

달의 위상 변화 설명에 대한 예비 중등 교사의 설명적 일관성

오 준 영*

충북대학교 기초과학연구소, 361-763 충주 청주시 흥덕구 개신동 12

An Explanatory Consistency of Preservice Secondary Teachers' Explanations about the Lunar Phases

Jun-Young Oh*

Basic Sciences Research Institute, Chungbuk National University, Chungbuk 361-763, Korea

Abstract: In this paper we investigated the types of the explanatory consistency of preservice secondary teachers in explaining the lunar phase. The explanatory consistencies were proposed into four discrete mental models depending on their attributes. The four types based on the explanatory consistency by the preservice secondary teachers' explanations are as follows: ad hoc expansion, competitive theory addition, transition of unexplainable each, and transition using in context of several situations.

Keywords: preservice secondary teachers, explanatory consistency, lunar phase

요약: 본 연구에서는 예비 중등 교사들이 가지고 있는 달의 위상 변화에 대한 설명적 일관성을 탐색하기 위해서 설명적 일관성의 조건을 제안하고 그 일관성에 따른 유형들을 탐색하였다. 본 연구에서는 천문현상에 대한 정신 모형을 설명적 일관성의 관점에서 다음의 4가지 유형으로 분류하였다. 첫째, ad hoc의 확장형, 둘째, 경쟁 이론의 단순한 추가형, 셋째, 처음 이론에 강한 의문을 가지지만 처음 이론과 경쟁 이론 간의 설명 불가능한 과도기 모형, 넷째, 상황에 따라서 처음 이론과 과학적 이론인 경쟁 이론을 상황에 따라서 사용하고 있는 과도기 모형이다.

주요어: 예비 중등 교사, 설명적 일관성, 달의 위상

서론

많은 연구들은 과학자들의 이론발달과정과 개인의 지식의 획득과정 사이에는 유사함이 있다고 가정해왔다(Duschil and Gitomer, 1991). 다시 말해서 과학 이론의 과학사적인 발달과정에서 일관성의 유지와 학생이론의 발달의 일관성 유지는 어떤 유사함이 나타난다는 점을 강조했다고 할 수 있다.

과학교육의 많은 문헌들에서 학생들은 과학학습에 대하여 다양한 선 개념을 가지고 있다고 한다(Driver et. al., 1985; Hashwesh, 1986; Lawson, 1986). 그러나 이러한 선 개념은 매우 견고하여 우리가 바라는 과학적 개념으로 변화되기 어렵다는 점을 강조한다

(Strike and Posner, 1992; Tasker and Osborne, 1985). 이런 믿음들은 학생들의 소위 '정신모형(mental model)'으로 나타난다. 학생들이 정신모형을 형성하는 능력은, 과학자들에 의하여 더욱더 정교하고 의도적으로 사용되는 일관성이 있는 과학적 모형의 기초가 되는 것이다. Vosniadou(2002)에 의하면, 하나의 질문에 답하고, 어떤 문제를 풀기위해서 나타나고, 들어오는 정보를 이해하는 데 심층적으로 내재하는 믿음들이 사용되어지는 상황에서 정신모형들은 형성된다고 하였다. 그러한 비과학적 정신모형은 불충분하지만 일관성 있는 틀이 있다고 하였다.

Schoon(1989)은 5, 8, 11학년 생들과 성인들 총 1213명을 대상으로 선다형을 구성된 설문지를 이용하여 지구과학 전반에 관련된 오개념중에서 달의 위상변화는 '지구의 그림자가 달에 비추기 때문이다.'라고 보고하였다. 또한 Dai and Capie(1990)은 예비교사들과 교사들의 조사에서 지구에서 보이는 달 부분

*Corresponding author: jyoh3324@hanmail.net

Tel: 82-43-226-2942

Fax: 82-53-950-5946

만 햇빛을 받고, 만월일 때는 달 표면 전체가 빛을 받지만 삭일 때는 달 표면 전체가 어둡다. 또한 달에서 반사된 빛의 양이 변하고 지구의 그림자가 달을 덮고 있기 때문에 달의 위상변화가 일어난다. 채동현(2000)은 예비초등 교사를 대상으로 달의 위상변화 원인에 대한 변인들 중에 가장 큰 요인은 지구의 그림자가 달에 비추기 때문이라고 하였다. 또한 오준영과 김유신(2006)은 예비 초등교사의 달에 대한 위상변화 원인이 다른 연구자와 마찬가지로 달의 그림자가 달의 반사면을 비추기 때문이며 이것을 아주 일관성 있게 주장하고 있다고 보고하였다. 이러한 지구의 그림자가 달의 반사면을 가린다는 학생들의 오개념은 아주 견고하고 일관성이 있다는 사실을 알 수 있다.

하나의 사례를 설명하기 위한 어떤 질문들에 학생들이 하나의 이론적 근거에 의하여 임시방편적 가설 등을 내세워 처음의 자신 믿음을 유지 및 방어하기 위해서 일관성 있게 표현한다는 Watson et al.(1997)의 관점에 따라서 오준영과 김유신(2006)은 예비 초등 교사들의 달의 위상변화에 대한 설명적 일관성을 조사하였다. 그러나 국내의 기존의 연구들(김영길, 2005; 정미영 외, 2005)에 따르면, 하나의 이론으로 검사지에서 일관성 있게 응답한 정도를 일관성의 정도가 높다고 하였다.

그러나 이러한 일관성의 관점들은 과학철학 등에서 많이 사용되고 있으나 그 기준이 뚜렷하지 않기 때문에 명확히 결정해야하고 일관성이 강하게 나타나는 달의 위상변화에 대한 예비 중등교사의 정신모형을 탐색할 필요성이 있다. 이러한 필요성에 따라서, 먼저 Watson et al.(1997)의 제안에 새롭게 Thagard(1992)의 제안들을 추가하여 설명적 일관성 기준으로 설정하였다. 그 기준을 역사적으로 과학적 지식의 생성과정에 적용하여 그 기준의 타당성을 확보하고자 하였다. 본격적으로 달의 위상변화에 대한 예비 중등 교사의 지식의 생성과정에 그러한 설명적 일관성 기준에 따라서 설명체계에 대한 정신모형의 유형을 알아보고자 하였다. 그러한 목적을 위하여 다음과 같은 세 가지를 연구문제들을 설정하였다.

첫째, 달의 위상변화를 설명하는 예비 중등교사의 설명 체계의 유형은?

둘째, 예비 중등교사들의 정신모형의 일관성 정도의 특징은?

셋째, Thagard(1989, 2005)의 설명의 원리와 경험

의 원리가 예비교사들의 설명체계에 어떻게 표현되었는가?

연구방법 및 절차

연구의 대상

질적 연구의 대상은 예비 중등교사를 대상(00대학교 사범대학 과학교육과 지구과학전공 신입생 중 8명)으로 봄 학기에 수행하였다.

검사 도구

검사도구인 인터뷰 형식을 내용적, 형식적 단계로 구분하였다. 그러나 내용적 물음단계와 형식적 물음 단계를 종합적으로 사용하였다.

물음의 내용적 단계: 달의 위상변화에 대한 질적 연구를 위한 인터뷰의 물음에 대한 내용적 단계는 Fig. 1의 흐름도로 나타낸 것이다. 처음 단계는 기존의 문헌(오준영과 김유신, 2006)을 통해서 이미 가리기 이론이 학생들의 대안개념의 중심이론임을 확인하였기 때문에 이러한 가리기 이론을 가진 중등예비교사들을 선택하여 그들이 이러한 이론을 어떻게 견지하는가를 탐색하였다. 2단계에서는 그러한 중심이론을 보충하는 ad hoc를 조사하였다. 3단계는 변칙사항을 제시하여 중심이론을 어떻게 보호하는 일종의 ad hoc를 또 다시 조사하였다. 그러한 결과 ad hoc수를 늘리든지, 과학적 이론의 일부를 수용하여 대안개념의 중심이론을 고수하든지, 중심이론을 잠시 보류하고 자신의 이론을 의심하는 과도기 단계를 확인하는 단계를 Fig. 1에서 나타내었다. Fig. 1에서 점선의 화살표는 인터뷰를 통한 탐색이고 실선의 화살표는 변칙사항들의 제시 혹은 스스로 인터뷰 도중에 처음의 이론이 변화하는 과정을 표현한다.

