달 크레이터 생성에 대한 대학생들의 정신모형 분석

이 호¹ · 조현준¹ · 이호녕^{2,*}

¹한국교원대학교 지구과학교육과, 363-791 충북 청원군 강내면 다락리 산 7

²경북대학교 과학교육학부 지구과학교육전공, 702-701 대구광역시 북구 산격동 1370

An Analysis of Undergraduate Students' Mental Models on the Mechanism of the Moon Craters Formation

Ho Lee¹, Hyunjun Cho¹, and Hyonyong Lee^{2,*}

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

²Department of Earth Science Education, Kyungpook National University, Daegu 702-701, Korea

Abstract: The purpose of this study was to investigate information sources and types of reasoning that non-astronomy major undergraduate students used to build their mental models on the mechanism of the Moon craters formation. In-depth interview was used to collect qualitative data, and the questions for the interview were developed through an analytical induction method. We interviewed four students individually by using Seidman's interview step. The findings revealed that the participants built nonscientific mental models, and yet they held a consistent explanatory framework. The students explained that the crater was made by the fall of a meteorite. They all suggested a similar shape of meteorite even though their drawings about the shape of craters and its related to variables were different from one another. The information sources that the participants used for their explanatory frameworks were varied, i.e., daily experiences, subject knowledges, and intuition. In addition, they used causal reasoning, intuitional reasoning, knowledge based reasoning, and analogical reasoning.

Keywords: mental model, in-depth interview, moon crater

요 약: 이 연구의 목적은 천문학을 전공하지 않은 대학생들의 달 크레이터 생성에 대한 정신모형 형성과정에 활용되는 정보 출처의 종류와 추론의 유형을 알아보는 데 있다. 연구 목적을 달성하기 위해, 개별 심층 면담 방법이 설계되었으며, 면담 내용은 분석적 귀납에 의해 생성되었다. 면담은 4명의 대학생들과 개별적으로 이뤄졌으며, 면담 과정은 Seidman의 단계를 따랐다. 연구 결과, 이들은 달 크레이터 생성에 관하여 비과학적이긴 하지만 일관성 있는 설명체계를 형성하고 있었다. 이들은 대체로 운석 충돌에 의해 구덩이가 생성된다고 설명하였으며, 생성된 크레이터의 모양과 관련된 변인으로는 개인마다 차이가 있었으나 운석의 모양을 공통적으로 제시하였다. 이들의 설명체계에 활용된 정보원으로는 일상에서의 경험과 교과지식, 직관이 활용되고 있었고, 인과적 추론, 직관적 추론, 지식기반추론, 비유적 추론을 활용하고 있었다.

주요어: 정신모형, 심층 면담, 달 크레이터

서 론

최근 20여년 동안 학생들의 선개념(preconceptions)을 조사한 관련 연구들은 괄목할 만한 증가세를 이루고 있다(Duit, 1991). 이 분야에서만 7000편에 가

까운 논문들이 보고되었다고 알려졌다(Pfundt and Duit, 2000), 우리나라의 경우 1980년부터 지금까지 약 600편에 가까운 연구물들이 논문으로 출판되었거나 학술연구결과로 발표되었다.¹⁾ 이러한 연구들의 대부분은 학생들이 이미 가지고 있는 선경험들을 어떻

*Corresponding author: hlee@knu.ac.kr

Tel: 82-53-950-5917

Fax: 82-53-950-5946

1) 한국학술정보, 2007년 6월 20일 기준, 검색어: 개념, 출판기관: 과학교육

게 과학적 개념으로 변화시키기 것에 관심을 가지고 있다.

그러나 Tao and Gunstone(1999)은 이미 오개념(misconceptions)과 개념변화에 관한 연구는 한계에 이르렀다고 주장하였다. Solomon(1993)도 수업과 후속연구에 관련된 중요한 제안 내지 시사점이 없이 단순히 학생들의 개념을 조사하고 분류하는 것에 그친 연구는 의미가 없다고 지적하였으며, 다음과 같은 연구에 관한 지향점을 제시하였다. 즉, 과학 수업을 위한 구체적인 시사점을 제공하기 위해, 학생들의 개념에 관한 연구는 반드시 학생들의 선개념과 설명의 유형뿐만 아니라 그들이 개념 형성에 활용한 자원(resource)은 무엇인지를 고려해야 할 필요가 있다는 것이다. 왜냐하면, 학생들이 그러한 정신모형(mental model)을 형성해 나가는 가운데 사용되는 자원들을 알면, 어떻게 그러한 정신모형이 형성되었는가를 알 수 있으며, 또한 앞으로 유사한 경험을 가진 학생들의 정신모형의 형성 배경도 미루어 짐작할 수 있다는 장점이 있기 때문이다. 따라서 학생이 현상 또는 특정 상황을 설명할 때 활용하는 정신모형의 유형은 무엇인지, 학생들의 정신모형 형성에 관여한 자원은 무엇인가에 대한 내용들은 학생들의 학습 효과를 향상시키기 위한 개념형성 및 변화를 연구하는 연구자들의 근본적인 중요 관심사항이 되어야 한다.

이렇듯 학생들이 자연현상에 대한 설명체계를 어떻게 형성해 나가는지, 그 과정에서 어떠한 정보원을 사용하는지에 대한 내용이 연구자들에게 중요하게 다뤄져야 함에도 불구하고, 그동안의 연구자들은 단지 오개념 및 개념 변화에 대한 효과에 주된 관심을 두고 있었다. 그러므로 학생들의 학습 효과를 향상시키기 위한 학생들의 정신모형 형성에 관여한 자원은 무엇인가에 대한 연구가 진행되어야 한다.

달은 초등학교에서부터 중·고등학교에 이르기까지 과학 교과서에 꾸준히 제시되고 있는 천문 교과 소재이다. 제 7차 과학과 교육과정을 살펴보면, 초등학교에서는 하루 동안의 달의 위치를 관찰하고, 매일 같은 시각에 달의 모양을 관찰해보는 내용에 제시되어 있다. 9학년과 11학년에서도 달의 운동에 따른 위상변화를 중심으로 제시되어 있다(교육부, 1997). 미국의 국가 과학교육 기준에서도 이와 비슷한 내용이 제시되어 있다(see NRC, 1996, pp. 130-133, pp. 158-161, pp. 187-190). 이렇듯 달은 우리에게 친숙한 소재이며 또한 천문 분야의 필수 교육 내용이라 할

수 있다.

그러나 우리나라 과학과 교육과정에 제시되어 있는 달과 관련된 내용을 구체적으로 살펴보면, 초등학교나 중학교에서 모두 달의 운동과 위상변화에 관한 것들을 중점적으로 다루고 있다. 달과 관련된 학습 개념 중 달의 운동과 위상변화와 관련된 내용의 중요성은 관련 연구물을 통해서도 쉽게 짐작될 수 있다(변재성 외, 2004; 오준영 외, 2005; 오준영과 김유신, 2006; Barnett and Morran, 2002; Dove, 2002; Hermann and Lewis, 2003; Trumper, 2006; Trundle et al., 2006, 2007).

하지만 우리나라 7차 교육과정과 미국의 과학교육 기준에 제시되어 있는 학습 지도는 ‘관찰을 통한 학습(learning by observing)’이 되도록 요구하고 있다. 초등학교 3학년 교과서에서도 달 표면 관찰활동이 제시되어 있으며, 9학년 과학 교과서에도 달 사진자료가 제시되어 있어 달 표면에 관한 내용들을 관찰할 수 있게 해 주고 있다(경재복 외, 2003; 김희수 외, 2003; 우종욱 외, 2003). 즉, 달 관찰활동에 있어서, 달의 운동에 의한 위상 변화는 일정한 시간이 지나야 관찰될 수 있는 시간적·공간적 개념이 필요한 내용인 반면, 달 표면 관찰활동은 시간적 변인이 배제된 채 관찰이 가능하며 달의 움직임과 관련이 적으므로 보다 직접적인 교육소재로 다뤄질 수 있음에도 불구하고, 달의 운동과 위상에 관한 것이 중점적으로 다뤄지고 있어, 달 표면에 대한 내용들이 상대적으로 소홀하게 다뤄지고 있는 실정이다. 달에 나타나는 여러 자연현상이 달 표면에서 집중적으로 관찰될 수 있음에도 달의 운동과 위상변화에 한정된 학습내용이 제공된다면 달에 나타나는 여러 가지 자연현상에 관한 다양한 과학적 개념형성의 기회가 제공되지 못하는 것이며, 이러한 학습기회의 상대적 박탈은 구성주의적 관점에서, 학습자 스스로 학교 밖의 여러 경험을 통해 달 표면의 자연현상에 대해 스스로 비과학적 선개념(preconception)을 형성할 가능성이 크며 이러한 비과학적 선개념은 과학학습과정에서 새로운 지식과 상호작용하며 학습에 지대한 영향을 미치게 된다(Glynn et al., 1991; Trundle et al., 2007).

9학년에 달 표면에 대한 학습 내용이 교과서별로 차이는 있지만 어느 정도 언급되어 있고, 또 일부 11학년 교과서(천체교육, 중앙교육)에는 달 크레이터 생성 모형에 대하여 그림자료를 통해 운석충돌에 의한

것으로 설명하고 있는 것에서부터 단순히 운석 충돌에 의해 생성되었다고 진술된 것, 또는 일부는 화산 분출에 의해서 생겼으며 대부분은 운석충돌에 의해 생긴 크레이터를 소개한 교과서도 있다.

성인들은 초·중등 학생 시절 이러한 교육과정 상의 내용²⁾을 경험하였거나 혹은 그렇지 않고 일상경험을 통해 나름대로의 달 표면 구덩이에 대한 인식을 형성하게 된다. 이들이 형성하고 있는 정신모형이 주로 일상경험에 의한 것인지 알아볼 필요가 있다. 지구라는 천체에 관한 어린이들의 정신모형을 연구한 연구자들(e.g., Spelke, 1991; Vosniadou, 1994; Vosniadou and Brewer, 1992)은 어린이들이 지구에 대한 개념(conception)을 형성할 때 주변에서 쉽게 관찰될 수 있는 일상 경험들이 많은 영향을 준다고 하였다. 일반 성인들은 어린이들에 비해 학습경험이 많으며 논리적 사고가 가능하여 어린이들과는 학습경험과 논리적 사고가 정신모형 형성에 영향을 줄 것으로 판단된다.

