

초등 과학 우수 학생의 일상적 맥락의 과학 문제 해결 과정: 서답형 문항에 대한 응답 분석

김 찬 종

청주교육대학교 과학교육과

Everyday science problem solving processes of high ability elementary students in science: Analysis of written responses

Kim, Chan-Jong

Chongju National University of Education

ABSTRACT

The problem solving processes of elementary school children who are talented in science have been seldom studied. Researchers often resort to thinking aloud method to collect data of problem solving processes. The major purpose of the study is investigating high ability elementary school students' problem solving processes through the analysis of written responses to science problems in everyday context.

67 elementary students were participated Chungcheongbuk-do Elementary Science Contest held on October, 1997. The written responses of the contest participants to science problems in everyday context were analyzed in terms of problem solving processes.

The findings of the research are as follows. (1) High ability elementary students use various concepts about air and water in the process of problem solving. (2) High ability elementary students use content specific problem solving strategies. (3) The problem solving processes of the high ability elementary students consist of problem representation, problem solution, and answer stages. Problem representation stage is further divided into translation and integration phases. Problem solving stage is composed of deciding relevant knowledge, strategy, and inferring phases. (4) High ability elementary students' problem solving processes could be categorized into 11 qualitatively different groups. (5) Students failures in problem solving are explained by many phases of problem solving processes. Deciding relevant knowledge and inferring phases play major roles in problem solving. (6) The analysis of students' written responses, although has some limitations, could provide plenty of information about high ability elementary students' problem solving processes.

I. 서 론

우수한 과학기술자의 양성은 국가 발전의 초석이다. 많은 나라에서 과학 영재를 발굴하고 이들의 교육에 엄청난 투자와 노력을 아끼지 않고 있다. 우리 나라도 오래 전부터 과학 영재 교육의 중요성을 인식하고 있었으며 1998년부터는 국가 차원에서 전국 여러 곳에 과학 영재 교육 센터를 열고 이를 지원할 계획이다. 과학 영재 교육이 제대로 시행되기 위해서는 과학 영재에 대한 바른 이해가 그 바탕이 되어야 한다. 과학 영재들은 일반 학생들과 다른 여러 가지 특성을 가지고 있는 것으로 알려져 있다. 이들은 일반 학생들과 다른 과학사고 능력을 보유하고 있을 것이다. 과학 영재들의 사고 과정을 바르게 이해하는 것은 과학 영재의 선발과 교육, 그리고 평가의 전 과정을 효율적으로 이해하고, 이를 바르게 시행하는 바탕이 된다. 영재들의 과학 문제 해결 과정에 대한 연구는 과학 영재들의 사고 과정의 올바른 이해라는 측면에서 매우 시급하다. 과학 문제 해결에 대한 연구는 많은 과학교육자들의 관심을 받아 왔으나, 과학 영재의 문제 해결에 대한 연구는 그다지 많지 않았다.

기존의 문제 해결 연구는 일반 학생이나 전문가와 초심자를 주 대상으로 삼아 왔으며, 문제 해결 전략의 이해에 치우쳐 있었다 (Bhaskar & Simon, 1977; Larkin, McDermott, Simon, & Simon, 1980; Mayer, 1992; Simon, 1978). 이러한 경향은 과학교육 분야에서도 비슷하게 나타났다 (권재술, 이성왕, 1988; 홍미영, 박운배, 1994, 1995; 박학규, 이용현, 1993). 이러한 연구들은 일반 학생들이 과학 문제를 해결하는 데 사용하는 문제 해결 전략을 밝히는데 많은 공헌을 하였다. 그러나 실제 문제 해결에서 전략 못지 않게 중요한 역할을 하는 것으로 보이는 교과 관련 지식과 개념의 기능과 역할까지 포괄하는 연구(노태희, 전경문, 한인옥, 김창민, 1996; 이항로, 1998)는 많지 않다.

문제 해결 과정을 보다 심도 있게 이해하기 위해서는 전략과 교과 관련 지식의 활용 모두가 고려된 균형 잡힌 연구가 필요하다. 또한 과학 영재들의 과학 문제 해결 과정을 심도 있게 분석한 연구들이 필요하다.

기존의 연구들 중에는 초등학교 학생을 대상으로 삼은 경우가 거의 없다. 대부분이 대학교 학생을 주 대상으로 삼았으며(권재술, 이성왕, 1988; 홍미영, 박운배, 1994, 1995; 박학규, 이용현, 1993), 최근에 중학생(노태희 외, 1996)과 고등학교 학생을 대상으로 한 연구(이항로, 1998)가 실시되었다. 초등학교 학생들의 사고 과정은 상위 학교 학생들과 어떤 차이가 있는지 등이 밝혀져 있지 않은 상태이다. 문제 해결 과정에 대한 연구에서 주로 활용하는 방법은 발생사고법이다. 발생사고법은 문제 해결 과정에 대한 상세한 정보를 얻어낼 수 있다는 점에서 많은 장점이 있으나, 문제 해결 이외의 많은 정신용량을 요구하여 문제 해결 과정에 영향을 줄 수 있으며, 연구 과정에서 많은 시간과 비용을 필요로 하여, 연구 대상의 수를 제한하는 문제점이 있다. 이러한 문제점을 보완할 수 있는 조사 연구 방법이 필요하며, 학생들이 작성한 서답형 문항에 대한 응답을 분석하는 것은 학생들의 문제 해결 연구에 새로운 가능성을 제시하여 줄 수 있다.

