

물체의 자유낙하에 대한 아동의 정신모형 연구

이명자

(경북대학교 교육학과)

Children's Mental Models of the Free-fall of Objects

Myung-Ja Lee

(Department of Education, Kyungpook National University)

ABSTRACT

The purpose of this study was to identify children's mental models of the free-fall objects. This study examined children's prediction and observation about the free-fall of objects. The experimental procedure involved conducting interviews with first-, third-, fifth-, and seventh grade students. The interview had three phases: Prediction, explanation, and observation. During the prediction phase, the object pairs which varied on the dimensions of size, weight, shape, color were presented to students. The students were asked to predict what would happen if the objects were dropped simultaneously. During the explanation phase, the students were asked to explain how they arrived at their answers. During the observation phase, the students observed the free-fall of the object pairs and were asked to describe what they saw.

The results showed as follows. (1) Fifth- and seventh grade students made more correct predictions than first- and third grade students. (2) The conflict problems, object pairs involving the dimensions of size and weight, were the most difficult for students to accurately predict. (3) With regard to observations, there was a non-significant effect of grade, indicating equivalence in the number of correct observations made by first-, third-, fifth-, and seventh graders. (4) The conflict problems were the most difficult for students to correctly observe. (5) First- and third grade students showed a significant difference between prediction and observation about the free-fall of objects. However, no difference was found in the fifth- and seventh grade students.

Key words : mental models, children's thinking, misconceptions, conceptual change, free-fall

I. 서 론

아동들이 세계를 이해하는 방식은 과학적 방법이 나 학교에서 가르치는 내용과 일치하지 않고 갈등을 일으킬 때가 종종 있다. 아동 뿐만 아니라 성인들조

차도 종종 과학적 개념에 어긋나는 비과학적 사고를 지니고 있으며 심지어 정규수업에서 올바른 개념을 배운 후에도 기존의 잘못된 개념들을 버리지 못하고 부정확한 과학관, 세계관을 지속시킨다. 예컨대 물체의 운동에 대하여 정규 수업을 받기 전에 학생들은

*1998년 10월 20일 받음.

**이 논문은 1997년 한국학술진흥재단의 공모과제 연구비에 의하여 연구되었음.

이미 일상생활에서의 경험을 통해 오개념들을 벌써 가지고 있기 때문에 객관적이고 표준적인 과학개념들을 받아들이기 어렵다. Strike와 Posner(1985)는 학생들이 학습하는 것은 학생들이 교실에 가져오는 개념에 의존한다고 주장한다. 아동의 직관적인 이론은 새로운 개념을 학습하는데 중요한 역할을 한다고 본다. 과학학습은 학생들이 자신의 경험과 직관에 의해 형성된, 다양한 오개념을 교실에 끌고 오는 정도에 따라 그 성과가 달라질 수 있다. 과학교육의 성과가 높지 않은 이유의 하나가 학생들이 갖고 있는 그릇된 과학개념을 정확하게 진단하여 대처하지 못하기 때문이다. 이리하여 과학학습과 이해는 아동들에게 존재하고 있는 지식과 그러한 지식을 가르치는 것을 통합하는 것을 발견함으로써 촉진될 수 있다(Norman, 1983). 그렇지만 이때에 중요한 문제는 아동의 수업 전 과학적 이론이나 개념에 관하여 거의 알지 못한다는 것이며, 연구자들은 이러한 최초의 학습 단계를 좀 더 상세히 특징지우는 것과 마찬가지로 확인할 필요를 깨닫기 시작한다(Linn, 1986; McCloskey, 1983b). 따라서 학생들에게 존재하고 있는 지식 혹은 정신모형(mental model)이 어떤 것인지를 알아내어 이를 토대로 하여 과학수업을 조정한다면 학생들의 과학개념 형성을 촉진할 수 있을 것이다.

Ausubel(1968)은 유의미 학습(meaningful learning)의 중요성을 강조하며, 그 유형을 표상학습(representational learning), 명제학습(propositional learning), 그리고 개념학습(concept learning)으로 나누었다. 표상학습은 단일부호와 단어의 의미 그리고 그것들이 나타내는 피상적 속성을 말한다. 명제학습은 명제 또는 문장으로 결합된 단어들의 집합체로 표현된 관념의 의미이다.

개념학습은 단일한 일반적인 관념이 단일부호에 의하여 표현될 때에 일어난다. 개념학습은 표상학습과 다르게 개념의 준거속성(criteria attributes)이 기존의 인지구조에 결합되어 새로운 의미를 만들때에 일어난다. 또한 Ausubel(1968)은 학습자가 이미 알고 있는 것, 즉 자신에게 존재하는 지식구조와 관련지어 교재를 학습한다는 사실을 제시한 바 있다. 이러한 기존의 구조를 전개념(preconception)이라고

부르면서 전개념이 과학적 개념 및 원리의 학습과 기억을 방해한다는 점을 지적하였다. Piaget(1954)도 또한 사람들이 종종 과학적인 개념과 충돌하는 개념을 갖고 있음을 통찰한 바 있다.

