

지구에 대한 예비 지구과학 교사들의 존재론적 사고

정진우¹ · 권정희¹ · 김윤지^{1*}

¹한국교원대학교

Earth Science Pre service Teachers' Ideas about the Earth on the Ontological Categories

Jin Woo Jeong¹, Jung-Hee Kwon¹, and Yur-Ji Kim^{1*}

¹Department of Earth Science Education

Abstract

This study is aimed at analyzing earth conception the nine pre service teachers who are majoring in earth science education and classifying a special feature from the ontological categories. Open ended questionnaires and semi structured interviews which meant to contribute to identifying ontological categories of concepts involving study area were designed.

Pre service teachers' ontological category about earth conception most showed to dynamic and proto process. In the results show that many pre service teachers recognize simply the conception to a material, a condition and a conversion of the state changing. Most of the pre service teachers show their intermediate understanding level about the earth inner construction according to the analyzed results of the drawing tasks and interviews. The main alternative conceptions show them through a definition of the plate, a wording definition between lithosphere and asthenosphere, a feature of the plate boundary, a heat convection in the earth inner, the earth inner heat source, the earth inner structure, a physical feature of the mantle.

Key words: ontology, earth, pre service teacher, drawing, interview

I. 서 론

현 과학교육의 흐름인 구성주의 관점에서 학습은 인지 구조의 변화로 정의될 수 있으며(Perkins, 1999), 인지 구조를 표현하는 기본 단위로서 개념은 실제 현상에 대한 탐사를 통해 점진적으로 변화하고 재조직된다(Kurdziel and Libarkin, 2001). Smith and Medin(1984)은 개념의 발달과 구성 과정을 고전적, 확률적, 인과론적 견해로 구분하였다. 고전적 견해는 특성과 속성을 요약한 목록으로 구성된 범주들에서 대상이 포함된 개념의 범례로 유목화 된다는 견해이고(Smith and Medin, 1984), 확률적 견해는 범주 구성원의 표준이 되는 독특한 특징에 근거하여 범주들이 조직된다는 견해이며(Medin, 1989), 인과론적 견해는 개념이 독립적인 특성들의 합이 아니라 의미 있는 해석에 의한 사고를 중심으로 조직된다는 견해이다(Medin, 1989). 개념의 구성에 대한 인과론적 견해는 지구과학 교과영역에서 보다 의미 있는 시각으로 받아들여질 수 있는데, 개념과 개념 간의 근원적 법칙과 이론들이 상호 연관적인 속성을 내포하기 때문이다. 단순히 속성들의 합으로 범주를 규정하거나 보다 많은 속성들을 추가적으로 부가함으로써 개념의 발달이 이루어지는 것이 아니라 개념에 대한 범주와 조직화의 변화를 개념의 발달로 볼 수 있다는 관점이다. 이는 Keil et al.(1998)이 개념화를 유사성에 의존한 연관으로 단정하지 않고 인과론적 설명과 속성들 사이의 관계에 대한 결합으로 본 견해와 같은 맥락으로 해석된다.