잘 알려지지 않은 천문현상에 대하여, 일반 성인들은 자신의 정신모형을 형성할 때 어떠한 논리적 추론의 형태가 작용하는지, 어떠한 배경 정보원(information source)이 작용하는지에 대하여, 즉 정신모형 형성에 사용되는 정보원은 일상 경험인지 학습 정보인지, 이들 정보의 복합에 의한 것인지 연구해볼 필요가 있다. 이 연구는 천문학을 전공으로 하지 않은 일반 대학생들을 대상으로 심층면담(in-depth interviews)을 통해 달 크레이터의 생성원인에 대한 정신모형을 알아보고, 이들의 정신모형 형성과정에 사용되는 추론의 형태와 배경 정보의 유형은 어떠한지 알아보고자 하였다.

이 연구의 결과는 주변에서 쉽게 관찰될 수 있으며 중학교 학습 내용으로서 간단하게 소개되고 있는 학습 내용으로서의 크레이터에 생성과정과 형태에 대한 설명 체계 형성과정에서 그 배경 근거에 대한 학습정보가 소실되었거나 학습되어 있지 않은 성인 학습자들은 어떠한 정보원으로부터 어떤 사고과정을 거쳐 자신의 설명체계를 완성해 나가는지를 이해할 수 있게 해줄 것이며, 나아가 학습자가 새로운 지식/이론을 습득하는 학습 과정에서 학습자가 사용하는 정보원과 관련된 교사의 설명을 위한 교수전략, 즉 학

습자의 이해를 촉진시킬 수 있는 지도 방안 마련에 관한 연구에 큰 시사점을 줄 수 있을 것이다. 또한 학습내용으로서의 달 크레이터에 대한 지도 방안 모색에 시사점도 얻을 수 있을 것이다.

이론적 배경

정신모형

학습자가 가지고 있는 그릇된 세계관을 연구자들은 오개념(misconception), 선개념, 직관적 개념(intuitive conception), 대안적 개념(alternative conception) 등으로 불러왔으나, 용어 자체에 담긴 부정적인 인식과 용어상의 혼란(권재술 외, 2003)을 피하기 위해 최근에는 정신모형(mental model)이라는 용어를 사용하는 경향이 있다(이명자, 1999).

정신모형은 인지심리학, 과학철학, 과학교육 등 관련분야에서 다양한 정의가 존재한다(Franco and Colivau, 2000). 정신모형은 사람들이 세상에 존재하는 물체나 현상에 관해 추론 가능하게 하는 유사한 지식구조가 존재하는데 이러한 구조들이 바로 정신모형이다(Gentner, 2002). 이 정신모형은 특정 물체 또는 현상이 어떻게 움직이는지, 어떤 과정을 거치는지에 대해 설명하고자 할 때 능동적으로 형성되며, 자신의 경험과 논리적 추론을 통해 새로운 아이디어를 생성해내는 특징이 있다. 이러한 정신모형은 자신이 속한 문화적 체계와 합성되어 새로운 정신모형으로 발전하기도 하며, 자신의 믿음 체계에 의해 스스로 제약을 받기도 한다.

이 연구에서 사용되는 정신모형은 달 크레이터의 생성 원인에 대한 설명체계 형성에 활용되는 교과관련 지식과 생활 경험, 설명에 사용되는 추론에 한정되었다.

달 크레이터 생성 과정

달 구덩이에 대한 논쟁은 Galilei가 1609년 11월 30일에서 12월 18일까지 달의 위상 변화를 관측하여 8장의 그림을 남긴 후부터 시작되었다. Galilei는 이 관측을 통해 달이 매끈하지 않다는 것을 알았으며 달의 분화구를 발견하였고 이를 지구의 지형과 비교하여 분지라고 생각하였다. 그 이후 달 구덩이가 생성에 대하여 Bubble 가설, Tide 가설, Volcanic 가설, Impact 가설 등이 제안되었다.

Bubble 가설은 1667년 R. Hooke에 의해 제안되었

2) 6차 과학과 교육과정의 내용도 일부 차이는 있으나 진술된 내용의 수준, 진술 여부 등의 차이는 현재의 흡사함.

으며, 점성이 강한 마그마의 거대한 거품이 폭발 후 식어서 분화구 모양을 형성하였다는 가설이다. Tide 가설은 뜨거운 달이 식으면서 지구의 조석의 영향으로 오르내리면서 달의 전 표면에 걸쳐서 분화구가 만들어졌다는 가설이다. 그리고 1860년경에 Gruithuisen에 의하여 처음으로 Impact 가설이 제안되었고, Gilbert는 미국의 화산에 대한 지질학적탐사를 통해서 Impact 가설이 가장 훌륭한 가설이라 뒷받침하였으며, Proctor도 남으로 된 과녁에 납탄을 쏘는 실험을 통해 Impact 가설이 가장 적합하다고 강조하였다 (Beard, 1917). 그러나 왜 달 크레이터가 거의 모두 원형인가, 비스듬한 각도로 충돌이 일어나면 크레이터의 모양은 타원형에 가까워야 하는 것이 아닌가에 대한 의문에 답을 제공해 주지 못했기 때문에 지질 학자와 천문학자 모두에게 지지를 받지 못하였으며 (Beard, 1917), 오히려 지구의 화산과 같이 만들어졌다는 Volcanic 가설이 Humboldt, Buch, Dana, Suess 등 많은 지질학자들에 의해 지지를 받게 되었고 (Wegener, 1975), 20세기 중반까지 많은 과학자들에 의해 인정받고 있었다. 즉, 지구상에 존재하는 크레이터의 대부분이 화산 기원이기 때문에, 달 크레이터도 지구와 동일한 기원일 것이라고 생각한 것이다.

하지만, 달 크레이터와 지구상에 존재하는 화산 기원의 분화구 사이에는 그 형태에 있어서 많은 차이

가 존재한다. Fig. 1과 같이, 달의 크레이터는 크기가 크고 크레이터 주위를 높은 벽들이 원형(圓形)으로 둘러싸서 테두리를 이루고 있다. 또 일반적으로 바닥의 높이가 주위의 평지보다 낮다. 이에 비해서 분화구는 크기가 달의 크레이터에 비해서 더 작고 깊으며 거의 항상 화산의 맨 꼭대기에 위치한다. 따라서 Volcanic 가설의 설명력이 부족하게 된다.

20세기 말 유인·무인 우주선을 통한 달의 직접적인 탐사를 통해 밝혀진 가장 중요한 사실 중 하나는 크레이터를 포함한 대부분의 지형은 운석 등의 충돌에 의해 형성되었다는 것이다. Zeilik 외(1992)는 Alphonsus와 같은 몇몇 지형에는 용암이 흘렀던 흔적이나 암석기원을 찾아볼 수 있으나 운석 구덩이가 아닌 구덩이는 채 몇 개가 되지 않으며, 유성체가 달 표면에 부딪혀 운동에너지의 대부분이 폭발적인 열에너지로 전환될 때 생긴 것이라 설명하였으며, 이러한 설명은 지금 대부분의 천문학자들에 의해 지지받고 있다.

지구나 달과 같은 커다란 천체의 인력이 소행성이나 운석 등의 물체를 끌어 당겨 물체가 충돌할 때의 충돌 속도는 최소한 그 천체의 탈출 속도(지구: 11.2 km/s, 달: 2.38 km/s)와 같다. 게다가 이 탈출 속도에 충돌하는 물체가 천체에 대해 원래 갖고 있던 상대 속도(보통 10 km/s 이상)를 더하면 충돌 속도는 더욱

Fig. 1. A sectioned drawings of the Volcano in Earth and Crater in Moon (Fraknoi et al., 1997).

Fig. 2. Moon crater' forming procedure (Fraknoi et al., 1997).

커진다. 고속으로 날아온 물체가 달 표면에 부딪힐 때 표면에서 충돌하는 물체의 지름의 약 2-3배 가량의 깊이까지 도달하게 되며 정지하기 전 마지막 수 초 동안 물체의 운동에너지는 충격파로 전환되어 땅 속으로 전파됨과 동시에 엄청난 열로 바뀌어 결국 물체의 대부분과 주위의 땅을 증발시킨다. 이 거대한 운석의 충돌과 동시에 달 표면으로 전달된 충격파는 달 표면을 깨뜨리며 함께 발생하는 증기열과 함께 폭발을 일으킨다. 이러한 폭발은 땅 위에서 핵폭탄이 터졌을 때와 유사하다. 이러한 작용은 사방에 대하여 거의 대칭적으로 일어난다. 따라서 생성되는 크레이터의 모양은 원형이 되는 것이다(Fig. 2).

반지름이 10 km인 소행성은 약 2×10^{15} kg의 질량을 가지는데 평균 45 km/s의 속력으로 달과 충돌하면 약 10^{24} J의 운동에너지로 암석을 증발 시켜서 Copernicus 정도의 구덩이(지름 89 km, 안쪽에서의 벽 높이 3,500 m)를 만들 수 있게 된다(Zeilik et al., 1992).

연구 방법

연구 대상

연구 대상자는 충청북도 소재 국립대학에 재학 중인 초등교육과 4학년 4명이다.

이○○는 고등학교 시절 이과생이었으며 현재 초등과학을 전공하고 있으나, 지금까지 지구과학 영역에 대한 학습 경험은 대학 입학 이후 없었으며 고등학교 시절 공통과학에 들어 있는 내용이 전부였다. 이○○의 초등학교 때 특히 별자리관찰이나 달 관찰 경험으로 인해 천문에 대한 흥미는 매우 높았으나 중학교에 올라가면서부터 실험실습활동이 없이 이론적 설명으로 인해 점차 흥미를 잃게 되었으며, 지금도 다른 과학 영역(화학이나 물리)에 비해 관심이 적은 편이라고 하였다.

다음은 이○○의 정신모형을 이해하기 위해 개인적 특성을 알아보기 위한 사전 인터뷰 내용이다.

연구자: 고등학교 때 지구과학 선택했었나요?

이○○: 아뇨. 공통과학에 있는 것만 배웠어요. 그리고 2학년 때는 화학하고 생물만 선택할 수 있었어요.

연구자: 그럼 학교에 지구과학 선생님이 없었나요?

이○○: 아뇨. 한 분 있었고요. 화학, 생물 선생님은 두 분 계셨어요. 공통과학에서 지구과학 내용

배울 때는 지구과학 선생님한테 배웠어요. ... 한 학년에 10개 학급이 있었어요.

연구자: 그럼 대학 입학 후 과학과 관련된 수강강좌는 있었나요?

이○○: 초등과학교육론. 방법론 빼고 아직 없었는데요.

연구자: 본인은 과학 교과에 대해 어떻게 생각해요?

