

예비교사들의 지구과학 문제 해결 실패 요인: 달과 행성의 운동을 중심으로

명 전 옥*

서울교육대학교 과학교육과, 137-742 서울시 서초구 서초동 1650

Reasons for Unsuccessful Earth Science Problem Solving of Pre-service Teachers: A Study on the Motions of the Moon and the Planets

Jeonok Myeong*

Department of Science Education, Seoul National University of Education,
Seoul, 137-742, Korea

Abstract: The aim of this study is to explore effective teaching strategies through an investigation of the problem-solving abilities and reasons for the unsuccessful problem solving of pre-service teachers. The participants of the study were 60 pre-service teachers who were expected to teach earth science in elementary school (40) and secondary school (20). The participants had taken a course in astronomy before they took part in the present study. The instruments for the study were a paper-and-pencil test and interviews. The results demonstrated that the pre-service teachers' abilities to solve problems were low. The pre-service teachers of the elementary school were inferior to those of the secondary school in their problem solving abilities. The causes for the unsuccessful problem solving were identified as follows: (1) lack of prerequisite knowledge to understand the motions of the moon and the planets, (2) failure to represent problems based on solution principles, (3) failure to apply the knowledge acquired in one setting to another, different setting, (4) frames of reference the frameworks for everyday life situation and for earth science problem situation, and (5) rote-memorization of facts rather than understanding the cause-and-effect relationships. The above causes for unsuccessful problem solving seemed to be related to the characteristics of novice problem solvers in general and of the tasks about the motions of the moon and the planets. Suggestions are made to enhance pre-service teachers' problem solving abilities based on the result of the study.

Key words: problem solving, earth science, pre-service teachers, science education, teaching strategies, the moon, the solar system, motions of the planets

요 약: 이 연구의 목적은 예비교사들의 달과 행성 운동의 문제 해결 과정에 대한 연구를 통하여 문제 해결 실패 요인을 파악하고 달과 행성의 운동에 대한 효과적 교수전략을 탐색하는 것을 목적으로 한다. 연구 대상은 초등 예비 교사 40명과 중등 예비 교사 20명이었으며 이들은 지구과학의 천문 분야를 한 학기 수강하였다. 검사도구는 지필 검사와 면담이었다. 연구 결과 예비교사들의 문제 해결 정도는 낮았다. 초등 예비교사들의 문제 해결 정도는 중등 과학 예비교사에 비하여 더 낮았다. 문제 해결 실패 요인을 요약하면 다음과 같다. (1) 선행 지식의 부족 (2) 해결 원리에 의한 문제 표상 실패 (3) 배운 지식의 다른 상황(행성에의 일반화 실패) (4) 일상과 문제 해결 상황의 관점에 대한 변별 부족 (5) 인과적 이해 대신 사실적 지식 암기 학습. 이상의 달과 행성의 운동 문제 해결 실패 요인은 일반적 문제 해결 실패자가 가진 특징과 달과 행성의 운동 과제가 갖는 특징의 결합이라고 해석할 수 있다. 이 연구 결과를 바탕으로 달과 행성의 운동 과제의 특징을 고려하여 문제 해결 능력을 높이기 위한 몇 가지 교수 방안이 제시되었다.

주요어: 문제 해결, 지구과학, 예비교사, 과학교육, 교수 전략, 달, 금성, 태양계, 행성의 운동

서 론

달은 태양 및 별과 더불어 학생들의 일상 생활 속에서 접할 수 있는 천체이며, 달 운동은 우리나라 초등학교와 중학교 과학 교과서에서도 취급하고 있는 내용이다. 그럼에도 불구하고 달과 행성의 운동은 지구과학 분야 중에서 학생들이 가장 어려워하는 분야 중의 하나인 듯 하다. 학생들의 달에 관한 이해도를 조사한 많은 연구들(국동식, 1995; 정남식, 1996; 정진우, 1991; 채동현 1996; 채동현·황 정, 1993)은 학생들이 정규 학습 후에도 과학적 이해를 하지 못하고 있음을 보여주고 있다. 그리고 민준규(1991), Vosniadou(1991) 등의 연구에 의하면 성인들도 달의 위상을 제대로 이해하지 못한다.

지금까지의 달에 대한 연구들은 대부분 단일 개념에 대한 연구였다. 그런데 개념은 인지 구조 속에 단독으로 존재하는 것이 아니다. 하나의 지식 체계를 형성하는 개념들은 상호 관련을 맺고 있기 때문에, 학습 목표 개념을 구성하는 개념 중 어느 특정한 단일 개념에 대한 이해가 정확하다고 하더라도, 다른 여러 개념들이나 신념이 잘못 된 경우는 표적 개념 이해에 지장이 있게 된다(김찬중·이조옥, 1996; Diakidoy *et al.*, 1997; Vosniadou and Brewer, 1994). 따라서 단일 개념에 대한 연구는 각 개념에 대한 학생들의 오개념이 무엇인지에 대한 정보는 제공해 줄 수 있으나 이들 간의 관련성에 대한 정보는 제공해 주지 못한다. 예를 들어, Vosniadou와 그의 동료는 학생들이 가진 지구의 모양에 대한 가정과 신념이 밤낮의 주기 변화(day/night cycle) 이해에 결정적인 영향을 미친다는 것을 보여주고 있다(Diakidoy *et al.*, 1997; Vosniadou and Brewer, 1994). 그들은 이 연구 결과를 바탕으로 개념은 여러 다른 개념과 관련을 맺고 있기 때문에 개념 획득을 용이하게 하는 학습 순서가 있다고 주장하고 효과적인 개념 획득 전략을 제시하고 있다. 즉 표적 개념의 교수를 위해서, 표적 개념 보다 위계적으로 아래에 놓인 선행 개념이 무엇인지 분석하여야 하며, 표적 개념 이해에 장애가 되는 선행 오개념과 신념을 교정하여야 한다는 것이다(Diakidoy *et al.*, 1997; Vosniadou and Brewer, 1994). 김찬중·이조옥(1996)도 빛에 대한 개념이 달의 위상 변화 개념 획득에 영향을 미친다는 연구 결과를 제시하면서, “지금까지의 단일 개념 중심의 연구보다 관련 중요 개념을 분석하고 관련 측면을 조

사할 필요가 있다”(p. 20)고 주장하고 있다. 그들은 달의 위상 변화와 관련된 중요 개념으로 위상 작도에 대한 이해를 들었다.