개념 지식은 범주에 따라 위계적으로 조직될 수 있는데 서로 다른 범주의 구성요소들은 공통점이 없는 차이를 보이기 때문에 범주는 존재론적으로 구분되며(Carey, 1985), 존재론의 관점에서 개인적 구성주의는 인간의 경험과 정신적 활동 그리고 관찰 불가능한 존재와 물질적 세계를 구분하고 실재하는 대상체와 인식자 표상 사이의 일치로 정의할 수 있다(Kwak and Beeth, 2001). 존재론적 범주화에 있어서 Carey(1985)는 존재론적 범주를 생물과 무생물, 추상적 사고와 과정의 본질적 특성에 따라 4범주로 정의하여 모든 개념들 간의 존재론적 차이는 누구나 인식할 수 있으며 추론의 근거로 사용된다고 설명하였고, 과학 영역에서 Chi et al.(1994)은 모든 과학 개념들이 실제 개념의 속성에 따라 명확하게 구분되어 범주화될 수 있다고 가정하고, 존재론적 범주를 물질, 과정, 정신적 상태의 3범주로 정의하였다. 이후 Libarkin et al.(2005)은 Chi et al.(1994)이 제시한 범주들에 하위 범주를 세분하여 물질, 변환, 초기적 과정, 복합적 과정, 완료적 과정으로 재정의 하였다. 존재론에서 각 범주는 일련의 속성들로 특징지어지고 구성 요소들의 존재론적 특징을 반영하는 언어적 술어들로 확인되는데, 존재론적 속성은 범주 구성 요소들이 전형적으로 소유한 특성과 단일 구성 요소만의 독특한 정의적 속성으로 다시 구분된다(Slotta et al., 1995).

존재론적 범주화 이론에 바탕을 둔 선행 연구에서 Chi et al.(1994)은 학습자의 개념이 속한 존재론적 범주가 변화함으로써 개념 이해를 향상시키는 과정을 고찰하며, 개념 변화를 잘못된 범주 영역에서 과학적인 범주 영역으로 변화하는 존재론적 범주의 변화로 규정하였다. Matins and Ogborn(1997)은 모든 사물과 사건이 정적존재 대 동적존재, 원인 대 결과, 불연속 대 연속 등의 존재론적 차원에 따라 구분된다고 제안하며 학습자 개념의 존재론적 범주 영역에 대해 연구하였고, Venville and Treagust(1998)은 과학적 사고와 다른 존재론적 범주 영역에 개념을 둔 학습자의 개념 변화를 위해서는 학습자의 인지 구조 내에서 존재론적 변화가 선행되어야 한다고 주장하며 학습자의 정적으로 구조화된 관점을 과정 중심의 관점으로 변화시키고자 연구에 적용하였다. Wisner and Amin(2001)은 존재론적 범주화 능력을 향상시킬 수 있는 메타 인지적 수업을 통해 학습자 개념의 존재론적 범주 변화에 대한 메타 개념의 교수 역할에 대해 연구하였고, Libarkin et al.(2005)은 지질학적 현상들을 존재론적 관점으로 범주화하고 지구의 지각과 내부 및 지질 연대 측면에 대한 학습자의 사고를 범주화하며 대안개념을 분석하였다.

과학교육에서는 무엇을 사고하고, 어떠한 사고들이 변화 발전하며, 왜 특정한 사고가 사회에서 통용되는지 밝히고자 하는 연구들이 끊임없이 이루어지고 있다(Lawson et al., 2000). 본 연구는 지구의 통합된 계로서의 본성에 초점을 맞추어 예비 지구과학 교사들의 지구 구조에 대한 개념을 정성적으로 분석하고 존재론적 관점에서 사고를 범주화하여 분석하고자 한다.

II. 연구 방법

1. 연구 대상

충청북도에 소재한 국립 사범대학교의 지구과학교육학과 1학년에 재학 중인 20명 중에서 7차 교육과정 상의 '과학'을 필수 교과로 이수하고 '지구과학 I' 또는 '지구과학 II'를 선택 교과로 이수한 자에 한하여 자발적 참여 의사를 밝힌 9명의 예비 교사들(A, B, C, D, E, F, G, H, I 부호화하여 기재)을 연구 대상으로 선정하였다.

