 3인으로부터 타당도 검사를 의뢰하였다. Table 2의 최종 설문지 문항은 타당도 검사 결과를 반영하여 완성된 것이다. 개념 검사는 2014년 7월 고등학교 2학년 70명을 대상으로 이루어졌다. 검사 전 담당교사와 2회에 걸쳐 연구 목적, 연구 방법, 문항의 내용과 의미에 대해 협의하였다. 개념 검사는 담당 교사의 감독 아래 지구과학 수업시간에 실시되었고, 시간은 충분히 주어졌다. 검사지 분석 후 각 문항에 답한 이유에 대한 이해를 위해 개념 검사에 참여한 학생 중 10명을 대상으로 반구조화된 면담을 실시하였다. 면담은 녹음한 후 전사하여 분석하였다.

자료 수집

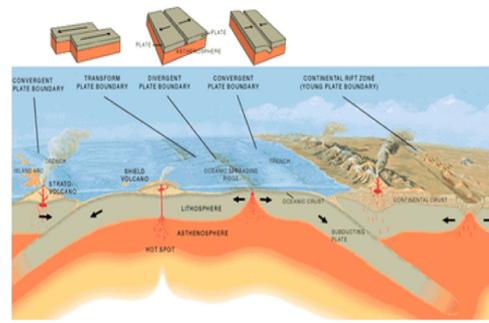
본 연구에서 사용한 개념 조사 도구는 현재 교육과정 상에 나타난 판 구조론 개념을 바탕으로 선정하였다. 즉 현행 교과서에 사용되는 판 구조론 그림을 가지고 판 구조론에 대한 학생들의 대안 개념을 확인하기 위해 Clark et al. (2011)가 개발한 개념 조사 도구를 수정·사용하였다. 따라서 본 연구에서는 판 구조론에 대한 연구 참여자들의 대안 개념을 확인하기 위하여 Clark et al. (2011)의 개념 조사 도구의 검사 문항을 수정 및 번안하였으며, 과학교육전문

Table 1. Concept inventory for plate tectonic

Num.	Questions
1	Mark all features related to plate tectonic and write down the concept
2	Mark with circle at the where is the melting of magma taking place
3	Sign with arrow about direction that plate moves
4	Mark with line about the boundary of plates and write down type of boundary of plate
5	How many plates is there in the picture? (mark each plate with number in the picture)
6	Explain what the meaning of underground colors is
7	Explain the reason why the melting of magma takes place in number 2
8	Estimate what percentage melting magma exist in the mantle
9	Explain What driving force of plate tectonic is



(a) Visual representation of conceptual test (Clark and Libarkin, 2011, 89 p.)



(b) USGS homepage visual material (Simkin et al., 1994)

Fig. 2. Visual aids of plate tectonics.

가 3인으로부터 내용타당도를 거쳐 개념 조사 도구를 사용하였다. 본 연구에 사용된 개념 검사 문항은 Table 1과 같다.

본 개념 검사 문항에 사용된 Fig. 2a는 판 구조론 학습을 위해 지구 단면의 일부를 도식화한 것이다 (Clark and Libarkin, 2011). 원본 자료는 미국지질조사소 교육 홈페이지에 제시된 Fig. 2b의 것으로 국내 교과서(Choi et al., 2011) 등 재생산되어 판 구조론 학습에 사용되고 있다. 따라서 본 개념 검사 문항에 사용된 Fig. 2a는 본 연구의 목적인 고등학생들을 대

상으로 판 구조론과 관련된 개념들을 종합적으로 분석하고, 시각적 표상이 학습자의 개념에 어떤 영향을 미치는지를 조사하는데 적합하다.

또한 학생들의 개념에 대한 이해를 위해 10명에 대해서 반구조화된 면담을 실시하였다. 면담 질문은 Berg (2001)의 필수질문, 부가질문, 소모질문 및 탐색 질문의 네 가지 유형의 질문을 사용하였으며, 필수 질문의 내용은 Table 2과 같이 각 문항에 응답한 이유를 묻는 질문으로 구성되어 있다.

연구자는 면담 실시 전 참여자에게 연구 목적과

Table 2. Compulsory questions

Num.	Compulsory questions
1	Where will characteristics of plate tectonic occur? Can you explain the why?
2	Where is the melting of magma taking place? Can you explain the why?
3	Can you explain about number of plate and moving route of plate? Can you explain why you make a judgment by basis?
4	Can you explain about underground color? Can you explain why you make a judgment by basis?
5	What percent is portion of fluid? Can you explain why you make a judgment by basis?
6	What is driving force of plate tectonic? Can you explain why you make a judgment by basis?

Table 3. Concept category of plate tectonic

Concept category	Num.	Reference
Term and meaning of underground color	1 and 4	Clark et al., 2011
Position and cause of melting	2	Clark and Libarkin, 2011; Clark et al., 2011
Movement of plate, boundary of plate, and number of plate	3	Clark et al., 2011
Physical feature of mantle	5	
Driving force of plate motion	6	Clark et al., 2011

연구 방법, 연구 진행에 대한 설명을 하였다. 또한 연구자는 면담 내용이 녹음되는 사실을 알렸으며, 참여자로부터 동의를 얻었다. 면담 내용에는 정답과 오답이 없으며, 학생들의 관점과 이해를 바탕으로 면담에 임할 것을 강조하였다. 면담 시간은 30분 이내로 하였으며, 면담은 조용한 장소에서 개별로 이루어졌다. 면담을 하는 동안 연구자는 참여자의 말을 경청하는 자세를 취하였고, 내용이 이해가 되지 않을 때는 “지금 말한 내용은 무슨 뜻이지?” 등과 같은 추가 질문을 하였다.

자료 분석

수집한 연구 대상자의 인터뷰 전사본을 바탕으로 결과를 분석하였다. 결과 분석은 Table 1의 문항을 용어 및 지표 아래 색상의 의미, 용어의 위치 및 원인, 판의 이동, 판의 경계 및 판의 개수, 맨틀의 물리적 특성 및 판 운동의 원동력으로 범주화하였으며, 각 문항의 결과 분석에는 선행 연구 결과들(Clark and Libarkin, 2011; Clark et al., 2011)을 활용하였다.

판 구조론 개념의 범주와 면담 문항, 참고문헌은 Table 3과 같다. 분석 기준과 분석 결과는 과학교육 전공 박사 1인과 박사과정 1인, 일반계 고등학교 지구과학 담당 현장 교사 1인으로부터 타당도 검사를 실시한 후, 면담 결과에 대한 일치도를 통해 이루어졌다. 분석자간 신뢰도는 $K_{AB}=0.88$, $K_{BC}=0.80$, $K_{CA}=0.82$ 로 나타났으며, Landis and Koch (1977)에 의해 Kappa 계수가 0.81 이상이므로 분석자간 일치도가 높은 것으로 나타났다.