이○○: 과학요? 좋아하는 편이에요. 직접 실험을 하면서 배운 지식을 눈으로 확인하는 게 재미있어서 화학을 가장 좋아했어요. 뭔가 배운 것을 입증하는 실험을 할 수 있다는 점에서 과학이 좋았어요.

연구자: 천문에 대해서는 어때요?

이○○: 천문요? 초등학교 때 별자리 관찰, 달 관찰 등을 배우면서 별자리 관련된 내용들에 대해 흥미가 많아서 그때 무척 좋아했는데... 중학교 올라가서 친구 같이 이론적으로 파고들면서 흥미를 잃었어요. 이해도 잘 안되고, 선생님은 그냥 외우라고 하시고... 고등학교 때 지구과학 선생님은 교과서 보다는 문제집 프린트물이나 교과서 요약된 프린트를 위주로 수업을 하셨어요. 천문 분야는 사진자료정도만 보여주시고... 실험실습은 거의 하지 않았어요. 그냥 외운 게 전부인거 같아요.

<이○○의 개인적 특성 인터뷰 프로토콜>

김○○는 1995년에 고등학교를 입학하여 고등학교 3년의 시절을 6차 교육과정기에서 보냈다. 김○○는 타대학 화학공학에 입학한 후 다시 2004년에 초등교육과에 재입학 학생이다. 김○○는 고등학교 시절 이과생으로 현재 초등과학을 전공하고 있으나 지금까지 지구과학 영역에 대한 학습 경험은 현 대학 입학 이후 없었으며 고등학교시절 지구과학 I이 전부였다. 김○○은 과학과에 대해 비교적 긍정적인 태도를 보였으나 물리나 화학, 생물에 비해 이해하기 힘든 영역이어서 암기 위주의 학습을 했다고 응답하였다. 그러나 지구과학 영역에 대해 싫어하지는 않으며, 친구가 밤하늘에 별자리를 알려준 계기를 통해 천문분야에 관심을 갖게 되었다고 한다.

다음은 김○○의 정신모형을 이해하기 위해 개인적 특성을 알아보기 위한 사전 인터뷰 내용이다.

연구자: 다른 대학에서 화학공학을 전공하셨대요?

김○○: 네.

연구자: 그럼, 고등학교 때 이과였을텐데... 혹시 어

떤 과목을 선택했나요? 지구과학 II를 하셨나요?

김○○: 생물 II 했어요. 지구과학은 I만 했어요.

연구자: 대학 입학 후 과학과 관련된 수강강좌는 있었나요?

김○○: (초등과학교육론, 방법론 빼고) 없어요. 여기 입한 후에는 그냥 학과에서 정해진 수업만 열심히 듣고 있어요.

연구자: 3학년 때 지구과학 관련 강좌가 없었나요?

김○○: 네.

연구자: 본인은 과학 교과에 대해 어떻게 생각해요?

김○○: 물리, 화학, 생물, 지구과학 모두 좋아하는 편이지만, 특히 화학을 좋아해요. 지구과학은 다른 분야에 비해 이해하기 힘들었어요. 공간지각능력이 부족해서 친구의 동쪽과 서쪽 등 방향을 이해하기 힘들었어요. 그러다보니 암기 위주로 학습을 하게 되었구요.

연구자: 천문에 대해서는 어때요?

김○○: 언젠가 친구와 늦은 시간에 집에 돌아오는 길에 그 친구가 오리온자리를 알려주었는데 그 때부터 하늘을 보면 꼭 그 자리를 찾곤 했어요. 그 때 알게 된 이후 별자리를 공부해서 아이들에게 알려줘야지하고 흥미를 가질 수 있게 되었죠.

<김○○의 개인적 특성 인터뷰 프로토콜>

심○○는 고등학교 시절 이과생으로 현재 초등수학을 전공하고 있으며 지금까지 지구과학 영역에 대한 학습 경험은 현대학 입학 이후 없었으며 고등학교 시절 지구과학 I이 전부였다. 심○○은 수학에 비해 내용의 어려움 등으로 인해 관심이 멀어지게 되었다. 특히, 천문 영역에 대해서는 중학교 시절 달의 움직임과 위상변화에 대한 내용 이해의 어려움으로 인해 관심도 없어졌고 거부감까지 느꼈다고 하여 다른 대상자들에 비해 큰 부정적인 태도를 보였다.

다음은 심○○의 정신모형을 이해하기 위해 개인적 특성을 알아보기 위한 사전 인터뷰 내용이다.

연구자: 고등학교 때 자연계였다고 그랬죠? 그러면 중학교나 고등학교 과정동안 지구과학 영역에 대해서 자신이 얼마나 배운 것 같아요?

심○○: 과학을 별로 많이 안 좋아해서 (많이 공부 안한 것 같아요)

연구자: 안 좋아해요?

심○○: 네.

연구자: 왜 안 좋아하죠?

심○○: 그냥 별로 재미가 없어서.

연구자: 왜 재미가 없을까요? 수업 시간이 재미가 없다는 거예요, 아니면 평소에 가진 이미지가..

심○○: 관심이 없다고 해야 될까.. 재미가 없어요. 좋아하는 과목이 아니었어요.

심○○: 수학은 좋아했어요.

연구자: 수학은 왜 좋아했어요?

심○○: 그냥 답이 하나잖아요.

연구자: 그럼 과학은?

심○○: 과학은 뭐 과정이 복잡한 것 같고. 특히 물리를 되게 안 좋아했거든요. 그래서... 그래서 전반적으로 과학은...

연구자: 어려워서, 아니면 과정이 복잡해서?

심○○: 되게 어렵다고 생각했어요.

연구자: 본인이 그렇게 느끼게 된 원인은 뭐였던 것 같아요?

심○○: 중학교 때, 달의 움직임... 이런 거 있었잖아요? 지금 생각해보면 그 수업 시간에 달의 움직임.. 그걸 잘 안 들었어요. 그래서 나중에 공부를 하는데, 시험공부를 하는데 무슨 말인지.. 뭔가 원리 이런 게 있을 텐데.. 그러니까 달이 모양 변하고 이러는 게 무슨 말인지 하나도 모르겠어요. 그냥 외웠거든요. 그래서 그 때 이후로부터 그 부분도 하나도 모르고. 고등학교 때도 물리를 배우는데 힘.. 뭐 그런 게 이해가 잘 안된다고 생각했어요. 어려워서... 이때부터 천문학 분야에 대한 수업 내용은 이해없이 무조건 외웠어요. ‘별자리’ 관련된 것... 거부감이 느껴져서 수업도 재미없었고... 어려서부터 과학과 관련된 도서를 즐겨 읽지 않아서 그런지 전반적으로 과학과 관련된 내용에 관심이 없었어요.

<심○○의 개인적 특성 인터뷰 프로토콜>

서○○은 고등학교 시절 이과생이었으며 현재 초등실과를 전공하고 있고, 지금까지 지구과학 영역에 대한 학습 경험은 대학 입학 이후 없었으며 고등학교 시절 공통과학에 들어 있는 내용이 전부였다. 서○○의 과학에 대한 관심 정도는 두루두루 좋아한다고 하였으나 인터뷰 동안 적극적인 표현이 나타나지 않아 위 다른 세 명에 비해서 관심이 적은 것으로 추정되었다. 고등학교 때의 학습 경험은 수업내용은 주로 교과서의 개념 중심의 설명식이었고, 스스로는 주

로 원리 이해를 통해 공부를 하였다고 하였으나 내용이 충분히 이해되었는지는 알 수 없었다.

다음은 서○○의 정신모형을 이해하기 위해 개인적 특성을 알아보기 위한 사전 인터뷰 내용이다.

연구자: 다른 국어나 실과 등에 비해 과학과를 좋아하는 편인가요?

서○○: 그냥 좋아하는 편이에요. 물리, 화학, 생물, 지구과학 두루두루 관심이 있어요.

연구자: 구체적으로 어떤 부분이 좋은가요? 관심 갖고 있었던 부분이 있었나요?

서○○: 관심 있던 부분요? 음... (침묵)

연구자: 천문에 대해서는 어때요?

서○○: 개인적으로는 ... (침묵) ... 천문에 관한 관심은 그냥 일반사람과 비슷한 정도? 기회가 있으면 알고 싶다는 정도.

연구자: 천문 분야에 어떤 부분을 알고 싶었나요? 평소 관심있던 부분요?

서○○: 글썄요. 그런 거는 없는데요.

연구자: 달에 대해 배운 기억은 있나요? 주로 무엇을 배웠던 것 같나요?

서○○: 글썄요. 달의 운동? 모양 변화? 머 그런거요.

연구자: 선생님의 수업 형태는 어땠나요? 설명 위주? 아니면 실험?

서○○: 공통과학(지구과학) 수업시간에 탐구나 실험은 거의 안했던거 같아요. 주로 선생님이 교과서 개념 위주로 설명하는 형태로 진행된 거 같아요.

연구자: 고등학교 때는 어떻게 공부했나요? 암기위주였나요? 아니면 원리이해?

서○○: 저는 주로 원리 위주로 이해하려고 했어요. 이해한 내용에 대해 평가 결과는 잘 기억이 안나네요... (미소)

<서○○의 개인적 특성 인터뷰 프로토콜>

위 인터뷰 내용으로 보아 연구 대상자들은 6, 7차 교육과정기를 거치면서 대체로 지구과학과 관련된 교육경험은 고등학교 공통과학의 일부 영역으로 배운 것이며 김○○만 고등학교 시절 지구과학 I을 배운 것으로 나타나 이들의 천문관련 교육 경험은 매우 부족한 것으로 판단된다. 또한 이들의 지구과학, 특히 천문분야의 학습경험은 대체로 암기 위주의 학습경험으로 인해 천문현상에 대한 탐구 경험을 가질 기회가

거의 없었음을 시사하였다. 그리고 이들의 달에 대한 학습 경험은 서○○가 이야기한 것과 같이 주로 달의 공전과 위상에 관한 내용을 언급하고 있으나, 구체적인 학습 내용은 잘 기억나지 않는다고 하였다. 따라서 이들의 달 크레이터와 관련된 구체적으로 기억하고 있는 학습 경험은 없었다고 볼 수 있다.

평소 천문분야에 대한 관심은 이○○와 김○○는 흥미를 가지고 있다고 하였고, 서○○는 대체로 흥미를 가지고 있다고 하였으나 인터뷰 과정상 표정 등의 태도나 관련 다른 질문을 통해볼 때 이○○와 김○○와는 다른 소극적인 인상을 주었다. 심○○는 앞의 세 명과는 다르게 거부감이라는 용어를 사용하는 등 강한 부정적 인식을 가지고 있어 대상자들의 천문분야에 대한 인식은 비교적 다양한 폭을 지니고 있었지만, 과학과의 다른 내용영역보다 구체적인 실험실습 경험의 부재로 인해 다소 흥미와 관심이 적었던 것으로 이해된다.