물음의 형식 단계: 탐구의 과정을 Gale(1978)적 물음의 논리로 표현하면, 가능한 해답에의 제한들을 찾아냄으로써 그 속에 공식화된 무지가 제거될 때까지 질문을 ‘계속적으로 재구성 내지 재 명료화하는 것’(reformation or reclassification)이다.

재구성의 기본 패턴은 주어진 ‘왜-물음’(Why-question)을 먼저 어느 것-물음(Whether-question)으로 바뀌고 그것을 다시 예, 아니오-물음(Yes-no question)으로 바꾸는 것이다(정상모, 1997). 이 연구에서는 물음의

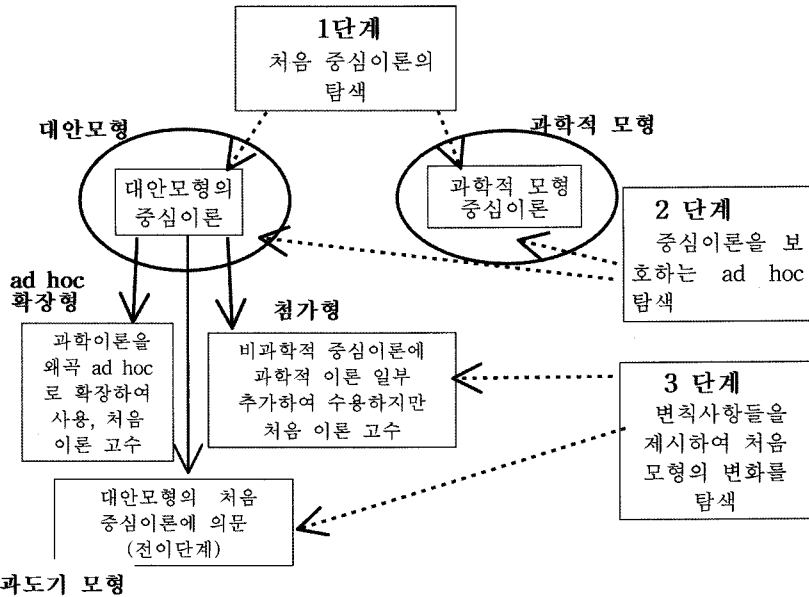


Fig. 1. The flow chart of investigation of preservice secondary teachers' explanatory models about natural phenomena.

형식 단계는 그렇게 전환해가는 순서로 인터뷰를 수행하였다. 1단계에서는 왜에서 어느 것으로, 마지막 3단계에서 예 혹은 아니오의 물음단계로 전환하는 것이다.

천문현상에 대한 증등예비 교사들의 이해의 본성은 처음에 자신들이 가지고 있는 자신들의 설명 틀의 능력과, 다음에 제시되는, 변칙사항으로 자료들을 인식할 수 있는 자신들의 능력에 영향을 준다.

예비 중등교사의 설명 틀의 일관성 정도를 나타내는 기준: 정합성을 이루는 한 가지 요소는 일관성이다. 다른 믿음들과 논리적으로 비일관성 관계에 있는 믿음은 그 믿음들과 정합하지 못한다. 또한 우리의 믿음 체계 가운데 주요부분(중심 이론)과 정합해야 된다(이상훈과 광강제, 2002). 어떤 가설이든지 확립된 지식의 체계와 잘 어울리지 않으면 빈약한 설명으로 폐기된다. 그렇지만 요구되는 정합성이 설명적인 정합성이라면 일관성만으로는 부족하다. 상대적으로 설명력이 보다 나은 일관성 정도가 필요하다.

설명 일관성은 인식론적인 확신근거의 한 형태로서 (Posner et al., 1982) 개념간의 내적 논리성을 보여준다. 학생들은 기존의 개념을 조직하고 이를 타당화하는 과정에서 설명 일관성의 양상을 나타낸다. 이때 설명적 일관성은 과학적 개념의 논리성을 의미하는 것이 아니라 학생들 나름대로의 일관성을 뜻한다.

설명 일관성은 갈등상황에 대하여 기존 개념의 유지 및 방어, 또는 임시방편적 가설 등의 특징으로 나타난다. 이 연구에서는 어떤 질문에 대한 학생들이 자신의 응답을 일관성을 가지고 대안적인 설명을 하는지를 조사하였다. Watson et al.(1997)이 제안한 설명적 일관성의 첫째, 둘째, 셋째의 3가지 가능성뿐 만 아니라 설명력이 상대적으로 더 좋아야한다는 설명적 일관성 정도를 표현한다는 Thagard(1992)의 제안인 설명의 원리로 네 번째의 가능성과 경쟁적인 가설사이의 관계인 다섯 번째 가능성을 가지고 학생들의 설명적 정신모형의 구조와 유형, 그리고 설명적 일관성 정도를 나타내는 기준들로 설정하였다.

첫째, 많은 학생들은 자신의 설명에 대한 이론적 근거(underlying rationnaire)를 가지고 있다. 학생들의 설명들은 과학적 관점들과는 다르나, 학생들, 자신들의 관점들로 보았을 때, 일관적인 것처럼 보인다. 우리의 연구에서는 중심이론이라고 하였다.

둘째, 학생들의 대안적인 중심 이론은 부분적으로 제한된 범위를 갖는 설명의 근원이다. 그로 말미암아, 과학적인 관점과 비 일관적인 것처럼 보인다. 학생들은 과학적인 이론들만큼 일반적인 하나의 설명적인 이론들을 필요로 하지 않는다. 그래서 물리 현상에 대한 어떤 양상들을 고려하지 않는 덜 일반적인 이론들에 만족한다. 중심이론에 대한 일종의 ad hoc인 보조가설들로 제한적인 설명으로 만족한다.

셋째, 학생들은 한 이론으로부터 또 다른 이론을 받아들이는 전이 상태(a state of transition)에 있을 수 있다. 그들의 학습은 새로운 이론을 수용하기를 시도하여 개념변화를 일으키는 중일 수 있다.

넷째, 학생들의 설명 틀에서 어떤 현상들을 설명하는 중심이론의 수가 적을수록, 그러한 중심이론들을 보호하는 보조가설의 수(ad hoc의 수)가 적을수록 설명적 일관성 정도가 높다.

다섯째, 학생들의 설명 틀에서 어떤 현상을 설명하는 중심이론사이에서 보조 가설을 사용하지 않고 서로 설명가능하면 설명적 일관성 정도가 높으나, 서로 설명 가능하도록 보조 가설수가 많을수록 설명적 일관성 정도가 낮다. 그러나 서로 설명적으로 연결되지 않으면 일관성 정도는 상대적으로 낮다.

역사적으로 과학이론의 형성에서 그 중심이론을 고수하기 위한 보조가설의 수를 알아본다. 조사한 보조가설은 엄격히 말해서 'ad hoc' 가설로 보조 가설 중 오직 반증을 회피하기 위한 목적인 가설인데 일종의 '미봉 가설(황희숙, 2005)'로 널리 통용된다. 중심 이

론의 수는 변칙사례를 제시할 때, 처음의 이론을 바꾼다고 하더라도 처음의 이론을 일시적으로 보류하였다고 보고 두개의 이론이 공존한다고 보았다. 그러한 설명적 일관성 정도를 보여주는 분류기준은 Table 1과 같다.

