creative commons

COMMONS DEED

저작자표시-비영리-변경금지 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:

저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.

비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.

변경금지. 귀하는 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공할 수 없습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 이용허락규약(Legal Code)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

Disclaimer

dCollection

교육학 석사 학위논문

판 운동 원동력에 대한 인지갈등전략 기반 개념변화학습지 개발 및 적용 연구

2023 년 8 월

서울대학교 대학원

과학교육과 지구과학 전공

김 예 은

판 운동 원동력에 대한

인지갈등전략 기반 개념변화학습지

개발 및 적용 연구

지도 교수 서 기 원

이 논문을 교육학 석사 학위논문으로 제출함

2023 년 6 월

서울대학교 대학원

과학교육과 지구과학 전공

김 예 은

김예은의 교육학 석사 학위논문을 인준함

2023 년 6 월

위 원 장 _____ 권우진 _____ (인)

부위원장 _____ 서기원 _____ (인)

위 원 _____ 이규호 _____ (인)

초 록

약 40여 년 전부터 수많은 관측적 증거와 이론적 연구를 통해 판의 주된 원동력이 맨틀 대류에서 섭입판의 인력으로 변화되었지만, 우리나라 교과서에서는 여전히 맨틀 대류가 판의 주된 원동력으로 다루어지고 있다. 다행히, 2022 교육과정 지구시스템과학 성취기준 해설에는 판 운동의 원인으로 섭입판의 인력에 관해 다루게 된다고 제시되어 있지만, 견고한 선개념을 가지고 있는 교사들의 개념변화 없이는 새로운 이론이 학생들에게 바르게 전달되기 어렵다. 따라서, 판 운동 원동력의 효과적인 개념변화를 위해, 개념변화학습지를 개발하고 이를 과학 예비교사들에게 적용하는 연구를 수행하였다. 개념변화학습지 개발은 Hashweh의 인지갈등 전략과 Driver의 개념변화 수업 모형을 활용해 4단계의 개념변화 학습단계로 설계했으며 각 단계는 지구에서 관측되고 있는 지질/지구물리학적 상황 4가지를 가지고 선개념과 새로운 개념 관점에서 문제를 만들었다. 또한 각 문제의 세부 응답 문항은 학습자들이 각 관점에서 지식을 조직화하고 응용할 수 있는 이해 순서 단계로 제시했다. 연구 수행 결과 학습자들의 사전 개념 조사에서 59명 중 53명(89.8%)이 판 운동의 주된 원동력을 맨틀 대류로 응답했다. 하지만 개념변화학습을 진행한 후에는, 26명(49.1%)의 학습자가 변화되어 총 30명(50.8%)이 사후 개념 조사에서 판의 주된 원동력을 '섭입판의 인력'으로 올바르게 응답했다. 대응 표본 t 검정을 사용한 결과 통계적으로 유의미한 차이가 보여, 개발된 개념변화학습지가 효과적으로 새로운 판 운동 원동력 개념을 전달하는 것으로 확인되었다. 또한, 판의 속도와 판의 경계 비율 그래프, 남극판 안정성 상황, 불연속적 해령 상황, 해령과 해구 만남 상황 순서로 새로운 개념을 이해하는데 효율적인 관측적 증거로 파악되었다. 본 연구에서 개발한 개념변화학습지는 시공간의 제약 없이 사용이 가능하여 교사, 예비교사, 학생들에게 광범위하게 적용 가능할

것으로 예상된다. 또한 본 연구 결과를 통해 새로운 교육과정 내용이 효과적으로 교과서에 안착할 수 있는 좋은 도구로 사용될 수 있기를 기대한다.

주요어 : 판구조론, 판 운동의 원동력, 인지갈등, 개념변화학습지 개발, 지구과학 교육, 교사 교육

학 번 : 2020-23604

목 차

제 1 장 서 론 1

제 2 장 이론적 배경 5

제 1 절 맨틀 대류와 섭입판의 인력 5

제 2 절 수동적인 판 모델과 능동적인 판 모델 7

가. 두 가지 판 모델의 관점 차이 7

나. 두 가지 판 모델의 지질학적 상황 해석 차이 8

제 3 절 판 운동 원동력 교과서 및 대학 교재 서술 모습 13

제 4 절 인지갈등 전략과 개념변화 16

가. 오개념과 선개념 16

나. Hashweh와 권재술의 인지갈등 전략 17

다. Driver의 개념변화 수업 모형 19

라. Posner의 개념변화 조건 20

마. 인지갈등 이론의 또 다른 논의 20

제 3 장 연구 방법 21

제 1 절 연구 개요 21

제 2 절 설계 단계 22

가. 선행연구 분석 및 연구 문제 선정 22

나. 실험 설계 23

다. 연구 대상 선정 23

제 3 절 개발 단계 24

가. 연구 설문지 전체 구조 24

나. 개념변화학습지 개발 25

다. 검사 도구의 타당성을 위한 노력 28
라. 연구 IRB 심의 및 연구 참여자 섭외 28
제 4 절 수행 및 분석 단계 29
가. 연구 수행 및 자료 수집 29
나. 자료 처리 및 분석 30
다. 연구의 제한점 30
제 4 장 연구 결과..... 31
제 1 절 개념변화 학습 전 개념 검사 결과 32
제 2 절 개념변화 학습과정 결과 37
가. 불일치 상황 제시 단계 결과 37
나. 불일치 상황 해결 단계 결과 45
다. 새로운 상황 적용 단계 결과 54
제 3 절 개념변화 학습 후 개념 검사 결과 61
가. 학습자 사전-사후 개념변화 결과 62
나. '섭입판의 인력' 지질학적 상황 이해도 69
다. 학습자 개념변화조건 만족도 결과 70
제 5 장 결론 및 제언 74
제 1 절 요약 및 결론.....74
가. 결과 요약 74
나. 결론 79
제 2 절 제언 80
참고 문헌 82
부록 – 개념변화학습지 87
Abstract 111

표 목차

[표 2-1] 두 가지 판 모델 관점 차이.....8
[표 2-2] 15 개정 기반 지구과학1 교과서 판의 주된 원동력 서술.....14
[표 2-3] 대학 전공 교재 판의 주된 원동력 서술 15
[표 3-1] 연구 과정 개요 21
[표 3-2] 대학별 연구 수행 날짜 및 참여자 수.....29
[표 4-1] 사전 개념 검사 1번 결과 응답표.....32
[표 4-2] 사전 개념 검사 2번-5번 결과 응답표 33
[표 4-3] 사전 개념 검사 6번-8번 결과 응답표 35
[표 4-4] 맨틀 대류 관점에서 남극판 안정성 문제 응답표.....39
[표 4-5] 맨틀 대류 관점에서 불연속적 해령 문제 응답표.....43
[표 4-6] 섭입판의 인력 관점에서 남극판 안정성 문제 응답표.....47
[표 4-7] 남극판 안정성 최종 문항 응답 교차표.....48
[표 4-8] 섭입판의 인력 관점에서 불연속적 해령 문제 응답표.....50
[표 4-9] 불연속적 해령 최종 문항 응답 교차표.....52
[표 4-10] 판의 이동 속도와 판의 경계 그래프 문제 응답표.....56
[표 4-11] 해령과 해구 만남 문제 응답표.....59
[표 4-12] 사전, 사후 개념 검사 1번 결과 및 t 검정 62
[표 4-13] 판의 주된 원동력 사전,사후 응답 교차표 63
[표 4-14] 사전, 사후 개념 검사 2번-5번 결과 및 t 검정.....63
[표 4-15] 대류 세포 길이 비 사전,사후 응답 교차표.....64
[표 4-16] 판의 속도와 대류 세포 관련성 사전,사후 응답 교차표.....66
[표 4-17] 사전,사후 개념 검사 6번-8번 결과 및 t 검정.....67
[표 4-18] 개념변화 학습과정 탐구활동2, 3 학습자 정답률.....69
[표 4-19] Posner의 개념변화 조건과 대응하는 문항 4가지.....70
[표 4-20] 사후 결과 집단별 리커트 척도 점수표 73

그림 목차

[그림 2-1] 판의 구조 5
[그림 2-2] 판에 작용하는 여러 힘 6
[그림 2-3] 남극판 9
[그림 2-4] 불연속적 해령 10
[그림 2-5] 판의 이동 속도와 판의 경계 비율 그래프 11
[그림 2-6] 해령과 해구가 만나는 상황 12
[그림 2-7] Hashweh의 인지갈등 전략 17
[그림 2-8] 권재술의 인지갈등 전략 18
[그림 2-9] Driver 개념변화 수업 모형 절차 19
[그림 3-1] 연구 실험 설계 23
[그림 3-2] 연구 설문지 전체 구조 24
[그림 3-3] 개념변화 학습단계 개발 25
[그림 3-4] 개념변화학습지 구조 26
[그림 4-1] 남극판 안정성 문제 38
[그림 4-2] 불연속적 해령 문제 42
[그림 4-3] 판의 이동 속도와 판의 경계 그래프 문제 55
[그림 4-4] 해령과 해구 만남 문제 58
[그림 4-5] 학습자 전체 문항별 점수 71
[그림 4-6] 사후 개념 결과 집단별 문항 점수 72

제 1 장 서 론

20세기 과학혁명을 대표하는 판 구조론은 지구과학의 많은 현상들을 통일된 방법으로 설명을 할 수 있게 하여, 지구과학에서 그 중요성이 매우 높다. 뿐만 아니라, 판 구조론은 "고정된 지각" 이라는 오래된 관념에서 "움직이는 지각" 이라는 새로운 개념으로 전환되기 까지 많은 과학자들의 크고 작은 발견(Wegener, 1912; Vine and Matthews, 1963; Wilson, 1963; McKenzie and Parker, 1967; Morgan, 1968; Le Pichon, 1968; Forsyth and Uyeda, 1975; McElhinny, 1979; Cox and Hart, 1986; Torsvik et al., 2012; 등)들이 맞춰지면서 정립되어, 학생들에게 과학의 본질과 새로운 과학 이론이 정립되는 과정을 확인할 수 있는 매우 중요한 주재로 교육과정에서 받아들여지고 있다. 따라서, 판 구조론은 교과서에 다른 어떤 부분보다 정확하게 기술되어야 하며, 최신의 발견들이 지속적으로 포함되어야 한다.

판 구조론은 대륙들의 해안선 유사성과 화석의 분포 등을 토대로 독일의 기상학자인 Wegener가 제시한 대륙이동설(1912)을 기반으로 한다. Hess와 Dietz의 해양저 확장설(1960), 고지자기 탐사(Vine and Matthews, 1963) 등은 Holmes의 맨틀 대류설(1929)과 함께 대륙이동을 설명하는 데에 중요한 역할을 하였으며, Wilson의 변환 단층의 발견(1965)으로 판 구조론이 정립되었다.

그러나 판 운동의 원동력을 설명하기 위한 맨틀 대류설에는 문제점이 존재했다. 연약권의 상부 점성이 판을 움직일 만큼 충분하지 않았고, 판의 경계에서 발생하는 다양한 현상을 충분히 설명하지 못했다. 이로 인해 약 40여년 전부터 맨틀 대류에 대한 문제점이 제기되었으며, 이러한 문제점을 해결하기 위해 새로운 개념인 섭입판의 인력이 제안되었다. 섭입판의 인력은 섭입대와 상부 맨틀의 밀도차에 의해 발생하는 힘으로, 맨틀 대류로는 충분히 설명되지 않던 다양한 지질/지구물리학적 현상을 설명할 수 있다. 이로

인해 섭입판의 인력은 판 운동의 주요한 원동력으로 인정받게 되었다 (Forsyth and Uyeda, 1975; Harper, 1975; Solomon et al., 1975; Cox and Hart, 1986; Conrad and Lithgow-Bertelloni, 2002; Stern, 2007; Martin et al., 2008).

이러한 판 운동 원동력과 관련된 이론 변화가 교육계에 어떻게 반영되고 있는지 문헌을 확인해 본 결과 전태환 외(2016)에 따르면 대학교 전공 교재는 빠르게 학계의 과학이론 흐름에 따라 맨틀 대류에서 섭입판 인력으로 서술을 달리하는 반면 고등학교 지구과학1, 2 교과서에는 09 개정까지 개정되는 동안 극히 일부를 제외하고 판 운동의 원동력을 맨틀 대류로 명시하고 있었다. 여기에 15 개정 교육과정까지 추가로 분석한 결과, 맨틀 대류는 소단원명으로까지 판을 움직이는 힘으로 명확하게 제시되어 있었지만, 섭입판의 인력은 맨틀 대류와 함께 판에 작용하는 힘의 일부분으로만 설명되어 있었다. 맨틀 대류가 대륙이동설을 뒷받침해 준 중요한 이론임은 틀림없는 사실이지만, 학계에서 40여 년 전부터 섭입판의 인력을 인정한 것과 대학교 교재의 서술이 맨틀 대류에서 섭입판의 인력으로 바뀐 것을 고려해 보면 중등 교과서 내용은 과학이론의 흐름을 반영하지 못하고 있음을 알 수 있다.

한편 최근 고시된 22 개정 교육과정 지구시스템과학 성취기준[12 지시 01-03]에는 "판구조론의 발달사와 관련지어"라는 문장과 해당 성취기준 해설에 "판을 움직이는 힘의 경우, 맨틀 대류에 의한 수동적인 움직임으로 설명하기보다는, 판을 움직이는 능동적인 힘(섭입하는 판이 당기는 힘, 해령에서 미는 힘 등)에 관해 다룬다."라는 내용으로 수정되었다. 이에 따라 새로 집필될 교과서에는 섭입판의 인력설의 비중이 커지거나 혹은 대학 교재처럼 판의 주된 원동력 서술이 섭입판의 인력으로 변화될 것으로 기대된다.

이런 과학 이론의 변화를 다루기 위해서는, 교과서의 변화뿐 아니라 이를 가르치게 될 교사들의 개념변화 또한 매우 중요하다. 현직교사들과 현재 대

학생인 예비교사들은 대부분 15 개정 이전의 교육과정으로 배운 학습자들로 판 운동의 원동력을 맨틀 대류로 알고 있을 가능성이 크다. 이에 대학 수업과 교사 연수 과정을 통해 새로운 과학개념을 접하게 되겠지만 이러한 주입식의 수동적인 교육은 과학 이론의 변화를 적절히 인식하기에 부족할 수 있다. 기존 오개념 및 선개념의 연구들에 따르면 오개념은 매우 견고해 변화가 쉽지 않고(정진우, 1991; 권재술, 이영직, 1993), 과학개념으로 변화되어도 곧 본래의 오개념으로 되돌아가는 견고성을 보이기 때문에(문충식, 1990; 한인수, 권난주, 권재술 2001) 효과적인 개념변화 수업 방법으로 개념을 교정해야 한다. 여기에 더해 교사의 오개념은 학생의 오개념으로 직결되기 때문에(Koes, 2008; 문정용, 2018) 현직교사와 예비교사들의 선개념 교정은 미래 학생들의 오개념 형성을 예방하는 대비책이 될 것이다. 이처럼, 교사들이 올바른 과학 지식을 선행함으로써 교사 본연의 자신감이 향상되고 수업의 질이 향상될 것이다.

이에 효과적으로 예비교사와 현직교사의 선개념을 교정하기 위해 본 연구에서는 개념변화모형을 활용해 학습지를 만들고 이를 적용하고자 했다. 개념변화는 1970년대부터 활발히 연구된 것으로 개념변화가 되기 위해서는 인지 갈등이라는 주요한 인지과정이 주요소로 강조된다. 그러나 인지 갈등이 일어난다고 해서 무조건 개념변화가 일어나는 것은 아니라는 연구가 나오면서(Stavy, 1991; 박종원, 1996) 인지 갈등 외에 여러 가지 학습자의 신념과 특성도 고려해야 함이 중요해졌다(권재술, 김범기, 1995; 권난주, 권재술, 2004; 문성숙, 권재술, 2008). 하지만 여전히 인지 갈등 없이는 개념변화가 일어날 수 없다는 것은 틀림없다(권재술 외, 2003). 이에 본 연구 또한 개념변화를 일으키기에 필수 조건인 인지 갈등을 사용했고, 개념변화 연구 중 가장 많이 활용되는 Hashweh의 인지갈등 전략과 Driver의 개념변화 수업모형을 사용해 개념변화학습지를 개발했다. 개발한 학습지는 과학 예비교사들에게 적용해 올바른 과학 이론인 새로운 개념을 인식시키고 그 효과를 확인하고자 했다.

따라서 본 연구에서 이루고자 하는 연구 문제는 다음과 같다.

하나. 판의 주된 원동력에 대한 개념을 최근 과학 개념 '섭입판의 인력'으로 변화시키기 위해 개발한 구조화된 학습지는 효과적이고 효율적이었는가?

둘. 판의 주된 원동력을 '맨틀 대류'로 알고 있는 예비교사들에게 최근 과학 개념인 '섭입판의 인력'을 인식시켜 주었는가?

셋. 지구의 여러 가지 지질/지구물리학적 상황들 중 학습자 관점에서 '섭입판의 인력'을 가장 잘 이해하고 해석할 수 있는 지질학적 상황은 무엇인가?

제 2 장 이론적 배경

이 장에서는 본 연구의 핵심 내용인 판 운동의 원동력과 개념변화 이론의 이론적 배경을 탐색해보고자 한다. 우선, 과거 개념인 맨틀 대류와 새로운 주류 개념인 섭입판의 인력의 관점 차이를 알아본다. 이를 통해 맨틀 대류 관점에서 발생한 모순점과 이를 섭입판의 인력 관점에서 어떻게 해결하는지 알아본다. 또한 대립되는 두 관점을 적절히 개념변화를 하기 위해 사용한 전략에 대해서도 알아본다.

제 1 절. 맨틀 대류와 섭입판의 인력

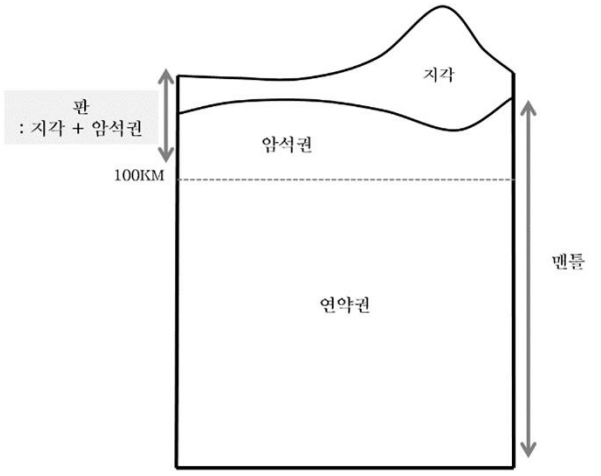


그림 2-1. 판의 구조

판은 지각과 상부 맨틀 중 단단한 암석권까지를 합쳐 약 100km의 두께를 가진 부분을 말한다(그림 2-1). 이 판에 작용하는 힘들로는 여러 가지가 있는데, 크게 4가지로 나눌 수 있다. 맨틀 대류(Drag force of mantle = 맨틀 견인력), 섭입판의 인력(slab pull), 해령에서 미는 힘(ridge push or gravitational sliding = 해령 발산력), 저항력(resistances)이다(Forsyth and Uyeda, 1975; Cox and

Hart,1986; 전태환 외, 2016)(그림 2-2). 이 중에서 판에 주된 원동력으로 논의되고 있는 맨틀 대류와 섭입판의 인력에 대해 설명하고자 한다.

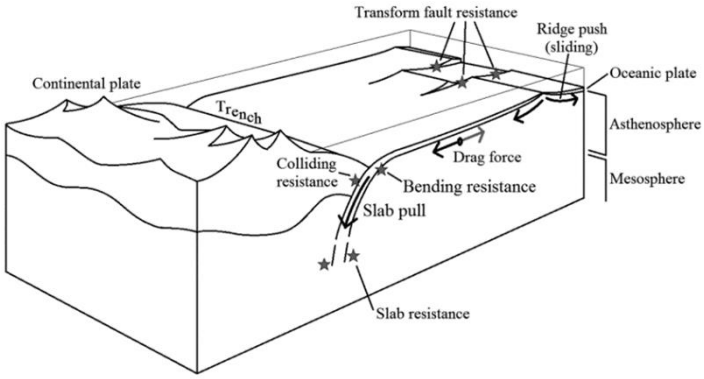


그림 2-2 판에 작용하는 여러 힘 (전태환 외, 2016)

1) 맨틀 대류(Drag force of mantle = 맨틀의 견인력)

이 힘은 판의 하부와 연약권의 상부 사이에 작용하는 것으로, 맨틀이 대류할 때 그 위에 있는 판이 맨틀의 점성력으로 함께 움직이게 하는 힘이다. 그러나 섭입판의 인력이 판 운동의 원동력으로 인정받으면서 맨틀과 판의 마찰은 오히려 판의 이동을 방해하는 힘으로 간주된다.

2) 섭입판의 인력(slab pull)

이 힘은 해구에서 판과 상부 맨틀의 밀도 차에 의해 섭입되는 해양판이 판 전체를 이끄는 힘을 말한다. 이 힘은 약 40여 년 전부터 학계에서 맨틀 대류의 문제점이 제기되고 이를 섭입판의 인력이 적절히 설명하면서 새롭게 판의 주된 원동력으로 인정받고 있다(Forsyth and Uyeda, 1975; Harper, 1975; Solomon et al., 1975; Cox and Hart, 1986; Conrad and Lithgow-Bertelloni, 2002; Stern, 2007; Martin et al., 2008).

제 2 절. 수동적인 판 모델과 능동적인 판 모델

가. 두 가지 판 모델의 관점 차이

판 운동의 형태는 움직임의 원동력에 따라 두 가지 모델로 분류된다. 맨틀 대류에 의해 움직이는 판은 수동적인 판(passive plates)으로 분류되며, 섭입판의 인력에 의해 움직이는 판은 능동적인 판(active plates)으로 분류된다(Cox and Hart, 1986). 수동적인 판은 맨틀 위에 떠있는 판이 맨틀의 대류에 따라 수동적으로 움직이는 모습으로, 마치 컨베이어 벨트 위에서 판이 미끄러지는 것과 같다. 이때 해령은 맨틀의 상승 부분으로 형성되고, 해구는 맨틀의 하강 부분으로 형성되는 지형을 의미한다. 반면 능동적인 판은 섭입대에서 판과 상부 맨틀의 밀도 차에 의해 섭입하는 판이 판 전체를 이끌며 운동이 시작되는 모습을 말한다. 이때 해구는 역학적으로 불안정한 상태인 판이 서로 다른 판끼리 만났을 때 하강하는 곳이고, 해령은 섭입판의 인력에 의해 판 전체가 끌리면서 판의 특정 부분에서 확장이 발생하는 곳을 의미한다. 이렇게 확장된 해령에는 상부 맨틀이 올라와 채우게 되며 맨틀이 고체 상태로 응축하여 새로운 판이 형성된다.

정리하자면 수동적인 판 모델은 맨틀 대류에 의해 움직이는 판의 형태를 나타내며, 이 모델에 따르면 해령은 맨틀 대류의 상승부로 판 운동이 시작되는 곳이고, 해구는 맨틀 대류의 하강부이다. 이때 판 운동은 해령에서 시작된다. 반면 능동적인 판 모델은 섭입판의 인력에 의해 움직이는 판의 형태를 나타내며, 해구는 밀도 차에 의해 판이 섭입되는 곳이고, 해령은 섭입된 판에 의해 판 전체가 끌려서 확장이 일어나는 곳이다. 따라서, 이때 판 운동은 해구에서 시작된다(표 2-1).

표 2-1. 두 가지 판 모델 관점 차이

판 모델	판 운동의	지질학 경계에 따른 생성 기작 차이	판 운동의

	주된 원동력	해령	해구	시작 지점
수동적인 판	맨틀 대류	맨틀의 상승부	맨틀의 하강부	해령
능동적인 판	섭입판의 인력	섭입하는 판이 끌어당기면서 벌어지는 곳	판과 상부맨틀의 밀도차로 판이 섭입하는 곳	해구

나. 두 가지 판 모델의 지질/지구물리학적 상황 해석 차이

맨틀 대류가 판의 주된 원동력이 아니라는 근거는 다음과 같은 4가지 지질/지구물리학적 상황으로 확인할 수 있다(Forsyth and Uyeda, 1975; Cox and Hart, 1986). 다음은 지구에서 관측되고 있는 여러 가지 지질/지구물리학적 상황을 설명하고 수동적인 판 모델에서 모순이 되는 이유와 능동적인 판 모델에서 어떻게 설명될 수 있는지 그 차이를 알아보자.

1. 안정한 남극판

남극판은 세계에서 가장 안정적인 판이다. 판의 운동은 판의 경계와 연관되어 있다. 그렇다면 남극판이 세계에서 가장 안정적일 수 있는 원인은 판의 경계에 어떤 특징 때문인지 알아보자. 그림 2-3의 붉은 영역은 남극판이다. 그리고 그 경계에 붉은색은 해령, 녹색은 변환단층, 파란색은 해구를 나타낸다. 이를 두 가지 판 모델로 해석하면 다음과 같다.

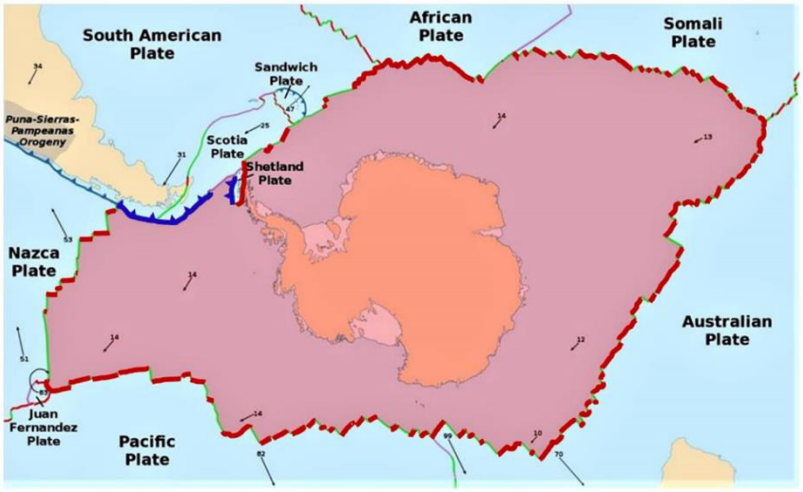


그림 2-3 남극판 (붉은 영역)

수동적인 판 모델은 판 운동의 시작 지점을 해령으로 가정한다. 따라서 판 운동의 시작 지점인 해령이 많을수록 판의 운동이 활발하고, 판의 이동 속도도 크다고 예상할 수 있다. 그러나 남극판의 경계는 해령이 상대적으로 많음에도 불구하고 세계에서 가장 안정적인 판 중 하나로 판 운동이 매우 작다는 모순점을 가지고 있다.

반면, 능동적인 판 모델은 판 운동의 시작 지점을 해구로 가정한다. 이때는 남극판의 경계에 해구가 상당히 적은 비율을 차지하고 있어 판 운동 시작 지점이 적어 남극판이 안정적이라는 것을 설명할 수 있다.

2. 불연속적인 해령

해령은 부드러운 곡선이 아닌, 그림 2-4와 같이 불연속적으로 분절되어 변환 단층으로 연결된 형태이다. 이러한 현상을 두 가지 판 모델로 설명하면 다음과 같다.

그림 2-4 불연속적 해령

수동적 판 모델에 의하면 맨틀 대류의 경계에 의해 판의 경계가 결정된다. 맨틀 대류는 실험적으로 수평 및 수직 규모가 대략적으로 1:1:1의 비율을 가지기 때문에(Cox and Hart, 1986), 판의 경계 역시 이와 유사해야 한다. 즉, 맨틀의 두께 : 해령과 해구 사이의 거리 : 해령의 길이 비 역시 대략적으로 1:1:1이어야 한다. 그러나 맨틀의 두께는 약 2900km이고, 해령과 해구 사이의 거리는 수천~수만km이며, 변환 단층과 변환 단층 사이의 해령 길이는 수백km로, 예상되는 맨틀 대류의 규모 비율과 전혀 맞지 않다. 따라서 수동적인 판 모델은 불연속적인 해령을 형성할 수 없다는 모순이 있다.

반면, 능동적인 판 모델에 의하면 해구에서 잡아당기는 힘으로 확장되는 곳이 해령이다. 해령은 해구에서 잡아 당기는 힘으로 판이 끊어지는 곳이므로 부드럽게 이어지는 지형으로 만들어지는 것이 희박하다. 따라서 능동적인 판 모델은 불연속적인 해령을 형성할 수 있다고 설명할 수 있다.

3. 판의 속도와 판의 경계 비율 그래프

지구는 여러 개의 판으로 이루어져 있으며, 각 판은 서로 다른 속도로 움직이고 있다. 판의 절대 속도와 판의 경계 비율 사이의 관계를 알아보기 위해 해령과 해구의 경계를 구분하여 그래프로 나타냈다(그림 2-5).

