

‘생각하는 과학’ 프로그램의 보상 논리 활동에 의한 보상적 사고 수준 변화

김선자 · 이상권 · 박종윤¹ · 감성주 · 최병순
(한국교원대학교) · ¹(이화여자대학교)

The Development of the Compensational Thinking Through the Compensation Activities of ‘Thinking Science’ Program

Kim, Sun-Ja · Lee, Sang-Kwon · Park, Jong-Yoon¹ · Kang, Seong-Joo · Choi, Byung-Soon
(Korea National University of Education) · ¹(Ewha Womans University)

ABSTRACT

The purpose of this study was to analyze the development of the compensational thinking by the compensation activities of ‘Thinking Science’ program. The 138 students were sampled in elementary schools and were divided into two groups, the experimental group of 74 students and the control group of 64 students. Both the compensation activities of the ‘Thinking Science’ program and a regular science curriculum were implemented to the experimental group, while only a regular science curriculum to the control group. Both experimental and control group were pre-tested with Science Reasoning Task II and compensational thinking test I and were post-tested with compensational thinking test II. This study revealed that the types of strategies used in compensation problem solving were categorized as illogical explanation, rule automation, proportionality, explanation in qualitative terms, additive quantification, inverse proportionality and were related to the context of the items. It was found that compensation activities of the ‘Thinking Science’ program were effective on the development of the compensational thinking.

Key words: elementary science education, compensation, thinking science, CASE

I. 서 론

형식적 사고를 구성하는 논리적 사고력은 과학적 사고의 근간을 이룬다(한중하, 1978). 국내의 선행 연

구에 의하면 초등학교 6학년 학생과 중학생의 경우에 형식적 사고 수준에 있는 학생의 비율이 극히 낮은 것으로 나타났다(최병순, 허명, 1987; 김현재, 장경래, 1991; 최재환 등, 1993). 한편 처치 프로그램에 의해

^{*}2002.4.24(접수) 2002.6.27(1차 수정) 2002.8.20(최종 통과)

^{**}본 연구는 한국과학재단 특정기초연구(R01-1999-000-00335-0) 지원으로 수행되었음.

논리적 사고력이 향상되었고(조성남, 2000; 김영식, 1999), 형식적 사고를 구성하는 여러 논리적 사고력의 향상을 통해 인지 수준의 발달이 촉진될 수 있다는 연구 결과가 보고된 바 있다(Shayer & Adey, 1992a, 1992b, 1993; Shayer, 1996; 김현재, 장경례, 1991; 김영준, 2001). 그러나 지금까지 문제나 문제 해결자 변인에 따른 논리적 사고력과 관련된 연구들은 전반적인 문제 해결력에 초점을 두었을 뿐 세분화된 문제 해결 수준이나 문제 해결 전략의 변화는 살펴보지 않았다.

Longeot(1978)과 Shayer 등(1988)은 지체(decalage) 현상에 대한 세밀한 분석을 통해 피아제의 인지 발달 단계를 보다 세분화하고자 하였고, Jones 등(1999)과 김언주 등(1992)은 논리 문제 해결 전략과 세분화된 문제 해결 수준에 대해서 보고한 바 있다. 실제로 학생들이 형식적 사고를 할 수 있다는 것은 형식적 논리 요소가 포함된 문제를 해결하여 정답을 구하였다는 것이 아니라, 비록 다른 부수적인 문제로 정답을 구하지 못하였다 하더라도 해결 전략이 형식적이어야 한다는 것을 의미한다. 따라서 학생들의 논리적 사고력 향상을 위한 처치 프로그램의 효과를 분석할 때 문제 해결력과 더불어 해결 전략을 바탕으로 세분화된 문제 해결 수준의 변화를 살펴본다면, 처치 프로그램이 사고 수준의 향상에 미치는 영향과 논리적 사고력의 향상을 위한 프로그램의 개발과 관련된 구체적인 시사점을 찾을 수 있게 될 것이다.

형식적 사고를 구성하는 논리 요소에는 보존, 변인 통제, 비례, 보상, 조합, 확률, 상관 등이 있다. 이 중에서 특히 보상(compensation) 논리는 두 변인 사이의 관련성에 대한 논리로 두 차원을 동시에 고려해야 하는 이차원적 조작이다. 구체적 조작 단계에서는 정성적인 보상적 사고를 하고, 형식적 조작 단계에서는 좀더 정량적인 보상적 사고를 하게 되어 수식으로 보상 관계를 나타낼 수 있고 정확한 변인값을 구할 수 있게 된다. 특히 형식적 사고 요소 중에서 보존, 비례, 평형 등의 과학적 추론 활동에 필수적으로 수반되는 사고이다(Adey & Shayer, 1994). 그러나 지금까지는 주로 보존 개념과 보상 논리와의 관계를 살펴보거나(Silverman & Rose, 1982) 비례와 관련된 연구

에서 정량적 보상 관계인 반비례 문제를 포함하는 연구(Barda, 1987; 정행기, 2000)가 주로 이루어졌을 뿐 정성적, 정량적 보상적 사고라는 독립된 과학적 추론 유형으로 이루어진 연구는 거의 없는 실정이다.

따라서 이 연구에서는 형식 논리 요소 중에서 보상 논리 문제 해결 전략과 사고 수준을 분석하고, '생각하는 과학'의 보상 논리 활동이 보상적 사고 수준 향상에 어떤 효과가 있는지 알아보았다.

이 연구에서 밝히고자 한 구체적인 연구 문제는 다음과 같다.

