

판구조론에 관한 고등학교 1학년 학생들의 오개념

정경진¹ · 정구송^{2,*} · 문병찬³ · 정진우¹

¹한국교육대학교 지구과학교육과, 363-791 충북 청원군 강내면 다락리 산7

²양재고등학교, 137-072 서울시 서초구 서초2동 1376-4

³광주교육대학교 과학교육과, 503-703 광주광역시 북구 풍향동

Misconceptions of the Freshmen at High School about Plate Tectonics

Kyoung-Jin Jeong¹, Ku-Song Jeong^{2,*}, Byoung-Chan Moon³, and Jin-Woo Jeong¹

¹Department of Earth Science Education, Korea National University of Education,
Chungbuk 363-791, Korea

²Yang Jae High School, Seoul 137-072, Korea

³Department of Science Education, Gwangju National University of Education,
Gwangju 503-703, Korea

Abstract: The purpose of this study was to investigate misconceptions about plate tectonics which spread widely among freshmen at high school with drawing. For this, we chose 6 conceptions about plate tectonics by analysis of 7th curriculum and of 11 kinds of science textbooks. Questionnaire of drawing about plate tectonics were developed depending on them. Data was collected from 134 students who was freshmen at high school in Daegu. The result of this study was as follows. First, In structure of plate, 'upper mantle type' and 'crust type' misconceptions were more than half of the respondents. Second, In distribution of plate, 'cracked earthquake zone type' and 'earthquake frequency type' misconceptions were more than half of the respondents. Third, In formation of ocean ridge at oceanic crust- oceanic crust divergent plate boundary, 'divergence type' and 'collision type' misconceptions were more than half of the respondents. Fourth, In formation of mountain ridge at continental crust- continental crust convergent plate boundary, 'collision type' misconceptions were more than half of the respondents. Fifth, In formation of mountain ridge at oceanic crust- continental crust convergent plate boundary, 'subduction type' and 'fault type' misconceptions were more than half of the respondents. Sixth, In transform-fault at oceanic crust- oceanic crust transform-fault boundary, 'direction type' and 'section type' misconceptions were almost half of the respondents. In this study, students' drawings about plate tectonics showed similar misconceptions. This imply that drawing conceptions can be used by the strong evidence of misconceptions which spread widely among students. Furthermore, this study has a significance that this conclusion is useful to teachers as basic teaching-learning materials of plate tectonics.

Keywords: misconceptions, plate tectonics, drawing conceptions

요약: 이 연구의 목적은 개념의 원형적 표현인 그림 그리기로 고등학교 1학년 학생들 사이에 널리 퍼져 있는 판구조론에 관한 오개념을 조사하는 것이었다. 이를 위하여 7차 교육과정의 내용 요소와 고등학교 11종 과학 교과서의 원형적 표현을 분석하여 판구조론에 관한 6가지 개념을 선정하고, 이를 바탕으로 판구조론에 관한 개념 그리기 질문지를 개발하였다. 대구광역시 소재 인문계 고등학교 1학년 학생 134명을 대상으로 자료를 수집하여 분석한 결과 첫째, 판의 구조에 관한 오개념은 전체의 38%인 '맨틀 최상부형' 오개념과 18%인 '지각형' 오개념이 과반수 이상을 차지했다. 둘째, 판의 분포에 관한 오개념은 전체의 37%인 '금이 간 지진대형' 오개념과 14%인 '지진 빈도형' 오개념이 과반수 이상을 차지했다. 셋째, 해양지각-해양지각 발산형 판 경계에서 해령 형성에 관한 오개념은 전체의 32%인 '발산형' 오개념과 29%인 '충돌형' 오개념이 과반수 이상을 차지했다. 넷째, 대륙지각-대륙지각 수렴형 판 경계에서 산맥 형성에 관한 오개념은

*Corresponding author: ggusong@chollian.net

Tel: 82-2-571-4459

Fax: 82-2-578-7507

‘충돌형’ 오개념이 전체의 70%로 과반수 이상을 차지했다. 다섯째, 해양지각-대륙지각 수렴형 판 경계에서 산맥 형성에 관한 오개념은 전체의 34%인 ‘섭입형’ 오개념과 23%인 ‘단층형’ 오개념이 과반수 이상을 차지했다. 여섯째, 해양지각-해양지각 변환 단층 경계에서 변환 단층에 관한 오개념은 전체의 30%인 ‘방향형’ 오개념과 10%인 ‘구간형’ 오개념이 과반수에 근접했다. 이 연구에서 판구조론에 관한 학생들의 그림은 대부분이 비슷한 오개념을 나타내고 있었는데 이것은 개념 그리기가 학생들 사이에 널리 퍼져 있는 오개념의 강력한 증거로 활용될 수 있음을 시사한다. 또한 이 연구의 결과는 판구조론 교수-학습의 기초 자료로서 교사들에게 유용하게 사용될 수 있다는 점에서 의의가 있다.

주요어: 오개념, 판구조론, 개념 그리기

서 론

구성주의적 접근을 취하는 과학교육은 교육의 중심에 학습을 두며, 이러한 입장은 학습자의 개념 상태에 주의를 기울이지 않았던 이전의 심리학적 가정들과 큰 차이를 보인다(송진웅, 2003). Gilbert et al. (1982)은 이를 ‘백지 상태’ 및 ‘교사 중심’ 가정이라 부르고, 이러한 이전의 입장과 대비되는 것으로 ‘학생 중심’ 가정을 들고 있다.

구성주의 과학교육에서는 ‘학생 중심’ 가정의 입장에서 학생들이 가지고 있는 과학 개념들의 중요성에 대해 인식하고, 이에 대한 연구를 광범위하게 펼치기 시작하였는데 특히 1970년대 초부터 과학교육자들에 의해 학생들의 과학 개념(conceptions)에 대한 많은 실증적인 연구가 이루어졌다(박지연과 이경호, 2004). 연구자들의 연구 결과에 의하면, 학생들은 과학 학습에 직면하기 전에 어떤 주제이든 그와 관련된 개념을 이미 가지고 있으며, 그 개념은 이후의 학습에 지대한 영향을 미치게 된다. 이러한 맥락에서 볼 때, 만족스러운 과학 수업의 결과를 이끌기 위한 전략 수립에 있어서 과학 수업과 관련된 과학 개념(concept)에 대해 학습의 주체인 학생들이 지니고 있는 다양한 개념들을 파악하는 것은 매우 중요하다(정진우, 1991).

과학 교과 중 지구과학의 경우, 학생들은 교육과정의 현실적 한계 등으로 전체 범위에서 한정된 부분에 대한 개념들을 단속적으로 학습하고, 일상생활 속에서도 극히 단편적이고 매우 불규칙한 자연현상을 경험하거나, 또는 직접적인 관찰 경험을 갖지 못함으로써 많은 오개념들(misconceptions)을 가질 수 있는 가능성이 크다.

특히 판구조론은 학생들이 개념화하기에 어려워하는 영역 중 하나이다(Gobert, 2005). 그 이유는 지구 내부의 환경들이 우리의 직접적인 경험 밖에 있고(Gobert and Clement, 1999), 그 거대한 규모와 관찰

되지 않는 여러 과정들이 이해를 어렵게 만들며 지질학적 과정의 시간 규모 역시 우리의 일생에 비해 훨씬 길어서 학생들이 개념화하기 힘들기 때문이다(Jacobi et al., 1996). 또한 판구조론 개념이 공간적, 인과적, 동적 측면에서 여러 가지 정보들을 이해하고 통합해야 하는 추상적이 개념이라는 점도 개념 학습을 어렵게 만드는 이유이다(Gobert, 2005).