2. 연구 절차

기초 연구 단계에서 문헌 연구를 통하여 판 구조와 지구 내부 영역에 대한 주요 개념을 추출하고, 선행 연구들을 기초로 하여 개방형 질문지와 반구조화 면담을 위한 질문 문항 및 존재론적 범주화 분류틀을 준비하였다. 예비 연구 단계에서 연구 대상에서 제외된 예비 지구과학 교사 3명을 대상으로 예비 검사를 실시하여

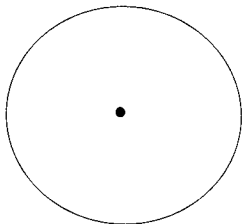
검사 도구와 분석틀을 수정 · 보완하였다. 본 연구 단계에서 연구 대상에 투입하여 개방형 질문지를 작성하게 하고, 질문지의 답안을 바탕으로 추후에 반구조화 된 면담을 실시하였으며, 면담 내용은 동의하에 녹음하여 전사하였다. 각 연구 단계에서 지구과학교육을 전공하는 박사과정 1명과 석사과정 2명이 참여하여 연구 과정의 검증과 논의가 이루어졌으며, 자료 분석 과정에서는 토론을 거쳐 합의점을 찾아가는 방식으로 연구를 진행하였다.

3. 검사 도구

대학생들의 지구에 대한 사고를 질적으로 분석한 Libarkin et al.(2005)의 연구로부터 개방형 질문지를 번안하여 연구 목적에 부합하는 문항을 선별하고, 고등학생들의 지각과 지구 내부에 대한 사고를 질적으로 분석한 정구송(2006)의 검사 도구를 바탕으로 문헌 연구를 통해 판 구조와 지구 내부 영역의 주요 개념을 추출하여 질문 문항을 제작하였다.

개방형 질문지와 반구조화 면담의 기본 질문 문항은 다음과 같다.

1. ‘지진’이라는 단어를 무엇이라고 설명할까?
2. 지진을 발생시키는 원인이 되는 사건(들)을 쓰시오.
3. 만약 아주 큰 칼로 지구의 절반을 자른다면, 지구의 내부는 어떻게 생겼을까?
4. 지구의 단면을 그림으로 그리시오. (원은 지구의 표면, 점은 지구의 중심을 의미한다.)



- 판의 본성 : 판이란? 지구를 그려서 판의 위치를 표시하고 설명하시오.
- 판 운동과 힘 : 판을 움직이는 힘은 무엇일까? 판의 운동은 무엇을 통해서 알아낼 수 있을까?
- 판 운동과 지각의 변동 : 지진(화산)이 자주 발생하는 지역은 어디이며, 그 원인은 무엇일까? 섭입대는 어디이며, 그곳에서는 어떤 현상이 나타날까?
- 판 운동과 지형 : 대산맥은 어떻게 형성되었을까? 판의 경계에서는 어떤 지형적 특징이 나타날까?
- 지구의 내부 : 지구의 중심은 어떠한가? 지구 내부에 에너지의 흐름이 있다면, 그림으로 표현하고 설명하시오.

4. 분석 방법

존재론적 사고의 범주를 물질(matter), 과정(process), 정신 단계(mental states)로 분류한 Chi et al.(1994)의 연구 이후, Libarkin et al.(2005)이 과정(process) 단계를 3개의 하위 범주로 세분하여 물질(matter), 전환(transformation), 초기적 과정(proto-process), 복합적 과정(mixed-process), 과정(process)으로 분류하였다. 본 연구에서는 지구의 구조에 대한 개념 수준을 정적 · 동적 관점으로 1차 분류하고, 물질(matter), 전환(transformation), 초기적 과정(proto-process), 완료적 과정(process)의 4단계로 판 구조와 지구 내부 영역에 대한 존재론적 사고를 범주화하여 2차 분석하였다.