연구 결과 및 논의

판 구조론에 대한 학생들의 개념 분석

용어 및 지표 아래 색상의 의미: 시각적 표상에서 판 구조론과 관련된 특징이 보이는 곳에 용어를 쓰고, 지표 아래 각각의 색상의 의미를 물어 학생들의 이해를 조사하였다. 그 결과, 70명의 학생이 1-10개의 용어를 서술하였으며, 평균 5.6, 표준 편차는 2.3로 나타났다. 학생들의 응답은 총 392개로 학생이 나타

Table 4. Result of making terminology (n=70)

Response	Whole sign	Correct answer	Part of correct answer	Percentage of correct answers (%)
Convergent margin	60	58	0	97
Island arc	56	53	0	95
Divergent margin	56	55	0	98
Ocean ridge	48	46	0	96
Trench	41	40	0	96
Conservative margin	33	33	0	100
folded mountains	24	20	4	95
Volcano (or volcanic activity)	20	20	0	100
Transform fault	15	14	1	100
rift valley	11	5	0	45
Benioff zone	10	10	0	100
Crust (continental crust, oceanic crust)	4	2	2	50
Plate	2	0	2	0
Outer core	2	0	0	0
Mantle	2	0	2	0
Hot spot	2	0	0	0
Van Allen belt	1	0	0	0

낸 용어와 위치를 비교하여 과학적 개념인지 확인하여 정답과 오답의 빈도를 Table 4에 나타냈다. 용어가 부분적인 단어만 포함할 경우 부분 정답으로 표시하였다.

학생들의 판 구조론에 관련된 용어를 분석한 결과 전반적으로 판의 경계와 판과 판의 상호작용으로 형성된 지형적 특징이 보이는 곳에서 응답의 빈도가 높았으며 지구 내부의 지각, 맨틀 또는 판 등의 용어에 대한 빈도는 낮았다. 대부분의 용어들은 빈도수의 차이가 날 뿐 정답률은 모두 높았다. 그러나 열곡의 경우에는 정답률이 45%로 낮았다. 정답의 경우는 모두 해령에 열곡 또는 열곡대라고 쓴 경우이고, 오답의 경우 습곡산맥에 열곡대를 쓴 경우에 해당하였다. 참여자 8은 열곡대를 대륙판과 해양판의 밀도차이로 생긴 지형으로 열곡이 산맥과 같은 의미라고 하였다. 이는 한자어 열곡(裂谷)의 뜻을 인지하지 못하고 있는 것을 보여준다. 다음 면담내용은 참여자 8의 면담 내용이다.

연구자: 열곡대라고 되어 있는 부분은?

참여자 8: 예를 들자면 아프리카 거기가 어디지? 그 동아프리카 열곡대, 그 수업시간에 들었는데, 여기는 대륙판 이잖아요. 그러면 여기가 밀도가 안 높으니까 들어가면서 미는 거예요. 같이 이렇게 올라와서 산맥 같은 걸 만들면서.

연구자: 그럼 이걸 산맥이라고 볼 수 있네?

참여자 8: 네.

연구자: 열곡대라는 건 외운 용어야?

참여자 8: 네. 산맥이라는 말도 있고 열곡대도 있어서 모양은 산맥인데.

열곡 외에도 학생들의 지구과학 용어를 분석한 선행 연구에서 판 구조론 영역에의 베니오프대, 연약권, 열곡, 호상열도, 변환단층, 용융은 학생들이 어려워하는 용어로 나타났다. 판 구조론에서 배우는 용어는 대부분 한자어로 되어 있다. 교과서에 제시된 한글표기 과학용어들은 이를 새로 접하는 학생들에게 용어 자체에 대한 적절한 이해를 하지 못하는 지장을 초래할 수 있다(Jeong et al., 2007). 그러므로 판 구조론 학습 시 교사는 학생들의 용어에 대한 의미를 설명해야 하며, 학생들의 이해를 확인해야 한다.

또한, Table 1의 6번 문항을 통해 학생들이 지표 아래의 색상들이 의미하는 것이 각각 무엇인지 조사한 결과, 학생들은 Fig. 3에 나타난 바와 같이 황갈색, 회색, 주황색, 황색 네 종류의 색에 대해 응답하

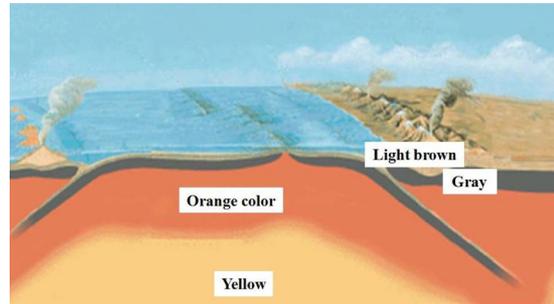


Fig. 3. Kinds of underground color.

Table 5. Response of students about meaning of underground color

Color	Response	Percentage (%)
Light brown (n=17)	Crust	64.7
	Continental crust	11.8
	Stratum	5.9
	Lithosphere	5.9
	Upper mantle	5.9
	Land	5.9
Gray (n=35)	Crust	40.0
	Plate	25.7
	Lithosphere	11.4
	Upper mantle	5.7
	Mantle	5.7
	Oceanic crust	5.7
Orange color (n=58)	Except for that	5.7
	Upper mantle	32.8
	Asthenosphere	19.0
	Magma	15.5
	Lithosphere	12.1
	Mantle	6.9
Yellow (n=51)	Except for that	13.8
	Lower mantle	52.9
	Asthenosphere	13.7
	Mantle	11.8
	Outer core	3.9
	Except for that	17.6

였다. 황갈색은 17명 중 64.7%가 지각이라고 표시하였으며, 회색은 35명 중 40%가 지각이라고 표시하였다. 또한 주황색은 58명 중 32.8%가 상부맨틀이라고 표시하였으며, 황색은 51명 중 52.9%가 하부맨틀이라고 표시하였다. 즉, 면담 결과 학생들은 연약권과 맨틀을 같은 의미로 생각하거나 구분이 애매모호하다고 답하였다(Smith and Bermea, 2012). 각각의 색상이 의미하는 바는 Table 5에 나타났다.