자료 수집

비전공 대학생들의 달 크레이터 생성에 관한 정신모형을 알아보기 위해 반구조화된 개별 심층면담(In-depth semi-structured interview)을 통해 자료를 수집하였다. 심층면담은 연구대상자들의 어떤 현상이나 경험에 대한 관점에 대하여 깊이 있는 이해를 구할 수 있다는 장점이 있기 때문이다(Baxter and Babbie, 2004). 심층면담을 위한 내용은 3명의 예비 면담을 통해 Minichiello et al.(1995)의 분석적 유도(analytic induction) 과정을 거쳐 수정·보완하여 면담 질문을 완성하였다(Table 1). 면담과정의 신빙성(trustworthiness)³⁾을 확보하기 위해 Seidman(1998)의 심층 면담 단계를 통해 면담을 실시하였다. 즉, Table 1과 같이, 면담 질문을 생애사적 이해, 현재의 상세한 이해, 의미의 반성 단계를 거쳐 생성함으로써 연구대상자의 본질적 의미에 좀 더 가까이가다가 자료에 대한 신빙성을 확보하고자 하였다.

생애사적 이해 단계는 면담 주제와 관련해 지금까지 어떤 경험을 했는지 가능한 여러 가지 각도에서 질문함으로써 연구 대상자의 경험을 시간적으로 맥락

3) 질적 연구에서는 실증주의적 관점에 따른 양적 연구가 요구하는 통계적 객관성보다는 연구 대상자가 처한 맥락을 자세한 자료를 충분히 검토함으로써 연구 결과에 대한 신빙성(trustworthiness)을 보장받게 된다. 이것은 결과적으로 질적 연구 결과의 타당성을 견고히 한다고 볼 수 있다(Lincoln and Guba, 1985).

Table 1. Interview questions in categories

면담의 단계	면담의 범주 및 질문
1. 생애사적 이해	1.1 지구과학 교과 경험 1.1.1 초·중·고교 때의 지구과학 교과에 대한 흥미는 어떠하였나? 1.1.2 고교 때 지구과학 I, II를 이수하였는가? 1.2 천문 내용에 대한 경험 1.2.1 초·중·고교 때의 지구과학 수업에서 천문 내용에 대한 경험은 어떠하였나요?
2. 현재의 상세한 이해	2.1 달에 관한 교육 경험 2.1.1 달에 관한 내용은 어디로부터 습득된 것인가? 2.1.2 달에 관한 직접적인 관찰 경험은 어떠하였나?
3. 의미의 반성	3.1 달 크레이터 생성 모형에 대한 인식 3.1.1 달 크레이터는 어떤 모양일까? 3.1.2 왜 그런 모습을 띠게 되었을까?

화하는 것이다. 따라서 지구과학 수업에 대한 과거의 경험을 알아보기 위해 초·중·고 시절의 지구과학 수업에 대한 경험, 천문 내용에 대한 경험들로 면담 내용을 구성하였다. 현재의 상세한 이해 단계에서는 현재 경험의 구체적 세부 사항을 상세히 말하도록 유도해야 한다. 따라서 현재 가지고 있는 달에 관한 정보를 어디서 습득하게 되었는지에 대한 내용으로 구성하였다. 의미의 반성 단계는 연구대상자들에게 달 크레이터가 생성되었는지에 대한 의미를 어떻게 구성하고 있는지를 핵심 질문으로 구성하였다. 면담은 개별로 진행되었으며, 시간은 약 40분 정도 소요되었다. 면담 내용은 녹음 및 기록되었다. 면담 단계의 생애사적 이해 단계와 현재의 상세한 이해 단계에서 얻은 데이터는 연구방법의 연구 대상에 기술되어 있다.

자료 분석

분석은 연구자가 면담 시에 기록하였던 면담 내용 및 연구 대상자의 행동, 전사본을 두 차례에 걸쳐 실시되었다. 연구자는 면담 전사본과 녹화된 VCR 화면을 검토하면서 연구 대상자가 인식하고 있는 달 크레이터 생성에 관한 정신모형을 효과적으로 추출하기 위하여 귀납적인 방법을 통해 다음과 같은 코딩틀을 개발하였다. 여기에서 사용된 용어들은 Chinn and Brewer (2001)의 연구에서 사용한 것을 참고한 것이다.

- 원인의 탐색과정에서;
최초 가능성 탐색(First Exploring possible Cause) - FEC
탐색된 최초 가능성 기각(Reject the First possible Cause) - RFC
2차 가능성 탐색(Second Exploring possible Cause)

- SEC

2차 탐색된 가능성 기각(Reject the Second possible Cause) - RSC

3차 가능성 탐색(Third Exploring possible Cause) - TEC

3차 탐색된 가능성 기각(Reject the Third possible Cause) - RTC

4차 가능성 탐색(Fourth Exploring possible Cause) - FEC

원인의 탐색과정은 연구자의 달 크레이터 생성에 대한 원인을 묻는 질문에 응답하기 위해 가능한 원인들을 찾는 과정이다. 이○○는 4차례의 가능한 원인을 탐색하는 과정이 나타났다(Fig. 4).

• 배경이 되는 정보원;

교과지식(Knowledge) - K

일상 경험(Daily Experience)

방송 매체를 통한(Mass-Media) - MM

일상 생활을 통한(Daily Life) - DL

직관(Intuition) - I

배경이 되는 정보원은 대상자들이 가능한 원인을 찾는 과정에서 사용되는 배경의 원천(source)은 무엇인지를 나타내는 것이다. 교과지식은 중·고교 시절 학습을 통해 배웠다고 언급하거나 혹은 대상자들의 특성상 교과학습지도 경험과정에서 학습하였다고 언급한 경우는 교과지식으로 분류하였다. 그 외 일상 경험과 직관으로 분류하였는데, 일상 경험의 하위에 방송 매체를 언급한 경우와 주변 생활 경험을 언급하면 일상 경험으로 간주하였고 각각 MM, DE로 코딩하였다. 직관은

대화의 앞뒤 맥락과 구체적인 정보원의 출처가 언급되지 않는 경우를 직관으로 분류하였다.

- 설명체계를 형성하는 과정에서 사용되는 추론의 형태
- 지식에 의한 추론(Knowledge-based Reasoning) - KR
- 일상 경험에 의한 추론(Daily Experience-based Reasoning) - DER
- 인과적 추론(Casual Reasoning) - CaR
- 연역적 추론(Deductive Reasoning) - DR
- 직관적 추론(Intuitive Reasoning) - InR
- 비유적 추론(Analogical Reasoning) - AnR

대상자들은 자신의 설명체계를 형성하기 위해 나름대로의 추론 형태를 사용하고 있었다. 이 때 사용되는 추론을 구분하였는데, 교과지식을 근거로 추론한 것이면, 지식에 의한 추론(KR), 일상 경험으로부터 설명체계를 도입하려는 경우는 일상 경험에 의한 추론(DER), 원인에 의한 결과로 설명하는 형태이면 인과적 추론(CaR), 논리적 연역에 의한 추론의 형태이면 연역적 추론(DR), 단순한 직관에 의한 추론이면 직관적 추론(InR), 비유를 통한 설명 체계를 나타내면 비유적 추론(AnR)으로 코딩하였다.

결 과

이○○의 달 크레이터 생성에 대한 정신모형

이○○은 달 크레이터 생성원인을 찾기 위해 4단계를 거쳐 자신의 설명체계를 위한 인과적 설명을 완성하고 있으며, 이 과정에서 일상 경험과 교과지식, 직관의 다양한 정보원(source)을 활용하고 있었다(아래의 프로토콜과 Fig. 4). 또한 가능한 원인 탐색의 각 단계에서 사용된 배경 지식의 출처와 기각(rejection)에 사용된 추론의 형태 또한 다양하여 다른 세 명의 대상자들과는 독특한 특징을 보이고 있었다. 이○○은 달 크레이터의 생성 원인 탐색 과정에서 그 원인을 운석 충돌에 기인한 것으로 최종 선택하였다. 이때 운석은 Fig. 3-(a)에서와 같이 어느 방향에서든지 떨어질 수 있다고 하였고, Fig. 3-(b)처럼 운석이 스치고 지나가는 경우, Fig. 3-(c)와같이 운석이 떨어져 박히는 경우도 있다고 하였다. 일상 경험적 지식에 의한 것으로 나타났다.

다음은 달 크레이터 생성 원인 탐색과정에 대한 이○○과의 인터뷰 내용이다.

연구자: 달에 크레이터는 왜 생겼을까? 원인이 뭘까요?

이○○: 글썄요. 다른 데서 뭐가 날아와서 부딪혔나? (DE → FEC) (웃음), 이럴 수도 있지만 흔히 있는 일은 아니구. (RFC ← InR) 음... 대기도 없는 걸로 아는데 그럼 풍화작용(K → SEC)도 아닐테고(RSC ← CaR), 원래부터 있었던건가(TEC)? (웃음) 그럴리는 없겠네. 그럼 언젠가는 만들어져야겠네. (RTC ← DR) 음... 우주 공간에서 뭐가 날아와서 달하고 부딪히면서 꺾었다던가 아니면, 패였다든가... 아, 잘 모르겠지만 그럴 거 같아요.(FEC)

연구자: 다른 원인은 없는 거 같나요?

이○○: 네

연구자: 우주에 떠다니는 것들이 달에 날아와서 부딪혔다는 거죠?

이○○: 네, 그거 말고는 뭐... (없는 거 같아요)

<이○○과의 인터뷰 프로토콜-원인 탐색과정>

인터뷰를 계속 진행하는 과정에서 달 크레이터 모양과 그 생성원인에 대한 초기의 생각이 점차 구체적으로 변화하고 있었으며, 이러한 변화는 인과적 추론에 의한 것으로 나타났다.

다음은 달 크레이터 생성 원인에 대한 후반부 인터뷰 내용이다.

연구자: 그럼, 그런 것들이 날아와서 달에 부딪히면서 생긴 크레이터 모양은 어떻게요? 한번 그려보세요.

연구자: (Fig. 3-(a)를 가리키며) 약간 찌그러진 모양이네요? 왜 이런 모양일까요?

이○○: 어떤 것이 어떤 방향에서 어떻게 부딪혔는지 모르니까 둥글게 생겼다고는 생각되지 않네요. (CaR)

연구자: 그럼, 방향도 고려해야 되고 모양도 고려해야 되네요?