판구조론과 관련한 Marques and Thompson(1997)의 연구 결과를 보면 포르투갈의 많은 학생들이 판을 겹으로 관찰되는 특징에 의해 정의하고 있으며, 판의 배열을 여러 개로 쌓아 올려진 층들의 더미처럼 생각하고 있음을 알 수 있다. 또한 판의 운동에 관하여도 판이 그 중심부를 기준으로 회전하거나 그 주변부의 한 지점에 붙은 축을 기준으로 회전하고 있다고 생각하고 있으며, 판을 이동시키는 힘에 대하여도 자극의 이동이 판의 이동을 야기 시킨다고 생각하는 학생들이 많음을 알 수 있다. 이 외에도 판구조론 개념에 관한 여러 선행 연구들에서 판의 구조와 분포, 판의 운동과 판의 상호작용, 판을 이동시키는 힘, 판들의 상호작용 결과로 나타나는 지질 현상, 지각 변동이 일어날 때 지구 내부 층들 간의 동적, 인과적 관계 등에 관하여 많은 학생들이 오개념을 가지고 있다는 사실이 보고되었다(Ford and Taylor, 2006; Gobert, 2000, 2005; Gobert and Clement, 1999; Libarkin et al., 2005; Marques and Thompson, 1997; Sibley, 2005; 정구송과 정진우, 2007).

현행 7차 교육과정을 살펴보면 판구조론과 관련된 내용은 5학년의 화산과 암석, 6학년의 흔들리는 땅, 7학년의 지구의 구조, 8학년의 지구의 역사와 지각변동 단원에서 부분적으로 다루어지고 있으나 판구조론 전반에 대해 본격적으로 다루고 있는 것은 10학년부터이다. 11·12학년에서는 10학년에서 학습한 판구조론 개념을 토대로 개념이 보다 심화된다(교육부, 1997). 따라서 10학년 학생들이 가지고 있는 판구조론에 관한 개념은 11·12학년에서의 판구조론 학습에

사전 개념으로 자리 잡아 이후의 학습 과정에 지대한 영향을 미치게 되므로 10학년 학생들이 가지고 있는 판구조론에 관한 오개념을 알아보는 것은 의미가 있다.

한편, Smith(1995)에 의하면, 인지 과학적 관점에서 ‘개념이 용어의 정신적 표현(Carey, 1991)’이라 정의할 때 개념의 정신적 표현은 사전적(lexical), 지식 기반적(knowledge based), 원형·예시적(prototypes·exemplars) 범주로 분류될 수 있다. 모든 연구자들이 이 삼자 구성의 분류에 동의한다거나 각 범주의 정의가 고정되어 있다고 주장하는 것은 오해의 소지가 있지만, 적어도 과학 교사들에게는 이러한 분류가 실제적인 효용성이 있다. 왜냐하면 이 세 가지 범주가 과학 교과서 상에 나타나는 과학 개념들의 표준적인 진술 특성들을 구별해 주기 때문이다. 예를 들어, 고등학교 1학년 과학 교과서는 판구조론의 정의를 사전적으로 제시하고 그 이론이 의미하는 바를 지식 기반으로 설명한다. 그리고 판의 모습과 판들의 교차 구역들은 그림, 사진 등의 원형이나 예시로 제시하고 있다. 학생들의 개념은 이 세 가지 범주의 특징 조합에서 상호적으로 학습된다.

이러한 맥락에서 볼 때 학생들의 개념을 확인하기 위한 하나의 접근 방법은 학생들의 정신적 표현이 전문 교과서 상에 나타나는 정신적 표현들과 일치하는지의 여부를 살펴보는 것이다. 바꾸어 말하면, 학생들의 오개념은 사전적, 지식 기반적, 원형·예시적 범주 중 하나 또는 그 이상의 범주에서 그들의 정신적 표현이 전문가들에 의한 정신적 표현과 일치하는지를 비교하는 과정에서 발견될 수 있다(Sibley, 2005). 예를 들어, 판의 경계 개념에 있어서 교과서에 제시된 원형들은 판들 간 색깔의 차이, 대륙지각·해양지각·암석권·상부맨틀의 교차 구역들, 판들이 서로 충돌하고 발산하는 전형적인 모습들을 보여 주고 있는데, 만약 학생들이 그려낸 판구조론에 대한 정신적 표현이 이러한 특징을 포함하고 있지 않다면 이것은 학생들이 원형·예시적 범주 면에서 오개념을 가지고 있는 것으로 볼 수 있다.

그러나 사실, 지금까지의 개념 및 오개념에 관한 선행연구들은 대부분 개념의 사전적 표현이나 지식 기반적 표현에 초점이 맞추어져 있었다. 원형적 개념이 사건이나 사물에서 지각되는 경향성이라는 생각에 기초하고 그 경향성에 두드러지는 특성들을 표현하는 것임을 강조할(Hampton, 2000; Osherson and Smith,

1981)때, 위의 방법을 적용하여 학생들이 그림으로 나타낸 개념을 전문가에 의해 표현된 경향성의 특성과 서로 비교해 보는 것은 오개념 연구에서 긍정적으로 적용되어질 만한 접근 방법이라는 생각이다. 또한 오개념 연구에서 개념 그리기 방법은 선행 연구들(Glynn, 1997; Lowe, 1993)에 의해서도 지지되는데, 이 연구들에 의하면 그리기를 활용함으로써 학생들의 배경 지식을 확인하고 대안 개념을 쉽게 찾아낼 수 있을 뿐만 아니라 질문안으로 제시될 수 없었던 내용에 대한 정보도 얻을 수 있음을 강조한다. 이처럼 판구조론에 관한 오개념 연구 방법으로서 개념 그리기는 인지 과학에서의 개념 정의에 그 이론적 기반을 두고 있으며, 관련 선행 연구들에서도 그 유효성이 검증된 방법이라고 할 수 있다.

이에 본 연구에서는 개념의 원형적 표현 방법을 적용하여 고등학교 1학년 학생들을 대상으로 판구조론에 관한 개념을 그림으로 그리도록 하고 그것을 전문가들에 의해 제시된 교과서나 관련 자료와 상호 비교하여 차이점을 파악함으로써, 고등학교 1학년 학생들 사이에 널리 퍼져 있는 판구조론에 관한 오개념에 대해 알아보는 것을 연구의 목적으로 두었다. 이 연구의 결과는 오개념 연구에 있어서 원형적 표현 방법의 효용성에 대한 시사점과 판구조론 교수·학습의 기초 자료로서 학생들의 판구조론에 관한 오개념의 경향성에 대한 정보를 제공해 줄 수 있을 것이다.

연구 방법 및 절차

연구 대상

연구 대상으로 대구광역시 소재 인문계 고등학교의 1학년 134명을 선정하였다. 대상 학교는 대구광역시 시내 중앙에 위치하고 있으며, 남녀 공학으로 학업 성취도는 대구광역시에서 중간 정도의 수준이다. 대상 학생들은 1학기 때 판구조론에 관한 내용을 학습한 상태에서 여름방학의 공백 기간동안 판구조론에 관한 개념 그리기를 방학 과제로 수행하고, 2학기 초에 판구조론에 관한 개념 그리기 질문지를 작성했다.