특히, 참여자 1은 지구 내부 구조를 지각, 맨틀, 핵

으로 나누는 것은 지진파의 속도 차이 때문이라고 답하였으나 연약권과 암석권은 새로 생긴 구분법이며, 왜 새롭게 암석권과 연약권이라는 용어가 도입되었는지 이유를 설명하지 못하였다. 참여자 1이 연약권이 맨틀 상부를 포함하는 것이라고 한 것은 연약권을 암석권으로 혼동한 것으로 보인다. 참여자 10은 암석권은 고체 상태이며 연약권은 고체지만 물체 사이의 결합 고리가 멀어 유동성이 있으며, 암석권과 연약권은 구성하는 물질이 다르기 때문에 상태도 다르다고 하였다. 다음 면담내용은 참여자 1과 참여자 10의 면담내용이다.

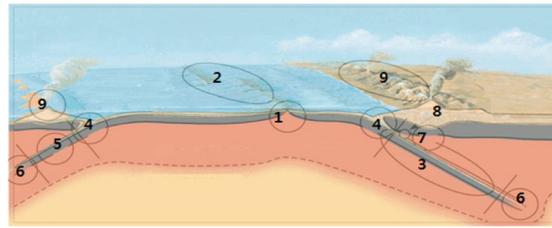
참여자 1: 연약권이 100 km? 그랬던 것 같은데 연약권이 맨틀 상부를 포함했던 것 같거든요? 그게 정확하지는 않아서. 그리고 연약권과 맨틀을 구분할 수 있는지 잘 모르겠고. 새로 생긴 구분법이라고 들었거든요. 원래 지각, 맨틀, 외핵, 내핵으로 나누다가 새롭게 암석권이란 연약권이라는 것으로, 지각이란 맨틀이란 그렇게 나누는 것은 지진파로 실험을 통해서 속도의 차이를 보이는 것으로 나누는 건데 암석권과 연약권은 잘 모르겠어요.

연구자: 암석권과 연약권의 기준은 뭐라고 생각해?

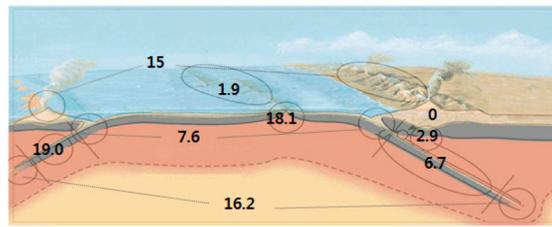
참여자10: 녹아있는 상태? 액체인지. 암석권은 고체상태, 움직임이 없는 부분, 연약권이 고체인데도 물체사이의 결합 고리가 멀어서 유동성 있는 것.

참여자10: 구성물질의 차이가 있기 때문에 상태가 다른 것 아닐까요? 물질이 밀도차이가 있어서 내려가고 철이랑 니켈이 가장 중심부분에 있어서.

참여자 1과 같이, 일부 학생들은 연약권과 맨틀을 같은 의미로 생각하거나 지각, 맨틀과 같이 암석권과 연약권이 구성 물질의 차이가 있다고 답하였는데, 이는 학생들의 유년기적 설명은 새롭거나 정교한 지식을 획득할 때, 학생들은 개념을 점진적으로 수정하며, 과학적으로 정교하게 설명하지 못하면 예전의 모델을 버리는 것을 거부한다는 선행연구(Vosniadou, 1994)와 일치한다. 화학 조성(chemical composition)의 특성으로 구분되는 지각, 맨틀, 핵과 물리적 특성으로 나누는 암석권(판), 연약권의 차이를 명확히 하지 못하자 이전에 배운 지각, 맨틀을 판 구조론에서 암석권(또는 판)과 연약권을 설명하는 용어로 대체하였다. 연약권과 암석권은 판 구조론 학습에 필수적인 개념으로 용어에 친숙하지 못한 학생들은 학습에 어려움을 가지게 된다(Clark et al., 2011). 교과서의 용어가 학생들의 이해 수준에 맞지 않을 때 수업에 지루함



(a) Coding rubric (Clark and Libarkin, 2011, 93 p.)



(b) Students' response by this study (%)

Fig. 4. Coding rubric of melting location and students' response.

을 느끼거나 집필자와 교사가 의도한 것과는 다른 개념이 형성 될 수 있으므로, 새로운 용어를 도입할 때에는 학습자 인지 수준에 맞는 정교한 설명이 제시되어야 한다.

용융의 위치와 원인: 용융의 위치에 대한 Table 2의 2번 문항에 대해서 70명의 학생들이 105곳에 표시하였다. 학생들의 응답은 Clark and Libarkin (2011)이 분류한 방법을 참고로 하였으며, 학생들의 응답을 귀납적으로 분석하여 용융의 위치를 10가지 유형으로 코딩하였다. 따라서 Clark and Libarkin (2011)의 코딩 방법에 따라 유형 1-9는 Fig. 4a에 나타냈으며, 원으로 표시한 범위가 너무 넓어 유형 4, 5, 7, 8, 9 부분의 구분이 어렵거나 유형 1-9 외에 다른 곳을 표시한 경우는 유형 10으로 코딩하였다.

또한 본 연구 결과 나타난 용융의 위치에 대한 학생들의 응답을 전체 응답에 대한 백분율로 나타냈다 (Fig. 4b). 가장 많이 응답한 곳은 유형 5, 유형 1, 유형 6, 유형 9 순으로 나타났다. 유형 5는 가장 많은 19.0%로 나타났으며, 화산활동이 일어나는 지표 아래의 섭입되는 판의 중앙 부분에 해당한다. 유형 1은 발산형 경계인 해령 부분으로 18.1%, 유형 6은 섭입되는 판의 가장 끝부분으로 16.2%의 표시되었다. 유형 9는 화산 활동이 있는 곳으로 전체 중 15% 표시되었다. 해구인 유형 4에서 용융이 일어난다는 응답

Table 6. Response about cause of occurrence of magma melting (n=70)

Response	Percentage (%)
Friction	30.1
Temperature or heat	19.2
Collision of between plates	13.7
Upflow plume	6.8
Volcane	6.8
Heat of outer core	5.5
Magma	4.1
Pressure	2.7
Convection of mantle	2.7
Except for that	8.2

이 7.6%로 나타났으며, 판의 경계 바로 위에 화산이 생긴다는 개념을 가지고 있었다(Smith and Bermea, 2012). 또한 섭입되는 판의 전체 부분인 유형 3에서 용융된다는 응답이 6.7%, 화산 아래의 맨틀 부분에 해당하는 유형 7의 응답이 2.9%로 나타났으며, 유형 8에서 용융이 일어난다고 응답한 학생은 없었다. 용융이 일어나는 원인을 묻는 면담에 대한 응답은 70명 중 65명의 학생이 응답하였다. Table 6은 용융이 발생하는 원인에 대한 학생들의 응답의 빈도를 백분율(%)로 나타낸 것이다.