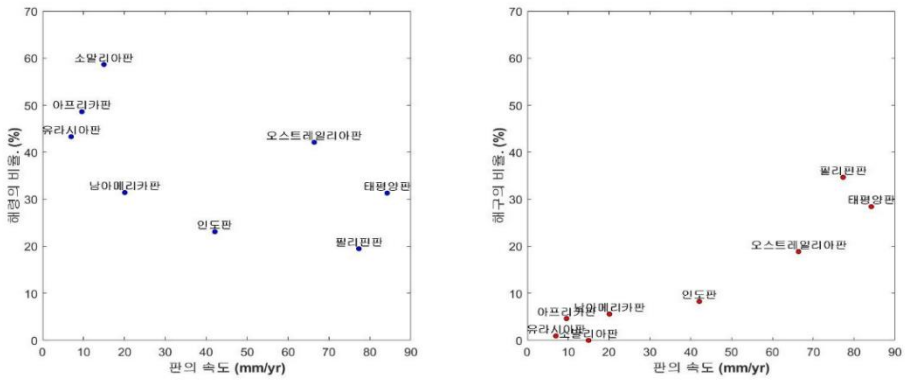


그림 2-5 판의 이동 속도와 판의 경계 비율 그래프

그림 2-5 왼쪽 그래프는 판의 해령 비율과 판의 이동 속도를 나타낸 것이고 오른쪽 그래프는 판의 해구 비율과 판의 이동 속도를 나타낸 것이다. 두 가지 판 모델로 이를 해석해보면 다음과 같다.

수동적인 판 모델에서는 판 운동이 해령에서 시작된다고 가정한다. 따라서 판의 이동 속도는 판의 해령 비율과 관련이 있어야 한다. 그러나 그림 2-5의 왼쪽 그래프에서는 아무런 상관관계가 나타나지 않기 때문에, 수동적인 판 모델이 판의 속도와 관련이 없음을 나타낸다.

반면, 능동적인 판 모델에서는 판의 운동이 해구에서 시작된다고 가정한다. 따라서 판의 이동 속도와 판의 해구 비율이 관련이 있어야 한다. 그림 2-5의 오른쪽 그래프를 보면 판의 속도가 증가함에 따라 판의 해구 비율도 점점 증가하는 것을 확인할 수 있다. 이는 판의 해구 비율과 판의 이동 속도가 양의 상관관계를 가지고 있음을 보여준다. 따라서 능동적인 판 모델로 판의 속도를 잘 설명할 수 있다.

4. 해령과 해구가 만나는 상황

판은 상대적인 운동 속도 차이로 인해 생성과 소멸을 반복한다. 그림 2-6은 태평양판 동쪽에 있는 해령(그림 2-6에 붉은 라인)이 북아메리카 판 해구(그림 2-6에 푸른 라인) 쪽으로 점진적으로 섭입되고 있는 상황을 보여준다. 미국 서부의 산 안드리아스 변환단층은 북태평양 해령이 북아메리카 해구로 섭입되면서 형성된 결과이다. 이러한 상황을 두 가지 판 모델로 해석하면 다음과 같다.

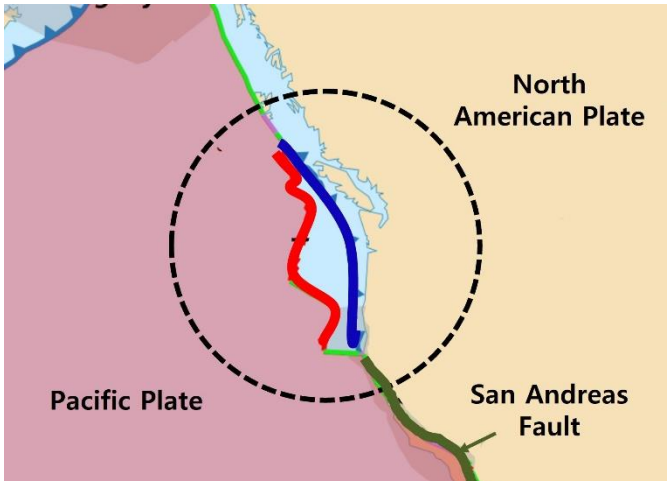


그림 2-6 해령과 해구가 만나는 상황

수동적인 판 모델은 맨틀 대류로 움직이는 판을 가정한다. 이때 맨틀의 상승부는 해령을 형성하고 하강부는 해구를 형성한다는 것을 의미한다. 해령과 해구가 만나는 것은 즉 대류의 상승과 하강이 만나는 것을 의미하여, 물리적으로 일어날 수 없는 상황이다. 따라서 수동적인 판 모델로는 해령과 해구의 만남을 설명할 수 없다.

반면, 능동적인 판 모델에서는 섭입판의 인력에 의해 움직이는 판이다. 이 모델에서는 판의 운동이 해구에서 시작된다고 가정한다. 해구에서 잡아당기는 속도는 해구마다 다르므로, 어느 한쪽 해구에서 더 빠른 속도로 잡아당기면 해령은 점차 가까워져 결국 해구 쪽으로 섭입하게 된다. 따라서 능동적인 판 모델로는 해령과 해구의 만남을 설명할 수 있다.

제 3 절. 판 운동 원동력 교과서 및 대학 교재 서술 모습

이 절에서는 가장 최근 15 개정 교육과정을 기반한 교과서에서 판의 주된 원동력에 대한 기술이 어떠 한지 분석해 보았다. 선행연구 전태환 외(2016)에서는 5차 교육과정부터 09 개정 교육과정까지 교학사와 천재교육에 기술된 판의 주된 원동력을 조사했고, 그 결과 극히 일부를 제외하고 판의 주된 원동력은 맨틀 대류로 서술되어 있었다. 본 연구자는 최근의 교과서는 어떠한 변화가 있었는지 확인하기 위해 선행연구에서 분석한 교학사와 천재교육을 비롯해 추가로 미래엔과 비상교육, 금성출판사, YBM까지 시중에 있는 15 개정 교육과정을 기반한 교과서를 모두 분석하여 판의 주된 원동력에 대한 서술을 알아보았다(표 2-2).

표 2-2. 15 개정 기반 지구과학1 교과서 판의 주된 원동력 서술

출판사	판의 주된 원동력	교과서 서술 내용

교학사	맨틀 대류 & 섭입판의 인력 + 해령의 발산력	본문 : '**판을 움직이는 원동력을 연약권에서 일어나는 맨틀 대류만으로 설명하려고 했으나**, 판 구조론에서는 세 가지로 설명하고 있다. **첫째** …. **둘째 섭입대를 따라서 내려가는 판이 잡아당기는 힘이다**. … 섭입대를 포함하는 판이 그렇지 않은 판보다 이동 속도가 빠르다는 것에서 알 수 있다. … **셋째**는 마그마 상승에 의해 높아진 해령의 위치 에너지에 의한 힘인데, **학자들은 이 힘이 판의 이동에 크게 영향을 미치지는 못하는 것으로 보고 있다.**'(지I: p.21)
천재교육	맨틀 대류 & 섭입판의 인력 & 해령의 발산력	본문 : '**맨틀 대류는 판의 이동에 중요한 역할을 하고 있지만** 구체적으로 맨틀 대류의 발생 범위와 작용하는 힘에 대한 **연구는 여전히 진행 중이다**.' (지I: p.22) 그림 : '**판 이동의 원동력 3가지** : 해령에서 밀어 올리는 힘, 섭입하는 판이 잡아당기는 힘, 판이 미끄러지는 힘'(지I: p.22)
미래엔	맨틀 대류 + 섭입판의 인력	본문 : '따라서 깊이에 따른 온도 차이로 그림 1-15와 같이 연약권에서 대류가 일어나며, **판의 운동은 연약권 위에 놓인 암석권이 맨틀의 대류에 따라 이동하는 것으로 설명할 수 있다**.','**맨틀 대류는 판을 움직이는 원동력으로…**'(지I: p.28) 자료실 : '**판의 운동과 맨틀 대류는 서로 영향을 주는 것으로 알려져 있다**. 즉, 맨틀이 대류하여 판이 이동하고, 판이 이동하면서 맨틀이 대류하기도 한다. **해구에서는 상대적으로 밀도가 큰 해양 지각이 대륙 지각의 아래로 섭입한다**. … 따라서 해구가 발달한 판은 해구가 없는 판보다 이동 속도가 빠르다.'(지I 자료실: p.30)
비상교육	맨틀 대류 +섭입판의 인력 +해령의 발산력	학습 목표 :'**판을 움직이는 맨틀의 상부 운동**과 …'(지I: p.26) 본문 :'연약권은 힘이 가해지면 움직일 수 있다. **맨틀이 대류하여 연약권이 이동하면 판도 함께 이동한다**. … 이런 과정으로 **판은 그림 1-19와 같이 맨틀 대류를 따라 움직인다**.','판은 맨틀 대류로 판 자체에서 만들어지는 물리적인 힘에 의해서도 이동하는데, 해령에서 판을 밀어내는 힘과 해구에서 섭입하는 판이 잡아당기는 힘이 그것이다.','**맨틀 대류와 이로 말미암아 판 자체에서 발생한 힘은 판을 움직이게 하는 중요한 원동력이다.** 하지만 이 것만으로는 판의 운동을 모두 설명할 수 없다. 최근에는 이런 문제점을 해결하기 위해 플룸 구조론이 등장하였다.' (지I: p.26-27)
금성	맨틀 대류 + 섭입판의 인력	학습 목표 : '**판을 움직이게 하는 맨틀의 상부 운동**과 …'(지I: p.27) 본문 : '**판 구조론은 판이 이동하는 원인을 맨틀 대류로 설명한다**. 맨틀이 대류하면서 판을 이동시키고, 이 과정에서 지진이 일어나거나 화산 활동이 많이 발생한다는 것이다. … **한편**, 섭입대에서 침강하는 판이 연결된 판을 당기는 힘 역시 판을 이동시키는 역할을 한다. …'(지I: p.27) 부가 설명 : '**판 당기기(slab pull)** : 무거운 해양판이 침강하는 과정에서 기존의 판을 잡아 당기면서 판이 이동하는 현상을 판 당기기라고 한다.'(지I: p.27)
YBM	맨틀 대류 + 섭입판의 인력 + 해령의 발산력	본문 : '**판을 움직이는 주요 힘 중 하나는 해구에서 침강하는 판이 전체 판을 끄는** 힘이다. … 판을 움직이는 또 다른 힘은 맨틀 대류에 의한 상승류가 해령 아래에서 마그마를 분출하면서 판을 미는 힘이다.' (지I: p.22) 학습 목표 :'**판을 움직이는 맨틀의 상부 운동**과…'(지I: p.29) 본문 :'**판 운동은 연약권에서 일어나는 맨틀 대류와 관련이 있으므로** 판의 경계도 맨틀 대류의 양상과 밀접한 관계가 있다.'(지I: p.29)

(기호설명 :'&'- 동등한 설명 / '+'- 덧붙인 설명)
* 교학사: 이용준 외. (2019), 천재교육: 오필석 외. (2018), 미래엔: 이진우 외. (2018), 비상교육: 이기영 외. (2019), 금성: 권석민 외. (2018), YBM: 김진성 외. (2020)

선행연구에서 09 개정까지 섭입판의 인력에 대한 설명이 거의 나오지 않은

것에 비해 15 개정 기반 교과서부터는 섭입판의 인력에 대한 설명이 등장하기 시작했다. 그러나 15 개정 교육과정 성취기준[12지과I 01-03]에는“판을 움직이는 맨틀의 상부 운동과 …”라는 문장으로 여전히 판을 움직이는 원동력을 맨틀 대류라고 언급하고 있었고, 이에 교과서 소단원명과 본문에는 판을 움직이는 주요한 힘을 맨틀 대류로 설명하고 있었다. 섭입판의 인력과 해령에서 미는 힘은 소수의 교과서에는 본문에 실려있었고, 대부분의 교과서는 자료실이나 보충 그림 자료를 통해 판에 영향을 주는 추가적인 힘으로 설명되어 있었다.

아래 표 2-3은 선행연구에서 분석한 대학 전공 교재에서 기술된 판의 주된 원동력 내용이다(전태환 외, 2016).

표 2-3. 대학 전공 교재 판의 주된 원동력 서술

저자명	판의 주된 원동력	교재 내용
A (2003)	섭입판의 인력	‘무거운 하강판은 자체의 하중으로 인해서 하강하는 것이며, 그 결과 전체 판을 끌어당기게 된다. 이것은 침대 이불 에 연결된 무거운 추를 달아 놓은 것과 유사하다. (중략) 암석권과 연약권의 경계면은 확장 경계로부터 멀어지면서 경사면을 이룬다. 사면의 경사도는 1/100에 지나지 않으나 자체 하중으로 인해서 미끄러져 내려갈 수가 있다’ (p. 499).
B (2007)	섭입판의 인력	‘이 답의 주요 증거는 이 장에서 이미 토의된 판 운동의 속도이다. (중략) 빠르게 움직이는 판들은 대부분의 판 경계부를 따라 섭입되는 것을 알 수 있다. 반면 느리게 움직이는 판은 상당한 부분이 맨틀로 섭입되지 않는다.’ (p. 48).
C (2009)	섭입판의 인력	‘대양저 산맥으로부터 멀어지는 암석권 판의 수평이동이 맨틀의 상승을 유발하며, 반대의 경우는 성립하지 않는다. (중략) 판이 이동하면서 주변의 물질을 잡아 끌어서 맨틀 대류를 유도한다’ (p. 205).

*A: Park et al. (2003), B: Cho et al. (2007), C: Kim et al.(2009)

이와 같이 대학 전공 교재에는 섭입판의 인력이 판을 움직이는 주요한 힘으로 설명되어 있는 모습을 볼 수 있었다. 우리나라는 15개정 교육과정까지 여전히 판 운동 원동력을 맨틀 대류로 서술하고 있었지만 22 개정 교육과정에 처음으로 능동적인 판의 모델에 대한 설명이 추가되어 향후 집필될 교과서에는 서술의 변화가 더욱 기대된다.

제 4 절. 인지갈등 전략과 개념변화

가. 오개념과 선개념

1) 오개념(misconception)

학습자들은 과학적인 상황 및 자연 현상에 부합하지 않는 오개념을 가지고 있으며, 오개념은 교과서나 과학자들이 인정하는 것과는 다른 개념으로 정의된다(권재술, 1999). 오개념의 형성은 수업과정에서 교사와의 의사소통이 미흡하거나 학습자의 인지구조가 미숙한 경우에 발생할 수 있으며, 또한 학습자의 개인적인 경험과 특별한 문화적 경험에 기초하여 수업 이전에 형성될 수도 있다.

2) 선개념(preconception)

선개념은 오개념과 달리 학생이 교육을 받기 전이나 취학 전에 이미 보유하고 있는 개념을 말한다(김범기과 권재술, 1995). 이러한 개념은 주로 학생이 자연환경에서 스스로 형성한 것이다(정진우, 1993). 선개념은 학습자의 선행지식으로써, 학습과정에 지속적인 영향을 미치며, 일부 경우에는 정규 수업 이후에 오히려 강화되거나 과학적 지식과 혼합되어 학습을 방해하게도 한다(Osborne, 1985; 정진우, 1993).

따라서 본 연구의 '맨틀 대류'는 그동안 교육계에서 학습되어왔던 내용으로 오개념이 아닌 선개념으로 이해되어야 하며, 개발된 학습지를 통해 선개념에서 과학 개념으로의 변화를 목표로 한다고 할 수 있다.

나. Hashweh와 권재술의 인지갈등 전략

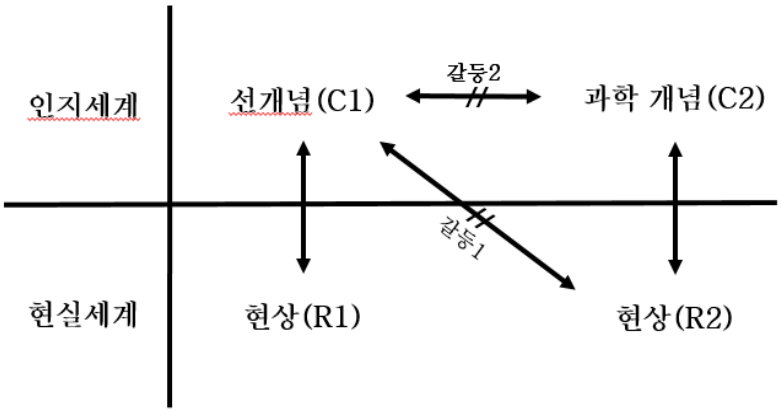


그림 2-7. Hashweh의 인지갈등 전략

인지갈등 모형이란 Hashweh(1986)가 제시한 개념변화 수업 모형 중 하나로 그림 2-7의 인지구조를 가지고 있다. 먼저, 학습자의 인지구조 속에는 학습자의 선개념(C1)과 이를 통해 설명할 수 있는 과학적 현상1(R1)이 존재한다. 그러나 선개념(C1)으로 설명할 수 없는 불일치 상황인 과학적 현상2(R2)가 나타나면, 학습자는 선개념(C1)에 불만족을 느끼고 인지구조의 비평형 상태인 인지갈등이 발생한다(갈등1). 이때 새로운 개념이자 올바른 과학적 개념(C2)가 도입되고 이 과학적 개념(C2)이 과학적 현상2(R2)를 설명하게 된다면 학습자는 갈등1이 해소되고 기존의 선개념(C1)보다 새로운 과학적 개념(C2)이 더 타당하다고 인식하여 개념변화가 일어난다. 또한, 기존의 선개념(C1)과 새로운 과학적 개념(C2)이 인지구조 속에서 상호작용하는 상태인 갈등2가 생길 수도 있다. 따라서 적절한 개념변화를 위해서는 학습자의 인지구조 속에 자리잡고 있던 선개념(C1)으로 해결할 수 없는 불일치 상황이자 과학적 상황(R2) 제시가 가장 중요하다. Hashweh의 인지갈등 전략은 선개념의 인지갈등을 유발하는 과정인 갈등1이 개념변화에 핵심 과정이다.

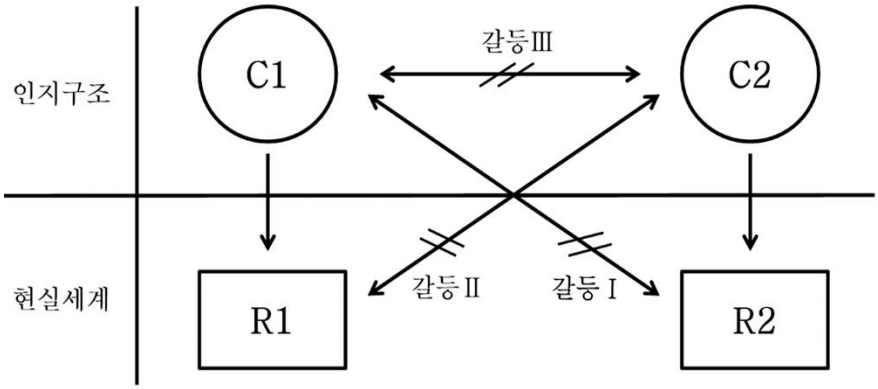


그림 2-8. 권재술의 인지갈등 전략

권재술(1989)은 Hashweh의 인지갈등 모형에서 한 단계 더 나아가 갈등Ⅱ를 추가하여 제안했다(그림 2-8). 이것은 과학적 현상(R2)이 나타났을 때, 과학 개념(C2)과 현상(R1)사이에도 갈등이 존재한다는 것을 의미한다. 갈등Ⅱ는 과학자나 과학 교사는 느끼지 못할 수도 있지만 학생들이 개념을 처음 이해할 때, 새로운 개념으로 R1 환경을 설명하는 것에 대한 불편함을 의미한다. 이러한 갈등 유형은 C1과 C2의 설명 영역을 모두 고려하는 인지구조 재구성 단계를 거쳐야만 해소될 수 있다(권난주와 권재술, 1998). 또한 권재술(1998)은 R2의 준비가 가장 어렵고 중요한 요소라고 설명하며, 이는 교사의 능력에 달려있다고 말한다. R2는 학습자 자신의 생각이 이상하거나 모순되는 것이 드러나야 하며, 문제나 자료, 예시가 너무 복잡하거나 어려워서 학습자의 인지 수준에 맞지 않으면 개념이 변화에 적절하지 않다고 설명하고 있다.

다. Driver의 개념변화 수업모형

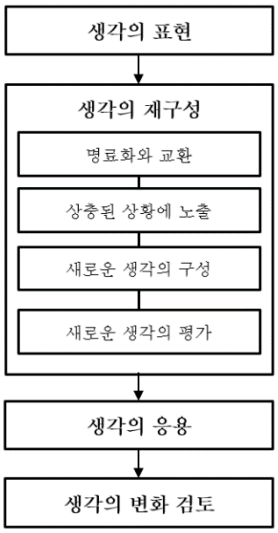


그림 2-9. Driver 개념변화 수업 모형 절차

Driver(1983)의 개념변화 수업 모형은 학교 현장에서 개념변화를 유발하기 위해 널리 사용되는 구체적인 수업 모형이다. 이 모형은 다음과 같은 단계를 거쳐 기존의 개념을 과학적 개념으로 변화시킨다. 먼저, 학생들은 자신의 생각을 표현한다. 그 뒤 인지 갈등이 유발되고 새로운 개념이 도입되는 재구성하는 단계를 거치게 된다. 이후, 새로운 문제나 상황을 통해 재구성된 생각을 응용하고, 변화된 생각을 검토하는 과정을 진행한다.

여기서 핵심 단계는 생각의 재구성 단계로 총 4단계로 다시 세분화된다. 먼저 명료화 단계는 학생들이 자신의 생각을 발표하고 토의를 통해 명료화 하는 과정을 거치게 된다. 이후, 상충된 상황에 노출되는 단계는 학생들의 생각과 상충되는 상황을 경험하여 인지갈등을 유발한다. 다음 새로운 생각의 구성 단계는 상충된 상황을 해결할 수 있는 새로운 개념을 구성해주는 단계이다. 교사는 이 단계에서 새로운 개념을 설명하는 역할을 수행한다. 마지막으로, 새로운 생각의 평가 단계는 새롭게 구성된 생각이 타당하고 적절한지 평가하기 위해 기존의 상충된 상황에 대입하여 검토하는 과정을 거친다.

라. Posner의 개념변화 조건 4가지

Posner(1982)는 개념변화가 효과적으로 발생할 수 있는 조건으로 다음 4가지를 제시했다. 이러한 조건이 모두 적절히 충족될 때, 학습자는 개념변화를 경험할 수 있다고 한다.

첫째, 학습자는 스스로 선개념에 대해 불만족을 느껴야 한다.
둘째, 새로운 개념은 이해할 수 있어야 한다.
셋째, 새로운 개념은 그럴듯해야 한다.
넷째, 새로운 개념은 여러 상황에 유용하게 적용되야 한다.

마. 인지갈등 전략의 또 다른 논의들

불일치 상황의 제시로 인한 인지 갈등은 개념변화에 필수적인 요소이지만, 학습자의 특성과 신념에 따라 변화의 정도가 다를 수 있다. 문성숙과 권재술(2008)에 따르면 학습자들의 다양한 생각과 복잡한 신념이 변인으로 작용하여 개념변화에 영향을 준다. 그러나 인지 갈등 모형은 여전히 오개념을 과학 개념으로 변화시키는데 중요한 전략이며, 박기락(2018)의 연구 동향에서도 인지 갈등 모형을 사용한 연구가 가장 많다. 이로써 인지 갈등은 오개념을 과학 개념으로 변화시키는 핵심 전략임은 틀림없다.

제 3 장 연구 방법

제 1 절. 연구 개요

본 연구는 크게 설계, 개발, 수행 및 분석 단계로 구성된다. 설계 단계에서는 선행연구를 분석하고 연구 문제를 설정했으며, 그에 맞는 실험 설계와 연구 대상자를 선정했다. 개발 단계에서는 핵심적인 개념변화 검사 도구를 개발했다. 이후 연구 계획서를 작성하고 2022년 1-2월에 연구 참여자 모집을 위해 연구 IRB 심의를 거쳤다. 수행 및 분석 단계에서는 선정된 연구 대상자들에게 개발한 검사 도구를 적용했다. 연구 수행이 완료된 후에는 자료 처리와 분석을 수행하여 연구 결과를 도출했다. 연구 과정을 간략하게 요약한 표는 다음과 같다(표 3-1).

표 3-1 연구 과정 개요

연구 구조 및 기간		연구 내용
설계 단계	2021년 03월 – 21년 08월	선행 연구 분석 & 연구 문제 설정 연구 실험 설계 연구 대상자 선정
개발 단계	2021년 09월 – 22년 02월	개념변화 검사 도구 개발
	2022년 02월 – 22년 03월	연구 계획서 작성 및 연구 IRB 승인 연구 참여자 섭외
수행 및 분석 단계	2022년 03월 – 22년 04월	연구 대상자에게 검사 도구 적용
	2022년 04월 – 23년 04월	자료 처리 및 분석
	2022년 09월 – 23년 07월	연구 결과 정리 및 논문 작성

제 2 절. 설계 단계

가. 선행 연구 분석 및 연구 문제 설정

선행연구(전태환 외, 2016)와 본 연구자의 추가 분석을 통해 판의 주된 원동력에 대한 내용이 대학 전공 교재는 과학적 흐름을 반영하고 있지만 학교 교육과정과 교과서는 그렇지 않음을 확인할 수 있었다. 하지만 15 개정부터는 섭입판의 인력이 판에 작용하는 힘 중 하나로 언급되었고(표 2-2), 최근 22 개정 교육과정 지구시스템과학에는 섭입판의 인력으로 움직이는 능동적인 판 모델을 설명하게 되어 있어 앞으로의 서술 변화가 기대된다. 따라서, 본 연구 문제는 과학계의 변화되는 흐름에 맞추어 교육계에도 적용될 수 있도록 다음과 같은 세 가지로 구성했다.

1. 판의 주된 원동력에 대한 개념을 최근 과학 개념 '섭입판의 인력'으로 변화시키기 위해 개발한 구조화된 학습지는 효과적이고 효율적인가?
2. 판의 주된 원동력을 '맨틀 대류'로 알고 있는 예비교사들에게 최근 과학 개념인 '섭입판의 인력'을 인식시켜 주었는가?
3. 지구의 여러 가지 지질/지구물리학적 상황들 중 학습자 관점에서 '섭입판의 인력'을 가장 잘 이해하고 해석할 수 있는 상황은 무엇인가?

나. 실험 설계

본 연구의 실험 설계는 다음과 같이 구성했다(그림 3-1).

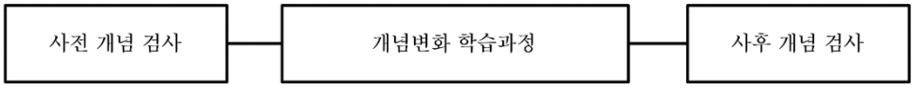


그림 3-1. 연구 실험 설계

하나의 실험 집단에 대해 사전 개념 검사를 실시한 후, 개념변화학습지를 활용하여 판의 주된 원동력에 대한 개념변화 학습을 진행한다. 이후, 동일한 문항으로 구성된 사후 개념 검사를 실시하여 개념변화의 정도를 분석했다.

다. 연구 대상자 선정

본 연구는 판 운동 원동력을 맨틀 대류로 배운 예비교사들을 연구 대상자로 선정하였다. 현재 예비교사들은 오히려 09, 15 개정 혹은 그 이전의 교육과정으로 교육을 받은 학생들로, 판 운동 원동력을 맨틀 대류로 알고 있을 가능성이 높다. 대학 교재가 판 운동 원동력을 섭입판의 인력으로 설명하고 있지만, 대학 강의는 대부분 강의식으로 진행되기 때문에 학생들은 새로운 개념을 암기 중심으로 학습하게 될 것이다.

많은 연구들에 따르면 학습자의 오개념은 견고하기 때문에 과학적 개념을 쉽게 수용하기 어려우며(정진우, 1991), 과학적 개념으로 변하더라도 그 지속성이 낮다는 것이 확인되었다(문충식, 1990; 한인수 2001). 따라서 현재 대학생들이 받는 강의식 수업으로는 중학교 때부터 배워온 뿌리 깊은 선개념인 맨틀 대류가 과학적 개념인 섭입판의 인력으로 쉽게 변화되기 어려울 것이다. 이러한 불안정한 개념을 가진 대학생들이 향후 교사가 된다면, 학생들에게 오개념을 심어줄 우려가 있다. 따라서 교사들의 선개념 교정이 매우 중요하다. 또한 선개념 교정을 하면서 과학적 개념의 흐름과 변화과정을 인식하고 폭넓은 지식을 갖추면, 더욱 차별화된 수업을 진행할 수 있을 것으로 기대된다.

이러한 이유로 본 연구는 예비교사를 대상으로 실시했으며, 연구 대상자로는 대도시에 있는 세 개의 대학 지구과학교육과 수업을 수강하는 과학 예비교사들을 선정했다. 또한 아직 대학교에서 섭입판의 인력에 대해 학습하지 않은 1-2학년 학생들을 대상으로 선정했다.