1. 초등학교 6학년 학생들의 보상 논리 문제 해결 전략과 사고 수준은 어떠한가?
2. 보상 논리 문제 해결 전략은 문제 상황에 따라 어떤 차이가 있는가?
3. '생각하는 과학' 프로그램의 보상 논리 활동 후 보상적 사고 수준의 변화는 성별, 인지 수준, 문제 상황별로 어떤 차이가 있는가?

II. 연구 방법

1. 연구 대상

이 연구에서는 실험 집단으로 청주시 소재 초등학교 6학년 2개반, 비교 집단으로 대전광역시 소재 초등학교 6학년 2개반을 선정하였다. 실험 집단 소속 학교는 학급당 학생수 40명 내외의 42개 학급으로 구성되어 있고, 학교 주변 환경은 상가, 아파트단지, 주택단지가 복합되어 있다. 또한 학부모의 직업은 상업, 회사원, 공장 근로자 등이었다. 비교 집단은 학교 규모, 주변 환경 및 부모의 사회 경제적 지위가 실험 집단과 유사한 집단으로 선정하였다. 연구 대상의 구체적인 구성에 대해 Table 1에 정리하였다.

Table 1. Numbers of the subjects in experimental and control group

Group	Male	Female	Total	Average age(years)
Experimental	40	34	74	11.7
Control	32	32	64	11.7

2. '생각하는 과학' 프로그램

이 연구에서 처치한 '생각하는 과학'은 영국의 Chelsea 대학(현재의 King's College)의 Michael Shayer에 의해 시작되고, 현재 Philip Adey 연구진에 의해 진행되고 있는 인지 가속 프로그램의 개발과 적용에 관한 연구인 CASE(Cognitive Acceleration through Science Education) 프로젝트(최미화, 최병순, 1998)의 'Thinking Science' 프로그램 내용을 기초로 하였다. 'Thinking Science' 프로그램을 번역하여 과학 교육 전문가 3인과 초등과학교육이나 화학교육을 전공하는 대학원생 6인, 현직 교사 6인의 협의를 통해 타당도를 점검하고 수정, 보완하였다. 각 활동에는 교사용 안내서, OHP 자료, 학생용 활동지, 활동카드 그리고 실험 자료가 포함되어 있다.

이 연구에서는 '생각하는 과학' 프로그램 중에서 보상 논리에 해당되는 활동을 적용하였고, 투입에 앞서 '생각하는 과학'의 교수 전략에 익숙해지고 교수 학습 전개에 기초가 되는 용어의 소개 등이 포함된 오리엔테이션 활동으로 변인 활동 2가지를 투입하였다. 각 활동에 소요되는 시간은 70분 정도이며, 활동의 개요는 Table 2와 같다.

실험 집단의 처치는 교사 경력이 5년이고, 6개월 이상 '생각하는 과학'의 프로그램 수업 경험이 있는 연구자에 의해 각 학급의 재량 활동 시간에 이루어졌

고, 비교 집단은 교사 경력이 4~5년인 담임 교사에 의해 학교 교육과정이 운영되었다.

3. 검사 도구

1) SRT II

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, 1980). 이 연구에서는 우리 나라 초등학교 6학년 학생의 인지 수준이 대부분 구체적 조작기이고, 형식적 조작기는 5% 미만이라는 선행 연구들(최병순과 허명, 1987; 김현재와 장경례, 1991; 최재환 등 1993)에 따라 인지 수준 범위가 후기 전조작기에서 전기 형식적 조작기까지인 SRT II를 사용하였다.

SRT II 검사지는 질량, 부피 보존, 밀도 개념에 관한 14개 문항으로 구성되어 있다. 검사지는 문항 내용에 따라 시범 실험을 보여주고, 학생들은 시범 실험을 보고 검사지의 질문에 답하도록 되어 있으며, 소요시간은 약 50분이다.

SRT II 검사의 평가는 SRT에 대한 사전 연수, 검

Table 2. Intervention activities implemented in the experimental group

Reasoning patterns	Activity	Content
Variables	What varies?	Concepts of variable, value, relationship
	Two variables	Input variable and outcome variable
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)

사, 평가 경험이 있는 연구자 및 대학원생 5인의 채점 및 검토를 거치고, 채점 결과가 상이한 부분에 대해서는 과학 교육 전문가 2인과의 협의를 통해 결정하였다. SRT II 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 조작기이상(3A+)의 6단계로 구분하였고, 인지 수준 단계에 따라 2~7점까지 점수를 부여하였다.

2) 보상 논리 검사 I, II

학생들의 보상적 사고의 수준을 파악하고 프로그램을 처치 후 그 변화를 살펴보기 위하여 보상 논리 검사를 실시하였다. 보상 논리 검사 I은 GALT(Road-rangka et al., 1983)에서 비례 논리에 관한 저울의 균형 잡기 문제 2문항을 수정한 것과 선행 연구들을 참고로 6문항을 개발하여 총 8문항으로 구성하였다. 각 문항은 같은 상황에서 정수비와 비정수비 문제를 포함하며, 답을 쓰고 이유를 자세하게 설명하도록 구성되었다. 검사문항은 과학교육 전문가 3인과 과학교육을 전공하는 대학원생 6인, 현직 교사 3인의 조언을 통해 수정 보완하였고, 초등학교 2개반 80명의 학생에게 투입하여 결과를 분석해 최종 완성하였다.

보상 논리 검사 II는 보상 논리 검사 I을 반복해서 검사하는데서 발생할 수 있는 문항 친숙성에 대한 변인을 최소화하고자 검사지에 포함된 그림이나 변인값 등을 다소 수정하였다. 각 집단 담임 교사의 감독하에 실시하였으며, 검사 시간은 40분이었다. 투입 결과 보상 논리 검사지 I과 II의 신뢰도는 Cronbach's alpha 값으로 각각 0.76, 0.84로 나타났다. 보상 논리

검사의 구체적인 문항 내용은 Table 3에 나타내었다. 보상 논리 검사 결과는 답에 대한 설명 유형을 분석한 후 보상적 사고의 수준에 따라 1~4점의 점수를 부여하였다.