용융에 관한 Table 1의 2번 문항과 7번 문항을 분석한 결과 용융이 가장 많이 일어난다고 답한 곳은 유형 5에 해당되는 섭입되는 판의 중앙 부분과 유형 1에 해당하는 해령이 비슷한 분포를 나타내었으나 용융의 원인으로는 섭입되는 판에서의 마찰이 발산형 경계에서의 상승류와 큰 차이를 보이며 가장 높은 비율을 차지했다. 이러한 결과는 유형 3-6이 수렴형 경계에서 섭입하는 판과 관련되는 부분이기 때문에 전체적으로는 판이 섭입하는 곳에서 용융이 발생한다는 응답이 많았다고 볼 수 있으며, 또한 과학적 개념과 상관없이 일상생활에서 자주 경험하는 마찰열로 인해 판이 섭입될 때 판과 판의 마찰을 연상시켜 응답한 것으로 보인다. 과학적 개념으로서 용융이 발생하는 주된 원인 및 장소는 압력 감소로 인한 발산형 경계의 용융이 일어나는 유형 1과 섭입되는 판의 높

은 압력에 의해 함수광물의 탈수작용으로 인한 주변 맨틀 썩기부분인 유형 8이다(Lim et al., 2004). 하지만 학생들이 가장 많이 답한 용융의 과정은 마찰에 의한 열에 의해 판이 녹거나 지구 내부로 갈수록 온도가 증가하여 일정 깊이에 도달된 판이 녹는다는 것이다. 그러나 섭입되는 판의 깊이에 지구 내부 온도는 판을 용융시킬 만큼의 충분한 온도가 아니며 (Lim et al., 2004), 교사들은 이러한 학생 개념을 파악하고 있어야 한다.

판의 이동: Table 1의 3번 문항에서는 판이 움직이는 방향에 대해 그림에 화살표로 표시하게 한 후, 면담을 실시하였다. 판의 경계를 기준으로 양쪽 판의 이동방향을 표시한 응답 결과는 Table 7과 같다. 수렴형 경계를 사이에 두고 양쪽 판이 이동한다고 화살표로 나타낸 학생은 48.5%이었으며, 표시한 학생 모두가 바르게 나타내었다. 발산형 경계를 사이에 두고 양쪽 판의 화살표를 나타낸 학생은 95.7%로 91.4%는 양쪽 판이 멀어지는 방향으로 나타내었고, 4.2%는 반대로 양쪽 판이 수렴되도록 화살표를 나타내었다. 보존형 경계를 나타낸 학생은 8.5%로 모두 바르게 표시하였다.

발산형 경계를 두고 양쪽 판이 수렴하도록 나타낸 4명은 해령이 주변보다 높다는 특성을 설명하기 위하여 해양판과 해양판이 충돌하여 해령을 형성하는 것으로 이해하였다. 선행 연구에서도 발산형 경계의 양쪽 판을 수렴한다고 답한 학생이 많았으며, 두 판이 충돌하여 해령이 생성된다는 개념을 가지고 있다고 하였다(Jeong et al., 2007; Park, 2009; Clark et al., 2011).

판의 경계 및 판의 개수: 판의 경계를 표시하는 Table 1의 4번 문항에 대한 응답으로 판의 경계 표시를 확인하여 판의 경계의 위치를 선으로 표시한 경우, 경계의 유형을 용어로 표현한 경우, 경계에 화살표 또는 원으로 표시만 있는 경우는 기타로 나타내었다(Table 8).

Table 7. Analysis result about movement direction of plate (n=70)

Type of boundary	Whole sign (%)	Correct answer (%)	Wrong answer (%)
Convergent margin	48.5	48.5	0
Divergent margin	95.7	91.4	4.2
Conservative margin	8.5	8.5	0

Table 8. Students' response about plate boundaries (n=70)

Type of boundary	Whole sign (%)	Sign with line for boundary (%)	Sign with terminology for type of boundary (%)	Except for that (%)
Convergent margin	95.7	85.7	8.5	1.4
Divergent margin	90	75.7	12.8	1.4
Conservative margin	60	51.4	8.5	0

Table 9. Response about number of plate (n=70)

Number of plates	Percentage (%)
3	47.1
4	41.4
6	5.7
Except for that	5.7

대부분의 학생들이 수렴형 경계와 발산형 경계를 표시하였으나, 보존형 경계를 표시한 응답 수는 60%로 상대적으로 적게 나타났다. 수렴형 경계를 표시한 학생은 95.7%이며, 그 중에서 85.7%가 선으로 표시하였다. 수렴형 경계에서 높은 응답을 보인 것은 짙은 회색으로 삽입되는 판이 있어 뚜렷하게 판의 경계임을 인지할 수 있으며, 일부 학생들은 해양과 대륙이 만나고 있기 때문에 판의 경계임을 인지하기 더 쉬웠다고 답하였다.

그림에서 판의 개수를 응답한 Table 1의 5번 문항에 대하여 70명 모두 응답하였으며 그 결과는 Table 9에 나타났다. 판의 개수가 3개라고 답한 학생은 33명으로 전체 응답의 47.1%, 판의 개수가 4개인 경우가 41.4%, 판의 개수가 6개라고 답한 경우가 4명으로 5.7%를 차지했다. 판의 개수가 1개 또는 5개인 경우라고 답한 기타 의견도 있었다.

맨틀의 물리적 특성: 70명의 학생들이 맨틀 내 마그마의 비율을 묻는 Table 1의 8번 문항에 답하였다. Fig. 5는 학생들의 응답 결과를 맨틀에 포함된 마그마의 비율에 대한 학생 수를 10% 간격으로 나타낸 것이다. 맨틀 내 마그마 비율이 20-30%, 30-40% 정도 될 것이라는 응답이 각각 11명, 12명으로 가장 많았으며, 9명이 80-90%라고 응답하였다.

고체만 통과 할 수 있는 S파가 통과한다는 사실로부터 맨틀은 거의 고체 상태라 할 수 있으며, 1% 내지 1-5% 이내의 액체를 포함하고 있다(King, 2010)는 과학적 개념과 달리 대부분의 학생들은 맨틀 내의 마그마가 매우 많다고 응답하였다. 맨틀은 유동성을 가지나 고체(액체부분 1%미만)이라고 답한 학생은 2명, 5% 이하라고 답한 학생은 7명이었다.