공기저항(air resistance)이 떨어지는 물체(falling object)에 미치는 영향을 무시한다면 물체의 가속도는 전적으로 중력(gravity)에 기인한다고 할 수 있다. 이러한 경우의 운동을 자유낙하(free-fall)라고 한다(Keller, Gettys, & Skove, 1996). 역사적으로 물체의 자유낙하에 대한 아리스토텔레스적 관점, 즉 물체의 무게에 비례해서 무거운 물체는 가벼운 물체보다 더 빨리 떨어진다는 주장을 극복하는 데 많은 노력이 필요했으며 오늘날까지도 물리학을 배우는 학생들이 똑같은 실수 및 오개념과 씨름한다는 점에서 역사는 매년 되풀이되고 있다고 Dijksterhuis(1969)는 지적한 바 있다. 이는 학습자의 경험에 기초한 지식과 일상생활에서의 경험을 통해 확증하기 힘든 과학원리 및 이론간의 불일치 때문이라고 할 수 있다.

연구자들은 아동이 갖고 있는 그릇된 세계관을 오개념(misconception), 선개념, 직관적 개념(intuitive conception), 대안적 틀(alternate framework), 발달수준(developmental level) 등으로 불러왔다(McCloskey, 1983a; Ausubel, 1968; Linn, 1986; Watts, 1982; Mali & Howe, 1979). 용어가 갖고 있는 부정적인 의미나 용어상의 혼란을 피하고 보다 용통성을 부여하기 위하여 최근에는 정신모형이라는 용어를 사용하는 경향이 있다.

정신모형이란 비형식적이고 개인적인 이론에 토대를 둔 표상장치(representational device)로 정의된다(Neimark, 1987). 이러한 정신모형은 수업을 통하여 획득된 형식이론과 공존하며, 사람들의 경험을 통하여 형성된 비과학적인 이해양식이다. Norman(1983)에 의하면, 정신모형은 사람들이 실제로 머리 속에 가지고 있으며 그 사용을 이끄는 것이라 할 수 있다. 아동의 정신모형은 단단하게 자리잡아 있기 때문에 바꾸기가 매우 어려우며, 따라서 새로운 학습을 방해한다(Anderson & Smith, 1987). 예컨대 무거운 물체가 가벼운 물체보다 먼저 떨어질 것이라는 신념은 수업을 통해서도 쉽게 바뀌지 않으며 학습을 방

해한다.

그러므로 교사나 수업설계자는 수업이 이루어지기 전에 학생들이 나름대로 가지고 있는 정신모형을 확인해야만 한다. 즉, 효과적인 과학수업을 위해서는 학생들이 갖고 있는 현재의 부정확한 정신모형을 밝혀내고 이를 극복하는 방법과 내용을 구성해야 할 것이다.

Song, Jang 및 Pak(1996)은 한국학생을 대상으로 설문조사를 통하여 자유낙하운동에 대한 학생의 개념을 역사적 변천과정과 비교하여 학생의 개념과 그 개념의 역사적 변천과정 사이에 상당한 유사성과 함께 차이점이 존재한다고 보고하였다. 연구자가 지금까지 조사한 바에 의하면 물체의 자유낙하 개념에 대하여 예측하게 하고(한가지 물체의 차원에 대하여 3번 예측하게 하고), 그 다음으로 그 예측에 대하여 설명하게 하고 마지막으로 물체의 자유낙하를 직접 관찰하도록 하여 그 결과를 보고하도록 한 연구는 많지 않다. 또한 중력에 관한 선행연구는 아동의 추상적인 개념(이를테면, 지구의 표면과 지구의 중심)을 조사한 것이다.

본 연구는 중력과 자유낙하에 대한 여러 선행연구들을 토대로 하여 학생들이 중력과 자유낙하에 대한 정규적인 수업을 받기 이전에 자신의 경험과 직관을 바탕으로 형성하고 있는 부정확한 정신모형을 밝히며 여기에 발달적인 차이나 순서가 있는지를 알아보고자 하는 것이다. 크기, 무게, 모양, 색깔, 크기와 무게와의 상충이 다른 물체쌍들을 제시하여 어느 것이 먼저 떨어질 것인지 혹은 동시에 떨어질 것인지를 예측하게 함으로써 문제유형에 따라 학생들이 자유낙하에 대한 어떤 정신모형을 형성하고 있는지, 학년간에 어떤 차이가 있는지를 살펴본다. 한편 어떤 학생들은 자신의 정신모형을 토대로 자신이 예측한 대로 관찰한 바를 해석하려는 경향이 있어서 실제로 두 물체가 동시에 떨어져도 무거운 것이 먼저 떨어졌다고 보고하는 학생들이 있다(Champagne, Gunstone, & Klopfer, 1983). 따라서 학생의 예측과 설명 후에 실제로 자유낙하를 보이고 그 결과를 어떻게 관찰, 해석하는 가도 알아보고자 한다.

그러나 본 연구는 물리학적 측면에서 전문적으로

로 물체의 자유낙하를 밝혀 보려는 것이 아니라 물체의 자유낙하를 통하여 아동의 정신모형 또는 정신과정을 밝히는 것이다. 여기에는 선행연구의 결과(예컨대, White, 1990)를 반복 검증하는 것도 있고, 그리고 물체의 자유낙하에 대한 개념형성에 있어서 학년간에 차이가 있는지 즉 발달적 차이를 새롭게 분석하는 것도 있다. 구체적으로 본 연구에서는 학생들의 4집단(초등학교 1학년, 3학년, 5학년, 중학교 1학년)이 비교되며, 그리고 물체의 차원(예를 들면, 크기, 무게, 모양, 색깔, 크기와 무게와의 상충)이 물체의 자유낙하에 어떻게 영향을 미치는가도 비교된다.