이러한 여러 가지 필요성과 문제점을 종합하여 볼 때, 과학에 우수한 성취를 보이는 초등학교 학생들을 대상으로 과학 문제 해결 과정을 조사하는 것은 매우 중요한 일이다. 또한 과학 문제 해결에 영향을 최소화하면서 동시에 많은 학생들의 사고 과정을 조사할 수 있는 새로운 방법을 탐색하는 것도 매우 의미 있는 일이다.

이 연구의 주요 목적은 과학 우수 학생들의 서답형 문항에 대한 응답을 이용하여 과학 관련 일상 문제의 해결 과정을 분석하는 것이다. 이 연구의 세부 연구 문제는 다음과 같다.

(1) 과학 우수 학생들이 과학 관련 일상 문제

- 해결에 주로 활용하는 과학 개념은 무엇인가?
 (2) 과학 우수 학생들이 과학 관련 일상 문제 해결에 주로 활용하는 문제 해결 전략은 무엇인가?
 (3) 과학 우수 학생들의 과학 관련 일상 문제 해결의 주요 과정은 무엇인가?
 (4) 과학 관련 일상 문제 해결의 성공자와 실패자의 주요 차이는 무엇인가?
 (5) 학생들의 서답형 응답을 분석하는 방법은 문제 해결 과정에 대한 정보를 주는가?

II. 연구 대상 및 절차

이 연구의 주요 분석 자료는 1997년 10월에 실시된 충청북도 초등 과학 경시대회 2차 시험 서답형 문항 일부에 대한 학생들의 응답 내용이다.

1. 충청북도 수학과학경시대회

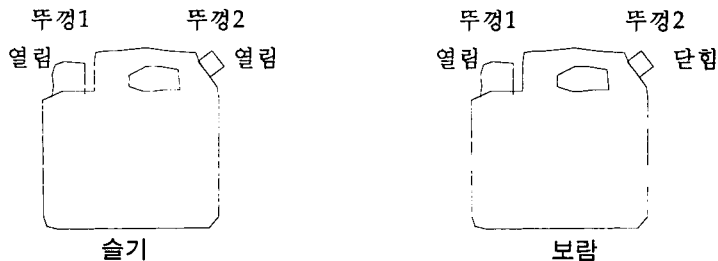
충청북도 수학과학경시대회는 1년에 1회씩 매년 실시된다. 1997년 대회의 참가 대상 학생

은 충청북도에 소재한 초등학교 5학년으로 참가를 희망하는 각 학교에서 수학과 과학 분야에 각각 3명씩 추천을 할 수 있었다. 실제로 과학 경시대회에 참가한 학교는 26개교이며, 참가한 학생 수는 67명이다. 참가 학교는 청주시 지역이 22개교 기타 지역이 4개교이다.

과학 경시대회는 1차 시험과 2차 시험으로 구성되어 있다. 1차 시험은 선다형과 간단한 서답형 문항으로 구성되어 있다. 1차 시험의 총 문항 수는 20이며, 물리, 화학, 생물, 지구과학 각 영역별로 5문항씩이다. 이 중에서 14문항은 선다형이었으며, 나머지 문항들은 간단한 서술을 하거나 또는 답지를 고른 후 이유를 서술하도록 되어 있다. 2차 시험은 서답형으로 일상 및 실험실 상황이 포함된 6개 문항으로 이루어져 있다. 1, 2차 시험 모두 50분씩 주어졌다.

참가 학생들과 지도 교사들에게는 다음과 같은 보상이 있음을 미리 알려 주었다. 대회 당일에는 흥미있는 현상 중심의 과학 실험시범이 있었다. 또한 시험 성적이 우수한 학생과 지도 교사에게는 표창이 있었으며, 참가자 중 상위 25명은 청주교육대학교 과학교육연구소에서 주

[1-2] 슬기는 친구 보람이와 똑같은 물통을 들고 약수터에 물을 뜨러 갔습니다. 물통에는 물을 담은 구멍이 윗부분에 두 개 있었습니다. 슬기는 뚜껑 두 개를 모두 열어놓고 물을 받았고, 보람이는 뚜껑 하나는 열어 놓고, 다른 하나는 잠근 채 물을 받았습니다. 이것을 보고 다음 물음에 답하십시오.



1. 물을 가득 받았을 때 누구의 물통이 더 무거울까요?
2. 그 이유는 무엇입니까? (자세하게 설명하십시오.)

말마다 운영하는 과학 영재 특별학교와 과학캠프에 입학할 수 있는 자격을 주었다.

2. 과학 문제 해결력 평가 문항

분석 대상으로 삼은 과학탐구능력 평가 문항은 2차 시험의 1, 2번 문항이다. 이 문항은 일상적 상황에서 사고 과정을 알아낼 수 있도록 고안되었다. 다음은 이 평가 문항이다.