질문지 개발

이 연구에서 사용된 판구조론에 관한 개념 그리기 질문지는 총 6문항으로 제 7차 과학과 교육과정에서 판구조론에 관한 내용 요소를 분석하고 고등학교 11종 과학 교과서의 판구조론 단원에 나오는 원형적

Table 1. Prototypical representations of 11 kinds of science textbooks about plate tectonics

원형적 표현		①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨	⑩	⑪	비고
판	판의 구조	○	○	○	○	○	○	○	○		○	○	V
	판의 분포	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	V
발산경계	해양지각-해양지각	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	V
	대륙지각-대륙지각				○				○			○	
판의 경계	해양지각-해양지각							○	○	○			
	수렴경계	○	○	○	○	○	○		○	○	○	○	V
보존경계	해양지각-해양지각	○		○	○	○		○	○	○	○	○	V
	대륙지각-대륙지각		○	○	○		○		○	○		○	

* 11종 교과서		
순번	출판사	저자
①	(주)대한교과서	이규석 외 9
②	(주)도서출판디딤돌	김찬중 외 7
③	(주)중앙교육진흥연구소	우규환 외 11
④	(주)금성출판사	이문원 외 13
⑤	(주)이젠미디어	이연우 외 7
⑥	(주)교학사	정완호 외 9
⑦	(주)문원각	성민용 외 10
⑧	홍진 P&M	송호봉 외 7
⑨	(주)교학사	강만식 외 11
⑩	(주)천재교육	차동우 외 10
⑪	(주)지학사	이면우 외 11

* 색인	
기호	기호 설명
○	원형적 표현이 있는 경우
공란	원형적 표현이 없는 경우

* 비고
V: 11종 교과서에 빈도수가 9개 이상인 원형적 표현

Table 2. Contents and types of questionnaire about plate tectonics

영역	문항번호	문항내용	문항유형
판	1	판의 구조	2차원 그림 완성형
	2	판의 분포	2차원 그림 완성형
판의 경계	3	해양지각-해양지각 발산형 판 경계에서 해령 형성	2차원 그림 구성형
	4	대륙지각-대륙지각 수렴형 판 경계에서 산맥 형성	2차원 그림 구성형
	5	해양지각-대륙지각 수렴형 판 경계에서 산맥 형성	2차원 그림 구성형
	6	해양지각-해양지각 변환 단층 경계에서 변환 단층	2차원 그림 완성형

표현들을 비교 분석(Table 1)하여 선정한 6가지의 개념을 바탕으로 문항을 구성하였다. 문항의 형식은 6 문항 모두 2차원적 그림 그리기의 형태로 1번, 2번, 6번 문항은 그림 완성형이며 3번, 4번, 5번 문항은 그림 구성형이다(Table 2). 그림 완성형 문항은 고등학교 과학 교과서에 나오는 원형적 표현을 재구성한 것이고, 그림 구성형 문항은 Sibley(2005)에서 사용된 방법을 따른 것이다. 최초 질문지는 2차례의 예비 검사를 통해 수정되었고 지구과학교육 전문가 및 지구과학교육을 전공하는 박사과정 현직 교사와 여러 차례의 협의를 통한 수정 및 보완의 과정을 거쳐 최종 질문지로 완성되었다.

자료 수집 및 분석

최종 완성된 판구조론에 관한 개념 그리기 질문지는 정규 수업 시간에 교과 담임 교사의 감독 하에 대상 학생들에게 투입하여 작성하게 하였다. 사전에 연구자와의 면담을 통해 감독 교사는 연구 목적과 방법에 대해 충분히 숙지하고 있는 상태로 검사를 실시하였다. 예비 검사 때 전체 문항에 대해 총 시간을 배정하여 검사를 실시하는 것이 학생들의 검사 참여도를 낮추는 것으로 드러나 본 검사 때는 총 시간을 문항별로 분배하여 검사를 실시하였다. 또한 문항을 이해하지 못해 무응답을 하는 경우가 없도록 문항을 전체 통독 후 감독 교사가 지시문에 대한 부

연 설명을 하고 질문지를 작성하도록 하였다.

수집된 자료는 일관성을 유지하기 위해 학생들의 그림을 모두 스캔한 후, 문항별로 전체 학생들의 그림을 비교하면서 분석하였다. 분석 과정에서 나타난 오개념의 경향성에 근거하여 주된 오개념을 유형별로 분류하고 유형별 빈도를 산출하였다. 각 유형별로도 세부 유형들을 분류하고 그 유형을 대표할 수 있는 학생들의 그림에서 나타나는 오개념을 분석하였다. 오개념 유형 분류 결과에 대하여 지구과학교육을 전공하는 석사 과정 2인과 함께 확인을 한 후 결과에 대한 합의를 이루어 분류 결과에 대한 신뢰성을 확보하였다.

연구 결과 및 논의

판구조론에 관하여 선정한 6가지 개념인 판의 구

조, 판의 분포, 해양지각-해양지각 발산형 판 경계에서 해령 형성, 대륙지각-대륙지각 수렴형 판 경계에서 산맥 형성, 해양지각-대륙지각 수렴형 판 경계에서 산맥 형성, 해양지각-해양지각 변환 단층 경계에서 변환 단층에 대한 고등학교 1학년 학생들의 주된 오개념은 Table 3과 같다.

판의 구조에 관한 오개념

판의 구조에 관한 개념들의 빈도 분포를 살펴보면, 분석 대상 총 131명 중 과학적 개념은 전체의 18%에 불과하며 전체의 38%를 차지하고 있는 ‘맨틀 최상부형’ 오개념이 가장 많았다. 다음으로 많은 유형은 전체의 18%에 해당하는 ‘지각형’ 오개념으로 나타났다.

‘맨틀 최상부형’ 오개념은 지각을 제외한 맨틀 최

Table 3. Types and frequency of misconceptions about plate tectonics

개념	유형	유형 설명	오개념 빈도	
			오개념수	(%)
판의 구조	과학적 개념	‘지각+맨틀최상부형’ 판 개념	23	18
	오개념 1	‘맨틀 최상부형’ 오개념	50	38
	오개념 2	‘지각형’ 오개념	23	18
	기타	오개념 1과 2 이외의 오개념	35	26
	합계		131	100
판의 분포	과학적 개념	‘판파괴형’ 판 분포 개념	27	21
	오개념 1	‘금이 간 지진대형’ 오개념	49	37
	오개념 2	‘지진 빈도형’ 오개념	19	14
	기타	오개념 1과 2 이외의 오개념	37	28
	합계		132	100
해양지각-해양지각 발산형 판 경계에서 해령 형성	과학적 개념	‘발산형 산맥’ 과학적 개념	4	4
	오개념 1	‘발산형’ 오개념	29	32
	오개념 2	‘충돌형’ 오개념	26	29
	기타	오개념 1과 2 이외의 오개념	32	35
	합계		91	100
대륙지각-대륙지각 수렴형 판 경계에서 산맥 형성	과학적 개념	‘충돌형 산맥’ 과학적 개념	1	1
	오개념 1	‘충돌형’ 오개념	73	70
	기타	오개념 1 이외의 오개념	31	29
	합계		105	100
해양지각-대륙지각 수렴형 판 경계에서 산맥 형성	과학적 개념	‘섭입형 산맥’ 과학적 개념	7	7
	오개념 1	‘섭입형’ 오개념	34	34
	오개념 2	‘단층형’ 오개념	23	23
	기타	오개념 1 이외의 오개념	36	36
합계		100	100	
해양지각-해양지각 변환 단층 경계에서 변환 단층	과학적 개념	‘변환 단층’ 과학적 개념	51	39
	오개념 1	‘방향형’ 오개념	39	30
	오개념 2	‘구간형’ 오개념	13	10
	기타	오개념 1과 2 이외의 오개념	27	21
	합계		131	100

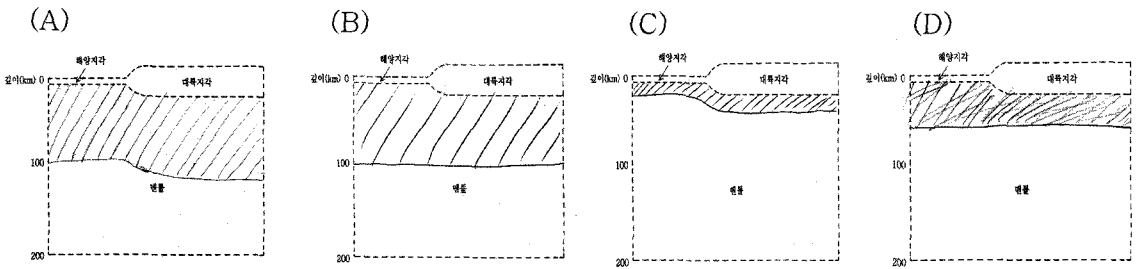


Fig. 1. 'upper mantle type' misconceptions about structure of plate.