그러나 달과 행성에 관한 문제를 해결하기 위해서는 개념 이해만으로는 부족하다. 지금까지 달과 행성의 운동에 대해서는 (오)개념 연구가 대부분이었는데, 오개념 연구만으로는 학생들의 문제 해결에 대한 깊은 이해에 한계가 있다. 김영채(1995)는 개념 이해는 문제 해결의 일부분임을 주장하고 있고, Feltovich (1981, Gagne *et al.*, 1993에서 재인용)은 의과대학생과 교수의 문제 해결력에 관한 연구를 통해서, 학생들은 지식은 있으나 적절한 때에 적절한 지식을 활용하지 못하여 결국 문제 해결에 실패함을 보여주고 있다.

최근 과학 교육 분야에서도 문제 해결 연구가 활발히 진행되고 있다. 그러나 문제 해결에 대한 대부분의 연구가 물리와 화학 분야에서 이루어지고(권재술·이성왕, 1988; 노태희 외, 1996; 노태희·전경문, 1997; 박학규·권재술, 1991; 신애경·최병순, 2000; 홍미영·박윤배, 1994) 지구과학 분야의 연구가 미흡하다. 달과 행성의 운동에 대한 선행 연구 분석 결과, 개념들간의 연계를 통한 연구, 오개념 뿐만 아니라 문제 해결 실패의 원인 파악에 대한 연구가 필요하다는 것을 알 수 있다.

지금까지 수행된 달에 대한 연구들은 대부분이 학생을 대상으로 하였다(김찬중·이조옥, 1996; 임청환·김학목, 1994; 정남식, 1996; 채동현, 1996). 학생들의 달과 관련된 오개념들이 교사로부터 유래하였다고 응답하는 연구(채동현, 1996), 교사들도 학생들과 유사한 오개념을 가지고 있음을 보여주는 연구(민준규, 1991)가 있는데, 교사나 예비교사를 대상으로 한 본격적인 연구가 필요하다. 이 연구에서는 예비교사를 대상으로 달의 운동에 대한 문제 해결 실패 원인을 파악하여 효과적인 교수 전략을 수립하기 위한 시사점을 얻고자 한다.

연구 문제

예비 교사들의 달과 행성의 운동에 대한 문제 해결 정도와 실패 요인을 이해하기 위한 구체적 연구 문제는 다음과 같다.

- (1) 예비 교사들의 달과 행성의 운동과 관련된 문제 해결 정도는 어느 정도인가?
- (2) 초등 예비 교사와 중등 과학 예비 교사간에 문제 해결 정도에 차이가 있는가?

- (3) 달과 행성의 운동과 관련된 문제 해결에 필요한 지식 중 예비교사에게 결핍된 지식은 무엇인가?
- (4) 예비교사들은 달과 행성의 운동과 관련된 문제를 문제 해결에 필요한 원리 위주로 표상하고 있는가?
- (5) 예비교사들은 일상과 지구과학 문제 상황의 관점에 대한 변별이 충분한가?
- (6) 특정 대상(상황)에서 배운 지식을 다른 대상(상황)에 일반화하고 있는가?
- (7) 기타 달과 행성 운동 관련 문제 해결 장애 요소는 무엇인가?

용어 정의

이 연구에서 사용되는 용어의 정의는 다음과 같다. 문제 해결(problem solving): 문제해결에 대한 정의는 다양하다. 박학규·권재술(1991)은 ‘주어진 초기 문제 상황에 관련이 있는 사실, 원리, 개념 등의 지식을 생각해내고 활용하여, 그들 상호간의 관계를 맺어주고 조직화함으로써 목표상태에 이르는 일련의 체계적인 사고과정’이라고 정의하였다. Gagne는 ‘목표가 있고, 그 목표에 도달할 수단을 아직 찾지 못했을 때를 문제(problem)가 있다’고 하며(Gagne, 1985, p. 138), 문제 상황이란 목표가 있고, 적어도 잠깐동안이라도, 그 목표에 도달 할 수 있는 분명한 방법이 없을 경우를 말한다. 이 연구에서는 “문제 해결이란 문제와 관련된 개념과 원리 및 개념 원리의 적용 방법을 생각해내고 재구성하여 목표 상태에 도달하는 과정”이라고 정의한다. 일반화(generalization): 일반화는 특정 규칙이나 절차가 적용되는 범위를 확대하는 것 혹은 서로 다른 자극이나 상황에 유사하게 반응하는 것이다. 변별(discrimination): 변별은 특정 규칙이나 절차가 적용되는 범위를 제한하는 것을 말하는데, 일반화의 한계를 결정한다고 볼 수 있다. 신념: 신념은 한 개인이 사실이라고 믿는 정보이다. 그 정보는 사실일 수도 있고 아닐 수도 있다.

이론적 배경

본 연구의 이론적 배경은 문제 해결의 이론과 달과 행성 개념 이해에 관한 이론, 그리고 문제 해결 연구방법론 등에서 찾을 수 있다.

문제 해결 이론

최근 교육학계와 인지심리학계에서는 문제 해결의

중요성이 인식되면서 이 분야의 연구가 활발히 진행되고 있다. 문제 해결은 과학교육에서도 중요한 목표 중의 하나이다.

문제 해결 과정은 문제 표상, 관련 지식의 활성화, 문제 상황의 지식의 적용, 해답에 대한 평가의 절차를 따른다고 한다(Gagne, 1985). 이들 네 단계에 대해 간단히 살펴보자.

첫째, 문제의 표상. 문제의 표상이란 문제를 해결하기 위한 초기 단계로서 문제 해결자가 문제를 읽고 자기 나름대로 이해한 뒤 ‘문제 상황과 자신의 지식 또는 경험과 관련’을 맺는 것이다. 문제의 표상이 다르면 문제 해결을 위한 접근방법이 달라지기 때문에 문제의 표상은 문제 해결에 매우 중요하다. 문제의 표상에 대한 한 연구법으로는 문제를 분류하도록 요구하는 것이다. 문제 해결 전문가를 문제를 심층적, 원리 위주로 표상하며 초보자는 지각적, 피상적 속성으로 표상한다. 따라서 전문가들은 문제 해결에 필요한 원리 위주로 문제를 분류하지만 실패자들은 시각적이고 피상적인 속성으로 분류한다(Chi et al., 1981; Hardiman et al., 1993).

문제의 표상에 대한 이러한 전문가와 초보자의 차이는 선행 지식에 기인한다. 문제 해결 성공자들은 그 분야의 충분한 선행지식을 가지고 있으나 실패자들은 선행지식이 부족하다(Okey and Gagne, 1970; Gagne et al., 1993, 노태희 외, 1996).