3. 과학 우수자들의 문제 해결 과정 분석

분석 절차는 (1) 응답 유형 분류, (2) 문제 해결 과정 모형 작성, (3) 코딩 기준 작성, (4) 응답의 코딩 작업, (5) 문제 해결 과정 파악의 순으로 진행되었다. 응답 유형 분류 결과 학생들의 응답은 1차적으로 19가지 유형으로 분류할 수 있었다. 이 유형 분류를 바탕으로 이 문제 해결 과정을 잘 요약할 수 있는 모형을 작

성하였다. 학생들의 응답 유형이 과학 교과 내용에 많은 바탕을 두고 있었으므로 이에 적합한 모형을 찾아(Mayer, 1992) 변형하였다 <표 1>. 이 모형에서는 문제 해결 단계를 문제 제시, 문제 표상, 문제 해결, 답의 4단계로 구분한다. 학생들이 작성한 답안을 바탕으로 분석하였으므로 문제 제시나 답은 상세하게 나누기 어려웠다. 문제 표상은 다시 번역과 통합으로 구분하였다. 번역은 문제에 제시된 부분을 인용한 경우에는 언어적 지식의 번역(TRL)으로, 문제에는 명시적으로 제시되지 않았지만 문제 상황과 관련된 해석은 의미론적 번역(TRS)으로 구분하였다. 통합은 문제를 해결하기 위하여 문제 전체를 일관성 있는 구조로 파악하는 행동을 지칭하였다.

문제 해결은 표상이 끝난 후 답을 얻기 위해 응답자가 진행하여 나가는 과정으로, 관련

<표 1> 물통 문제 해결 단계 모형

단계	하위 단계	필요한 지식의 유형	예
R 문제 표상 (problem representation)	TRL/TRS 번역 (Translation): 문제의 각 구절이나 문장을 내적 표상으로 전환	TRL: lng 언어적 지식 (linguistic): 언어에 대한 지식 TRS: smn 의미론적 지식 (semantic): 세 계에 대한 사실과 관련된 지식	물통, 약수터, 구멍, 뚜껑 약수터에서 물을 뜨는 과정
	IT 통합 (Integration): 쓰여진 정보를 일관성 있는 구조로 조합	sch 스키마적 지식 (schematic): 문제 유형에 대한 지식	주어진 조건에서 물통 무게에 차이가 생기는 부분 예상:
S 문제 해결 (problem solution)	DK 관련 지식 동원 (Deciding relevant knowledge)	atk 활성화된(activated) 지식	공기 부피/무게/특성, 기압, 물 부피/무게/특성, 물통 무게/특성
	ST 전략 (Strategy): 문제 해결을 위한 단계적 계획의 수립과 유지	str 전략적 지식 (Strategic): 문제 해결을 위한 전반적이고 단계적인 계획 수립과 유지	물/공기의 양은 어떤 차이가 있는가? 물/공기의 무게는 어떠한가?
	IF 추론 (Inferring) 활성화된 지식을 바탕으로 상황에 적합한 논리적 추론 적용	lgc 논리적(logical) 지식 ctx 상황적(Contextual) 지식	관련 상황 파악 관련 지식 적용
답 (answer)	AN		

<표 2> 문제 표상 단계의 코딩 기준

단계	코딩 부호	주요 내용
번역: 언어적 지식 (TRL)	TRL1	보람 물통 뚜껑 1개 열림
	TRL2	슬기 물통 뚜껑 2개 열림
	TRL3	두 물통의 크기 같음
번역: 의미론적 지식(TRS)	TRS1	한 쪽 구멍으로 물 받음
	TRS2	슬기는 두 구멍으로 물 받고, 보람은 한 구멍으로 물 받음
통합(IT)	IT1	두 물통에 든 물의 무게 비교
	IT2	두 물통에 든 물질(물 + 공기)의 무게 비교
	IT3	두 물통에 작용하는 공기의 압력 비교

<표 3> 문제 해결 단계(전략, 관련지식)의 코딩 기준

단계	코딩 부호	주요 내용
전략(ST)	STS1	슬기 물통 물의 양 알아내기
	STS2	슬기 물통 물질의 양 알아내기
	STS3	슬기 물통 누르는 힘 알아내기
	STB1	보람이 물통 물의 양 알아내기
	STB2	보람이 물통 물질의 양 알아내기
	STB3	보람 물통 누르는 힘 알아내기
	ST1	두 물통의 무게 알아내기
관련 지식(DK)	DKA1	공기는 무게가 있음
	DKA2	공기는 유동성이 있음
	DKA3	공기는 부피가 있음
	DKA4	공기는 쉽게 물에 녹음
	DKA5	공기는 쉽게 물에서 분리됨
	DKA6	공기는 압력을 작용함
	DKA7	공기는 빈 공간임
	DKW1	물은 무게가 있음
	DKW2	물은 유동성이 있음
	DKW3	물은 부피가 있음
	DKW4	물은 공기를 잘 녹임
	DKW5	물은 녹아 있는 공기를 쉽게 분리시킴
	DKW6	물은 압력을 작용함
	DK1	(무게) 물 > 공기