또한 Laburu and Niaz(2002)은 학생들과 상호작용을 통해서 자신들의 견고한 핵에 일종의 발전을 반영하는 정도에 따라, 대안 모형(alternative model), 과도기 모형(transitional model), 그리고 과학적 모형(scientific model)으로 분류하였다. 학생들은 일반적으로 그들의 개념의 이해를 위한 변화에 저항한다. 어떤 학생들은 자신들의 믿음의 견고한 핵(hard core)에 의문을 제기해서, 하나의 과도기적인 모형을 구축한다. 따라서 중심이론이 과학적 이론으로의 발전 정도에 따라 대안 모형, 과도기 모형, 그리고 과학적 모형으로 분류하였다. 그러한 유형의 분류기준에 따라서 중등예비교사들의 응답을 분류하였다. 그와 같은 맥락에서 Table 1에서 '인터뷰 도중'이라는 표현이 있는데, 이 기준은 믿음의 변화에 의한 중심이론

Table 1. The criteria of the degree of explanatory consistency

일관성 정도	중심이론의 수와 종류		임시방편의 보조 가설의 수 (ad hoc의 수)	모형의 유형	
높다	하나의 이론	과학적 중심이론	보완가설로 보조가설을 사용하나 ad hoc는 없다	보조가설 사용 형	과학적 모형
	비과학적 이론과 과학적 이론이 서로 부분적으로 설명 가능	비과학적 중심이론을 고수하기 위해서 과학적 이론을 왜곡하여 사용	ad hoc의 적을수록, (새로운 이론은 ad hoc로) ↓ ad hoc의 많을수록, (새로운 이론은 ad hoc로)	ad hoc 확장형	대안모형 (비과학적 이론이 중심이론)
		비과학적 중심이론을 고수하기 위해서 과학적 이론의 일부만 단순히 추가함 비과학적 중심이론 > 과학적 이론	ad hoc의 적을수록, (새로운 이론을 단순히 추가) ↓ ad hoc의 많을수록, (새로운 이론을 단순히 추가)	첨가형	
↕	비과학적 이론과 과학적 이론이 서로 설명 불가능	인터뷰 도중, 처음에 가지고 있던 비과학적 이론이 잠시 정지 후, 과학적 이론 일부 수용 과학적 중심이론 > 비과학적 이론	처음 이론의 ad hoc의 수가 적을수록... (새로운 이론으로 전이) ↓ 처음 이론의 ad hoc의 수가 많을수록... (새로운 이론으로 전이)	처음 비과학적 이론 잠정적 포기 형	과도기(비과학적 이론으로부터 과학적 이론으로 전이 단계) 모형
		인터뷰 도중, 처음에 견지했던 비과학적 이론뿐만 아니라 과학적 이론이 상황에 따라 독립적으로 사용 과학적 중심이론 = 비과학적 이론	처음 이론의 ad hoc의 수가 적을수록 (새로운 이론과 독립적 상존) ↓ 처음 이론의 ad hoc의 수가 많을수록 (새로운 이론과 독립적 상존)	처음의 비과학적 이론과, 후의 과학적 이론의 상황 맥락적 사용 형	
		뚜렷한 중심이론 없음		무 모형	
낮다					

의 고수, 혹은 변화, 개정을 의미한다. 즉 인터뷰 과정에서 비밀관성에 봉착할 때, 자신의 설명모형이 일관성을 어떻게 유지하는가를 탐색해야 한다는 것을 의미한다.

또한 Table 1에서 대안모형에서 '처음의 비과학적 중심이론을 고수하기 위해서' 오히려 자연현상들을 다 같이 설명하는 서로 경쟁하는 가설들인 과학적 이론을 보조가설(ad hoc)로 사용하여 설명하고 있기 때문에 서로 설명적으로 연결되나, '비과학적 중심이론 > 과학적 이론'이라는 표현은 서로 설명하는 것이 아니라 비과학적 중심이론에 과학적 이론을 단순히 추가했기 때문에 서로 설명적으로 연결이 되지 않기 때문에 Thagard의 '경쟁의 원리'에 따라서 일관성 정도가 상대적으로 낮게 설정하였다.

과도기(전이 단계)에 있는 설명모형에서, '과학적 중심이론 > 비과학적 이론'이라는 표현은 처음의 비과학적 이론에 의심을 가지고 과학적 중심이론으로 바뀌었으나 처음의 이론이 잠재되었다고 하였고, '과학적 중심이론 = 비과학적 이론'이라는 표현은 처음의 비과학적 중심이론에 의문을 가지고 있으나 두 가지 이론을 상황에 따라서 독립적으로 사용하는 경우이다. 그러나 두 가지 중심이론 사이에는 서로 설명이 불가능하기 때문에 일관성이 매우 낮다고 하였다.

역사적으로 과학적 지식에서 비밀관성이 나타나는 변칙사례들은 어떻게 작용 하였는가?

우리의 연구에서 설정한 설명적 일관성의 다섯 가지 가능성과 그러한 설명적 일관성 정도의 타당성을 확보하기 위해서 먼저 Lakatos(1999)가 예들 든 과학사적인 과학적 이론의 형성에 비밀관성이 어떻게 해소 되었는가를 보여주고자 한다.

일반적인 과학적 모형의 설명적 일관성: Ptolemy와 Copernicus의 두 프로그램은 Platon의 프로그램에서 갈라져 나왔다. 이들 프로그램은 천체는 완전하기 때문에, 모든 천문학적 현상은 가능한 적은 수의 일정한 형태의 원운동(또는 축을 중심으로 한 구의 회전)의 결합으로 나타낼 수 있어야 한다는 기본원리에 근거하고 있다. 이 원리는 두 프로그램 모두의 발견법의 토대로 남아있다. 이러한 최초 프로그램은 우주의 중심이 어디인가에 대한 지식을 포함하고 있지 않다. 이러한 경우 발견법이 일차적이고, '견고한 핵'은 이차적이다. 피타고라스와 같은 사람은 우주의 중심은 사람이 거주하는 지구상에서 볼 수 없는 불등

어리라는 믿음을 가지고 있었다. Platon주의자 같은 사람들은 우주의 중심은 태양이라고 믿었으며, Eudoxus와 같은 사람은 우주의 중심은 여전히 지구라는 믿음을 가지고 있었다.

지구중심 가설은 정교한 아리스토텔레스의 지상 물리학의 발전과 더불어, 실제로 '견고한 핵'으로 고정되었다. 최초의 미숙한 지구 중심설은 지구를 중심으로 하는 회전하는 동심구로 구성되어 있었다. 그 중 하나는 항성들의 동심구이고 다른 하나는 다른 천체들의 동심구이다. 그러나 이것은 거짓의 '이상적인 모형'임이 알려졌고, Eudoxus는 이미 인식하였듯이 이러한 초보적인 도식은 항성들에게는 작용하였지만, 행성들에게는 작용하지 않음이 명확해졌다. 잘 알려진 것처럼, Eudoxus는 행성의 운동을 설명하기 위해서 회전하는 구의 체계를 고안하였다. 그는 행성의 류(stations)와 역행들을 설명하기 위해서 26개의 그러한 구를 도입하였다. 이모형은 새로운 사실을 예측하지 못했으며, 행성의 밝기가 변화하는 정도와 같은 심각한 변칙사례들을 해결하지 못했다. 이러한 회전하는 구의 체계가 포기 된 이후에, 지구 정지 프로그램 안에서의 모든 단일한 움직임은 Platon의 발견법에 반하게 되었다. 이심원은 원의 중심으로부터 지구를 빼 버렸다.

대심(equant)의 사용은 Platon의 발견법의 포기과 다름없다. 이러한 발전의 초기에는 Aristarchus와 같은 천문학자는 부분적인 또는 완전한 태양 중심 체계로의 실험을 시작했음에 틀림없다. 지구 중심 프로그램 안에서의 각각의 움직임은 어떤 변칙사례들을 다루었지만 'ad hoc'식의 방법으로 다루었다. 새로운 예측은 결코 나오지 않았으며, 변칙사례들은 여전히 많았으며, 분명하게 각각의 운동은 Platon의 발견법에서 벗어났다(Lakatos, 1999).

역사적으로 과학이론의 형성과정에서도 하나의 일관성을 가지고 대안적인 설명을 하는지를 조사하였다. 이러한 5가지 가능성을 조사하였다.

첫째, 많은 과학자들은 자신의 설명에 대한 이론적 근거를 가지고 있다: Platon 사상에 입각한 지구중심설의 중심 이론

둘째, 변칙사항에서 그 이론적 근거는 부분적으로 제한된 범위를 갖게 된다면, 과학자들은 보조가설을 사용하여 자신의 용어를 일관적으로 사용하여 개념을 설명을 한다: 대심을 사용하여 일정하지 않은 원운동을 설명하고자 하였다.

셋째, 과학자들은 한 이론으로부터 또 다른 이론을 받아들이는 전이 상태(a state of transition)에 있을 수 있다: 아직은 지구중심설을 고수한다.

넷째, 중심이론의 수가 적을수록, 하나의 중심이론을 보호하는 보조가설의 수가 적을수록 설명적 일관성이 높다고 한다: 중심이론은 하나이나 보조가설의 수가 점점 증가한다. 즉 설명적 일관성이 낮아진다.