III. 결과 및 논의

1. 지구에 대한 존재론적 사고

판구조와 지구 내부에 대한 예비 지구과학 교사들의 사고를 존재론적 관점에서 분석한 결과, 9명의 예비 교사들 중 정적 관점에 3명, 동적 관점에 6명으로 범주화되고, 세부적으로는 물질 범주에 1명, 전환 범주에 2명, 초기적 과정 범주에 4명, 완료적 과정 범주에 2명이 속하는 것으로 나타났다(Table 1). 정적-물질 관점의 사고는 판의 운동을 단편적 사건이나 현상으로 인식하여 근원적 원인과 관련된 지각 변동을 연관시키지 못하고, 지구 내부를 포함한 지구의 층상 구조와 물리적 화학적 변화 및 특징을 인지하지 못하는 준거 상황을 설정하였고, 예비 지구과학 교사 H가 이에 해당한다. 정적-전환 관점의 사고는 판의 운동과 지각 변동의 관련성을 인식하나 판 운동의 원동력을 맨틀 대류로 단순화하고, 지구 내부의 층상 구조에서 물리적 화학적 특징을 불명확하게 인지하는 준거 상황을 설정하였고, 예비 지구과학 교사 E, G가 이에 해당한다. 동적-초기적 과정 관점의 사고는 판의 운동을 맨틀 대류에 의한 판들의 상호작용으로 이해하고 지진 및 화산 활동과 관련하여 인식하지만, 지구 내부의 열원과 에너지의 흐름에 대한 이해가 불명확한 준거 상황을 설정하였고, 예비 지구과학 교사 A, B, D, F가 이에 해당한다. 동적-완료적 과정 관점의 사고는 지각으로부터 지구 내부에 걸쳐 역동적인 판 운동과 지구 내부 에너지의 표출 과정으로서 지질 현상들에 대한 논리적 이해가 가능한 준거 상황을 설정하였고, 예비 지구과학 교사 C, I가 이에 해당한다.

표 1. 존재론적 범주

응답유형		검증 결과
정적	물질	H
	전환	E, G
동적	초기적 과정	A, B, D, F
	완료적 과정	C, I

2. 지구에 대한 정적 - 물질 관점

정적-물질 관점의 사고에 해당하는 예비 교사 H는 지구 내부의 층상 구조를 알아내는 방법으로 지진파를 이용한다고 설명하였지만, '무지개의 색이 빨주노초파남보로 변하듯이' 지구의 단면도 층이 있으며 지구 내부 층의 경계는 모호하게 존재하는 것으로 인식하였다.

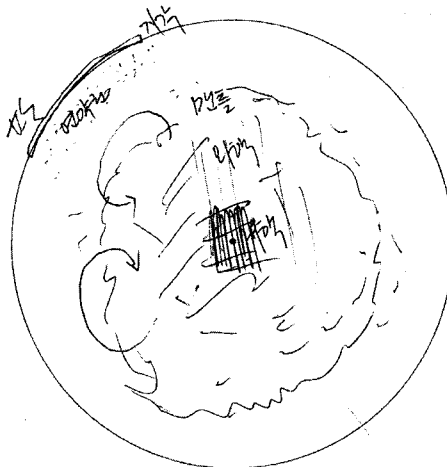


그림 1. 예비 지구과학교사 H의 그림

연구자 : 지구 내부에서 열의 흐름을 그려 보세요.

예비 교사 H : 흐름을요? 전도 되지 않을까요? 음... 전도와 대류에 의해서 딱딱한 부분에서는 전도 되다가, 물렁물렁한 부분에서는 대류도 됐다가 그럴 것 같아요.

연구자 : 그러면, 지구가 층상 구조라는 것은 어떠한 방법으로 알게 되었나요?

예비 교사 H : 파들은 매질에 따라서 파의 속도가 달라지잖아요. 그래서 경계에서 막 휘어지잖아요. 그런 걸 보고 알 것 같아요.

연구자 : 지진파를 가지고 알아낸 것이네요?

예비 교사 H : 속도 차에 의한 굴절에 의해서인데, 이게 도착하고 안하고 그런 거 같아요.

3. 지구에 대한 정적 - 전환 관점

정적-전환 관점의 사고에 해당하는 예비 교사 E는 지구 내부에 대한 주요 특징을 표현하고 설명하였으나, 판 이동의 원동력을 막연히 맨틀의 대류로 설명하면서 과정적 · 근원적 원인에 대해 모호하게 인식하고 지구 내부의 열원과 에너지 표출에 대한 질문에 대안 개념을 나타내었다.