둘째, 관련 지식의 활성화. 문제 해결에 성공하기 위해서는 선언적 지식(declarative knowledge)을 보유하고 있어야 할 뿐만 아니라 이 지식을 적용하는 조건을 이해하고 적용할 줄 알아야한다. 이 때 지식의 적용 조건을 이는 것을 유형 재인(pattern-recognition)이라고 하고 실지로 적용하는 것을 행위 연속(action-sequence)이라고 한다.

유형 재인은 일반화와 변별을 통하여 학습할 수 있다. 용어의 정의에서 이미 밝혔듯이, 일반화는 개념이나 규칙이 적용되는 범위를 확대하는 것이고 변별은 적용 범위를 제한하는 것이다. 학생들은 자신이 알고 있는 지식을 충분히 일반화하지 못하여 문제 해결에 실패한다. 학생들이 문제 해결에 필요한 지식을 보유하고 있으면서도 개념이나 규칙을 배울 당시의 맥락(상황, 대상)과 다른 맥락에서는 자신들의 지식을 활용하지 못하는 맥락 구속적인 즉, 불활성 상태의 지식을 보유하고 있을 수 있다.

셋째, 문제 상황의 지식의 적용. 유형 재인이 지

식의 적용 조건을 아는 것이라면, 행위 연속은 실지로 적용하는 것이라고 위에서 언급하였다. 유형 재인과 행위 연속은 절차적 지식(procedural knowledge)에 해당한다. 전문가들은 문제 해결에 필요한 선행 지식을 보유하고 있으며, 그들의 선언적 지식과 절차적 지식은 인지 구조상 밀접하게 조직되어 있다고 한다(Gagne et al., 1993).

넷째, 해답에 대한 평가의 절차. 문제 해결은 목표 상태에 도달하는 것이므로, 틀린 해답을 얻는 경우에는 진정한 해결이라고 할 수 없다. 따라서 해답에 대한 평가를 하고, 정답을 얻지 못한 이유를 문제 해결 과정의 재검토에서 찾아보는 노력을 통해서 정답에 도달하게 된다. 이와 같은 평가의 절차를 객관적으로 연구하는 방법에는 발성사고법(think aloud)이 대표적인 방법이다.

달과 행성의 개념 이해

서론에서도 소개를 하였지만, 학생들은 달과 행성의 운동에 대한 개념 이해에 어려움을 겪고 있다. 어려움을 겪는 이유 중의 하나는 이 분야의 학습 과정이 갖는 특징 때문이다. 달과 행성의 운동에서는 다양한 관점과 기준점이 사용되고 있으므로 달과 행성의 운동 문제 해결을 위해서는 과학자들이 사용하는 다양한 관점과 기준점에 대한 이해와 함께 이의 적용 조건에 대한 충분한 변별이 요구된다. 학생들이 어려움을 겪는 부분이 바로 이런 이해와 변별이다.

학생들이 어려움을 겪는 또 하나의 이유는 천체의 상대적 운동에 대한 평면적 이해에서 찾을 수 있다. 달과 행성의 경우 천체의 상대적 운동은 우리 눈에 다양한 현상으로 관찰된다. 이런 다양한 현상을 이해하기 위해서는 원인이 되는 천체의 변화를 인과 관계로 이해할 수 있어야 한다. 그런데 학생들은 그 현상을 직접 경험 할 수 없고 2차원 그림이나 3차원 모형 등 소규모의 간접적인 경험을 통하여 배운다. 천체 운동을 제대로 이해하기 위해서는 공간지각능력이 필요한데, 이런 능력이 부족한 많은 학생들이 인과관계 이해에 어려움을 겪게 되는 것이다.

단편적 지식의 집합보다도 인과관계를 설명할 수 있는 원리의 이해가 문제 해결에 필요하다. Gagne et al.(1993)에 따르면, 전문가와 초보자가 모두 기술적 개념에서는 비슷한 정도의 이해를 하고 있으나 인과관계 원리의 개념은 전문가가 더 잘 이해한다.

문제 해결 연구방법론

지금까지의 지구과학 오개념 혹은 문제 해결 연구들은 대부분 선다형 문항 형태를 이용하여 지식의 양을 연구하였다. 그러나 최근 인지심리학에서는 지식의 양의 증가뿐만 아니라 구조의 변화와 지식 사용의 효율성이 증가하였을 때 성공적 학습이 이루어졌다고 본다(Royer et al., 1993, p. 202). 그에 따라 평가 또한 과제 해결(성취)양 뿐만 아니라 해결 방법과 사고과정에 대한 이해와 통찰을 할 수 있는 방법이 요구된다. 이를 위해 반응시간, 시각 고정, 구두보고, 분류, 자유 연상 등 다양한 종류의 자료를 이용한다. 구두 보고로는 문제 해결 과정 중, 머리에 떠오르는 생각을 소리내어 표현하는 발성사고법과 회상보고법이 활용되고 있다(Gagne et al., 1993; Hardiman et al., 1989; Pestel, 1993; Royer et al., 1993).

본 연구는 이와 같은 이론적 배경을 가지고, 예비교사들의 달과 행성 문제에 대한 해결 능력, 실패의 원인 등을 조사하고자 한다.

연구 방법

연구 대상 및 시기

본 연구의 대상은 총 60명으로, 지구과학을 수강하는 수도권 소재 모 사범대학생(과학교육과) 20명(남 7, 여 13)과 교육대학생 40명(남 17, 여 23)이었다.

이들 예비교사들은 모두 그 전 학기에도 지구과학을 필수로서 수강하였다. 기 수강한 지구과학 강좌의 내용은 주로 천문학이었다. 사범대학생들은 본 연구가 수행된 지구과학 과목도 필수 과목의 하나로 수강하였고, 교육대학생들은 선택과목으로 수강하였다.

자료 수집은 1999년 봄 학기와 2000년 봄 학기에 이루어졌는데, 사범대학생들의 자료는 1999년 봄 학기 수집하였고, 교육대학생들은 1999년과 2000년에 각각 20명씩 자료를 수집하였다.

연구 도구

연구에 사용된 도구는 지필 검사와 면담이었다.

지필 검사

지필 검사는 총 32문항이었다. 그러나, 본 연구에 직접 관련이 있는 문항은 13문항이므로, 이들을 분석의 대상으로 삼았고, 나머지 문항은 본 연구 대상 문항의 응답에 대한 해석 시에 참고자료로 이용하였다.

Table 1. Categories and numbers of problems for the written test.

문항 영역	문항수
I. 문제의 분류	4*
지구의 자전	
달(금성)의 공전	
II. 문제 해결	
달(위상, 시각, 방향)	2
금성(위상, 시각, 방향)	2
III. 선행 지식	
지구의 자전(방향과 주기)	2
달의 공전(방향과 주기)	2
우리 눈에 보이는 달 모양 (작도 및 언어적 기술)	2
달이 뜨고 지는 이유	1
달 공전 결과 생기는 현상	1
달 위상 변화의 원인	1

* “문제의 분류”를 묻는 문항은 그 아래의 “문제 해결”에 사용된 문항과 중복된다. 즉, “문제 해결”을 하기 전에, 그 문제를 분류하게 하였다.