다섯째, 학생들의 설명 틀에서 어떤 현상을 설명하는 중심이론사이에서 보조 가설을 사용하지 않고 서로 설명가능하면 설명적 일관성 정도가 높고, 서로 설명 가능하도록 보조 가설수가 많을수록 설명적 일관성 정도가 낮다: 중심이론은 하나이다.

과도기(전이 상태)에 있는 과학자들이 가지고 있는 과도기적인 과학적 모형의 일관성: Copernicus는 Ptolemy와 그의 후계자들의 관리에서 Platon의 발견법이 퇴행적임을 인식하였다. Copernicus는 완전히 새로운 프로그램을 창조한 것이 아니다. 그는 Platon의 프로그램에 대한 Aristarchus의 버전을 재생한 것이다.

Copernicus는 대심을 없애고 한 체계를 제시하였다. 그 체계는 대심을 제거했음에도 불구하고 거의 Ptolemy의 체계만큼 많은 원을 포함하고 있었다. Copernicus의 프로그램은 확실히 이론적으로 전진적이었다. 그는 이전에 결코 관찰될 수 없었던 새로운 사실을 예측하였다. 그의 이론은 금성의 위상변화를 예측하였다. 그뿐만 아니라 항성의 연주시차를 예측하였다.

그러나 금성의 상에 대한 예측은 1616년이 되어서야 비로소 용인되었다. 따라서 Copernicus의 체계가 Galileo에 이르기 전에는, 심지어 그 체계가 대단히 전진적이었던 견고한 핵을 가진 Newton의 연구프로그램과 합쳐질 때까지는 완전히 전진적이지 못했다. Copernicus의 체제는 Platon의 전통 안에서 발견법의 전진을 구상할 수도 있었으나, 1616년 이전에는 그 체계의 신용이 될 만한 새로운 사실들을 가지지 못했다(Lakatos, 1999).

첫째, 많은 과학자들은 자신의 설명에 대한 이론적 근거를 가지고 있다: 처음에는 지구중심이론, 나중에는 태양 중심이론과 혼재

둘째, 그 이론적 근거는 부분적으로 제한된 범위를 갖는다는 점에서 비과학적이지만, 과학자들은 자신의 용어를 일관적으로 사용하여 개념을 설명을 한다: 처음의 지구 중심이론에 대한 의심

셋째, 과학자들은 한 이론으로부터 또 다른 이론을 받아들이는 전이 상태에 있을 수 있다: 불완전하지만 다른 이론을 받아들이는 전이 상태가 가능하다.

넷째, 중심이론의 수가 적을수록, 하나의 중심이론을 보호하는 보조가설의 수가 적을수록 설명적 일관성이 높다고 한다: 중심이론은 하나 이상이고, 처음에는 보조가설이 존재하거나 다음에는 존재 않을 수도 있다. 즉 설명적 일관성이 제일 낮은 불안정한 상태

다섯째, 학생들의 설명 틀에서 어떤 현상을 설명하는 중심이론사이에서 보조 가설을 사용하지 않고 서로 설명가능하면 설명적 일관성 정도가 높고, 서로 설명 가능하도록 보조 가설수가 많을수록 설명적 일관성 정도가 낮다: Copernicus는 대심을 없애고 한 체계를 제시하였다. 그 체계는 대심을 제거했음에도 불구하고 거의 Ptolemy의 체계처럼 많은 원을 포함하고 있었으나 실용적인 면에서는 Copernicus의 체계가 아직은 우월하지 않았기 때문에 일관성 정도가 매우 낮다.

우리가 또 다른 것과 경쟁하는 새로운 개념 혹은 믿음을 생산할 때, 두 가지 중 하나를 거절하는 것이 실행가능하게 될 때까지 도출된 비일관성은 유지된다. 우리는 단순히 하나의 가설을 제거하고, 그 가설이 일관적인 하나의 가설로 대체되지 않음에 틀림없다. 새로운 가설이 옛 가설과 경쟁에 들어 갈 때까지 옛 가설을 제거할 어떠한 이유도 없기 때문이다. Ptolemy의 지구중심설은 변칙사항들을 직면할 때에도 일정기간동안 Copernicus의 중심설과 공존하면서 하나의 전형적인 비일관성을 유지해온 잘 알려진 과학이론들 중의 하나의 사례이다.

결과 및 논의

연구 결과

이 연구의 분류기준에서는 달의 위상변화를 설명하는 예비 중등교사의 설명적 체계의 유형은 대안모형과 과도기 모형으로 크게 분류할 수 있는데 대안모형으로 두 가지 유형을 보여주고 있으며, 또한 과도기 모형에도 두 가지 유형으로 분류하였다. 기존의 연구인 오준영과 김유신(2006)의 연구에서와 다르게 달의 위상변화에 대한 대안모형을 다시 2개로 세분화하였다. 그 이유는 Thagard의 설명의 원리를 적용한 결과이다. 전이단계는 기존에는 하나의 유형이 있었으나 이 연구에서는 두 개의 유형으로 분류되었다.

그 까닭은 과도기 모형의 기준을 Thagard의 가설간의 경쟁의 원리로 엄격히 구분하였기 때문이다. 그러한 유형들은 다음과 같다.

달의 위상변화를 설명하는 예비 중등교사의 설명 체계의 유형은?

대안모형의 유형

처음의 비과학적 이론의 ad hoc의 확장형: 중등 예비교사들이 달의 위상변화를 설명하는 과정을 인터뷰를 통해서 가장 빈도가 높은 사항들로 재구성하여 다음과 같이 정리하였다. 질문의 내용은 일관성을 가지고 예비교사 자신이 가지고 있는 대안모형의 핵심 이론을 보호하려고 시도하는가에 주요한 초점을 두었다. 달의 반사면의 가리기 이론을 가진 중등예비교사(정○은, 박○희)의 한 인터뷰이다.

(1단계)

연구자: 달의 모습이 규칙적으로 변하는 이유는?
(why-question)

학생1: 아무래도 무엇인가 가리든지, 그림자가 때문이 아닐까요?

연구자: 가능성이 많은 것은 무엇이지? (whether-question)

학생1: 좋아요, 달의 모양이 변화하기 위해서는 지구가 가릴 수는 없고... 지구의 그림자가 달에 비추어져야 되는 것 아닙니까?

(2단계)

연구자: 그럼 언제나 반사면은 똑같은데 어떻게 그림자를 만들지?

학생1: 예, 달이 지구주위를 공전해서 태양에 의한 지구의 그림자에 들어가 반사되는 면적이 다르기 때문입니다.

(3단계)

연구자: 우리가 보이는 반달의 모양은 중국에서도 같은 모양으로 보이니?

학생1: 달의 모양은 지역마다 다를 것이다. 아마도 ... 그림자가 드리워지는 부분이 지상에서 보는 위치에 따라 다르기 때문입니다.

연구자: 좋아, 너의 생각으로 상현에서 하현까지 위상변화가 생기는 데 보름정도는 걸리는데 이상하지 않니?

학생1: (머뭇거리며)글쎄요.....

연구자: 그러면 달의 공전속도가 조금씩 다르니?

(yes-no question)

학생1: (대단한 생각이듯이) 예! 그럴 수밖에 없고 다른 이유는 생각할 수 없군요.

어떤 질문에 대한 학생들이 자신의 응답을 일관성을 가지고 대안적인 설명을 하는지를 조사하였다. 이러한 네 가지 가능성이 어떻게 표현되는가?

첫째, 많은 학생들은 자신의 설명에 대한 이론적 근거를 가지고 있다: 지구의 그림자에 의한 가리기 이론

둘째, 그 이론적 근거는 부분적으로 제한된 범위를 갖는다는 점에서 비과학적이지만, 학생들은 자신의 용어를 일관적으로 사용하여 개념을 설명을 한다: 상현에서 하현까지의 시간이 너무 짧다. 그러나 달의 타원공전궤도로 설명하려한다.

셋째, 학생들은 한 이론으로부터 또 다른 이론을 받아들이는 전이 상태(a state of transition)에 있을 수 있다: 아직은 다른 이론을 받아들이지 않고 있다.

넷째, 중심이론의 수가 적을수록, 하나의 중심이론을 보호하는 보조가설의 수가 적을수록 설명적 일관성이 높다고 한다.: 중심이론은 하나이나 일종의 ad hoc의 수는 증가하여 설명적 일관성이 낮아진다.