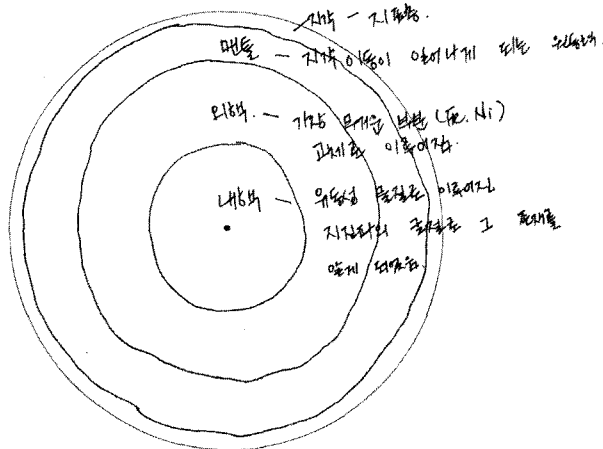


그림 2. 예비 지구과학교사 E의 그림

연구자 : 맨틀이 딱딱한 돌맹이라고 하셨는데, 이 딱딱한 돌맹이 위를 판이나 지각이 움직이나요?

예비 교사 E : 같이 움직이지 않나요? 맨틀과 같이요.

연구자 : 그러면, 지진을 발생시키는 근원적인 원인은 무엇일까요?

예비 교사 E : 계속... 지구가 계속 움직여서요. 맨틀 대류가 왜 일어나는가 하는 얘기죠?

연구자 : 예. 맨틀을 대류 시키는 근원적인 힘에 대해서 설명해 주시면 되요.

예비 교사 E : 음... 그걸 에너지가 붕괴해서 생기는 거 아닌가요?

연구자 : 에너지 붕괴요? 어디서요?

예비 교사 E : 맨틀이요.

연구자 : 맨틀에서 에너지가 붕괴된다?

예비 교사 E : 맨틀인가... 핵인가... 둘 중에 하나인 것 같은데, 거기서 발생하는 열 때문에 맨틀이 대류 하는 것 같아요. 자세히는 지금 생각이 안나요.

연구자 : 그렇다면, 그 에너지 붕괴라는 것이 구체적으로 어떠한 붕괴를 말하는 건가요?

예비 교사 E : 수소 에너지와 같이 그런 식으로 작용하는 것을 말해요.

연구자 : 그럼 지구 내부에 있는 수소에서요?

예비 교사 E : 수소나 철이나 뭐 그런 것들에서요. 음... 우라늄이 생기잖아요. 그런 과정으로 생기는 거 아닌가요?

4. 지구에 대한 동적 - 초기적 과정 관점

동적-초기적 과정 관점의 사고에 해당하는 예비 교사 B는 지진파의 특성으로 알아낸 지구 내부 구조에 대해 언급하고 지구의 표면이 크고 작은 여러 개의 판으로 둘러싸여 있으며 판의 경계를 분류 설명하였으나, 맨틀 전체가 유동적으로 대류 한다고 설명하며 지진파의 투과에 대한 대안 개념을 나타내었다.

연구자 : 지진을 발생시키는 근본적인 원인은 무엇일까요?

예비 교사 B : 맨틀의 대류로 인해서 지구상에 여러 가지 지질 현상이 일어납니다.

연구자 : 질문지에 대답하신 내용을 보면, 지구 중심부는 뜨겁고 지각 쪽은 차가운데, 지구 중심부가 뜨거운 이유는 무엇일까요?