III. 연구 결과 및 논의

1. 사전 검사 결과

1) 인지 수준

학생들의 인지 수준을 분석하기 위하여 SRT II 검사를 실시한 결과 실험 집단과 비교 집단에서 과도기(2B/3A)가 각각 36.0%, 37.5%, 중기 구체적 조작기(2A/2B)가 20.0%, 29.7%, 후기 구체적 조작기(2B)가 29.3%, 17.2%, 전기 구체적 조작기(2A)가 8.0%, 7.8%로 나타나, 연구 대상 학생들 대부분이 구체적 조작기였으며, 전기 형식적 조작기 이상(3A+)은 5.3%, 3.1%, 후기 전조작기 이하(1B-)는 1.3%, 4.7%로 나타났다. Fig. 1은 연구 대상 학생들의 인지 수준별 분포를 나타낸 것이다.

실험 집단과 비교 집단의 인지 수준 분포에서의 차이가 통계적으로 유의미한지 알아보기 위한 t 검증 결과를 Table 4에 나타내었다. 실험 집단과 비교 집단의 평균 인지 수준은 각각 5.07, 4.84로 실험 집단이 다소 높게 나타났으나, 통계적으로 유의미한 차이는 아니었다.

2) 보상 논리 문제 해결 전략과 보상적 사고 수준
보상 논리에 관한 사전 검사에서 학생들이 응답한 문제 해결 전략과 선행 연구(Ferrandez-Reinisch,

Table 3. Contents of the compensational thinking test

Number	Content
1, 2	Relationship between masses and distances from the center in the seesaw
3, 4	Relationship between time and speed in the same distance
5, 6	Relationship between surface area and depth in the same volume of water
7, 8	Relationship between masses and distances from the center in the balance beam

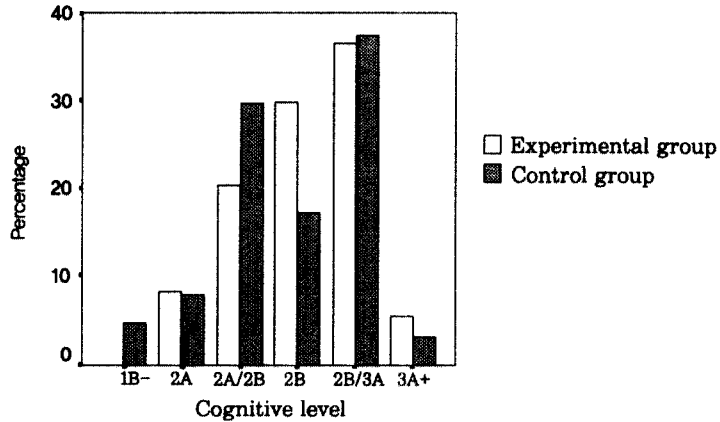


Fig. 1. The distribution of the students at each cognitive level in pretest

Table 4. The t-test results of mean scores of the cognitive level

Group	n	M*	SD	t	p
Experimental	74	5.07	1.11	1.121	0.264
Control	64	4.84	1.24		

* Maximum score: 7.0

1985; 김언주 등, 1992)를 바탕으로 학생들의 보상적 사고 수준을 분석하여, 정성적 설명(1수준), 가감산 논리(2수준), 반비례 논리(정수비 문항-3수준, 비정수비 문항-4수준)로 구분하고, 각 수준에 대하여 1~4 점의 점수를 부여하였다. 보상 논리 검사지에는 정수비 문항, 비정수비 문항이 각각 4문항씩 포함되어 있으므로 보상적 사고 수준의 평균은 35점이 만점이 된다.

보상 논리 검사지는 답을 쓰고 답을 구한 과정을 설명하도록 구성되었기 때문에 답과 설명을 모두 고려하여 문제 해결 전략을 분석하였다. 학생들의 실제 사고 과정을 검사지에 글로 표현하는 것이 한계가 있기 때문에 문제 해결 유형을 판단하는데 있어서 오류가 발생할 수 있다. 따라서 답은 맞는데 설명이 옳지 못하거나, 답은 틀렸는데 설명은 옳은 경우 등 답과 문제 해결 과정의 관계가 모호할 때는 반드시 면담을 하여 학생들의 실제 문제 해결 과정을 최대한 정확히 분석하려고 노력하였다. Table 5는 두 집단의 사전 보

상 논리 검사에서 학생들의 문제 해결 유형을 분류하여 정리한 것이다.

사전 보상 논리 검사 결과에서 나타난 평균 수준을 0.5 급간으로 하여 7단계로 분류한 보상적 사고 수준별 분포를 Fig. 2에 나타내었다. 실험 집단과 비교 집단에서 각각 0.5~1.0미만 36.0%, 37.5%, 0~0.5미만 29.3%, 29.7%, 1.0~1.5미만 14.7%, 18.8%, 1.5~2.0미만 10.7, 7.8% 순으로 나타나 두 집단의 수준별 분포가 비슷한 경향을 보였다.