맨틀 내의 마그마 비율이 상당히 많은 데에는 학습자의 유동성 고체에 대한 해석과 관련 있었다. 즉 참여자 2는 유동성 있는 고체는 말랑말랑한 상태로 액체보다 고체부분이 좀 더 많기 때문에 액체인 부분은 40%라고 하였고, 참여자 10은 연약권의 유동성은 마그마로 인해 생기며, 마그마는 연약권 내부를 흐르고 있고 그 부분을 모으면 전체 30% 정도를 차지한다고 하였다. 다음 면담내용은 이를 뒷받침해 준다.

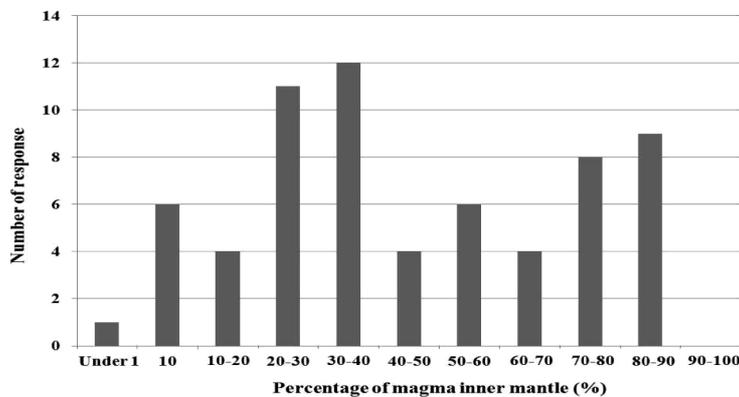


Fig. 5. Response about percentage of magma inner mantle (n=70).

연구자: 맨틀에서 액체인 부분은 40%라고 했는데 자신감이 낮네?

참여자 2: 처음 듣는 질문이라.

연구자: 그럼 40%라는 답은 어떻게 나오게 된 거지?

참여자 2: 유동성 고체라고 했잖아요. 고체인데 말랑말랑해서 고체부분이 좀 더 많을 것 같아서.

연구자: 그럼 맨틀에서 액체인 부분은 30%라고 추측한 이유는?

참여자10: 연약권이 유동성이 있다고 했잖아요. 그 유동성 있는 부분을 마그마라고 볼 수 있지 않을까 해서. 그럼 연약권이 맨틀의 전부는 아니지만 상당부분을 차지하잖아요. 상부맨틀에서 그 정도 있어야 하지 않을까?

연구자: 그 정도 있어야지?

참여자10: 그 정도 있어야지 유동성이 있다고 생각해요. 맨틀에서 유동성이 있는 고체 상태인데 그 중에 조금 더 녹은 것들은 마그마, 흐르듯이.

연구자: 유동성 있는 고체부분에 흐름이 있어서 그 부분 모으면 30% 정도 된다고 생각하는 거네?

참여자10: 네.

판 운동의 원동력: 판 운동의 원동력에 대한 Table 1의 9번 문항과 관련하여, Table 10은 판 운동의 원동력의 응답을 전체 응답 수에 대한 비율로 나타낸 것이다. 응답한 학생 중 85.1%의 학생들이 맨틀의 대류로 인하여 판이 운동한다고 답하였다. 지구 내부 에너지에 의해서 판이 움직인다는 응답이 4.5%였고, 기타 의견에는 마그마에 의해서, 상승류에 의해서 등이 있었다.

Table 10. Response about driving force of plate tectonic (n=70)

Driving force of plate tectonic	Percentage (%)
Convection of mantle (ascent and descent of mantle)	85.1
Internal energy of earth	4.5
Except for that	10.4

맨틀의 대류로 판 운동이 일어난다고 응답한 학생들에게 그 이유를 물었을 때 지구 내부의 상하부 온도차로 인해 맨틀의 대류가 일어나며, 맨틀이 대류하기 위해 맨틀에서 액체인 부분이 충분히 있어야 한다고 답하였다. 참여자 2는 판의 움직임은 맨틀의 대류로 인해 발생하며, 맨틀 아래가 마그마로 되어 있어서 대류가 일어날 수 있다고 하였다. 다음 면담내용은 참여자 2의 면담내용이다.

참여자 2: 맨틀 대류라는 게 대류 할 수 있는 고체라는 데 마그마는 액체잖아요. 맨틀 아래 있는 게 마그마로 되어 있어서. 아래가 마그마니까 이게 대류를 할 수 있지 않을까?

기존 연구(Jeong and Jeong, 2007)에서 학생들은 맨틀의 대류를 판의 원동력으로 제시하지만 상세한 설명을 못하는 것으로 나타났다고 하였으며, 지구과학 교과서 설명에도 연약권이 아주 느린 속도로 대류하고 있으므로 연약권 위에 있는 판도 서서히 움직이게 된다(Choi et al., 2011)로 판의 움직임을 설명하고 있다. 학생들은 맨틀이 고체 상태임을 학습한 뒤에도 맨틀의 대류와 맨틀의 유동성을 설명하기 위해 맨틀 내에 액체가 많다고 추론하였다. 맨틀의 대류를 설명하기 위해서 밀도 차에 의해 섭입하는 해양판이 중력에 의해 끌어당기는 힘이 중요하게 제시된다(Conrad and Lithgow-Bertelloni, 2002).

학생들이 맨틀의 물리적 특성과 판 운동의 원동력에 대한 과학적 개념을 가지기 위해서 판 운동의 원동력에서 맨틀의 대류뿐만 아니라 섭입하는 해양판이 끌어당기는 힘과 중력이 중요하게 다루어져야 한다.

시각적 표상의 영향에 대한 논의

본 연구에서 사용된 시각적 표상은 용어, 판의 경계, 용융의 위치 및 맨틀의 물리적 특성 결정에 영향을 주는 것으로 나타났다. 면담 결과 각 범주에서 나타나는 시각적 표상의 특징과 관련 개념을 Table 11에 나타냈다.

Table 11. Concept of plate tectonic related to characteristic of visual representation

Category	characteristic of visual representation	Related concept
Terminology	Steam, smoke	- Volcanic activity promotes in the island arc and folded mountains
Plate boundaries	Coastline	- Convergent margin is distributed along the coastline
Location of melting magma	Volcano to the top of ground obscurity to the end of subduction zone	- Magma melting occurs in the right bottom of volcano - Magma melting occurs in the edge of subduction plate
Physical feature of mantle	Red asthenosphere	- Mantle contains a considerable quantity of magma - Mantle is liquid state

시각적 표상에서 호상열도와 습곡 산맥의 증기 또는 연기를 보고 학생들은 화산 활동이 호상열도와 습곡 산맥에서 활발하다고 하였으며, 해안선은 판의 경계를 구분하는 기준으로 수렴형 경계는 해안선을 따라 분포한다고 하였다. 화산의 위치와 섭입대 끝부분이 흐려지는 것은 용융의 위치를 선정하도록 하였으며, 화산의 바로 아랫부분에서 용융이 일어나거나 섭입되는 판의 끝부분에서 용융이 발생한다고 하였다. 붉은 색의 연약권은 마그마를 연상시켜 맨틀은 상당한 양의 마그마를 포함하고 있거나 맨틀이 액체 상태라는 개념과 관련되었다.