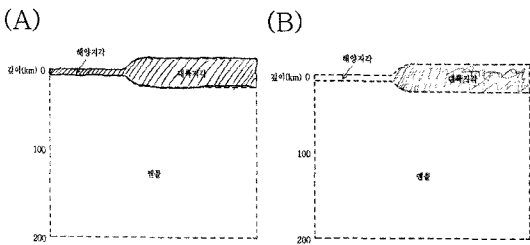


Fig. 2. 'crust type' misconceptions about structure of plate.

상부 맨틀 판으로 그린 유형에 해당한다(Fig. 1). 이 유형에 속하는 그림들은 모두 판에서 지각을 제외시키고 있으므로 오개념에 해당한다. 세부적인 유형을 살펴보면, 기저선의 깊이와 모양은 과학적 개념과 일치하나 지각을 판에 포함시키지 않아 틀린 유형(A), 기저선의 깊이는 맞으나 기저선의 모양이 틀린 유형(B), 기저선의 모양은 맞으나 기저선의 깊이가 틀린 유형(C), 기저선의 깊이와 모양이 둘 다 틀린 유형(D) 등이 있었다. ‘맨틀 최상부형’의 오개념은 지구 내부 층에서 판의 위치에 관한 Libarkin et al.(2005)의 연구 결과와도 일부 일치하는 것이다. 이들이 조사한 바에 의하면 대부분의 학생들이 판에서 지각이 제외된다고 생각하며 판이 지각 밑에 따로 존재하고 있다고 믿고 있었는데 이것은 본 연구의 ‘맨틀 최상부형’ 오개념과 비슷한 결과를 할 수 있다.

‘지각형’ 오개념은 지각만을 판으로 그린 유형에 해당한다(Fig. 2). 이 유형에 속하는 그림들은 모두 판을 지각과 동일시하여 오개념에 해당하였다. 세부적인 유형을 살펴보면, 지각 전체를 판과 동일시하는 유형(A), 대륙지각만을 판으로 표현한 유형(B) 등이 있었다. 이 중 지각 전체를 판과 동일시하고 있는 유형은 총 21명의 학생들이 그려내었다. 이는 단일 유형으로는 가장 많은 학생들이 가지고 있었던 오개념에 해당한다. 이 결과는 Gobert(2000)에서 지구 내부

의 층들과 판 운동에 대해 짧게 기술하고 있는 교과서 지문을 읽고 그림으로 재구성하도록 요구받은 5학년 학생들이 그려낸 판의 구조에 관한 오개념과도 일치하는 것이다. 이 학생들 역시 지각의 기저부를 판의 기저부와 같이 맞춰놓고 있었는데 이것은 본 연구의 ‘지각형’ 오개념과 마찬가지로 지각을 판과 동일시하는 오개념을 반영하고 있는 것이라 하겠다.

판의 분포에 관한 오개념

판의 분포에 관한 개념들의 빈도 분포를 살펴보면, 분석 대상 총 132명 중 과학적 개념은 전체의 21%이며 ‘금이 간 지진대형’ 오개념이 전체의 37%로 가장 많았다. 다음으로 많은 유형은 전체의 14%에 해당하는 ‘지진 빈도형’ 오개념이었다.

‘금이 간 지진대형’ 오개념은 지진대를 따라 판 경계를 그리기는 했으나 여러 조각의 판 퍼즐 형태가 아닌 지진대를 따라 군데군데 금이 간 형태로 판의 경계를 그린 유형에 해당한다(Fig. 3). 이 유형에 속하는 그림들은 하나의 큰 판이 지진대를 따라 부분적으로 금이 간 상태로 판의 분포를 그렸으므로 오개념에 해당한다. 세부적인 유형을 살펴보면, 지진대를 그대로 따라가며 몇 군데 금을 그은 유형(A), 지진대 근처에 직선으로 몇 군데 금을 그은 유형(B), 판 퍼즐 주변에 일부 크게 금을 그은 유형(C), 판 퍼즐 주변에 일부 세세하게 금을 그은 유형(D) 등이 있었다. 이러한 유형들은 지구의 전 표면이 판으로 덮여 있다는 점에서는 판의 분포에 관한 과학적 개념과 비슷하나, 지구의 표면부가 여러 조각의 판으로 나뉘어져 있으며 이 판 조각들의 상대적인 운동으로 인해 여러 가지 지질 현상들이 일어난다는 판구조론의 가정에 비추어볼 때 오개념이라 할 수 있다.

‘지진 빈도형’ 오개념은 지진의 빈도에 따라 판의 경계를 그린 유형에 해당한다(Fig. 4). 이 유형에 속

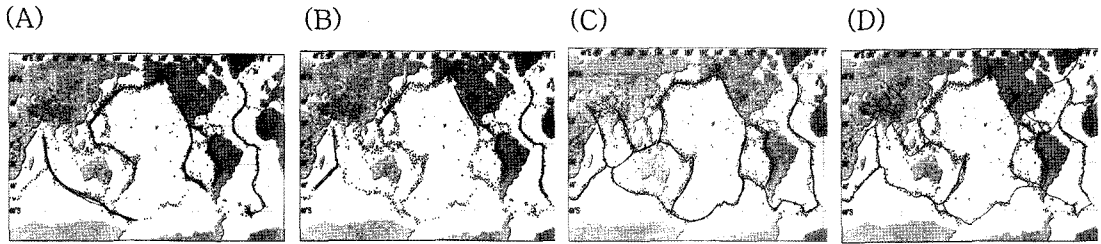


Fig. 3. 'cracked earthquake zone type' misconceptions about distribution of plate.

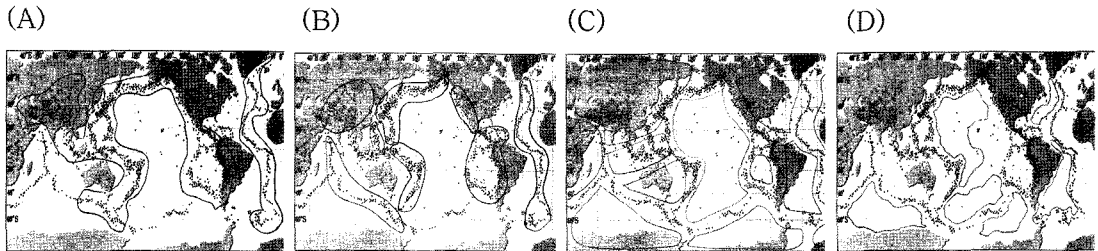


Fig. 4. 'earthquake frequency type' misconceptions about distribution of plate.