다섯째, 학생들의 설명 틀에서 어떤 현상을 설명하는 중심이론사이에서 보조 가설을 사용하지 않고 서로 설명가능하면 설명적 일관성 정도가 높고, 서로 설명 가능하도록 보조 가설수가 많을수록 설명적 일관성 정도가 낮다.: 아직은 중심이론은 하나이며 경쟁이론이 왜곡되어 ad hoc로 사용 되고 있다.

그러나 일관성을 가진 해석 틀을 가진 학생들은 변칙사항으로 자료들을 반드시 인식하는 것이 아니어서, 자신들의 이해를 반드시 변화시키지는 않는다는 것이다. 특히 학생들은 변칙자료를 자신들의 이해를 지지하는 것으로, 그 자료에 의하여 새로운 공헌자들 혹은 그 자료를 기존 이해의 세부사항으로 통합하여, 자신들의 이해들을 약하게 재구성한다.

갈등상황에서, 가리기의 효과가 잔존함을 알 수 있다. 결국 이 개념도 가리기효과를 나타내서 자신의 이론적 근거를 가지고 있을 뿐만 아니라 새로운 보조가설을 추가해서 변칙상황을 해결하지만 자신 중심이론인 가리기 이론을 가지고 있으며 일정한 반사면을 가지고 있다는 과학적 이론도 왜곡하여 ad hoc로 사용하고 있었다.

처음의 비과학적 이론에 과학적 이론 일부를 추가하는 첨가형: 처음의 비과학적 이론에 비하여 약하지만 과학적 이론을 추가한다. 달의 반사면의 가리기 이론을 가진 중등예비교사(박○영)의 인터뷰이다.

(1단계)

연구자: 달의 모습이 규칙적으로 변하는 이유는?
(why-question)

학생2: 아무래도 다른 천체에 의하여 가리든지, 다른 천체의 그림자가 때문이 아닐까요?

연구자: 그렇다면 그 중에서 가능성이 많은 것은 무엇이지? (whether-question)

학생2: 좋아요, 달은 지구의 위성이니 가깝게 지구를 중심으로 공전하니... 지구의 그림자가 달에 규칙적으로 비추어져야 되는 것 아닙니까?

(2단계)

연구자: 그럼 어떻게 그림자를 만들지?

학생2: 예, 달이 지구주위를 공전해서 태양에 의한 지구의 그림자에 들어가 반사되는 면적이 다르기 때문입니다.

(3단계)

연구자: 우리가 보이는 반달의 모양은 영국에서도 같은 모양으로 보이니?

학생2: 달의 모양은 지역마다 다를 것이다. 아마도...그림자가 드리워지는 부분이 지상에서 보는 위치에 따라 다르기 때문입니다.

연구자: 좋아, 그렇다면 지구의 공전궤도와 달의 공전궤도면이 일치하니?

학생2: (머뭇거리며) 아니죠....., 반드시 일치하지 않지만 가까우니 지구의 그림자도 영향을 주죠.

연구자: 그러면 다른 영향은 우리가 보이는 각도에 따른 태양빛의 반사면도 영향을 주니? (yes-no question)

학생2: (대단한 생각이듯이) 예! 생각나는군요. 지구의 그림자가 주로 영향을 주지만 보이는 각도에 따른 반사면도 영향을 주기 때문이라고 기억이 나는군요.

어떤 질문에 대한 학생들이 자신의 응답을 일관성을 가지고 대안적인 설명을 하는지를 조사하였다. 이러한 네 가지 가능성이 어떻게 표현되는가?

첫째, 많은 학생들은 자신의 설명에 대한 이론적 근거를 가지고 있다: 지구의 그림자에 의한 가리기 이론

둘째, 그 이론적 근거는 부분적으로 제한된 범위를 갖는다는 점에서 비과학적이지만, 학생들은 자신의 용어를 일관적으로 사용하여 개념을 설명을 한다: 지구의 공전 궤도와 달의 공전궤도가 일치하지 않지만 달이 지구에 가깝기 때문에 지구의 그림자에 들어간다.

셋째, 학생들은 한 이론으로부터 또 다른 이론을 받아들이는 전이 상태(a state of transition)에 있을 수 있다: 아직은 다른 이론을 받아들이지 않고 있다.

넷째, 중심이론의 수가 적을수록, 하나의 중심이론을 보호하는 보조가설의 수가 적을수록 설 명적 일관성이 높다고 한다.: 중심이론은 하나이나 볼 수 있는 반사면의 변화를 약하지만 추가하여 설명하려 하니 설명적 일관성이 낮아진다.

다섯째, 학생들의 설명 틀에서 어떤 현상을 설명하는 중심이론사이에서 보조 가설을 사용하지 않고 서로 설명가능하면 설명적 일관성 정도가 높고, 서로 설명 가능하도록 보조 가설수가 많을수록 설명적 일관성 정도가 낮다.: 아직은 중심이론은 하나이며 경쟁이론은 아주 약하게 일부만 수용한다.

갈등상황에서, 가리기의 효과가 잔존함을 알 수 있다. 결국 이 대안 모형도 가리기효과를 나타내서 자신의 이론적 근거를 가지고 있을 뿐만 아니라 새로운 ad hoc을 추가해서 변칙상황을 해결하고 경쟁가설인 반사면의 변화를 왜곡하지 않고 그 일부를 추가해서 사용한다.

과도기(전이 단계) 모형

처음의 비과학적 중심이론의 잠정적 포기형: 처음의 중심이론에 강한 의문을 가진 중등예비교사(오○민, 김○량)의 한 인터뷰이다.

(1단계)

연구자: 우리는 달의 모양이 한 달을 주기로 변화한다고 했는데 그 이유를 가능한 말해보세요.
(why-question)

학생3: 좋아요, 달의 모양이 변화하기 위해서는 무엇인가 가리든지 태양으로부터 받은 빛의 반사부분이 다르게 보이지 않겠어요?

연구자: 너의 지식으로 비추어 볼 때 어떤 이유가 있을까? (whether-question)

학생3: 직접 가리면 가리는 물체도 보이니 안 되고, 지구의 그림자에 의한 반사면의 면적이 다르게 보이겠군요.

(2단계)

연구자: 구체적으로 지구의 모형과 달의 모형, 그리고 달의 모형으로 설명하지?

학생2: 예, 달이 지구주위를 가깝게 공전하기 때문에 지구의 그림자에 들어가 반사되는 면적이 다르기 때문입니다.

(3단계)

연구자: 그럼 그림자가 매월 주기적으로 드리워진다고 생각하니?

학생 3: (좀 더 심각한 듯...) 아니다! 매월 나타나기 위해서는 반사면이 다르게 보이기 때문이라고... 생각나는군요..!

연구자: 그러면 달의 모습의 변화는 다양하니? (yes-no question)

학생 3: (머뭇거리며...) 그렇게 밖에 설명이 안 되는데, 그러나 전에 저는 한달을 주기로 규칙적인 변화는 반사면의 변화로 배운 것 같으나 확실치 않으나 처음생각은 잘 못된 것 같아요. 저....., 사실은 확실하게 설명할 수는 없군요.

개념변화의 중요성은 개념변화 또한 맥락과 관련되어 있다는 것이다. 종종 학습자들은 한 맥락에서 과학적 개념을 받아들일지도 모른다, 그 후, 학생들은 한 맥락에서 다른 맥락까지 과학적 개념과 초기 개념사이에서 흔들릴지도 모른다. 위의 설명은 일관성이 없는 혼란기에 있다고 할 수 있다.

인과적인 질문에 대한 학생들이 자신의 응답을 일관성을 가지고 대안적인 설명을 하는지 네 가지 가능성을 조사하여 다음과 같이 재구성하였다.

첫째, 많은 학생들은 자신의 설명에 대한 이론적 근거를 가지고 있다: 달의 반사면의 변화와 지구의 그림자에 의한 가리기 이론

둘째, 그 이론적 근거는 부분적으로 제한된 범위를 갖는다는 점에서 비과학적이지만, 학생들은 자신의 용어를 일관적으로 사용하여 개념을 설명을 한다: 두 가지 이론을 동시에 가지고 있다.

셋째, 학생들은 한 이론으로부터 또 다른 이론을 받아들이는 전이 상태에 있을 수 있다. 아직은 다른 이론을 받아 들이지 않고 있다: 불완전하지만 다른 이론을 받아들이는 전이 상태에 있다.