용어

Table 1의 1번 문항에서 화산 또는 화산활동을 쓴 학생은 20명으로(Table 4), 학생들이 응답한 화산 또는 화산활동은 모두 호상열도와 습곡산맥 옆에 적혀 있었다. 이는 그림의 연기와 관련이 있었다. 즉 참여자 1과 참여자 3은 그림에 있는 연기를 보고 화산이나 화산 활동을 연상하였다고 했으며, 참여자 9는 평소 습곡산맥에서는 화산 활동이 드물다고 생각했으나 그림의 증기를 보고 습곡산맥에서 화산 활동이 일어날 것이라고 답하였다. 다음 면담내용은 이를 뒷받침해 준다.

연구자: 습곡산맥 옆에 화산이라고 쓴 이유는?

참여자 1: 그림에 연기가 있어서요.

연구자: 습곡산맥 옆에 화산이라고 쓴 이유는?

참여자 3: 음. 연기도 나고, 튀어나와서.

참여자 9: 제가 알기로는 습곡산맥에서는 화산활동이 매우 드물다고 했는데 여기(습곡산맥)에 증기가 올라오고 있어서.

연구자: 여기 만약에 연기가 없었으면 화산이라고 생각 안 했겠네?

참여자 9: 네. 에베레스트 산이 폭발했다고 들은 적이 없어요.

화산활동을 응답한 학생 20명 중 화산활동이 일어나는 해령에 화산이라고 쓴 경우는 한 명도 없었다. Park (2009)이 고등학생들의 판 구조론 정신모형 분석에서 해령에서 단층이 있는 것은 잘 인식하지만 화산이나 지진의 발생에 대해서는 상세하게 설명하지 못하며, 그 원인은 호상열도 그림에는 화산분출물이 포함되어 있지만 해령에는 화산분출물이 포함되지 않는 것으로 유추된다고 주장한 것과 같은 맥락으로 볼 수 있다.

용융의 위치

Table 1의 2번 문항에 대한 결과 분석에서 지표 위 화산과 섭입대 끝부분이 흐려지는 것은 용융의 위치를 결정하는 데 영향을 미치는 것으로 나타났다. Fig. 4a 그림에서 실제 용융이 일어나는 곳은 해령아래 부분(유형 1)과 함수광물의 탈수작용으로 인한 주변 맨틀 쪼개기 부분(유형 8)이다(Lim et al., 2004). 습곡산맥의 아랫부분인 Fig. 4a의 유형 5에서 용융이 발생한다는 학생 중 일부는 지표 위의 화산이 있기 때문에 화산의 바로 아래에서 용융이 일어난다고 답하였다. 섭입된 판의 끝부분인 Fig. 4a의 유형 6에서 용융이 발생한다는 학생들은 16.2%로 참여자 1과 참여자 3은 이미지에서 베니오프대가 끝나는 부분이 흐려지게 표현된 것이 용융이 일어나는 위치를 결정하는데 영향을 미쳤다고 하였다. 다음 면담내용은 이를 뒷받침해 준다.

참여자 1: 밀도가 높으니까 내려가서 아무래도 지각부분보다는 맨틀부분, 깊숙이 들어갈수록 온도가 높잖아요. 그러니까 녹았다고 생각했고 그림에도 흐려지게 표현이 되어있어서.

참여자 3: 용융 위치요? 베니오프대가 끝나면서, 그림이 그렇게 표현되는 거 같아서, 원인은 뜨거워서. 마찰열도 있고, 또 아래로 갈수록 맨틀의 뜨거운 부분이란 만나는 거니까 처음엔 온도가 뜨거우면 용융이 일어난다고 생각해서 가장 깊은 곳에서 일어날 것이라고 생각했는데 마찰 때문이라도 더 생길 수 있을 것이라고 생각돼요.

선행 연구 결과도 다수의 학생들이 마그마가 섭입대의 끝부분에서 형성된다(Clark et al., 2011; Smith and Bermea, 2012)고 밝히고 있다. 면담 결과 참여자 1과 3은 공통적으로 지구 내부로 갈수록 온도가 높아지기 때문에 가장 깊은 곳에서 용융이 일어나며, 이미지에서 섭입되는 판이 흐려지는 것이 용융과 관련 있다고 하였다. 이는 용융의 위치를 선정하는 데 지구 내부로 갈수록 온도가 높아진다는 선개념이 영향을 미친 것이라 할 수 있다. Cook (2006)은 선행 지식은 학습자의 개념을 형성하는데 영향을 미칠 뿐만 아니라 인식과 집중에도 영향을 준다고 하였으며, Braune and Foshay (1983)는 학생들은 시각적 표상으로부터 관련된 정보를 선택하는데 선개념을 이용하고, 그 정보를 선개념에 더해서 궁극적으로 정신모형을 형성한다고 하였다. 시각적 표상에서 섭입되는 판

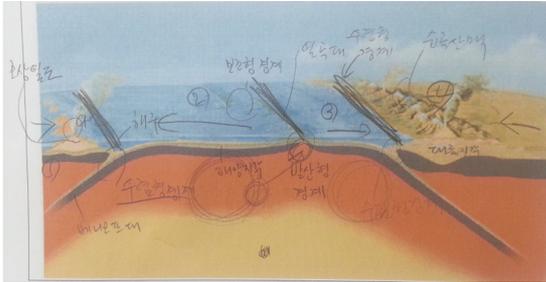


Fig. 6. Example response of student who has indicated boundary of plate tectonic.

의 끝부분이 흐려지는 것은 용융의 위치를 선정하는 정보로서, 학습자들은 이 정보에 지구 내부일수록 온도가 높다는 선개념을 더하여 수렴형 경계에서 섭입된 판은 일정 깊이에 도달하면 용융된다는 개념을 형성하였다고 볼 수 있다.

