

초등학생의 비례와 보상 논리 문제 해결 과정에서 나타난 특성

김영준 · 김선자* · 최미화** · 최병순*
(인천강화교육청) · (한국교원대학교*) · (영등포여고**)

Characteristics of Elementary School Students' Problem Solving Process related to Proportional or Compensational Reasoning

Kim Young-Jun · Kim Sun-Ja* · Choi Mee-Hwa** · Choi Byung-Soon*
(Incheon Ganghwa Office of Education) · (Korea National University of Education*) ·
(Youngdeungpo Girls High School**)

ABSTRACT

The purpose of this study was to analyze characteristics of problem solving process with proportional or compensational reasoning of the elementary school students. For this study, 8 5th grade students were selected and tested with Science Reasoning Task, information processing ability test and proportional and compensational reasoning tasks.

This study revealed that students in mid concrete stage could solve the proportionality task and easy compensation task. But, most of the students could not solve difficult compensation task. And as the students got higher score in information processing test, it took them less time to solve the problem. The types of strategy used in solving proportional and compensational problem were categorized as the factor of change, building-up and the cross-product. Most of the students failed in problem solving used incorrect schema knowledge, procedure knowledge and strategy knowledge. Many students tended to use proportionality strategy to solve the difficult compensation task. Result of this study suggested that various task included different structure and the same schema knowledge can be effective for the advancement of students' proportional and compensational reasoning ability.

Key words: proportionality, compensation, problem solving, elementary science education

I. 서 론

문제 해결이란 문제를 풀 때 발생하는 하나의 사고 과정이라는 입장에서, 주어진 초기 문제 상황에 관련이 있는 사실, 원리, 개념 등의 지식을 생각해내고 활용하여, 그들 상호간의 관계를 맺어주고 조직화함으로써 목표 상황에 이르는 일련의 체계적인 사고 과정이다(박학규와 권

재술, 1990). 많은 연구자들이 이러한 사고 과정을 좀 더 세분하여 여러 단계로 구분하고, 각 단계의 사고 내용들을 열거함으로써 일반적인 문제 해결 과정의 모형을 제안하였다(Polya, 1957; Larkin, 1978; Ashmore *et al.*, 1979; Mettes *et al.*, 1980; Mayer, 1983). 대부분 연구에서의 문제 해결 과정은 문제의 이해, 해결 방안의 검토 및 계획, 적용, 검토 단계를 거치는 것으로 나타났다.

*2004.3.1(접수) 2004.4.28(1심통과) 2004.7.23(최종통과)

**김선자(mook0401@chol.com)

과학교육의 궁극적 목표인 문제 해결력의 신장을 위해서는 학생들의 문제 해결 과정에 영향을 미치는 변인들을 알아내고, 그 결과를 수업 과정과 평가에 반영하는 것이 필요하다(홍미영, 1995). 따라서 실제로 학생들이 어떤 과정을 거쳐 문제를 해결하고, 문제 해결에 영향을 미치는 변인은 무엇이며, 학생들이 문제 해결에 실패하는 원인은 무엇인지 등에 대하여 구체적으로 조사해 볼 필요가 있다. 특히 수리적인 문제 해결 과정을 언어 지식, 의미 지식, 스키마 지식, 절차 지식, 전략 지식의 5가지 유형으로 분류한 Mayer(1983)의 모형에 근거한 분석은 문제 해결에 실패한 원인을 쉽게 찾을 수 있게 한다.

문제 해결에 영향을 미치는 변인에 관한 연구들은 논리적 사고력, 인지 양식 등의 문제 해결자 변인과 문제의 상황, 추리 단계, 정보량 등의 문제 변인의 측면으로 구분할 수 있다. 특히 문제 해결자 변인인 인지 수준과 정보 처리 유형이 문제 해결에 중요한 역할을 한다(노태희 등, 1996; 신애경과 최병순, 2000).

따라서, 이 연구에서는 학생들의 인지 수준 및 정보 처리 유형에 따른 문제 해결 정도와 문제 해결 과정에서 나타난 해결 전략 및 오류를 분석하여, 문제 해결력 향상을 위한 교수 학습 전략의 수립 및 프로그램 개발에 시사점을 찾고자 하였다. 특히 과학적 문제 해결력의 근간을 이루는 형식적 사고 요소 중에서 변인간의 정량적 관계를 다루어 수리적인 문제 해결 과정의 분석이 용이한 비례, 보상 논리를 중심으로 하였으며, 구체적인 연구 문제는 다음과 같다.

