

변인통제 문제해결 과정에서 나타난 초등학생의 실험설계 및 증거제시 특성

김선자 · 최병순
(한국교원대학교)

Characteristics of Experimental Design and Evidence Choice of Elementary School Students in Problem Solving Process Related to Controlling Variable

Kim, Sun-Ja · Choi, Byung-Soon
(Korea National University of Education)

ABSTRACT

The purpose of this study was to analyze characteristics of experimental design and evidence choice of the elementary school students in problem solving process related to controlling variable. For this study, 96 6th grade students were selected and tested with Science Reasoning Task. This study revealed that the types of experimental design were categorized as variance of control variable, controlling of causal variable, perfect controlling variable, imperfect controlling variable, variance of all variable. Prior belief had a strong influence on student's experimental design. The types of evidence choice were categorized as perfect controlling variable, controlling causal variable, variance of causal variable. The degree of controlling variable in evidence choice process was much lower than that in experimental design. Most students tended to choose evidence according to prior belief without controlling variable. The results of this study implied that student's prior belief and characteristic of science process skills should be considered to develop program for promoting controlling variable ability.

Key words: controlling variable, experiment design, evidence choice, prior belief

I. 서 론

과학 탐구 기능(science process skills)은 광범위하게 전이가 가능한 능력으로서 많은 과학 분야에 적절하며 과학자의 행동을 반영한 것이다. 초등학생은 과학자들이 탐구할 때 과학자가 생각하고 연구하는 방법과 유사한 방법으로 과학의 과정 기능들을 사용하여 자신의 의문을 탐구한다(임청환 등, 1999). 즉 관찰, 분류, 의사소통, 측정, 예

상, 추리 등의 기본적인 탐구 과정을 거치고, 변인 찾기와 변인 통제, 가설 설정 및 검증, 조작적 정의, 실험 수행, 자료 해석, 모형 구성의 통합 탐구 과정을 통해 문제를 해결하고, 지식을 구성한다(Karplus, 1977). 이 중에서 특히 변인통제능력은 문제 상황의 모든 요소를 고려하여, 특정 요소를 조사하는 동안 다른 요소들은 체계적으로 고정하고, 이와 동일하게 나머지 요소들을 조사해 보는 능력으로 15세 전후에 발달되며, 인지발달의 지표로 많이 이용

되고 있다(Inhelder & Piaget, 1958). 인지 발달과 탐구 과정과의 관계를 분석한 Piaget에 따르면 단순 변인 통제 능력은 구체적 조작 단계에서, 복합 변인 통제 능력은 형식적 조작 단계에서 가능한 것으로 밝히고 있다(Linn, 1980).

그러나, 많은 학생들은 과학 추론 과정 중 실험설계에서 가설과 관련이 없는 변인들을 조작하거나 같은 실험을 여러 번 반복하여 설계하며, 변인 통제를 잘 하지 못한다(van Jooligen & de Jong, 1991; German et al., 1996). 또한 결과 해석시 필수적으로 수반되는 증거 평가 능력에 관한 연구에서 변칙 사례에 대한 학생들의 반응을 심층적으로 분석한 결과 무시(ignoring), 거부(rejection), 배제(exclusion), 보류(abeyance), 재해석(reinterpretation), 주변 이론의 변화(peripheral theory change), 이론 변화(theory change) 등의 유형이 나타났다(Chinn & Brewer, 1993). 이처럼 실험설계 및 증거 평가에서 나타나는 오류의 원인에 대해서 사전 신념이 가설 검증 및 수정에 많은 영향을 준다고 보고되었다(양일호 등, 2002).

변인 통제 능력은 교사의 강의식 수업을 통해서 습득될 수 없으며, 성숙 요소와 관련된 것으로 사회적, 물리적 환경과의 상호 작용을 요구한다. 다른 사고 요소들과 마찬가지로 변인 통제 능력 역시 학습자의 경험에 따라 달라지므로, 특별한 훈련이나 처치에 의하여 향상될 수 있으며(Lawson & Wollman, 1976; Rosenthal, 1979), 형식적 사고를 구성하는 논리 요소들의 균형된 성장에 의해서 인지 수준을 가속시킬 수도 있다(Shayer & Adey, 1993; Shayer, 1996).