제 3 절. 개발 단계

가. 연구 설문지 전체 구조

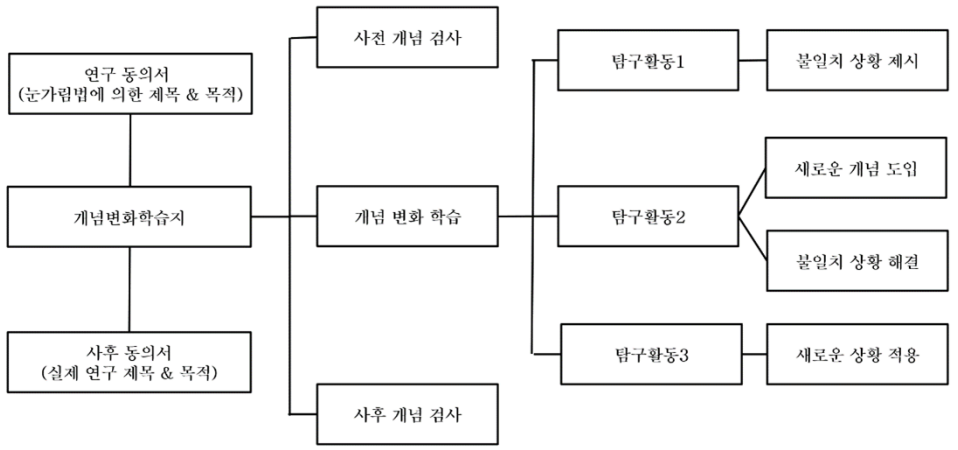


그림 3-2 연구 설문지 전체 구조

개념변화학습지를 포함한 연구 설문지를 설명하면 다음과 같다(그림 3-2). 먼저, 연구 제목과 목적을 눈가림 법으로 제시하고, 참여자들에게 연구 동의를 묻는다. 눈가림 법이란 연구 참여자들이 연구 제목과 목적으로 연구의 의도를 파악해 응답 과정에 영향을 줄 수 있는 경우 임의의 다른 제목과 목적으로 가려서 제시하는 것을 말한다. 본 연구에서도 실제 제목과 목적에 개념변화라는 의도가 포함되어 있어 눈가림 법을 적용했다.

그 다음, 동의를 한 연구 참여자들은 개념변화학습지를 풀게 된다. 본격적인 개념변화학습지는 사전 개념 검사, 개념변화 학습, 사후 개념 검사로 구성되어 있다. 개념변화학습지의 응답이 완료되면 눈가림 법에 대한 설명과 실제 연구

제목 및 목적을 밝혀 연구 데이터 사후 동의를 확인하고 마무리한다. 또한 본 연구 설문지의 양식은 당시 코로나 상황을 고려하여 on/off-line 모두 사용할 수 있도록 구글 온라인 설문지로 제작했다.

나. 개념변화학습지 개발

개념변화 학습지는 사전 개념 검사, 개념변화 학습, 사후 개념 검사로 구성되어 있다. 사전과 사후 개념 검사는 총 8문항으로 이루어져 있으며, 사후 개념 검사에는 8문항 외에도 개념변화 조건에 대응한 리커트 척도 문항을 추가하여 학습자가 개념변화 만족도를 스스로 판단할 수 있도록 했다.

실험의 본격적인 단계인 개념변화학습지는 총 4단계로 구성되어 있다. 이 단계는 학습자들에게는 탐구활동 1, 2, 3 단계로 제시되었지만, 실질적인 목적에 맞는 명칭은 다음과 같다. 탐구활동 1은 불일치 상황 제시, 탐구활동 2는 새로운 개념 도입 및 불일치 상황 해결, 탐구활동 3은 새로운 개념 적용 및 활용이다. 이러한 학습 단계는 Hashweh의 인지갈등 전략과 Driver의 개념변화 수업 모형을 기반으로 개발되었다(그림 3-3).

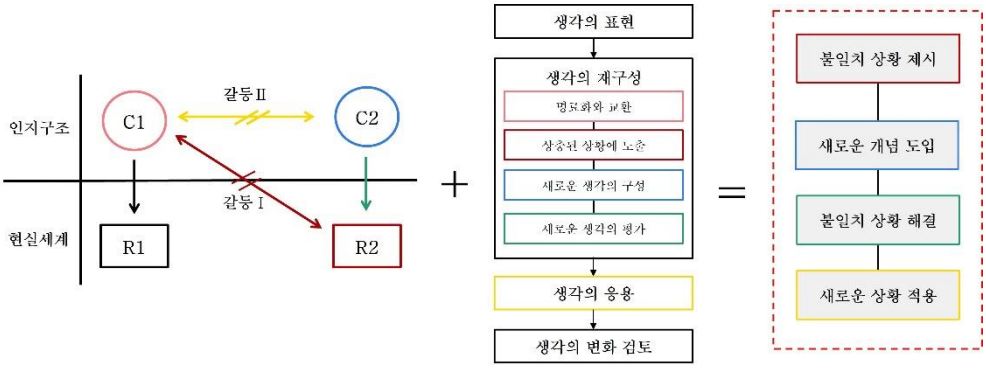


그림 3-3. 개념변화 학습단계 개발

각 학습 단계는 실제 지구에서 발생하는 지질학적 상황을 맨틀 대류와 섭입판의 인력으로 해결해보는 활동으로 구성되어 있으며(그림 3-4), 각 문제는 문장 완성형의 문제와 선택형 보기를 가지고 있다. 학습자가 스스로 상황을 해결

할 수 있도록 각 상황당 문항을 이해 순서에 맞게 제시하였으며, 순서대로 답을 찾아가면 결국 지질학적 상황을 이해하게 되는 흐름을 갖추도록 설계했다.

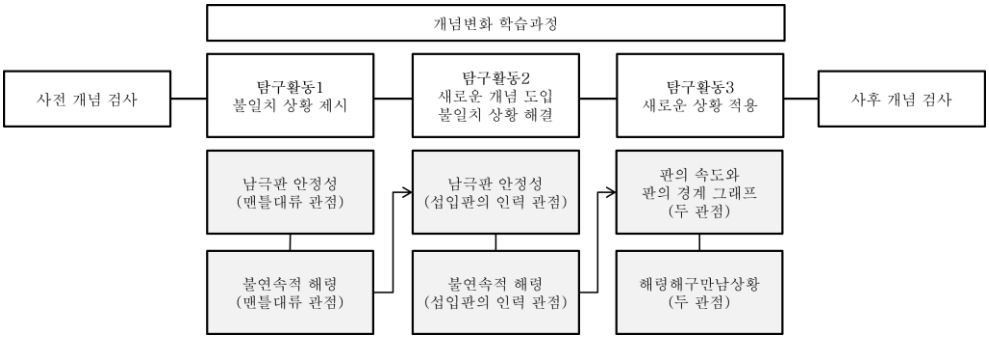


그림 3-4. 개념변화학습지 구조

1. 사전 개념 검사

사전 개념 검사 단계에서는 학습자들의 사전 개념을 조사하고, 학습자들은 자신의 사전 개념을 생각하고 확인한다. 총 8개의 문항 중 판의 주된 원동력이 무엇인지에 대한 주요 문항 1개와 맨틀 대류 관점 및 섭입판의 인력 관점에서의 특징을 묻는 7개의 보조 문항들로 구성되어 있다.

2. 탐구활동1 - 불일치 상황 제시 , 인지갈등 유발단계

불일치 상황 제시 단계는 개념변화에서 가장 중요하며, 인지갈등을 유발하는 단계이다. 이 단계는 Driver의 개념변화 수업 모형에서 상충된 상황에 노출되는 단계에 해당하며(그림 2-9), Hashweh의 인지갈등 전략 모형에서 갈등1에 해당한다(그림 2-7). 이 단계에서는 학습자들이 가지고 있는 선개념이나 오개념으로 해결되지 않는 불일치 상황(과학적 상황 R2)에 직면하게 해 인지갈등을 유발하는 것을 목표로 한다. 본 연구 학습지에서는 맨틀 대류로 움직이는 판 모델, 즉 수동적인 판 모델로 설명되지 않는 지질학적 현상인 남극판 안정성 문제와 불연속적 해령 문제를 제시하여 인지갈등을 유발한다.

3. 탐구활동2 - 새로운 개념 도입 & 불일치 상황 해결(인지갈등 해소)

새로운 개념 도입 단계는 학습자들에게 새로운 과학적 개념을 소개하는 단계로, Driver의 새로운 생각의 구성 단계(그림 2-9) 및 Hashweh의 인지갈등전략 중 과학개념(C2)에 해당한다(그림 2-7). 이 단계는 수업 현장에서는 교사의 설명을 통해 도입되지만, 본 연구 학습지에서는 새로운 개념인 섭입판의 인력을 그림과 설명으로 제시하였다.

불일치 상황 해결 단계는 새로 도입된 개념을 사용하여 이전에 해결하지 못했던 불일치 상황을 해결하는 단계이다. Driver의 새로운 생각의 평가 단계(그림 2-9) 및 Hashweh의 인지갈등 전략에서는 과학개념 C2가 과학적 상황 R2를 해결함으로써 개념이 변화될 수 있다는 단계이다(그림 2-7). 본 연구 학습지에서는 선개념으로 설명되지 않았던 남극판 안정성 문제와 불연속적 해령 문제를 다시 제시하고, 이를 능동적인 판 모델로 해결해보도록 하여 수동적인 판 모델로 생긴 인지갈등을 해소하게 한다.

4. 탐구활동3 - 새로운 상황 적용

새로운 상황 단계는 불일치 상황에서 제시한 지질학적 현상 이외에도 다른 새로운 지질학적 현상을 소개하는 단계로, Driver의 개념변화 수업 모형에서 생각의 응용 단계에 해당한다(그림 2-9). 이는 Hashweh의 인지갈등 전략에서 선개념과 과학적 개념 사이의 갈등2를 해소하기 위해 사용된다(그림 2-7). 본 연구 학습지에서는 판의 이동 속도와 판의 경계 그래프, 해령과 해구의 만남 상황이라는 두 가지 새로운 지질학적 문제를 해결하게 된다. 이 과정에서 학습자들은 능동적인 판 모델이 적절하게 해결될 수 있다는 것을 경험하면서, 새로운 개념이 다양한 상황에 유용하게 적용될 수 있다는 인식을 얻게 된다. 이를 통해 Hashweh의 인지갈등 전략의 갈등2가 해소되어 개념이 더욱 적극적으로 변화할 수 있다.

5. 사후 개념 검사

사후 개념 검사 단계는 학생들의 개념변화 학습이 완료된 후 개념이 어떻게

구성되었는지 확인하는 단계로, 본 연구 학습지에서는 사전 개념 검사와 동일한 문항 8개를 제시했다. 또한, Posner의 개념변화 조건에 대응하는 문항을 생성하여 리커트 5점 척도를 활용하여 응답하도록 했다. 이를 통해 학습자들이 개념변화 학습을 진행하면서 각 개념변화 조건에 대해 어느 정도 인식하고 만족하고 있는지 조사했다.

다. 검사 도구의 타당성을 위한 노력

개념변화 검사 도구의 개발 과정은 과학 교육 전문가 3명과 3차례의 검토를 거쳐 완성되었다. 검사 도구를 완성한 후에는 과학 교육 대학원생 2명을 대상으로 파일럿 테스트를 실시하여 학습자 시선에서 수정 및 보완을 거쳤다.

라. 연구 IRB 심의 및 연구 참여자 섭외

인간 대상 연구를 수행하기 위해서는 연구 대상자의 인권과 개인정보 보호를 위해 서울대학교 생명윤리위원회(IRB)의 승인이 필요하다. 본 연구도 개념변화를 주제로 하는 인간 대상 연구이므로 연구 계획서 작성 후 심의를 거쳐 서울대학교 생명 윤리 심의위원회의 승인을 받았다. IRB 승인 이후에는 각 대학의 지구과학교육과에 모집 문서를 제출하여 참여 대학을 모집했다.

제 4 절. 수행 및 분석 단계

가. 연구 수행 및 자료 수집

2022년 3월부터 약 두 달간 세 대학에서 최종 완성된 개념변화 검사지를 사

용하여 연구를 진행했다. 연구 설문지의 첫 페이지에는 연구 동의서를 작성하여 연구 참여에 자율성을 부여했다. 대학별로 연구를 수행한 날짜와 참여자 수는 다음과 같다(표 3-2). 총 검사 소요 시간은 약 30분이었으며, 시간이 부족하지 않도록 충분한 여유 시간을 제공했다. 자료 수집은 온라인 학습지에 모든 응답을 완료한 후 '제출' 버튼을 누르면 자동으로 수집되었다.

표 3-2. 대학별 연구 수행 날짜 및 참여자 수

대학분류	연구 수행 날짜	연구 참여자 수
A대학	2022년 03월 15일	15
B대학	2022년 03월 16-17일	34
C대학	2022년 03-04월	12
전체		61
연구 데이터 수집 여부	동의	59
	비동의	2

A대학과 B대학은 2022년 3월 당시 대면 수업을 진행하고 있어 연구도 대면으로 진행했고, C대학 같은 경우 당시 코로나 여파로 비대면 수업을 실시하고 있어 사전 녹화된 연구 설명 영상과 연구 설문지를 전달하여 연구를 진행했다. 이에 C대학은 3-4월에 걸쳐 연구 데이터를 수집했다. 연구에 참여한 인원은 A대학은 15명, B대학은 34명, C대학은 12명으로 총 61명이었으며, 이 중 연구 데이터 수집에 동의하지 않은 2명을 제외한 59명의 데이터를 분석에 활용했다.

나. 자료 처리 및 분석 방법

자료 처리는 연구 목적에 맞게 SPSS/PC를 이용해 분석했다. 학습자들의 판운동의 원동력에 대한 사전 개념 검사, 개념변화 학습과정, 사후 개념 검사를 전체를 분석했으며, 사전 개념 검사와 개념변화 학습과정은 기술통계를 활용하여 빈도 분석을 진행했고, 사후 개념 검사에는 빈도 분석과 통계 분석을 사

용했다. 통계 분석에는 사전과 사후의 차이를 확인할 수 있는 대응 표본 t 검정을 사용했다.

다. 연구의 제한점

본 연구는 예비교사들을 대상으로 한 개념변화 연구로서 몇 가지 제한점이 있다.

1) 연구 대상은 대도시에 있는 세 개의 대학에서 사범대학 지구과학교육과 수업을 수강하는 학생들로 정했다. 이 세 대학은 동일한 집단으로 간주하고 분석했고, 대학별로 예비교사들의 학습 수준은 구별하지 않았다. 하지만 지구과학1,2 선 이수 여부를 조사한 결과, 선 이수 여부와 사후 개념 결과와의 연관성은 없는 것으로 확인되어, 사전 지식의 여부와는 관련이 없을 것으로 생각된다.

2) 또한, 본 연구에서는 세 개의 대학의 과학 예비교사들을 대상으로 모집한 59명의 학습자 데이터를 분석해 결과를 도출했다. 그러나 이러한 결과는 전체 과학 예비교사들에게 일반화하는 데는 제한이 있을 수 있다.

제 4 장 연구 결과

연구 결과는 학습자의 개념변화 과정 흐름대로 분석했다. 우선, 학습자의 판 운동 원동력에 대한 사전 개념이 어떠했는지 사전 개념 검사의 응답을 분석했으며, 두 번째로, 개념변화 학습과정에서 학습자들이 응답한 내용을 분석해 학습자들의 인지과정을 확인했다. 세 번째로, 본 연구의 핵심인 개념변화

학습과정을 통해 적절하게 개념이 변화하였는지 사후 개념 검사를 분석했다. 사후 결과 분석에는 세 가지 측면을 고려하였는데 첫째로, 사전과 사후 개념 변화 결과를 비교하여 유의미한 변화가 있는지 확인했으며, 둘째로, 학습자 관점에서 섭입판의 인력을 가장 잘 이해하는 지질학적 상황은 무엇인지 알아보았으며, 세번째로, Posner의 개념변화 조건을 활용한 리커트 척도 문항을 통해 학습자들의 개념변화 만족도를 알아보았다. 사전과 사후 개념변화 분석에는 유의미한 변화가 있었는지 확인하기 위해 데이터 변환 후 대응 표본 t 검정을 활용해 결과를 분석했으며, 리커트 척도 문항 분석에는 학습자 전체의 문항별 점수 분포를 확인하고 사후 결과 집단별로 나누어 세부적인 차이를 확인했다.

제 1 절. 개념변화 학습 전 개념 검사 결과

사전 개념 검사지와 사후 개념 검사지는 동일하며, 총 8 문항으로 되어 있다. 이 중에 판의 주된 원동력을 묻는 문제는 1번 문항이며, 나머지 7 문항은 맨틀 대류와 섭입판의 인력을 묻는 보조 문항이다. 연구 목적은 판의 주된 원동력을 맨틀 대류에서 섭입판의 인력으로 변화시키고자 하는 것으로, 핵심 문항은 1번 문항이라고 볼 수 있다. 사전 개념 검사 문항과 응답표는 다음과 같다(표 4-1, 4-2, 4-3).

표 4-1. 사전 개념 검사 1번 결과 응답표

판의 주된 원동력 사전 개념 조사		응답 유형	응답수 (%)
1. 판이 이동하는 주된 원동력은 무엇이라고 생각하나요?	a	맨틀 대류	53(89.8)
	b	**섭입판의 인력**	**4(6.8)**
	c	잘 모르겠다.	2(3.4)

(볼드체는 문항의 정답을 의미한다.)

사전 개념 조사 결과 핵심 문항인 1번 '판이 이동하는 주된 원동력은 무엇이라고 생각하나요?' 물음에 대해 53명(89.3%)이'맨틀 대류'라고 응답하였으며, 4명(6.8%)은 '섭입판의 인력'이라고 응답하였고, 2명(3.4%)은 ' 잘 모르겠다'이고 응답하였다(표4-1). 이로써 15 개정 혹은 그 이전 교육과정으로 배운 학습자 중 약 90%가 판의 주된 원동력을 '맨틀 대류'로 인지하고 있다는 사실을 확인할 수 있었다. '섭입판의 인력'을 답한 4명의 학습자는 이미 대학교 안에서 이 내용을 배웠거나, 혹은 고등학교 시절 변화되는 학계 흐름을 알고있는 교사에게 설명을 들었을 가능성이 있다고 보았다. '잘 모르겠다'로 답한 2명의 학습자는 지구과학교육과가 아닌 타 과학교육과 학생으로 학습자 1은 지구과학1은 이수하였지만, 본인의 주 과목이 아니었기에 기억을 못 하는 것으로 생각되며, 다른 학습자 2는 지구과학1, 2 모두 미이수 학생으로 판의 원동력에 대한 개념이 중학교 때 배운 기억 이후로 없어 '잘 모르겠다'를 선택한 것으로 보았다.

2번 문항부터는 맨틀 대류에 대한 하위 사전 개념을 조사한 것으로, 맨틀 대류 관점에서 맨틀 대류의 수평, 수직 길이 비는 어떻게 되는지(2번), 해령과 해구 생성 기작이 어떻게 되는지(3번), 판 운동의 시작은 어디부터인지(4번), 여러 개의 판의 속도는 맨틀 대류 세포와 연관이 되는지(5번) 물었다. 학습자들의 응답 결과는 다음과 같다(표 4-2).

표 4-2. 사전 개념 검사 2번-5번 결과 응답표

맨틀 대류 관점에 대한 사전 개념 조사		응답 유형	응답 수(%)
2. 맨틀 대류 세포의 수직 깊이 : 수평 길이의 비율은 어떻게 되는지 아래 보기 중에 골라보세요. (용어 설명 : 대류 세포란, 맨틀이 대류할 때 하나의 단위 세포)	a	**대류 세포 수평 : 수직 길이 비 = 1:1**	**12(20.3)**
	b	대류 세포 수평 : 수직 길이 비 = 5:1	17(28.8)
	c	대류 세포 수평 : 수직 길이 비 = 1:5	18(30.5)
	d	잘 모르겠다.	12(20.3)
3. 아래 문장을 완성해보고, 괄호 안에 답이 순서대로 짝지어진 것을 고르세요. 판의 주된 원동력이 "맨틀 대류"라면 맨틀 대류의 상승부는 (해령, 해구)를 만들고, 하강부는 (해령, 해구)를 만든다.	a	해령, 해령	0(0)
	b	**해령, 해구**	**55(93.2)**
	c	해구, 해령	1(1.7)
	d	해구, 해구	0(0)
	e	잘 모르겠다.	3(5.1)
4. 아래 문장을 완성해보고, 괄호 안에 적절한 답을 고르세요. "맨틀 대류"로 판이 움직일 때, 판의 운동이 시작되는 곳은 (해령, 해구)이다.	a	**해령**	**49(83.0)**
	b	해구	5(8.5)
	c	잘 모르겠다.	5(8.5)
5. 아래 문장을 완성해보고, 괄호 안에 답이 순서대로 짝지어진 것을 고르세요. 지구는 여러개의 판으로 이루어져 있으며, 각 판의 이동 속도는 (같다 , 다르다). 이는 맨틀 대류 세포의 속도와 관계가 (있다 , 없다).	a	같다, 있다	0(0)
	b	같다, 없다	0(0)
	c	다르다, 있다	50(84.7)
	d	**다르다, 없다**	**7(11.9)**
	e	잘 모르겠다	2(3.4)

(볼드체는 각 문항의 정답을 의미한다.)

2번의 '맨틀 대류 세포의 수직 : 수평 길이 비'를 고르는 문제에 대해서는 '1:1'이 12명(20.3%), '5:1'이 17명(28.8%), '1:5'가 18명(30.5%), '잘 모르겠다'가 12명(20.3%)으로 조사되었다. 이 문항은 학생들이 고등학생 때 배우지 않은 개념으로 응답 또한 여러 개로 분산된 것을 확인할 수 있었다. 이 문항은 개념변화 과정에서 문제를 해석하는 데 있어 맨틀 대류의 하위 개념이 필요할 것으로 보아 문제를 통해 인식시키고 개념변화 과정을 통해 습득할 수 있을 것으로 보았다.

3번 문항인 '맨틀 대류의 상승부와 하강부가 만드는 판의 경계는 무엇인가'라는 질문에 55명(93.2%)이 맨틀의 상승부는 해령, 하강부는 해구라는 정확한 답을 알고 있었으며, 이는 고등학교 때 배운 맨틀 대류의 개념을 잘 기억하고 있음을 알 수 있었다. 다른 응답으로는 '잘 모르겠다' 3명과 오답 1명으로 판의 주된 원동력에 대해 잘 몰랐던 학습자들과 추가로 오개념을 가진 학습자로 알

수 있었다.

4번 문항인 ‘맨틀 대류로 판이 움직일 때, 판의 운동이 시작되는 곳은 해령인가 해구인가’의 질문에 ‘해령’이라고 답한 학습자가 49명(83.0%)이었으며, ‘해구’는 5명(8.5%), ‘잘 모르겠다’가 5명(8.5%)이 나왔다. 이는 약 83%의 학습자들은 맨틀이 올라오는 상승부가 판 운동의 시작 지점인 것으로 응답했고 약 9%의 학습자들은 맨틀이 하강하는 곳이 시작 지점인 것으로 응답했으며, 나머지 약 9%의 학습자들은 두 곳 중 어느 곳이 시작 지점인지 구별하지 못하는 모습을 보였다.

5번 문항인 ‘지구는 여러 개의 판으로 이루어져 있는데, 각 판의 속도는 각기 다른가? 그렇다면 이러한 원인은 맨틀 대류 세포 속도와 관계가 있는가?’라는 질문에 50명(84.7%)은 판의 속도는 다 다르며, 맨틀 대류 세포와 관련이 있다고 답했다. 이는 판의 주된 원동력으로 약 90%의 학습자가 ‘맨틀 대류’로 답한 결과와 같은 맥락으로 생각할 수 있으며, 판의 주된 원동력에 대한 개념변화가 이루어진 후에는 5번 문항의 답변 또한 달라질 것이라 기대해 볼 수 있었다.

2번부터 5번까지의 맨틀 대류 사전 개념 검사 결과는 대류 세포에 관련된 2번과 맨틀 대류가 판의 속도와 관련이 있는지 묻는 5번 문항이 오답률이 많이 나왔으며, 반면에 3번과 4번은 문항은 정답률이 높았다. 2번 문항은 대류 세포의 관점은 처음 접하는 내용이고, 5번 문항은 맨틀 대류를 판 운동의 주된 원동력으로 알고 있어 오답률이 높은 것으로 생각되었다. 3번과 4번 문항은 수업 시간에 맨틀 대류로 생성되는 해령과 해구의 모습을 잘 알고 있어 정답률이 높은 것으로 생각된다. 판 운동의 주된 원동력과 대류 세포 내용은 개념변화 학습과정에서 다룰 예정이므로, 사후 개념 결과에서 2번과 5번 문항의 정답률이 증가할 것을 기대해 볼 수 있었다.

6번부터 8번 문항까지는 섭입판의 인력에 대한 하위 사전 개념을 조사하는 문항이며, 판 운동의 시작은 어디서부터 인지(6번), 섭입판의 인력 관점에서 해

령의 생성 모습은 어떻게 되는지(7번), 여러 개의 판의 속도는 해구에서 섭입하는 판의 속도와 관련이 있는지(8번) 물었다. 섭입판의 인력에 대한 교육을 거의 받지 않았을 것으로 생각해 사전 개념이 거의 없을 것으로 예상했다. 학습자들의 응답 결과는 다음과 같다(표 4-3).

표 4-3. 사전 개념 검사 6번-8번 결과 응답표

섭입판의 인력에 대한 사전 개념 조사		응답 유형	응답 수(%)
6. 아래 문장이 완성해보고, 괄호 안에 적절한 답을 고르세요. "섭입판의 인력"으로 판이 움직일 때, 판의 운동이 시작되는 곳은 (해령, 해구)이다.	a	해령	6(10.2)
	b	**해구**	**50(84.7)**
	c	잘 모르겠다.	3(5.1)
7. 아래 문장이 완성해보고, 괄호 안에 적절한 답을 고르세요. 판의 주된 원동력이 "섭입판의 인력"이라면 해령은 (해구에서 잡아당기는 힘에 의해 확장되는 곳, 맨틀의 상승부로 확장되는 곳) 이다.	a	**해구에서 잡아당기는 힘에 의해 확장되는 곳**	**46(78)**
	b	맨틀의 상승부로 확장되는 곳	8(13.6)
	c	잘 모르겠다.	5(8.5)
8. 아래 문장을 완성해보고, 괄호 안에 답이 순서대로 짝지어진 것을 고르세요. 지구는 여러개의 판으로 이루어져 있으며, 각 판의 이동 속도는 (같다 , 다르다). 이런 원인은 해구에서 판이 맨틀 속으로 섭입하는 속도가 (같기 , 다르기) 때문이다.	a	같다 / 같기	0(0)
	b	같다 / 다르기	1(1.7)
	c	다르다 / 같기	0(0)
	d	**다르다 / 다르기**	**55(93.2)**
	e	잘 모르겠다.	3(5.1)

(볼드체는 각 문항의 정답을 의미한다.)

6번 문항인 '섭입판의 인력 관점에서 판 운동의 시작은 어디인가?'라는 질문에 50명(84.7%)이 정답인 '해구'를 답했다. 학습자들의 84%가 섭입판의 인력의 판 운동 시작 지점을 잘 인지하고 있었다. 다른 응답으로는 '해령'은 6명(10.2%), '잘 모르겠다'는 3명(5.1%)으로 섭입판의 인력의 판 운동 시작 지점에 대해 오개념을 가진 학습자들과 관련 개념을 모르는 학습자들이 15% 정도 되었다.

7번 문항은 '판의 주된 원동력이 섭입판의 인력일 때 해령의 생성기작은 무엇인가?'라는 질문에 46명(78%)이 정답인 '해구에서 잡아당기는 힘으로 확장되는 곳'으로 답했다. 이 역시 학습자들이 섭입판의 인력으로 생기는 해령의 모습을 많이 알고 있었다. 하지만 이는 맨틀 대류와 상반되는 보기를 통해 정답을 유추했을 가능성도 있다고 보았다. 그 외 13명의 학습자는 섭입판의 인력에

대한 개념을 정확히 알지 못해 틀린 답을 고르거나, 잘 모르겠다는 답을 했다.

8번 문항은 ‘판의 속도와 해구로 섭입하는 판의 속도와 관련이 있는가?’를 묻는 문항이었다. 그 결과 55명(93.2%)이 정답인 ‘d’를 답했다. 이 또한 판의 속도는 다 다르며, 해구에서 판이 섭입하는 속도가 다 같지 않다는 것을 알고 있었다. 그 외에 4명의 학습자는 잘 모르겠거나 오개념을 가지고 있었다.

이렇듯 6번부터 8번까지 섭입판 인력에 대한 사전 개념을 묻는 문항은 교과서에서 제대로 배운 적이 없다고 생각해 정답률이 낮을 것으로 예상했으나 전반적으로 정답률이 높았다. 이는 맨틀 대류와 상반되는 지식으로 유추해 풀었거나 힘의 명칭에서 힌트가 되었을 것으로 생각되었다. 또한, 학습자 중 일부는 현재 15 개정으로 나온 몇 개의 교과서에 섭입판의 인력이 판에 작용하는 힘들 중 하나로 설명이 되어있어 이를 사전에 배웠을 수 있다고 생각되었다. 또한 이 중에서는 7번 문항이 가장 오답률이 높았다. 이는 다른 문항들은 교과서에 나온 내용에 덧붙여 생각해볼 수 있는 문제이지만, 7번 문항인 섭입판의 인력으로 생성되는 해령의 모습은 처음 접하는 문제라 오답률이 다른 문항에 비해 더 높았던 것으로 생각됐다.