1. 학생들의 인지 수준 및 정보처리 유형에 따라 문제 해결 정도는 어떤 차이가 있는가?
2. 비례, 보상 문제 해결 과정에서 나타난 문제 해결 전략은 어떠한가?

3. 비례, 보상 문제 해결 과정에서의 오류에는 어떤 것이 있는가?

II. 연구 방법

1. 연구 대상

이 연구에서는 인지적 특성을 고려하여 대상을 표집하기 위하여 먼저 인천광역시 소재 초등학교 5학년 1개반 31명을 대상으로 인지 수준 및 정보 처리 유형 검사를 실시하였다. 검사 결과 인지 수준 및 정보 처리 유형에 따라 여섯 유형으로 나타났으며, 유형별 분포 비율에 따라 분석 대상 학생들을 표집하였다. 후기 구체적 조작기이면서 동시적 연속적 정보 처리 유형이 모두 중간 수준인 유형과 초기 구체적 조작기이면서 동시적 정보 처리 능력이 낮고, 연속적 정보 처리 능력이 높은 유형에 속하는 학생들의 비율이 다른 유형에 비해서 2배 정도 높게 나타나 각각 2명을 표집하고, 다른 유형에서는 각 1명씩 표집하여 모두 8명을 분석 대상으로 하였다. 연구 대상 학생들의 구체적인 인지적 특성은 Table 1과 같다. 대상 학생들의 인지 특성에 대해 살펴보면, 인지 수준이 높은 학생들은 대부분 중, 상위 동시적/연속적 정보 처리 유형에 속하고, 두 요소가 균형적으로 발달하였다. 반면 인지 수준이 낮은 학생들은 두 요소가 불균형적이었으며, 동시적 정보 처리 능력 또는 연속적 정보 처리 능력은 비교적 낮게 나타났다.

2. 인지 특성 검사

이 연구에서는 인지 특성에 따른 문제 해결의 특성을 살펴보기 위하여 사전에 인지 수준 및 정보 처리 능력에

Table 1. Cognitive characteristics of the subjects

Name	Hogi	Minhee	Beongmi	Songhee	Eunyoung	Ara	Garum	Bosuk
Information processing types	SI _H SU _H	SI _M SU _M	SI _M SU _M	SI _H SU _H	SI _L SU _H	SI _H SU _L	SI _L SU _H	SI _L SU _H
Cognitive level	Mature concrete stage (2B)		Mid concrete stage (2A/2B)		Early concrete stage (2A)			

SI_H : High level in simultaneous information processing types(SI_M: Mid level, SI_L: Low level).
 SU_H : High level in successive information processing types(SU_M: Mid level, SU_L: Low level).

대한 검사를 실시하였다. 인지 수준을 측정하기 위해서는 Science Reasoning Task(SRT) II, 정보 처리 능력을 검사하기 위해서는 동시적/연속적 정보 처리 유형 검사를 이용하였다.

1) SRTII

SRT II 검사지는 학생들의 과학적 이해력과 조작적 인지 수준과의 관계를 측정하기 위해 영국 Chelsea 대학의 CSMS(The Concepts in Secondary Mathematics and Science)팀에 의해 1973년~1978년에 개발된 검사도구이다. 검사지의 신뢰도는 Kuder-Richardson의 신뢰도 계수로 $r = 0.78$ 이며, 검사-재검사 상관 관계는 $r = 0.84$ 로 나타났다(Wylam & Shayer, 1978). 질량, 부피 보존, 밀도 개념에 관한 시범 실험을 보고 검사지의 질문에 답하도록 되어 있으며, 소요시간은 약 50분이다. 검사 결과는 인지 수준 결정 방법에 따라 후기 전조작기 이하(1B-), 전기 구체적 조작기(2A), 중기 구체적 조작기(2A/2B), 후기 구체적 조작기(2B), 과도기(2B/3A), 전기 형식적 조작기 이상(3A+)의 6단계로 구분이 가능하다.

2) 동시적/연속적 정보 처리 검사

이 연구에서는 Fitzgerald가 개발한 것을 신애경과 최병순(2000)이 표집 대상에 맞게 수정·보완한 동시적 정보 처리 검사지와 연속적 정보 처리 검사지를 사용하였다. 동시적 정보 처리 검사는 형태 인식 검사(matrix test A)와 180° 회전 형태 인식 검사(matrix test B)이며, 연속적 정보 처리 검사는 수 기억 검사, 단어 기억 검사, 문자

기억 검사이다.