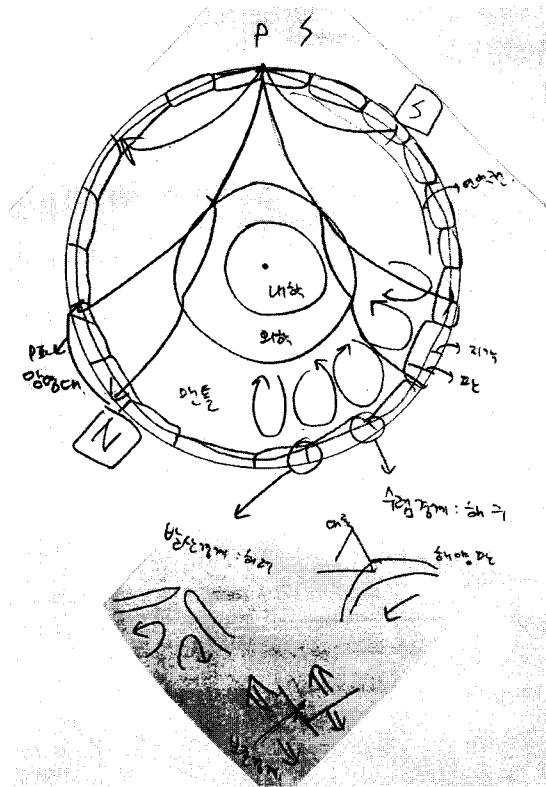


그림 3. 예비 지구과학교사 B의 그림

예비 교사 B : 지구 밑이 뜨겁다고 말하기 보다는 지각이 식었다고 말하는 것이 나올 것 같아요. 원시 지구는 매우 뜨거웠는데, 지각 부분은 식었고, 지금은 핵도 점점 더 식어 가구요.

연구자 : 맨틀이 유동한다고 하셨는데. 맨틀 전체가 다 유동하는 것인가요? 위 아니면 아래?

예비 교사 B : 일단 맨틀은 고체인데, 그냥 전체가 다 움직이는 것 같아요.

연구자 : 그럼 답변의 '유동성 있는 맨틀' 이라는 표현에서, 그 맨틀 위를 판이 이동한다는 건가요?

예비 교사 B : 예.

연구자 : 그림에서 암석권과 연약권과 중간 맨틀이 있는데, 이것을 구분하는 기준은 무엇일까요?

예비 교사 B : 지진파의 속도로 구분하는데, 연약권이 속도가 더 느린 것 같아요.

연구자 : 그럼, 그곳은 왜 속도가 낮을까요?

예비 교사 B : 밀도는 잘 모르겠고. 탄성 차이예요.

5. 지구에 대한 동적 - 완료적 과정 관점

동적-완료적 과정 관점의 사고에 해당하는 예비 교사 C는 판의 경계인 해령에서 지구 내부 에너지의 상승에 기인하여 새로운 해양 지각이 생성되고 밀어내는 힘이 작용하며 지각의 지속적인 확장이 이루어짐을 설명

하고, 플룸 구조에 대한 이론과 지구의 역동성을 언급하며 수 억 년을 통하여 이루어지는 판의 운동에 대한 근원적 원인을 인식하였다.

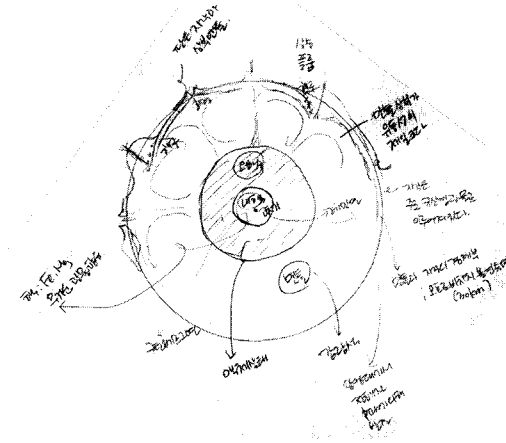


그림 4. 예비 지구과학교사 C의 그림

연구자 : 판구조론이 무엇인지 설명해 주세요.