집단, 성별, 인지수준에 따른 사전 보상적 사고 수준을 비교하기 위하여 사전 검사 결과를 Table 6에 나타내었다. 실험 집단과 비교 집단의 보상적 사고 수준은 각각 1.01, 0.97로 나타나 두 집단 모두 정성적 수준에서의 보상적 사고를 하는 것으로 나타났다. 성별과 인지 수준에 따른 보상적 사고 수준을 살펴보면 실험 집단에서는 여학생이, 비교 집단에서는 남학생이 보상적 사고 수준이 높았고, 실험 집단에서는 전기 형식적 조작기 이상, 비교 집단에서는 과도기가 가장 높게 나타났다. 이러한 차이가 통계적으로 유의미한 것인지 알아보기 위하여 변량 분석한 결과 집단별, 성별, 인지수준별 사전 보상적 사고 수준은 통계적으로 유의미한 차이는 아니었다. 따라서 연구 대상 학생들은 보상적 사고 수준에 대해서 동질 집단인 것으로 확인되었다.

Table 5. Types of strategies in compensation problem solving and the level of compensational thinking

Strategy	Example	Level
① Illogical explanation	Illogical or insufficient operation and description	0
② Rule automation	Rule automation or algorithm without understanding the relationships among variables	
③ Proportionality	The cross product algorithm One goes up, the other also goes up	
④ Explanation in qualitative terms	The farther away it is, the less weight there should be	
⑤ Additive quantification	I must come two compartments closer because I have got more weight by two grams	
⑥ ^{a)} Inverse proportionality I	On your side there is twice more weight, so you must put the weight half in distance	
⑦ ^{b)} Inverse proportionality II	Here I have 1.5 times more weight, so you must put 1.5 times distance farther.	

^{a)} The unit-rate is integral, ^{b)} The unit-rate is not integral

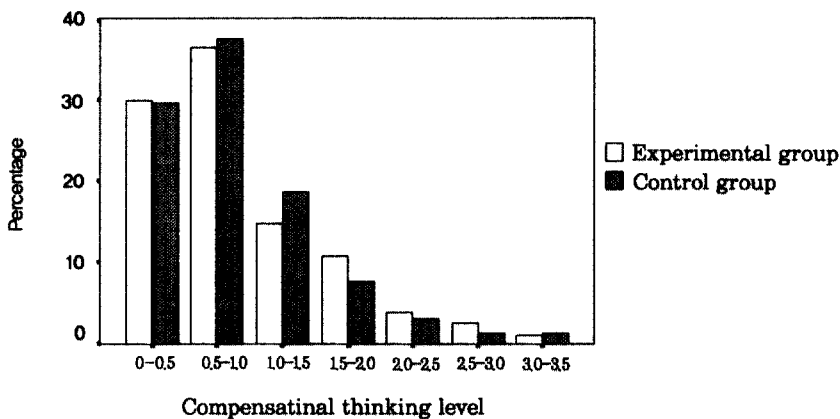


Fig. 2. The distribution of compensational thinking level of the students in the pre-test

2. 문제 상황에 따른 해결 전략

사전 보상 논리 검사에서의 문항 및 해결 전략에 따른 응답율을 분석하여 Table 7에 나타내었다. 분석 결과, 같은 논리적 사고를 요구하지만 문제의 상황에 따라 해결 전략이 달라짐을 알 수 있었다. 익숙한 구조를 가진 문제 상황에서는 기존의 문제 해결 전략을

이용하여 문제를 해결하는 Einstellung 현상이 두드러지게 나타났다(Sweller, 1989). Table 7에서 알아 보면, 사전 검사에서 문항별 해결 전략에 대한 응답을 분포는 실험 집단과 비교 집단이 비슷한 경향을 보였다. 시소 문항과 저울 문항에서는 정성적 설명, 가감산 논리 전략이 높은 비율로 나타났고, 속력 문항과 부피 보존 문항에서는 비논리적 설명, 기계적

Table 6. Descriptive statistics for compensational thinking level of the students in the pre-test

Group	Cognitive level Gender	1B-		2A		2A/2B		2B		2B/3A		3A+		Total	
		n	M*	n	M	n	M	n	M	n	M	n	M	n	M
		Experimental	Male			6	0.63	6	1.27	12	0.66	13	0.76	3	2.38
Female						9	1.26	10	0.99	14	1.04	1	1.38	34	1.13
Total				6	0.63	15	1.27	22	0.81	27	0.90	4	2.13	74	1.01
Control	Male	1	1.00	2	0.94	9	1.01	5	0.58	14	1.21	1	1.38	32	1.04
	Female	2	1.38	3	0.29	10	0.81	6	1.17	10	0.99	1	0.50	32	0.91
	Total	3	1.25	5	0.55	19	0.91	11	0.90	24	1.12	2	0.94	64	0.97

* Maximum score: 3.5

Table 7. The percentage of response in the pre-test by strategies and items

Group	Item Strategy	Seesaw		Speed		Volume conservation		Balance beam	
		1 ^{a)}	2 ^{b)}	3 ^{a)}	4 ^{b)}	5 ^{a)}	6 ^{b)}	7 ^{a)}	8 ^{b)}
		Experimental	①	8.0	5.3	21.3	22.7	9.3	10.7
②			1.3	40.0	38.7	49.3	45.3	1.3	1.3
③			1.3	6.7	6.7	2.7	5.3	1.3	1.3
④	34.7		44.0	1.3	1.3	1.3	9.3	29.3	32.0
⑤	45.3		38.7			1.3	4.0	49.3	37.3
⑥ ^{a)}	4.0			21.3	4.0	26.7		4.0	
⑦ ^{b)}			1.3		14.7		10.7		2.7
⑧	8.0		8.0	9.3	12.0	9.3	14.7	5.3	17.3
Control	①	15.6	15.6	42.2	48.4	20.3	26.6	9.4	15.6
	②			23.4	14.1	35.9	20.3		
	③			12.5	10.9	4.7	7.8		
	④	20.3	29.7	3.1	3.1	3.1	10.9	25.0	26.6
	⑤	51.6	43.8			1.6	14.1	53.1	43.8
	⑥ ^{a)}	6.3		10.9	1.6	23.4		4.7	
	⑦ ^{b)}		4.7		7.8		7.8		4.7
	⑧		6.3			10.9	12.5	7.8	9.4

^{a)} The unit-rate is integral, ^{b)} The unit-rate is not integral

- ① Illogical explanation ② Rule automation ③ Proportionality ④ Explanation in qualitative terms
 ⑤ Additive quantification ⑥^{a)} Inverse proportionality I ⑦^{b)} Inverse proportionality II
 ⑧ No response or the others

수리 계산 전략이 높은 비율로 나타났다. 반비례 논리를 적용한 경우는 다른 문항에 비해 속력 문항과 부피 보존 문항에서 높게 나타났다.