하는 그림들은 지진이 많이 일어나는 곳이나 또는 지진이 일어나지 않는 곳만을 판으로 그렸으므로 오개념에 해당한다. 세부적인 유형을 살펴보면, 지진이 많이 일어나는 지역을 전체적으로 묶어 두 세 개의 큰 판들을 그린 유형(A), 지진이 많이 일어나는 지역을 군데군데 작게 묶어 여러 개의 작은 판들을 그린 유형(B), 지진이 일어나지 않는 지역을 지구 전체에 걸쳐 판으로 묶어 여러 개의 판들을 그린 유형(C), 지진이 일어나지 않는 지역 중 육지를 제외한 바다 지역만을 판으로 묶어 여러 개의 판들을 그린 유형(D) 등이 있었다. 지진 빈도형에 해당하는 그림들은 여러 조각의 판 퍼즐이 지구 전체를 덮고 있는 판의 분포에 관한 과학적 개념에 비하여 볼 때, 판들 사이에 빈 공간이 존재하고 있으므로 오개념이라 할 수 있다. 이러한 유형의 그림을 그린 학생들은 지구 전체가 판으로 덮여 있는 것이 아니라 지구의 일부분만이 판으로 덮여 있다고 생각하고 있는 것으로 판단된다. 판구조론에 관한 중학생들의 오개념에 관한 Ford and Taylor(2006)의 연구 결과를 보면, 대부분의 학생들이 '한 판이 다른 판 쪽으로 이동할 때, 그것들은 두 판 사이에 존재하던 틈새를 채운다.', '판이 서로 멀어지며 이동할 때, 그 두 판 사이에 공간이 생긴다.'라고 생각하고 있었는데, 본 연구에서 '지진 빈도형' 오개념에 해당하는 학생들도 이러한 생각들을 가지고 있다고 여겨진다.

해양지각-해양지각 발산형 판 경계에서 해령 형성에 관한 오개념

해양지각-해양지각 발산형 판 경계에서 해령 형성에 관한 개념의 빈도 분포를 살펴보면, 분석 대상 총 91명 중 과학적 개념은 전체의 4%로 거의 대부분의 그림에서 오개념이 나타났다. 가장 많은 유형은 전체의 32%를 차지하고 있는 '발산형' 오개념이었다. 다음으로 많은 유형은 전체의 29%에 해당하는 '충돌형' 오개념이었다.

'발산형' 오개념은 두 해양판이 서로 멀어지기는 하나 발산하는 판의 형태나 연약권의 대류 방향, 명칭 등을 과학적 개념과 다르게 표현한 유형에 해당한다(Fig. 5). 세부적인 유형을 살펴보면, 발산하는 두 해양판의 접촉부를 충돌할 때처럼 두껍게 그려 해령을 표현한 유형(A), 해양판의 위쪽이 갈라지면서 발산하는 모습으로 해령을 표현한 유형(B), 발산하는 해양판의 지표부만 솟아오르게 그려 해령을 표현한 유형(C), 발산하는 해양판의 모습은 과학적 개념과 일치하나 연약권의 대류 방향을 다르게 표현한 유형(D) 등이 있었다. 이러한 유형들은 해양판이 발산하면서 해령이 형성된다는 점에서는 과학적 개념과 비슷하나, 발산하는 해양판 사이의 빈 공간에 연약권으로부터 마그마가 올라와 해령을 형성한다는 과학적 개념에 비추어볼 때 오개념이라 할 수 있다. 또 그림 구성형이었던 이번 문항에서는 그림 완성형이었던 문

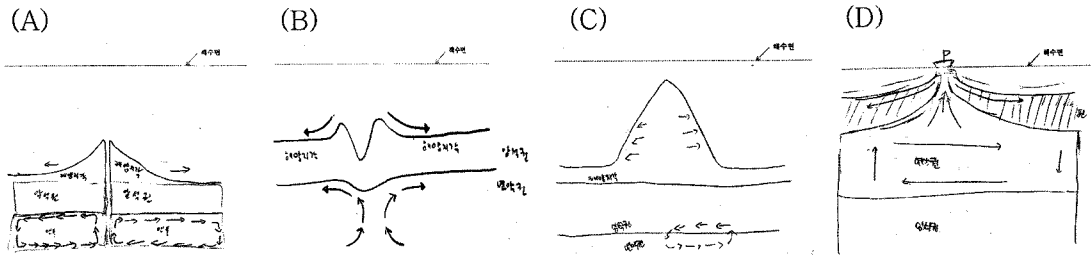


Fig. 5. 'divergence type' misconceptions about formation of ocean ridge at oceanic crust- oceanic crust divergent plate boundary

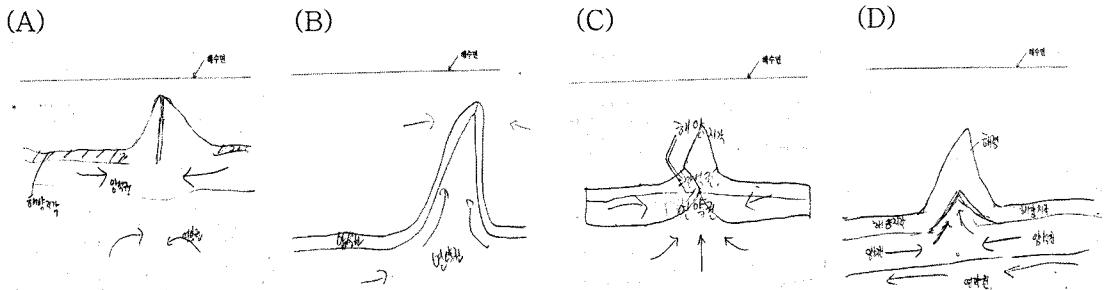


Fig. 6. 'collision type' misconceptions about formation of ocean ridge at oceanic crust- oceanic crust divergent plate boundary.

항 1과 2에 비해 다양한 오개념들을 확인할 수 있었으며, 예상보다 훨씬 많은 학생들이 해령 형성에 관한 오개념을 가지고 있음이 드러났다. 특히 발산하는 해양판의 모습에 대한 오개념 뿐만 아니라 많은 학생들이 Fig. 5의 (D)와 같이 암석권과 연약권의 위치를 혼동하고 있었다는 점도 주목할 만 하다.

‘충돌형’ 오개념은 두 해양판이 서로 충돌하면서 해령을 형성하는 유형에 해당한다(Fig 6). 이 유형에 속하는 그림들은 모두 해령의 형성 과정을 판이 발산하는 결과가 아닌 판이 수렴하여 충돌한 결과로 표현하였으므로 오개념에 해당한다. 세부적인 유형을 살펴보면, 하강하는 연약권의 대류에 의해 두 해양판이 충돌하여 해령을 형성하도록 표현한 유형(A), 상승하는 연약권의 마그마로 인해 위쪽의 해양판이 휘어져서 해령을 형성하도록 표현한 유형(B), 상승하는 연약권의 마그마를 따라 두 해양판이 서로를 밀어 올리면서 해령을 형성하도록 표현한 유형(C), 연약권의 대류 방향과 상관없이 두 해양판이 충돌하여 해령을 형성하도록 표현한 유형(D) 등이 있었다. 이 유형에 속하는 학생들은 해령이 형성되는 과정을 충돌대에서 산맥이 형성되는 것과 마찬가지로 판이 수렴한 결과로 그려냈는데, 이 유형의 빈도가 해령 형성 모습에 있어서 대표적인 오개념으로 분류될 만큼 많

았다. 이러한 결과는 생각보다 많은 학생들이 ‘해저 산맥은 판이 수렴한 결과로 형성된다’는 오개념을 가지고 있음을 의미한다.

대륙지각-대륙지각 수렴형 판 경계에서 산맥 형성에 관한 오개념

대륙지각-대륙지각 수렴형 판 경계에서 산맥 형성에 관한 개념들의 빈도 분포를 살펴보면, 분석 대상 총 105명 중 과학적 개념은 전체의 1%에 불과했다. 이 유형의 판 경계에서는 거의 모든 학생들이 오개념을 가지고 있었다. 대부분의 학생들이 두 대륙판이 충돌하여 산맥이 형성되는 모습으로 그림을 그렸지만 1명을 제외하고는 ‘충돌형’ 오개념으로 분류되었다. 이 판의 경계에서는 ‘충돌형’만이 지배적인 오개념으로 나타났다. 이 유형에 해당하는 학생들은 전체의 70%나 되었다.