따라서 이 연구에서는 형식적 사고를 구성하는 기본적인 논리 요소 중의 하나이면서 과학 추론 과정에서 필수적으로 수반되는 변인통제 능력이 요구되는 문제해결 과정에서 통합 탐구 능력의 핵심인 실험설계와 증거제시의 특성 및 어려움을 분석하여 변인 통제 능력의 향상을 위한 프로그램 구성 및 교수 학습 전략에 대한 시사점을 찾고자 하였다.

II. 연구 방법

1. 연구 대상

이 연구에서는 변인통제 문제의 실험설계 및 증거제시에서 겪는 어려움을 조사하기 위하여 다중변인 과제를 해

결하지 못하는 구체적 조작기에서 형식적 조작기 초기까지의 인지 수준에 해당하는 학생들을 대상으로 하였다. 따라서 우리 나라 초등학교 6학년 학생의 인지 수준이 대부분 구체적 조작기라는 선행 연구들(최병순, 허명, 1987; 김현재, 장경래, 1991)에 따라 초등학교 6학년 학생 96명을 표집하였다. 군지역에서 2개의 초등학교(A,B)와 시지역에서 1개의 초등학교(C)를 선정하고, 학급은 무작위로 추출하였는데, Fig. 1에는 이 학생들의 인지 수준별 분포를 나타내었다. 대부분의 학생들이 후기 구체적 조작기(2B)나 과도기(2B/3A)에 속하였으며, 중기 구체적 조작기 이하(2A/2B)의 학생들도 13.5%였으나, 형식적 조작기(3A, 3B)에 속하는 학생수는 극소수였다. 따라서, 연구 대상 학생들의 인지 수준이 변인 통제 능력이 제대로 형성되어 있지 않을 가능성이 크므로 변인통제 문제해결 과정에서의 오류를 분석하기에 적당한 집단이라고 판단되었다.

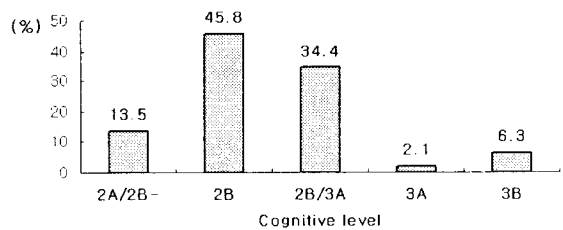


Fig. 1. Distribution of cognitive level of the subjects

2. 검사도구

이 연구에서는 변인통제 문제해결 과정을 분석할 수 있는 검사 도구로 SRT III(Science Reasoning Task III)를 사용하였다. SRT III 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 $r = 0.83$ 이며, 내용 타당도는 임상적 면담과 과제의 상관 관계로 $r = 0.71$ 이다(Wylam & Shayer, 1980). SRT III는 실의 길이, 추의 무게, 추를 미는 세기와 같은 세 가지 변인이 추의 왕복 횟수에 영향을 미치는지를 구별해내는 학생들의 능력을 조사하기 위한 것이다. 실의 길이가 중요한 변인이지만 학생들이 이것을 찾아내기 위해서는 시범 실험을 관찰하면

서 직관적 느낌 없이 추론한 적절한 변인을 통제하는 계획된 실험을 할 수 있어야 한다. 이 과정은 Inhelder & Piaget(1958)의 “The Growth of Logical Thinking”에 기초하여 만들어졌다. 검사는 모든 학생들이 잘 볼 수 있는 크기의 몇 가지 기구들을 사용하면서 절차에 따라 시범 실험을 보여 주고, 검사지의 질문에 답하도록 되어 있다. 전체 문항은 난이도에 따라 체계적으로 조직되어 있고, 검사에 소요되는 시간은 45분이다. 검사자가 시범 실험을 하면서 검사지의 질문에 대해 교사가 설명을 해 주는 검사의 성격상 대상 학생들의 검사는 SRT III 검사에 대한 3회 이상의 연수를 하고 실제 초등학생 및 중학생을 대상으로 검사 경험이 있는 연구자에 의해 실시되었다.