분석의 대상이 된 문항들은, 문제의 분류, 문제해결, 문제해결에 필요한 선행지식을 알아보는 문항들이었다. 각 영역별 문항 수는 Table 1과 같다.

지필 검사 도구는 연구자가 개발하였는데, 개발절차는 다음과 같다.

- (1) 이론적 연구와 예비조사 결과를 기초로 문항 개발
- (2) 전문가에 의한 1차 타당도 검사
- (3) 연구 대상으로부터의 문제 이해도 확인
- (4) 문항의 수정
- (5) 타당도 확인: 교사로서 인지심리학을 수강한 지구과학교육 전공 대학원생 3명과, 천문전공 교수 2명에 의한 안면 타당도 확인

수학과 과학 문제 해결에 정성적인 어림과 정량적인 계산이 둘 다 중요하지만(Rief and Larkin, 1991), 본 연구에서는 어림으로 답을 하도록 요구하였다. 어림은 문제를 정성적으로 이해하고 문제 해결 방향을 잡는데, 또 문제 해결 후 답을 간단히 확인하는데 유용하다.

지필 검사 중에서 문제 해결 영역을 답할 때는 떠오르는 생각을 차례대로 적거나 그림으로 그려 문제 해결 과정을 가능한 한 상세히 적도록 요구하였다.

면담

면담은 지필 검사 도중과 지필 검사 이후에 행해졌다. 면담의 목적은 별개의 정보 수집이 아니라, 지

필 검사 응답을 확인하고 보완하기 위함이었다. 따라서 모든 예비교사를 면담한 것은 아니다(30명 면담).

면담은 지필 검사 도중에는, 연구자가 교실 안을 순회하면서 문제 해결 과정의 묘사가 불충분한 응답자들에게 설명하게 하거나, 다시 문제를 해결하게 하고 발생사고법을 이용하여 해결하는 과정을 관찰, 기록하였다. 지필 검사 후 면담은 응답이 애매한 경우에 실시하였는데, 해당 학생을 개별적으로 접촉하여 설명을 요구하고, 발생사고법으로 추가적인 문제 해결을 하게 하여 참고자료로 이용하였다.

자료 분석 방법

자료는 일차적으로 지필 검사의 응답과, 문제 해결 과정을 기술한 것이므로, 응답을 채점하여 각 집단별 정답률을 계산하였고, 문제 해결 과정 유형을 분류하는 작업을 하였다. 문제 해결 과정의 분류는 문제 해결 실패의 원인을 주안점으로 하여 분류하였다.

연구 결과 및 논의

이 장에서는 예비 교사들의 정답률에 대하여 먼저 살펴본 뒤 문제 해결 실패 원인을 살펴본다.

정답률

정답률 계산에서는 문제 해결과정이 틀렸더라도 답이 정답이면 정답으로 계산하였다. 예비교사들의 달과 금성 문제에 대한 정답률은 대체로 낮았다. 달과 금성의 대략적인 모양, 관찰 가능한 시각, 그 때의 방향을 각각 따로 분리하여 살펴본 정답률은 Table 2와 같다. 달 문제의 경우 전체 예비교사 중 28명(46%)이 위상을 바르게 답하였고, 20명(33%)이 관찰 가능한 시각을, 19명(32%)이 방향을 바르게 답하였

Table 2. Numbers (percentage) of correct responses.

문제	정답률	초등 예비 교사 n=40	중등 예비 교사 n=20	전체 N=60
		정답자수(%)	정답자수(%)	정답자수(%)
달 모양	시각	16(40)	12(60)	28(46)
	방향	10(25)	10(50)	20(33)
	모양	10(25)	9(45)	19(32)
	모양방향시각	4(10)	7(35)	11(18)
금성 모양	시각	19(48)	10(50)	29(48)
	방향	22(55)	11(55)	33(55)
	모양	15(38)	11(55)	26(43)
	모양방향시각	6(15)	6(30)	12(20)

다. 모양, 시각, 방향 모두에서 초등 예비교사들이 정답률이 중등 예비교사보다 더 낮았다. 달의 위상과 시각과 그 때의 방향을 모두 바르게 답한 응답자는 초등 예비 교사 4명(10%), 중등 예비 과학 교사 7명(35%)으로서 전체 예비교사의 18%(11명)이었다. 이 경우에도 초등 예비교사들의 정답률은 중등 예비교사보다 낮았다.

금성 문제의 경우는 전체 예비교사 중 29명(48%)이 위상을, 33명(55%)이 관찰 가능한 시각을, 26명(43%)이 방향에 대하여 바르게 답하였다. 금성 문제의 경우 방향은 초등 예비교사들의 정답률이 중등 예비교사보다 낮지만, 모양과 시각에 대한 정답률은 비슷하였다.

금성의 위상과 시각과 그 때의 방향을 모두 바르게 답한 응답자는 초등 예비 교사 6명(15%), 중등 예비 과학 교사 6명(30%)으로서 전체 예비교사의 20%(12명)이었다. 이 경우에도 초등 예비교사들의 문제 해결 정도는 중등 예비교사 보다 낮았다.

문제 해결 실패 원인

많은 예비교사들이 문제 해결에 실패하였다. 문제 해결 실패 원인으로는 부족한 선행 지식, 문제 표상 실패, 변별의 실패, 일반화 부족, 설명 원리 이해 대신 단순 결과 암기 순으로 살펴보기로 한다.

선행 지식 부족

예비교사들의 문제 해결 실패 요인을 이해하기 위하여 선행 지식의 보유 정도를 살펴보기로 한다. 본 연구에서는 문제 해결에 필요한 기본 선행 지식으로 지구 자전의 주기와 방향, 달의 공전 주기와 방향, 우리 눈에 보이는 달 모양에 대한 이해도와 작도를 살펴보았다. 이들 기본이 되는 선행 지식의 보유 정도에 대한 응답 결과는 Table 3에 제시되어 있다. 지구 자전과 관련하여 주기는 57(95%)명이, 방향은 45명(75%)이 바르게 답하였다. 달의 경우 공전 주기는 49명(82%)이, 공전 방향은 41(68%)명이 바르게 답하였다.