예비 교사 C : 음... 뭐라고 해야 되나... 우선 판이란 개념을 알아야겠고, 그게... 지구 내부에 식지 않은 열들과 방사성 동위원소 붕괴열 때문에 이것이 지구 내부 열원으로 작용해서 맨틀 대류가 일어나고, 이 맨틀 대류 때문에 여러 가지 지질 현상들이 일어나요. 지금까지는 판이 움직이는 힘을 맨틀의 대류로 설명을 했는데, 맨틀이 상승하는 지역은 판이 생성되고 하강하는 지역에서는 판이 섭입 되어 충돌하거나 사라지는 그런 총체적인 이론이 판구조론이에요.

연구자 : 그럼, 판의 정의를 내려 본다면?

예비 교사 C : 판은 맨틀 상부에서 지각을 합친 100km까지 입니다.

연구자 : 암석권과 연약권은 어떻게 구분이 될까요?

예비 교사 C : 암석권을 보통 판이라고 하고, 연약권은... 대개... 밑이... 압력이 높은데... 연약권에는 압력이 낮아져서 적당히 높은 온도와 낮은 압력... 그래서 다른 층에 비해서 물렁물렁한 상태인 것 같아요.

연구자 : 맨틀이 대류 할 때 맨틀 전체가 모두 유동하나요?

예비 교사 C : 제가 고등학교 때 배운 바로는 맨틀이 어떻게 대류하고 어떤 모델인지는 아직까지 정확히 잘 모른다고 들었고요. 추측하건데, 상부 맨틀의 연약권 부분의 대류에 의해 판이 이동한다고 배웠어요.

IV. 결론 및 제언

지구과학 교과 영역에서 지구 표면의 판 구조와 지구 내부의 층상 구조에 대한 사고는 광범위한 시간적 · 공간적 특성과 비가시적 과정에 대한 이해 측면의 어려움으로 인해 고도의 추상적 사고 능력을 요하므로 본 연구를 통해 존재론적 관점에서 예비 지구과학 교사들의 지구에 대한 사고를 고찰하고 개념을 분석하였다.

예비 교사들의 지구에 대한 사고는 동적-초기적 과정 범주에 집중되는데 이는 예비 교사들이 지구를 구성하는 물질과 구조에 대한 기본 개념과 관련 개념들을 근원적 원인이나 구체적 절차를 포함한 과정적 관점으로 이해하기보다는 단순 현상이나 사건 자체로 인식하는 존재론적 관점을 지니고 있다는 점을 반영하며, 지구에 대한 대학생들의 사고를 질적으로 분석한 Libarkin et al.(2005)의 연구에서 지구의 활동적이고 통합적인 측면에 대한 인식이 어렵다는 분석 결과와 일치하였다. 지구의 단면을 그리는 문항에서 대부분의 예비 교사들은 지구 내부의 동심원상 구조와 핵심적인 특징들을 묘사했지만, 반구조적 면담을 통한 심층 분석에서 완료적 과정 관점으로 범주화된 예비 교사는 2명에 지나지 않았다.

예비 교사들의 지구에 대한 사고 이면에는 완료적 과정 관점에서의 사고가 요구되는 동적 · 순환적 본질

과 관련된 개념 및 현상에 대한 명확한 이해가 부족하여 많은 대안 개념들을 지니고 있음을 확인할 수 있었으며, 이는 Chi et al.(1994)의 연구 결과로부터 물질적 관점으로는 과정적 본질을 지닌 개념의 습득이 어렵다는 결론과도 일치하는 점이다. 예비 교사들은 판과 암석권 및 연약권에 대한 용어, 판 경계에서의 특징, 맨틀의 유동 과정, 열원으로서의 핵 등과 관련한 대안 개념을 나타내었으며, 과정적 본질에 대한 추상적 사고가 요구되는 개념들 간의 상호 관계와 작용의 인식에 있어서 어려움을 보였다.