각 정보 처리 검사 결과에서 수준에 따라 집단을 구분하는 것은 상대적으로 각 정보 처리 검사의 평균점을 중심으로 상위 30%, 하위 30%를 각각 상위 집단, 하위 집단으로, 중간 점수에 속하는 40%를 중간 집단으로 학습자의 유형을 분류하였다.

3. 문제 해결 과정 분석

이 연구에서는 단순히 검사지만을 이용하여 문제 해결 과정을 분석하기 보다는 비례 보상 논리가 적용되는 활동을 7주 동안 진행함과 동시에 분석하고자 하는 검사지를 병행하여 학생들이 자신의 문제 해결 과정을 글이나 언어로 최대한 표현하는데 다소 익숙해지도록 하였다. 이를 위해서 영국의 Chelsea 대학의 Michael Shayer와 Philip Adey에 의해 진행되고 있는 CASE 프로젝트의 교수-학습 자료인 Thinking Science를 번역한 '생각하는 과학'의 비례, 보상 논리 활동을 적용하였고, '생각하는 과학'의 비례, 보상 활동의 교수 학습 자료는 과학 교육 전문가 2인과 협의를 통해 타당도를 점검하고 수정, 보완하였다. 각 활동에는 교사용 안내서와 OHP 자료, 학생용 활동지와 활동카드, 실험 자료가 포함되어 있다. 각 활동의 개요는 Table 2와 같다.

수업은 '생각하는 과학' 프로그램에 대해 1년 이상의 연수를 한 담임 교사에 의해 특별 활동 시간에 이루어졌다. 학생들은 4인으로 구성되는 조별 실험 및 토론을 통하여 활동을 하고, 각 활동의 후반부에는 연계 활동으로

Table 2. Proportionality and compensation activity of Thinking Science progr

Reasoning patterns	Activity	Content
Proportionality	Gears and ratios	Ratios in various context
	Pictures and microscopes	Scaled up and scaled down
	The wheelbarrow	Relationship between load and lift
Compensation	Trunks and twigs	Relationship between branch thickness and distance from ground
	The balance beam	Relationship between masses and distances from the center
	Current, length and thickness	Relationship between the length, thickness of a wire and current
	Volts, amps and watts	Relationship between voltage, current(amps) and power(watts)

제시된 활동 카드를 개별적으로 해결하게 된다.

이 연구에서 문제 해결 과정 분석을 위한 문항은 학생들이 검사에 대한 부담감을 줄이고 각 활동과 자연스럽게 연결될 수 있도록 비례, 보상 활동에 포함된 활동 카드 중에서 문제 해결의 특성을 분명히 잘 보여줄 수 있는 것으로 선정하였다. 검사 문항은 지레 끝에서 추 사이의 거리와 들어올리는 힘의 비례 관계에 대한 것과 전력, 전압, 전류 사이의 비례와 보상 관계에 대한 것으로 구성되어 있으며 문항 해결을 위해 요구되는 인지 수준(Adey et al., 1995)에 따라서 곤란도가 낮은 것과 높은 것으로 구분하였다.

4. 자료 분석

문제 해결 과정을 나타내는 문제지와 질문지의 기록, 사후 면담의 녹음 내용을 응답 원안으로 하여 Mayer (1983)의 문제 해결 과정 모형에 근거하여 비례 보상 문

제 해결 과정을 분석하였고, 문제 해결 시간을 측정하여 기록하였다. 이 연구에서 문제 해결 과정의 분석틀로 사용한 Mayer의 모형을 간단히 나타내면 Table 3과 같다. 문제 해결 과정 분석은 과학 교육 전문가 2인과 과학 교육을 전공하는 대학원생 2인이 수행하였으며, 분석자 간 일치도가 0.9 이하일 경우에는 협의 결과에 따랐다.

III. 연구 결과 및 논의

1. 인지적 특성에 따른 문제 해결 정도

인지적 특성에 따른 문제 해결 정도를 살펴보기 위하여 문항별 문제 해결 여부와 해결에 걸린 시간을 Table 4에 나타내었다. 평균 해결 시간은 네 문항 중에서 두 문항 이상 문제 해결에 성공한 학생들에 대해서만 나타내었다.