3. 자료 수집 및 분석

SRT III 검사 결과는 우선 대상 학생들의 인지 수준을 파악하기 위하여 SRT III 채점 기준에 근거하여 학생들의 최종 인지 수준을 결정하였다. SRT III 검사 결과 구분 가능한 인지 수준은 중기 구체적 조작기 이하(2B-), 후기 구체적 조작기(2B), 과도기(2B/3A), 초기 형식적 조작기(3A), 후기 형식적 조작기(3B)의 5단계이다. 인지 수준 평가 후에는 학생들의 문제 해결 과정에서 나타난 특성을 살펴보기 위하여 선행신념, 실험설계, 결론도출 및 증거제시의 영역으로 구분하여 응답을 유형화하였다. 이상의 평가 및 자료 분석은 연구자, 과학 교육 전문가 2인, 과학 교육을 전공하는 대학원생 5인의 협의를 통해 이루어졌다.

III. 연구 결과 및 논의

1. 실험설계 특성

원인 변인의 영향을 검증하기 위한 실험설계에 대한 학생들의 응답을 조사하여 유형화하고, 변인을 통제하지 못하는 학생들의 어려움을 살펴보았다. 참고로 SRT III 검사지의 실험설계에 대한 문항은 다음과 같다.

실의 길이가 추의 왕복횟수에 미치는 영향을 알아보려면 여러분은 어떤 실험을 더 해보아야 할까? (실험 횟수는 적을수록 좋으며, 다시 생각해서 필요없다고 생각되는 실험에는 ×를 해보자.)

특정 변인에 대한 효과를 검증하는 실험을 설계할 때 학생들의 주요 응답은 원인변인, 통제변인1 또는 통제변인2의 통제 또는 변화에 따라 유형화할 수 있었다. 검증하고자 하는 변인 외에 다른 통제 변인을 변화시키는 통제변인변화형, 검증하고자 하는 원인 변인값을 통제하는 원인변인통제형, 변인 통제가 완벽하게 된 완전변인통제형, 원인 변인값을 변화시키면서 다른 통제 변인도 변화시키는 불완전변인통제형, 그리고 모든 변인을 변화시키는 모든변인변화형 등이 있었다. 이를 간단히 도식화하여 Fig. 2에 나타내었다.

이와 같이 분류한 실험설계 유형별로 응답률을 조사하여 Fig. 3에 나타내었다. 그림에서 살펴보면, 변인이 통제된 실험을 설계한 학생들의 비율이 실의 길이와 추의 무게에 대해서 각각 34.7%, 41.1%로 나타나 약 60%의 학생들이 실험설계 과정에서 변인 통제 능력이 부족함을 알 수 있었다. 또한 검증하고자 하는 원인 변인인 실의 길이, 추의 무게에 대한 응답률 분포는 유사한 경향을 보여 원