본 연구의 목적은 다음과 같다. 첫째, 물체의 자유낙하 개념에 대하여 예측과 그 이유 설명 그리고 자유낙하를 직접 관찰하고 그 결과를 보고하는 것이다. 둘째, 물체의 차원이 물체의 자유낙하의 개념형성에 어떠한 영향을 미치는 가를 분석하는 것이다. 셋째, 물체의 자유낙하에 대한 개념형성에 있어서 발달적인 차이를 분석하는 것이다. 즉 Piaget의 발달단계의 구체적 조작기에 해당하는 아동전기와 형식적 조작기에 해당하는 아동후기의 차이를 분석하는 것이다.

II. 연구방법

1. 피험자

학년에 따른 발달적 차이를 알아보기 위하여 초등학교 1, 3, 5학년과 중학교 1학년생을 무선적으로 표집하여 80명을 연구대상으로 한다. 각 학년에서 남녀의 수는 같게 한다. 초등학교 1학년 학생의 연령은 6세, 초등학교 3학년 학생의 연령은 8세, 초등학교 5학년 학생의 연령은 10세이며, 그리고 중학교 1학년 학생의 연령은 12세이다. 피험자들 중에 물체의 자유낙하에 대하여 실험을 해 본 경험이 있거나 물체의 자유낙하라는 말과 설명을 들어 본 일이 있는 사람은 한 사람도 없었다.

2. 실험설계

독립변인은 학년수준(초등학교 1, 3, 5학년과 중학

교 1학년)과 물체의 차원(크기, 무게, 모양, 색깔, 크기와 무게와의 상충)이다.

종속변인은 물체의 자유낙하에 대한 예측과 관찰의 점수이다. 그러나 본 연구에서는 요인 설계를 하지 않고, 학년간의 비교를 위해서는 일원변량분석을 하였으며, 물체의 차원간의 비교를 위해서는 McNemar χ^2 검증을 하였다. 예측과 관찰의 점수는 0점이나 1점이다.

3. 실험기구

본 연구에서의 자유낙하기구는 White(1990)가 사용한 기구이다(그림 1). 가로막대의 1인치 아래 홈을 파고 유리판을 끼워 물체쌍을 놓을 플랫폼으로 한다. 자유낙하에 대한 학생들의 지식을 사정하기 위하여 플랫폼에서 자유낙하시킬 5가지의 물체쌍을 사용하는데 이들은 크기, 무게, 모양, 색깔, 그리고 크기와 무게와의 상충 차원에서 서로 다르다. 물체의 쌍과 차원이 그림 2에 제시된다.

4. 실험절차

학생들을 한 명씩 불러서 과학을 어떻게 학습하는가를 알아보기 위하여 게임을 하려고 한다고 말한다. 연구절차는 세 단계, 즉 예측, 설명, 관찰단계로 구성되는데 먼저 예측단계에서 학생들에게 물체쌍(예를 들면, 1번 물체와 2번 물체)을 제시하고 이것들을 동시에 떨어뜨리면 어떻게 될지 예측하게 하고 1번이 먼저 떨어진다고 하는지 2번이 먼저 떨어질 것이라고 하는지 혹은 두 개가 같이 떨어질 것이라고 하는지 기록한다. 물체 쌍은 유층무선표집(stratified random sampling)방법으로 제시되며, 각 쌍을 3번씩 제시한다.

따라서 검사문항은 모두 15개이다. 15개의 문항을 모두 제시하고 예측을 기록한다. 그 다음 설명의 단계에서는 그러한 예측을 어떻게 하였는지 그 이유를 설명하도록 한다. 마지막으로 관찰단계에서는 각 물체쌍의 자유낙하를 관찰하게 한 다음 학생들이 본 것을 기술하게 하고 그 결과를 기록한다. 학생들이 두 물체가 동시에 떨어 졌다고 보고하면 정답으로 채점된다.

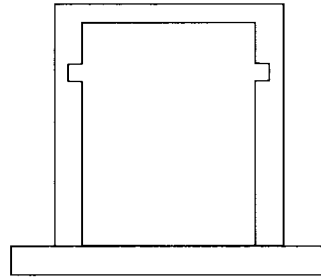


Fig. 1 Free-fall apparatus

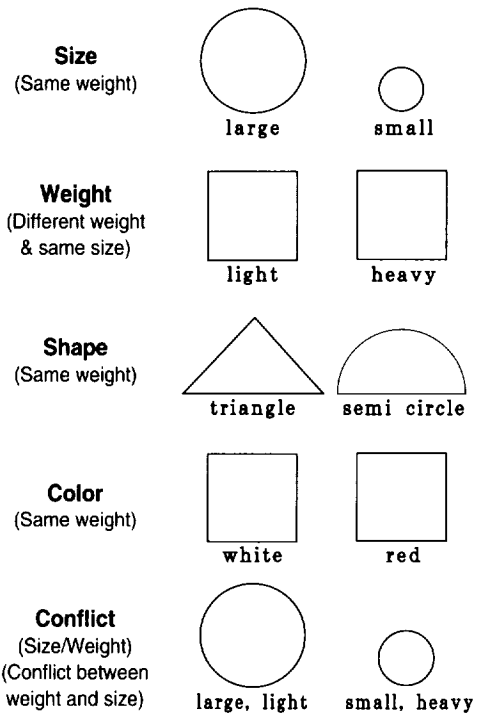


Fig. 2. Object pairs and dimensions

Ⅲ. 결 과

자유낙하문제에 대하여 정확한 예측을 한 학생의 백분율이 표 1에 제시된다. 이러한 예측과제(prediction task)의 내적 합치도(internal consistency)는 .74이