판의 경계

판의 경계에 대한 Table 1의 4번 문항에 대한 분석 결과(Table 7), 수렴형 경계를 표시한 경우는 전체 67명으로 나타났고 그 중에서 60명이 선으로 표시하였다. 일부 학생들은 해양과 대륙이 만나고 있기 때문에 판의 경계임을 인지하기 더 쉬웠다고 답하였다. Table 7에서 수렴형 경계를 선으로 표시한 60명의 학생 중 9명이 대륙판과 해양판이 만나는 오른쪽의 수렴형 경계를 해구가 기준이 아닌 해안선을 기준으로 그렸다. Fig. 6의 학생은 발산형 경계는 해령과 나란히 그렸고, 왼쪽에 있는 수렴형 경계는 해구를 따라 그렸으나 오른쪽에 위치한 수렴형 경계는 해안선을 기준으로 그렸다. 이 결과는 해안선을 판의 경계로 주장한다는 기존 선행 연구결과(Marques and Thompson, 1997)에 부합된다.

맨틀의 물리적 특성

Table 1의 6번 문항에서 지표 아래의 주황색이 의미하는 바에 대한 응답으로 Table 5과 같이 15.5%의 학생이 마그마라고 답하였다. 참여자 7은 제시된 이미지의 붉은 색을 보고 마그마를 연상하였다. 참여자 5는 그림의 황색이 액체 부분에 해당한다고 하였으며, 그림에서 황색이 차지하는 영역이 맨틀에서 액체인 비율을 의미한다고 판단하였다. 즉 학생들은 색상과 색상이 차지하는 영역을 이용하여 맨틀의 물리적 특성을 추측하였다. 따라서 시각적 표상은 색과 영역을

가지고 있어 언어로 제공할 수 없는 2차원적인 정보를 제공하기 때문에(Pozzer and Roth, 2003), 시각적 표상은 지시 대상이 의미하는 것을 해석할 공간적인 특징들을 가지고 있다(Perini, 2005b)고 볼 수 있다. 다음 면담내용은 이를 뒷받침해 준다.

- 연구자: 지표아래 나타내는 색상이 무엇인지 설명해볼까?
 참여자 7: 검정색은 판, 주황색은 마그마이고, 연두색은 지층.
 연구자: 주황색은 마그마라고 썼네?
 참여자 7: 네.
 연구자: 혹시 이렇게 생각하는 이유가 있어?
 참여자 7: 붉은 색이기도 하고, 확실히 마그마가 있는지는 모르겠는데 색깔 때문에 더 그런 것 같아요.
 연구자: 그럼 액체인 부분이 50%같다고 했잖아. 그건 왜 그렇게 생각해?
 참여자 5: 암석권을 제외한 부분이 거의 액체상태일 것으로 생각하는데요. 그림에서 노란색이 차지하는 비율이 그 정도 될 것 같아서요. 실제로는 더 많을 것 같은데.

이처럼 학생들은 시각적 표상의 색과 영역을 통해 물리적 특성에 대한 대안 개념을 지지하고 있는 것으로 볼 수 있다. 이러한 결과들에 대해 Pozzer and Roth (2003)는 같은 시각적 표상이라도 캡션 없이 제시했을 때 표상은 장식적 기능을 하지만 캡션이 있을 때는 표상이 의도하는 바를 설명하는 명확한 아이디어를 제공함으로써 설명적·보충적 기능을 한다고 하였다. 따라서 학습에 사용되는 시각적 표상이 설계 시 의도된 대로 학습자에게 정확히 전달되기 위해서는 현장 교사가 이에 대한 충분한 설명을 제시하거나 시각적 표상이 제공하는 정보들을 본문과 캡션에서 충분히 설명되어야 한다.

결론 및 제언

이 연구에서는 개념 조사 및 면담을 통하여 용어 및 색상의 의미, 용융의 위치 및 원인, 판의 이동, 판의 경계 및 판의 개수, 맨틀의 물리적 상태, 판 운동의 원동력과 관련된 학생들의 판 구조론 개념과 이러한 개념에 시각적 표상이 미치는 영향을 분석하였다. 대부분의 학생들은 판 구조론을 학습한 후에도 용어 및 색상의 의미, 용융의 위치 및 원인, 판의 이동, 판의 경계 및 판의 개수, 맨틀의 물리적 상태 및 판 운동의 원동력과 관련된 대안 개념을 가지고 있었다. 이러한 결과들은 판 구조론 학습에 사용되는

시각적 표상과 관련한 학생들의 비과학적 개념이 용어, 판의 경계, 용융의 위치 및 맨틀의 물리적 특성에 대한 응답에 영향을 주었으며, 학습자들에게 대한 개념을 유발하는 경우가 많았다. 즉 판 구조론 학습에 필수적인 개념으로 용어에 친숙하지 못한 학생들이 학습에 어려움을 가지고 있었으며, 압력과 관련하여 용융이 발생하는 주된 원인에 대한 메커니즘과 맨틀의 물리적 특성을 이해하지 못하는 경우가 많았다. 또한 학생들이 맨틀이 고체 상태임을 학습한 뒤에도 맨틀의 대류와 맨틀의 유동성을 설명하기 위해 맨틀 내에 액체가 많다고 추론하였다. 이러한 결과들은 시각적 표상에서 호상열도와 습곡 산맥의 증기 또는 연기를 보고 학생들은 화산 활동이 호상열도와 습곡 산맥에서 활발하다고 하였으며, 해안선은 판의 경계를 구분하는 기준으로 수렴형 경계는 해안선을 따라 분포한다고 하였다. 또한 화산의 위치와 섭입대 끝부분이 흐려지는 것은 용융의 위치를 선정하도록 하였으며, 화산의 바로 아랫부분에서 용융이 일어나거나 섭입되는 판의 끝부분에서 용융이 발생한다고 하였다. 그리고 붉은 색의 연약권은 마그마를 연상시켜 맨틀은 상당한 양의 마그마를 포함하고 있거나 맨틀이 액체 상태라는 개념과 관련되었다. 따라서 시각적 표상이라도 캡션 없이 제시했을 때 표상은 장식적 기능을 하지만 캡션이 있을 때는 표상이 의도하는 바를 설명하는 명확한 아이디어를 제공함으로써 설명적·보충적 기능을 하게 된다(Pozzer and Roth, 2003). 따라서 학습에 사용되는 시각적 표상이 의도된 대로 학습자에게 올바르게 전달되기 위해서는 시각적 표상이 제공하는 정보들을 본문과 캡션에서 충분히 설명하여야 하며, 판 구조론 학습에 필수적인 용어를 도입할 때에는 학습자 인지 수준에 맞는 정교한 설명이 제시되어야 한다.