지식 동원, 전략, 추론의 3부분으로 구분하였다. 관련 지식은 문제 해결과정에서 활용된 지식을 지칭한다. 이 문제의 특성상 주로 공기와 물에

관한 지식이 활용되었다. 전략은 문제 해결을 위해서 전체를 부분으로 구분하고, 각 하위 단계의 해결을 모색하는 전략을 지칭한다. 추론

<표 4> 문제 해결 단계(추론)의 코딩 기준

단계	코딩 부호	주요 내용
공통 추론(IF)	IFP1	물이 들어올 때 공기도 같이 들어옴
	IFP2	물이 들어오는 쪽으로 공기도 일부 나감
슬기 물통 중심 추론(IF)	IFS1	물이 한 쪽으로 들어가면 공기는 다른 쪽으로 빠져나감
	IFS2	공기가 있던 공간을 물이 채움 (구멍 입구까지)
	IFS21	물이 가득참 (구멍 2 높이 까지)
	IFS3	물에 녹아있던 공기가 다른 구멍으로 빠져나감
	IFS4	물통 밖(위)의 공기 양이 많아짐
	IFS5	물통 밖의 공기가 다른 쪽 구멍으로 들어감
	IFS6	슬기 물통에는 물과 공기가 들어 있음
	IFS7	다른 뚜껑 속에 물이 들어가지 못함
	IFS8	슬기 물통 물이 가득참
IFS9	다른 구멍으로 물이 넘침	
보람 물통 중심 추론(IF)	IFB1	물이 들어가도 공기는 다른 구멍으로 못 나감 (공기가 모임)
	IFB2	공기가 남아 있음
	IFB21	물이 구멍 1 높이까지 참
	IFB3	물에 녹아있던 공기가 빠져나가지 못함
	IFB4	물통 밖(위)의 공기의 양은 변화 없음
	IFB5	밖의 공기가 물통 안으로 들어가지 못함
	IFB6	보람 물통 물만 들어있음 (공기는 없음)
	IFB7	다른 뚜껑 속까지 물이 들어감
	IFB8	물이 가득 차지 않음
IFB9	물이 넘치지 않음	
양의 비교 추론(IF)	IF1	(물의 양) 슬기 > 보람
	IF2	(물의 양) 슬기 < 보람
	IF3	(물의 양) 슬기 = 보람
	IF4	(공기의 양) 슬기 > 보람
	IF5	(공기의 양) 슬기 < 보람
	IF6	(공기의 양) 슬기 = 보람
	IF7	(물에 녹은 기체의 양) 슬기 > 보람
	IF8	(물에 녹은 기체의 양) 슬기 < 보람
	IF9	(공기가 누르는 힘) 슬기 > 보람
	IF10	(공기가 누르는 힘) 슬기 > 보람

<표 5> 답 단계의 코딩 기준

단계	코딩 부호	주요 내용
답 제시(AN)	AN1	(무게) 슬기 > 보람
	AN2	(무게) 슬기 < 보람
	AN3	(무게) 슬기 = 보람

은 활성화된 지식을 문제 해결자가 인식한 상황에 적합하게 활용하거나 논리적으로 구사한 부분이다.

문제 해결 과정 모형이 완성된 후에는 각 단계 별로 가능한 모든 경우를 실제 응답을 참고로 하여 작성하여 코딩 기준을 완성하였다 < 표 2, 3, 4, 5>. 따라서 이 코딩 기준은 실제 학생들의 응답에서는 나타나지 않는 것도 있다. 이 결과는 학생들의 응답을 다시 정리할 때 활용하였다. 코딩 기준을 이용하여 학생들의 응답을 부호화 시켰다. 부호화된 학생들의 응답은 다시 분류되어 대표적인 문제 해결 유형을 파악하였다.

III. 연구 결과

과학 우수아들의 과학 문제 해결 과정을 정리하면 < 표 6>과 같다. 문제 해결 과정은 10개의 유형과 기타 유형으로 구분할 수 있었다. 2명 이상의 응답자가 있는 경우만을 각각의 유형으로 구분하였으며, 응답자가 1명일 때는 기타로 포함시켰다. 기타에는 이밖에도 알아보기 어려운 응답과 문제를 잘못 해석한 응답이 포함되어 있다.

첫 번째 유형(PS1)은 과학적인 문제 해결과정이며 두 번째 유형(PS2)은 과학적 유형과 유사하지만 물의 양이 달라지는 근거가 분명하지 않다. PS3과 PS5 유형은 공기가 무게가 있음에 치중한 점에서는 같으나 결과는 상반되게 나온 경우이다. PS4는 공기 자체를 빈 공간으로 인식하고 있으며, PS6과 PS7은 공기에 주의를 기울이지 않은 문제해결 과정을 보여준다. 다음은 4명 이상의 응답자가 있는 각 유형에 대한 대표적인 응답과 코딩 부호를 보여주는 예이다.

1. 유형PS1에 대한 응답 예시

1. 슬기 (AN1).
2. 뚜껑이 열렸을 경우(TRL2) 공기가 차지하는 자리를 물이 대신 채우기 때문이다(IFS2). 즉, 뚜껑이 열린 슬기의 물통(TRL2)은 공기는 뚜껑으로 나가고(IFS1) 그 자리를 물이 채운다(IFS2). 보람이의 물통(TRL1)은 공기가 나갈 구멍이 없어(IFB1) 공기와 물이 물통을 같이 채우기 때문에(IFB2) 슬기의 물통에 물이 더 많이 채워진다(IF1).