인지 수준과 문제 해결 성취도에 대해서 살펴보면, 인

Table 3. Mayer's problem solving process model

Stages	Knowledge	Samples
Analysis	Linguistics	Motorboat is Noun
	Semantic	120 minutes is 2 hours
	Schema	This is problem relevant to flow of water "Distance = Velocity×Time"
Solving	Procedure	Addition and algebraical rule
	Strategy	Establishment of subordinate object Distance1(go up to an upper stream)=Distance2(go down to the downstream)

Table 4. Problem solving achievement and time spent in solving problem

Name	Hogi	Minhee	Beongmi	Songhee	Eunyoung	Ara	Garum	Bosuk	
Cognitive level	2B	2B	2B	2A/2B	2A/2B	2A/2B	2A	2A	
Information processing types	SI _H SU _H	SI _M SU _M	SI _M SU _M	SI _H SU _H	SI _L SU _H	SI _H SU _L	SI _L SU _H	SI _L SU _H	
Items	Proportionality(L)	S(16)	S(24)	S(15)	S(18)	S(45)	F	S(24)	S(23)
	Proportionality(H)	S(35)	S(64)	S(34)	S(39)	S(71)	F	S(85)	F
	Compensation(L)	S(19)	S(30)	S(35)	S(20)	S(56)	S(28)	F	F
	Compensation(H)	S(36)	F	S(40)	F	F	F	F	S(79)
Average solving time	24	39	31	26	57	NA	55	51	

S: correct answer F: incorrect answer, (): solving time(second)
(L): Low difficulty, (H): High difficulty, NA: Non-Applicable

지 수준이 구체적 조작 중기 이상이면 곤란도가 낮거나 높은 비례 문제와 곤란도가 낮은 보상 문제를 해결할 수 있으나, 곤란도가 높은 보상 문제는 해결에 실패하는 경향을 보였다.

비례 문제에서는 대부분의 학생들이 문제 해결에 성공하였으며, 인지 수준이 중기 구체적 조작기인 아라는 비례 문제 모두를 해결하지 못했고, 초기 구체적 조작기인 보석은 곤란도가 높은 비례 문제를 해결하지 못했다. 보상 문제에서는 곤란도가 낮은 경우에는 대부분의 학생들이 문제를 해결하였고, 초기 구체적 조작기인 가름과 보석이 해결에 실패하였다. 이에 반해 곤란도가 높은 보상 문제는 대부분의 학생들이 해결하지 못하였고, 후기 구체적 조작기인 병미와 호기, 그리고 초기 구체적 조작기인 보석이 문제 해결에 성공하였다.

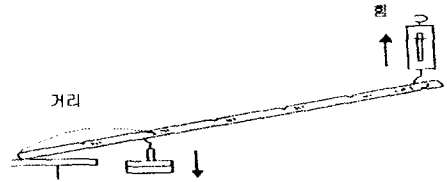
문제 해결 시간에 대해서 인지 수준과 정보 처리 유형에 따라 살펴본 결과 정보 처리 능력이 높을수록 문제 해결 시간이 짧아지는 경향을 보였다. 송희는 민희나 병미보다 인지 수준이 다소 낮지만 정보처리 능력이 높아서 훨씬 더 문제 해결을 빨리 했으며, 이는 인지 수준이 높고, 정보 처리 능력이 높은 호기와 거의 같은 수준이다. 따라서 문제를 해결할 수 있는 전략을 지닌 학생들의 경우 정보 처리 능력이 높으면 문제 해결을 빨리 할 수 있음을 알 수 있다.

인지 수준별 문제 해결 정도에서의 특징은 곤란도가 높은 보상 문제에서 인지 수준이 높은 민희는 문제 해결에 실패하였고, 인지 수준이 낮은 보석은 문제 해결에 성공하였다는 점이다. 즉 인지 수준외의 다른 요인이 보상 논리 문제 해결에 영향을 주고 있음을 알 수 있었고, 이에 대한 분석을 위해 학생들의 문제 해결 전략과 오류에 대해서 살펴보고 논의하였다.

2. 비례, 보상 문제 해결 전략

학생들이 비례, 보상 문제를 해결하기 위해 사용하는 문제 해결 전략을 살펴본 결과 변화 요인(the factor of change), building-up과 같은 직관적인 전략과 곱하기 연산(the cross-product algorithm)을 주로 사용하였다. 구체적인 사례를 살펴보기 위하여 곤란도가 낮은 비례 문제와 보상 문제의 내용과 해결 전략의 응답 예시를 아래에 나타내었다.

1) 곤란도가 낮은 비례 문제



지레 끝에서 추 사이의 거리와 들어올리는데 필요한 힘이 어떠한 관계가 있는지 알아보기 위하여 20cm가 표시되어 있는 곳에 900g의 추를 달고 용수철 저울로 들어올리는데 필요한 힘을 측정하였더니 아래와 같았다. 거리가 70cm일 때 들어올리는 힘은 얼마일까?