제 2 절. 개념변화 학습과정 결과

개념변화 학습과정 결과에서는 개념변화 학습지에 학습자들이 응답한 내용을 분석하여 각 단계별로 어떤 인지과정을 거쳤는지, 개념변화 단계에 따라 인식이 어떻게 변화하는지 확인했다. 개념변화 학습지는 총 4단계로 구성되어 있으며, 탐구활동은 3가지로 되어있다. 불일치 상황에 직면하는 탐구 활동 1, 불일치 상황으로 인한 인지갈등을 새로운 개념으로 해결하는 탐구 활동 2, 기존의 맨틀 대류 개념과 새로운 개념인 섭입판의 인력을 적용해보고 새로운 개

념을 재평가하는 탐구 활동 3으로 구성되어 있다. 각 단계에서는 두 가지 지질학적 현상을 문제로 제시하였으며, 교사가 직접 지도하는 방식이 아닌 학습자들이 학습지를 직접 읽고 문항을 이해하고 고민하여 답을 찾을 수 있도록 구성했다.

가. 불일치 상황 제시 단계

불일치 상황 제시 단계에서는 맨틀 대류 관점으로 해결할 수 없는 두 가지 지질학적 상황을 제시하여 학습자들이 인지갈등을 느끼도록 하는 단계이다.

[맨틀 대류 관점“남극판 안정성” 문제 설명]

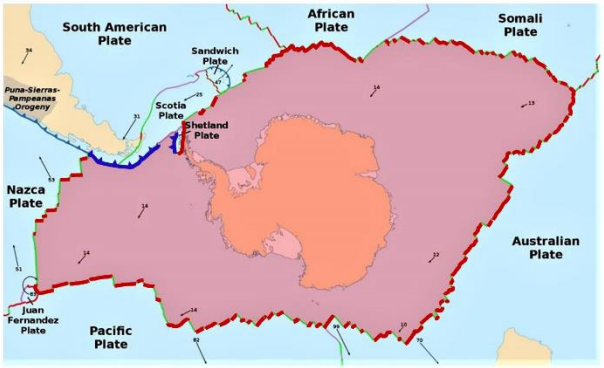
첫 번째 불일치 상황은 “남극판의 안정성” 문제로, 세계에서 가장 안정적인 남극판에 대한 문제를 맨틀 대류 관점에서 해결해보는 것이다. 맨틀 대류 관점에서는 뜨거운 맨틀이 상승하는 지점인 해령에서 판의 운동이 시작되며, 해령이 많을수록 판의 운동이 활발하고 판의 움직임과 속도가 빠르다고 설명된다. 그러나 실제로 남극판의 경계는 대부분 해령과 변환단층으로 이루어져 있지만 세계에서 가장 안정적인 판으로, 판의 속도가 매우 느리다. 이러한 모순 현상을 맨틀 대류 관점에서 해결할 수 없다는 점을 학습자들에게 인식시키기 위해 단계적으로 이해할 수 있는 문제를 제시했다. 문제와 학습자들의 응답은 다음과 같다(그림 4-1, 표 4-4).

그림 4-1. 남극판 안정성 문제

탐구1-1 세계에서 가장 안정적인 남극판

[문제 설명]

지구는 여러 개의 판으로 나뉘어져 있다. 그 중 남극판은 세계에서 가장 움직임이 느린 안정적인 판이다 . 남극판은 어떻게 세계에서 가장 안정적인 판이 될 수 있을까?



[그림 설명] 그림의 붉은 영역은 남극판이다. 남극판의 경계를 보면 빨간색은 해령, 연두색은 변환단층, 파란색은 해구를 나타내고 있다. 이 그림을 보고 아래 문제에 답해보세요.

[맨틀 대류 관점 "남극판 안정성" 문항 설명]

남극판 안정성을 맨틀 대류 관점에서 설명할 수 없다는 불일치 상황을 인식시키기 위해 다음과 같은 5개의 하위 문항을 만들었고 문항은 이해 순서에 맞게 구상했다. 1-1. 남극판 경계 그림을 보고, 해령과 해구의 경계 중 어떤 경계가 더 많은지 해석한다. 1-2. 세계에서 가장 안정적인 판이 되기 위해서는 판의 운동이 활발해야 할지, 활발하지 않아야 할지에 대해 답한다. 1-3. 맨틀 대류 관점에서 판의 운동은 어떤 경계부터 시작되는지 답한다. 1-4. 활발하지 않기 위해 상대적으로 적어야 하는 판의 경계가 실제 남극판의 경계와 유사한지 확인한다. 1-5. 마지막으로, 남극판이 세계에서 가장 안정하다는 상황을 맨틀 대류로 설명할 수 있는지에 대해 확인한다.

표 4-4. 맨틀 대류 관점에서의 남극판 안정성 문제 응답표

문항	문항 / 응답 유형		응답 수(%)
1-1	위 그림을 보면, 남극판의 경계는 거의 (해령과 변환단층 , 해구)(으)로 이루어져 있고, (해령과 변환단층 , 해구)은(는) 상대적으로 적다.		
	a	해령과 변환단층 / 해령과 변환단층	1(1.7)
	b	**해령과 변환단층 / 해구**	**55(93.2)**
	c	해구 / 해령과 변환단층	3(5.1)
	d	해구 / 해구	0(0)
1−2	남극판은 판의 속도가 세계에서 가장 느린 안정적인 판이다. 그 의미는 판의 운동(움직임)이 (활발하기, 활발하지 않기) 때문이다.		
	a	활발하기	2(3.4)
	b	**활발하지 않기**	**57(96.6)**
1−3	판의 주된 원동력이 "맨틀 대류"라면 판의 운동은 (해령 , 해구)에서 시작된다. 그렇다면 판의 운동(움직임)이 활발하지 않으려면 판의 경계에 (해령 , 해구)이(가) 상대적으로 적어야 한다.		
	a	**해령 / 해령**	**41(69.5)**
	b	해령 / 해구	13(22)
	c	해구 / 해령	1(1.7)
	d	해구 / 해구	4(6.8)
1−4	문제 1−3에서 답한 판의 운동이 활발하지 않기 위해 상대적으로 적어야 하는 판의 경계는 실제 남극판의 경계의 분포와 유사한가요?		
	a	예	22(37.3)
	b	**아니오**	**37(62.7)**
1−5	그렇다면 남극판이 세계에서 가장 안정하다는 것은 "맨틀 대류설"로 설명 가능한가요?		
	a	예	14(23.7)
	b	**아니오**	**33(55.9)**
	c	잘 모르겠다.	12(20.3)

(볼드체는 각 문항의 정답을 의미한다.)

[맨틀 대류 관점 “남극판 안정성” 문항 응답 결과]

학습자들의 응답 결과는 다음과 같다(표 4-4). 문항 1-1과 문항 1-2는 판 운동 원동력 구분없이 그림을 보고 해석하는 문제로 해당 답은 학습자의 90%이상의 정답률을 보였다.

문항 1-3부터는 판 운동 원동력의 관점을 고려하여 관점별로 해석하는 문제를 제시했다. 먼저, 문항 1-3에서는 맨틀 대류 관점에서 판 운동의 시작 지점과 판 운동이 활발하지 않기 위해 어떤 판의 경계가 적어야 하는지 물었고, 이 문항에 대해 정확하게 이해하고 있는 학습자는 41명(69.5%)이었으며 나머지 30%의 학습자들은 분산된 정답을 제시했다.

다음 문항인 문항 1-4는 문항 1-3에서 해석한 결과와 실제 남극판의 경계와 유사한지 물었는데 정답인 유사하지 않다고 답한 학습자가 37명(67.2%)으로 가장 많았다. 유사하다고 답한 학습자들은 22명(37.3%)이었는데 이는 앞선 문항 1-3을 잘못 해석하여 나온 결과로 생각해볼 수 있었다.

최종 문항인 1-5에서는 가장 많은 답변이 '아니오'인 33명으로, 약 56%의 학습자가 남극판 안정성에 대한 문제를 맨틀 대류 관점에서 설명할 수 없다고 답했다. 이러한 응답은 맨틀 대류 관점에서 불일치 상황을 인식하여 강한 인지갈등을 느낀 것으로 해석할 수 있다. 12명(20.3%)의 학습자들은 '잘 모르겠다'로 답했는데, 이는 맨틀 대류로 설명되지는 않지만 선개념을 부정하기에 어려운 학습자들이거나 앞선 문제를 정확히 이해하지 못한 학습자들로 생각할 수 있다. 또한, 여전히 14명(23.7%)의 학습자들은 맨틀 대류로 남극판의 안정성을 설명할 수 없음에도 불구하고 여전히 설명이 가능하다고 답했다.

[맨틀 대류 관점 “불연속적 해령” 문제 설명]

두 번째 불일치 상황은 "불연속적 해령" 문제이다. 이 문제에서는 해령이 불규칙하고 불연속적으로 형성되는 모습을 맨틀 대류 관점에서 해결해야 한다. 맨틀 대류 관점에서는 대류 세포가 3차원의 정육면체 형태로 대류하며, 이 대류 세포는 실험적으로 1:1:1의 길이 비를 가진 것으로 알려져 있다. 여기서 대류 세포의 각 길이를 지구에 대입하면 맨틀의 두께, 해령과 해구까지의 거리, 분절된 해령과 해령 사이의 거리를 나타내며, 이 모든 길이는 1:1:1의 비율을 가져야 한다. 그러나 실제 상황에서는 맨틀의 두께는 약 2900 km이며, 해령과 해구 사이의 거리는 수천-수만 km로 매우 멀고, 해령과 해령 사이는 수십-수백 km로 불규칙하게 끊어져 있다. 이렇게 실험적으로 알려진 대류 세포의 1:1:1 길이 비가 실제로 성립하지 않는 모순점을 인식시키기 위해 단계적인 문제를 제시했다(그림 4-2, 표 4-5).

[맨틀 대류 관점 “불연속적 해령” 문항 설명]

"불연속적 해령" 문제에 대한 하위 문항은 3개로 구성되어 있다. 각 문항의 내용은 다음과 같다. 2-1. 맨틀까지의 깊이와 해령과 해구 사이의 거리를 관찰한 후, 대류 세포가 1:1:1 비율을 가진다면 해령의 모습(길이)은 어떻게 될지 연상해본다. 2-2. 문항 2-1에서 연상한 해령의 모습이 실제 해령과 일치하는지 확인한다. 2-3. 불연속적으로 끊어진 해령이 맨틀 대류설로 설명 가능한지 여부를 답함으로써 맨틀 대류 관점에서의 불일치 상황을 인식시킨다.

그림 4-2. 불연속적 해령 문제

탐구1-2. 불연속적으로 나누어진 해령

[문제 설명]

아래 그림과 같이 해령은 불연속적으로(변환단층으로) 연결되어 있고, 각각의 단위 해령의 길이는 수십km ~ 수백km로 불규칙하게 나뉘어져 있는 모습을 볼 수 있다. 이처럼 불연속 적이고, 불규칙하게 나뉘어진 해령은 어떻게 생긴 것일까?

그림과 제시된 자료를 바탕으로 다음 문제에 답해보세요.

그림1. 대서양 중앙해령 (불연속적인 해령 모습)

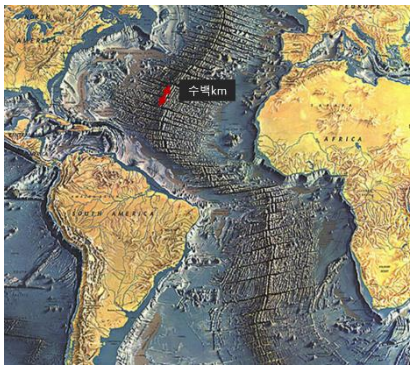


그림2. 전 세계 판의 경계 (해령과 해구 사이 거리)

그림3. 지구 내부 구조 (맨틀까지 깊이)

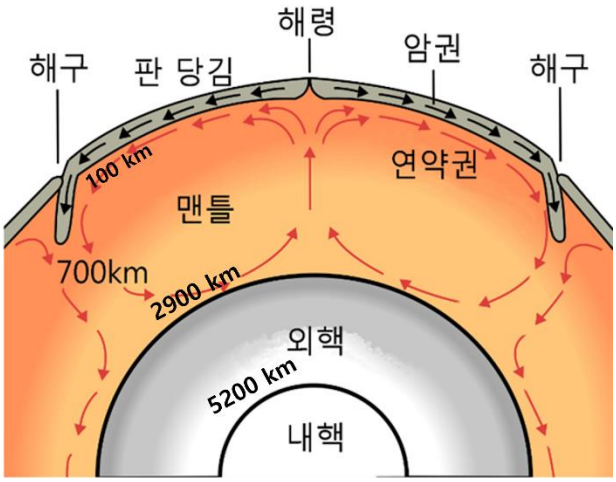


표 4-5. 맨틀 대류 관점에서의 불연속적 해령 문제 응답표

문항	문제 / 응답 유형		응답 수(%)
2−1	실험적으로 얻은 3차원의 대류 세포는 수평(x,y) ,수직(z) 방향의 비가 x:y:z=1:1:1로 알려져 있다. 그렇다면 맨틀 대류로 생기는 해령의 생김새는 (천 km 이상 길게 이어진, 수십~수백km 길이로 작게 잘라진) 형태일 것이다. (위 그림에 나온 해령과 해구사이의 거리와 맨틀까지의 깊이를 생각해보면 쉽습니다.)		
	a	**천 km 이상 길게 이어진**	**42(71.2)**
	b	수십~수백km 길이로 작게 잘라진	17(28.8)
2−2	문제 2−1에서 답한 해령의 모습과 실제 해령의 모습은 유사한가요?		
	a	예	25(42.4)
	b	**아니오**	**34(57.6)**
2−3	판의 주된 원동력이 “맨틀 대류”라면, 불연속적으로 나누어진 해령의 모습이 설명 가능한가요?		
	a	예	20(33.9)
	b	**아니오**	**24(40.7)**
	c	잘 모르겠다.	15(25.4)

(볼드체는 각 문항의 정답을 의미한다.)

[맨틀 대류 관점 “불연속적 해령” 문항 응답 결과]

학습자들의 응답 결과는 다음과 같다. 문항 2-1에서는 맨틀의 깊이와 해령과 해구 사이의 거리를 기반으로 해령의 생김새를 추측하였는데, '천 km 이상 길게 이어진'이라고 응답한 학습자는 42명(71.2%)로, 대류 세포의 1:1:1 길이 비를 맞게 연상한 것으로 나타났다. 반면에 '수십~수백 km 길이로 작게 잘라진'이라고 응답한 학습자는 17명(28.8%)로, 대류 세포의 1:1:1 비율을 틀리게 연상했다.

문항 2-2에서는 학습자들이 문항 2-1에서 연상한 해령의 모습이 실제와 유사한지 판단했다. '아니오'라고 응답한 학습자가 34명(57.6%)로 가장 많았고, 이는 앞선 문항 2-1를 잘 해석하고, 그 결과를 실제와 비교하여 안 맞다는 결론을 도출한 것이다. 반면에 '예'라고 응답한 학습자는 25명(42.4%)로, 이는 문항

2-1에서 해령의 생김새를 정확하게 해석하지 못한 학습자들과, 문항 2-1에서 해령은 천 km 이상 길게 이어진다고 맞제 연상했음에도 불구하고 그림의 해령의 모습을 잘못보아 실제와 유사하다고 응답한 것으로 보였다.

최종적으로 문항 2-3에서는 '맨틀 대류로 불연속적 해령 문제가 설명 가능한가?'에 대한 응답에서 '아니오'가 24명(40.7%), '예'가 20명(33.9%), '잘 모르겠다'가 15명(25.4%)로 나타났다. '아니오'라고 응답한 비율이 가장 높았지만, 50%를 넘지 못하는 응답 수로 전반적으로 응답이 분산되었음을 볼 수 있었다. '잘 모르겠다'라는 응답을 선택한 학습자들은 크게 두 가지 유형으로 나눌 수 있었는데, 문제를 정확하게 이해하지 못하여 정답을 제시할 수 없는 학습자들과, 맨틀 대류로 설명이 안되지만 확실하게 답변할 수 없는 약한 인지 갈등을 느끼는 학습자들로 구분할 수 있었다. 이러한 원인으로는 남극판 안정성 문제보다 해석해야 하는 그림이 많고, 대류 세포라는 개념이 처음 등장하여 학습자들이 문제를 이해하는 데 오류를 범한 부분이 많았을 것으로 추측된다. 따라서 불연속한 해령 상황에 대해서는 그림과 설명 글에 더해 교사의 직접적인 대면 설명이 필요한 것으로 보였다.

[불일치 상황 제시 단계 정리]

불일치 상황 제시 단계의 학습자들의 응답을 정리하면 다음과 같다. 남극판 안정성 문항에 대해 59명의 학습자 중 33명(55.9%)이 맨틀 대류 관점에서 남극판의 안정성을 설명할 수 없음을 인식했다. 불연속적 해령 문항에서는 59명의 학습자 중 24명(40.7%)이 맨틀 대류 관점에서 불연속적 해령을 설명할 수 없음을 인식했다. 이 두 문항에서 대다수의 응답은 맨틀 대류로 설명할 수 없음이었다. 응답률을 살펴보면 학습자들의 절반 정도가 불일치 상황을 인식했으며, 이러한 학습자들은 강한 인지 갈등을 느낀 것으로 해석할 수 있다. ‘잘 모르겠다’라는 응답이 남극판 안정성에서 12명(20.3%), 불연속적 해령에서 15명

(25.4%)으로 나타났는데, 이러한 학습자들은 두 가지 유형으로 나눌 수 있다. 일부는 관점을 정확히 이해하지 못하여 잘 모르겠다는 응답을 한 것이고, 나머지는 맨틀 대류로 설명이 불가능하다고 느끼지만 강하게 답변할 수 없는 약한 인지 갈등을 느낀 학습자일 것으로 판단할 수 있다. 이에 강한 인지갈등을 느낀 학습자와 약한 인지갈등을 느낀 학습자, 오해석을 한 학습자, 이해하지 못한 학습자까지 다양하게 섞여 있는 모습을 확인했다.

나. 불일치 상황 해결 단계

불일치 상황 제시 단계에서 맨틀 대류 관점으로 인지갈등을 유발했다면, 불일치 상황 해결 단계에서는 새로운 개념을 도입하여 인지갈등을 해소하는 단계이다. 이 결과에는 불일치 상황 제시 단계의 응답 결과와 변화된 점이 중요하므로 최종 문항에 대한 교차표를 제시하여 학습자들의 구체적인 응답 변화를 확인했다. 문제의 그림은 불일치 상황 제시 단계와 동일하다.

[섭입판의 인력 관점“남극판 안정성”문제 설명]

먼저 첫 번째 상황인 남극판 안정성 문제는 섭입판의 인력 관점으로는 쉽게 설명된다. 남극판이 안정하려면 판 운동이 활발하지 않아야 하며, 이를 위해서는 판 운동의 시작 지점이 적어야 한다. 섭입판 인력 관점에서 판 운동의 시작은 판이 섭입하는 해구이다. 남극판의 경계에서 가장 적은 요소는 해구이므로 이를 통해 남극판의 안정성이 설명될 수 있다. 학습자의 응답은 표 4-6에 제시했다(그림 4-1).

[섭입판의 인력 관점 “남극판 안정성” 문항 설명]

섭입판의 인력으로 해결하는 남극판 안정성 문항은 총 5개로 구성되어 있다. 문항 1-1과 1-2는 이전에 다룬 맨틀 대류 관점에서 풀었던 남극판 안정성 문제와 동일한 내용으로, 남극판의 경계와 판의 안정성을 묻는 문제다. 문항 1-3부터는 섭입판의 인력 관점을 활용하여 해결하는 문제로 문항 1-3에서는 섭입판의 인력을 고려할 때 판 운동이 시작되는 경계가 어디인지 묻고 안정적인 상태를 유지하기 위해 판의 경계 중 어떤 요소가 적어져야 하는지 물었다. 문항 1-4에서는 실제 남극판의 경계와 유사한지 물었으며, 최종적으로 문항 1-5에서는 섭입판의 인력이 남극판의 안정성을 설명하는 데 적절한지를 답하면서 맨틀 대류로 인한 인지 갈등을 섭입판의 인력으로 해소하도록 유도했다.

표 4-6. 섭입판의 인력 관점에서의 남극판 안정성 문제 응답표

문항	응답 유형		응답자 수(%)
1−1	위 그림을 보면, 남극판의 경계는 거의 (해령과 변환단층 , 해구)(으)로 이루어져 있고, (해령과 변환단층 , 해구)은(는) 상대적으로 적다.		
	a	해령과 변환단층 / 해령과 변환단층	0(0)
	b	**해령과 변환단층 / 해구**	**55(93.2)**
	c	해구 / 해령과 변환단층	4(6.8)
	d	해구 / 해구	0(0)
1−2	남극판은 판의 속도가 세계에서 가장 느린 안정적인 판이다. 그 의미는 판의 운동(움직임)이 (활발하기, 활발하지 않기) 때문이다.		
	a	활발하기	1(1.7)
	b	**활발하지 않기**	**58(98.3)**
1−3	판의 주된 원동력이 "섭입판의 인력"이라면 판의 운동은 (해령 , 해구)에서 시작된다. 그렇다면 판의 운동(움직임)이 활발하지 않으려면 판의 경계에 (해령 , 해구)이(가) 상대적으로 적어야 한다.		
	a	해령 / 해령	2(3.4)
	b	해령 / 해구	6(10.2)
	c	해구 / 해령	7(11.9)
	d	**해구 / 해구**	**44(74.6)**
1−4	문제 1−3에서 답한 판의 운동이 활발하지 않기 위해 상대적으로 적어야하는 판의 경계는 실제 남극판의 경계의 분포와 유사한가요?		
	a	**예**	**55(93.2)**
	b	아니오	4(6.8)
1−5	그렇다면 남극판이 세계에서 가장 안정하다는 것은 "섭입판의 인력"으로 설명 가능한가요?		
	a	**예**	**42(71.2)**
	b	아니오	3(5.1)
	c	잘 모르겠다.	14(23.7)

(볼드체는 각 문항의 정답을 의미한다.)

[섭입판의 인력 관점 “남극판 안정성”응답 결과]

학습자들의 응답 결과는 다음과 같다(표 4-6). 문항 1-1과 1-2에서는 불일치 상황 제시 단계에서의 응답과 거의 동일한 결과를 보였다. 문항 1-3에서는 섭입판의 인력 관점에서 해구가 판 운동의 시작이며 판의 안정성과 연관되는 것을 이해하고 있는 학습자가 44명(74.6%)로 가장 많았다. 그러나 나머지 25%의 학습자들은 분산된 응답을 보였는데, 이는 섭입판의 인력과 문제를 정확히 이해하지 못해 해당 응답을 한 것으로 보인다. 문항 1-4에서는 55명(93.2%)이 섭입판의 인력으로 생각한 판의 경계가 실제와 유사하다고 응답했다. 최종 문항인 1-5에서는 42명(71.2%)이 섭입판의 인력으로 남극판의 안정성을 설명할 수 있다고 응답하여 전체의 70% 이상이 섭입판의 인력이 남극판의 안정성을 설명 가능하다고 생각했다.

남극판 안정성 상황을 맨틀 대류 관점에서 모순된다는 것을 인식시키고 섭입판의 인력 관점에서 해결이 된다는 것을 보여줬다. 이 과정에서 학습자들의 구체적인 응답을 보기 위해 학습자들의 응답을 교차표로 정리하면 다음과 같다(표 4-7).

표 4-7. 남극판 안정성 최종 문항1-5 응답 교차표

		섭입판의 인력 관점에서 남극판 안정성 설명 가능한가			
		예	아니오	잘 모르겠다	전체
맨틀 대류 관점에서 남극판 안정성 설명 가능한가	예	❶ 8(57.1)	3(21.4)	3(21.4)	14(100)
	아니오	❷ 30(90.9)	0(0)	3(9.1)	33(100)
	잘 모르겠다	❸ 4(33.3)	0(0)	8(66.7)	12(100)
	전체	42(71.2)	3(5.1)	14(23.7)	59(100)

(‘( )’에 있는 비율은 탐구활동1에서의 각 응답을 100%로 하고 그 기준으로 변화율을 나타냄.)
(초록색 칸 : 주요하게 변화된 응답 / 노란색 칸 : 주요한 응답)

[“남극판 안정성”두 관점 응답 교차표 결과]

교차표에서 의미 있는 부분을 해석하면 다음과 같다(표 4-7 ❶❷❸). ❶에서는 맨틀 대류 관점에서 남극판 안정성 문제를 해결할 수 있다고 답한 14명의 학습자 중 8명(57.1%)이 섭입판의 인력으로도 남극판 안정성 문제를 해결할

수 있다고 응답했다. 이는 맨틀 대류 관점에서의 해석이 잘못되었거나 선입견이 강하게 작용하여 강한 인지갈등을 경험하지 못했지만, 섭입판의 인력 관점에서 올바른 해석을 통해 문제를 해결할 수 있음을 도출한 것으로 해석할 수 있다. 이러한 학습자들은 남극판 안정성을 맨틀 대류 관점보다는 섭입판의 인력 관점이 더 적절하게 해결된다고 변화한 것일 수 있으며, 또는 두 관점 모두에서 문제가 해결된다고 생각하는 모호한 생각을 가진 것일 수도 있다.

❷에서는 맨틀 대류 관점으로 남극판 안정성 문제를 해결하지 못한다고 답한 33명의 학습자 중 30명(90.9%)이 섭입판의 인력으로 문제를 해결할 수 있다고 응답했다. 이는 불일치 상황 제시에서 인지갈등을 강하게 경험하고, 이를 불일치 상황 해결에서 적절히 해소한 학습자들이라고 볼 수 있다. Hashweh의 인지갈등에서 갈등1을 해소한 학습자라고 할 수 있다(그림 2-7).

마지막으로 ❸에서는 맨틀 대류 관점으로 남극판 안정성 문제를 해결할 수 있는지 잘 모르겠다고 응답한 12명의 학습자 중 4명(33.3%)이 섭입판의 인력으로 문제를 해결할 수 있다고 응답했다. 이는 맨틀 대류 관점에서 해결되지 않는 것을 인지했지만 약한 인지갈등으로 인해 명확히 오답이라고 답하지 못한 학습자들이 섭입판의 인력이 남극판 안정성을 설명할 수 있다고 강하게 인식한 것으로 해석할 수 있다. 이런 학습자들도 Hashweh 인지 갈등 전략에서 갈등1을 해소했다고 의미할 수 있다(그림 2-7). 나머지 8명의 학습자들은 맨틀 대류 관점과 섭입판 인력 관점 모두를 정확히 이해하지 못하고 있는 것으로 해석할 수 있다.

결과적으로 남극판 안정성 문항에서는 총 59명의 학습자 중 ❷ 30명(50.8%)이 맨틀 대류 관점에서 불일치 상황을 인지하고, 섭입판의 인력으로 불일치 상황을 적절히 해소함을 확인했다. 또한, ❶와 ❸의

학습자들은 강한 인지갈등을 느끼지는 못했지만 섭입판의 인력으로 남극판 안정성을 해결할 수 있다고 인식했다.

[섭입판의 인력 관점“불연속적 해령” 문제 설명]

불일치 상황 해결에서는 불연속적 해령 문항을 섭입판의 인력 관점으로 풀어본다. 섭입판의 인력 관점에서는 판 운동의 시작은 해구이며 해령은 해구에서 섭입하는 판에 의해 확장하는 곳이다. 이에 해구에서 잡아당기면서 확장하는 해령은 마치 지점토를 잡아당겼을 때 찢어지는 모습처럼 짧고 불규칙적일 수 있다. 이러한 과정을 학습자가 이해할 수 있도록 단계적인 문항을 구성하였으며, 학습자들의 응답 결과는 다음과 같다(그림 4-2, 표 4-8).

표 4-8. 섭입판의 인력 관점에서의 불연속적 해령 문제 응답표

문항	문제 / 응답 유형		응답자 수(%)
2−1	해구로 판을 끌고 들어가는 섭입판 인력에 의해 판의 일부가 끊어지면서 해령이 생길 수 있다. 이때 생기는 해령의 생김새는 (연속적으로 연결되게 , 불연속적으로 끊어져) 생겼을 것으로 상상해볼 수 있다. (지점토를 양쪽에서 잡아당겼을때의 모습을 연상하면 이해하기 쉽습니다.)		
	a	연속적으로 연결되게	10(16.9)
	b	**불연속적으로 끊어져**	**49(83.1)**
2−2	문제 2−1에서 답한 해령의 모습과 실제 해령의 모습은 유사한가요?		
	a	**예**	**50(84.7)**
	b	아니오	9(15.3)
2−3	판의 주된 원동력이 “섭입판의 인력”이라면, 불연속적으로 나누어진 해령의 모습이 설명 가능한가요?		
	a	**예**	**41(69.5)**
	b	아니오	4(6.8)
	c	잘 모르겠다.	14(23.7)

(볼드체는 각 문항의 정답을 의미한다.)