넷째, 중심이론의 수가 적을수록, 하나의 중심이론을 보호하는 보조가설의 수가 적을수록 설명적 일관성이 높다고 한다.: 중심이론은 하나 이상이고, 설명

적 일관성이 낮은 불안정한 상태

다섯째, 학생들의 설명 틀에서 어떤 현상을 설명하는 중심이론사이에서 보조 가설을 사용하지 않고 서로 설명가능하면 설명적 일관성 정도가 상대적으로 높고, 서로 설명 가능하기위해서 보조 가설수가 많을수록 설명적 일관성 정도가 낮다.: 두 경쟁하는 이론간에 설명이 불가능하다.

자기 믿음들에 대하여 의심을 가지는 과도기단계를 가진다. 그는 비 일관적인 다중적인 이해 틀을 가지고 있다. 우리는 이러한 단계를 전이단계, 혹은 과도기 단계라고 하였다. 겉으로는 가리기 이론을 포기한 것이 아니라 일시정지 단계이다. 이런 단계는 일관성이 낮으나 새로운 과학적 이론을 소개하는데 좋은 단계라고 주장한다. 과도기 단계 중 처음의 이론에 의심을 가지나 상화에 따라 서론 다른 이론을 사용하는 것은 나타나지 않고 있다. 제한된 인원에 의한 인터뷰이기 때문이다.

과도기(전이 단계) 모형

처음의 비과학적 중심이론과 과학적 이론의 상황 맥락적 사용형: 처음의 중심이론에 의문을 가지지만 과학적 이론과 비과학적 이론을 상황에 따라 다르게 사용하는 중등예비교사(김()식)의 한 인터뷰이다.

(1단계)

연구자: 우리는 달의 모양이 한 달을 주기로 변화한다고 했는데 그 이유를 가능한 말해보세요.

(why-question)

학생4: 좋아요, 태양빛이 비추어서 반사되는 부분이 그렇게 보이든지. 달의 모양이 변화하기 위해서는 달의 반사부분을 가리든지.....

연구자: 너의 추리로 볼 때 어떤 이유가 간단하고 옳을 까? (whether-question)

학생4: 자신은 없지만, 두 가지 이유가 모두 타당한 것 같은데요. 하나만 선택한다면 지구에 의한 달의 모습이 변화 할 것 같아요.

(2단계)

연구자: 거참, 그러면 지구와 달과의 관계로 설명해보세요?

학생4: 예, 태양에 의한 지구의 그림자는 언제나 있겠죠. 그 부분으로 들어가는 것은 당연하죠.

(3단계)

연구자: 그럼 그림자가 매월 주기적으로 드리워진

다고 생각하니?

학생 4: (좀 더 생각에 잠긴듯...) 음... 매번 들어갈 수 없지? ... 중학교 때 들어갈 수 없다고 배웠는데 또한 반사면이 실제 변하는 것이 아니라 우리가 그렇게 보인다고....

연구자: 그러면 달의 모습의 변화는 다양하니? (yes-no question)

학생 4: 제가 생각을 정리해서 말씀드리면, 두 가지 이유가 전부 설명하는 데 사용할 것 같아요. 우리가 볼 수 있는 반사면이 변화할 때도 있고 지구의 그림자도 영향을 주는 것으로 알고 있습니다. 그러나, 그 상황을 잘 정확히 설명하기 어렵군요.

위의 예비교사는 처음에 선택한 자신의 이론에 의문을 가지지만 상황맥락적으로 두 이론을 사용하고 있는 혼란기에 있다고 할 수 있을 뿐만아니라, 두이론 간에는 설명이 잘 안 되는 일관성이 오히려 제일 낮은 단계이다.

인과적인 질문에 대한 학생들이 자신의 응답을 일관성을 가지고 대안적인 설명을 하는지 네 가지 가능성을 조사하여 다음과 같이 재구성하였다.

첫째, 많은 학생들은 자신의 설명에 대한 이론적 근거를 가지고 있다: 달의 반사면의 변화와 지구의 그림자에 의한 가리기 이론

둘째, 그 이론적 근거는 부분적으로 제한된 범위를 갖는다는 점에서 비과학적이지만, 학생들은 자신의 용어를 일관적으로 사용하여 개념을 설명을 한다: 두

가지 이론을 동시에 가지고 있다.

셋째, 학생들은 한 이론으로부터 또 다른 이론을 받아들이는 전이 상태에 있을 수 있다. 아직은 다른 이론을 받아 들이지 않고 있다: 불완전하지만 다른 이론을 받아들이는 전이 상태에 있다.

넷째, 중심이론의 수가 적을수록, 하나의 중심이론을 보호하는 보조가설의 수가 적을수록 설명적 일관성이 높다고 한다.: 중심이론은 하나 이상이고, 설명적 일관성이 아주 낮은 불안정한 상태

다섯째, 학생들의 설명 틀에서 어떤 현상을 설명하는 중심이론사이에서 보조 가설을 사용하지 않고 서로 설명가능하면 설명적 일관성 정도가 상대적으로 높고, 서로 설명 가능하기위해서 보조 가설수가 많을수록 설명적 일관성 정도가 낮다.: 두 경쟁하는 이론 간에 설명이 불가능하다

반면에 과학적 이론을 가지고 있는 예비교사들(박○형, 이○일)은 거의 ad hoc을 사용하지 않고 천문현상들을 설명하고 있기 때문에 일관성이 가장 높은 유형이라고 할 수 있다. 이러한 유형은 우리가 중요하게 생각하는 유형이 아니기 때문에 명시하지 않았다.

Table 2에서 정○은과 박○희 학생은 자신의 중심이론을 보호하기위해서 두 가지의 ad hoc을 사용하였고 우리가 보는 달의 반사면은 언제나 일정하다는 ad hoc을 사용하여 지구의 그림자에 의한 반사면의 변화를 설명하고 있었다. 반면에 박○영 학생은 처음의 중심이론에 경쟁가설인 반사면의 변화를 추가해서

Table 2. The classifications of explanatory models of the lunar phases

모형을 분류하는 기준		중심 가설을 보호하는 ad hoc들				
		중심 가설들	달의 공전에 의한 월식 현상	달의 타원 공전 궤도	반사면의 변화(경쟁하는 가설)	
				ad hoc로 사용	새로운 경쟁가설로 사용	
대안모형	정○은 박○희	지구의 그림자에 의한 가리기	#	#	# (왜곡)	
	박○영	지구의 그림자에 의한 가리기	#	#	# (추가)	
과도기 모형	오○린 김○랑	가리기 이론으로부터 반사면의 변화로 전이	#			# (인터뷰 도중 사용)
	김○식	가리기 이론으로부터 반사면의 변화로 전이	#		#(왜곡)	# (인터뷰 도중 사용)
과학적 모형	박○형 이○일	볼 수 있는 반사면의 변화	태양에 의한 일정한 반사면과 달의 공전이라는 보조가설			# (처음부터 사용)

설명하지만 처음의 이론에는 변화가 없었다. 오○민과 김○랑 학생은 하나의 ad hoc만을 사용한 처음 이론을 가지고 있었으나 인터뷰 도중에 자신의 이론을 의심하면서 새로운 경쟁 가설을 도입함을 보여주었으나 처음 이론과 나중이론과는 설명이 되지 않는 매우 불완전한 단계로 추가적인 조치가 필요하다. 김○식은 가리기 이론을 선택하였으나 반사면이 실제로 변할 가능성을 ad hoc로 사용하고자 하였으나 인터뷰 도중에 보이는 반사면으로 전환하였으나 두 이론을 상황 맥락적으로 사용하고 있었다. # 부호는 중심 가설을 보호하기위해서 ad hoc 혹은 경쟁가설이 표현됨을 의미한다. 또한 (왜곡)이라는 표현은 반사면의 변화라는 과학적 가설을 불완전하게 왜곡 추가하여 ad hoc로 사용함을 의미하며, (추가)라는 표현은 반사면의 변화를 정확하게 표현하나 두 이론이 동시에 나타나기 때문에 단순히 추가라고 하였다. (인터뷰 도중 사용)이라는 표현은 처음에는 비과학적 중심이론인 가리기 이론을 사용하였으나, 인터뷰 도중에 가리기 이론에 강한 의문을 가진 상태에서 새로운 경쟁이론인 반사면의 변화를 수용하려고 한다는 내용이고, (처음부터 사용)이라는 표현은 과학적 이론을 처음부터 사용했다는 것을 의미한다.