거리(cm)	10	20	40	70
힘(g)	150	300	600	?

위와 같은 곤란도가 낮은 비례 문제에 대해서 비례 논리 전략으로 변화 요인 전략, Building-up, 곱하기 연산을 사용하였다. 각각의 전략에 대한 학생들의 응답 사례는 다음과 같다.

① 변화 요인 전략

한 변인의 양이 몇 배 증가했으면 다른 변인의 양은 같은 배수만큼 증가한다는 것을 이용하여 문제를 해결하는 전략이다. 곤란도가 낮은 비례 문제에서의 해결 사례를 살펴보면, “거리가 7배이므로 힘도 7배가 된다. 그래서, 150 7=1050g 이다”라고 해결한 경우이다. 변화 요인 전략은 Graeber (1993)가 비례 논리에서 제시한 the factor of change strategy와 같은 전략이다. Post 등(1988)은 “비례 상황에서 한 변수가 주어진 비율 쌍에서 어떤 것의 x배라면, 이 변수는 그것의 동치 비율 쌍에서 나머지 x배한 것과 같은 것이다”로 설명하면서 변화 요인 전략을 제시하기도 하였다.

② Building up 전략

주어진 문제가 해결될 때까지 계속해서 변인을 변화시키는 전략이다. 이 문제에서는 “10cm마다 150g씩 늘어나므로 50이면 750g, 60이면 900g, 70이면 1050g이다”라고 문제를 해결하는 경우이다. 이 전략은 Hart (1983), Lamon (1993)의 연구에서도 보고된 바 있으며, Graeber (1993)는 Building-up 전략과 변화요인 전략이 직관적인 비형식적 전략이므로 교사들은 먼저 비형식적인 전략을 먼저 제시하고, 더욱 복잡한 문제 해결에 응용되고 확장

시켜서 형식적 전략으로 전환을 할 수 있도록 지도해야 함을 제안하였다.

③ 곱하기 연산

곱하기 연산은 흔히 말하는 비례식에 의하여 문제를 해결하는 전략이다. 이 문제에서는 “10: 150=70: X 이므로 10 X = 150 70, 따라서 X = 1050이다” 라고 문제를 해결하는 경우이다. 이 전략은 Lawson (1978), Graeber (1993) 등의 비례 논리 관련 연구에서 the cross-product strategy로 보고된 바 있다.

2) 곤란도가 낮은 보상 문제

보상 문제에서도 앞서 살펴본 비례 문제와 원리가 유사한 변화 요인 전략과 곱하기 연산이 사용되었다. 다음은 곤란도가 낮은 보상 문제의 내용과 전략별 응답 사례이다.

0.5A, 120V용 전구와 똑같은 전력을 얻으려면 240V용 전구의 전류는 얼마가 되어야 하는가?

① 변화 요인 전략

변화 요인 전략은 비례 논리에서는 “한 변인의 양이 몇 배 증가했으면 다른 변인의 양도 같은 배수만큼 증가한다”는 것이지만, 보상 논리에서는 한 변인이 증가하면, 다른 변인은 감소한다는 것이다. 이 문제에서는 “전력이 같아야 하므로 전압이 두 배이면 전류는 반으로 줄어든다”라는 스키마 지식을 적용하여 문제를 해결하는 경우이다.

이 전략은 Reinisch (1985)도 양팔 저울을 이용한 반비례 과제에서의 모형을 만드는 연구에서도 ‘특별한 예에서 연산의 역과 추상’이라는 범주로 보고된 바 있다.

② 곱하기 연산

보상 논리 문제에서 곱하기 연산은 흔히 말하는 반비례식, 항등식으로 해결하는 전략이다. 비례 논리에서의 곱하기 연산과 달리 반비례식을 이용하기 보다는 일정하게 유지되는 상수가 포함된 문제임을 감안하여 항등식 전략을 주로 이용하였다. 예를 들어, 이 문제에서 “전력이 같아야 하고, 전력은 전압 전류이므로, 120 0.5 = 240 X가 되어야 한다. 따라서 X = 0.25 이다”라고 문제를 해결하는 경우이다. 이 전략 역시 Reinisch (1985)의 반비례 과제 관련 연구에서도 보고된 바 있다.

3. 비례, 보상 문제 해결 과정에서의 오류

학생들의 비례, 보상 논리 문제 해결 과정에서의 오류를 살펴보기 위하여 문제 해결 과정 및 오답의 원인을 검사지를 통하여 분석하고, 분석에 미비한 점이 있을 때는 사후 면담을 하였다. Table 5는 문제 해결에 실패한 학생들의 문제 해결 과정에서의 주요 오류 분석 결과이다.