Table 1. Number and percentage of subjects who correctly predicted the free-fall of objects

Problem Grade	Size	Weight	Shape	Color	Conflict	Total
First	0(0)	0(0)	1(5)	3(15)	0(0)	4(4)
Third	2(10)	0(0)	3(15)	9(45)	0(0)	14(14)
Fifth	3(15)	4(20)	11(55)	19(95)	3(15)	38(38)
Seventh	11(55)	5(25)	15(75)	18(90)	4(20)	53(53)
Total	16(20)	9(12)	30(38)	49(61)	7(9)	

Note : N=20 subjects in each grade.
Percentages are given in parentheses.

Table 2. Summary table for ANOVA on predictions

Source	SS	df	MS	F
Between groups	77.04	3	25.68	26.39*
Within groups	73.95	76	.97	
Total	150.99	79		

* p <.000

었다(White, 1990). 그리하여 자유낙하 예측과제는 동질적이므로 아동의 자유낙하의 예측과 관찰에 대한 학년간의 차이를 검증하기 위하여 각 피험자의 전체점수를 사용하는 것이 가능하다.

표 1에 의하면 초등학교 1학년과 3학년의 피험자들은 무게문제와 상충문제(즉 크기와 무게와의 상충관계)에 대하여 정확한 예측을 전혀 하지 못하였다. 초등학교 5학년과 중학교 1학년의 피험자들도 무게와 상충문제에 대한 정확한 예측율이 다른 문제에 대한 예측율보다 아주 낮았다. 또한 초등학교 1학년의 피험자들이 크기문제에 대하여 정확한 예측을 전혀 하지 못하였다. 초등학교 5학년과 중학교 1학년의 피험자들의 색깔문제에 대한 정확한 예측율은 90%이상이었다. 전체적으로 볼 때, 상충문제에 대한 예측율이 9%로 가장 낮고, 색깔문제에 대한 예측율이 61%로 가장 높았다.

표 2에 의하면, 물체의 자유낙하에 대한 정확한 예측에 대한 학년간의 차이를 검증하기 위하여 일원변량분석을 한 결과 학년간에 통계적으로 유의한 차이

가 있었다($F(3, 76) = 26.39, p < .001$). 물체의 자유낙하에 대한 예측에 대하여서는 초등학교 1학년의 4%, 3학년의 14%, 5학년의 38%, 그리고 중학교 1학년의 53%의 학생들이 정확한 예측을 하였다. 또한 학년별 비교를 위하여 Scheffé 검증을 한 결과 표 3과 같다.

Table 3. Scheffé test for comparisons of each grade on predictions

	First	Third	Fifth	Seventh
First				
Third				
Fifth	*	*		
Seventh	*	*	*	

*p<.05

초등학교 5학년과 중학교 1학년의 피험자들이 초등학교 1학년과 3학년의 피험자들보다 물체의 자유낙하에 대하여 더 정확하게 예측하였다.

표 4에 의하면 색깔문제에 대하여 정확하게 예측한 학생들(61%)과 다른 문제에 대하여 정확하게 예측한 학생들(9%에서 38%)간에 통계적으로 유의한 차이가 있었다. 또한 모양문제에 대하여 정확하게 예측한 학생들(38%)과 다른 문제에 대하여 정확하게 예측한 학생들(9%에서 61%)간에도 통계적으로 유의한 차이가 있었다. 그리하여 모양문제(38%)와 색깔문제(61%)를 정확하게 예측한 학생들이 크기문제(20%), 무게문제(12%), 상충문제(9%)에 대하여 정확하게 예측한 학생들보다 통계적으로 많다고 할

Table 4. Chi-square values for pairwise comparisons on predictions

	Size	Weight	Shape	Color	Conflict
Size		2.40	6.50	29.26	4.92
Weight	2.40		14.21	38.03	0.25
Shape	6.50	14.21		15.43	17.93
Color	29.26	38.03	15.43		40.02
Conflict	4.92	0.25	17.93	40.02	

Note : Values exceeding 3.84 are significant at .05.

Table 5. Analyses of decision factor on predictions

Reasoning		Size	Weight	Shape	Color	Confict (Weight/ Size)	The others
Problem	Grade						
Size	First	5(25)	4(20)			4(20)	7(35)
	Third	8(40)	6(30)			4(20)	2(10)
	Fifth	9(45)	3(15)			8(40)	
	Seventh	4(20)	11(55)			2(10)	3(15)
	Total	26(32.5)	24(30)			18(22.5)	12(15)
Weight	First		18(90)	1(5)		1(5)	
	Third		19(95)	1(5)			
	Fifth		17(85)	1(5)			2(10)
	Seventh	1(5)	15(75)	2(10)			2(10)
	Total	37(46.25)	33(42.5)	5(6.25)		1(1.25)	4(5)
Shape	First	2(10)	2(10)	16(80)			
	Third	3(15)	4(20)	12(60)		1(5)	
	Fifth		9(45)	10(50)			1(5)
	Seventh	1(5)	13(65)	4(20)			2(10)
	Total	6(7.5)	28(35)	42(52.5)		1(1.25)	3(3.75)
Color	First	3(15)	9(45)		3(15)	2(10)	3(15)
	Third		9(45)			5(25)	6(30)
	Fifth		6(30)		6(30)		8(40)
	Seventh	1(5)	12(60)			3(15)	4(20)
	Total	4(5)	36(45)		9(11.25)	10(12.5)	21(26.25)
Conflict Weight / Size	First	1(5)	13(65)	1(5)		2(10)	3(15)
	Third	1(5)	15(75)			4(20)	
	Fifth	2(10)	8(40)			9(45)	1(5)
	Seventh	2(10)	12(60)	1(5)		3(15)	2(10)
	Total	6(7.5)	48(60)	2(2.5)		18(22.5)	6(7.5)

Note : N=20 subjects on each grade. Percentages are given in parentheses.