그러나 과학적 모형이 사용하는 가설은 그 상황에서만 사용되는 ad가설이 아니라 태양에 의한 일정한 면적의 달의 반사면을 달이 공전하기 때문에 지구에서는 볼 수 있는 반사면의 면적이 다르다는 것은 언제나 적용되는 보완가설이지 ad hoc가설은 아니다.

예비 중등교사들의 정신모형의 일관성 정도의 특징은?

어떤 학생들은 자신들의 이론에 의하여 잘 발달한 설명 틀을 가졌다. 그리하여 학생들은 천문현상에서 자신의 이해를 하는데, 갈등을 일으키는 변칙적인 자료들을 실제적인 문제들로 생각하지 않고 자신의 이해를 정교하는데 약한 재구성을 하였을 뿐이다. 그러나 'ad hoc'의 일종으로 미봉 가설인 보조가설의 수가 늘어나기 때문에 일관성이 낮아지는 약한 재구성을 한다고 할 수 있다. 대부분은 자신의 중심이론에 과학적 지식을 왜곡해서 합성하는 자신 나름대로 일관성을 가지는 합성정신모형이라 할 수 있다.

혼합된 틀을 가지고 있는 학생들은 변칙 사항으로 그 테스트하는 자료를 인식하는데 실패하든지 혹은 일시적으로 이동하였다. 그들은 그러한 자료들을 어

떤 고립된 자료로 볼 수도 있으나, 대부분 자기 믿음들에 대하여 의심을 가지는 과도기단계를 가진다. 그는 일관성이 더 낮은 다중적인 이해 틀을 가지고 있다. 일관성은 일반적인 정신모형보다 낮다고 할 수 있다.

역사적으로 Ptolemy의 지구중심설을 보호하기 위한 ad hoc와 학생들의 설명들에 있어서 한계가 있기 때문에 일관성을 유지하기위해서 ad hoc를 사용한다는 점에서 유사하다.

예비교사들은 자연현상들에 대하여 설명적 일관성이 있는 설명들을 만들기 위해서 자신들의 당면한 환경과 상호작용하면서, 자신의 설명을 정당화하려고 한다. 그 설명은, 학생들이 발달함에 따라 연속적으로 비밀관성을 해결하는 형태를 취한다. 이러한 과정은 과학적인 관점들과 비밀관성이 있는 것처럼 보이지만, 학생들의 관점에서는 내부적으로 일관성이 있을 수 있다는 것을 보여준다는 것이다.

예비교사들이 비과학적 설명만 사용하면서, 수정하지 않고 하나의 이론만 일관성 있게 사용하는 경우이다. 가장 개념변화에 완고한 모형으로 대부분의 학생들이 가지고 있기 때문에 시간이 흐르면 이러한 형태의 정신모형을 가지기 쉽다. 그러나 이러한 설명적 모형은 ad hoc의 수가 증가하기 때문에 일관성 정도는 낮다고 할 수 있다. 역사적으로 쇠퇴하는 과학적 가설들이 이러한 경향을 가지고 있다.

예비교사들이 과학적 설명과 비과학적 설명의 중간에 있는 경우이다. 다소간의 과학적 설명과 중간설명뿐만 아니라 비과학적 설명을 가진 학생들은, 대부분은 비과학적 설명을 처음에는 쓰지만, 동시에 그들의 응답에서 과학적 설명을 편입시키기 시작하는 것 같다. 그들은 하나의 학생들이 하나의 이론으로부터 또 다른 이론으로 전이 상태에 있을 수 있다. 설명에 일관성이 없으나, 오히려 점점 일관성의 방향으로 가는 발전단계로 우리가 중요하게 다루는 단계이다. 역사적으로 태양중심설이 한때는 지구중심설과 공존하는 시기가 있었다는 점이다.

과학교육에서 이러한 과정의 설명적 일관성을 유도함으로써 흔히 가질 수 있는 개념의 혼란을 스스로 느끼도록 해야 한다.

Thagard(1989, 2005)의 설명의 원리와 경쟁의 원리가 어떻게 표현되었는가?

Thagard(1989)에 따르면, 과학에서 이론 변화는 설

명적인 정합성의 하나의 기능이라고 가정하였다. 설명적인 정합성은 일련의 명제들 혹은 가설들이 정합하는 정도이다. 과학적인 지식은 일련의 가설들, 증거들, 그리고 그들과의 관계들로 구성되어있다. 설명적인 정합성은 7개의 원리들로 기초를 이루고 있다. 그 중에서 가장 중요한 원리는 설명(explanation)이다.

설명적 원리(Thagard, 2005)

(a) 하나의 가설은 그것이 설명하는 모든 것과는 정합적이다. 가설이 설명하는 것은 하나의 증거이거나 다른 가설일 수 있다.

(b) 다른 명제들을 다 같이 설명하는 가설들은 서로 정합적이다.

(c) 어떤 것을 설명하기 위해서 가설들을 많이 취할수록 정합성 정도는 낮아진다.

설명적 원리의 (c)부분은 수많은 명제들이 하나의 설명을 하는데 필요하다면, 그 설명하는 명제들의 정합성은 사라진다. 과학자들은 그들의 설명에 무수한 ad hoc 가설들이 요구되는 가설에는 회의적인 경향이 있다. 많은 보조 가설들로 그려지는 설명을 가지는데 잘못된 것은 원칙적으로 없다. 그러나 과학자들은 가설들의 하나의 단일화된 핵을 사용해서 설명하는 이론들을 더 선호한다. 과학적 이론 선택의 가장 적절한 단순성의 관념은 더 적은 특별한 가정들을 만드는 이론들을 선호한다고 하였다(Thagard, 1992). 우리는 설명적 원리를 종합해보면 어떤 현상을 설명하는 중심 가설수가 적을수록, 그 중심가설에 따른 보조 가설의 수(ad hoc 수)가 적을수록 정합성의 정도가 높아진다는 것을 알 수 있다.

예비교사의 대안 모형 중 처음의 중심이론을 보호하기 위한 ad hoc 수를 늘려서 자신의 중심이론을 보호하는 ad hoc 확장형은 오히려 설명 일관성이 낮아진다는 것을 나타내는 것으로 Thagard의 설명적 원리를 잘 보여준다.

또한 상호 경쟁하는 경우에 적용될 수 있는 새로운 원리가 도입된다.

경쟁적 원리(Thagard, 2005)

만약 P와 Q 둘다 하나의 증거(E)를 설명하고, P와 Q가 설명적으로 연결이 되지 않는다면, P와 Q는 서로 비정합적이다.

만약 P와 Q가 E를 오직 상대적으로 적은 다른 가설들의 도움을 받아서 각각 설명한다면, 정합하지는

않지만 비정합 정도는 낮아진다고 할 수 있다. 이것은 설명적 원리(c)와 비교하라.

경쟁적 원리에 따르면, 중심가설 간에는 서로 설명적이지 아니라면 매우 높은 정도로 비정합이지만 상대적으로 적은 보조가설을 도입하여 서로 설명한다면 비정합 정도가 상대적으로 낮아진다. 물론 서로 완전하게 설명이 가능하다면 정합적이다.

예비교사의 과도기 모형 중 처음의 비과학적 중심이론에 의문을 품고 잠정적으로 그러한 중심이론을 포기한 후 새로운 이론을 도입하지만 추가적인 설명을 시도하여 비일관성을 해소하고자 하는 시도가 나타남을 보여주는 것으로 Thagard의 경쟁적 원리를 잘 보여준다.

결론 및 제언

이 연구에서 자연 현상에 대하여 학생 지식의 형성에 영향을 주는 설명적 일관성의 기준을 설정하고 역사적으로 과학적 이론의 형성과 발달 과정의 일화와 중등예비교사의 설명적 일관성이 나타나는 사례들과 비교하였다. 그 결과 다음과 같은 결론을 제시하고자 한다.