연구의 결론과 관련지어 구체적인 교육적 함의를 생각해 보면 다음과 같다. 첫째, 판 구조론의 시각적 표상에서 화산분출물이 일부분에만 그려져 있는 것, 연약권의 붉은 색상, 섭입되는 판의 끝부분이 사라지는 것은 판 구조론 학습에서 오개념을 유발할 수 있는 요소들로 나타났다. 이에 대한 보완이 필요하며 개선이 이루어졌을 때 학생들이 과학적 개념을 형성하는 데 도움을 주는지에 대한 후속 연구가 필요하다. 둘째, 학습자들은 시각적 표상의 정보가 의미하는 바를 다양하게 해석하였으며, 이는 판 구조론 개념뿐만 아니라 다른 개념이 표상된 시각자료에도 적

용될 수 있다. 따라서 교수·학습과정에서 시각적 표상의 의도된 내용이 학습자들에게 올바르게 전달되기 위해서는 현장 교사들은 시각적 표상의 의도 및 주의사항을 안내하고 학생들의 해석과정을 확인하고 피드백을 제공하여야 하며, 교과서에서 캡션과 본문을 최대한 활용하여 시각적 표상을 상세히 설명하여야 한다.

사 사

이 연구는 한국교원대학교 2014학년도 KNUE 학술연구비 지원을 받아 수행되었습니다.

References

- Berg, B.L., 2001, *Qualitative research methods for the social sciences*. Allyn & Bacon, Boston, USA, 413 p.
- Bogdan, R.C. and Biklen, S.K., 2007, *Qualitative research education: A introduction to theories and methods*. Allyn & Bacon, Boston, USA, 276 p.
- Braune, R.F. and Foshay, W.R., 1983, Towards a practical model of cognitive information processing: Task analysis and schema acquisition for complex problem-solving situation. *Instructional Science*, 12, 121-145.
- Choi, S.C. and Ahn, K.S., 2008, A study on the misconceptions of high school students on magma and plate tectonics. *Journal of Science Education*, 32, 121-145. (in Korean)
- Choi, B.G., Lee, H.S., Chu, B.S., Moon, B.K., So, Y.M., L, J.E., and Jo, M.A., 2011, *Earth science I*. Chunjae Education, Seoul, Korea, 320 p. (in Korean)
- Clark, S.K. and Libarkin, J.C., 2011, Designing a mixed-methods research instrument and scoring rubric to investigate individuals conceptions of plate tectonics. *Geological Society of America Special Papers*, 474, 81-96.
- Clark, S.K., Libarkin, J.C., Kortz, K.M., and Jordan, S.C., 2011, Alternative conceptions of plate tectonics held by nonscience undergraduates. *Journal of Geoscience Education*, 59, 251-262.
- Conrad, C.P. and Lithgow-Bertelloni, C., 2002, How mantle slabs drive plate tectonics. *Science*, 298, 207-209.
- Cook, M.P., 2006, Visual representations in science education: The influence of prior knowledge and cognitive load theory on instructional design principles. *Science Education*, 90, 1073-1091.
- Jeong, K.J., Jeong, K.S., Moon, B.C., and Jeong, J.W., 2007, Misconceptions of the freshmen at high school about plate tectonics. *Journal of the Korean Earth*

- Science Society, 28, 762-774. (in Korean)
- Jeong, K.S. and Jeong, J.W., 2007, Alternative conceptions of high school students about the crust and interior of the earth. *Journal of the Korean Earth Science Society*, 28, 266-276. (in Korean)
- Kang, H.S., 2007, Exploration of the methods for effective uses of external representations in science learning of scientifically gifted and general students. *Journal of the Society for the International Gifted in Science*, 1, 97-108. (in Korean)
- Kim, H.J. and Lee, K.S., 1991, The concept analysis and reconstruction of the plate tectonics in high school curriculum. *Journal of the Korean Earth Science Society*, 12, 335-345. (in Korean)
- King, C., 2000, The earth's mantle is solid: Teachers' misconceptions about the earth and plate tectonics. *School Science Review*, 82, 57-64.
- King, C., 2010, An analysis of misconceptions in science textbook: Earth science in England and Wales. *International Journal of Science Education*, 32, 565-601.
- Landis, J.R. and Koch, G.G., 1977, The measurement of observer agreement for categorical data. *Biometrics*, 33, 159-174.
- Lee, H.Y., Cho, H.J., and Park, M.R., 2012, An analysis of 10th grade students' understanding of concepts about the plates' motions according to the level of spatial ability. *Journal of the Korean Earth Science Society*, 33, 360-375. (in Korean)
- Lee, K.Y., 2007, Comparative analysis of the function and structure of photographs and illustrations used in high school earth science textbooks of the 6th and 7th national curriculum. *Journal of the Korean Earth Science Society*, 28, 811-824. (in Korean)
- Lim, D.I., Park, K.E., and Ahn, K.S., 2004, Analysis of high school Sciencetextbook on the magma formation in the subduction boundary. *Journal of the Korean Earth Science Society*, 25, 222-231. (in Korean)
- 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, 195-222.
- Noh, T.H., Yoon, M.S., and Han, J.Y., 2009, Students' comprehension and interpretation process of inscriptions representing the concept of atom and molecule. *Journal of the Korean Chemical Society*, 53, 355-367. (in Korean)
- Park, S.K., 2009, An analysis of high school students' mental models on the plate boundaries. *Journal of the Korean Earth Science Society*, 30, 111-126. (in Korean)
- Perini, L., 2005a, The truth in pictures. *Philosophy of Science*, 72, 262-285.
- Perini, L., 2005b, Visual representations and confirmation. *Philosophy of Science*, 72, 913-926.
- Pozzer, A.L., and Roth, W.M., 2003, Prevalence, function, and structure of photographs in high school biology textbooks. *Journal of Research in Science Teaching*, 40, 1089-1114.
- Simkin, T., Ungar, J.D., Tilling, R.I., Vogt, P.R., and Spall, H., 1994, This dynamic planet: World map of volcanoes, earthquakes, impact craters, and plate tectonics. <http://pubs.usgs.gov/publications/text/Vigil.html> (March 5th 2014)
- Smith, G.A. and Bermea, S.B., 2012, Using students' sketches to recognize alternative conceptions about plate tectonics persisting from prior instruction. *Journal of geoscience education*, 60, 350-359.
- Vosniadou, S., 1994, Capturing and modeling the process of conceptual change. *Learning and Instruction*, 4, 45-69.
- Yang, I.H., Lee, J.E., and Lim, S.M., 2007, How does elementary students understand illustrations in science textbook? *Journal of the Korean Society of Elementary Science Education*, 26, 475-488. (in Korean)

Manuscript received: August 25, 2014

Revised manuscript received: September 17, 2014

Manuscript accepted: October 22, 2014