[“불연속적 해령” 문항 설명]

불연속적 해령 문제를 섭입판의 인력 관점으로 해결하는 과정은 총 3개의 문항으로 구성했다. 문항 2-1은 학습자들이 섭입판의 인력으로 인해 형성되는 해령의 모습을 연상할 수 있도록 문제를 제시했다. 문항 2-2에서는 학습자들이 문항 2-1에서 연상한 해령과 실제 해령의 모습이 유사한지를 파악하도록 했다. 마지막으로 문항 2-3에서는 섭입판의 인력으로 불연속적 해령이 해결 가능한지를 물어봄으로써 맨틀 대류 관점에서 발생한 인지갈등을 해소하도록 유도했다.

[섭입판의 인력 관점 “불연속적 해령 응답 결과]

학습자들의 응답결과는 다음과 같다. 문항 2-1인 해구에서 잡아당기는 힘에 의해 생기는 해령의 모습을 물은 문항에서 49명(83.1%)이 섭입판의 인력 관점에서 적절한 불연속적인 해령을 연상했다. 그러나 10명(16.9%)은 해령이 연속적이라고 답했다. 이는 그림을 자세히 보지 않으면 해령이 하나로 길게 연결된 모습처럼 착각할 수 있어 오해석한 것으로 추측된다. 문항 2-2에서는 실제 해령의 모습과 유사한지를 물었을 때, 50명(84.7%)의 학습자가 '예'라고 답변하여 적절하게 해석한 것을 확인할 수 있었다. 그러나 문항 2-3에서는 섭입판의 인력으로 불연속적 해령이 설명 가능한지 물었을 때,‘예’라고 답한 학습자가 41명(69.5%)으로 줄어들었다. 이는 학습자들이 단계적으로는 적절한 답을 하지만 섭입판의 인력을 받아들이는 마지막 단계에서 소극적인 모습을 보였다. 전체적으로 59명 중 41명(69.5%)의 학습자가 섭입판의 인력으로 불연속적 해령을 설명할 수 있다고 답하였다. 이 결과를 맨틀 대류 관점에서 불연속적 해령을 답한 문항과 비교하면 아래의 교차표(표 4-9)와 같다.

표 4-9. 불연속적 해령 최종 문항2-3 응답 교차표

	섭입판의 인력 관점에서 불연속적 해령 설명 가능한가

맨틀 대류 관점에서 불연속적 해령 설명 가능한가		예	아니오	잘 모르겠다	전체
	예	❶ 12(60.0)	3(15.0)	5(25.0)	20(100)
	아니오	❷ 22(91.7)	1(4.2)	1(4.2)	24(100)
	잘 모르겠다	❸ 7(46.7)	0(0)	8(53.3)	15(100)
	전체	41(69.5)	4(6.8)	14(23.7)	59(100)

('( )'에 있는 비율은 탐구활동1에서의 각 응답을 100%로 하고 그 기준으로 변화율을 나타냄.)
(초록색 칸 : 주요하게 변화된 응답 / 노란색 칸 : 주요한 응답)

["불연속적 해령" 두 관점 응답 교차표 결과]

교차표에서 의미있는 부분을 해석하면 다음과 같다(표 4-9 ❶❷❸).

❶에서는 불연속적 해령을 맨틀 대류 관점으로 설명할 수 있다고 답변한 학습자들(20명) 중 60%인 12명이 섭입판의 인력 관점으로도 불연속적 해령을 설명할 수 있다고 답변했다. 이러한 학습자들은 불연속적 해령을 맨틀 대류 관점에서 오해석 혹은 어떤 개인적인 생각에 의해 약한 인지갈등을 느껴 설명 가능하다고 했지만, 섭입판의 인력 관점으로 적절하게 해석되는 것을 인지해 생각의 변화가 생긴 학습자들이라고 해석할 수 있다.

❷에서는 불연속적 해령을 맨틀 대류 관점에서 설명할 수 없다고 답변한 학습자들(24명) 중 91.7%인 22명이 섭입판의 인력으로는 설명할 수 있다고 답했다. 이 22명의 학습자는 불일치 상황 제시에서 강한 인지 갈등을 느껴 불연속적 해령이 맨틀 대류 관점에서 불일치 상황이라고 받아들였으며, 이런 학습자들이 Hashweh 인지 갈등 전략에서 갈등1을 적절히 섭입판의 인력으로 해소하는 모습을 보였다(그림 2-7).

마지막으로 ❸은 불연속적 해령을 맨틀 대류 관점으로 설명 가능한지에 대해 잘 모르겠다고 응답한 학습자들(15명) 중 46.7%인 7명이 섭입판의 인력으로는 설명할 수 있다고 답하였다. 이는 맨틀 대류 관점에서 약한 인지 갈등을 느꼈고 섭입판의 인력 관점에서 해결 가능한 증거를 인식한 학습자들로 Hashweh 인지 갈등 전략에서 갈등1을 해소한 것을 의미할 수 있다(그림 2-7). 나머지 8명의 학습자들은 맨틀 대류의 관점과 섭입판 인력의 관점 모두를 정

확히 이해하지 못해 인지구조의 변화가 일어나지 못한 것으로 보인다.

결과적으로 불연속적 해령 문항에서는 전체 59명의 학습자들 중 22명(37.3%)의 학습자가 본 연구의 의도대로 불일치 상황을 맨틀 대류 관점에서 인지하고, 섭입판의 인력으로 적절히 해소한 것을 확인할 수 있었다. 또한 ❶와 ❸의 학습자들도 강한 인지갈등을 느끼진 않았지만 섭입판의 인력으로 불연속적 해령을 해결할 수 있음을 확인했다.

[불일치 상황 해결 단계 정리]

불일치 상황 해결 단계를 정리하면 다음과 같다. 남극판 안정성에서는 42명(71.2%)이 해결되었고, 불연속적 해령에서는 41명(69.5%)이 해결되었다. 약 71%의 학습자들이 섭입판의 인력으로 지질학적 현상을 해결했다. 불일치 상황 제시 단계에서는 인지갈등을 강하게 느낀 학습자들은 전체 59명 중 약 40~50%였다. 이에 비해 불일치 상황 해결 단계에서는 약 71%의 학습자들이 섭입판의 인력으로 지질학적 현상을 해결한 것으로 나타났다. 이를 통해 맨틀대류에 대한 갈등의 세기의 상관없이 섭입판의 인력 관점이 맨틀 대류 관점보다 두 지질학적 상황을 더 적절하게 설명할 수 있음을 학습자들의 응답에서 확인할 수 있었다.

다. 새로운 상황 적용 결과

맨틀 대류와 섭입판의 인력을 새로운 두 가지 문제에 추가로 적용했다. 이

과정을 통해 학습자들은 새로운 개념에 대해 재평가하는 시간을 갖게 된다. 첫 번째 문항은 판의 경계 비율에 따른 판의 속도 그래프를 해석하여 어떤 관점이 더 적절한지 평가해본다. 두 번째 문항은 해령과 해구가 만나는 상황을 해석하고 어떤 관점이 더 적절한지 생각해본다.

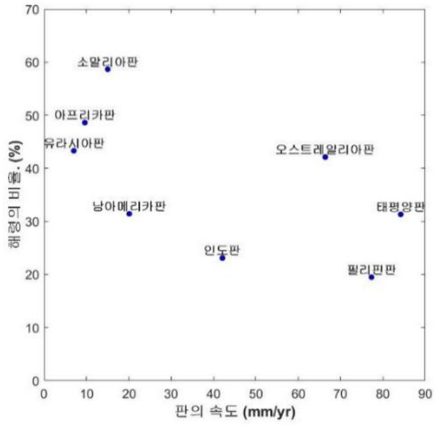
[“판의 속도 & 판의 경계 비율 그래프”문제 설명]

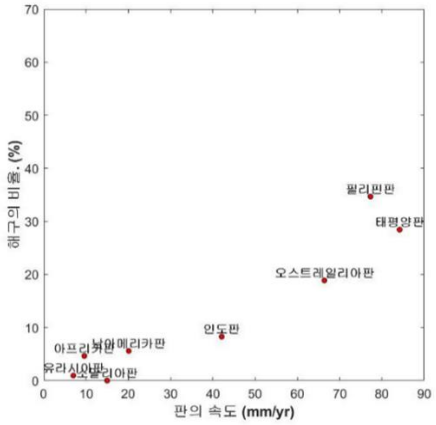
먼저, 첫 번째 문항은 판의 각기 다른 속도와 판의 경계 중 해령과 해구의 비율로 그린 그래프를 해석한다. 맨틀 대류 관점에서 판이 움직인다면 판 운동의 시작은 해령이므로 해령의 비율이 판의 이동 속도와 양의 상관관계를 나타낼 것이다. 섭입판의 인력 관점에서 판이 움직인다면 판 운동의 시작은 해구이므로 해구의 비율이 판의 이동 속도와 양의 상관관계를 나타낼 것이다. 이를 적절히 이해할 수 있도록 단계적으로 문제를 만들었으며, 문항과 학습자들의 응답은 다음과 같다(그림 4-3, 표 4-10). 문제의 풀이 순서는 문항 1-1, 1-2, 그래프 해석, 1-3, 1-4 순으로 풀게 했다. 아래는 결과를 보기 편하게 하기 위해 그래프를 먼저 제시하고 문항을 하나의 표로 정리했다.

그림 4-3. 판의 이동 속도와 판의 경계 비율 관계 그래프 문제

탐구3-1. 판의 속도와 판의 경계와의 관계

순서대로 답해보세요.





그래프를 보고 아래 문제에 답해보세요.

<그래프 설명> 아래 그래프는 여러 개의 판의 절대속도와 각 판의 경계에 있는 해령의 비율과 해구의 비율로 그래프를 그린 것이다.

[“판의 속도 & 판의 경계 비율 그래프”문항 설명]

판의 속도 그래프의 문항은 총 4문항으로 구성되어 있다. 문항 1-1과 1-2에서는 맨틀 대류 관점과 섭입판의 인력 관점에서 각각 어떤 판의 경계가 판의 이동 속도와 관련이 있는지 묻는다. 그 다음, 실제 판의 이동 속도와 판의 경계 비율에 따른 그래프를 제시하여 해석해보도록 했다. 다음으로, 문항 1-3에서는 그래프를 확인한 후 어떤 그래프가 양의 상관 관계를 가지고 있는지 답하도록 했다. 최종적으로 문항 1-4에서는 판의 이동 속도와 관련된 주요 원동력이 무엇인지 물었다.

표 4-10. 판의 이동 속도와 판의 경계 비율 관계 그래프 문제 응답표

문항	응답 유형		응답자 수(%)
1-1	"맨틀 대류"가 판의 주된 원동력이라면, 판의 속도는 판의 어떤 경계와 관련이 있을까요?		
	a	**해령**	**46(78.0)**
	b	해구	6(10.2)
	c	잘 모르겠다	7(11.9)
1-2	"섭입판의 인력"이 판의 주된 원동력이라면, 판의 속도는 판의 어떤 경계와 관련이 있을까요?		
	a	해령	4(6.8)
	b	**해구**	**49(83.1)**
	c	잘 모르겠다	6(10.2)
1-3	위 그래프를 보고 판의 어떤 경계 비율이 판의 이동 속도와 상관관계를 나타내고 있는지 고르세요.		
	a	(왼쪽) 해령의 비율 – 판의 속도 그래프	8(13.6)
	b	**(오른쪽) 해구의 비율 – 판의 속도 그래프**	**51(86.4)**
1-4	그렇다면, 판의 이동 속도와 관련있는 판의 주된 원동력은 무엇이라고 생각해볼 수 있나요?		
	a	맨틀 대류	12(20.3)
	b	**섭입판의 인력**	**47(79.7)**

(볼드체는 각 문항의 정답을 의미한다.)

[“판의 속도 & 판의 경계 비율 그래프”응답 결과]

학습자들의 응답 결과는 다음과 같다(표 4-10). 문항 1-1에서는 맨틀 대류 관점에서 판의 속도와 관련된 판의 경계를 물었을 때, 약 80%의 학습자인 46명이 '해령'으로 응답하였으며, 6명(10.2%)은 '해구'로 응답하였고, 7명(11.9%)은 '잘 모르겠다'로 응답했다. 문항 1-2에서는 섭입판의 인력 관점에서 판의 속도와 관련된 판의 경계를 물었을 때, 49명(83.1%)이 '해구'로 응답하였으며, 6명(10.2%)은 '잘 모르겠다'로 응답하였고, 4명(6.8%)은 '해령'이라고 응답했다. 학습자들의 80%의 이상이 맨틀 대류와 섭입판의 인력 관점에서 판 운동의 시작 지점을 잘 알고 있었다. 문항 1-3에서는 그래프의 양의 상관관계를 정확히 해

석한 학습자가 51명(86.4%)이었고, 8명(13.6%)은 잘못된 해석을 했다. 이를 통해 문항 1-4에서는 판의 이동 속도와 관련된 주요 원동력이 무엇인지 물었을 때, 47명(79.7%)이 '섭입판의 인력'으로 응답하였고, 12명(20.3%)은 '맨틀 대류'라고 응답했다.

[“판의 속도 & 판의 경계 비율 그래프”정리]

판 운동의 원동력을 두 관점에서 판의 속도와 함께 해석한 결과, 약 80%의 학습자가 섭입판의 인력이 판의 이동 속도와 관련이 있다고 응답하여 섭입판 인력이 판의 이동 속도를 해석하는데 더 적절함을 보였다. 그러나 '맨틀 대류'로 응답한 학습자들이 어느 부분에서 잘못 해석했는지 확인하기 위해 문항 1-3의 응답을 분석한 결과, 8명의 학습자는 왼쪽 그래프인 해령과 판의 속도가 양의 상관관계를 가진다고 잘못 응답했고, 4명의 학습자는 이전 내용을 이해하지 못해 맨틀 대류를 선택한 것으로 나타났다.

[“해령과 해구가 만나는 상황”문제 설명]

새로운 상황 적용의 두 번째 단계로 태평양판 해령과 북아메리카판 해구가 만나는 지질학적 상황을 사용하였다. 맨틀 대류 관점에서는 맨틀이 상승하는 지점이 해령을 형성하고, 맨틀이 하강하는 지점이 해구를 형성한다고 설명된다. 그러나 이러한 맨들 대류의 상승부와 하강부가 만나는 것은 대류 세포 관점에서 물리적 모순이 발생한다. 이를 섭입판의 인력 관점에서 설명하면 해구로 섭입하는 판의 속도가 서로 다르며, 그 결과 섭입하는 속도가 더 빠른 해구 쪽으로 해령이 이동하는 것으로 설명된다. 이에 대한 문항과 응답 결과는 다음과 같다(그림 4-4, 표 4-11).

그림 4-4. 해령과 해구 만남 문제

탐구3-2. 해령과 해구가 만나는 상황

순서대로 답해보세요.

<그림 설명> 그림은 실제 과거 해령과 해구가 만나는 지질학적 사건을 그림으로 나타낸 것이다. 3천만년전 태평양판-패럴론판 사이 판의 경계인 해령이 시간이 지날수록 북아메리카판쪽으로 이동해 북아메리카 해구 속으로 들어가는 모습이다. 이때 패럴론판은 후안데 푸카판과 코코스판으로 분리되었다.

그래프를 보고 아래 문제에 답해보세요.

<상황 설명> 이렇듯 판의 움직임에 의해 해령과 해구는 실제로 만나고 있다. 이러한 사건이 발생할 수 있는 원인을 판의 주된 원동력의 특징을 생각해 아래 문제에 답해보세요.

[“해령과 해구가 만나는 상황”문항 설명]

해령과 해구가 만나는 상황에 대한 문항은 총 3개로 구성되어 있다. 이 문항들은 단계적으로 제시되었으며, 문항 2-1에서는 맨틀 대류의 상승부와 하강부를 고려하여 이러한 해령과 해구가 만나는 상황이 가능한지에 대해 답하도록 했다. 문항 2-2에서는 섭입판의 인력에 의한 해령의 생성과 해구의 속도 차이를 제시하여 해령과 해구가 만나는 상황이 가능한지에 대해 답하도록 하였다. 최종적으로 문항 2-3에서는 해령과 해구가 만나는 상황이 어떤 판의 원동력으로 설명할 수 있는지 물었다.

표 4-11. 해령과 해구 만남 문제 응답표

문항	문제 / 응답 유형		응답자 수(%)
2−1	"맨틀 대류"가 판의 주된 원동력이라면, 위와 같은 해령과 해구가 만나는 사건이 설명 가능한가요? (힌트 : 해령은 대류의 상승부, 해구는 대류의 하강부 입니다.)		
	a	예	14(23.7)
	b	**아니오**	**45(76.3)**
2−2	"섭입판의 인력"이 판의 주된 원동력이라면, 위와 같은 해령과 해구가 만나는 사건이 설명 가능한가요? (힌트 : 해령은 양쪽 해구로 섭입되는 판에 의해 판이 갈라진 곳으로, 각각 해구에서 판이 섭입하는 속도는 차이가 있을 수 있다.)		
	a	**예**	**50(84.7)**
	b	아니오	9(15.3)
2−3	그렇다면, 해령과 해구가 만나는 사건을 설명할 수 있는 판의 주된 원동력은 어느 것이 더 적절한가요?		
	a	맨틀 대류	7(11.9)
	b	**섭입판의 인력**	**38(64.4)**
	c	잘 모르겠다.	14(23.7)

(볼드체는 각 문항의 정답을 의미한다.)

[“해령과 해구가 만나는 상황”응답 결과]

학습자들의 응답 결과는 다음과 같다(표 4-11). 문항 2-1에서는 맨틀 대류 관점에서 상승부와 하강부가 만날 수 있는지에 대한 질문이었는데, '아니오'라고 답한 학습자가 45명(76.3%)로 가장 많았다. 이는 상승부와 하강부의 만남이 불가능하다고 생각한 것으로, 대류 세포 개념을 정확히 이해한 것으로 보인다. 반면 '예'라고 답한 학습자는 14명(23.7%)로, 상승부와 하강부의 만남이 가능하다고 생각한 것이다. 이는 대류 세포 개념을 정확히 이해하지 못해 상승부와 하강부의 만남이 가능할 수도 있다고 생각한 학습자들이다.

문항 2-2에서는 섭입판의 인력을 통해 해령과 해구가 만날 수 있는지에 대한 질문이었다. '예'라고 답한 학습자가 50명(84.7%)로 많았다. 이는 섭입판의 인력 관점에서 해령과 해구가 만날 수 있다는 것을 이해한 것이다. 반면 '아니오'

라고 답한 학습자는 9명(15.3%)로, 섭입판의 인력 관점을 정확히 이해하지 못했거나 개인적인 생각에 의해 아니라고 한 것으로 생각된다. 여기서 주목할 점은 문항 2-1과 문항 2-2가 다르지만, 두 관점 모두를 설명 가능하다고 답한 학습자와 둘 다 가능하지 않다고 답한 학습자가 소수 있었다. 이는 두 관점 중에 어떤 것도 택하지 않는 중립적인 태도를 보였다.

마지막으로 문항 2-3에서는 해령과 해구가 만나는 상황을 어떤 판의 원동력으로 설명할 수 있는지를 물었다. '섭입판의 인력'이 38명(64.4%)로 가장 많았고, 다음으로 '잘 모르겠다'가 14명(23.7%)로 많았다. '맨틀 대류'는 7명(11.9%)로 가장 적었다. 응답 유형을 구체적으로 살펴보면, '잘 모르겠다'고 답한 14명의 학습자는 두 가지 유형으로 분류될 수 있었다. 첫 번째 유형은 문항 2-1과 2-2에서 동일한 답변을 선택하여 두 관점 중 어느 것도 택하지 않은 학습자들이 '잘 모르겠다'라고 선택한 것이다. 또 다른 유형은 맨틀 대류는 설명이 안 된다고 답했지만, 섭입판의 인력은 설명이 된다고 답하면서 결론적으로 섭입판의 인력이 판의 주된 원동력이라고 답하지 않은 것이다. 이를 통해 학습자들이 맨틀 대류에 대한 선개념이 강하게 형성되어 있어서 새로운 개념을 인정하는 데 소극적인 모습을 보였다고 해석할 수 있다. '맨틀 대류'라고 답한 학습자들은 이전 문제를 잘못 해석하거나 새로운 개념에 대한 확신이 없을 때, 익숙한 개념을 선택하는 것으로 해석된다.

[새로운 상황 적용 단계 정리]

새로운 상황 적용 단계의 응답을 정리하면 다음과 같다. 이 단계에서는 앞선 단계를 거쳐 선개념과 새로운 개념 사이에 갈등을 겪을 때(그림 2-7 갈등2), 새로운 개념에 대한 재평가 단계를 거쳐 갈등 해소를 위해 새로운 개념에 대한 확신을 얻어야 한다. 이를 위해 새로운 지질학적 현상을 두 가지 제시하고, 선개념과 새로운 개념을 활용하여 문제를 해결해 보도록 했다. 결과적으로, 판의 속도 그래프 문항에서 약 80%의 학습자가 섭입판의 인력이 설명 가능하다고 응답하였고, 해령과 해구 만남 문항에서는 약 64%의 학습자가 섭입판의 인력

이 설명 가능하다고 응답했다. 이를 통해 약 72%의 학습자들이 새로운 상황에서도 섭입판의 인력이 맨틀 대류보다 적절하다고 평가하는 것을 확인할 수 있었다.

제 3 절. 개념변화 학습 후 개념 검사 결과

제 3절에서는 개념변화학습지를 통해 학습자들의 개념이 최종적으로 어떻게 변화했는지를 분석하고, 개념변화 결과뿐만 아니라 개념변화 조건을 어느 정도 충족시켰는지를 평가하기 위해 리커트 척도 문항을 추가적으로 분석했다. 이를 위해 다음과 같은 분석 방법을 사용했다.

첫째로, 판의 원동력에 대한 사전 개념 검사와 사후 개념 검사의 결과를 비교하여 개념변화를 결과를 확인했다. 또한 맞은 경우 1점, 틀린 경우 0점으로 처리하여 대응 표본 t 검정을 실시했다. 이를 통해 주요 문항 1개와 보조 문항 7개 사이의 평균 차이가 유의미한 지 확인했다. 둘째로, 새로운 개념인 섭입판의 인력을 어떤 지질학적 현상이 가장 잘 대표할 수 있는지를 응답의 정답률을 통해 확인했다. 마지막으로, 학습자들이 답한 리커트 척도의 4문항을 전체 학습자 집단에서 문항별로 어떤 차이가 나타나는지 분석하였으며, 판의 주된 원동력에 대한 개념변화 결과에 따라 개념변화 조건의 만족도 차이를 파악했다.

가. 학습자 사전–사후 개념변화 분석

학습자들의 사전–사후 개념변화 결과는 주요 문항인 1번과 맨틀 대류 하위 문항 2번~5번, 섭입판의 인력 하위 문항 6번~8번까지로 나눠서 나타내

었다. 또한 그 중 대응 표본 t 검정 결과가 유의미한 차이가 보이는 것은 교차표를 통해 구체적인 응답 변화를 확인했다.

다음은 본 연구의 핵심 문항인 1번 판의 주된 원동력에 대한 개념변화 결과이다(표 4-12).

표 4-12. 사전, 사후 개념 검사 1번 결과 및 t 검정

판의 주된 원동력 사전 개념 조사					
문항 번호	응답유형	사전 응답 수(%)	사후 응답 수(%)	t	p
	판이 이동하는 주된 원동력은 무엇이라고 생각하나요?				
1	a	53(89.8)	12(20.3)	-6.76	.00***
	b	4(6.8)	30(50.8)		
	c	2(3.4)	17(28.8)		

a. 맨틀 대류 b. 섭입판의 인력 c. 잘 모르겠다.
(p* < .10, p** < .05, p*** < .01)

1번 문항은 본 연구 문제에 핵심이 되는 문항으로 판의 주된 원동력 개념을 조사한 결과, 사전 개념 검사 결과에서는 '맨틀 대류'로 답한 학습자가 53명(89.8%)으로 가장 많았던 반면 사후 개념 검사 결과에서는 '섭입판의 인력'이 30명(50.8%)으로 가장 많았다. 표 4-13의 구체적인 응답 변화를 확인해 보면, 선개념이 '맨틀 대류'였던 53명의 학습자 중 49.1%인 26명이 개념이 올바르게 변하였고, 22.6%인 12명이 개념이 변하지 않았고, 28.3%인 15명은 '잘 모르겠다'를 선택해 두 개념 사이에 고민하는 모습을 보였다. 따라서 개념변화 학습 후 약 50%의 학습자가 판의 주된 원동력을 맨틀 대류에서 섭입판의 인력으로 올바르게 변한 것을 확인할 수 있었다. 이런 사전, 사후 결과가 유의미한 차이가 보이는지 확인하기 위해 '섭입판의 인력'은 1점, '맨틀 대류'와 '잘 모르겠다'를 0점 처리해 대응 표본 t 검정을 실시한 결과 t = -6.72, p= .00으로 유의수준 .05보다 낮아 통계적으로 유의미한 차이를 보인다는 것을 확인했다. 따라서 이번 연구에서 개발된 개념변화 학습지는 학습자들의 개념을 변화 시키기에 효과적으로 작용했음을 알 수 있었다.

표 4-13. 판의 주된 원동력 사전, 사후 응답 교차표

		사후 개념 검사 1번_판의 주된 원동력			
		a. 맨틀 대류	**b. 섭입판**	c. 잘 모름	전체
사전 개념 검사 1번_판의 주된 원동력	a. 맨틀 대류	12(22.6)	26(49.1)	15(28.3)	53(100)
	b. 섭입판의 인력	0(0)	4(100)	0(0)	4(100)
	c. 잘 모르겠다	0(0)	0(0)	2(100)	2(100)
	전체	12(20.3)	30(50.8)	17(28.8)	59(100)

('( )'에 있는 비율은 탐구활동1에서의 각 응답을 100%로 하고 그 기준으로 변화율을 나타냄.)
(초록색 칸 : 주요하게 변화된 응답 / 노란색 칸 : 주요한 응답)

2번 문항부터 5번 문항까지는 맨틀 대류의 하위 개념 문항으로 그 결과는 다음과 같다(표 4-14).

표 4-14. 사전, 사후 개념 2번~5번 결과 및 t 검정

맨틀 대류에 대한 사전 개념 조사					
문항 번호	응답유형	사전 응답 수(%)	사후 응답 수(%)	t	p
2	맨틀 대류 세포의 수직 깊이 : 수평 길이의 비율은 어떻게 되는지 아래 보기 중에 골라보세요.				
	a	**12(20.3)**	**40(67.8)**	-6.42	**.00*** **
	b	17(28.8)	3(5.1)		
	c	18(30.5)	8(13.6)		
	d	12(20.3)	8(13.6)		
3	판의 주된 원동력이 "맨틀 대류"라면 맨틀 대류의 상승부는 (해령, 해구)를 만들고, 하강부는 (해령, 해구)를 만든다.				
	a	0(0)	1(1.7)	1.66	.10
	b	**55(93.2)**	**51(86.4)**		
	c	1(1.7)	2(3.4)		
	d	0(0)	0(0)		
	e	3(5.1)	5(8.5)		
4	'맨틀 대류'로 판이 움직일 때, 판의 운동이 시작되는 곳은 (해령, 해구)이다.				
	a	**49(83.0)**	**47(79.7)**	0.63	.53
	b	5(8.5)	3(5.1)		
	c	5(8.5)	9(15.3)		
5	지구는 여러 개의 판으로 이루어져 있으며, 각 판의 이동 속도는 (같다, 다르다). 이는 맨틀 대류 세포의 속도와 관계가 (있다, 없다).				
	a	0(0)	1(1.7)	-3.02	**.00*** **
	b	0(0)	0(0)		
	c	50(84.7)	35(59.3)		
	d	**7(11.9)**	**15(25.4)**		
	e	2(3.4)	8(13.6)		

[문제별 응답 유형]
2번 **a. 1:1** b. 5:1 c. 1:5 d. 잘 모르겠다.
3번 a. 해령, 해령 **b. 해령, 해구** c. 해구, 해령 d. 해구, 해구 e. 잘 모르겠다.
4번 **a. 해령** b. 해구 c. 잘 모르겠다.
5번 a. 같다, 있다 b. 같다, 없다 c. 다르다, 있다 **d. 다르다, 없다** e. 잘 모르겠다.
(p* < .10, p** < .05, **p*** < .01**)
(볼드체는 각 문항의 정답을 의미한다.)