2. 유형 PS2에 대한 응답 예시

<표 6> 과학 우수아들의 과학 관련 일상 문제 해결 과정 유형

유형	문제 해결 과정
PS1.	TRL2 - IFS1 - IFS2 - TRL1 - IFB1 - IFB2 - IF1 - DK1 - AN1
PS2.	TRL2 - IFS21 - IF1 - TRL1 - IFB21 - AN1
PS3.	TRL2 - IFS1 - TRL1 - IFB1 - IFB2 - IF5 - DKA1 - AN2
PS4.	TRL1 - TRS1/TRS2 - IFB7 - TRL2 - IFS7 - AN2
PS5.	TRL2 - IFS5 - IFS6 - AN1
PS6.	TRL2 - IFS9 - IF2 - TRL1 - TRS1 - IFB9 - AN2
PS7.	TRL2 - TRL1 - TRL3 - IF3 - AN3
PS8.	TRL2 - IFS1 - IFS4 - IFB4 - AN1
PS9.	TRL2/TRL1 - TRS1 - IFS1/IFS3/IFB2/IFB3 - IF8 - DKA4 - AN2
PS10.	TRL2 - TRS2 - IFS21 - TRL1 - TRS1 - IFB21 - AN1
PS11.	기타

1. 슬기 (AN1).
2. 슬기는 두 개 모두를 열고(TRL2) 물을 넣어서 뚜껑2가 있는 곳까지 물이 찬다(IFS21). 그런데 보람이는 뚜껑1만 열어서(TRL1) 뚜껑1이 있는 곳까지만 찬다(IFB21). 그리하여 슬기의 물통이 더 무거울 것이다(AN1).

3. 유형 PS3에 대한 응답 예시

1. 보람 (AN2).
2. 보람이가 물을 받을 때(TRL1) 그곳의 공기가 한 곳으로 모이지만(IFB1) 슬기가 받을 때는(TRL2) 그 공기가 한쪽으로 나가므로(IFS1) 보람이 물통은 공기가 많고 슬기 물통은 공기가 적어(IF5) 공기의 무게(DKA1)가 차이가 나서

4. 유형 PS4의 응답 예시

1. 보람 (AN2)
2. 보람은 한 쪽 뚜껑에서 물을 받아서(TRS2) 뚜껑2 속까지 채울 수 있다(IFB7). 심지어 손잡이 쪽에 있는 쪽도 말이다. 그 반면 슬기는 두 쪽 모두에서 받아 뚜껑 밑에만 채울 수 없었을 것이다(IFS7).

5. 유형 PS5의 응답 예시

1. 슬기 (AN1).
2. 두 개의 뚜껑을 다 열고(TRL2) 물을 받는 사이에 열린 뚜껑으로 공기가 들어갔을 것이다(IFS5). 그러므로 슬기의 물통이 더 무거울 것이다(AN1).

6. 유형 PS6의 응답 예시

1. 보람 (AN2)
2. 슬기의 물통은 2곳에서 받기 때문에(TRS2) 물을 끝까지 받을 때 넘치기가 쉽다(IFS9). 그래서 슬기의 물통의 물은 조금 차지 않을 것이다(IF2). 그 반대로 보람이는 꼭지 1개로 물을 받기 때문에(TRS2) 정확하게 넘치지(넘치지) 않고 받을 수 있을 것이기 때문이다(IFB9).

7. 유형 PS7의 응답 예시

1. 똑같다 (AN3)
2. 뚜껑을 하나로 받거나 둘로 받는다(TRS2) 물통의 무게가 달라지는 것은 아니다(TRL3). 크기가 똑같은 물통이기 때문에 물의 양 (물통의 무게)은 같을 것이다(IF3).

PS1, PS2, PS3이 15% 내외의 높은 비율을 보였다. 그 다음으로는 PS4, PS5, PS6, PS7이 6%에서 9% 사이의 비율을 차지하였다. PS8, PS9, PS10은 각각 3%의 비율로 나타났다. 1번 문항에 대해서 슬기의 물통이 더 무겁다라고 바르게 답한 비율은 43.3%에 이른다. 그러나 올바른 문제 해결 능력을 발휘한 비율은 전체의 16.4%에 불과하다.

학생들의 서술형 응답에는 문제 해결 단계가 많이 생략되고 비약이 많았다. 따라서 학생들의 서술에만 의존하게 되면 학생들이 주로 활용하는 개념이나 전략이 무엇인지를 파악하기 어렵다. 이러한 제약을 극복하기 위하여 학생들의 응답 중에서 비약이 있는 부분은 중간 단계를 추정하여 채워 넣어 보았다. 그 결과는 <표 8>과 같다. 이탤릭체로 진하게 쓴 부분은 절반 이상의 학생들이 표현한 부분이며, 진한 부분은 25% 이상의 학생들이 표현한 부분이다. 나머지 부분은 연구자가 추정한 생각이다. 학생들의 응답 중에서 표현되어 있지 않은 부분은 주로 문제표상에서는 의미적 지식부분과, 통합 부분, 문제 해결 단계에서는 관련 지식과 전략 단계 부분이었다. 반면에 문제 표상에서 언

<표 7> 문제해결 유형별 빈도와 백분율

유형	빈도	백분율	유형	빈도	백분율
PS1	11	16.4	PS7	5	7.5
PS2	10	14.9	PS8	2	3.0
PS3	9	13.4	PS9	2	3.0
PS4	6	9.0	PS10	2	3.0
PS5	4	6.0	PS11	11	16.4
PS6	5	7.5	계	67	100.1