수 있다.

물체의 자유낙하에 대한 예측에 영향을 미친 결정요인에 대한 분석이 표 5에 나타나 있다. 즉 학생들에게 물체상을 제시하고 이것들을 동시에 떨어뜨리면 어떻게 될 지 예측하게 하고, 그 다음 각 문제를 어떻게 풀었는지를 물었다. 표 5는 정확한 예측을 한 피험자와 부정확한 예측을 한 피험자 모두의 예측의 결정요인을 분석한 것이다. 달리 말하면 정확한 예측이든지 또는 아니든지 그러한 예측에 영향을 미친 결정요인에 대한 분석을 한 것이다. 예를 들면, 크기가 다른 물체상의 자유낙하에 대하여 초등학교 1학년, 3학년, 그리고 5학년의 피험자들은 예측의 판단기준으

로 첫째가 크기이며, 그 다음으로 무게, 상충, 기타이다. 표 1에 의하면 초등학교 1학년의 피험자들이 크기문제에 대하여 정확한 예측을 한 피험자는 한 사람도 없었다. 크기문제에 대한 판단기준으로 크기를 택한 피험자들은 크기가 큰 물체가 작은 물체보다 땅에 먼저 떨어진다고 예측은 했지만 설명은 하지 못하였다.

무게문제에 대한 예측의 판단기준으로 대부분의 피험자들이 무게를 택하였다. 즉 이들은 무게가 무거운 것이 먼저 떨어진다고 하였다. 그러나 초등학교 5학년과 중학교 1학년의 몇몇 피험자들은 무게가 달라 두 물체는 동시에 떨어진다고 하였다. 표 1에서 초등학교 1학년과 3학년의 피험자들이 무게문제에

대하여 정확한 예측을 한 피험자들은 한 사람도 없었다. 모양문제에 대한 판단기준으로 대부분의 피험자들이 모양을 택하였다. 이들 중 정답을 한 피험자들은 모양에 관계없이 두 물체는 동시에 떨어진다고 하였으며, 오답을 한 피험자들은 삼각형이 뾰족하기 때문에 반원보다 먼저 떨어진다고 하였다. 초등학교 5학년과 중학교 1학년의 피험자들 중 판단기준으로 무게를 택한 피험자들은 두 물체가 모양은 달라도 무게가 같기 때문에 동시에 떨어진다고 하였다. 색깔문제에 대한 판단기준으로 무게를 택한 피험자들 중 정답자들은 두 물체가 색깔은 틀려도 무게가 같기 때문에 동시에 떨어진다고 하였으며, 오답자들은 무겁게 지각하는 색깔이 먼저 떨어진다고 하였다. 즉 오답자들은 빨간색이 하얀색보다 더 무겁다고 지각하기 때문에 빨간색이 하얀색보다 먼저 떨어진다고 예측하였다. 판단기준으로 색깔을 택한 피험자들 중 정답자들은 색깔에 영향을 받지 않기 때문에 동시에 떨어진다고 하였다. 상충문제 즉 크기와 무게와의 상충문제에 대한 판단기준으로 대부분의 피험자들이 무게를 택하였으며, 그 다음 판단 기준으로는 상충이었다. 표 1

Table 6. Number and percentage of subjects who correctly observed the free-fall of objects

Problem Grade \	Size	Weight	Shape	Color	Conflict	Total
First	9(45)	15(75)	12(60)	14(70)	10(50)	60(60)
Third	11(55)	11(55)	12(60)	19(95)	8(40)	61(61)
Fifth	7(35)	9(45)	18(90)	20(100)	9(45)	63(63)
Seventh	14(70)	13(65)	18(90)	19(95)	7(35)	71(71)
Total	41(51)	48(60)	60(75)	72(90)	34(43)	

Note : N=20 subjects in each grade.
Percentages are given in parentheses.

Table 7. Summary table for ANOVA on observations

Source	SS	df	MS	F
Between groups	3.74	3	1.25	.61
Within groups	154.45	76	2.03	
Total	158.19	79		

에 의하면 전체 80명 중 정답자는 7명이었다. 오답자들의 설명은 첫째, 무거운 것이 먼저 떨어진다는 것이다. 크기가 큰 것이 작은 것보다 먼저 떨어진다는 것이다.