‘충돌형’ 오개념은 앞서 해령 형성에 관한 오개념과 비슷한 양상으로 두 대륙판이 수렴하면서 상부의 두 대륙지각이 서로 충돌하여 산맥을 형성하고는 있으나 충돌하는 판의 형태를 과학적 개념과 다르게 그린 유형에 해당한다(Fig. 7). 세부적인 유형을 살펴보면, 두 대륙판이 충돌하여 판의 기저부는 평평하게 유지되고 판의 표면부만 산처럼 솟아오르면서 산맥을

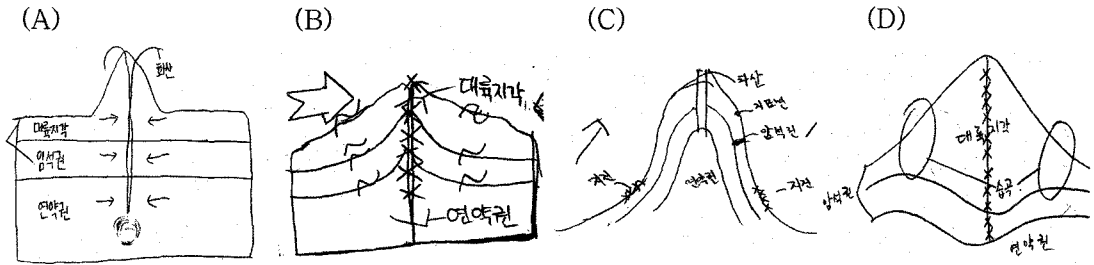


Fig. 7. 'collision type' misconceptions about formation of mountain ridge at continental crust- continental crust convergent plate boundary.

형성하도록 표현한 유형(A), 두 대륙판이 충돌하여 서로를 밀어 올리면서 산맥을 형성하도록 표현한 유형(B), 두 대륙판이 충돌하여 중심부가 볼록해 지면서 산맥을 형성하도록 표현한 유형(C), 두 대륙판이 수직으로 바로 충돌하여 위 아래로 두꺼워지면서 산맥을 형성하도록 표현한 유형(D) 등이 있었다. 이러한 유형들은 두 대륙판이 수렴한 결과로 산맥이 형성된다는 점에서는 과학적 개념과 비슷하나, 두 대륙판이 직접 충돌하여 대륙판 자체가 휘어지거나 밀려 올라가거나 하는 결과로 산맥을 형성하고 있으므로 오개념이라 할 수 있다. 상부가 해양지각인 섭입하는 판을 따라 상부가 대륙지각인 판이 반대편 대륙판 밑으로 섭입해 들어가다가 두꺼운 대륙지각끼리 충돌하여 지각이 위 아래로 포개지는 형태로 두꺼워져 습곡산맥이 형성되는 것이 과학적 개념이므로 이러한 유형들은 충돌형이기는 하나 오개념에 해당한다. 이와 관련하여 Sibley(2005)의 연구에서도 대륙지각-대륙지각 수렴형 판 경계에서 산맥 형성에 관한 대학생들의 오개념을 조사하였다. 이 연구에서 대다수의 학생들은 오개념 1과 오개념 2에 해당하는 오개념을 표현하였는데, 이는 각각 Fig. 7의 (A)와 (B)에 해당하는 오개념이다. Sibley는 (A)를 딱딱한 판 위에 놓여있는 뿌리 없는 산들을 그린 유형으로, (B)를 딱딱한 지지층 위에 놓여있는 얇고 유연한 판들이 위를 향하여 기울어지는 결과로 산이 만들어지는 유형으로 기술하고 있다. 이러한 결과는 지역과 나이를 초월하여 많은 학생들이 산맥 형성에 관하여 비슷한 오개념을 가지고 있다는 점을 시사한다. 한편, 우리나라 학생들의 경우에는 Sibley(2005)의 연구에서 발견할 수 없었던 Fig. 7의 (C), (D)와 같은 세부유형도 발견되었다는 점에서 차이점이 있다.

해양지각-대륙지각 수렴형 판 경계에서 산맥 형성에 관한 오개념

해양지각-대륙지각 수렴형 판 경계에서 산맥 형성에 관한 개념들의 빈도 분포를 살펴보면, 분석 대상 총 100명 중 과학적 개념은 전체의 7%에 불과했다. 가장 많은 유형은 전체의 34%를 차지하고 있는 '섭입형'의 오개념이었다. 다음으로 많은 유형은 전체의 23%를 차지하는 '단층형'에 해당하는 오개념이었다.

'섭입형' 오개념은 한 판이 다른 판 아래로 섭입하는 형태이긴 하나 섭입대에서의 산맥 형성에 관한 과학적 개념과 다르게 표현한 유형에 해당한다(Fig. 8). 세부적인 유형을 살펴보면, 해양판이 대륙판 아래로 섭입함에 따라 대륙판의 지표 부분만 습곡을 받아 산맥을 형성하도록 표현한 유형(A), 해양판이 대륙판 아래로 섭입함에 따라 대륙판 전체가 습곡을 받아 휘어지면서 산맥을 형성하도록 표현한 유형(B), 연약권이 강체처럼 함께 섭입해 들어가면서 산맥을 형성하도록 표현한 유형(C), 대륙판이 해양판 아래로 섭입하면서 산맥을 형성하도록 표현한 유형(D) 등이 있었다. 이러한 유형들은 한 판이 다른 판 아래로 섭입되는 과정에서 산맥이 형성된다는 점에서는 과학적 개념과 비슷하나, 해양판이 대륙판 밑으로 섭입해 들어가면서 섭입암판 위쪽의 쉼터형 맨틀에 물을 공급하고 용융점이 낮아진 쉼터형 맨틀이 부분 용융하여 분출함으로써 산맥을 형성한다는 과학적 개념에 비추어 볼 때 오개념이라 할 수 있다.

'단층형' 오개념은 두 판이 단층을 이루고 있는 유형에 해당한다(Fig 9). 이 유형에 속하는 그림들은 해양지각과 대륙지각이 정단층이나 역단층 혹은 수직단층 형태로 판의 경계부를 이루고 있는 유형에 해당한다. 세부적인 유형을 살펴보면, 대륙판이 상반이고

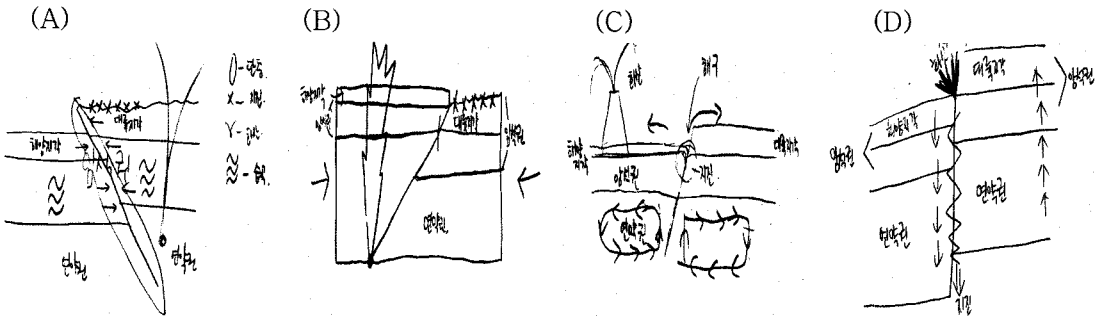


Fig. 9. 'fault type' misconceptions about formation of mountain ridge at oceanic crust- continental crust convergent plate boundary.