먼저, 2번 문항은 맨틀 대류의 대류 세포 길이 비를 묻는 문항이었다. 사전 개념 검사에서는 대류 세포의 개념을 배우지 않은 학습자들이 여러 가지 추측

으로 다양한 답을 골랐다. 개념변화 학습과정을 거친 후 사후 개념 검사에서는 대류 세포가 1:1이라는 개념을 40명(67.8%)의 학습자들이 얻게 된 것을 확인할 수 있었다. 구체적인 응답 변화는 교차표에 제시했다(표 4-15). 또한 아직도 약 전체의 30%의 학습자들은 대류 세포의 개념을 정확하게 이해하지 못함을 확인했다. 2번 문항이 사전, 사후 개념 결과에서 유의미한 차이를 보이는지 확인하기 위해 대응 표본 t 검정을 한 결과 t = -6.42, p = .00으로 유의수준 .05보다 낮아 유의미한 차이가 보이는 것을 확인할 수 있었다. 따라서 개념변화 학습과정을 통해 학습자들은 대류 세포의 개념을 습득한 것을 알 수 있었다.

표 4-15. 대류 세포 길이 비 사전, 사후 응답 교차표

		사후 개념 검사 2번_대류 세포 길이 비				
		a. 1:1	b. 5:1	c. 1:5	d. 잘 모름	전체
사전 개념 검사 2번_대류 세포 길이 비	**a. 1:1**	10(83.3)	0(0)	0(0)	2(16.7)	12(100)
	b. 5:1	13(76.5)	2(11.8)	1(5.9)	1(5.9)	17(100)
	c. 1:5	11(61.1)	0(0)	6(33.3)	1(5.6)	18(100)
	d. 잘 모름	6(50.0)	1(8.3)	1(8.3)	4(33.3)	12(100)
	전체	40(67.8)	3(5.1)	8(13.6)	8(13.6)	59(100)

('( )'에 있는 비율은 탐구활동1에서의 각 응답을 100%로 하고 그 기준으로 변화율을 나타냄.)
(초록색 칸 : 주요하게 변화된 응답 / 노란색 칸 : 주요한 응답)

3번 문항은 맨틀 대류 관점에서 해령과 해구의 생성 기작을 고르는 문제였다. 이 문제는 기존 교과서에서 배우는 내용으로 보기 'a' (맨틀의 상승부는 해령, 맨틀의 하강부는 해구)를 답한 학습자가 55명(93.2%)이었으며, 사후 개념 검사에서도 51명(86.4%)으로 비슷한 결과가 나왔다. 3번 문항의 대응 표본 t 검정을 한 결과는 t = 1.66, p= .10으로 유의수준 .05를 넘어 유의미한 차이를 보이지 않았다. 이는 사전 개념에서도 맨틀 대류의 해령, 해구 생성 기작을 잘 알고 있었기 때문에 차이가 보이지 않은 것으로 나타난다.

4번 문항은 맨틀 대류 관점에서 판 운동은 어디서 시작하는지 묻는 문항으로 사전 개념 결과 '해령'이라고 답한 학습자가 49명(83.0%)으로 가장 많았고 사후 개념 결과에서도 47명(79.7%)으로 비슷한 결과가 나왔다. 이는 3번 문항과 연결되는 문항으로 맨틀 대류의 상승부가 해령이 된다는 사실로 해령에서 판의 이동이 시작된다고 잘 이해하고 있었다. 4번 문항의 대응 표본 t 검정을 한

결과는 t = 0.63, p=.53으로 유의수준 .05를 넘어 유의미한 차이를 보이지 않았다. 이 또한 사전 개념부터 맨틀 대류의 판 운동의 시작 지점을 잘 알고 있었기 때문에 차이가 보이지 않은 것으로 나타난다.

5번 문항은 판의 이동 속도는 판마다 다르며, 맨틀 대류 관점에서 판의 이동 속도는 관련이 있는지 없는지 물었다. 그 결과 사전에서는 보기 ‘c’인 ‘판의 속도는 다 다르고, 대류 세포와 관련이 있다’고 답한 학습자가 50(84.7%)명으로 가장 많았고 사후에서도 여전히 보기 ‘c’로 답한 학습자가 35(59.3%)명으로 가장 많았다. 하지만 15명의 학습자가 줄어든 결과로 이는 보기 ‘c’를 고른 학습자들 절반이 판의 주된 원동력을 섭입판의 인력으로 인식하면서 맨틀 대류 세포와 관련이 없다고 한 것으로 보인다. 하지만 사전 문항 1번인 판의 주된 원동력 개념의 변화보다는 적은 변화로 맨틀 대류 세포와 관련이 있다고 생각하는 학습자가 있었다. 구체적인 응답 변화를 위해 교차표(표 4-16)를 보면 보기 ‘c’는 사전보다 사후에서 15명이 줄어든 결과로 15명은 정답 ‘d’인 ‘다르고, 없다’로 8명이, 그 외 7명의 학습자는 보기‘e’인‘잘 모르겠다’로 응답이 변했다. 이를 대응 표본 t 검정을 한 결과 t=-3.02 , p=.00으로 유의수준 .05보다 낮은 값을 보여 정답률이 많이 높지는 않지만 개념변화 학습과정을 통해 유의미한 차이의 결과를 얻었다고 할 수 있다.

표 4-16. 판의 속도와 대류 세포 관련성 사전, 사후 응답 교차표

		사후 개념 검사 5번_판의 속도와 대류 세포 관련성					
		a.	b.	c.	**d.**	e	전체
사전 개념 검사 5번_판의 속도와 대류 세포 관련성	a.	0(0)	0(0)	0(0)	0(0)	0(0)	0(0)
	b.	0(0)	0(0)	0(0)	0(0)	0(0)	0(0)
	c.	1(2)	0(0)	34(68)	8(16)	7(14)	50(100)
	d.	0(0)	0(0)	0(0)	7(100)	0(0)	7(100)
	e.	0(0)	0(0)	1(50)	0(0)	1(50)	2(100)
	전체	1(1.7)	0(0)	35(59.3)	15(25.4)	8(13.6)	59(100)

(a. 같다,있다 / b. 같다,없다 / c. 다르다,있다 / **d. 다르다,없다** / e. 잘 모르겠다)
(‘( )’에 있는 비율은 탐구활동1에서의 각 응답을 100%로 하고 그 기준으로 변화율을 나타냄.)
(초록색 칸 : 주요하게 변화된 응답 / 노란색 칸 : 주요한 응답)

이처럼 맨틀 대류 관점에서 사전과 사후 개념을 조사한 결과 맨틀 대류의 상승부, 하강부, 판 운동의 시작 지점은 사전 개념부터 사후 개념까지 약 80~90%의 학습자가 변함없이 잘 알고 있었으며, 2번 문항인 대류 세포 관점은 새롭게 등장한 개념으로 사전 개념 조사에서 많은 오답을 보였지만 사후 개념 조사에서 유의미한 차이를 보이게 변화되었다. 이는 개념변화 학습과정을 통해 맨틀 대류는 1:1의 길이 비로 움직인다는 것을 알게 되었다고 할 수 있다. 또한 5번 문항도 사전 개념 검사에서 오답이 높았는데, 이는 판의 주된 원동력을 맨틀 대류로 생각했을 때 판의 이동 속도가 맨틀 대류 세포와 관련이 있을 것이라고 생각했기 때문이었다. 개념변화 학습 후에는 사전 개념 결과 오답률이 줄고, 사후 개념 결과 정답률이 높아져 유의미한 변화를 가졌다고 나왔다. 이 또한 개념변화 과정을 통해 학습자들이 판 이동 속도와 맨틀 대류 세포와의 연관성에 대해 관련이 없다는 것을 알 수 있었다고 생각할 수 있다.

6번 문항부터 8번 문항까지는 섭입판의 인력의 하위 개념 문항이었으며 여기서 사전, 사후에 대해 유의미하게 바뀐 문항은 없었다. 구체적으로 살펴보면 다음과 같다(표 4-17).

표 4-17. 사전, 사후 개념 6번~9번 결과 및 t 검정

섭입판 인력에 대한 사전 개념 조사					
문항 번호	응답유형	사전 응답 수(%)	사후 응답 수(%)	t	p
6	‘섭입판의 인력’으로 판이 움직일 때, 판의 운동이 시작되는 곳은 (해령, 해구)이다.				
	a	6(10.2)	3(5.1)		
	b	**50(84.7)**	**48(81.4)**	0.57	.57
	c	3(5.1)	8(13.6)		
7	판의 주된 원동력이 ‘섭입판의 인력’이라면 해령은 (해구에서 잡아당기는 힘에 의해 확장되는 곳, 맨틀의 상승부로 확장되는 곳)이다.				
	a	**46(78)**	**49(83.1)**		
	b	8(13.6)	3(5.1)	-0.83	.41
	c	5(8.5)	7(11.9)		
8	지구는 여러 개의 판으로 이루어져 있으며, 각 판의 이동 속도는 (같다, 다르다). 이런 원인은 해구에서 판이 맨틀 속으로 섭입하는 속도가 (같기, 다르기) 때문이다.				
	a	0(0)	1(1.7)		
	b	1(1.7)	0(0)		
	c	0(0)	1(1.7)	1.66	.10
	d	**55(93.2)**	**51(86.4)**		
	e	3(0)	6(10.2)		

[문제별 응답 유형]
6번 a. 해령 **b. 해구** c. 잘 모르겠다.
7번 **a. 해구에서 잡아당기는 힘에 의해 확장되는 곳** b. 맨틀의 상승부로 확장되는 곳 c. 잘 모르겠다.
8번 a. 같다, 같기 b. 같다, 다르기 c. 다르다, 같기 **d. 다르다, 다르기** e. 잘 모르겠다.
(p* < .10, p** < .05, p*** < .01)
(볼드체는 각 문항의 정답을 의미한다.)

6번 문항은 섭입판의 인력 관점에서 판 운동의 시작이 어디인지 묻는 문항이었다. 사전 응답 결과 ‘해구’가 50(84.7%)명으로 가장 많았으며, 사후에서도 ‘해구’가 48(81.4%)명으로 비슷한 결과를 보였다. 대응 표본 t 검정 결과 t = 0.57, p=.57로 유의수준 .05를 넘어 유의미한 차이가 보이지 않았다.

7번 문항은 섭입판의 인력 관점에서 해령의 생김새를 묻는 문항이었다. 사전 개념 검사 결과 ‘해구에서 잡아당기는 힘으로’가 46(78%)명으로 가장 많았으며, 이는 사후 개념 검사 결과에서도 49(83.1%)명으로 3명 증가한 비슷한 결과가 나왔다. 대응 표본 t 검정 결과 t = -0.83, p=.41로 유의수준 .05를 넘는 값으로 유의미한 차이를 보이지 않았다.

8번 문항은 판의 속도와 해구에서 섭입하는 속도의 관련을 묻는 문항이었다. 사전 개념 검사 결과는 정답인 보기‘d’(판의 이동 속도는 다 다르고, 이 원인은 해구에서 섭입하는 판의 속도가 다 다르기 때문이다)가 55(93.2%)명으로 가장 많았고, 사후 개념 검사 결과 또한 51(86.4%)명으로 비슷한 결과가 나왔다. 대

응 표본 t 검정을 한 결과 t = 1.66, p=.10으로 유의수준 .05를 넘어 유의미한 차이가 보이지 않았다.

따라서 6번~8번까지 섭입판의 인력에 대한 사전 - 사후 개념 검사를 비교한 결과 섭입판의 인력에 대해서 사전과 사후 모두 약 80% 이상이 적절한 개념을 알고 있었다. 이러한 이유는 15 개정 이후 교과서에서 섭입판의 인력에 대한 힘이 설명되고 있어 학습자들이 처음 접하는 개념이 아니라는 것을 확인할 수 있었다. 구체적으로는 6번과 8번에서는 몇 명의 학습자가 줄어들었는데, 이러한 변화는 사전에는 유추해서 정답을 골랐다면 사후에는 개념변화 학습을 통해 정확히 인지한 학습자들만 정답을 택하고, 정확하게 알게 되지 못한 학습자들은 '잘 모르겠다'의 응답으로 변화한 모습을 볼 수 있었다. 또한 7번 문항은 6번과 8번의 문항과 다르게 정답률이 올랐고 오답률이 낮아졌다. 이 문제는 섭입판의 인력 관점에서 처음으로 해령의 생김새를 연상하는 문제였는데, 정답률이 높아진 것으로 보아 개념변화 학습과정에서 섭입판의 인력에 대한 개념의 이해로 생긴 변화라고 생각해볼 수 있었다. 세 문항 모두 대응 표본 t 검정에서 유의수준 .05를 넘어 이는 사전 - 사후 변화가 없음을 의미했다. 이를 통해 섭입판의 인력 개념에 대해서는 학습자 전반적으로 사전부터 알고 있는 개념으로 개념변화 과정에서 특별히 달라진 것은 없었다. 하지만 그 속에서 몇몇의 학습자들은 섭입판의 인력에 대해 개념이 모호한 상태에서 점차 명확해지는 인지과정을 거친 것으로 보았다.

나. 학습자 새로운 개념인 '섭입판의 인력' 지질학적 상황 해결도

개념변화 학습과정은 세 가지 탐구활동으로 이루어져 있다. 탐구활동 1에

서는 맨틀 대류 관점으로 두 가지 지질학적 상황을 해결해 보고 인지 갈등을 느낀다. 탐구활동 2에서는 섭입판의 인력 관점을 도입해 인지 갈등을 해결하게 된다. 탐구활동 3에서는 두 관점을 모두 사용해 어떤 관점이 더 잘 해결되는지 알아보게 된다. 여기서 새로운 과학 개념인 '섭입판의 인력'을 사용한 단계는 탐구활동 2, 3으로 '섭입판의 인력'으로 지질학적 상황 4가지를 해결한다. 이때 학습자들의 문항 정답률을 분석했다(표 4-18). 이 정답률은 각 지질학적 상황에 섭입판의 인력을 올바르게 대입해 해결한 정도이므로 정답률이 높은 문항일수록 그 문항에 사용된 지질학적 상황이 학습자 관점에서 섭입판의 인력을 가장 잘 이해할 수 있는 지질학적 상황인 것이다. 즉 학습자들이 새로운 개념 섭입판의 인력을 학습할 때, 가장 이해가 잘 되는 대표 지질학적 상황이라고 해석할 수 있다.

표 4-18 개념변화 학습과정 탐구활동2, 3 학습자 정답률

문항	전체	정답 수	정답률
남극판 안정성	59명	42명	71.2%
불연속적 해령		41명	69.5%
판의 속도와 판의 경계 비율 그래프		47명	79.7%
해령과 해구가 만남 상황		38명	64.4%

정답률 분석 결과 판의 속도와 판의 경계 비율 그래프, 남극판 안정성, 불연속적 해령, 해령과 해구 만남 상황 순으로 정답률이 높았다. 정답률의 차이가 크진 않지만 학습자들은 '섭입판의 인력'을 지질학적 상황에 적용해 보았을 때 위와 같은 순으로 잘 이해되는 것을 알 수 있었다. 이러한 결과를 앞으로 '섭입판의 인력'이 나올 교과서에 반영한다면 학습자의 학습 효과를 높이는데 효율적으로 사용될 수 있을 것이다.

다. 학습자 개념변화조건 만족도 결과

학습자들의 개념변화 결과를 알아봤다. 학습자들은 모두 같은 개념변화 학습과정을 거쳤지만, 사후 개념 검사에서 다양한 결과가 나오는 것을 확인했다. 학습자마다 어떤 차이를 가졌는지 알아보고자 Posner의 개념변화조건(1982) 4가지에 대응하는 문항을 만들어 학습자들의 개념변화 만족도를 알아보았다(표 4-19). 분석에는 사전 개념이 '섭입판의 인력'이었던 4명의 학습자를 제외하고 변화 가능성이 있었던 55명의 학습자 데이터를 사용했다.

표 4-19. Posner의 개념변화 조건과 대응하는 문항 4가지

문항 번호	개념변화 조건	문항 내용
1	선개념의 불만족	판 이동의 원동력이 '맨틀 대류' 라고 한다면 이를 통해 현재 지구의 지질학적 현상을 설명하기에 적절한가요?
2	새로운 개념의 이해 가능함	판의 주된 원동력으로 '섭입판의 인력'의 힘이 이해가 되나요?
3	새로운 개념의 그럴듯함	'섭입판의 인력'은 판이 움직이는 원동력으로 적절하다고 생각하나요?
4	새로운 개념의 유용함	판 이동의 원동력이 '섭입판의 인력'이라고 한다면 이를 통해 현재 지구의 지질학적 현상을 설명하기에 적절한가요?

Posner의 개념변화 조건 4가지는 선개념의 불만족, 새로운 개념의 이해 가능함, 새로운 개념의 그럴듯함(타당함), 새로운 개념의 유용함으로 각 조건에 대응하는 문항은 다음과 같다. 선개념의 불만족에는 '판 이동의 원동력이 "맨틀 대류"라고 한다면 이를 통해 현재 지구의 지질학적 현상을 설명하기에 적절한가요?'라는 문항으로 선개념 '맨틀 대류'에 대한 불만족을 물었으며, 새로운 개념의 이해 가능함에는 '판의 주된 원동력으로 "섭입판의 인력"의 힘이 이해되나요?'로 새로운 개념인 '섭입판의 인력' 힘을 이해 가능한지 물었다. 또 새로운 개념의 그럴듯함에는 ' "섭입판의 인력"은 판이 움직이는 원동력으로 적절하다고 생각하나요?'라는 물음으로 새로운 개념인 '섭입판의 인력'이 판이 움직이는 원동력으로 그럴듯한지 물었고, 마지막으로

새로운 개념의 유용함에서는 '판 이동의 원동력이 "섭입판의 인력"이라고 한다면 이를 통해 현재 지구의 지질학적 현상을 설명하기에 적절한가요?' 물음으로 새로운 개념인 '섭입판의 인력'에 대해 지구의 다양한 지질학적 현상에 유용하게 적용 가능한지 물었다. 먼저 학습자 전체 개념변화 조건 문항별 평균 점수는 다음과 같다(그림 4-5).

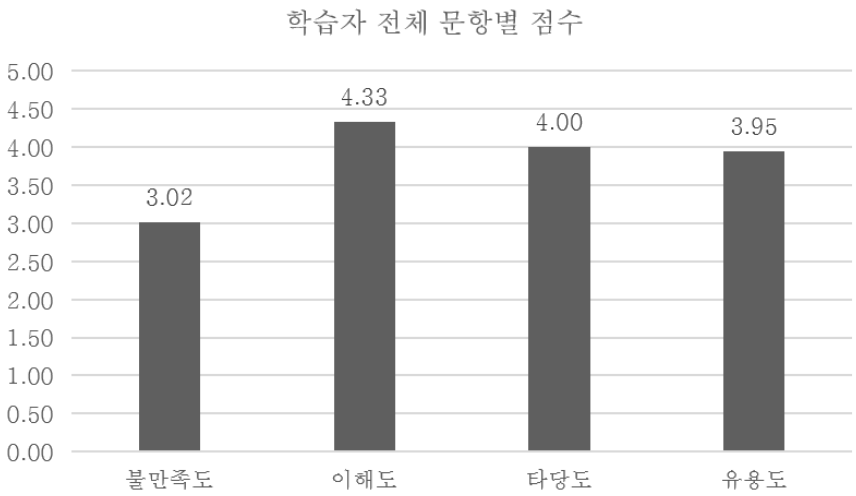


그림 4-5. 학습자 전체 문항별 점수

그림 4-5를 보면 맨틀 대류의 불만족도는 리커트 5점 척도에서 3.02점이 나왔고, 섭입판의 인력의 이해도는 4.33점이 나왔으며, 섭입판의 인력의 타당도는 4.00점이 나왔고, 마지막으로 섭입판의 인력의 유용도는 3.95점이 나왔다. 리커트 5점 척도는 평균 점수가 3점이며, 모두 평균 3점을 넘는 모습으로 전반적으로 개념변화 조건에 만족함을 볼 수 있었다. 하지만 4가지 문항 중 맨틀 대류의 불만족도가 유독 다른 문항에 비해 낮았다. 이것은 학습자들이 개념변화 학습과정에서 섭입판의 인력의 이해도, 타당도, 유용도는 크게 느꼈지만, 맨틀 대류의 불만족도는 상대적으로 적게 느낀 것이다. 맨틀 대류의 불만족도가 크지 못한 것은 본 개념변화 학습과정에서 불만족 정도가 부족했거나, 학습자들이 맨틀 대류에 대한 견고함이 큰 것으로 해석할 수 있다.

두 번째로는 구체적으로 개념이 변화된 집단과 개념이 변화되지 않은 집단 사이 점수 차가 얼마나 나는지 알아보기 위해 사후 개념 결과에 따라 집단을 구분하고 각 개념변화 조건 점수를 문항별 그래프로 나타내었다(그림 4-6). 그림 4-6의 개념변화X 집단은 개념이 변화되지 않은 집단으로 사후 개념 결과에 '맨틀 대류'로 답한 학습자들이고, 개념변화△ 집단은 두 개념 중 어느 것으로도 선택하지 못한 '잘 모르겠다'로 답한 학습자들이며, 개념변화O 집단은 개념이 올바르게 변하여 '섭입판의 인력'으로 답한 학습자들이다.

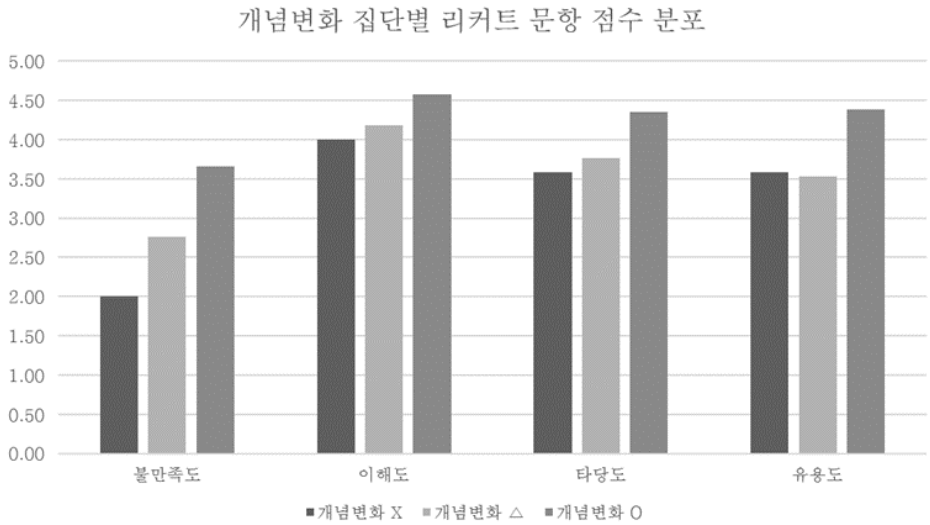


그림 4-6. 사후 개념 결과 집단별 문항 점수

표 4-20. 사후 결과 집단별 리커트 척도 점수표

사후결과 집단	맨틀 대류 불만족도	섭입판 인력 이해도	섭입판 인력 타당도	섭입판 인력 유용도	전체 평균
맨틀 대류 (개념변화X)	2.00	4.00	3.58	3.58	3.29
잘 모르겠다 (개념변화△)	2.76	4.18	3.76	3.53	3.56
섭입판의 인력 (개념변화O)	3.65	4.58	4.35	4.38	4.24
점수 차(O-X)	1.65	0.58	0.77	0.8	0.95

그림 4-6과 표 4-20를 보면 맨틀 대류 불만족도는 개념변화X 집단은 2점, 개념변화△ 집단은 2.76점, 개념변화O 집단은 3.65점이고 섭입판 인력의 이해도는 개념변화X 집단은 4.00점, 개념변화△ 집단은 4.18점, 개념변화O 집단은 4.58점으로 조사되었다. 섭입판 인력의 타당도는 개념변화X 집단은 3.58점, 개념변화△ 집단은 3.76점, 개념변화O 집단은 4.35점이고 섭입판 인력의 유용도는 개념변화X 집단은 3.58점, 개념변화△ 집단은 3.53점, 개념변화O 집단은 4.38점으로 조사되었다. 각 집단별로 4가지 문항 점수를 평균내면, 개념변화X 집단은 평균 3.29점, 개념변화△ 집단은 평균 3.56점, 개념변화O 집단은 평균 4.24점으로 전반적으로 개념변화X, 개념변화△, 개념변화O 집단 순으로 점수가 높아지는 경향을 확인했다. 이를 통해 개념변화가 일어나기 위해선 개념변화 조건에 골고루 높게 만족했을 때 잘 변화되며, 특히나 선개념의 불만족도가 높은 학습자들이 개념변화가 더욱 잘 일어남을 확인할 수 있었다.

또한 개념이 변화된 집단(개념변화O)과 개념이 변화되지 않은 집단(개념변화X)과의 점수 차를 보면 섭입판의 인력 이해도, 타당도, 유용도는 1점 미만의 차이들을 보이지만, 맨틀 대류의 불만족은 1.65점으로 두 배 이상의 차이를 보였다. 이를 해석하면 새로운 개념에 대한 수용은 적극적이지만, 선개념에 대한 불만족도는 소극적인 모습을 보였으며, 학습자들의 선개념에 대한 견고함과 다양한 인지과정의 차이로 인해 다른 것을 확인했다.

제 5 장 결론 및 제언

제 1절. 요약 및 결론

본 연구는 판의 주된 원동력에 대한 개념을 학계의 흐름대로 맨틀 대류에서 섭입판의 인력으로 변화시키기 위해 개념변화학습지를 개발해 예비교사

들에게 적용했다. 그에 대한 연구 결과를 앞선 장에서 논의하였고 마지막으로 이번 장에서는 연구 결과를 요약 정리하고 연구 문제에 맞게 결론을 정리하고자 한다.

가. 결과 요약

1. 개념변화 학습 전 개념 검사 결과

판 운동의 주된 원동력에 대한 사전 개념 조사 결과, 대다수의 예비교사들은 맨틀 대류로 알고 있었다. 맨틀 대류의 하위 문항에서는 해령과 해구의 생성 기작과 판 운동 시작 지점에 대한 이해가 높았으며, 대류 세포의 길이 비와 판 속도 관계에 대해서는 오답률이 높았다. 섭입판의 인력 하위 문항에서는 판 운동의 시작 지점, 해령 생성 기작, 판 이동 속도와 해구의 관계 등 모든 문항에서 정답률이 높았다. 결론적으로, 예비교사들은 판 운동의 주된 원동력을 맨틀 대류로 알고 있었고, 맨틀 대류의 대류 세포 길이 비에 대한 오개념이 많았다. 섭입판의 인력에 대해서는 정답률이 높았는데, 이는 교과서에 설명된 섭입판 인력 개념을 잘 이해하고 있거나, 선택형 응답 형식 때문에 응답에 영향을 주었을 수 있다고 생각한다.

2. 개념변화 학습과정

지금까지 개정된 교육과정을 통해 학습한 학습자들은 판 운동의 주된 원동력을 맨틀 대류로 알고 있다고 예상되었으며, 실제로 사전 개념 조사 결과도 이와 일치했다. 이를 바탕으로 예비교사들의 판 운동 원동력 개념을 현재 학계의 흐름에 맞게 변화시키기 위해 개념변화학습지를 개발하고 적용했다. 개념변화학습지는 Hashweh의 인지갈등 전략과 Driver의 개념변화 수업 모

형을 결합하여 구성했다. 학습지는 불일치 상황 제시, 새로운 개념 도입, 불일치 상황 해결, 새로운 상황 적용의 4단계로 구성했고 학습자들이 모든 문항을 스스로 이해하고 답할 수 있도록 문장 완성형 문제와 선택형 보기로 구성했다. 이를 통해 학습자들의 각 단계별 응답을 분석하여 개념변화 과정의 목표에 맞게 수행되었는지 확인했다.

그 결과 1단계인 불일치 상황 제시에서, 남극판 안정성 문항과 불연속적 해령 상황을 맨틀 대류 관점에서 해결하지 못한다고 인지한 학습자의 비율은 각각 약 56%와 약 41%였다. 이는 연구의 의도와 일치하여 맨틀 대류 관점에서 모순되는 지질학적 상황에 강한 인지 갈등을 느낀 학습자들이라고 볼 수 있었다. 다른 학습자들은 약한 인지 갈등을 느꼈거나 오해석을 통해 다른 답을 제시했다. 그 다음 2단계 새로운 개념 도입을 한 뒤 3단계인 새로운 개념으로의 해결 단계에서, 섭입판의 인력 관점에서 남극판 안정성 문항과 불연속적 해령 문항을 해결한 학습자의 비율은 두 문항 모두 약 70%였다. 이 결과는 불일치 상황 제시 단계에서 강한 인지 갈등을 느낀 약 50%의 학습자들과 인지 갈등을 약하게 느낀 학습자들, 오해석 한 학습자들, 선개념의 견고성으로 인해 맨틀 대류로 설명이 가능하다고 생각했지만 섭입판의 인력 설명이 더 타당하다고 판단하여 생각이 변화한 경우까지 포함된 것으로 볼 수 있다. 마지막 4단계인 새로운 상황 적용 단계에서는 두 관점으로 새로운 두 가지 지질학적 문제를 해결하는데, 첫 번째 문제인 판의 속도와 판의 경계 비율 그래프 문제는 약 80%의 학습자가 맨틀 대류 관점이 아닌 섭입판의 인력 관점에서 더 적절하게 해석되는 것으로 인지했고, 두 번째 해령과 해구가 만나는 사건은 약 64%의 학습자들이 맨틀 대류 관점보다 섭입판의 인력 관점으로 더 적절하게 해석됨을 인지했다. 따라서 마지막 새로운 상황 적용 단계에서는 약 72%의 학습자들이 새로운 개념을 긍정적으로 재평가했음을 확인할 수 있었다.