각 물체쌍의 자유낙하를 관찰하게 한 다음 학생들이 관찰한 것을 기술하게 하였다. 그 결과가 표 6에 나타나 있다. 표 8에 의하면 색깔문제에 대하여 정확하게 관찰한 학생들(90%)과 다른 문제를 정확하게 관찰한 학생들(43%에서 75%)간에 통계적으로 유의한 차이가 있었다. 그리하여 색깔문제를 정확하게 관

Table 8. Chi-square values for pairwise comparisons on observations

	Size	Weight	Shape	Color	Conflict
Size		1.24	10.45	25.71	1.57
Weight	1.24		3.78	18.89	5.28
Shape	10.45	3.78		8.64	16.45
Color	25.71	18.89	8.64		32.60
Conflict	1.57	5.28	16.45	32.60	

Note: Values exceeding 3.84 are significant at .05.

찰한 학생들(90%)이 상충문제(43%), 크기문제(51%), 무게문제(60%), 그리고 모양문제(75%)에 대하여 정확하게 관찰한 학생들보다 통계적으로 많다고 할 수 있다.

표 1과 표 6에 의하면, 초등학교 1학년 피험자들은 크기, 무게, 그리고 상충문제에 대하여 정확한 예측을 한 피험자는 한 사람도 없었다. 그러나 물체쌍의 자유낙하를 관찰한 후에는 크기문제에 대하여는 45%, 무게문제에 대하여는 75%, 그리고 상충문제에 대하여는 50%의 피험자들이 정확한 관찰을 하였다. 표 7에 의하면, 물체쌍의 자유낙하 관찰에 대한 학년 간의 차이를 검증하기 위하여 일원변량분석을 한 결과 학년간에 통계적으로 유의한 차이가 없었다($F(3, 76) = .61, p > .05$).

정확한 예측과 정확한 관찰과의 비교가 표 9에 제시된다. 표 9는 앞의 표 1과 표 6의 요인별 χ^2 검증 결과이다. 초등학교 1학년과 3학년 피험자들의 각 문제에 대한 정확한 예측과 정확한 관찰간에 통계적으로 유의한 차이를 나타내었다. 즉 표 1과 표 6에 의

Table 9. Comparison of correct predictions and observations(χ^2)

Predictions and Grade	Problem Observations	Size	Weight	Shape	Color	Conflict
Third	Predictions Observations	5.81	9.09	5.81	8.10	6.12
Fifth	Predictions Observations	2.25	2.28	4.00	0.00	2.50
Seventh	Predictions Observations	0.57	6.12	1.33	0.00	1.33

Note : N=20 subjects in each grade. Values exceeding 3.84 are significant at .05.

하면 이들의 정확한 예측율은 낮았지만, 물체쌍의 자유낙하를 관찰한 후에는 정확한 관찰율이 정확한 예측율보다 높게 나타났다. 물체의 자유낙하에 대하여 예측단계에서는 두 물체가 동시에 떨어진다는 정답이 적었지만 물체의 자유낙하를 직접 관찰한 후에는 두 물체가 동시에 떨어진다는 정답이 많았다. 초등학교 5학년과 중학교 1학년의 피험자들이 각 문제에 대한 예측과 관찰간에 모양문제(초등학교 5학년)와 무게 문제(중학교 1학년)를 제외하고는 통계적으로 유의한 차이를 나타내지 못하였다. 즉 표 1과 표 6에 의하면 정확한 관찰율이 정확한 예측율보다 높게는 나왔지만 통계적으로 유의하게 높게 나왔다고 말할 수는 없다.

물체의 자유낙하를 직접 관찰하였지만 두 물체가 동시에 떨어진다는 정답이 통계적으로 유의한 차이를 나타낼 만큼 예측단계에서의 정답(두 물체가 동시에 떨어진다는)보다 많지 않았다. 즉 이들은 물체의 자유낙하를 직접 관찰하였지만 자신들이 예측한대로 관찰 결과를 보고하는 경향이 많았다. 물체의 자유낙하의 예측과 관찰에 대한 물체의 차원(크기, 무게, 모양, 색깔, 크기와 무게와의 상충)별로 학생들이 반응한 원자료(raw data)의 분석에 의하면 문제(크기, 무게, 모양, 색깔, 크기와 무게와의 상충)에 따라서 틀린 예측을 한 학생들은 틀린 관찰을 보고하는 경향이 높고, 옳은 예측을 한 학생들은 옳은 관찰을 보고한 경향이 높았다.

IV. 논의 및 결론

본 연구의 목적은 물체의 자유낙하에 대한 개념형성에 있어서 연령간에 차이가 있는가를 분석하며, 물체의 차원(예를 들면, 크기, 무게, 모양, 색깔, 크기와 무게와의 상충)이 물체의 자유낙하에 어떻게 영향을 미치는 가를 분석한다. 또한 물체의 자유낙하에 대한 학생들의 예측과 관찰과의 비교분석을 한다.

물체의 자유낙하의 예측에 대하여 피험자들의 학년이 증가할수록 즉 연령이 증가할수록 정확한 예측율이 증가하였다. 이러한 결과는 Siegler(1981)의 연구와 일치하고 있다. 즉 연령이 문제해결을 위하여 강력한 규칙(rule)을 사용하는 것과 관계있다는 것이다.

자유낙하의 예측에 대하여 아동전기(초등학교 1학년과 3학년)와 아동후기(초등학교 5학년과 중학교 1학년)간에 통계적으로 유의한 차이가 있었다. 즉 아동후기의 아동들이 아동전기의 아동들보다도 물체의 자유낙하에 대하여 정확한 예측율이 훨씬 높았다. 즉 Piaget의 발달단계 중 구체적 조작기에 해당하는 아동전기보다 형식적 조작기에 해당하는 아동후기의 아동들은 구체적인 사물이 없이도 논리적 사고가 발달한다는 사실과 일치한다.