비례, 보상 문제 해결 과정 분석 결과 나타난 주요 오류는 스키마 지식, 절차 지식, 전략 지식에서 나타났으며, 동일한 스키마 지식이 적용되는 문제에서 곤란도가 높아지면 스키마 지식에 있어서 오류가 나타났다. 또한 문제 해결 전략의 측면에서는 보상 문제를 비례 문제 해결 전

Table 5. Knowledge domain which error was shown in problem solving process

Items \ Knowledge	Schema	Procedure	Strategy
Proportionality(L)		Ara(2A/2B)	
Proportionality(H)	Ara(2A/2B)	Ara(2A/2B) Bosuk(2A)	Ara(2A/2B)
Compensation(L)		Garum(2A) Bosuk(2A)	
Compensation(H)	Minhee(2B) Songhee(2A/2B) Eunyoung(2A/2B) Ara(2A/2B) Garum(2A)	Minhee(2B) Songhee(2A/2B) Eunyoung(2A/2B) Ara(2A/2B) Garum(2A)	Minhee(2B) Songhee(2A/2B) Eunyoung(2A/2B) Ara(2A/2B) Garum(2A)

(L): Low difficulty, (H): High difficulty

략으로 해결하려는 Einstellung 현상(Sweller, 1989)이 나타났다.

구체적으로 살펴보면, 곤란도가 낮은 비례 문제에서 문제 해결에 실패한 아라의 경우 계산상의 오류가 원인이었으며, 교사와의 상호 작용에 의해 계산이 잘못되었음을 인정하고 곧바로 정답을 구하였다. 곤란도가 높은 비례 문제에서에서 문제 해결에 실패한 아라는 문제를 잘못 파악하여 스키마 지식, 절차 지식, 전략 지식에서 오류가 나타났고, 보석은 절차 지식인 계산 과정의 오류로 인하여 비를 제대로 나타내지 못하였다. 곤란도가 낮은 보상 문제에서에서 가름과 보석이 문제 해결에 실패한 것은 절차 지식의 부족으로 인한 계산 오류가 주요 원인이었다. 곤란도가 높은 보상 문항은 다른 문제에 비해서 문제 해결에 실패한 학생이 더 많았다. 동일한 스키마 지식을 요구하는 문제에서도 문제의 곤란도가 높아지면 적용되는 스키마 지식이 다르게 나타났다. 학생들은 이미 '생각하는 과학' 활동에서 전력, 전압, 전류의 관계에 대해서 실험과 조별 토론을 통해 학습하였다. 그러나 문제 해결력 검사지에 포함된 두 보상 문제가 같은 스키마 지식을 요구하는 문항임에도 불구하고, 곤란도가 높은 문항에서 스키마 지식의 잘못된 사용으로 문제 해결에 실패하였다. 즉 학생들은 동일한 스키마 지식이 적용되는 문항의 경우에도 곤란도가 높은 문항에서는 문제 이해 단계에서 스키마 지식의 오류를 보였다.

문제 해결 전략에서의 주요 오류는 곤란도가 높은 보상 문제를 보상 전략보다는 비례 전략으로 해결하려는 것이었으며, 이는 인지 수준이나 정보 처리 유형에 구애받지 않고 나타났다. Table 6은 문항별 문제 해결 전략을 정리한 것이다.

Table에서 보면 곤란도가 높은 보상 문제에서 민희, 송

희, 은영, 아라, 가름은 비례 문제 해결 전략을 이용하여 문제를 해결하려고 하여 문제 해결에 실패하였다. 이는 스키마 지식의 결여로 기존에 사용했던 비례 전략을 적용하려는 Einstellung 현상이며, 보상 문제의 구조를 기존의 비례 문제 구조와 같거나 비슷한 것으로 보고 기존의 비례 문제의 해결 전략으로 해결하려고 하였기 때문이다. 이는 일부 학생들이 적극적인 문제 표상과 스키마 지식의 형성에 의한 해결보다는 기존 해결 전략을 단순하게 적용하려는 것으로, 곤란도가 높은 문제의 해결에 인지 부담을 느껴 더 이상의 사고를 기피하기 때문으로 볼 수 있다.