개념변화 학습과정을 정리하면 다음과 같다. 전체 59명의 학습자 중 절반

이 넘는 학습자가 본 연구의 의도에 따라 개념변화 과정을 거침을 확인했다. 단계별로 살펴보면 불일치 상황 제시 단계가 가장 낮은 정답률을 보였는데, 이는 1-2학년의 대학생들이 고등학생을 벗어난 지 얼마 안 된 상황이기 때문에 선개념을 부정하기가 어려웠을 것으로 생각되었다. 또한, 학습자별로 선개념에 대한 견고성이 다르고, 학습자들의 개념에 대한 신념이 다르기 때문에 각기 다른 반응을 보이는 것으로 생각되었다. 3단계와 4단계에서는 약 70%의 학습자들이 섭입판의 인력을 잘 활용하여 문제를 해결하는 모습을 보였고, 이 중 20%의 학습자들은 불일치 상황 제시에서 맨틀 대류 관점으로 해결 가능하다고 답하고 불일치 상황 해결에서 섭입판의 인력으로도 해결 가능하다고 답했다. 이는 맨틀 대류 관점을 거부하기 힘들었거나, 오해석으로 맨틀 대류 관점으로 해결이 가능하다고 답했는데, 섭입판의 인력 관점으로 다시 해석해보니 더 타당하다고 판단하여 응답 변화가 일어난 것으로 생각됐다. 본 연구에서는 교수학습이 아닌 학습지를 개발하여 진행한 연구로 학습자들이 스스로 설명문과 문제를 이해하고 답하는 과정에서 학습자들의 여러 인지구조의 특성이 들어가 본 학습지의 의도와는 다른 여러 답을 관찰할 수 있었다. 또한, 학습자들의 이해 정도를 학습과정 도중에 확인하지 못해 한 번 잘못 이해한 경우 다시 올바르게 잡기 어려웠던 것으로 판단된다. 이러한 점은 후속 연구에서 교수활동으로 진행하면서 학습자들의 이해도를 학습과정 중간에 확인해 주거나, 아니면 학습자들이 응답의 선택 폭을 넓히는 쪽으로 보완한 학습지를 만든다면 학습자의 개념변화가 더 증가할 것으로 생각되었다.

3. 개념변화 학습 후 개념 검사 결과

개념변화 학습 후에는 사전 개념 검사지와 동일한 문항으로 학습자들의 사후 개념을 확인하였고, 또한 개념변화 학습과정에서 섭입판의 인력으로 문항을 해결할 때 정답률이 높았던 지질/지구물리학적 상황은 무엇인지 알아

보았고, 마지막으로 Posner의 개념변화 조건 문항에 대응한 리커트 5점 척도 문항을 만들어 만족도를 조사했다.

첫 번째로, 학습자들은 개념변화 학습과정 이후 핵심 문항인 1번 '판의 주된 원동력은 무엇인가?'에서 학습자 59명 중 30명(50.8%)이 '섭입판의 인력'으로 응답했다. 이는 사전 개념 검사보다 26명(49.1%)이 많아진 결과로, 26명의 학습자들은 개념변화학습지를 통해 판 운동의 주된 원동력을 '맨틀 대류'에서 '섭입판의 인력'으로 변화하여 최신 과학 개념을 인지한 것을 확인할 수 있었다. 이러한 변화가 유의미한 변화인지 확인하기 위해 사전, 사후 개념 결과를 대응 표본 t 검정을 통해 알아보았다. 그 결과 통계적으로 유의미한 차이가 보임을 확인했다. 따라서 개발한 판 운동 원동력 개념변화학습지는 학습자들을 선개념에서 최신 과학 개념으로 변화시키는 데 효과적이었다. 추가적으로 하위 문항들 중 통계적으로 유의미한 차이가 있는 것은 대류 세포와 관련된 문제였으며 이 또한 개념변화학습지를 통해 대류 세포에 대한 개념을 습득한 것으로 알 수 있었다.

두 번째로 개념변화 학습과정을 통해 학습자들이 새로운 개념인 섭입판의 인력을 이해하는 데 가장 적절한 지질학적 상황을 조사했다. 이를 위해 개념변화 학습과정에서 섭입판의 인력 관점으로 해결한 문항의 정답률을 비교 분석했다. 그 결과, 판의 이동 속도와 판의 경계 비율 그래프, 남극판 안정성, 불연속적 해령, 해령해구 만남 순으로 정답률이 높았다. 이는 학습자들 관점에서 섭입판의 인력을 가장 잘 이해할 수 있는 지질/지구물리학 상황 순서라고 생각된다.

마지막으로, 본 연구에서는 학습자들이 개념변화 과정에서 Posner의 개념변화 조건을 얼마나 만족시키는지 조사했다. 분석을 위해 학습자들을 개념변화 결과에 따라 섭입판의 인력으로 개념이 변화된 개념변화O 집단, 어

느 관점도 선택하지 않은 개념변화△ 집단, 맨틀 대류를 선택한 개념변화X 집단으로 분류한 후, 각 개념변화 조건의 4가지 평가 항목에 대한 평균 점수를 확인했다. 그 결과, 개념변화O 집단, 개념변화△ 집단, 개념변화X 집단 순으로 개념변화 조건의 점수가 높은 것을 확인했다. 이는 개념변화 조건이 골고루 만족스러울 때 개념이 적절히 변화된다는 것을 본 연구를 통해서도 확인할 수 있었다. 구체적으로 점수를 비교해보았을 때, 모든 집단에서 학습자들의 선개념 불만족도가 낮았으며, 새로운 개념의 이해도, 타당도, 유용도가 높았다. 개념이 변화되지 않은 개념변화X 집단과 개념변화△ 집단을 자세히 살펴본 결과, 개념변화 조건 4가지 중 새로운 개념에 관한 3가지 항목에서 평균 이상의 점수를 받았음에도 불구하고 선개념 불만족도 점수가 평균 이하였다. 또한, 개념이 변화된 개념변화O 집단과 개념이 변화되지 않은 개념변화X 집단 간 점수 차이를 분석한 결과, 선개념 불만족 점수가 다른 문항들보다 2배 이상 큰 점수 차이를 보였다.

정리하자면, 개념이 변화되기 위해서는 선개념의 불만족도가 가장 중요한 선행 요건임을 확인했다. 또한, 학습자들은 새로운 개념을 수용하는 데는 적극적인 반응을 보이지만, 선개념이 잘못되었다고 인정하는 데는 소극적인 모습을 보였다. 이러한 현상은 학습자들의 선개념에 대한 개별적인 견고함 차이 때문으로 인해 발생한 것으로 확인할 수 있었다. 더불어, 동일한 개념변화 학습 과정을 거치더라도 학습자들의 인지 갈등 정도가 다양하게 나타났음을 알 수 있었다. 이를 토대로 보다 효과적인 개념변화를 위해 학습자들의 인지구조 특성 차이를 고려하고, 선개념의 불만족도를 높이는 노력이 필요함을 도출할 수 있었다.

나. 결론

본 연구 문제에 맞게 결론을 정리하면 다음과 같다.

하나, 효과적이고 효율적인 방법으로 판의 주된 원동력 개념을 변화시킬 수 있는 학습지를 개발하였는가에 대해서는 온라인 플랫폼을 활용하여 시공간적으로 구애 받지 않는 학습환경을 제공했으며, 개념변화의 효과성을 확인하기 위해 학습자들의 사전 및 사후 개념 결과를 대응 표본 t 검정을 실시했다. 그 결과 유의미한 차이를 얻어 개념변화에 대한 효과성을 확인할 수 있었다. 따라서 본 연구에서 개발한 개념변화학습지는 시공간에 구애 받지 않고 효율적으로 사용될 수 있으며, 개념변화의 의도를 실천할 수 있는 학습도구로 활용될 수 있다.

둘, 판의 주된 원동력을 '맨틀 대류'로 알고 있는 예비교사들에게 학계의 흐름대로 '섭입판의 인력'을 과학 개념으로 올바르게 인식시켰는가에 대해서는 본 연구에서 개발한 개념변화 학습과정을 거친 뒤 약 50%(26명)의 학습자들이 판의 주된 원동력을 '섭입판의 인력'으로 변화된 모습을 볼 수 있었다. 이는 본 연구 참여자들의 약 50% 예비 교사가 학계의 흐름대로 과학적 개념을 습득한 것이다. 이로써 올바른 과학 개념으로 변화된 예비교사들은 향후 교육계에 판의 주된 원동력이 섭입판의 인력으로 받아들여졌을 때 학교 현장에서 현재 학계에서 통용되는 이론을 누구보다 잘 가르칠 수 있는 잠재력을 갖게 되어 학습자의 오개념 형성을 방지하는 올바른 과학 수업을 할 수 있을 것이다.

셋, 학습자들이 '섭입판의 인력'을 가장 잘 활용하여 해결할 수 있는 지질학적 상황이 무엇인지에 대해서는 학습자들의 개념변화 학습과정 중 섭입판의 인력을 활용하여 해결한 문항의 정답률을 통해 알아보았다. 그 결과, 학습자들은 판의 속도와 판의 경계 비율 그래프를 해석하는 문제에서 가장 높은 정답률을 보였다. 그 다음으로는 남극판의 안정성, 불연속적 해령, 해령과 해구 만남 상황 순으로 정답률이 높았다. 이러한 순서는 학습자들이 섭입판의 인력을 가장 잘 이해할 수 있는 지질/지구물리학 상황 순서라는 것을

나타낸다. 이에 따라 교과서에서 판에 작용하는 주요한 힘으로 섭입판의 인력이 설명될 때, 학습자들의 이해도를 고려한 지질/지구물리학적 상황을 활용하고 글을 서술한다면 학습자의 학습 효율이 보다 더 높아질 것으로 기대된다.

제 2절. 제언

1. 교육적 제언

본 연구에 사용한 개념변화학습지를 교육적으로 제언하면 다음과 같다.

첫재, 본 연구에서 개발한 개념변화학습지를 학교 현장에서 사용한다면 참여자의 연령이 예비교사에서 고등학생으로 낮아졌음을 고려하여 문제 구성과 설명을 더 쉽게 이해할 수 있도록 만들어야 할 것이다.

둘째, 개념변화 학습과정 중 불일치 상황 제시에서 맨틀 대류 관점으로 불연속적 해령 상황을 해결할 때 대류 세포의 길이 비 개념이 사용된다. 현재 15 개정 교육과정에서는 상부 맨틀로 판이 움직이는 것으로 설명되어 있어 대류 세포의 1:1:1 길이 비가 나오는 것은 학습에 혼란을 줄 수 있다[1]. 이에 고등학생들에게는 불연속적 해령 문항을 제외시키는 것이 좋을 것 같다.

2. 후속연구 제언

본 연구 결과를 바탕으로 후속 연구를 제언하면 다음과 같다.

첫째, 학습자들의 응답 분석 결과를 고려해 보면, 동일한 문항에 대해서도 학습자들이 다양한 답변을 제시하는 것을 확인할 수 있었다. 이를 바탕으로

[1] 최근 고시된 22 개정 교육과정 지구시스템과학 [12지시01-03]에는 '판구조론의 발달사와 관련지어 판을 움직이는 맨틀의 상부 운동과... '라는 문장이 있다. 이를 통해 22 개정에서도 판을 움직이는 맨틀은 상부 맨틀로만 움직이는 것으로 배우게 된다. 하지만 실험적으로 맨틀은 1:1:1의 길이 비를 갖는다는 것이 연구 결과로 입증되어 있다.

후속 연구에서는 선택한 답변의 이유를 기술하는 서답형 문항을 도입하여 학습자들의 다양한 인지과정을 조사하는 것이 개념변화 과정 연구에 도움이 될 것으로 판단된다.

둘째, 박기락(2018)의 연구 동향에 따르면, 지구과학 개념변화 연구 중 예비교사와 현직교사를 대상으로 한 연구가 가장 적었고, 대부분 학생들을 대상으로 한 연구가 많았다. 학생들의 오개념을 수정하는 것도 중요한 과제이지만, 오개념이 발생하지 않도록 사전에 예방하는 과정도 매우 중요하다. 따라서 후속 연구에서는 판 운동의 주된 원동력을 맨틀 대류로 배운 현직교사들을 대상으로 교사 연구회나 교사 연수 같은 곳에서 개념 교정을 진행하는 것도 필요하다고 판단된다.

셋째, 개념변화 연구는 대부분 수업을 통해 진행되었으며, 이는 수업 환경과 교사의 능력에 따라 결과가 다양하며 시간이 많이 소요되는 특징을 갖고 있다. 본 연구에서는 온라인으로 구조화된 학습지를 개발하여 개념변화를 효율적이고 효과적으로 이끌어냈다. 따라서 앞으로 지구과학 뿐만 아니라 다른 학문 분야에서도 구조화된 학습지를 활용하여 개념변화를 보다 편리하고 원활하게 이루어질 수 있기를 기대한다.

참고 문헌

권난주, 권재술. (1998). 인지갈등을 통한 개념수업 절차 모형의 적용. 한국과학교육학회지,18(3), 261-271.

권난주, 권재술. (2004). 인지갈등 전략을 이용한 과학 개념변화에서 학습자 특성의 효과. 한국과학교육학회지,24(2), 216-225.

권재술. (1989). 과학 개념 형성의 한 인지적 모형. 물리교육, 7. 1-9.

권재술. (1991). 과학교수 . 학습 이론 및 방법 : 과학 개념형성의 한 인지적 모형. 청람과학교육연구논총, 1(1), 3-11.

권재술. (1992). 과학 개념 학습을 위한 수업 절차와 전략. 한국과학교육학회

지,12(2), 19-29.

권재술, 김범기. (1995). 과학개념과 인지적 갈등의 유형이 학생들의 개념변화에 미치는 영향. 한국과학교육학회지,15(4), 472-486.

권재술, 이경호, 김연수. (2003). 인지갈등과 개념변화의 필요조건과 충분조건. 한국과학교육학회지,23(5), 574-591.

김민성. (2015). 지리 오개념 극복을 위한 인지갈등 전략의 이해와 적용. 한국지리학회지,4(1), 1-13.

문성숙, 권재술. (2006). 교육 과정의 변화에 따른 과학의 본성에 대한 고등학생의 관점 변화. 한국과학교육학회지, 26(1), 58-67.

문성숙, 권재술. (2008). 개념구조를 이용한 인지갈등에 대한 새로운 논의. 한국과학교육학회지, 28(5), 359-382.

문정용, 나건민, 김학성, 조재희. (2018). 고등학생의 지구과학 영역별 개념 이해의 수준 분석. 청람과학교육연구논총, 24(1), 52-62.

박기락, 박현주. (2018). 지구과학교육 분야의 개념변화 연구 동향 분석. 한국지구과학회지, 39(2), 193-207.

박종원. (1996). 학생의 선개념과 탐구 기능이 전기 실험 결과의 해석에 미치는 영향. *Journal of The Korean Association For Science Education*, *16*(3), 227-238.

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

이영직, 권재술. (1993). 오개념의 견고성 지수. 한국과학교육학회지, 13(3), 310-316.

전태환, 서기원, 이규호. (2016). 고등학교 지구과학 교과서에 제시된 판 이동의 주된 원동력에 대한 고찰. 한국지구과학회지, 37(1), 62-77.

정경진, 정구송, 문병찬, 정진우. (2007). 판 구조론에 관한 고등학교 1 학년 학생들의 오개념. 한국지구과학회지, 28(7), 762-774.

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

정진우, 박진홍. (1997). 지구과학 개념에 대한 중학교 학생들의 심리적 위계에 따른 교수 효과. 한국지구과학회지, 18(2), 138-145.

한인수, 권난주, 권재술. (2001). 인지갈등 유발 수업에서 오개념에 대한 확신

도가 개념변화에 미치는 영향. 한국과학교육학회지, 21(4), 689-696.

Bringuier, J. C., Piaget, J. (1989).Conversations with jean piaget. University of Chicago Press.

Cox, A., and Hart, R.B. (1986). Plate tectonics: How itworks. Blackwell Scientific Publications, 392 p.

Cox, A., Doell, R., Dalrymple, G., & Moskowitz, B. (1963). "Magnetization of Rocks in the Oceanic Crust." Journal of Geophysical Research, 68(16), 4823-4829.

Conrad, C. P., Lithgow-Bertelloni, C. (2002). How mantle slabs drive plate tectonics. *Science*, *298*(5591), 207-209.

Dietz, R.S. (1961). Continent and ocean basin evolution byspreading of the sea floor. Nature, 190(4779), 854-857.

Driver, R. (1983). Pupil as scientist. McGraw-Hill Education (UK).

Forsyth, D., Uyeda, S. (1975). On the relative importance of the driving forces of plate motion.Geophysical Journal International,43(1), 163-200.

Hashweh, M. Z. (1986). Toward an explanation of conceptual change. *European journal of science education*, *8*(3), 229-249.

Harper, J.F. (1975). On the driving forces of plate tectonics. Geophysical Journal of the Royal Astronomical Society, 40, 465-474.

Hess, H.H. (1960). Evolution of ocean basin. Report to Office of Naval Research, Contract No. 1858(10)

Holmes, A. (1929). Radioactivityand earth movements.Transactions Geological Society of Glasgow, 18, 559-606.

Lee, G., Kwon, J., Park, S. S., Kim, J. W., Kwon, H. G., Park, H. K. (2003). Development of an instrument for measuring cognitive conflict in secondary-level science classes. *Journal of Research in Science Teaching: The Official Journal of the National Association for Research in Science Teaching*, *40*(6), 585-603.

Le Pichon, X. (1968). Sea-floor spreading and continental drift.

Journal of geophysical research, 73(12).

Martin, P., van Hunen, J., Parman, S., Davidson, J. (2008). Why does plate tectonics occur only on Earth?.Physics Education,43(2), 144.

McElhinny, M. W. (1979). Palaeomagnetism and plate tectonics. CUP Archive.

McKenzie, D. P., & Parker, R. L. (1967). The North Pacific: an example of tectonics on a sphere. Nature, 216(5122), 1276-1280.

Morgan, W. J. (1968). Rises, trenches, great faults, and crustal blocks. Journal of Geophysical Research, 73(6), 1959-1982.

Piaget, J. (1969). Science of Education and the Psychology of the Child. Trans. D. Coltman. Oxford, England: Orion, 43-48.

Pines, A. L., West, L. H. (1986). Conceptual understanding and science learning: An interpretation of research within a sources-of-knowledge framework. Science education, 70(5), 583-604.

Posner, G. J., Strike, K. A., Hewson, P. W., Gertzog, W. A. (1982). Toward a theory of conceptual change. *Science education*, *66*(2), 211-227.

Rowell, J. A., Dawson, C. J., Lyndon, H. (1990). Changing misconceptions: a challenge to science educators. *International Journal of Science Education*, *12*(2), 167-175.

Sanders, M. (1993). Erroneous ideas about respiration: The teacher factor. Journal of research in science teaching, 30(8), 919-934.

Solomon, S. C., Sleep, N. H., and Richardson, R. M. (1975). On the forces driving plate tectonics: Inferences from absolute plate velocities and intraplate stress. Geophysical Journal of the Royal Astronomical Society, 42, 769-801.

Stavy, R. (1991). Using analogy to overcome misconceptions about conservation of matter. Journal of Research in Science Teaching, 28, 305- 313.

Stern, R. J. (2007). When and how did plate tectonics begin? Theoretical and empirical considerations.Chinese Science Bulletin,52(5), 578-591.

Torsvik, T. H., Van der Voo, R., Preeden, U., Mac Niocaill, C., Steinberger, B., Doubrovine, P. V., ... & Cocks, L. R. M. (2012). Phanerozoic polar wander, palaeogeography and dynamics. Earth-Science Reviews, 114(3-4), 325-368.

Tsai, C. C. (2000). Enhancing science instruction: the use of'conflict maps'. *International journal of science education*, *22*(3), 285-302.

Vine, F. J., & Matthews, D. H. (1963). Magnetic anomalies over oceanic ridges. Nature Publishing.

Wegener, A. (1912). Die Herausbildung der Grossformender Erdrinde (Kontinente und Ozeane), aufgeophysikalischer Grundlage. Petermanns GeographischeMitteilungnen, 63, 185-195, 253-256, 305-309.

Wilson, J. T. (1963). A possible origin of the Hawaiian Islands. Canadian Journal of Physics, 41(6), 863-870.

Wilson, J. T. (1965). A new class of faults and their bearing on continental drift. *Nature*, *207*, 343-347.

자료 출처

교육부(2015), 『과학과 교육과정』(고시 제2015-74호 [별책 9]), 서울: 교육부.

교육부(2022), 『과학과 교육과정』(고시 제2022-33호 [별책 9]), 서울: 교육부.

오필석, 조현구, 오성진, 이희원, 문병권, 소영무, 전혜진, 박창용(2018), 고등학교 지구과학1, 천재교육

이기영, 김형수, 박재용, 이상민, 정재훈, 최윤옥(2019), 고등학교 지구과학1, 비상교육

이용준, 박수인, 이진경, 장헌영, 김연귀, 장유순(2019), 고등학교 지구과학 1, 교학사

이진우, 류형근, 추병수, 문무현, 이인순, 서기원, 조명아(2018), 고등학교 지구과학1, 미래엔

권석민, 이효녕, 진만식, 부영표, 김택중, 조영우(2018), 고등학교 지구과학 1, 금성출판사

김진성, 이혜경, 권오성, 장선경, 권홍진, 박희경(2020), 고등학교 지구과학1, YBM

p9 (그림 2-3 남극판) : https://wikipedia.org/wiki:AntarcticPlate.png

p10 (그림 2-4 불연속적 해령) : National Geographic

p12 (그림 2-6 해령 해구 만남) : https://wikipedia.org/wiki/:PacificPlate.png

p43 (그림 4-2 세계 판의 경계) : F. Lutgens 외, <Essentials of Geology> 11판, Pearson, 2012

p43 (그림 4-2 지구 내부 구조) : 지진안전포털

부록

판의 주된 원동력 개념 검사지

이 검사의 목적은 여러분의 판의 주된 원동력에 대한 개념의 이해를 조사하고자 하는 것입니다. 검사의 결과는 성적과 무관하며, 연구 이외의 목적에 사용하지 않음을 약속드립니다. 답변 내용은 판의 주된 원동력 연구를 위한 소중한 자료가 될 것입니다. 솔직한 답변 주시면 감사하겠습니다.

서울대학교 사범대학 지구물리연구실

연구 참여자 사전 정보					
학교			학번		
학년	1학년	2학년	3학년	4학년	그 외
고등학교 지구과학 선택과목 이수여부	지구과학 1 / 지구과학 2 / 둘 다 이수 / 둘 다 미이수				

Ⅰ. 사전 개념 검사지

「사전 개념 조사 1」

1. 판이 이동하는 주된 원동력은 무엇이라고 생각하나요?

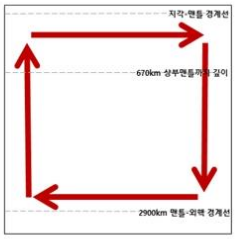
a. 맨틀대류
b. 섭입판의 인력
c. 잘 모르겠다.

「사전 개념 조사 2 : 맨틀 대류에 대한 사전 개념 조사 문항」

설명 : "맨틀 대류"에 대한 사전 개념 조사 문항입니다. 아래 문제에 답해보세요.

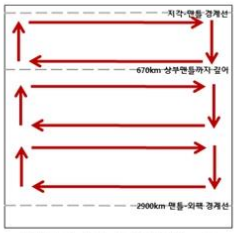
1. 맨틀 대류세포의 수직 깊이 : 수평 길이의 비율은 어떻게 되는지 아래 보기 중에 골라보세요.
(용어 설명 : 대류세포란, 맨틀이 대류할 때 하나의 단위 세포)

a.



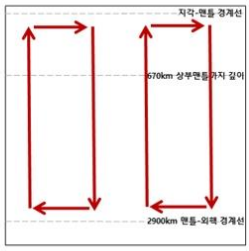
대류세포의 수평 : 수직의 길이비 = 1:1

b.



대류세포의 수평 : 수직의 길이비 = 5:1

c.



대류세포의 수평 : 수직의 길이비 = 1:5

d.

잘 모르겠다.

2. 아래 문장을 완성해보고, 괄호 안에 답이 순서대로 짝지어진 것을 고르세요.

판의 주된 원동력이 "맨틀대류"라면 맨틀대류의 상승부는 (해령, 해구)를 만들고, 하강부는 (해령, 해구)를 만든다.

a. 해령, 해령
b. 해령, 해구
c. 해구, 해령
d. 해구, 해구
e. 잘 모르겠다.

3. 아래 문장을 완성해보고, 괄호 안에 적절한 답을 고르세요.

"맨틀 대류"로 판이 움직일 때, 판의 운동이 시작되는 곳은 (해령, 해구)이다.

a. 해령
b. 해구
c. 잘 모르겠다.

4. 아래 문장을 완성해보고, 괄호 안에 답이 순서대로 짝지어진 것을 고르세요.

지구는 여러개의 판으로 이루어져 있으며, 각 판의 이동 속도는 (같다 , 다르다). 이는 맨틀 대류 세포의 속도와 관계가 (있다 , 없다).

a. 같다 / 있다
b. 같다 / 없다
c. 다르다 / 있다
d. 다르다 / 없다
e. 잘 모르겠다.

뒷장에 계속됩니다.

「사전 개념 조사 3 : 섭입판의 인력에 대한 사전 개념 조사 문항」

설명 : "섭입판의 인력"에 대한 사전 개념 조사 문항입니다. 아래 문제에 답해보세요.

---

1. 아래 문장이 완성해보고, 괄호 안에 적절한 답을 고르세요.

"섭입판의 인력"으로 판이 움직일 때, 판의 운동이 시작되는 곳은 (해령, 해구)이다.

a. 해령
b. 해구
c. 잘 모르겠다.

2. 아래 문장이 완성해보고, 괄호 안에 적절한 답을 고르세요.

판의 주된 원동력이 "섭입판의 인력"이라면 해령은 (해구에서 잡아당기는 힘에 의해 확장되는 곳, 맨틀의 상승부로 확장되는 곳) 이다.

a. 해구에서 잡아당기는 힘에 의해 확장되는 곳
b. 맨틀의 상승부로 확장되는 곳
c. 잘 모르겠다.

3. 아래 문장을 완성해보고, 괄호 안에 답이 순서대로 짝지어진 것을 고르세요.

지구는 여러개의 판으로 이루어져 있으며, 각 판의 이동 속도는 (같다 , 다르다). 이런 원인은 해구에서 판이 맨틀 속으로 섭입하는 속도가 (같기 , 다르기) 때문이다.

a. 같다 / 같기
b. 같다 / 다르기
c. 다르다 / 같기
d. 다르다 / 다르기
e. 잘 모르겠다.

사전 개념 검사지가 끝났습니다. 다음 탐구 활동지로 넘어갑니다.

Ⅱ. 탐구 활동지

이제부터는 사전개념검사지로 돌아가면 안 됩니다.

「탐구 활동 1 : "맨틀대류"로 문제 적용해보기」

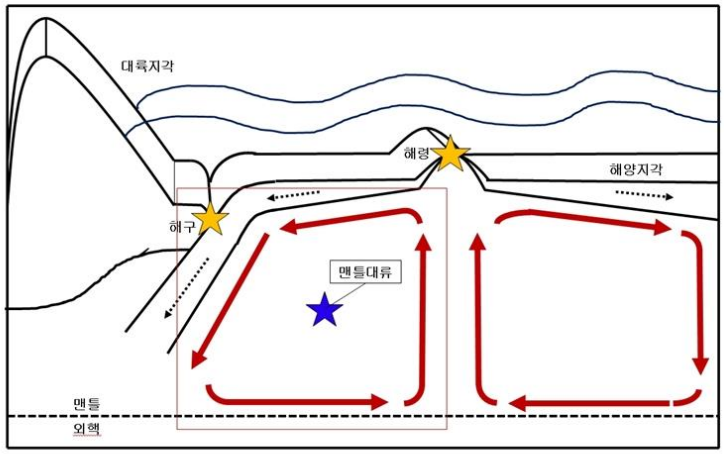
★★★★"맨틀대류"설명★★★★

▶맨틀대류설은 우리가 익히 알고 있는 판의 이동과 운동이 맨틀의 대류에 의해 일어난다는 가설입니다.

그럼 맨틀대류설의 관점으로 판에서 일어나고 있는 여러 지질학적 상황을 풀어봅시다.

▶ 아래는 "맨틀대류" 관점의 기본 원리와 주요 특징입니다.

- 기본 원리 (아래 그림 참고)
: 맨틀대류는 방사성 동위원소 붕괴열에 의해 유체의 흐름처럼 맨틀이 대류하는 것이다. 이때 맨틀대류는 대류세포를 이루며 움직인다.