Table 2에서 보면, 달의 관찰 시각(33%)과 방향(32%)의 정답률에 비하여 달 모양에 대한 정답률(46%)이 높다. 하지만 달 모양에 대하여 바른 이해를 하고 응답한 예비교사는 매우 적었다. ‘지구를 향한 부분’, ‘지구를 향한 부분의 반대’, ‘태양을 향한 부분(illuminated portiom)’, ‘태양을 향한 부분의 반대’라는

Table 3. Numbers (percentage) of correct responses to prerequisite knowledge problems.

문제	정답률	초등 예비 교사	중등 예비 교사	전체
		n=40 정답자수(%)	n=20 정답자수(%)	N=60 정답자수(%)
지구 자전	주기	38(95)	19(95)	57(95)
	방향	30(75)	15(75)	45(75)
	달뿔	20(50)	15(75)	35(58)
달공전	주기	34(85)	15(75)	49(82)
	방향	26(65)	15(75)	41(68)
	위상원인	21(53)	11(55)	32(53)
	결과	19(48)	16(80)	35(58)

네 가지 보기를 이용하여 우리 눈에 보이는 달 모양을 답하게 하였을 때 정답률은 28%(17명)이었지만, 이 17명 가운데 이차원 평면상의 그림으로 태양을 향한 부분과 지구를 향한 부분의 공통부분을 달 모양이라고 바르게 그린 예비교사는 단 1명(2%)뿐이었다. 나머지 예비교사들은 달 위상에 대한 정확한 이해 없이 과거에 외웠던 달 모양을 회상하여 답하였다.

달 모양에 대한 이해 부족은 과거에 위상 작도법을 학습하지 않았기 때문인 것으로 나타났다. 30명의 면담 결과, 달 모양에 대한 작도법을 배우지 않았다는 응답자가 12명(40%), 무 응답 혹은 배운 것 같지 않다는 응답자가 12명(40%), 기억이 안 난다는 응답자가 3명(10%), 배운 것 같다는 응답자는 3명(10%)이었다. 앞으로 2차원 평면상의 그림과 3차원 공간상의 모형을 이용한 달 위상 작도를 학습시킬 필요가 있다.

문제의 표상 실패

상당수의 예비교사들은 문제와 관련된 지식을 가지고 있지만 문제가 자신이 가지고 있는 지식과 관련이 있다는 사실을 알지 못하였다. 문제의 표상과 일반화에 대한 이해를 하기 위하여 연구 대상을 선행 지식의 보유, 문제 표상(여기서는 분류 성공), 문제 해결 성공 여부에 따라 구분하면 8유형이 된다(Table 4). 여기서는 선행지식은 선행 지식 중 기본이 되는 지구 자전 주기와 방향, 달의 공전 주기와 방향을 말한다. 전체 예비교사 중 12명(20%)이 기본 선행지식을 알고 있지만 문제가 자신이 아는 지식과 관련이 된다는 것을 알지 못하여 문제 분류에 실패하였다(유형 E).

이것은 물리 문제 해결의 경우와 비슷하다. 물리의 경우 문제 해결 성공자들은 문제를 심층적으로 이해

Table 4. Numbers of subjects in different types (N=60).

응답자 유형	선행지식		표상 (분류)	문제		유형별 대상자 수	
	지구	달		금성	달	시각	방향
성공 집단						(17)	(13)
A. 달과 금성	+	+	+	+	+	7	7
B. 금성	+	+	+	+	-	7	4
C. 달	+	+	+	-	+	3	2
실패 집단 (선행지식 보유)						(43)	(47)
D. 보유유형 1	+	+	+	-	-	6	10
E. 보유유형 2 (선행지식 결핍)	+	+	-	-	-	12	12
F. 결핍유형 1	+	-	-	-	-	11	11
G. 결핍유형 2	-	+	-	-	-	4	4
H. 결핍유형 3	-	-	-	-	-	10	10

+ : 문제 해결 혹은 해당 지식 보유, - : 문제 해결 실패 혹은 해당 지식 결핍.

하고 문제 해결에 필요한 원리별로 문제를 분류하였으나 실패자들은 문제를 시각적 피상적으로 이해하고 원리별로 문제를 분류하지 못하였다(Chi *et al.*, 1981). 이는 지식의 양뿐만 아니라 지식의 조직화도 문제 해결에 중요한 요소로 작용하기 때문이다. 문제 해결 성공자들의 경우 선언적 지식과 이를 적용하는 조건이 함께 인지구조 가까이 잘 조직되어 있어서(Gagne *et al.*, 1993), 필요한 경우 선언적 지식과 이의 적용 조건과 방법에 대한 절차적 지식이 함께 활성화 될 수 있기 때문이다.

일반화의 실패

문제 해결을 위해서는 이미 배운 지식을 적용하는 조건을 알고 새로운 다양한 문제 상황에 이를 적용할 수 있어야한다. 즉 일반화시킬 수 있어야한다. 문제 분류 성공자는 선행지식(지구 자전 및 달 공전)을 정확하게 알고 있을 뿐만 아니라 문제(위상, 시각, 방향)가 자신이 아는 선행 지식과 관련이 있다고 바르게 분류한 예비교사를 말한다. 전체 예비교사 중 23명(유형 A에서 D까지 포함)이 문제 표상 성공자에 속한다. 선행 지식을 보유하고 문제 표상에 성공한 예비교사 가운데 시각의 경우는 10명(17%)이 일반화에 실패하였고, 방향의 경우는 6명(10%)이 실패하였다. Table 4에서 보듯이, 7명의 예비교사가 금성의 시각은 해결하였으나 달 시각을 해결하지 못하였고(유형B), 3명이 달의 시각은 해결하였으나 금성의 시각은 해결하지 못하였다(유형 C).

방향의 경우 4명의 예비교사가 금성 문제는 해결하였으나 달 문제는 해결하지 못하였고(유형B), 2명이 달 문제는 해결하였으나 금성 문제는 해결하지 못

하였다(유형 C). 그들은 알고 있는 지식을 다른 상황에 적용하는데 실패하였다. 이 결과는 정남식(1995)의 연구 결과와도 상통하는데, 그는 고등학생들이 달에 대한 지식을 금성에 적용하지 못하는 것 같다고 하고 있다.

한가지 주목할 것은 금성의 시각과 방향에 관한 문제 해결자가 달 문제 해결자 보다 더 많다는 점이다. 이것은 예비교사들이 고등학교 시절에 금성에 대하여 학습하였으므로 금성 문제에는 지식을 적용하였으나 그 이전에 배운 달에는 적용하지 못하는 것으로 해석할 수 있다. 즉 일반화에 실패한 것이다.