앞서 연구 결과 1에서 논의한 바와 같이 민희는 인지 수준이 높지만, 비례 문제 구조 및 해결 전략에 친숙하기 때문에 비례 전략으로 보상 문제를 해결하려다 실패하였고, 다른 학생들에 비해 인지 수준이 낮은 보석은 비례 문제 구조 및 해결 전략에 다소 익숙하지 않아 곤란도가 높은 비례 문제 해결에도 실패하였지만, 보상 문제는 해결할 수 있었다. 즉 보상 논리가 제대로 형성되지 않은 학생들에게는 비례 문제의 구조 및 해결 전략에 대한 친숙 정도가 Einstellung 현상을 유도하여 보상 문제 해결에 영향을 줄 수 있다는 것을 알 수 있었다.

IV. 결론 및 제언

이 연구에서는 '생각하는 과학'의 비례, 보상 활동을 하면서 문제를 해결하는 과정을 Mayer의 모형에 근거하여 분석하여, 인지 수준 및 정보 처리 유형에 따른 문제 해결의 특징을 알아보았다. 또한 비례, 보상 문제를 해결하는 과정에서의 문제 해결 전략 및 오류를 분석하였다. 연구 결과에 의하면 학생들의 문제 해결 능력은 그들의 인지 수준과 밀접한 관련이 있었다. 즉, 인지 수준이 구체

Table 6. Problem solving strategy by items

Cognitive characteristics	Hogi	Minhee	Beongmi	Songhee	Eunyoung	Ara	Garum	Bosuk	
	2B	2B	2B	2A/2B	2A/2B	2A/2B	2A	2A	
	SI _H SU _H	SI _M SU _M	SI _M SU _M	SI _H SU _H	SI _L SU _H	SI _H SU _L	SI _L SU _H	SI _L SU _H	
items	Proportionality(L)	P	P	P	P	P	P [*]	P	P
	Proportionality(H)	P	P	P	P	P	P [*]	P	P [*]
	Compensation(L)	C	C	C	C	C	C	C [*]	C [*]
	Compensation(H)	C	P [*]	C	P [*]	P [*]	P [*]	P [*]	C

(L): Low difficulty, (H): High difficulty
 P: Proportionality reasoning strategy(P^{*}: fail in problem solving).
 C: Compensation reasoning strategy(C^{*}: fail in problem solving).

적 조작 중기 이상이면 곤란도가 낮거나 높은 비례 문제와 곤란도가 낮은 보상 문제를 해결할 수 있었으며, 학생들의 인지 수준과 차이가 큰 곤란도가 높은 보상 문제에서는 대부분의 학생들이 문제 해결에 실패하였으며, 비례 문제 구조 및 해결 전략에 대한 친숙 정도가 보상 문제 해결 성취도에 영향을 주기도 하였다. 문제 해결 시간에 대해서 살펴본 결과 정보 처리 능력이 높을수록 문제 해결 시간이 짧아지는 경향을 보여, 문제를 해결할 수 있는 인지 수준의 학생인 경우에 정보 처리 능력이 높을수록 문제 해결 시간을 단축시킬 수 있음을 알 수 있었다.

비례, 보상 문제를 해결하기 위해 사용하는 전략을 알아본 결과 변화 요인(the factor of change), building-up과 같은 직관적인 전략과 곱하기 연산(the cross-product algorithm)과 같은 형식적인 전략을 주로 사용하였다. 비례, 보상 문제를 해결 과정에서 나타나는 주요 오류는 스키마 지식, 절차 지식, 전략 지식에서 나타났다. 특히 동일한 스키마 지식이 적용되는 보상 문항의 경우 문제의 구조나 곤란도가 달라지면 적용하는 스키마 지식이 달라져 문제 해결에 실패하는 경우가 많았다. 해결 전략 측면에서 보면 학생들이 곤란도가 높은 보상 문제를 해결할 때, 비례 전략을 사용하는 오류를 범하는 경우가 많았다.

이상의 연구 결과로 볼 때, 인지 수준 및 정보 처리 능력을 향상시켜서 문제 해결력을 향상시킬 수 있는 프로그램 개발이 필요하다. 또한, 문제에 포함된 스키마 지식을 적용하지 않고, 문제의 구조를 선불리 판단하여 보상 문제를 비례 전략으로 해결하려는 경향은 곤란도가 높아지면 더 뚜렷히 나타났다. 따라서, 학생들이 특히 수리적인 과학 문제를 해결하는 경우에 수학 교과에서의 해결 상황과는 달리 문제에 포함된 스키마 지식의 이해를 강조해야 하며, 특히, 동일한 스키마 지식이 적용되면서 구조나 곤란도가 다양화된 문제를 제공할 필요가 있다.