<표 8> 과학 우수아들의 재구성된 문제 해결 과정

- PS1. *TRL2/TRL1* - TRS1 - IT1 - STS1/STB1 - DKA2/DKA3/DKW2/DKW3 -
IFS1/IFS2/IFB1/IFB2 - IF1 - DK1 - AN1
- PS2. *TRL2/TRL1* - TRS1 - IT1 - STS1/STB1 - *IFS21/IFB21* - IF1 - DK1/DKA6 - AN1
- PS3. *TRL2/TRL1* - TRS1 - IT2 - STS2/STB2 - DKA1 - *IFS1/IFS2/IFB1/IFB2* - IF5 - AN2
- PS4. *TRL2/TRL1* - TRS1/TRS2 - IT1 - STS1/STB1 - DKA7 - *IFS7/IFB7* - IF2 - DKW1 - AN2
- PS5. *TRL2/TRL1* - TRS1 - IT2 - STS2/STB2 - DKA4/DKW4 - *IFP1/IFS5/IFS6/IFB2/IFB5* - IF4 -
 DKA1 - AN1
- PS6. *TRL2/TRL1* - TRS1/TRS2 - IT1 - STS1/STB1 - DKW2 - *IFS9/IFB9* - IF2 - DKW1 - AN2
- PS7. *TRL3/TRL2/TRL1* - TRS1/TRS2 - IT1 - ST1 - DKW1/DKW2 - IF3 - AN3
- PS8. *TRL2/TRL1* - TRS1 - IT3 - STS3/STB3 - DKA1/DKA2/DKA6 - *IFS1/IFS4/IFB1/IFB4* - IF10
 - DKA6 - AN1
- PS9. *TRL2/TRL1* - TRS1 - IT2 - STS2/STB2 - DKA4/DKA5/DKW4/DKW5 -
IFS1/IFS3/IFB1/IFB2/IFB3 - IF8 - DKA1 - AN2
- PS10. *TRL2/TRL1* - TRS1/TRS2 - IT1 - STS1/STB1 - DKW1 - *IFS21/IFB21* - AN1
- PS11. 기타
 이텔릭/고딕체 : 50% 이상 응답자 표현
 고딕체 : 25% 이상 응답자 표현

<표 9> 문제 해결 과정에서 많이 활용되었거나 활용되었을 과학 개념

	활용한 것	추정한 것
PS1	DK1	DKA2/DKA3/DKW2/DKW3
PS2		DK1/DKA6
PS3	DKA1	
PS4		DKA7/DKW1
PS5		DKA1/DKA4/DKW4
PS6		DKW1/DKW2
PS7		DKW1/DKW2
PS8		DKA1/DKA2/DKA6
PS9	DKA4	DKA1/DKA5/DKW4/DKW5/
PS10		DKW1

어적 지식 부분과 추론 단계는 비교적 잘 표현되어 있었다.

8. 많이 활용되었거나 된 것으로 추정되는 과학지식

학생들이 많이 활용하였거나 또는 활용하였을 것으로 추정되는 과학 개념은 <표 9>에 제시되어 있다. 활용한 것은 대체로 공기에 대한 지식이었으며, 공기는 무게가 있음, 공기는 쉽게 물에 녹음 등이다. 추정한 것은 공기와 물

에 대한 여러 가지 지식이 고르게 포함되어 있다. 가장 많이 사용된 것으로 보이는 지식은 공기는 무게가 있다 (DKA1)로 5회였으며, 물은 무게가 있다 (DKW1) 4회, 물은 유동성이 있다 (DKW2)가 3회로 나타났다. 공기에 대한 지식이 주로 활용된 유형은 PS3, PS8이었고, 물에 대한 지식이 주로 활용된 유형은 PS6, PS7, PS10이었다. 두 가지 지식이 모두 활용된 유형은 PA1, PA4, PA5, PA9이었다.

9. 많이 활용되었거나 활용되었을 것으로 추정되는 문제 해결 전략

학생들의 서답형 응답에서 파악된 전략은 문제 해결을 위한 일반적 전략보다는 내용과 직접적으로 관련된 특수한 전략들이었다. 이는 서답형 응답에 일반적 문제 해결 전략이 표현되지 않는 특성 때문일 수도 있고, 친숙한 상황을 활용한 문제 자체의 특성 때문일 수도 있을 것이다.

가장 많이 활용된 문제 해결 전략은 슬기와 보람이 물통에 든 물의 양 알아내기로 5가지 유형에서 활용되었다. 그 다음으로는 슬기와 보람이 물통에 든 물질의 양 알아내기(3회)로 나타났다. 이 밖에도 두 물통을 누르는 힘 알아내기와 두 물통 자체의 무게 알아내기가 각

각 한가지 유형에서 사용되었다 <표 10>.

10. 문제 해결 실패 원인

PS1을 제외한 나머지 유형은 모두 문제 해결에 실패한 것으로 볼 수 있다. 문제 해결 유형별로 실패 원인을 단계별로 분석한 결과가 <그림 1>에 제시되어 있다. 전체적으로 볼 때 문제 표상 단계보다는 문제 해결 단계에서 많은 오류가 있는 것으로 나타났다. 하위 단계를 살펴보면 관련지식(DK)과 추론(IF) 단계에서 오류가 가장 많았다. 관련 지식의 경우에는 적절한 지식이나 개념이 활성화되지 않았거나 또는 잘못된 지식을 활성화시키는 경우가 많았다. 추론 단계에서는 잘못된 추론을 하거나 또는 근거가 명확하지 않은 직관적 추론을 하는 경우가 있었으며, 때로는 올바른 지식을 잘못 활용하는 경우도 있었다. 문제 표상의 하위단계인 통합(IT) 단계의 오류는 어떤 관련 지식을 활용하는가와 밀접한 관련이 있었다. 예를 들면 공기의 무게가 있다는 지식을 활성화시킨 학생들은 물의 양보다는 물과 공기의 양을 비교하려는 경향을 보였다. 문제 해결단계의 하위 단계인 전략(ST) 단계에서도 유사한 경향이 나타났다.