이 결과가 과학 교육에 주는 시사점은 원리에 대한 학습 후 학습한 원리가 적용될 수 있는 다양한 상황을 제시하여 일반화를 할 기회를 주어야 한다는 것이다. 예를 들면, 금성의 관측가능한 시각과 방향에 대해 교수한 후 금성 문제만 해결할 기회를 제공할 것이 아니라 달 문제도 함께 혼합하여 제시하면, 원리나 규칙의 적용 조건에 대한 일반화가 촉진될 수 있다.

기준점과 관점에 대한 변별 부족

문제 해결 과정에서 예비교사들은 달의 공전 방향과 지구의 자전 방향에 대하여 ‘서에서 동으로’ 혹은 ‘동에서 서’라는 언어적인 표현을 그림으로 나타내는데 어려움을 겪고 있었다. 발생사고법을 통한 응답 원안의 일부를 소개하면 아래와 같다.

초등 예비교사 P2:

“달의 공전 방향을 서에서 동으로 배웠는데 그림으로 그리려니까 헷갈려서 ... 모르겠다.”

초등 예비교사 P4:

“방향? 옛날에 배울 때도 매번 헷갈렸다. 동에서 서로 자전하는 것 아닌가? 그림으로 화살표로 나타내면? ... 그림으로는 모르겠다. 자전과 공전 방향이 모두 같은 방향인 것은 아는데 ...”

방향의 표현에 대한 혼동은 지구과학에서 사용하는 다양한 관점에 대한 충분한 이해가 부족한 때문이다. 예비 교사들은 달과 행성의 문제 해결 시에 일상 생활에서의 기준점과 관점을 그대로 이용하였다. 일상 생활에서 북쪽을 향하였을 때 사용한 방향에 대한 신념 즉, 오른쪽이 동쪽이라는 신념이 달과 행성의 운동 문제 해결에 장애 요인으로 작용하고 있었다.

문제 해결에 장애가 되는 방향과 관련된 신념은 두 범주로 나눌 수 있는데, 첫 번째 범주는 자전하는 지구상의 관찰자를 중심으로 관찰자의 오른쪽을 동쪽, 왼쪽을 서쪽이라고 인식하는 것이고 두 번째는 그림의 위쪽을 북쪽이라고 인식하는 것이다. 전체 예비교사의 12%(7명)가 첫 번째 범주의 방향에 해당하는 ...서←관찰자→동”의 그림을 그렸다. 방향에 대한 그림을 그리는 동안의 사고과정을 ‘발성사고법’에 의한 응답 원안을 통하여 살펴보면 다음과 같다.

초등 예비교사 P8:

왼쪽이 서, 오른쪽이 동, 음 ... [지구에 지평선을 긋고 지구와 금성을 연결한 후] 금성이 있는 쪽으로 선을 그을 때 지구상에 사람을 세워보면 (금성이) 사람의 왼쪽에 있다. (사람의) 왼쪽이면 무조건 서쪽 ...

중등 예비교사 SP4:

음력 4일 초승달이고 왼쪽이 서, 내가 바라보는 쪽이 북, 오른쪽이 동, 초승달은 내 오른쪽에 보이니까 동쪽에 ...

중등 예비 과학교사 SP8:

음 ... 방향을 어디에 뒤야 하나 ... 지구가 왼쪽으로 도나? 오른쪽으로 도나? 해가 동에서 서로 움직이니까 ... 서쪽에서 동쪽? 음 ... 그런데 어떻게 돌리지? ... 자전하여 돌면 지평선이 이렇게 되고 ... 오른쪽이 동쪽, 왼쪽이 서쪽이니까 ...

또 두 번째 범주는 일상의 지도를 읽듯이 그림상의 위쪽을 북쪽, 오른쪽을 동쪽, 왼쪽을 서쪽이라고 인식하는 것이었다. 전체 예비교사의 15%(9명)가 이 범주에 속한다. 다음은 중등 예비교사 SP21이 금성

의 관측 가능한 시각과 방향에 답하는 동안 ‘발성사고법’에 의한 사고 과정을 표현한 것이다.

“지구에서 태양으로 선을 그어보면 태양은[그림에서] 위쪽이니까 북쪽이고 금성은 약간 오른쪽 위에 있으니까 북동쪽, 음 ... 또 시간은 ... 태양이 12시 ... 지구에서 다시 태양에 그은 선에 수직으로 선을 그으면 ... 가만히 있자 24를 나누어보면 ... 동쪽 방향이 6시, 그래 그러니까 다시 지구에서 금성을 쳐다보면 북동쪽에 오후 2시에서 3시 사이에 보인다.”

중등 예비교사 SP21의 경우는 그림에서 태양의 방향을 12시로 정한 뒤 태양과 천체와의 각도만으로서 특정한 천체가 보이는 시각을 정하였다. 태양의 오른쪽 30도 방향에 금성이 있으므로 2시에 관측 가능하다고 생각하고 있었다.

이러한 혼동을 피하기 위해서는, 천체의 운동 방향에 대한 교수 시에 어릴 때부터 사용하고 있는 일상의 기준점 및 관점과 문제상황의 기준점 및 관점을 변별하는 기회를 제공할 필요가 있다. 이론상이 아니라, 실제로 연습할 수 있는 기회를 제공하여야 할 것이다.

인과 관계의 원리 이해 부족

앞의 선행 지식에서 언급하였듯이 상당수의 예비교사가 인과 관계에 대한 이해를 하지 못하였다(Table 3). 지구 자전의 방향과 주기의 정답(각각 75%, 95%)에 비하여 지구 자전 결과 달이 뜨고 진다는 현상에 대한 정답률은 상대적으로 낮았다(58%). 달의 경우도 공전 주기(82%)와 공전 방향(68%)에 비하여 달 공전 결과 생기는 현상에 대한 정답률은 낮았다. “달 공전의 결과 달 위상 변화가 생긴다”고 답한 응답자는 32명(53%), “우리가 보는 달 모양이 다양한 이유”가 달 공전 때문이라고 답한 응답자는 35명(58%)이었다.

응답자들은 문제 해결과정에서 자신이 알고 있는 원리를 적용하는 대신 결과인 답만 기억해내려고 하였다. 달의 공전 방향과 주기를 알고 있고 달의 위상 변화가 달의 공전 때문에 일어난다는 것을 알고 있는 예비교사들도 달 위상 문제 해결 시에 달 공전 궤도를 그려 그 결과에 의해 답을 하지 않고 과거에 외웠던 달 모양(혹은 위상 순서)을 기억하여 답하였다. 이들이 기억하고 있는 그림은 Fig. 1과 같이 세 종류이다. 그 중 b유형은 위상의 순서를 잘 못 기억

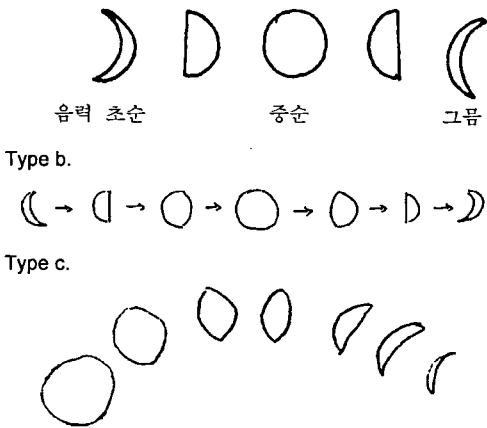


Fig. 1. Pre-service teachers' drawings of the phases change of the Moon.