국문 요약

이 연구에서는 초등학교 5학년을 대상으로 인지 수준 및 정보 처리 유형에 따른 비례, 보상 문제 해결 정도를 알아보고, 문제 해결 전략 및 해결 과정에서의 주요 오류를 분석하였다. 연구 결과 인지 수준이 구체적 조작 중기 이상이면 곤란도가 낮거나 높은 비례 문제와 곤란도가 낮은 보상 문제를 해결할 수 있었고, 곤란도가 높은 보상 문

제는 대부분의 학생들이 문제 해결에 실패하였다. 정보 처리 능력이 높을수록 문제 해결 시간이 짧아지는 경향을 보였다. 비례, 보상 문제를 해결할 때는 변화 요인, building-up과 같은 직관적인 전략과 곱하기 연산과 같은 형식적인 전략을 주로 사용하였다. 비례, 보상 문제를 해결 과정에서 나타나는 주요 오류는 스키마 지식, 절차 지식, 전략 지식에서 나타났으며, 스키마 지식의 결여로 기존에 사용했던 비례 전략을 적용하려는 Einstellung 현상이 뚜렷하였다. 특히 동일한 스키마 지식이 적용되는 문항에서 곤란도가 높아지면 스키마 지식의 오류로 인하여 문제 해결에 실패하는 경우가 많았다. 따라서, 비례, 보상 논리 문제 해결력의 향상을 위해서는 동일한 스키마 지식이 요구되는 구조와 곤란도가 다양한 문제 해결 경험의 제공이 필요할 것이다.

참고 문헌

- 노태희, 전경문, 한인옥, 김창민(1996). 학생의 인지 발달 수준과 문제의 상황에 따른 화학문제 해결 행동 비교. 한국과학교육학회지, 16(4), 389-400.
- 박학규, 권재술(1990). 물리 문제 해결에 관한 초심자의 프로토콜 분석 연구. 한국과학교육학회지, 10(1), 57-64.
- 홍미영(1995). 문제와 문제 해결자의 특성이 화학 문제 해결에 미치는 영향. 서울대학교 박사학위 논문
- 신애경, 최병순(2000). 초등학교 학생의 정보 처리 유형과 인지 양식에 따른 과학 문제 해결. 한국과학교육학회지, 20(1), 155-165.
- Adey, P., Shayer, M., & Yates, C.(1995). *Thinking science*. London: Thomas Nelson and Sons Ltd.
- Ashmore, A. D., Frazer, M. J., & Casey, R. J.(1979). Problem Solving and Problem Solving Networks in Chemistry. *Journal of Chemical Education*, 56(6), 377-379.
- Graeber, O. A.(1993). Proportional reasoning and achievement in high school chemistry. *School Science and Mathematics*, 87(1), 25-32.
- Hart, K. M.(1983). I know what I believe; Do I believe what I know? *Journal for Research in Mathematics Education*, 20, 95-102.
- Lamon, S. J.(1993). *Ratio and proportion: Children's*

- cognitive and metacognitive processes*. In T. P. Carpenter, E. Fennema & T. A. Romberg (Eds.), *Rational numbers: An integration of research*. Lawrence Erlbaum Associate.
- Larkin(1978). *Skilled problem solving in physics: A hierarchical planning model*. Group in science and mathematics education, University of California.
- Lawson, A. E.(1978). The development and validation of a classroom test of formal reasoning. *Journal of Research in Science Teaching*, 15(1), 11-24.
- Mayer, R. E(1983). *Thinking, Problem Solving Abilities*, Cognition. New York: Freeman Company.
- Mettes, C. T. C. W., Pilot, A., Roossink, H. J., & Kramers-Pals, H.(1980). Teaching and learning problem-solving in science. Part I: *Journal of Chemical Education*, 57(12), 882-885.
- Polya, G.(1957). *How to Solve It*. Garden City, N.Y.: Doubleday Anchor.
- Post, T. R., Behr, M. J., & Lesh, R.(1988). *Proportionality and the development of prealgebra understandings*. In A. F. Coxford & A. P. Shulte (Eds.), *The ideas of algebra, K-12* (1988 Year book). Reston, VA: The National Council of Teachers of Mathematics, Inc.
- Reinisch, A. M. F.(1985). The acquisition of inverse proportionality: A training experiment. *Journal of Research in Mathematics Education*, 16, 133-140.
- Sweller, J.(1989). Cognitive technology: Some procedures for facilitating learning and problem solving in mathematics and science. *Journal of Educational Psychology*, 81(4), 457-466.
- Wylam, H., & Shayer, M.(1978). *CSMS Science Reasoning Tasks*. Berks: NFER Publishing Company, pp. 6-28.