이○○: 네.

연구자: 이 Fig. 3-(a)는 어떤 모양(의 운석)이 어느 방향으로 떨어진 건가요?

이○○: (Fig. 3-(b), (c)를 그리며)... .. 그리고 옆에서 봤을 때는 (Fig. 3-(b)의 왼쪽부분을 가리키며)

Fig. 3. Craters' features by Lee.

여기서부터 팍 박혀서 밀고 나갔으니까(Fig. 3-(b)를 가리키며) 이런 모양일 거 같아요.(CaR)

이○○: 이것(Fig. 3-(b))은 (운석)이 날아오는 각도가 표면을 스치고 지나가는 정도로 (낮게) 날아오는 경우고, 이것(Fig. 3-(c))은 보다 각도가 큰 경우에는 이렇게(Fig. 3-(b)) 될 수 있다고 생각해요.(CaR)

연구자: 이것(Fig. 3-(b))은 입사각이 아주 작은 경우고, 이것(Fig. 3-(c))은 입사각이 좀 더 큰 경우겠네요?

이○○: 네. (Fig. 3-(c))처럼 (운석)이 박히면서 들어 올려지고 결국 (월면이 Fig. 3-(a)의 B처럼) 울퉁불퉁하게 될 거 같아요.(CaR)

연구자: (Fig. 3을 가리키며) 이 설명은 지식에 의한 건가요? 추론한 건가요?

이○○: 처음에는 대충 그랬는데, 설명을 하면서 생각하다보니 그렇게 된 거 같아요.

연구자: 또 다른 모양(의 운석)이 날아오면 다른 모양(의 크레이터)이 생길 수 있다는 건가요? 만약 크기가 큰 운석이 날아오면 어떨 거 같아요?

이○○: 그렇죠. (Fig. 3을 가리키며) 이(운석)보다 더 큰 것이 오면 더 깊게 파릴 수 있고... (CaR) 크기도 크고 질량도 크면 더 깊게 파일 거 같은데... (CaR)

<이○○과의 인터뷰 프로토콜>

결국 이○○은 자신이 초기에 가지고 있었던 크레이터 생성모형이 인터뷰를 거듭하면서 크레이터 모습에 대해서는 근본적인 변화 없이 좀 더 구체적인 모습으로 다양한 원인(크기, 모양, 방향, 입사각, 질량이 다양한 운석의 충돌)에 기인하여 설명하려 하였다. 인터뷰 결과를 통해 알아본 이○○의 달 크레이터 생성에 관한 정신모형을 도식화하면 Fig. 4와 같다.

김○○의 달 크레이터 생성에 대한 정신모형

김○○은 달 크레이터 생성 원인 탐색과정에서 그 원인을 운석 충돌에 의한 것으로 인식하고 있었다. 이러한 설명체계를 위해서 과거 중학교 시절 배웠던 교과지식 경험을 상기하고 있었다. 그는 다양한 모양의 운석 충돌로 인해 면이 매끄럽지는 않지만 대체로 타원형에 가까운 크레이터가 만들어진다고 인식하고 있었다. 그러나 김○○은 설명에 확신이 없었다고 했다.

다음은 달 크레이터 모습과 그 생성 원인 탐색과정에서의 인터뷰 내용이다.

김○○: 우주에 떠돌아다니는 운석이나 이런 것들이 충돌로 생기는 게 아닐까요?

연구자: 그건 언제 배운 내용이에요? 책으로 읽은 거예요? 아니면은...

김○○: 중학교 때 배운 거예요. 그런 것 같아요. (K → FEC)

Fig. 4. Lee's mental model building process.

Fig. 5. Plane figure of the crater drawn by Kim.

김○○: 잘 모르겠지만요.

<김○○과의 인터뷰 프로토콜-원인 탐색과정>

인터뷰가 계속됨에 따라서 달 크레이터 모양과 그 생성 원인에 대한 초기의 생각이 이○○의 경우와 같이, 크레이터 모습에 대한 틀 변화는 없이 점점 더 구체화되고 있었고, 이러한 변화는 인과적 추론에 의한 것과 직관적 추론, 일상 경험적 지식(MM)이 사용되었다는 것이 이○○와는 특징이었다.

다음은 달 크레이터 생성 원인에 대한 후반부 인터뷰 내용이다.

연구자: 모습은 어떨까요?

김○○: 음... 어쨌든 이렇게 움푹 파였을 거 같아요. 그런데 멀리서 봤을 때는 불규칙하지만 동그랗게 원처럼 생겼을 것 같고요. ... 가까이 봤을 때는 약간 이 왼쪽 그림(Fig. 5)처럼 울퉁불퉁할 수 있겠죠.

연구자: 왜 불규칙하지만 동그런 형상을 띠까요?

김○○: 우선, 운석이 불규칙하게 생겼는데요. 불규칙한 운석이 부딪히면 그 여파에서 의해서 약간 퍼져나가면서 전체적으로는 불규칙한 모양인데 (CaR) 각이 지거나 이렇게 아니고 타원이라든지 동그란 원이 아니라 이렇게(Fig. 5) 생겨요.

연구자: 그렇게 생각한 이유는?

김○○: (이런 모양을) 만화에서 본 기억이 나네요. (MM)

연구자: 크레이터 모습들은 다양할까요? 아니면 지금 그림과 비슷할까요? 자세히 설명해 주세요.

김○○: 운석이 어떤 애냐... 부딪히는 모양에 따라 다를 것 같아요. 예를 들어서 약간 타원형같이 생긴 거랑 부딪히면 이렇게 나오고, 동그란 게 부딪히면 동그랗게 나오고, 그리고 운석도요. (주먹 쥐고) 이렇게 생겼는데 요기에 모가 나있고 그런데요. 이렇게(주먹 아랫부분) 부딪히는 것과 이렇게(주먹 옆 부분과) 부딪히는 것과 다르잖아요? 그런 것처럼. 하나의 운석 가지고도 여러 가지 찍힌 모양이

Fig. 6. A cross sectional figure of the crater drawn by Kim.

Fig. 7. Kim's mental model building process.

나타날 수 있는 것처럼. 깊이는 운석이 어떤 속도로 와서 부딪혔느냐에 따라 다를 것 같아요.(CaR)
연구자: Fig. 6처럼 옆에서 보면 튀어나온 부분이 없나요?

김○○: 아... 여기가 이렇게 튀어나오진 않았고. ... 운석으로 인해 튀어나올 수도 있을까? 음... 네. 튀어나올 수도 있는데요. 그게 멀리서 보면 되게 미미한 거라서...

연구자: 어느 정도 멀리요? 눈으로 (크레이터를) 인지할 수 있는 거리에서?

김○○: 네. 그 정도면 티가 많이 안 날 것 같은데요.(InR)

연구자: 이 설명은 지식인가요? 추론한 것인가요?

김○○: 추론이요.

<김○○과의 인터뷰 프로토콜>

김○○은 달 크레이터 생성 원인에 대하여, 최초 불확실한 교과지식을 배경지식의 출처로 사용하여 점차 인과적 추론과 직관적 추론, 매체를 통한 일상 경험을 사용하여 자신의 크레이터 생성 모형을 보다 다양한 원인(운석의 모양, 충돌할 때의 모양, 속도가 다른 운석의 충돌)으로 점차 심화시키고 있었다. 인터뷰 결과를 바탕으로 김○○의 달 크레이터 생성에 관한 정신모형을 도식화하면 Fig. 7과 같다.

심○○의 달 크레이터 생성에 대한 정신모형

심○○는 인터뷰 초기에 달 크레이터 생성원인을 운석 충돌에 의한 것으로 인식하고 있었다. 그러한 배경에는 교생 실습 기간에 교과지도를 위한 준비과정에서 학습한 내용이라고 언급하였다. 심○○는 다양한 모양의 운석 충돌로 인해 면이 매끄럽지는 않지만 대체로 타원형에 가까운 것으로 인식하고 있었다.

다음은 달 크레이터 모습과 그 생성 원인 탐색과정에서의 인터뷰 내용이다.

연구자: 달에 크레이터는 왜 생겼을까? 원인이 될까요?

심○○: 그게 운석이 충돌해서 생긴 거라고 하잖아요?

연구자: 그건 어떻게 지금 떠올린 거예요, 아니면 지식이에요?

심○○: 지식이요. 교생실습 갔을 때 3학년 부분에서 가르쳤었거든요. 교사용 지도서에서 동그랗게 생긴 그림자료를 봤어요.(K → FEC)

<심○○와의 인터뷰 프로토콜-원인 탐색과정>

인터뷰가 계속 진행되면서 다른 연구 대상자들과 유사하게 달 크레이터 모습에 대한 틀에는 변화가 없이 생성 원인에 대한 초기의 변인이 더욱 구체화되고 있었다. 그러나 이러한 과정에 인과적 추론과 함께 비유에 의한 추론이 많이 사용되었으며, 지식에 의한 추론이 사용되었다는 것이 심○○의 특징이었다.

다음은 달 크레이터 생성 원인에 대한 후반부 인터뷰 내용이다.

연구자: (크레이터는) 구체적으로 어떤 모양일까요?

심○○: 그냥 찰흙같이 완전히 딱딱하지 않은 무른 곳에 돌맹이를 떨어뜨리면 파인 모양처럼 그렇게 크레이터도 생겼을 거 같아요.(AnR)

연구자: 그렇게 생각하게 된 이유는 뭘까요? 그런 현상을 주변에서 많이 봤단든지, 아니면 지금 추리해낸 거라든지. 그런 이유가 있을까요?

심○○: 그 크레이터가 운석이 충돌해서 생긴 거라고 했으니까 비오는 날 흙 같은 거 보면 물방울 같은 게 위에서 힘이 가해지면 패이잖아요. 그런 거 생각해서.(AnR)

연구자: 이것(Fig. 8)은 어떤 모양이에요?

심○○: 완전한 원은 아니고 둥근 모양. 여기(테두

Fig. 8. Plane figure of the crater drawn by Sim.

리 부분)은 약간 올라온 모양.(AnR)

연구자: 다른 크레이터들도 이렇게 생겼나요?

심○○: 그냥 딱 정해진 모양이 아니라 일정하지 않을 것 같은데요. ... 모나지 않게 그냥 둥그스름한 모양. 타원도 될 수 있고 길쭉할 수도 있고. 그 운석의 모양에 따라서 달라질 것 같아요. 운석의 모양에 따라 달라지지만 둥그스름한 모양으로... 대체로 면은 매끄러운 둥그스름한 모양...(CaR, AnR)

연구자: 그럼 좀 매끄러운 둥그스름한 모양일 것이다?