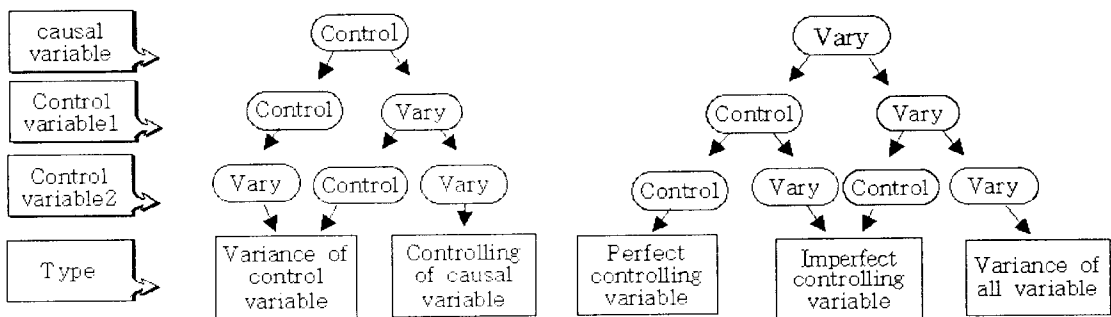


Fig. 2. Types of experimental design of the subjects

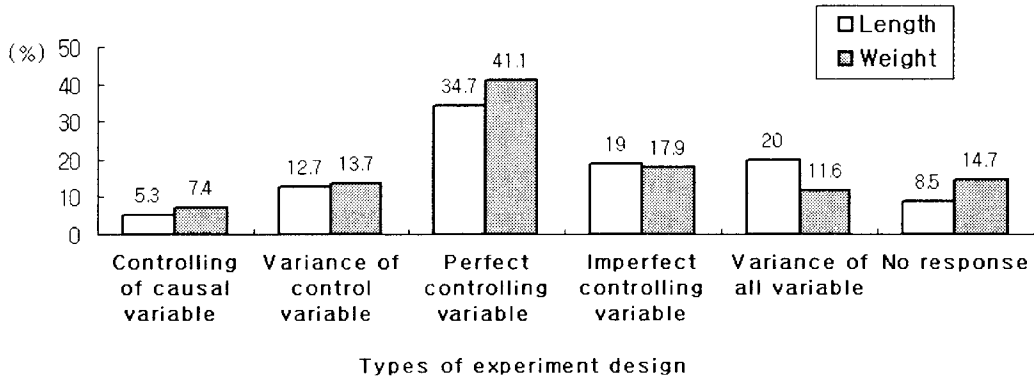


Fig. 3. Distribution of the subjects by the types of experimental design

Table 1. Influence of students' prior belief on experimental design

		Sungbo	Heejun	Eunkyung
Prior belief*		Short, Heavy, Hard	Short, Light, Hard	Short, Heavy, Hard
Experimental design	Length effect	Short, Heavy, Hard	Short, Light, Hard	Short, Light, Hard? Long, Light, Hard? Short, Heavy, Gentle (cancel) Long, Heavy, Gentle (cancel)
	Weight effect	Short, Heavy, Hard	Short, Light, Hard Short, Heavy, Hard	Short, Heavy, Gentle Short, Light, Hard

*Value of the variable when the frequency of the pendulum is high.

인 변인의 종류에 따른 차이는 크게 나타나지 않았다.

실험설계에서 변인 통제를 잘 하지 못하는 학생들이 겪는 어려움을 알아보기 위하여 검사지의 응답 원안을 분석한 후 면담을 실시하였다. 그 결과 실의 길이나 무게의 효과를 검증하기 위한 실험에서 특정 변인값이 포함되어 있는 것을 발견하였다. 즉 학생들이 실험을 설계할 때 검증하고자 하는 변인과 관계없이 특정 변인값에 집착하여 다른 변인을 효과적으로 통제하지 못하는 경향을 보였으며, 변인이 통제된 실험설계에서도 선행신념이 영향을 주는 사례가 있었다. 그 구체적인 사례를 살펴보면 다음과 같다.

첫째, 변인 통제 실험을 설계하지 못하는 학생의 경우 선행신념에 포함된 변인값의 조합을 포함하여 실험을 설계하였다(승보, 희준). Table 1의 응답 사례를 살펴보면, 승보는 '짧게, 무겁게, 세계 하면 왕복 횟수가 많다' 라는 선행신념을 지닌 학생으로 실험설계 문항에서 검증하고자 하는 변인에 관계없이 계속 '짧게, 무겁게, 세계' 라는 변인값의 조합을 제시하였다. 희준의 경우에도 '짧게, 가볍

게, 세계' 라는 선행신념이 이후의 실험설계에서 계속 나타났다.

둘째, 변인이 통제된 실험설계에서도 선행신념에 대한 집착이 나타났다. 알아보고자 하는 원인 변인의 변인값을 변화시키고, 그외 변인을 통제하면서도 선행신념에 포함된 특정 변인값을 포함시키기도 하였다. Table 1에 나타난 바와 같이 은경은 이미 제시된 실험 사례를 삭제하고 새로운 통제된 실험을 설계하면서 특정 변인값을 포함시켰다. 길이의 효과 검증을 위한 실험설계에서 완벽하게 변인을 통제하여 실험을 제시하였는데, 원래 제시된 '짧게, 무겁게, 약하게' 라는 실험에 대해 '길게, 무겁게, 약하게' 실험을 제시하였다가 이 실험은 삭제하고 '세계' 라는 변인값이 포함된 실험을 다시 설계하였다. 즉 변인을 통제하여 실험을 설계하는 경우에도 선행신념이 작용하여 특정 변인값에 대해 집착하는 것을 알 수 있었다.