지구과학 교과와 교육 흐름은 지구를 상호 작용하는 수많은 하위 시스템들로 구성된 하나의 지구 시스템으로 이해하고 시스템적 사고방식으로 접근하여 지구의 요소들을 인식하고자 하는 지구계 교육의 관점이 확산되고 있다. 단순한 물질 · 현상적 사고로 복잡한 지구 시스템 구조를 이루는 개념 요소들의 완전한 이해에 도달하기는 어려울 것이며 변화에 대한 명확한 동적 · 과정적 사고가 불가결한 것으로 판단된다. 지구과학 교수·학습의 안내자로서 지구과학 예비 교사들의 지구계 개념 요소들에 대한 존재론적 사고의 분석과 더불어 동적 · 과정적 사고로 전향하기 위한 교육 프로그램의 개발과 적용이 이루어져야 할 것으로 사료된다.

참고문헌

- 정구송, 2006, 존재론적 범주와 정신모델에 근거한 지각과 지구 내부에 대한 고등학교 학생들의 대안 개념. 한국교원대학교 대학원 박사학위 논문, 159p.
- Carey, S., 1985, *Conceptual change in childhood*. Cambridge, MA:MIT Press.
- Chi, M. T. H., Slotta, J. D., and Leeuw, N., 1994, From things to processes: A theory of conceptual change for learning science concepts. *Learning and Instruction*, 4, 27-43.
- Keil, F., Smith, W., Simons, D., and Levin, D., 1998, Two dogmas of conceptual empiricism: Implications for hybrid models of the structure of knowledge. *Cognition*, 65, 103-135.
- Kurdziel, J., and Libarkin, J. C., 2001, Research methodologies assessing students' alternative conceptions: *Journal of Geoscience Education*, 49, 378-383.
- Kwak, Y., and Beeth, M. E., 2001, Profile changes for two students in a (Mathematics, Science and Technology Education) Preservice Teacher Education Program with Constructivist Views of Teaching and Learning. ERIC Document Reproduction Service No. ED 472912).
- Lawson, A. E., Alkhoury, S., Benford, R., Clark, B. R., and Falconer, K. A., 2000, What kinds of scientific concepts exist? Concept construction and intellectual development in college biology. *Journal of Research in Science Teaching*, v.37, 996-1018.
- Libarkin, J. C., Anderson, S., Dahl, J., Beilfuss, M. and Boone, W., 2005, Qualitative analysis of college students' ideas about the earth: interviews and open-ended questionnaires. *Journal of Geoscience Education*, 53(1), 17-26.
- Matins, I., and Ogborn, J., 1997, Metaphorical Reasoning about Genetics. *International Journal of Science Education*, 19(1), 47-63.
- Medin, D. L., 1989, Psychological essentialism. In S. Vosniado & A. Ortony, A(Eds), *Similarity and analogical reasoning*. New York: Cambridge University Press.
- Perkins, D. N., and Unger, C., 1999, Teaching and learning for understanding. *Instructional-Design Theoried and Models: A New Paradigm of Instructional Theory*, v.2, 91-114.
- Slotta, J. D., Chi, M. T. H. and Joram, E., 1995, Assessing students' misclassifications of physics concepts: An ontological basis for conceptual change. *Cognition and Instruction*, 13(3), 373-400.
- Smith, E. E. and Medin, D. N., 1984, *Categories and concepts*. Cambridge, Ma: Harvard University Press.
- Venville, G. J. and Treagust, D. F., 1998, Exploring conceptual change in genetics using a multidimensional interpretive framework. *Journal of Research in Science Teaching*, 35(9), 1031-1055.
- Wiser, M. and Amin, T., 2001, "Is heat hot?" Inducing conceptual change by integrating everyday and scientific perspectives on thermal phenomena. *Learning and Instruction*, 11(5), 331-335.