심○○: 네.

심○○는 자신의 설명과정에서 크레이터 모양이 ‘일정하지 않을 것 같다’고 하였으나 잠시 후 처음 선택한 모양(Fig. 8) 즉, ‘운석의 모양에 따라 달라지지만 둥그스름한 모양’이라고 설명하고 있어 심○○의 설명체계에 모순이 있음이 나타났다.

연구자: 예를 들어서 동그란 운석이 옆으로 비스듬히 떨어졌어요. 그러면 어떻게 될 것 같아요? 그대로 동그랄 것 같아요?

심○○: (Fig. 9의 왼쪽 그림을 가리키며) 이것은 위에서 떨어진 모습이에요. (Fig. 9의 오른쪽 그림을 그리며) 이게 화살표 방향으로 떨어지면 이쪽이 더 밀려서 이쪽으로... 그러니까 바로 위에서 떨어지면 왼쪽 그림과 같이 되는데, 만약 옆으로 (비스듬히) 떨어지면 이쪽으로 이렇게 밀려서 이런 모양이 되요.(CaR)

연구자: 생각하게 된 이유는 뭘까요? 왜 그런 생각을 했죠?

심○○: 찰흙 같은 것도 손으로 누르면... 들어간 만큼 양쪽으로 조금씩 밀려 나오니까 애도 그럴

Fig. 9. A cross sectional figure of the crater drawn by Sim.

거 같아요.(AnR)

연구자: 또 다른 모양은 없을까요? 크기도 크고 무게도 많이 나가는데... 그랬을 때는 어떤 모양이 될 것 같아요?

심○○: (운석이) 무거우면 (크레이터도) 더 커질 것 같아요. 더 깊이 파이고, 폭도 커지고.(KR)

심○○: 운석이 떨어질 때, 음... 생각했는데, 압력이 표면적의 넓이랑 반비례한다고 했잖아요. 그래서 무게가 똑같고 크기가 넓어도 어쨌든 크기가 더 크니까 그 구멍은 크긴 큰데 깊이는 더 안 깊을 것 같아요.(KR)

연구자: 둥그런 모양이 아닌 운석이 떨어져도 이런 모양이 나올까요?

심○○: 잘 모르겠어요. 어쨌든 둥그스름할 거 같아요.

<심○○와의 인터뷰 프로토콜-후반부>

인터뷰 결과, 심○○의 달 크레이터 생성에 관한 정신모형은 Fig. 10과 같이 도식화될 수 있었다. 심○○는 달 크레이터 생성 원인에 대하여, 최초 자신이 가지고 있는 구체적인 지식을 배경 지식의 출처로 사용하고 있었으며 점차 인과적 추론과 비유적 추론, 지식기반 추론을 사용하여 자신의 크레이터 생성 모형을 보다 다양한 원인(방향, 크기, 무게, 속도, 입사각이 다른 운석의 충돌)으로 점차 심화시키고 있었다.

서○○의 달 크레이터 생성에 대한 정신모형

서○○은 인터뷰 초기에 달 크레이터 생성 원인을 운석 충돌에 의한 것으로 설명하고 있었다. 그러한 배경에는 학교에서 학습한 내용이라고 언급하였다.

다음은 달 크레이터 모습과 그 생성 원인 탐색과정에서 서○○와의 인터뷰 내용이다.

연구자: 이것(Fig. 11)은 어떤 모습이지?

서○○: (벽을 가리키며)이 부분은 화산처럼 튀어

Fig. 10. Sim's mental model building process.

Fig. 11. A cross sectional figure of the crater drawn by Seo.

나와 있을 것 같고, 가운데 부분은 움푹 들어가 있을 거 같아요.

연구자: 그러면, 어떻게 해서 이런 모양으로 생겼을까요?

서○○: 우주에 돌아다니는 소행성이라든지 그런 것들이 달 주위를 지나가다가 달 중력에 이끌려서 ... 달 표면으로 이끌려서 충돌하겠죠. 일단 충돌하면, 충돌하는 물체의 질량과 속도에 비례하는 충격을 받게 되구요. 그렇게 되면 이렇게 파이지 않을까요? (웃음...) (FEC)

연구자: 본인의 지식인가요, 추론인가요?

서○○: 학교에서 배운 거 같아요.(K)

<서○○과의 인터뷰 프로토콜-원인 탐색과정>

서○○은 달 크레이터 생성 원인 탐색과정에서 교과 지식을 기초로 하여 운석 충돌에 의한 것으로 설명하고 있었으나 다음의 인터뷰 과정에서 일상 경험(DL)과 경험기반 추론, 직관적 추론에 의한 정보가 복합적으로 작용하고 있었음이 나타났다.

연구자: 달 크레이터들은 대체적으로 둥근 모습일까요? 아니면 다양한 제각각의 모습일까요?

서○○: 대체적으로 둥글지 않을까(생각되네요)

연구자: 크레이터를 직접 관찰한 적이 있나요?

Fig. 12. Plane figure of the crater drawn by Seo.

서○○: 직접 관찰한 적은 없어요. 다니다가 눈으로 (달을) 본 게 전부예요.(DL)

연구자: 크레이터에 관한 사진들을 본 적이 있나요?

서○○: 잘은 모르겠는데요, 어디선가 본 적이 있는 것 같아요. TV에서 본 것인지, 책에서 본 것인지 그런 기억이 있는 데 잘은 모르겠어요.(DL)

연구자: Fig. 12는 어떤 모양인가요?

서○○: (Fig. 12를 가리키며) 둥근 원모양이요.

연구자: 왜 원모양이라고 생각했어요?

서○○: 사진으로 보거나 밤에 (달을) 봤을 때도 원으로 보이고. (운석이 떨어질 때) 충격을 받을 때도 (힘이) 원으로 퍼지지 않을까 생각이 되네요. (DER, InR)

인터뷰가 계속 진행되면서 다른 연구자들과는 달리 달 크레이터 모습에 대한 초기 모형이 변화하였다. 초기에는 둥근 원 모양이라고 생각하고 있었으나, 직관적 추론 이후 인과적 추론을 거듭하면서 운석의 모양과 입사각, 떨어지는 속도, 질량과 운석이 월면에 부딪힐 때의 모양에 의해 타원 형태의 크레이터가 생성된다고 인식하고 있었다.

다음은 달 크레이터 생성 원인에 대한 후반부 인터뷰 내용이다.

연구자: 운석이 충돌해서 (크레이터 벽이) 솟아올랐다고 했죠? 그 부분을 자세히 설명 부탁드립니다.

서○○: (운석이 떨어지는) 방향에 따라 크레이터 모양이 달라질 수 있을 거 같아요.

연구자: 생각이 처음보다 좀 바뀐 거 같네요? 크레이터는 대체로 동그랄 것이라 했는데, 왜 그렇게 생각하게 됐죠?

서○○: 처음에는 미처 생각 못했던 부분이네요. 그냥 조금씩 달라질 거 같아요.(InR)

연구자: 그럼 어떤 모양이 되죠?

서○○: 일단 떨어지는 방향에 따라 다르지만, 원보다는 일그러진 형태가 되겠죠. (한참 후) 충돌하는 물체가 원이 아닐 수도 있는데... .. 이것도 다시 생각해 봐야겠어요. 충돌하는 운석이 구 모양이면 둥근 형태의 크레이터가 생길 것이고 긴 모양이면 타원 같은 모양이 될 거 같아요.(CaR)

연구자: 정리한다면

서○○: 일단 크레이터는 (운석과 같은) 외부물체의 충돌에 의해 생기는데 그 모양을 결정짓는 것은 월면에 대해서 충돌하는 각도와 충돌하는 물체의 모양, 떨어지는 속력과 (운석의) 질량이 영향을 줄 것 같은데 그에 따른 크레이터 모양은 어떻게 달라질지는 잘 모르겠어요.

연구자: 충돌하는 물체의 모양에 따라 달라질 수 있다는 건가요?

서○○: 네. 달라질 수 있을 거 같은데요.(CaR)

연구자: 예를 들어, 긴 모양의 물체라면 크레이터 모양도 길게 나타날 것이고?

서○○: 그런데 긴 물체라도 충돌할 때 (월면과) 부딪히는 부분에 따라 달라질 거 같아요. 물체가 월면에 부딪힐 때 긴 면 쪽으로 떨어지는 지, 짧은 쪽에 떨어지는지에 따라서요. 이것도 영향을 받을 거 같아요.(CaR)

연구자: 그러면, 크레이터 모양이 매우 다양하게 나타날 수 있겠네요.

서○○: 네. 다양한 모양이 있을 거 같아요.(CaR)

연구자: 예를 들면?

서○○: 길쭉한 모양도 있을 테고, 타원에 가까운 것들... .., 규칙성 없이... .., 그런 형태들도 있을 거 같아요.(CaR)

<서○○과의 인터뷰 프로토콜>

인터뷰 결과, 서○○의 달 크레이터 생성에 관한 정신포형은 Fig. 13과 같이 표현될 수 있었다. 서○○는 달 크레이터 생성 원인에 대하여 교과 지식, 일상 경험, 경험기반 추론, 직관적 추론을 통해 최초 형성한 모형을 직관적 추론 이후 거듭되는 인과 추론에 의해 다양한 모양의 크레이터가 형성된다고 설명하였으며, 그 원인으로 운석의 모양과 질량, 날아오는 속도와 입사각, 부딪힐 때의 접촉 모양을 들고 있었다.

Fig. 13. Seo's mental model building process.

논 의

연구 대상자들은 자신이 가지고 있는 경험과 지식들을 활용하여 추론을 통해 점차 발전된 설명적 틀(explanatory framework)을 생성하였다. 이러한 형태는 Fig. 4, 7, 10, 13과 같이 나타났듯이, 연구 대상자들 모두에게 나타나고 있는데, 이것은 Vosniadou (1994)의 설명적 틀 이론(framework theory)에 의해 이해될 수 있다. 즉, 학습자는 자신이 경험하지 못한 새로운 현상에 대한 설명이 요구되면 이미 저장된 지식과 경험 체계가 인과적 추론을 통해 설명하도록 한다는 것이다. 따라서 이 연구의 대상자들도 자신의 경험과 지식을 통해, 그리고 추론으로 달 크레이터 생성에 관한 설명적 틀을 생성하였다고 볼 수 있다.