- "맨틀대류" 주요 특징
(1) 대류세포 -> 이론과 실험으로 구한 대류세포의 가로x : 세로y : 수직z의 길이비 = 약 1 : 1 : 1
(2) 대류세포의 상승부 : 해령 / 대류세포의 하강부 : 해구
(3) 판 움직임이 시작되는 판의 경계 : 대류세포의 상승부인 '해령'

이러한 "맨틀대류"의 기본원리와 특징을 가지고 아래 나오는 지질학적 상황 2가지에 대입하여 풀어보세요.

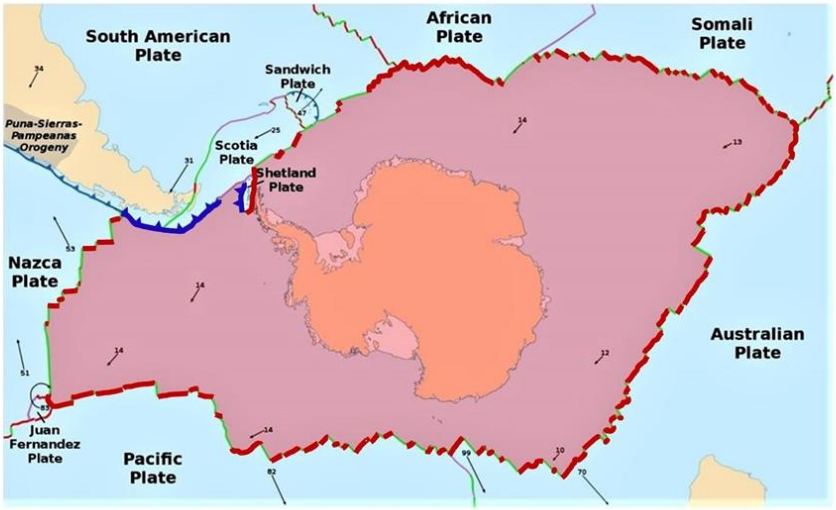
한 문제 한 문제 순서대로 신중히 풀어주시기 바랍니다.

문제1. 세계에서 가장 안정적인 남극판

[문제 설명]

지구는 여러개의 판으로 나뉘어져 있다. 그 중 남극판은 세계에서 가장 움직임이 느린 안정적인 판이다 .남극판은 어떻게 세계에서 가장 안정적인 판이 될 수 있을까?

그림을 보고 문제에 답해보세요.



[그림 설명]

그림의 붉은 영역은 남극판이다. 남극판의 경계를 보면 빨간색은 해령, 연두색은 변환단층, 파란색은 해구를 나타내고 있다. 이 그림을 보고 아래 문제에 답해보세요.

뒷장에 계속됩니다.

문제 1-1. 아래 문장을 완성해보고, 괄호 안에 답이 순서대로 짝지어진 것을 고르세요.

위 그림을 보면, 남극판의 경계는 거의 (해령과 변환단층 , 해구)(으)로 이루어져 있고, (해령과 변환단층 , 해구)은(는) 상대적으로 적다.

a. 해령과 변환단층 / 해령과 변환단층
b. 해령과 변환단층 / 해구
c. 해구 / 해령과 변환단층
d. 해구 / 해구

문제 1-2. 아래 문장을 완성해보고, 괄호 안에 들어갈 말로 적절한 것을 고르세요.

남극판은 판의 속도가 세계에서 가장 느린 안정적인 판이다. 그 의미는 판의 운동(움직임)이 (활발하기, 활발하지 않기) 때문이다.

a. 활발하기
b. 활발하지 않기

문제 1-3. 아래 문장을 완성해보고, 괄호 안에 답이 순서대로 짝지어진 것을 고르세요.

판의 주된 원동력이 "맨틀대류"라면 판의 운동은 (해령 , 해구)에서 시작된다. 그렇다면 판의 운동(움직임)이 활발하지 않으려면 판의 경계에 (해령 , 해구)이(가) 상대적으로 적어야 한다.

a. 해령 / 해령
b. 해령 / 해구
c. 해구 / 해령
d. 해구 / 해구

뒷장에 계속됩니다.

문제 1-4. 문제 1-3에서 답한 판의 운동이 활발하지 않기 위해 상대적으로 적어야하는 판의 경계는 실제 남극판의 경계의 분포와 유사한가요?

a. 예
b. 아니오

문제 1-5. 그렇다면 남극판이 세계에서 가장 안정하다는 것은 "맨틀대류설"로 설명 가능한가요?

a. 예
b. 아니오
c. 잘 모르겠다.

뒷장에 계속됩니다.

문제2. 불연속적으로 나누어진 해령

[문제 설명]

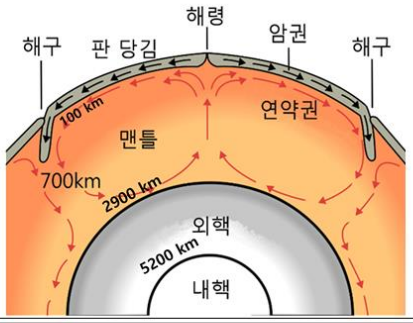
아래 그림과 같이 해령은 불연속적으로(변환단층으로) 연결되어 있고, 각각의 단위 해령의 길이는 수십km ~ 수백km로 불규칙하게 나뉘어져있는 모습을 볼 수 있다. 이처럼 불연속적이고, 불규칙하게 나뉘어진 해령은 어떻게 생긴 것일까?

그림과 제시된 자료를 바탕으로 다음 문제에 답해보세요.

그림1. 대서양 중앙해령
(불연속적인 해령 모습)

그림2. 전 세계 판의 경계
(해령과 해구 사이 거리)

그림3. 지구 내부 구조 (맨틀까지 깊이)



대략적인 실제 수치 자료

- (그림1) 불연속적으로 나눠진 해령의 각각의 길이 : 수십~수백km.
- (그림2) 일반적인 해령과 해구사이의 거리: 수천~수만km.
- (그림3) 맨틀의 깊이: 약 2900km.

뒷장에 계속됩니다.

문제 2-1. 판의 주된 원동력이 "맨틀대류"라고 생각하고, 아래 문장을 완성할 때 괄호안에 적절한 답을 고르세요.

실험적으로 얻은 3차원의 대류세포는 수평(x,y) ,수직(z) 방향의 비가 x:y:z=1:1:1로 알려져 있다. 그렇다면 맨틀대류로 생기는 해령의 생김새는 (천 km 이상 길게 이어진, 수십~수백km 길이로 작게 잘라진) 형태일 것이다. (위 그림에 나온 해령과 해구사이의 거리와 맨틀까지의 깊이를 생각해보면 쉽습니다.)

a. 천 km 이상 길게 이어진
b. 수십~수백km 길이로 작게 잘라진

문제 2-2. 문제 2-1에서 답한 해령의 모습과 실제 해령의 모습은 유사한가요?

a. 예
b. 아니오

문제 2-3. 판의 주된 원동력이 "맨틀대류"라면, 불연속적으로 나누어진 해령의 모습이 설명 가능한가요?

a. 예
b. 아니오
c. 잘 모르겠다.

뒷장에 계속됩니다.

「탐구 활동 2 : “섭입판의 인력”으로 문제 적용해보기」

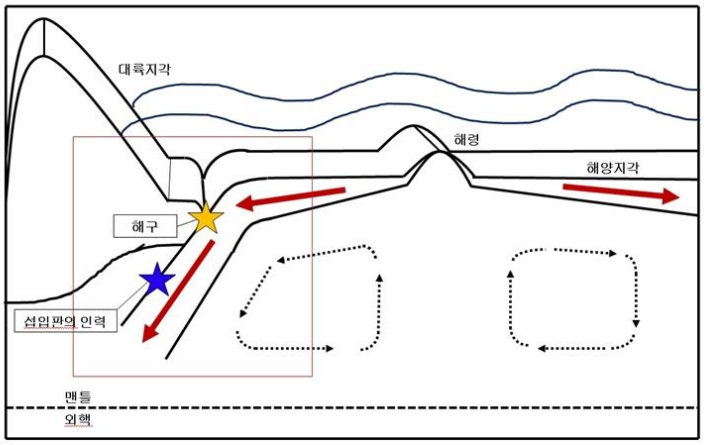
★★★★"섭입판의 인력"설명★★★★

▶ 섭입판의 인력설은 판의 이동과 운동이 섭입판의 인력에 의해 일어난다는 가설입니다. 이 가설은 맨틀대류와는 상반된 특징을 가지고 있으며, 이런 상반된 관점으로 지질학적 상황을 바라볼 수 있습니다.

그럼 섭입판의 인력설의 관점으로 판에서 일어나고 있는 여러 지질학적 상황을 다시 풀어봅시다.

▶판의 주된 원동력이 "섭입판의 인력"이라면, 아래는 "섭입판의 인력" 관점의 기본 원리와 사전 개념 조사 문항의 답변이자 "섭입판의 인력"관점의 주요 특징입니다.

- 기본 원리 (아래 그림 참고)
: 섭입대에서 판과 판이 만날때, 무거운 판이 하중에 의해 섭입하면서 전체의 판을 잡아당기는 힘입니다.
(침대 이불에 무거운 추를 달아놓았을때 추가 바닥에 떨어지면서 이불이 움직이는 것을 연상하면 이해하기 쉽습니다.)



- "섭입판의 인력" 주요 특징
(1) 판의 움직임의 시작이 되는 판의 경계 : 해구
(2) 해령은 해구에서 섭입하는 판에 의해 잡아당겨져 판이 끊어지는 곳
(3) 각 해구에서 판이 맨틀 속으로 섭입하는 속도는 다르다.

이러한 "섭입판의 인력"의 기본원리와 특징을 가지고 아래 나오는 지질학적 상황 2가지에 대입하여 풀어보세요.

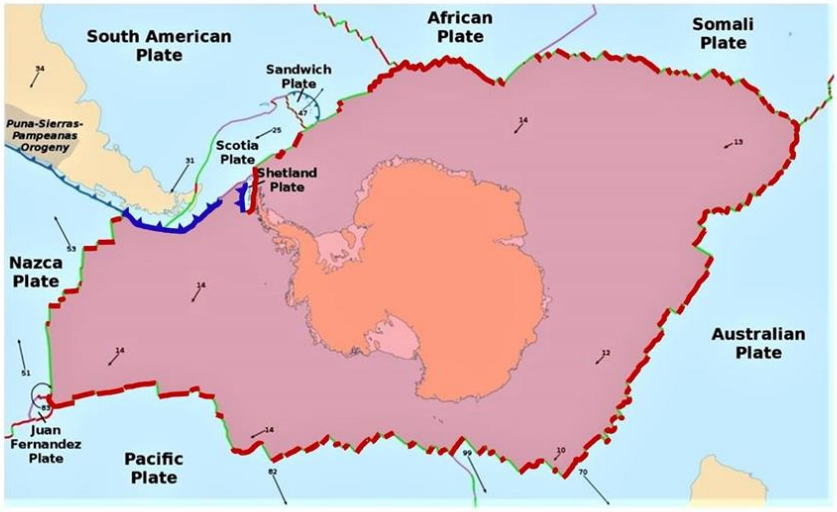
한 문제 한 문제 순서대로 신중히 풀어주시기 바랍니다.

문제1. 세계에서 가장 안정적인 남극판

[문제 설명]

지구는 여러개의 판으로 나뉘어져 있다. 그 중 남극판은 세계에서 가장 움직임이 느린 안정적인 판이다 .남극판은 어떻게 세계에서 가장 안정적인 판이 될 수 있을까?

그림을 보고 문제에 답해보세요.



[그림 설명]

그림의 붉은 영역은 남극판이다. 남극판의 경계를 보면 빨간색은 해령, 연두색은 변환단층, 파란색은 해구를 나타내고 있다. 이 그림을 보고 아래 문제에 답해보세요.

뒷장에 계속됩니다.

문제 1-1. 아래 문장을 완성해보고, 괄호 안에 답이 순서대로 짝지어진 것을 고르세요.

위 그림을 보면, 남극판의 경계는 거의 (해령과 변환단층 , 해구)(으)로 이루어져 있고, (해령과 변환단층 , 해구)은(는) 상대적으로 적다.

a. 해령과 변환단층 / 해령과 변환단층
b. 해령과 변환단층 / 해구
c. 해구 / 해령과 변환단층
d. 해구 / 해구

문제 1-2. 아래 문장을 완성해보고, 괄호 안에 들어갈 말로 적절한 것을 고르세요.

남극판은 판의 속도가 세계에서 가장 느린 안정적인 판이다. 그 의미는 판의 운동(움직임)이 (활발하기, 활발하지 않기) 때문이다.

a. 활발하기
b. 활발하지 않기

문제 1-3. 아래 문장을 완성해보고, 괄호 안에 답이 순서대로 짝지어진 것을 고르세요.

판의 주된 원동력이 "맨틀대류"라면 판의 운동은 (해령 , 해구)에서 시작된다. 그렇다면 판의 운동(움직임)이 활발하지 않으려면 판의 경계에 (해령 , 해구)이(가) 상대적으로 적어야 한다.

a. 해령 / 해령
b. 해령 / 해구
c. 해구 / 해령
d. 해구 / 해구

뒷장에 계속됩니다.

문제 1-4. 문제 1-3에서 답한 판의 운동이 활발하지 않기 위해 상대적으로 적어야하는 판의 경계는 실제 남극판의 경계의 분포와 유사한가요?

a. 예
b. 아니오

문제 1-5. 그렇다면 남극판이 세계에서 가장 안정하다는 것은 "섭입판의 인력설"로 설명 가능한가요?

a. 예
b. 아니오
c. 잘 모르겠다.

뒷장에 계속됩니다.

문제2. 불연속적으로 나누어진 해령

[문제 설명]

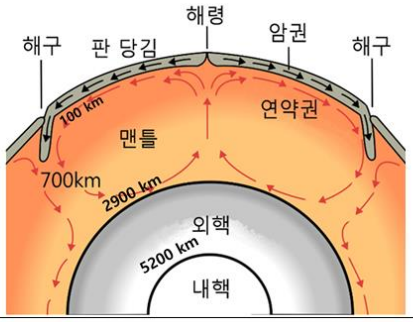
아래 그림과 같이 해령은 불연속적으로(변환단층으로) 연결되어 있고, 각각의 단위 해령의 길이는 수십km ~ 수백km로 불규칙하게 나뉘어져있는 모습을 볼 수 있다. 이처럼 불연속적이고, 불규칙하게 나뉘어진 해령은 어떻게 생긴 것일까?

그림과 제시된 자료를 바탕으로 다음 문제에 답해보세요.

그림1. 대서양 중앙해령
(불연속적인 해령 모습)

그림2. 전 세계 판의 경계
(해령과 해구 사이 거리)

그림3. 지구 내부 구조 (맨틀까지 깊이)



대략적인 실제 수치 자료

- (그림1) 불연속적으로 나눠진 해령의 각각의 길이 : 수십~수백km.
- (그림2) 일반적인 해령과 해구사이의 거리: 수천~수만km.
- (그림3) 맨틀의 깊이: 약 2900km.

뒷장에 계속됩니다.

문제 2-1. 판의 주된 원동력이 "섭입판의 인력"이라고 생각하고, 아래 문장을 완성할 때 괄호안에 적절한 답을 고르세요.

해구로 판을 끌고 들어가는 섭입판 인력에 의해 판의 일부가 끊어지면서 해령이 생길 수 있다. 이때 생기는 해령의 생김새는 (연속적으로 연결되게 , 불연속적으로 끊어져) 생겼을 것으로 상상해볼 수 있다. (지점토를 양쪽에서 잡아당겼을때의 모습을 연상하면 이해하기 쉽습니다.)

a. 연속적으로 연결되게
b. 불연속적으로 끊어져

문제 2-2. 문제 2-1에서 답한 해령의 모습과 실제 해령의 모습은 유사한가요?

a. 예
b. 아니오

문제 2-3. 판의 주된 원동력이 "섭입판의 인력"이라면, 불연속적으로 나누어진 해령의 모습이 설명 가능한가요?

a. 예
b. 아니오
c. 잘 모르겠다.

뒷장에 계속됩니다.

「탐구 활동 3 : 두 가지 판의 원동력으로 새로운 상황에 적용해보기」

탐구 활동 1,2를 통해 알게된 판의 원동력 두 가지의 특징들을 이용해 아래 문제에 답해보세요.

문제1. 판의 속도와 판의 경계와의 관계

순서대로 답해보세요.

문제 1-1. "맨틀대류"가 판의 주된 원동력이라면, 판의 속도는 판의 어떤 경계와 관련이 있을까요?

a. 해령
b. 해구
c. 잘 모르겠다.

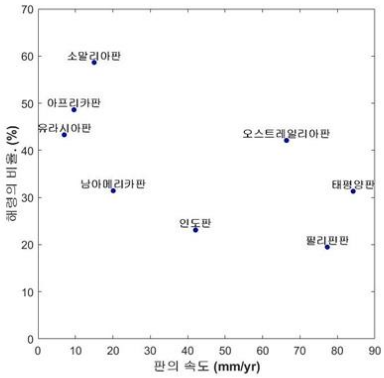
문제 1-2. "섭입판의 인력"이 판의 주된 원동력이라면, 판의 속도는 판의 어떤 경계와 관련이 있을까요?

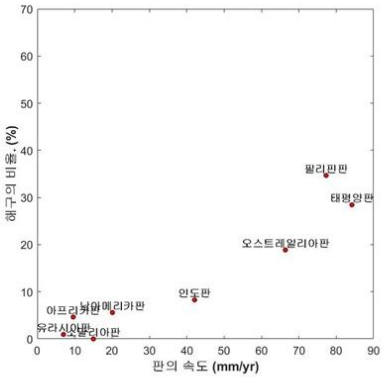
a. 해령
b. 해구
c. 잘 모르겠다.

뒷장에 계속됩니다.

그래프를 보고 아래 문제에 답해보세요.

<그래프 설명> 아래 그래프는 여러개의 판의 절대속도와 각 판의 경계에 있는 해령의 비율과 해구의 비율로 그래프를 그린 것이다.





뒷장에 계속됩니다.

문제 1-3. 위 그래프를 보고 판의 어떤 경계 비율이 판의 이동 속도와 상관관계를 나타내고 있는지 고르세요.

a. (왼쪽) 해령의 비율 - 판의 속도 그래프
b. (오른쪽) 해구의 비율 - 판의 속도 그래프

문제 1-4. 그렇다면, 판의 이동속도와 관련있는 판의 주된 원동력은 무엇이라고 생각해볼 수 있나요?

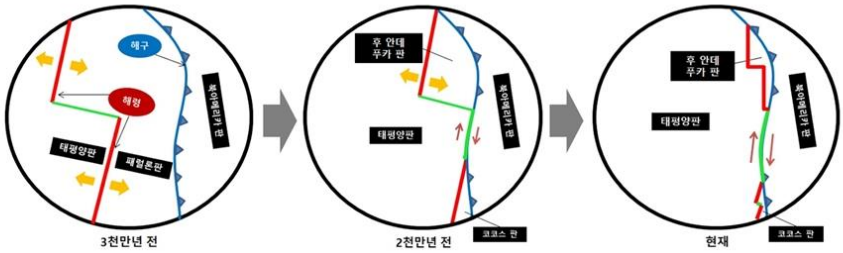
a. 맨틀대류
b. 섭입판의 인력

뒷장에 계속됩니다.

문제2. 해령과 해구가 만나는 상황

순서대로 답해보세요.

<그림 설명>
그림은 실제 과거 해령과 해구가 만나는 지질학적 사건을 그림으로 나타낸 것이다. 3천만년전 태평양판-패럴론판 사이 판의 경계인 해령이 시간이 지날수록 북아메리카판쪽으로 이동해 북아메리카 해구 속으로 들어가는 모습이다. 이때 패럴론판은 후안데 푸카판과 코코스판으로 분리되었다.



그림을 보고 다음 문제에 답해보세요.

<상황 설명>
이렇듯 판의 움직임에 의해 해령과 해구는 실제로 만나고 있다.
이러한 사건이 발생할 수 있는 원인을 판의 주된 원동력의 특징을 생각해 아래 문제에 답해보세요.

뒷장에 계속됩니다.

문제 2-1. "맨틀대류"가 판의 주된 원동력이라면, 위와 같은 해령과 해구가 만나는 사건이 설명 가능한가요?

힌트 : 해령은 대류의 상승부, 해구는 대류의 하강부 입니다.

a. 예
b. 아니오

문제 2-2. "섭입판의 인력"이 판의 주된 원동력이라면, 위와 같은 해령과 해구가 만나는 사건이 설명 가능한가요?

힌트 : 해령은 양쪽 해구로 섭입되는 판에 의해 판이 갈라진 곳으로, 각각 해구에서 판이 섭입하는 속도는 차이가 있을 수 있다.

a. 예
b. 아니오

문제 2-3. 그렇다면, 해령과 해구가 만나는 사건을 설명할 수 있는 판의 주된 원동력은 어느것이 더 적절한가요?

a. 맨틀대류
b. 섭입판의 인력
c. 잘 모르겠다.

탐구활동지가 모두 끝났습니다. 사후 개념 검사지로 넘어갑니다.

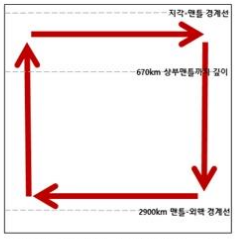
Ⅲ. 사후 개념 검사지

「사후 개념 조사 1 : 맨틀 대류에 대한 사후 개념 조사 문항」

설명 : "맨틀 대류"에 대한 사후 개념 조사 문항입니다.
사전 개념 조사 문항과 동일합니다. 문제에 다시 답해보세요.

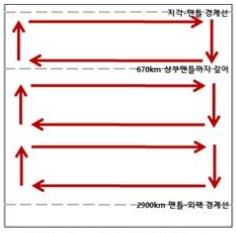
1. 맨틀 대류세포의 수직 깊이 : 수평 길이의 비율은 어떻게 되는지 아래 보기 중에 골라보세요.
(용어 설명 : 대류세포란, 맨틀이 대류할 때 하나의 단위 세포)

a.



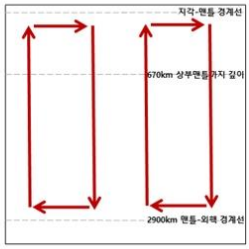
대류세포의 수평 : 수직의 길이비 = 1:1

b.



대류세포의 수평 : 수직의 길이비 = 5:1

c.



대류세포의 수평 : 수직의 길이비 = 1:5

d.

잘 모르겠다.

뒷장에 계속됩니다.

2. 아래 문장을 완성해보고, 괄호 안에 답이 순서대로 짝지어진 것을 고르세요.

판의 주된 원동력이 "맨틀대류"라면 맨틀대류의 상승부는 (해령, 해구)를 만들고, 하강부는 (해령, 해구)를 만든다.

a. 해령, 해령
b. 해령, 해구
c. 해구, 해령
d. 해구, 해구
e. 잘 모르겠다.

3. 아래 문장을 완성해보고, 괄호 안에 적절한 답을 고르세요.

"맨틀 대류"로 판이 움직일 때, 판의 운동이 시작되는 곳은 (해령, 해구)이다.

a. 해령
b. 해구
c. 잘 모르겠다.

4. 아래 문장을 완성해보고, 괄호 안에 답이 순서대로 짝지어진 것을 고르세요.

지구는 여러개의 판으로 이루어져 있으며, 각 판의 이동 속도는 (같다 , 다르다). 이는 맨틀 대류 세포의 속도와 관계가 (있다 , 없다).

a. 같다 / 있다
b. 같다 / 없다
c. 다르다 / 있다
d. 다르다 / 없다
e. 잘 모르겠다.

뒷장에 계속됩니다.

「사후 개념 조사 2 : 섭입판의 인력에 대한 사후 개념 조사 문항」

설명 : "섭입판의 인력"에 대한 사후 개념 조사 문항입니다.
사전 개념 조사 문항과 동일합니다. 문제에 다시 답해보세요.

1. 아래 문장을 완성해보고, 괄호 안에 적절한 답을 고르세요.

"섭입판의 인력"으로 판이 움직일 때, 판의 운동이 시작되는 곳은 (해령, 해구)이다.

a. 해령
b. 해구
c. 잘 모르겠다.

2. 아래 문장을 완성해보고, 괄호 안에 적절한 답을 고르세요.

판의 주된 원동력이 "섭입판의 인력"이라면 해령은 (해구에서 잡아당기는 힘에 의해 확장되는 곳, 맨틀의 상승부로 확장되는 곳) 이다.

a. 해구에서 잡아당기는 힘에 의해 확장되는 곳
b. 맨틀의 상승부로 확장되는 곳
c. 잘 모르겠다.

3. 아래 문장을 완성해보고, 괄호 안에 답이 순서대로 짝지어진 것을 고르세요.

지구는 여러개의 판으로 이루어져 있으며, 각 판의 이동 속도는 (같다 , 다르다). 이런 원인은 해구에서 판이 맨틀 속으로 섭입하는 속도가 (같기 , 다르기) 때문이다.

a. 같다 / 같기
b. 같다 / 다르기
c. 다르다 / 같기
d. 다르다 / 다르기
e. 잘 모르겠다.

뒷장에 계속됩니다.

「사후 개념 조사 3」

1. 판이 이동하는 주된 원동력은 무엇이라고 생각하나요?

a. 맨틀대류
b. 섭입판의 인력
c. 잘 모르겠다.

2. 아래부터는 질문에 답을 본인이 생각하기에 더 가까운 쪽으로 1~5점 사이의 점수로 체크해주시기 바랍니다. (되도록 중립을 선택하지 않는 쪽으로 답해주세요.)

2-1. 판 이동의 원동력이 "맨틀대류"라고 한다면 이를 통해 현재 지구의 지질학적 현상을 설명하기에 적절한가요?

1, 2, 3, 4, 5

적절하지 않다고 생각한다. 적절하다고 생각한다.

2-2. 판의 주된 원동력으로 '섭입판의 인력'의 힘이 이해가 되나요?

1, 2, 3, 4, 5

이해가 잘 안 된다. 이해가 잘 된다.

2-3. '섭입판의 인력'은 판이 움직이는 원동력으로 적절하다고 생각하나요?

1, 2, 3, 4, 5

적절하지 않다고 생각한다. 적절하다고 생각한다.

2-4. 판 이동의 원동력이 "섭입판의 인력"이라고 한다면 이를 통해 현재 지구의 지질학적 현상을 설명하기에 적절한가요?

1, 2, 3, 4, 5

적절하지 않다고 생각한다. 적절하다고 생각한다.

학습지가 모두 끝났습니다. 참여해주셔서 대단히 감사합니다.

Abstract

Development and Application Study of Conceptual Change Learning Tool Based on Cognitive Conflict Strategy for Plate Motion Driving Force.

Ye Eun Kim

Dept. of Science Education (Earth Science)

The Graduate School

Seoul National University

Over the past several decades, due to numerous observational evidences and theoretical model predictions, the primary driving force of the plate motion has been considered to be the slab pull (forces from the subducting oceanic plates due to gravity) rather than the mantle convection itself. However, in many Korean textbooks, mantle convection is still portrayed as the main driving force of the tectonic plates. Recently, the 2022 educational curriculum guidelines for the Earth System Science category now included a

recommendation that the active force of slab pull be the main driving force, but it is difficult for this new theory to be effectively conveyed to students unless the conceptual understanding of In-service teachers are fundamentally changed. Therefore, in order to facilitate an effective conceptual change for the driving forces of the plate motion, we conducted a study to develop a learning tool inducing their conceptual changes and tested it to the pre-service science teachers. Combining Hashweh's cognitive conflict strategy and Driver's conceptual change model, our learning tool comprises four stages for the stepwise conceptual change. Each stage includes the problems associated with four geological and geophysical settings, and was designed to induce the sequential evolution of understanding of the respondents; they are requested to respond by organizing and applying the pre-existing knowledge and the new concepts. Before the application, 53 out of 59 learners (89.8%) identified the mantle convection as the main driving force of the tectonic plates in the pre-concept survey. However, after experiencing our learning tool, the post-concept survey clearly indicates that successful conceptual changes were found in 26 learners (49.1%), with a total of 30 learners (50.8%) correctly recognizing the slab pull as the main driving force of the plate motion. The t-test results also showed a statistical significance, suggesting that the learning tool developed in this study effectively implanted the new concept of the main driving force. Furthermore, it was found that the effective new conception(slab pull) understanding occurs when the topics are presented in the order of (1) the relationships between the velocity and the boundary ratio of the plates, (2) the stability of the Antarctic

Plate, (3) the discontinuity of the ridges, and (4) the intersection of the ridge and the trench. Our learning tool developed in this study has less cost, time, and space constraints, and thus, it is expected to be highly useful for in-service teachers, pre-service teachers, and students. We also hope the results of this study will be a valuable tool for effectively integrating the new educational content into the related textbooks.

Keywords : Plate Tectonic, Plate Motion Driving Force, Development of Conceptual Change Learning Tool, Cognitive Conflict, Earth Science Education, Teacher Education

Student Number : 2020-23604