물체의 자유낙하의 예측에 대하여 문제형태별로 보면, 색깔문제가 가장 쉬웠다. 그 다음으로 쉬운 문제는 모양문제였다. 가장 어려운 문제는 상충문제이고 그 다음으로 어려운 문제는 무게문제였다.

물체의 자유낙하에 대한 예측의 결정요인을 분석한 것에 의하면 아동전기의 아동이 아동후기의 아동보다 물체의 차원에 영향을 더 많이 받는다. 즉 무게기 때문에, 크기가 다르기 때문에, 모양이 다르기 때문에, 색깔이 다르기 때문에 두 물체가 동시에 떨어지지 않는다고 한다.

이러한 결과는 대학생들의 52%가 무거운 물체가 가벼운 물체보다 먼저 떨어진다고 한 Sequeira와 Leite(1991)의 연구결과와 일치한다.

Mali와 Howe(1979)는 네팔아동을 대상으로 Nussbaum와 Novak(1976)의 연구를 반복연구하여 비슷한 연구결과를 얻었는데 단지 네팔아동들은 비슷

한 개념을 획득하는데 4년이 늦는다는 차이를 보였다. 이들은 더 나아가 지구개념 분류도식과 세 가지 Piaget식 보존 과제(보존, 순차배열, 유목화)와의 관련성을 조사하여 유의한 상관 관계를 얻었다. 이러한 연구를 보다 확장하여 Sneider와 Pulos(1983)는 중력과 지구모양에 대한 아동의 생각을 별도로 연구한 결과, 대부분의 아동들은 10세 때까지 물체가 절대적 아래로 떨어진다는 생각을 갖다가 13, 14세 경에 지구의 표층이나 중심으로 떨어진다는 생각을 갖게 된다고 보고하였다.

이러한 지구의 모양과 중력에 대한 아동의 일반적 생각을 다루는 연구들도 중요하지만 구체적 현상에 대한 아동의 예측과 해석을 이해하는 것도 중요하다. 따라서 구체적인 자유낙하 현상에 대한 학생들의 개념을 조사한 Champagne, Gunstone 및 Klopfer(1983)는 대학생과 중학교 학생의 상당한 수가 더 무거운 물체가 더 빨리 떨어질 것이라고 예측했음을 보고하면서 사전 지식이 이후의 학습을 방해하는 효과를 가질 수 있다는 가설을 수용하였다.

물체쌍의 자유낙하를 관찰한 직후에 두 물체의 자유낙하에 대하여 정확한 반응을 한 백분율에 있어서 학년간에 차이가 없었다.

피험자들은 물체의 자유낙하를 직접 관찰하였지만 올바르게 소화하지 못하고 기존의 부정확한 생각을 고집함으로써 물체의 자유낙하문제에 대하여 정확한 반응을 하지 못하는 수가 있다. 초등학교 1학년과 3학년 피험자들의 물체 자유낙하에 대한 정확한 예측을 한 백분율에서 정확한 관찰을 한 백분율에의 증가율이 초등학교 5학년과 중학교 1학년 피험자들의 증가율보다 훨씬 많았다. 이러한 현상은 초등학교 1학년과 3학년의 피험자들보다 초등학교 5학년과 중학교 1학년의 피험자들이 이미 소유하고 있는 부정확한 개념을 바꾸는 것이 어렵다는 것을 나타낸다.

물체의 자유낙하에 대하여 정확한 관찰을 하지 못한 피험자들의 대부분이 물체의 자유낙하에 대하여 정확한 예측을 하지 못하였다. 이러한 경향이 아동전기(초등학교 1학년과 초등학교 3학년)보다 아동후기(초등학교 5학년 중학교 1학년)에 있어서 현저하다. 즉 아동후기의 피험자들이 물체의 자유낙하에 대하여

정확한 예측을 하지 못하면 물체의 자유낙하를 직접 관찰한 직후에도 정확한 반응을 하지 못한다. 이러한 결과는 Champagne, Gunstone과 Klopfer(1983)의 결과와도 일치한다. 즉 이들은 많은 학생들이 수업과 관찰을 한 후 8주 후에까지 자유낙하의 사실을 그들의 예측과 일치하여 해석하는 경향이 있다고 주장하였다. Anderson과 Smith(1987)도 아동들이 형식적인 과학모형보다는 그들 자신의 정신모형에 의하여 과학적 사실을 해석한다고 하였다.

과학교육이 보다 효과적인 것으로 되기 위해서는 학습자의 심리학적 태세, 즉 수업을 받기 전에 나름대로 형성하고 있는 불완전하고 부정확한 개념들을 알아내어 이에 적합한 수업전략을 세워야 할 것이다. 많은 연구자들이 학습자가 어떻게 지식을 획득하고 개념화하는가에 관심을 집중하고 있다.

교사들은 학습자의 부정확한 정신모형들을 알게 되어 어떤 측면에서 잘못되었는가를 인식하여 적절한 정신모형으로 대체시켜서 보다 효과적으로 올바른 과학개념을 형성시킬 수 있을 것이다.

후속 연구에 있어서는 중학교 3학년, 고등학교, 그리고 대학교의 학생을 실험대상으로 하여 이들의 물체의 자유낙하에 대한 정신모형을 밝히려는 시도가 이루어져야만 한다.