대상자들이 형성한 달 크레이터 생성과 관련된 변인은 대상자들마다 차이를 보였으나 운석의 모양이 공통적으로 제시되고 있었다. 이들의 설명은 이론적 배경에서 알아본 것과는 많은 차이를 보였다. 그러한 원인으로, 달 크레이터 생성에 관한 내용이 11학년 지구과학 I의 몇몇 교과서(중앙교육, 천재교육)에서만 제시되어 있고, 이들 연구대상자들의 학습 경험에서 알아본 것과 같이 지구과학 I을 경험한 대상자가 김○○ 한 명 뿐으로 학습 경험 기회가 부족했다는 점, 특히 천문 내용영역을 어려워했다는 점을 통해 비교학적 정신모형이 형성되어 있었다고 볼 수 있다.

이것은 천문 분야의 내용들의 인식 범위가 일상적으로 경험하기 힘들며, 3차원 공간상에서 일어나는 현상에 대한 이해가 필수적이기 때문에 고도의 형식적 사고가 요구되는데, 이 때문에 학생들이 천문학 관련 내용에 대해 어려움을 느껴 관련 개념의 이해가 부족하다는 선행 연구에 의한 원인적 견해가 형성될 수 있다(Barnett and Morran, 2002). 그러므로 어쩌면 전문적 지식-운석의 떨어질 때에 만들어지는 열에너지에 의한 내부 폭발과 관련된 지식-이 없는 사람들로서는 비과학적 정신모형의 형성이 당연한 결

과일지도 모른다. 그러나 이 연구의 초점이 비과학적 정신모형을 형성한 것에 있다기보다는 잘 알려지지 않은 자연현상에 대하여 설명체계를 구성할 때 어떠한 정보원이 활용되는지, 어떠한 설명적 추론이 적용되는지에 관심이 있었다.

이 연구결과에서, 지구과학을 전공하지 않은 대학생들의 달 크레이터 생성에 대한 정신모형 형성 과정은 Vosniadou와 그 동료들이 다양한 문화권에서 수행한 초등학생의 천문내용에 관한 정신모형 연구 결과들(e.g., Diakidoy et al., 1997; Vosniadou and Brewer, 1992, 1994; Vosniadou, 2003; Vosniadou et al., 2004)과는 다르게 나타났다. 즉 초등학생은 주변 경험과 직관적 추론에 의해 의존하는 반면, 대학생들은 개인별로 차이는 있으나, 설명체계 형성을 위한 지식의 근원으로서 일상 경험은 물론, 학습 경험, 직관을 사용함으로써 보다 다양한 정보원들을 활용하고 있는 것으로 나타났다. 또한 계속되는 설명과정에서 인과적 추론, 직관적 추론, 비유적 추론, 지식기반 추론 등을 사용하여 심화·발전되는 양상을 보이고 있었다. 이러한 양상은 성인으로서의 성장과정에서 초등학생들에 비해 일상생활을 통해 다양한 정보를 습득하였고 또 인지적 수준이 향상되어 형식적 사고가 가능해짐에 따라 다양한 정보원과 함께 다양한 추론을 할 수 있는 인지적 능력이 정교한 설명체계 형성 과정에 관여했기 때문으로 보여진다.

Chinn과 그 동료들의 연구들(Chinn and Brewer, 1993, 1998, 2001; Chinn and Malhotra, 2002)은 사람들이 잘 알려지지 않은 불규칙 데이터(anomalous data)를 어떻게 해석하는가에 대한 연구에서 데이터 해석 과정을 종합하여 제시하였는데, 이 연구들로부터 일반 성인들은 관찰된 사실로부터 연역된 인과적 순서(causal history)에 의해 증거를 추론하기 시작하며, 다음 단계로 발전된 해석을 하기 위해 비유적 추론과 귀납적 추론, 대비와 같은 사고 과정을 거친다고 하였다. 이 연구에서는 실제 관찰된 사실을 해석하기 보다는 일상에서 쉽게 접하지 못한 자연현상에 대하여, 즉 달 크레이터는 왜 생겼는지, 왜 그러한 모양을 띠는지에 대한 가설적 설명체계 형성에 나타난 사고과정을 분석하였다. 이 두 부류의 연구는 일반 성인들이 쉽게 관찰하지 못한 것 혹은 평소 잘 알려지지 않은 내용에 대한 설명체계를 요구한다는 연구 맥락 상의 유사점이 있지만, 실제로 관찰할 수 있는 데이터를 사용했는가에 대한 차이점이 있었다.

그러나 이 연구 결과는 Chinn과 그 동료들의 연구 결과에서와 같이, 대상자들마다 다소 차이는 있으나 자신의 설명체계를 형성하기 위해서 다양한 추론 형태의 사고가 나타났다는 공통점이 있다. 따라서 실제 불규칙 관찰 데이터의 설명에 대해서도 또 직접 관찰되지는 않았지만 주변에서 관찰될 수 있는 불규칙 데이터에 대해서도 성인들은 자신의 설명 체계를 형성하기 위해서는 반드시 추론의 형태를 거친다는 것을 보여주고 있다. 반면 이 연구 결과는 눈으로 직접 관찰하지 않은 불규칙 현상(잘 알려지지 않은 자료)에 대해 설명체계를 형성할 때에는 자신이 겪은 일상 생활에서의 경험과 획득된 교과 지식이 동시에 사용될 수 있음을 보여주었다.

그러나 개개인들의 정신모형 형성과정의 양상은 크레이터 생성의 원인으로 채택된 변인들과 이러한 변인에 의해 결과적으로 생성되는 크레이터의 모습, 그리고 이러한 정신모형 형성의 기저에 있는 지식의 정보원(source)과 추론의 유형들에 차이를 나타내고 있었다. 이○○는 4단계에 걸쳐 원인으로 생각되는 변인을 채택하였으며, 이 변인이 인과적 추론에 의해 보다 구체적인 요인들(크기, 모양, 입사각, 방향, 질량)이 추가되면서 더욱 구체화되고 있었으며, 김○○와 심○○, 서○○는 공통적으로 교과지식을 통해 ‘충돌’이라는 변인을 채택하고 있다. 그러나 구체화되는 과정에서 생성된 충돌체(운석)의 특징과 관련된 요인들은 개개인마다 약간씩 다른 특징을 보이고 있었다. 이러한 차이를 가져온 것은 구체화되는 과정에서 적용되는 추론의 형식과 사용되는 정보원이 서로 달랐기 때문으로 풀이된다(Fig. 4, 7, 10, 13 참고).

한편, 심○○은 최초 둥근 모양의 크레이터가 생길 것이라 했다가 충돌체의 모양에 따라 크레이터 모양이 달라질 수 있다는 인과적 추론을 형성한 이후 다시 교생실습 기간에 관찰한 사진자료(둥근 크레이터 모양)를 바탕으로 회귀하는 모습을 나타냈다. 이것은 다른 대상자들과는 다르게 자신의 추론에 의한 지식 보다는 습득된 교과지식에 대해 더 큰 확신을 가지고 있었기 때문이었다.

김○○와 서○○는 최초 둥근 크레이터가 생성된다는 인식에서 다양한 원인에 의해 다양한 모양의 크레이터가 생성된다는 것으로 인식이 전환되고 있었다. 이것은 심○○를 제외한 연구 대상자들이 계속되는 인터뷰 과정에서 기존 개념에 대한 갈등상황에 대하여 자신들의 논리적 설명체계를 통해 기존 개념을

수정하여 방어하려는 기전이 작용하였기 때문이다. 추론을 통해 자신의 응답을 과학적 설명에 편입시키려 하는 과정에서 기존 설명체계의 비합리성을 인식하고 논리적으로 타당한 새로운 이론을 수용한 것이다. 이러한 관점에서 이○○는 최초 가능한 원인 탐색과정에서 여러 단계를 거치면서 기존의 개념을 유지 발전시켜 하나의 이론이 일관성있게 유지되고 있어 가장 개념 변화에 견고할 것으로 여겨진다(Watson et al., 1997).

결론 및 제언

본 연구의 결과는 학교 학습이후, 여러 가지 자연 현상에 대하여 스스로 설명체계를 형성해 나가는 과정에서 개개인들의 경험과 배경지식, 그리고 여러 추론형태의 사고과정이 중요 정보원으로서 작용하며, 이러한 정보원들을 이용하여 자신들의 최선의 설명체계를 완성한다는 것을 알게 되었다. 이들은 약간의 차이는 있으나 대체로 운석이 떨어지는 방향과 속도 등에 의해 다양한 모양의 크레이터가 생성된다는 설명체계를 완성하였으며, 배경지식, 교과관련지식, 여러 유형의 추론들을 이용하여 자신의 최선의 설명체계를 완성하였다. 특히, 천문학을 전공하지 않는 대학생들의 달 크레이터 생성 과정에 관한 정신모형의 특징에 대한 구체적인 내용은 다음과 같다.

첫째, 대학생들은 달 크레이터 생성 원인에 대하여 대체로 ‘운석 충돌’에 의한 것으로 공통된 정신모형을 형성하고 있었으나, 생성된 크레이터의 모습에 관련된 여러 변인에는 많은 차이를 나타냈으나 운석의 모양은 공통적으로 발견되었다.

둘째, 달 크레이터 생성 원인에 대한 설명 체계에서 활용된 정보원(source)은 개인마다 다소 차이는 있으나 일상 경험과 교과 지식, 직관이었다. 또한 구체화과정에서 활용되는 추론의 유형들은 인과 추론, 지식기반추론, 직관 추론, 비유 추론이었다.

셋째, 비전공 대학생들은 각자 내재되어 있는 지식과 경험을 바탕으로 한 추론에 의해 자신만의 독특한 달 크레이터 생성에 관한 설명체계를 구성하고 설명의 일관성을 대체로 유지하거나 또는 논리적 설명체계에 의해 수정·변형될 수 있었다. 또한 논리적 설명체계와 관련없이 교과지식에 대한 확신을 통해 자신의 설명체계를 수정하려는 모습도 있었다.

이 연구의 중요한 시사점은, 다른 선행연구들과는

다르게 어린 초등학생들은 주변 경험자체가 정보원으로서 사용되고 있었지만, 성인들은 학습경험(여기서는 심○○의 교생실습을 위한 준비과정에서의 학습만 관련되어 있음)과 추론 자체가 새로운 정보원으로서의 역할을 하고 있다는 것이다. 즉 이것은 성인이 어린 초등학생들에 비해 다양한 변인을 고려할 수 있기 때문이며, 다양한 변인을 고려하는 추론 과정에서 또 새롭게 새로운 정보원이 사용될 수 있다는 것을 알려주는 것이며, 이렇게 구성된 정보원과 기존의 정보원, 추론 등이 종합되어 설명체계를 구성한다는 것을 알려준다. 따라서 구체적조작기 초기의 어린이들과는 다른 정보원들이 사용된다는 것을 의미하며, 따라서 중등학생들도 이러한 정보원들이 사용될 수 있음을 시사하는 것이다. 이러한 결과는 중등학생들을 위한 교과지도 시에는 학생들의 관련 경험과 학생들의 추론이 학생들의 개념체계를 형성할 수 있으므로 이러한 점에 유의하여 지도해야 한다는 것을 암시한다.