속력 문항과 부피 보존 문항은 공통적으로 초등학교 수학 교육과정에서 정량적 해결에 익숙한 문제 상황이다. 따라서 학생들은 변인들간의 보상적 관계에 대한 이해없이 단순히 암기한 공식이나 주어진 숫자를 임의로 대입하여 기계적으로 계산하거나, 직관적이고 비논리적인 연산으로 답을 구하는 경향이 아주 두드러지게 나타났다. 또한 비례 문제에 익숙한 학생들은 기존의 비례 전략을 이용하여 보상 논리 문제를 해결하는 사례가 다른 문항에 비해서 더 높게 나타났다.

초등학교 수학과 교육과정을 살펴보면, 4학년 1학기에 분수와 비율, 5학년 2학기에 비와 비율, 6학년 1학기에 비례 문제 해결 및 비례식에 대해서 제시하고 있으므로 6학년 학생들은 비례 문제 구조에 익숙하다. 따라서 반비례 논리를 적용해 문제를 해결한 경험이 없는 학생들은 문제의 상황이 비례 문제와 유사한 경우 익숙한 비례 전략을 이용하여 문제를 해결하는 것으로 생각된다.

변인들간의 보상적 관계에 대한 이해나 정량적 해결 전략이 익숙한 문제 상황인 부피 보존 문항에서는 반비례 논리를 적용하여 문제를 해결한 학생의 비율이 다른 문항에 비해서 훨씬 높게 나타났다. 이는 사전 인지 수준 검사 결과 학생들이 대부분 부피 보존 개념이 획득된 단계이므로 용기의 밑넓이와 높이에 따른 보상적 관계를 잘 설명할 수 있었으며, 해당 학생들 중 10명의 학생을 대상으로 면담한 결과 6학년 1학기 수학 교과에서 원기둥의 부피 공식을 학습하였기 때문에 정량적 해결에 도움을 준 것으로 나타났다.

변인들간의 보상적 관계에 대해 이해하고 있으나 정량적 해결 전략이 익숙하지 않은 문제 상황인 시소 문항과 저울 문항의 경우에는 정성적인 설명이나 가감산 논리를 적용한 학생의 비율이 높게 나타났다. 이는 학생들이 시소 놀이 경험으로 인하여 변인들간의 정성적인 보상적 관계는 잘 이해하지만, 초등학교 과학과 교육과정에서 비례 논리와 관련된 학습 주제들은 대부분 수학적인 계산없이 관찰 결과를 바탕으로 직관적이고 정성적으로 문제를 해결하기 때문에

정량적인 문제 해결 전략 특히 반비례 논리 적용은 익숙하지 않기 때문인 것으로 생각된다.

사후 보상 논리 검사에서의 문항 및 해결 전략에 따른 응답율을 분석하여 Table 8에 나타내었다. 사후 검사 결과 비교 집단에서는 문항에 따라 해결 전략에 대한 응답율의 분포가 사전 검사와 거의 비슷한 경향을 보인 반면 실험 집단에서는 반비례 논리 전략이 현저히 높아졌다. 그러나 속력 문항과 부피 보존 문항에서 비논리적 설명, 비례 논리의 사용이 여전히 많았고, 시소 문항과 저울 문항에서도 정성적 설명, 가감산 논리의 사용이 많이 나타나 문제 상황에 따른 응답율의 분포가 사후 검사에서도 비슷한 경향임을 알 수 있었다.

3. 보상적 사고 수준의 변화

'생각하는 과학'의 보상 논리 활동이 보상적 사고 수준의 향상에 효과가 있는지 알아보기 위하여 집단별, 성별, 인지수준별로 사후 보상적 사고 수준을 비교하여 Table 9에 나타내었다. 각 집단의 사고 수준을 사전 결과(Table 6)와 비교해보면 실험 집단은 1.01에서 1.67, 비교 집단은 0.97에서 1.09로 향상되었으며, 실험 집단의 향상 정도가 높았다. 성별로 실험 집단에서는 여학생이, 비교 집단에서는 남학생이 높게 나타나 사전 결과와 비슷한 경향을 보였다. 인지 수준에 따라서는 두 집단에서 모두 전기 형식적 조작기 이상(3A+)의 수준에서 가장 높게 나타났다. 두 집단에서의 사후 보상적 사고 수준의 차이가 통계적으로 유의미한지 알아보기 위하여 처치, 성별, 인지 수준별 변량 분석 결과를 Table 10에 나타내었다. 분석 결과 실험 집단의 보상적 사고 수준이 통계적으로 유의미하게 향상되었으며, 처치, 성별, 인지수준에 의한 상호 작용 효과는 나타나지 않았다. 따라서 보상 논리 활동은 인지수준이나 성별에 상관없이 보상적 사고 수준 향상에 효과적임을 알 수 있었다.