11. 서답형 응답 분석 방법의 장단점

서답형 응답을 분석한 결과 학생들의 문제 해결 과정을 상당히 자세하게 추적할 수 있었다. 단 이를 위해서는 문제 해결과정에 대한 적절한 모형이 전제되어야 하며, 생략되었거나 표현되지 않은 문제 해결 과정에 대한 추정을 필요로 하는 어려움이 있다. 또한 문제 해결 과정 모형과 생략된 부분에 대한 추정의 타당성의 검증은 별도의 어려운 문제이다. 이 연구 결과 문제 해결 과정의 일부를 학생들의 응답에서 직접 추출할 수 있었으며, 표현되어 있지 않은 부분은 추정을 할 수 있었다. 특히 문제 표상 단계의 번역과 문제 해결 단계의 관련 지식 및 추론 부분은 비교적 상세한 자료를 얻을

<표 10> 학생들이 많이 활용한 문제 해결 전략

유형	활용한 것	추정한 것
PS1		STS1/STB1
PS2		STS1/STB1
PS3		STS2/STB2
PS4		STS1/STB1
PS5		STS2/STB2
PS6		STS1/STB1
PS7		ST1
PS8		STS3/STB3
PS9		STS2/STB2
PS1		STS1/STB1

단계		PS2	PS3	PS4	PS5	PS6	PS7	PS8	PS9	PS10
R	TRL									
	TRS2									○
	IT		○		○			○	○	
S	DK	△		○	○	△	△	○	○	△
	ST		○		○		○	○	○	
	IF	▲	☆	○	☆○	○	○	○	○	▲
AN			○	○		○	○		○	

○ 잘못된 활동/지식 △ 활성화된 지식 불명확
▲ 근거 부족 추론 ☆ 옳은 지식 잘못 적용

<그림 1> 문제 해결 유형별 단계별 실패 원인

수 있었다.

문제 해결 과정이 결정되고 코딩 기준이 작성되면 많은 학생들의 응답을 처리할 수 있었다. 따라서 이 분석 방법은 비교적 적은 노력으로 많은 학생들의 자료를 처리할 수 있다는 장점이 있다.

문제점으로는 문제 해결의 전과정이 다 파악되지 않는다는 점이다. 특히 기존 연구에서 많이 보고된 일반적인 문제 해결 과정이 잘 파악되지 않았다. 또한 추정한 단계의 타당성에 대한 점검이 필요하다.

IV. 결론 및 토의

1997년 충청북도 과학 경시대회에 참가한 학생들이 탐구능력 평가를 위한 일상적 상황의 과학 문제에 응답한 결과를 바탕으로 이들의 문제 해결 유형과 과정을 조사하였다. 이 연구의 결론은 다음과 같다.

첫째, 초등학교 과학 우수아들은 문제 해결 과정에서 물과 공기의 여러 특성에 대한 다양한 개념을 활용하였다. 이들이 활용하는 과학 개념 중에는 과학적으로 올바른 것도 있고, 잘못된 것도 있었다. 올바른 과학 개념을 잘못 활용하는 경우도 있었다.

둘째, 초등학교 과학 우수아들은 문제 해결

과정에서 내용과 관련된 특수한 전략을 주로 활용하였다. 학생들의 응답 내용에는 학생들이 활용한 전략이 명시적으로 출현한 경우는 많지 않았으며, 응답 내용을 바탕으로 한 추정 결과 일반적인 문제 해결 전략보다는 내용이나 상황 특수적인 전략이 주로 활용된 것으로 파악되었다.

셋째, 초등학교 과학 우수아들의 일반적인 문제 해결 과정은 문제 표상과 표제 해결 단계의 순서로 나타났다. 이를 하위 단계로 세분하여 보면 문제 해석과 통합, 전략, 관련 지식 활성화, 추론의 순(TRL - TRS - IT - ST - DK - IFS/IFB/IF - AN)이었다. 그러나 관련 지식이 문제 해석 단계에서부터 영향을 미치는 것으로 보인다.

넷째, 초등학교 과학 우수아들의 과학 문제 해결 과정은 질적으로 구분되는 11가지 유형으로 구분할 수 있었다. 각 유형에 따라 주로 활용된 관련 지식과 추론 방식에 차이가 있었다. 각 유형 내에서는 활성화된 관련 지식과 추론 사이에 긴밀한 관련성이 있었다.

다섯째, 초등학교 과학 우수아들의 문제 해결 실패 원인은 여러 하위 단계에서 파악되었으나 그 중에서 가장 중요한 부분은 관련 지식과 추론 단계였다. 문제 해결에 실패한 경우를 분석한 결과 대부분 적절하지 않은 관련 지식을 활성화하고, 이를 바탕으로 추론을 시도한

것으로 나타났다.