이 연구 결과를 바탕으로 후속 연구를 위한 제안을 하면 다음과 같다.

이 연구는 심층 면담을 통한 사례연구의 성격을 띠고 있지만, 달의 운동과 위상 변화에 관한 선행연구들을 살펴보면, 예비(초등)과학교사들을 중심으로 한 대학생들이 중·고등학생들과 유사한 비과학적 설명 체계를 가지고 있거나 부족한 이해를 가지고 있다는 연구 결과(명전옥, 2001; Trundle et al., 2002), 초·중등 교사들도 비과학적 설명 체계를 구성하고 있다는 연구 결과(Brunsell and Marcks, 2005)를 미뤄볼 때, 대상자들을 확대한 연구 접근이 이뤄질 필요가 있다. 더불어 비과학적 개념이 형성되어 있다는 것에 초점을 두기보다는, 왜 이러한 비과학적 정신모형이 형성되었는지, 어떠한 배경지식과 신념의 조합으로 인해 이러한 설명체계가 형성되는지, 어떻게 하면 이러한 모형이 개선될 수 있는지에 대한 교육적 활용방안 마련을 위한 연구가 진행되어야 할 필요가 있다. 또한 어떠한 정보원이 어떠한 수준에서 어떠한 경로를 거쳐 설명체계 형성에 영향을 주게 되었는지에 대한 연구가 필요하다고 본다.

참고문헌

교육부, 1997, 과학과 교육과정. 교육부 고시 제 1997-15호 [별책 9]. 교육부, 서울, 101 p.
경재복, 윤일희, 이경훈, 김기룡, 황원기, 이기영, 2003, 고등

- 학교 지구과학 I. (주)중앙교육진흥연구소, 서울, 267 p.
권재술, 이경호, 김연수, 2003, 인지갈등과 개념변화의 필요 조건과 충분조건. 한국과학교육학회지, 23(5), 574-591.
김희수, 정남식, 신동원, 박정웅, 이정식, 한홍열, 박용선, 2003, 고등학교 지구과학 I. (주)천재교육, 서울, 247 p.
명전옥, 2001, 예비교사들의 지구과학 문제 해결 실패 요인: 달과 행성의 운동을 중심으로. 한국지구과학회지, 22(5), 339-349.
변재성, 정재구, 문병찬, 정진우, 2004, 지구와 달의 운동에 대한 고등학생들의 생각. 한국지구과학회지, 25(7), 519-531.
오준영, 강용희, 유계화, 2005, 달의 위상변화에 대한 예비 초등교사의 가능한 정신모형. 한국우주과학회지, 22(3), 311-328.
오준영, 김유신, 2006, 천문 현상들을 설명하는 예비초등 교사들의 정신모형의 구조: 계절과 달의 위상변화. 한국과학교육학회지, 26(1), 68-87.
우종욱, 정진우, 위수민, 임정환, 홍성일, 이석형, 2003, 고등학교 지구과학 I. (주)교학사, 서울, 221 p.
이명자, 1999, 물체의 자유낙하에 대한 아동의 정신모형 연구. 한국과학교육학회지, 19(3), 389-399.
Barnett, M. and Morran, J., 2002, Addressing children's alternative frameworks of the Moon's phases and eclipses. International Journal of Science Education, 24 (8), 859-879.
Baxter, L.A. and Babbie, E., 2004, The basics of communication research. CA: Wadsworth/Thomson Learning, Belmont, USA, 455 p.
Beard, D.P., 1917, The impact origin of the moon's craters. Popular Astronomy, 25, 167-176.
Brunsell, E. and Marcks, J., 2005, Identifying a baseline for teachers' astronomy content knowledge. Astronomy Education Review, 3 (2), 38-46.
Chinn, C.A., and Brewer, W.F., 1993, The role of anomalous data in knowledge acquisition: A theoretical framework and implications for science instruction. Review of Educational Research, 63 (1), 1-49.
Chinn, C.A., and Brewer, W.F., 1998, An empirical test of a taxonomy of responses to anomalous data in science. Journal of Research in Science Teaching, 35 (6), 623-654.
Chinn, C.A., and Brewer, W.F., 2001, Models of data: A theory of how people evaluate data. Cognition and Instruction, 19 (3), 323-393.
Chinn, C.A., and Malhotra, B.A., 2002, Epistemologically authentic inquiry in schools: A theoretical framework for evaluating inquiry tasks. Science Education, 86 (2), 175-218.
Diakidoy, I.-A., Vosniadou, S., and Hawks, J., 1997, Conceptual change in astronomy: Models of the Earth and of the day/night cycle in American-Indian children. European Journal of Psychology of Education, 12 (2), 159-184.
Dove, J., 2002, Does the man in the moon ever sleep? An

- analysis of student answers about simple astronomical events: A case study. *International Journal of Science Education*, 24 (8), 823-834.
- Duit, R., 1991, Students' conceptual frameworks: Consequences for learning science. In Glynn, S.M., Yeany, R.H., and Britton, B.K. (eds.), *The psychology of learning science*. Lawrence Erlbaum Associates, Mahwah, NJ, USA, 65-85.
- Fraknoi, A., Morrison, D., and Wolff, S., 1997, *Voyages through the universe* [윤홍식, 민영기, 이시우, 홍승수, 강용희, 이형목, 김용하, 권석민, 김용기 공역, 1998, 우주로의 여행, 청림출판사, 서울, 595 p.]
- Franco, C. and Colinviaux, D., 2000, Crasping mental models. In John, G. and Carolyn, B. (eds.), *Developing models in science education*. Kluwer Academic Publisher, Boston, USA, 93-118
- Gentner, D., 2002, Psychology of mental models. In N.J. Smelser and P.B. Nates (eds.), *International encyclopedia of the social and behavioral sciences*. Elsevier Science, Amsterdam, Netherlands, 9683-9687.
- Glynn, S.M., Yeany, R.H., and Britton, B.K., 1991, A constructive view of learning science. In Glynn, S.M., Yeany, R.H., and Britton, B.K. (eds.), *The psychology of learning science*. Lawrence Erlbaum Associate, Hillsdale, NJ, USA, 3-19.
- Hermann, R. and Lewis, B.F., 2003, Moon misconceptions: Bringing pedagogical research of lunar phases into the classroom. *The Science Teacher*, 70 (8), 51-55.
- Lincoln, Y.S. and Guba, E.G., 1985, *Naturalistic inquiry*. Sage Publication, Newbury Park, USA, 416 p.
- Minichiello, V., Aroni, R., Timewell, E., and Alexander, L., 1995, *In-depth interviewing: Principals, techniques, analysis* (2nd ed.). Longman, Melbourne, Australia, 320 p.
- National Research Council, 1996, *National Science education Standards*. National Academy Press, Washington, DC, USA, 262 p.
- Pfundt, H. and Duit, R., 2000, *Bibliography-Students alternative frameworks and science education*. University of Kiel Institute for Science Education. Kiel, Germany, 227 p.
- Seidman, I., 1998, *Interviewing as qualitative research: A guide for researchers in education and the social sciences*. Teachers College Press, NY, USA, 143 p.
- Solomon, J., 1993, The social construction of children's scientific knowledge. In Black, P.J. and Lucas, A.M (eds.), *Children's informal ideas in science*. Routledge, NY, USA, 85-101.
- Spelke, E., 1991, Physical knowledge in infancy: Reflections on Piaget's theory. In Carey, S. and Gelman, R. (eds.), *The epigenesis of mind: Essays on biology and cognition*. Erlbaum, Hillsdale, NJ, USA, 133-169.
- Tao, P.-K. and Gunstone, R., 1999, The process on conceptual change in force and motion during computer-supported physics instruction. *Journal of Research in Science Teaching*, 36 (7), 859-882.
- Trumper, R., 2006, Teaching future teachers basic astronomy concepts - Sun-Earth-Moon relative movements? at a time of reform in science education. *Research in Science and Technological Education*, 24 (1), 85-109.
- Trundle, K.C., Atwood, R.K., and Christopher, J.E., 2002, Preservice elementary teachers' conceptions of moon phases before and after instruction. *Journal of Research in Science Teaching*, 39 (7), 633-658.
- Trundle, K.C., Atwood, R.K., and Christopher, J.E., 2006, Preservice elementary teachers' knowledge of observable moon phases and pattern of change in phases. *Journal of Science Teacher Education*, 17 (2), 87-101.
- Trundle, K.C., Atwood, R.K., and Christopher, J.E., 2007, A longitudinal study of conceptual change: Preservice elementary teachers' conceptions of Moon phases. *Journal of Research in Science Teaching*, 44 (2), 303-326.
- Vosniadou, S., 1994, Capturing and modeling the process of conceptual change. *Learning and Instruction*, 4, 45-69.
- Vosniadou, S., 2003, Exploring the relationships between conceptual change and intentional learning. In Sinatra, G. and Pintrich, P. (eds.), *Intentional conceptual change*. Mahwah, LEA, New Jersey and London, UK, 377-406.
- Vosniadou, S. and Brewer, W.F., 1992, Mental models of the Earth: A study of conceptual change in childhood. *Cognitive Psychology*, 24, 535-585.
- Vosniadou, S. and Brewer, W.F., 1994, Mental models of the day/night cycle. *Cognitive Science*, 18, 123-183.
- Vosniadou, S., Skopleiti, I., and Ikospentaki, K., 2004, Modes of knowing and ways of reasoning in elementary astronomy. *Cognitive Development*, 19, 203-222.
- Watson, J.R., Pisto, T., and Dillon, J.S., 1997, Consistency of students' explanations about combustion. *Science Education*, 81, 425-443.
- Wegener, A., 1975, The origin of lunar craters. *The Moon*, 14, 211-236.
- Zeilik, M., Gregory, S.A., Smith, E.P., 1992, *Introductory astronomy and astrophysics*. [유경로, 한정준, 윤형식, 이시우, 홍승수, 이상각, 최승언 공역, 1994, 천문학 및 천체물리학 서론, (주) 대한교과서, 서울, 682 p.]

2007년 4월 18일 접수

2007년 6월 1일 수정원고 접수

2007년 8월 22일 채택