인지 수준에 따른 프로그램의 효과를 좀더 세밀하게 분석하고자 중기 구체적 조작기 이하(2A/2B-), 후기 구체적 조작기(2B), 과도기 이상(2B/3A+)으로 인지 수준을 구분하여 두 집단의 사전, 사후 보상적

Table 8. The percentage of response in the post-test by strategies and items

Group	Strategy \ Item	Seesaw		Speed		Volume conservation		Balance beam	
		1 ^{a)}	2 ^{b)}	3 ^{a)}	4 ^{b)}	5 ^{a)}	6 ^{b)}	7 ^{a)}	8 ^{b)}
Experimental	①	1.3	4.0	9.3	29.3	22.7	25.3	6.7	9.3
	②	1.3	1.3	4.0	2.7	10.7	10.7	2.7	2.7
	③			17.3	10.7	8.0	2.7		1.3
	④	36.0	46.7	17.3	16.0	6.7	9.3	26.7	34.7
	⑤	37.3	29.3	4.0	2.7	1.3	6.7	29.3	21.3
	⑥ ^{a)}	24.0		45.3		41.3	4.0	32.0	
	⑦ ^{b)}		18.7		29.3		33.3		26.7
	⑧ ^{c)}			2.7	9.3	9.3	8.0		4.0
Control	①	3.1	4.7	20.3	37.5	29.7	35.9	14.1	20.3
	②	1.6	1.6	14.1	12.5	25.0	25.0	1.6	1.6
	③			29.7	18.8	12.5	10.9		1.6
	④	42.2	45.3	3.1	10.9	3.1	6.3	18.8	34.4
	⑤	46.9	40.6	1.6		3.1	4.7	50.0	25.0
	⑥ ^{a)}	6.3		26.6		18.8		14.1	1.6
	⑦ ^{b)}		6.3		9.4		12.5		12.5
	⑧ ^{c)}		1.6	4.7	10.9	7.8		1.6	3.1

^{a)} The unit-rate is integral, ^{b)} The unit-rate is not integral

① Illogical explanation ② Rule automation ③ Proportionality ④ Explanation in qualitative terms

⑤ Additive quantification ⑥^{a)} Inverse proportionality I ⑦^{b)} Inverse proportionality II

⑧ No response or the others

Table 9. Descriptive statistics for compensational thinking level of the students in the post-test

Group	Cognitive level	1B-		2A		2A/2B		2B		2B/3A		3A+		Total	
		n	M*	n	M	n	M	n	M	n	M	n	M	n	M
Experimental	Male			6	1.27	6	1.48	12	1.56	13	1.61	3	2.21	40	1.57
	Female					9	1.90	10	1.48	14	1.70	1	3.13	34	1.78
	Total			6	1.27	15	1.73	22	1.52	27	1.65	4	2.44	74	1.67
Control	Male	1	0.75	2	0.94	9	1.24	5	0.88	14	1.12	1	2.00	32	1.12
	Female	2	1.06	3	0.63	10	1.18	6	0.65	10	1.39	1	0.63	32	1.07
	Total	3	0.96	5	0.75	19	1.20	11	0.75	24	1.23	2	1.31	64	1.09

* Maximum score: 3.5

Table 10. Three-way ANOVA results of the mean score of compensational thinking level in the post-test

Source	SS	df	MS	F	p
Intervention	7.705	1	7.705	11.935	0.001
Intervention × Gender	0.695	1	0.695	0.077	0.301
Intervention × Cognitive level	7.993E-04	1	7.993E-04	0.001	0.972
Intervention × Gender × Cognitive level	0.873	1	0.873	1.353	0.247

Table 11. The t-test results of the mean scores of compensational thinking level in the pre-test by cognitive level

Cognitive level	Group	n	M*	SD	t	p	
pre-test	2A/2B-	experimental	21	1.08	0.58	1.059	0.295
		control	27	0.88	0.72		
	2B	experimental	22	0.81	0.66	0.408	0.686
		control	11	0.90	0.45		
2B/3A+	experimental	31	1.06	0.75	0.239	0.812	
	control	26	1.11	0.66			

* Maximum score: 3.5

Table 12. The t-test results of the mean scores of compensational thinking level in the post-test by cognitive level

Cognitive level	Group	n	M*	SD	t	p	
post-test	2A/2B-	experimental	21	1.60	0.85	2.177	0.035
		control	27	1.09	0.77		
	2B	experimental	22	1.52	0.87	2.867	0.007
		control	11	0.75	0.25		
2B/3A+	experimental	31	1.75	0.84	2.317	0.024	
	control	26	1.24	0.84			

* Maximum score: 3.5

사고 수준을 t 검증하였다. Table 11을 살펴보면 사전에는 인지 수준별로 각 집단간에 유의미한 차이는 없었다. 사후 보상적 사고 수준에 대해서는 실험 집단의 모든 인지 수준 학생들이 통계적으로 유의미하게 향상되었다(Table 12). 따라서 대부분이 구체적 조작기인 실험 집단 학생들에게 '생각하는 과학'의 보상 논리 활동은 보상적 사고 수준을 향상시키는데

효과적이었음을 알 수 있었다.