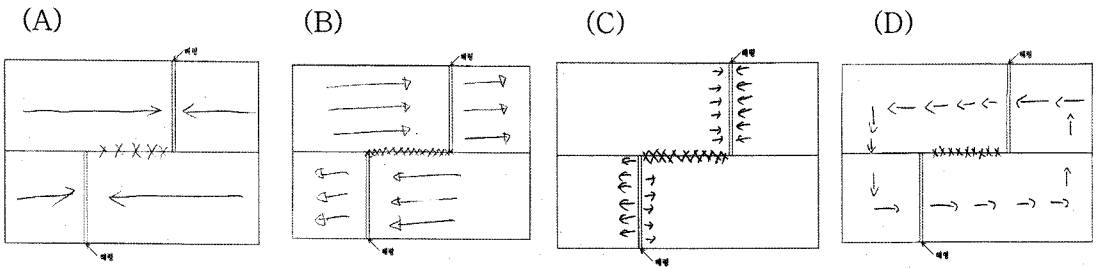


Fig. 10. 'direction type' misconceptions about transform-fault at oceanic crust- oceanic crust transform-fault boundary.

해양판이 하반인 역단층으로 표현한 유형(A), 해양판이 상반이고 대륙판이 하반인 역단층으로 표현한 유형(B), 해양판이 상반이고 대륙판이 하반인 정단층으로 표현한 유형(C), 해양판과 대륙판을 수직 단층으로 표현한 유형(D) 등이 있었다. 이 유형에 속하는 학생들은 섭입대에서 산맥이 형성되는 모습을 단층대의 모습으로 표현했는데, 전체의 23%에 해당하는 학생들이 이러한 그림을 그려냈다는 것은 학생들이 섭입대의 모습과 단층대의 모습을 쉽게 혼동할 수 있음을 의미한다.

해양지각-해양지각 변환단층 경계에서 변환단층 형성에 관한 오개념

해양지각-해양지각 변환 단층 경계에서 변환 단층에 관한 개념들의 빈도 분포를 살펴보면, 다른 연구 결과와는 달리 분석 대상 총 131명 중 과학적 개념이 전체의 39%로 가장 많았다. 오개념 유형으로는 '방향형' 오개념이 전체의 30%로 가장 많았고, 다음으로 많은 유형은 전체의 10%를 차지하는 '구간형' 오개념이었다.

'방향형' 오개념은 변환 단층 구간은 과학적 개념과 일치하나 해양판의 이동 방향을 다르게 표현한

유형이다(Fig. 10). 세부적인 유형을 살펴보면, 두 해령을 축으로 양쪽 해양판이 수렴하는 유형(A), 위쪽과 아래쪽 해양판 전체가 반대 방향으로 이동하는 유형(B), 한 해령을 축으로는 양쪽 해양판이 수렴하고, 다른 해령을 축으로는 양쪽 해양판들이 발산하는 유형(C), 해양판들이 전체적으로 회전하면서 이동하는 유형(D) 등이 있었다. 이러한 유형으로 그림을 그린 학생들은 변환 단층 구간을 단순히 기계적으로 암기하여 알고 있는 것이라 생각되며, 변환 단층이 만들어지는 원리에 대해서는 모르고 있는 것으로 판단된다. 단, (A)의 경우는 두 해양판의 이동방향이 다른 구간이 변환 단층에 해당한다는 과학적 개념을 일부 가지고 있다고 생각할 수 있다. 그러나 나머지 경우는 모두 변환 단층의 위치만 맞을 뿐 변환 단층의 정의는 모르고 있는 경우라 할 수 있다.

'구간형' 오개념은 해양판의 파쇄대 전 구간을 변환 단층으로 표시한 유형에 해당한다(Fig. 11). 세부적인 유형을 살펴보면, 위쪽과 아래쪽 해양판 전체가 반대 방향으로 이동하는 유형(A), 두 해령을 축으로 양쪽 해양판이 발산하는 유형(B), 두 해령을 축으로 양쪽 해양판이 수렴하는 유형(C), 두 해령과 파쇄대를 축으로 해양판들이 수렴하는 유형(D) 등 파쇄대

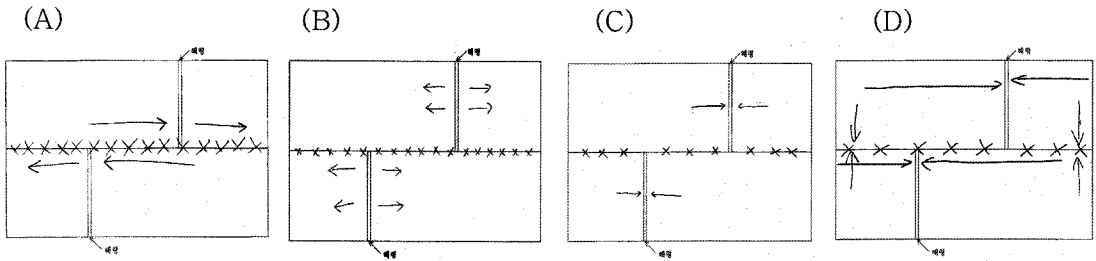


Fig. 11. 'section type' misconceptions about transform-fault at oceanic crust- oceanic crust transform-fault boundary.

전 구간형 중에서도 다양한 방향적 오개념을 확인할 수 있었다.

결론 및 제언

이 연구를 통해 판구조론에 관한 6가지 개념에 관하여 원형적 표현 방법을 적용하여 고등학교 1학년 학생들 사이에 널리 퍼져 있는 오개념에 대해 살펴 보았다. 연구 결과에 따른 결론은 다음과 같다.

첫째, 판의 구조에 관한 오개념은 지각을 제외한 맨틀 최상부만을 판으로 그린 '맨틀 최상부형' 오개념이 전체의 38%로 가장 많았고 그 다음으로는 지각만을 판으로 그린 '지각형' 오개념이 18%로 이 두 가지 유형이 전체의 과반수 이상을 차지했다.

둘째, 판의 분포에 관한 오개념은 지진대를 따라 판 경계를 그리기는 했으나 여러 조각의 판 퍼즐 형태가 아닌 지진대를 따라 균데균데 금이 간 형태로 판의 경계를 그린 '금이 간 지진대형' 오개념이 전체의 37%로 가장 많았고 그 다음으로는 지진이 많이 일어나는 곳이나 또는 지진이 일어나지 않는 곳만을 판으로 그린 '지진 빈도형' 오개념이 14%로 이 두 가지 유형이 전체의 과반수 이상을 차지했다.

셋째, 해양지각-해양지각 발산형 판 경계에서 해령 형성에 관한 오개념은 두 해양판이 서로 멀어지기는 하나 발산하는 판의 형태나 연약권의 대류 방향 등을 과학적 개념과 다르게 표현한 '발산형' 오개념이 전체의 32%로 가장 많았고 그 다음으로는 수렴하는 두 해양판이 서로 충돌하면서 해령을 형성하는 '충돌형' 오개념이 29%로 이 두 가지 유형이 전체의 과반수 이상을 차지했다.

넷째, 대륙지각-대륙지각 수렴형 판 경계에서 산맥 형성에 관한 오개념은 두 대륙판이 수렴하면서 상부의 두 대륙지각이 서로 충돌하여 산맥을 형성하고는

있으나 충돌하는 판의 형태를 과학적 개념과 다르게 그린 '충돌형' 오개념이 전체의 70%로 과반수 이상을 차지했다.