여섯째, 초등학교 과학 우수아들이 작성한 서술형 응답을 분석하는 것은 문제 해결 과정을 이해에 하는데 필요한 많은 정보를 제공하였다. 그러나 최종 결과를 바탕으로 문제 해결 과정을 재구성해야 하기 때문에 문제 해결과정 모형 구성 등과 같은 사전 분석과 준비가 필요했다.

서답형 응답을 바탕으로 한 문제 해결 과정 연구 방법은 많은 정보를 얻을 수 있다는 가능성을 보여주었지만 얻은 결과의 타당성을 점검하는 후속연구가 필요하다. 서답형 응답 분석과 발생 사고법 등을 동시에 수행하여 얻은 문제해결과정을 비교하는 것과 같은 방법을 활용하면 타당성의 검증이 가능할 것이다. 또한 서답형 문항을 더욱 개선하고 구조화하여 문제 해결과정을 더욱 잘 파악할 수 있는 형식의 개발 연구가 필요한 것으로 보인다.

이 연구 결과 과학 우수아들의 일상적 상황에 대한 과학 문제 해결 능력이 기대보다 낮은 것으로 나타났다. 특히 절반 가까운 학생들이 무거운 물통을 바르게 답하였음에도 불구하고 이들 중 1/3만이 정확한 근거를 제시하였을 뿐이다. 이는 과학 우수아들이 공기와 물에 대한 개념을 예상보다 다양하게 활용하고 있으며, 이를 바탕으로 독특한 추론 과정을 거치고 있음을 보여준다. 따라서 과학 우수아들의 사고 과정에 대한 다양하고 면밀한 추적이 지속적으로 필요하며, 이러한 결과를 바탕으로 일반화된 경향을 찾아야 함을 시사한다.

문제 해결 과정에서 일반적 전략보다는 관련 지식이 매우 중요함을 보여주고 있다. 활성화된 관련 지식은 문제 해결의 초기 단계에서부터 각 단계에 많은 영향을 주고 있음을 잘 보여준다. 따라서 학생들이 올바른 과학 개념을 잘 조직된 상태로 보유하고 있어야 함을 의미한다. 또한 많은 관련 지식이 답지에 구체적으로 표현되지 않은 상태에서 활용되고 있다. 이는 이러한 지식이 별도의 인지 용량을 차

지하지 않은 상태에서 거의 자동적으로 활성화되고 있음을 의미한다. 즉 학생들에게는 이러한 지식들이 별도의 설명을 필요로 하지 않을 만큼 스스로 명백한 상태임을 나타낸다. 따라서 기본적인 지식의 학습은 이와 같은 상태가 될 수 있도록 해야함을 의미하며 이를 위해서는 적용과 응용 기회를 많이 제공하여 다양한 활용 기회를 제공해야 함을 의미한다.

참고 문헌

1. 권재술, 이성왕 (1988). 물리문제해결 실패자(초심자)와 성공자(전문가)의 문제 해결 사고 과정에 관한 연구. 한국과학교육학회지, 8(1), 43-55.
2. 노태희, 전경문, 한인옥, 김창민 (1996). 학생의 인지 발달 수준과 문제의 상황에 따른 화학 문제 해결 행동 비교. 한국과학교육학회지, 16(4), 389-400.
3. 박학규, 이용현 (1993). 물리 문제 해결 과정에서 중학생들의 사고 과정의 특성 분석. 한국과학교육학회지, 13(1), 31-47
4. 이항로 (1998). 과학 탐구능력과 개념 이해도가 대학수학능력시험 지구과학 문제 해결에 미치는 영향. 한국교원대학교 대학원 박사학위 논문.
5. 홍미영, 박윤배 (1994). 대학생들의 기체의 성질에 대한 문제 해결 과정의 분석. 한국과학교육학회지, 14(2), 143-158.
6. 홍미영, 박윤배 (1995). 문제의 특성에 따른 대학생들의 화학 문제해결 과정의 차이 분석. 한국과학교육학회지, 15(1), 80-91.
7. Bhaskar, R., & H. A. Simon (1977). Problem solving in semantically rich domains: An example from engineering thermodynamics. *Cognitive Science*, 1, 192 - 215.
8. Gable, D. (Ed) (1989). What research says to the science teacher (Vol. 5): Problem

- solving. Washington, D. C.: National Science Teachers Association.
9. Gallagher, J. J. (1991). Interpretive research in science education. NARST Monograph, no. 4. Manhattan, Kansas: National Association for Research in Science Teaching.
 10. Helgeson, S. L. (1989). Problem solving in middle level science. In D. Gable (Ed.) What research says to the science teacher (Vol. 5): Problem solving, (pp. 7-11). Washington, D. C.: National Science Teachers Association.
 11. Larkin, J. H., McDermott, L., Simon, D. P., & Simon, H. A. (1980). Expert and novice performance in solving physics problems. *Science*, 208, 1335-1342.
 12. Mayer, R. E. (1992). Thinking, problem solving, cognition (2nd ed.). New York: W. H. Freeman.
 13. McKnight, B. J. (1989). Problem solving in elementary school science. In D. Gable (Ed.) What research says to the science teacher (Vol. 5): Problem solving, (pp. 7-11). Washington, D. C.: National Science Teachers Association.

(1998년 6월 1일 접수)