사후 보상적 사고 수준의 변화가 문항의 상황에 따라 차이가 있는지 알아보기 위하여 문항별로 사전, 사후의 보상적 사고 수준에 대하여 t 검증한 결과를 Table 13에 제시하였다. 분석 결과 모든 문항에서 실험 집단의 보상적 사고 수준의 향상 정도가 비교 집단보다 높게 나타났다. t 검증 결과에 따르면 실험 집

Table 13. The t-test results of mean scores of compensational thinking level by items

	Items	M*(SD)		t	p	
		Experimental (n=74)	Control (n=64)			
Pre-test	Seesaw	1a)	1.37(0.80)	1.42(0.91)	0.335	0.738
		2b)	1.27(0.78)	1.36(0.98)	0.610	0.543
	Speed	3a)	0.65(1.24)	0.36(0.95)	1.584	0.115
		4b)	0.76(1.57)	0.41(1.18)	1.516	0.132
	Volume of conservation	5a)	0.84(1.34)	0.77(1.28)	0.488	0.626
		6b)	0.60(1.27)	0.70(1.20)	0.333	0.739
	Balance beam	7a)	1.40(0.82)	1.45(0.83)	0.377	0.707
		8b)	1.17(0.94)	1.33(1.01)	0.938	0.350
Post-test	Seesaw	1a)	1.83(0.83)	1.55(0.69)	1.552	0.034**
		2b)	1.67(0.86)	1.09(0.75)	1.612	0.109
	Speed	3a)	1.61(1.35)	0.86(1.33)	3.296	0.001**
		4b)	1.39(1.75)	0.48(1.18)	3.599	0.000**
	Volume of conservation	5a)	1.72(1.85)	0.66(1.36)	3.898	0.000**
		6b)	1.33(1.45)	0.66(1.20)	3.019	0.003**
	Balance beam	7a)	1.81(01.02)	1.61(0.940)	1.218	0.225
		8b)	1.84(1.45)	1.41(1.28)	1.852	0.066

* Maximum score: 3.5 ** p<.05

^{a)} The unit-rate is integral, ^{b)} The unit-rate is not integral

단에서 시소(정수비), 속력, 부피 보존 문항이 다른 문항에 비해서 통계적으로 유의미하게 향상되었다. 같은 보상 논리를 요구하지만, 문제 상황에 따라 처치 효과가 다를 수 있다. 따라서 보상적 사고 수준을 향상시키기 위해서는 학생들에게 익숙한 문제 해결 전략이나 상황에 대한 자료를 바탕으로 다양한 활동을 경험하도록 처치 프로그램을 구성해야 함을 알 수 있었다.

IV. 결론 및 제언

이 연구에서는 초등학교 6학년 학생들의 보상 논리 문제 해결 전략 및 보상적 사고 수준은 어떠하며, CASE 프로젝트의 '생각하는 과학' 프로그램 중 보상 논리 활동이 학생들의 보상적 사고 수준의 변화에

어떤 효과가 있는지 알아보았다. 사전 인지 수준 및 보상적 사고 수준을 분석하여 집단의 동질성 여부를 확인하고, 사후에 처치의 효과를 분석하기 위해 문제 해결 전략의 변화 및 집단별, 성별, 인지 수준별로 보상적 사고의 수준의 변화를 알아보았다.

연구 결과에 의하면 초등학교 6학년 학생들의 보상 논리 문제 해결 전략은 비논리적 설명, 기계적 수리 계산, 비례 논리, 정성적 설명, 가감산 논리, 반비례 논리로 나타났다. 문제 해결 전략을 바탕으로 보상적 사고 수준을 비논리적 설명, 기계적 수리 계산 및 비례 논리 적용(0수준), 정성적 설명(1수준), 가감산 논리(2수준), 반비례 논리(정수비-3수준, 비정수비-4수준)로 분류할 수 있었다. 처치 전 두 집단의 평균적인 보상적 사고 수준은 실험 집단이 1.01, 비교 집단이 0.97로 연구 대상 학생들은 대부분 정성적 수준에서

의 보상적 사고를 하는 것으로 분석되었다.

같은 논리적 사고를 요구하는 문제를 주었을 때 학생들은 문제의 상황에 따라 익숙한 해결 전략을 적용하는 Einstellung 현상 보였다. 정량적 해결에 익숙한 문항에서는 변인들간의 보상적 관계에 대한 이해없이 기계적인 수리 계산, 비논리적인 설명의 비율이 높았고, 변인들의 관계에 대해 정성적으로 잘 이해하고 있는 문항에서는 정성적 설명이나 가감산 논리를 적용하는 경향이 강했으며, 정성적인 이해와 더불어 정량적 해결에 익숙한 문항에서는 반비례 논리의 비율이 높았다.

보상 논리 활동이 보상적 사고 수준의 향상에 미치는 효과를 알아본 결과 보상 프로그램을 처치한 실험 집단에서 보상적 사고 수준의 향상 정도가 통계적으로 유의미하게 높았다. 그러나 성별이나 인지 수준에 따른 상호 작용 효과는 나타나지 않았다.

이상의 연구 결과를 바탕으로 다음과 같은 제언을 하고자 한다.

첫째, 이 연구에서는 여러 형식 논리 요소 중에서 보상적 사고에 대해서만 살펴보았다. 형식적 사고를 구성하는 다른 논리 요소 즉 변인, 비례, 확률, 조합, 상관 등에 대해서도 문제 해결의 전략이 어떤 위계적 수준을 나타내는지에 대한 연구가 필요하다. 이를 위해 논리 요소의 특성을 반영한 다양한 논리 검사 도구를 개발하여 문제 변인에 따른 학생들의 문제 해결 전략을 바탕으로 사고 수준을 분석해야 할 것이다.

둘째, 형식적 조작을 능숙하게 하려면 형식적 논리 요소들이 모두 잘 발달되어야 하며, 논리 요소들은 별개로 발달하는 것이 아니라 서로 밀접한 관련성을 지니고 있다. 그러므로 각 논리적 사고 수준의 변화를 단편적으로 살펴본 연구들을 바탕으로 논리 요소들의 사고 수준의 변화가 서로 어떤 관련성이 있는지, 특정 논리 요소를 포함하는 처치 프로그램이 다른 논리 요소의 사고 수준에 어떤 영향을 주는지에 대한 연구가 필요할 것이다.