다섯째, 해양지각-대륙지각 수렴형 판 경계에서 산맥 형성에 관한 오개념은 한 판이 다른 판 아래로 섭입하는 형태이긴 하나 섭입대에서의 산맥 형성에 관한 과학적 개념과 다르게 표현한 '섭입형' 오개념이 전체의 34%로 가장 많았고 그 다음으로는 두 판이 단층을 이루고 있는 '단층형' 오개념이 23%로 이 두 가지 유형이 전체의 과반수 이상을 차지했다.

여섯째, 해양지각-해양지각 변환 단층 경계에서 변환 단층에 관한 오개념은 변환 단층 구간을 과학적 개념과 일치하게 표현했으나 해양판의 이동 방향을 다르게 표현한 '방향형' 오개념이 전체의 30%, 해양판의 파쇄대 전 구간을 변환 단층으로 표시한 '구간형' 오개념이 10%로 이 두 가지 유형이 전체의 과반수에 근접했다.

마지막으로, 이 연구를 통해 나타난 결과에 근거하여 제언하면, 이 연구에서 적용된 개념의 원형적 표현 방법은 학생들이 가지고 있는 오개념들이 가시적으로 명백히 드러난다는 점에서 매우 효과적이었다. 비록, 학생들의 오개념 조사 방법으로서 그림 그리기는 그 자체로 완벽한 단일 도구는 아니지만, 그럼에도 불구하고 많은 학생들이 이 연구에서와 같이 비슷한 유형의 틀린 그림을 그려냈을 때 그것은 학생들 사이에 널리 퍼져있는 오개념의 강력한 증거로 활용될 수 있다. 그러므로 학교 현장에서 그림 그리기를 개념 평가 도구로서 기존의 지필 평가와 상호 보완적으로 사용하면 학생의 개념 이해도를 파악하는데 더욱 효과적일 것이다. 이 연구는 인지 과학에서의 개념 정의에 근거하여 개념의 원형적 표현인 학생들의 그림을 분석하여 판구조론에 관한 학생들의 오개념을 조사한 것이다. 인지 과학적 관점에서 개념

학습은 인지 과학자들에 의해 사용되는 3가지 범주, 즉 사전적 범주, 지식 기반적 범주, 원형·예시적 범주 사이에서 상호적으로 이루어짐을 앞서 가정하였다. 그러나 이 연구는 이 3가지 범주 사이에 존재하는 복잡한 관련성에 대해서 조사하지 못한 제한점을 가지고 있으며 추후, 이들 사이의 관련을 알아보기 위한 후속 연구가 이루어져야 할 것으로 본다.

참고문헌

강만식, 정창희, 이원식, 한인섭, 권숙일, 이민호, 박수인, 윤용, 이강석, 이태욱, 정규호, 양영주, 2001, 고등학교 과학 교과서. (주)교학사, 서울, 387 p.

교육부, 1997, 교육부 고시 제 1997-15호 과학과 교육과정. (주)대한교과서, 서울, 101 p.

김찬중, 서만석, 김희백, 심재호, 현종오, 한인옥, 권성기, 박성식, 2001, 고등학교 과학 교과서. (주)도서출판디딤돌, 서울, 359 p.

박지연, 이경호, 2004, 과학개념변화 연구에서 학생의 개념에 대한 이해: 오개념(misconception)에서 정신모형(mental model)까지. 한국과학교육학회지, 24(3), 621-637.

성민웅, 김봉근, 조성동, 강대훈, 강충호, 구자욱, 노일환, 이용철, 임태훈, 최범선, 한은택, 2001, 고등학교 과학 교과서. (주)문원각, 서울, 415 p.

송진웅, 2003, 구성주의적 과학교육과 학생의 물리 오개념 지도. 한국수학교육학회지, 42(2), 87-109.

송호봉, 정용순, 유병선, 이윤상, 김여상, 정태연, 이하원, 윤덕열, 2001, 고등학교 과학 교과서. 흥진 P&M, 서울, 369 p.

우규환, 이춘우, 오두환, 김영유, 경재복, 이경훈, 박태운, 이영직, 백수관, 김병인, 김봉래, 이기영, 2001, 고등학교 과학 교과서. (주)중앙교육진흥연구소, 서울, 399 p.

이규석, 조희형, 박봉상, 박문수, 심국석, 심중섭, 최진복, 장정관, 이창진, 이용준, 2001, 고등학교 과학 교과서. (주)대한교과서, 서울, 391 p.

이면우, 장병기, 고재덕, 윤상학, 이진승, 여상인, 김홍석, 임채성, 배진호, 백승용, 이성진, 최번각, 2001, 고등학교 과학 교과서. (주)지학사, 서울, 359 p.

이문원, 전성용, 최병수, 권석민, 노태희, 허성일, 김출배, 강석진, 박희송, 김경호, 김규상, 채광표, 김진만, 정대영, 2001, 고등학교 과학 교과서. (주)금성출판사, 서울, 415 p.

이연우, 강석복, 김인석, 김성진, 이진우, 안종재, 배미정, 전화영, 2001, 고등학교 과학 교과서. (주)이젠미디어, 서울, 367 p.

정구송, 정진우, 2007, 지각과 지구 내부에 대한 고등학교 학생들의 대안개념. 한국지구과학회지, 28(3), 266-276.

정완호, 권재술, 김대수, 김범기, 신영준, 우종욱, 이길재, 정진우, 최병순, 황원기, 2001, 고등학교 과학 교과서. (주)교학사, 서울, 350 p.

정진우, 1991, 중학교 학생들의 지구과학 개념에 대한 오개념의 형성 원인 분석. 한국지구과학회지, 12(4), 304-322.

차동우, 김희수, 이명석, 이현주, 최종한, 이복영, 옥준석, 윤세진, 이원경, 정남식, 신동원, 2001, 고등학교 과학 교과서. (주)천재교육, 서울, 355 p.

Carey, S., 1991, Knowledge acquisition: Enrichment or conceptual change? In Carey, S. and Gelman, R. (eds.), The epigenesis of mind: Essays on biology and cognition. Lawrence Erlbaum Association, Hillsdale NJ, USA, 257-291.

Ford, B., and Taylor, M., 2006, Investigating students' ideas about plate tectonics. Science Scope, 30 (1), 38-43.

Gilbert, J.K., Osborne, R.J., and Fensham, P.J., 1982, Children's science and its consequences for teaching. Science Education, 66 (4), 623-633.

Glynn, S., 1997, Drawing mental models. The Science Teacher, 64 (1), 30-32.

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

Gobert, 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.

Gobert, J.D. and Clement, J.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.

Hampton, J.A., 2000, Concepts and prototypes. Mind and Language, 15 (2), 299-307.

Jacobi, D., Bergeron, A., and Malvesy, T., 1996, The popularization of plate tectonics: Presenting the concepts of dynamics and time. Public Understanding of Science, 5 (2), 75-100.

Libarkin, J.C., Anderson, S.W., Science, J.D., Beilfuss, M., and Boone, W., 2005, Qualitative analysis of college student's ideas about the earth: Interviews and open-ended questionnaires. Journal of Geoscience Education, 53 (1), 17-26.

Lowe, R.K., 1993, Constructing a mental representation from an abstract technical diagram. Learning and Instruction, 3 (3), 157-179.

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), 195-222.

Osherson, D.N. and Smith, E.E., 1981, On the adequacy of prototype theory as a theory of concepts. Cognition,

9 (1), 35-58.

Sibley, D.F., 2005, Visual abilities and misconceptions about plate tectonics. *Journal of Geoscience Education*, 53 (4), 471-477.

Smith, E.E., 1995, Concepts and categorization. In Smith, E.E. and Osherson, D.N. (eds.), *Thinking: An Invitation to Cognitive Science*. vol. 3. MIT Press, Cambridge MA, USA, 3-33.

2007년 9월 10일 접수

2007년 11월 12일 수정원고 접수

2007년 11월 13일 채택