한 결과이고, c유형은 다른 날 같은 시각에 관찰한 위상을 같은 날 위상이 다양하게 변하는 것으로 잘못 이해한 결과이다.

이들은 또 외운 답이 정확하게 기억나지 않는 것에 대하여 실망하였다. 여러 개의 달 모양을 그린 답지를 보면서 연구자가 “밤하늘에 보이는 달 모양이 다양하네요. 음력 4일의 달은 어느 것인가요?”라는 질문을 하자 P21은 다음과 같이 답하였다.

“[음력 4일] 하루의 달 모양 이렇게 다양하게 변하지 않나요? 어디 책에서 이렇게 본 것 같은데... 예, 맞아요. 동쪽에서 서쪽으로 방향이 달라짐에 따라 달 모양이 달라져요. 서쪽에 보일 때는 오른쪽 눈썹 모양이 보이는데 ... 보는 방향이 달라짐에 따라 ... 시간이 달라지고 ... 모양도 ...”

“과거에 지구과학을 좋아했었고 대학 시험에서 지구과학의 점수도 좋았었는데... 답이 기억이 안나요 ... 전혀 ... 그 때는 다 맞았었는데 ... 제 자신이 실망스럽고 화도 나요”

이들은 문제 해결과 관련된 원리보다는 위의 그림과 같은 사실만 기억하여 활용하기 때문에 문제 해결이 어렵고 쉽게 망각한다는 것을 인정하고 있었다. 문제 해결 실패에 대한 설명은 다음과 같다.

초등 예비교사 P1:

“시험 볼 때 원리 이해 없이 결과(모양)만 외워서 기억하고 시험 후에는 잊어버려요. 지금은 생각나는

게 아무 것도 없어요”.

초등 예비교사 P5:

“보기가 있으면 맞힐 수 있을 텐데 ...”

초등 예비교사 P6:

교과서의 배운 그림을 그대로 보면 맞힐 수 있겠는데 ... 그림도 없고.. 평면적인 자료로만 공부하고 ... 암기해서 맞히는 식이었으니 실제로는 천체의 운동이 어떤 건지 알 수가 없다

... 유일한 위성인 달의 움직임에 대하여도 전혀 알 수가 없다.

초등 예비교사 P9:

“고등학교 때 단순 암기 식이어서 원리가 생각이 안나... 원리를 이해하지 않은 채 단순 암기는 그 당시에만 효력을 발휘 할 뿐이다”.

또 지구자전 주기와 방향에 대하여 알고 있는 응답자 가운데 문제 해결 과정에서 실제로 지구를 자전시킨 응답자는 초등 11명, 중등 7명으로 모두 18명(30%)이었다.

이러한 현상은 학생들이 태양계 천체의 운동과 그 결과로 관찰되는 현상에 대하여 인과 관계의 원리로 과학적 이해를 하지 않고, 무조건 결과만 외웠기 때문이라고 볼 수 있다. 태양계 천체 운동 교수 시 천체의 운동과 관찰 현상에 대한 인과 관계의 설명을 통하여 과학적 이해를 하게 하고, 자신이 아는 원리를 이용하여 예상한 결과와 관찰한 결과의 일치를 경험하게 함으로써 과학을 사실의 집합체로 생각하고 무조건 외우는 학생들의 학습 태도를 개선할 필요가 있다.

결론 및 제언

본 연구에서는 지구과학을 가르치게 될 예비교사를 대상으로 달과 금성의 운동 문제 해결 과정에 대한 연구를 하였다. 연구 대상은 사범대학생과 교육대학생 총 60명이었다. 연구 방법은 지필 검사와 면담이었다.

연구 결과 요약 및 교수에 대한 시사점은 다음과 같다.

첫째, 예비교사들의 문제 해결 성공율은 낮았으며 특히 초등 예비교사들이 심각한 정도였다. 초등 교육 과정에 달의 위상 변화가 포함되어있기 때문에 이들 초등 예비교사들의 오개념과 문제 해결력 부족은 장

차 초등학생의 오개념 형성의 직접적 원인이 될 수 있다. 교사 교육 기관에서 초등예비교사들의 달 문제 해결력을 신장하기 위한 특별한 관심이 요구된다.

둘째, 문제 해결 실패에는 선행지식 부족과 잘못된 선행지식이 하나의 원인으로 작용하였다. 예비 교사들은 위상작도에 대한 선행지식이 거의 없었다. 이를 위해 위상 작도법을 교수할 필요가 있다. 또 천체의 운동 방향의 표현은 '서에서 동으로' 보다는 '반시계 방향'이라는 표현이 보다 적절한 것으로 판단되었다.

셋째, 예비교사들은 지구과학에서 사용하는 기준점과 관점에 대한 이해가 부족하였다. 일상에서의 관점과 지구과학 과제 이해에 필요한 관점을 변별하지 못하고 일상의 관점을 그대로 이용하거나 잘못된 관점을 이용하여 문제 해결에 실패하였다. 다양한 기준점과 관점의 존재와 그들간의 차이를 충분히 인식시킬 필요가 있다.

넷째, 예비교사들은 일반화 능력이 부족하였다. 금성과 달에서 같은 원리가 사용되고 있지만 금성 문제를 해결한 예비교사가 달 문제는 해결하지 못하였다. 예비교사들은 다른 대상(상황)에 같은 원리를 적용할 수 있다는 것을 이해하지 못하였다. 초·중등 학생들은 스스로 일반화를 잘 하지 못하므로 일반화를 촉진하기 위한 교사의 의도적인 노력이 필요하다. 과제에서나 교수 시 같은 원리를 적용하여 해결할 수 있는 다양한 상황의 문제를 함께 제시하면 일반화 능력이 신장될 수 있을 것이다.

다섯째, 예비교사들은 천체 운동의 인과적 원리에 대한 과학적 이해가 부족하였다. 그들은 태양계 내 천체의 상대적 운동에 대해 인과적으로 설명하려고 하지 않고, 결과에 대한 기억만을 회상하여 답하려고 하였다. 원리에 대한 이해 없이 결과만 기억한 일부 지식은 틀린 것도 있었다. 또 사실적 지식은 암기하고 있으나 그 지식의 적용 조건과 적용 방법을 모르고 있었다.