셋째, ‘생각하는 과학’ 프로그램은 형식적 조작의 도달이 목표이므로 인지 수준이 구체적 조작기인 실험 집단의 학생들에게 효과적이었다. 따라서 인지 가속 프로그램을 개발할 때는 반드시 인지 수준을 고려

하여야 하며, 인지 수준이 단계적으로 발달함을 고려할 때 전조작기에 적당한 프로그램도 개발되어야 할 것이다.

적 요

이 연구에서는 ‘생각하는 과학’ 프로그램의 보상 논리 활동에 의한 문제 해결 전략 및 사고 수준의 변화를 알아보려고 하였다. 초등학교 6학년 학생들을 대상으로 하여 사전 인지 수준 및 보상적 사고 수준에 따른 집단의 동질성을 확인하고, 보상 논리 문제 해결 전략 및 사고 수준을 분석하였으며, 보상 논리 활동 처치 후의 문제 해결 전략 및 사고 수준의 변화를 성별, 인지 수준별, 문제 상황별로 알아보았다.

연구 결과 보상 논리 문제 해결 전략으로 비논리적 설명, 기계적 수리 계산, 비례 논리, 정성적 설명, 가감산 논리, 반비례 논리로 나타났으며, 보상적 사고 수준을 분석한 결과 정성적 설명(1수준), 가감산 논리(2수준), 반비례 논리(정수비-3수준, 비정수비-4수준)로 나타났다. 또한 같은 논리적 사고를 요구하는 문제의 상황에 따라 익숙한 문제 해결 전략을 적용하는 Einstellung 현상을 볼 수 있었다. 사후 보상적 사고 수준의 변화를 살펴본 결과 실험 집단이 통계적으로 유의미하게 향상되었으며, 성별, 인지 수준별 상호 작용 효과는 나타나지 않았다.

참 고 문 헌

- 김영식(1999). 아동의 인지 수준에 따른 변인통제 능력의 형성과 특수전이 효과에 관한 연구. 한국교원대학교 석사 학위 논문.
- 김영준(2001). CASE 프로그램의 적용과정에서 아동의 인지수준과 아동-교사의 상호작용이 문제해결 결과 논리적 사고력에 미치는 영향. 한국교원대학교 박사 학위 논문.
- 김언주, 강영하, 최건수(1992). 인지발달과 교육. 양서원.
- 김현재, 장경례(1991). 인지가속자료 적용을 통한 논리적 사고의 지도 효과. 한국초등과학교육학회지.

- 10(2), 159-173.
- 정행기(2000). 비례 문제의 상황과 내용 친숙성에 따른 초등학생의 비례 논리 발달 조사. 한국교원대학교 석사 학위 논문.
- 조성남(2000). 비례논리 학습 프로그램에 의한 초등 학교 6학년 학생의 비례논리 형성 및 지속 효과. 한국교원대학교 석사 학위 논문.
- 최미화, 최병순(1998). CASE 프로젝트 고찰. 화학교육, 25(4), 228-232.
- 최병순, 허명(1987). 중학생들의 인지 수준과 과학 교과 내용과의 관계 분석. 한국과학교육학회지, 7(1), 19-32.
- 최재환, 이운환, 김애자(1993). 국민학교 아동의 지적 발달과 자연과 교과서 내용과의 비교. 한국초등교육학회지, 12(2), 127-144.
- 한중하(1978). 과학적 사고. 서울대학교 과학교육연구소. 과학교육연구논총, 3(2), 31-38.
- Adey, P., Shayer, M., & Yates, C.(1989). *Thinking science*. Macmillian Education LTD: London.
- Adey, P. & Shayer, M.(1994). *Really raising standards*. Routledge: London.
- Barda, V.(1987). Comparison of the development of ratioconcepts in two domains. *Science Education*, 71(4), 599-613.
- Ferrandez-Reinisch, A. M.(1985). The acquisition of inverse proportionality: A training experiment. *Journal of Research in Mathematics Education*, 16, 133-140.
- Jones, G. A., Langrall, C. W., Thornton, C. A., & Mogill, T. A.(1999). Student's probabilistic thinking in instruction. *Journal of Research in Mathematics Education*, 30(5), 487-519.
- Longeot, F.(1978). *Les tsandes operatoires de Piaget et les factures de l'intelligence*. Press Universitaires de Grenoble: Grenoble.
- Roadranga, V., Yeany, R. H., & Padilla, M. J.(1983). The construction and validation of Group Assessment of Logical Thinking (GALT). Paper presented at the Annual Meeting of the NARST.
- Shayer, M.(1996). *The long-term effects of cognitive acceleration on pupils' school achievement*. Center for the Advancement of Thinking, King's College: London.
- Shayer, M. & Adey, P.(1992a). Accelerating the development of formal thinking in middle and high school students II: Postproject effects on science achievement. *Journal of Research in Science Teaching*, 29(1), 81-92.
- Shayer, M. & Adey, P.(1992b). Accelerating the development of formal thinking in middle and high school students III: Testing the permanency of effects. *Journal of Research in Science Teaching*, 29(10), 1101-1115.
- Shayer, M. & Adey, P.(1993). Accelerating the development of formal thinking in middle and high school students IV: Three years after a two-year intervention. *Journal of Research in Science Teaching*, 30(4), 351-366.
- Shayer, M., Demetriou, A., & Pervez, M.(1988). The structure and scailing of concrete operational thought: Three studies in four countries. *Genetic, Social and General Psychological Monographs*, 114(3), 309-375
- Silverman, I. W. & Rose, A. P.(1982). Compensation and Conservation. *Psychological-Bulletin*, 91(1), 80-101
- 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 General Guide*. NFER Publishing Co, Chelsea College: London.