Linn(1986), McCloskey(1983) 등이 지적한 바와 같이 어떤 특정한 아이디어를 완전 습득하기 이전의 부분적 이해의 계열을 밝히는 것이 앞으로의 교육을 위해 필수적이다. 본 연구가 앞으로의 후속연구들이 다른 중요한 과학개념에 있어서의 부정확한 정신모형, 혹은 오개념을 밝히고 발달경향을 이해하는 토대가 될 것으로 기대된다.

적 요

본 연구는 물체의 자유낙하에 대하여 아동들이 어떠한 정신모형을 가지고 있는지를 밝히며, 이러한 정신모형에 어떤 발달적인 차이가 있는지를 알아보고자 한다. 크기, 무게, 모양, 색깔, 그리고 크기와 무게와의 상충등의 차원에서 각기 다른 물체쌍들을 제시하여 어느 것이 먼저 떨어질 것인지 또는 동시에 떨어

질 것인지를 예측하게 함으로써 문제유형에 따라 학생들이 자유낙하에 대하여 어떤 정신모형을 형성하고 있는지를 살펴보고자 한다. 학생들의 예측과 설명 후에 실제로 물체의 자유낙하를 직접 관찰하게 한 다음 학생들이 관찰한 것을 어떻게 기술하는 가도 비교한다. 초등학교 1, 3, 5학년과 중학교 1학년의 학생을 실험대상으로 한다.

결과를 요약하면 다음과 같다. 첫째, 초등학교 5학년과 중학교 1학년의 학생들이 초등학교 1학년과 3학년 학생들보다 물체의 자유낙하에 대한 예측율이 높았다. 둘째, 물체의 자유낙하에 대한 예측에 있어서 크기와 무게와의 상충문제가 가장 어려웠다. 셋째, 물체의 자유낙하의 관찰에 있어서는 학년간에 차이가 없었다. 넷째, 물체의 자유낙하의 관찰에 있어서 크기와 무게와의 상충문제가 가장 어려웠다. 다섯째, 초등학교 1학년과 3학년에 있어서는 물체의 자유낙하에 대한 예측과 관찰간에 차이가 있었다. 초등학교 5학년과 중학교 1학년에 있어서는 물체의 자유낙하에 대한 예측과 관찰간에 모양문제(초등학교 5학년)와 무게문제(중학교 1학년)를 제외하고는 차이가 없었다.

참 고 문 헌

- Anderson, C., & Smith, E. (1987). Teaching science. In V. Richardson-Koehler (Ed.), *Educator's handbook* (pp. 84-111). New York: Longman.
- Ausubel, D. P. (1968). *Educational Psychology: A cognitive view*. New York: Holt, Rinehart, and Winston.
- Champagne, A. B., Gunstone, R. F., & Klopfer, L. E. (1983). Naive knowledge and science learning. *Research in Science and Technological Education*, 1 (2), 173-183.
- Dijksterhuis, E. J. (1969). *The mechanization of the world picture*. London: Oxford University Press.
- Keller, F. J., Gettys, W. E., & Skove, M. J. (1996). *Physics: Classical and modern*. Singapore: McGraw-Hill Book Co.
- Linn, M. (1986). Science. In R. F. Dillon & R. J. Sternberg (Eds.), *Cognition and instruction* (pp. 151-204). Orlando: Academic.
- Mali, G., & Howe, A. (1979). Development of earth and gravity concepts among Nepali children. *Science Education*, 63 (5), 685-691.
- McCloskey, M. (1983a). Intuitive physics. *Scientific American*, 248 (4), 122-131.
- McCloskey, M. (1983b). Naive theories of motion. In D. Gentner & A. L. Stevens (Eds.), *Mental models* (pp. 299-324). NJ: Erlbaum.
- Neimark, E. (Ed.). (1987). *Adventures in thinking*. New York: Harcourt.
- Norman, D. (1983). Some observations on mental models. In D. Gentner & A. L. Stevens (Eds.), *Mental Models* (pp. 7-14). NJ: Erlbaum.
- Nussbaum, J., & Novak, J. (1976). An assessment of children's concepts of the earth utilizing structured interviews. *Science Education*, 60 (4), 535-550.
- Piaget, J. (1954). *The construction of reality in the child*. New York: Basic Books.
- Sequeira, M., & Leite, L. (1991). Alternative conceptions and history of science in physics teacher education. *Science Education*, 75, 45-56.
- Siegler, R. (1981). Developmental sequences within and between concepts. *Monographs of the Society for Research in Child*

- Development*, 46 (2), Serial No. 189.
- Sneider, C., & Pulos, S. (1983). Children's cosmographies: Understanding the earth's shape and gravity. *Science Education*, 67 (2), 205-221.
- Song, J., Jang, K., & Pak, S. (1996). Students' conceptions and historical change of the concept: Free-fall motion. *Journal of the Korean Association for Research in Science Education*, 16 (2), 164-174.
- Strike, K., & Posner, G. (1985). A conceptual change view of learning and understanding. In L. H. T. West & A. L. Pines (Eds.), *Cognitive structure and conceptual change* (pp. 211-231). Orlando: Academic.
- Watts, D. (1982). Gravity - don't take it for granted. *Physics Education*, 7, 116-121.
- White, J. E. (1990). Children's mental models of gravity and their interpretations and explanations of the free fall of objects. Doctoral Dissertation, University of Georgia