천체의 운동 교수에는 인과 관계의 과학적 설명을 통하여 과학적 이해를 하도록 하고 그런 원리로 예측한 결과와 실제 관찰된 현상을 비교, 확인하는 기회를 갖도록 하는 것이 필요하다. 또 예비교사들이 선연적 지식을 적용하는 조건과 방법에 대한 연습과 피드백을 강조하는 교수전략의 개발이 필요하다.

본 연구는 전국적으로 보았을 때 비교적 우수한 예비교사들을 대상으로 하였음에도 이러한 결과를 얻

었다. 전국의 모든 지구과학 담당 예비교사들을 대상으로 연구한다면, 더 낮은 이해도를 보일 가능성도 있다. 따라서 위상 작도에 대한 개념 부족, 달과 행성의 운동 방향에 대한 혼동, 원리의 적용 상황이나 조건에 대한 일반화와 변별력 부족, 인과 관계에 대한 과학적 이해 대신 암기 학습 경향 등은 다른 예비교사에게도 어느 정도 일반화가 가능할 것이라고 생각된다.

앞으로 달과 행성의 운동 분야의 문제 해결 전문가와 초보자의 구체적 차이점, 공간지각능력과 문제 해결력과의 관련성, 일반화와 변별을 강조한 학습이 문제 해결력에 미치는 영향, 선행지식의 양과 문제 해결 점수의 상관도, 바른 내용을 기억시킬 수 있는 정교화 전략의 개발 등에 대한 연구가 필요하다.

참고문헌

- 국동식, 1995, 중, 고등학생들의 계절변화 개념이해 분석. 한국지구과학회지, 16(4), 317-329.
- 권재술·이성왕, 1988, 물리 문제 해결 실패자(초심자)와 성공자(전문가)의 문제 해결 과정에 관한 연구. 한국과학교육학회지, 8(1), 43-55.
- 김영채, 1995, 사고와 문제해결심리학: 인지의 이론과 적용. 서울: 박영사, 698 p.
- 김찬중·이조욱, 1996, 달의 위상 변화와 빛에 대한 중등학교 학생들의 개념 사이의 관계. 한국지구과학회지, 17(1), 8-21.
- 노태희·전경문·한인옥·김창민, 1996, 학생의 인지 발달 수준과 문제의 상황에 따른 화학 문제해결 행동 비교. 한국과학교육학회지, 16(4), 389-400.
- 노태희·전경문, 1997, 문제와 문제해결자의 특성에 따른 화학 문제 해결: 문제 해결 시간과 전이 분석. 한국과학교육학회지, 17(1), 11-19.
- 민준규, 1991, 중학생 및 지구과학 교사의 지구와 달의 운동에 관한 개념. 한국교원대학교 석사 학위 논문, 129 p.
- 박학규·권재술, 1991, 물리 문제 해결에 관한 최근의 연구 분석. 한국과학교육학회지, 11(2), 67-77.
- 임청환·김학목, 1994, 대기압과 달의 운동에 관한 중학생들의 개념분석. 한국지구과학회지, 15(3), 157-169.
- 신애경·최병순, 2000, 초등학교 학생의 정보 처리 유형과 인지 양식에 따른 과학 문제 해결. 한국과학교육학회지, 20(1), 155-165.
- 정남식, 1996, 소집단 역할놀이와 토의를 통한 고등학생들의 지구와 달의 운동변화. 한국교원대학교 대학원 박사 학위논문, 286 p.
- 정진우, 1991, 중학교 학생들의 지구과학 개념에 대한 오개념의 형성 원인 분석. 한국지구과학회지, 12(4), 304-322.
- 채동현, 1996, 학생들의 달 위상변화의 원인에 대한 개념

- 조사. 초등교육학교육, 15(1), 45-55.
- 채동현·황정, 1993, 천문 현상에 관한 유년적 사고, 학년, 성적사이의 상호관계연구. 한국지구과학회지, 14(2), 173-182.
- 홍미영·박윤배, 1995, 문제의 특성에 따른 대학생들의 화학 문제해결 과정의 추이 분석. 한국과학교육학회지, 15(1), 80-91.
- Chi, M.T.H., Feltovich, P.J., and Glaser, R., 1981, Categorization and representation of physics problems by experts and novices. *Cognitive Science*, 5, 121-152.
- Diakidoy, I., Vosniadou, S., and Hawks, J.D., 1997, Conceptual change in astronomy: Models of the earth and the day/night cycle on American-Indian children. *European Journal of Psychology of Education*, 12(2), 159-184.
- Feltovich, P.J., 1981, Knowledge based components of expertise in medical diagnosis (Tech. Rep. No. PDS-2). Pittsburgh, Pa.: University of Pittsburgh, Learning Research and Development Center.
- Gagne, E.D., 1985, *The cognitive psychology of school learning*. Boston: Little, Brown and Company, 374 p.
- Gagne, E.D., Yekovich, C.W., and Yekovich, F.R., 1993, *The cognitive psychology of school learning*. 2nd ed. New York: Harper Collins College Pub, 512 p.
- Hardiman, P.T., Dufresne, R., and Mestre, J.P., 1993, The relation between problem categorization and problem solving among experts and novices. *Memory and Cognition*, 17(5), 627-638.
- Okey, J.R. and Gagne, R.M., 1970, Revision of science topics using evidence of performance on subordinate skills. *Journal of Research in Science Teaching*, 7, 321-325.
- Pestel, B.C., 1993, Teaching problem solving without modeling through "thinking aloud pair problem solving". *Science Education*, 77(1), 83-94.
- Rief, F. and Larkin, J.H., 1991, Cognition in science and everyday domain: Comparison and learning implication. *Journal of Research in Science Teaching*, 28(9), 733-760.
- Royer, J.M., Cisero, C.A., and Carlo, M.S., 1993, Techniques and procedures for assessing cognitive skills. *Review of Educational Research*, 63(2), 201-243.
- Vosniadou, S., 1991, Conceptual development in astronomy. In S.M. Glynn, R.H. Yeany, and B.K. Britton (Eds.). *The psychology of learning science*. Hillsdale, New Jersey: LEA, 149-177.
- Vosniadou, S. and Brewer, W.F., 1994, Mental models of the day/night cycle. *Cognitive Science*, 18, 123-183.

2001년 5월 14일 원고 접수
 2001년 7월 4일 수정원고 접수
 2001년 10월 12일 원고 채택