첫째, 예비 중등 교사들이 달의 위상변화에 대한 설명을 요구 받을 때 형성되는 설명적 대안 모형의 현대는 비과학적 이론을 보호하기 위해서 ad hoc의 확장형, 경쟁 이론인 과학적 이론의 일부의 추가형, 그리고 처음의 비과학적 이론에 강한 의문을 가지고 있으며 새로운 경쟁 이론의 수용을 고려하는 과도기 모형이 나타나고 있었다. 그러나 처음의 비 과학적 이론에 강한 의문을 가지며 상황에 따라서 둘 다 사용하는 경우는 탐색되지 않았으나 이 논문에서는 가장 낮은 일관성을 가지고 있다고 분류하였다.

둘째, 예비 교사들이 비과학적 설명만 사용하면서, 수정하지 않고 하나의 이론만 일관성 있게 사용하는 경우이다. 가장 개념 변화에 완고한 모형으로 대부분의 학생들이 가지고 있기 때문에 시간이 흐르면 이러한 형태의 정신 모형을 가지기 쉽다. 그러나 이러한 설명적 모형은 ad hoc의 수가 증가하기 때문에 일관성 정도는 낮다고 할 수 있다. 역사적으로 쇠퇴하는 과학적 가설들이 이러한 경향을 가지고 있다.

과학적 모형과는 다르게 학생들의 설명 일관성은 과학적 개념의 논리성을 의미하는 것이 아니라 학생들 나름대로의 일관성을 의미한다. 설명 일관성은 하

나의 중심 이론을 견지하면서 문제를 해결하는 과정에서 기존 개념의 유지 및 방어를 위한 ad hoc을 사용하여 설명하고자 하는 상황에서 나타난다고 할 수 있다. 따라서 학생들이 설명적 대안 모형을 형성하고 발전시킬 때, 우리는 그들 자신의 대안 모형의 구조가 단일화 된 핵과 보조가설의 수가 적은 것을 일관성 정도가 높다는 기준을 설정하였다.

셋째, 예비 교사의 대안 모형 중 처음의 중심 이론을 보호하기위한 ad hoc수를 늘려서 자신의 중심 이론을 보호하는 ad hoc 확장형은 Thagard의 설명의 원리를 잘 보여준다. 예비 교사의 과도기 모형 중 처음의 비과학적 중심 이론에 의문을 품고 잠정적으로 그러한 중심 이론을 포기한후 새로운 이론을 도입하지만 추가적인 설명을 시도하는 Thagard의 경쟁의 원리를 잘 표현한다.

끝으로, 학생들은 자연 현상에 대한 새로운 이해로, 교사가 제시하는 과학적인 천문 현상의 이해가 정확하고, 그럴듯하고, 학생들의 대안 모형보다는 보조가설의 수가 적은 일관성이 있고 포괄성이 있다는 것을 받아들일도록 설득해야 된다. 학생들의 지식체계는 상대적으로 과학적 지식 체계보다는 일관성 정도가 낮아서 안정되지 않기 때문에, 그 체계를 안정시킬 수 있는 새로운 이론이 필요함을 깨닫게 해야 된다.

역사적으로 현재의 과학 이론이 어떻게 현재까지 발전하는 과정을 살펴보면, 과학지식은 천천히 습득될 뿐만 아니라 습득 단계가 있기 때문에, 자연 현상에 대한 예비 중등 교사들의 설명적 일관성을 고려해서 학생들의 설명적 일관성 정도가 매우 낮아서 불안정한 과도기 단계를 반드시 거쳐야 되는 교수 학습 전략을 세우는 것이 필요하다. 연구의 제한점으로는 우리는 제한된 예비 중등 교사들을 대상으로만 적용 사례들이기 때문에, 지속적인 연구에 의하여 보다 발전된 이론적인 설명적 일관성의 준거 틀을 전체 학생들을 대상으로 탐색되어야한다. 또한 Thagard가 제안한 최선의 가설을 선택하기 위해서 설명의 정합성 이론 중 설명의 원리와 경쟁의 원리를 사용하였으나 이론 선택에서 정합성 외에 인과성, 유사성 같은 사항이 있다(이영의, 2000). 이러한 점에서 우리가 설정한 설명적 일관성 기준은 불완전하다는 본질적인 약점이 있다고 본다. 그러한 요인들을 추가해서 좀 더 발달된 설명적 일관성의 기준들의 개발이 필요하다.

참고문헌

- 김영길, 2005, 중학생들의 관성에 대한 개념의 일관성 정도와 인지갈등과의 관계. 한국교육대학교 석사학위 논문, 71 p.
- 오준영, 김유신, 2006, 천문 현상들을 설명하는 예비 초등 교사의 정신모형의 구조: 계절과 달의 위상변화. 한국과학교육학회지, 26, 68-87.
- 이상훈, 박강제, 2002, 철학적 분석 입문. 담론사, 서울, 400 p.
- 이초식, 2000, 귀납논리와 과학철학. 철학과 현실사, 서울, 524 p.
- 정미영, 김경숙, 권재술, 2005, 전구의 밝기에 대한 초등학생들의 사전개념 일관성 정도와 인지갈등 정도와의 관계. 한국초등과학교육학회지, 24, 259-267.
- 정상모, 1997, 과학적 발견의 질문(대화)법적 논리. 대한철학회, 63, 421-446.
- 채동현, 2000, 학생들의 달 위상변화 원인에 대한 변인조사. 한국초등과학교육학회지, 15(1), 45-55.
- 황희숙, 2005, 다시 과학에게 묻는다. 과학철학, 307 p.
- Dai, M.F. and Capie, W., 1990, Misconception about the moon by preservice and teachers in Taiwan. Paper presented at the annual meeting of the National Association for Reacher in Science Teaching, ED 355.
- Driver, R., Gueene, E., and Tiberghien, A., 1985, Some features of children's ideas and their implications for teaching. In Driver, R., Guesne, E., and Tiberghien, A. (eds.), Children's ideas in science. Milton Keynes, Open University Press, 193-201.
- Duschl, R.A., and Gitomer, D.H., 1991, Epistemological perspectives on conceptual change: Implications for educational practice. Journal of research in science teaching, 28, 839-858.
- Gale, S., 1978, A Prolegomenon to an interrogative theory of scientific inquiry. In Hiz, H. (eds.), Questions, Dorderchr, D. Reidel, 329-345.
- Laburu, C.E. and Niaz, M., 2002, A lakatosian framework to analyze situations of cognitive conflict and controversy in students' understanding of heat energy and temperature. Journal of Science Education and Technology, 11 (3), 211-219.
- Lakatos, I., 1999, Why did Copernicus's research programme supersede Ptolemy's? In Worrall, J. and Currie, G. (eds.), The methodology of scientific research programmes: Philosophical papers 1, Cambridge University Press, New York, 168-189.
- Lawson, A.E., 1986, Integrating research on misconception, reasoning patterns and three types of learning cycle. Paper presented at the United Stated State-Japan Seminar on science education, East-West Center.
- Posner, G.J., Strike, K.A., Hewson, P.W., and Gertzog,

- W.A., 1982, Accommodation of a scientific conception: toward a theory of conceptual change. *Science Education*, 66 (2), 211-277.
- Schoon, K.J., 1989, Misconceptions in the earth science, *Dissertional Abstracts International*, 50, 915-A.
- Strike, K.A. and Posner, G.J., 1992, A revisionist theory of conceptual change. In Dushil, R. and Hamilton, R. (eds.), *Philosophy of science, cognitive psychology, and educational theory and practice*. Albany, State University of New York Press, New York, 147-176.
- Tasker, R. and Osborne, R., 1985, Science teaching and science learning, in learning in science, In Osborne, R. and Freybery, P. (eds.), *The implications of childrens' science*. London, 15-27.
- Thagard, P., 1989, Explanatory coherence. *Behavioral and Brain Sciences*, 12, 435-467.
- Thagard, P., 1992, *Conceptual revolutions*. Princeton University Press, 310 p.
- Thagard, P., 2005, Testimony, credibility, and explanatory coherence. *Erkenntnis*, 63, 295-316.
- Vosniadou, S., 2002, Mental models in conceptual development. In Magnani, O.L. and Nersessian, N. (eds.), *Model based reasoning, science, technology, values*. Kluwer Academic Publishers, 353-368.
- Watson, R., Prieto, T., and Dillon, J., 1997, Consistency of students' explanations about combustion. *Science Education*, 81, 425-444.

2006년 8월 28일 접수

2006년 11월 6일 수정원고 접수

2006년 11월 20일 채택