셋째, 실험설계에 영향을 주는 선행신념의 가장 큰 특징은 결과 변인값이 최대가 되게 하기 위하여 원인 변인값을 고정한다는 것이다. 많은 학생들이 실의 길이에 대

해서는 '짧게', 미는 세기에 대해서는 '세게' 할수록 진자의 왕복 횟수를 증가시킬 것이라는 선행인념을 지니고 있는 것으로 나타났다(Table 3). 따라서, 실험설계에서도 역시 '짧게' 나 '세게' 또는 이런 원인 변인값을 포함한 조합에 대한 집착이 강하게 나타났다. 이러한 특성은 최미화(2002)가 변인통제 문제해결 과정 분석 연구에서도 보고한 바 있다.

2. 증거제시 특성

변인통제 문제에서 결론을 도출하기 위한 증거제시 과정에서 변인을 효과적으로 통제하는지 알아보았다. 이를 위해 SRT III 검사지에서는 다음의 네 가지 시범 실험을 관찰하게 한 후 아래와 같은 질문을 하였다.

- 앞에서 실시한 4가지 시범 실험 결과를 적으세요

실험	실의 길이	추의 무게	미는 세기	왕복횟수
1	짧게	무겁게	약하게	22
2	길게	가볍게	약하게	17
3	길게	무겁게	세게	17
4	짧게	가볍게	약하게	22

- 각 변인이 왕복 횟수에 미치는 영향에 대해 설명하시오.
- 자신이 내린 결론의 증거가 되는 실험 번호를 쓰시오.
- 만약 증거가 불충분한 변인이 있다면 그 이유를 쓰시오.
- 위 실험으로 증거가 충분하다면 그 이유를 설명하시오.

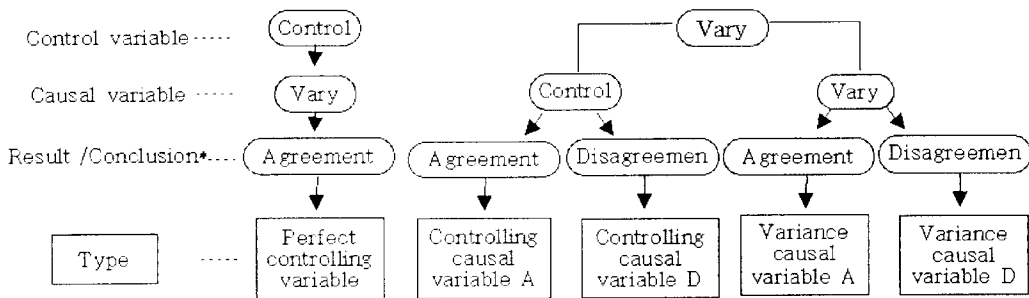
이 검사지의 평가 지침에서는 네 가지 시범 실험 결과로부터 각 변인이 왕복 횟수에 미치는 영향을 바르게 설

명하고, 그에 필요한 증거를 제시하였을 때 형식적 사고 수준으로 평가된다. 먼저 길이의 효과에 대해서는 실의 길이가 짧을수록 진동수가 더 많아지며, 이에 대한 증거 실험으로 실의 길이만 다르게 하고 추의 무게와 미는 세기가 통제된 실험2와 실험4를 제시해야 한다. 무게의 효과에 대해서는 무게가 진동수에 영향을 미치지 않으며, 이를 검증하기 위해서는 추의 무게는 다르게 하고 실의 길이와 미는 세기가 통제된 실험1과 실험4를 제시해야 한다. 반면에 미는 세기의 효과에 대해서는 검증할 수 있는 통제된 실험이 충분히 제시되지 않았기 때문에 미는 세기에 대해서는 증거가 불충분함을 설명하고, 그 이유를 구체적으로 설명해야 한다. 또는 추의 무게가 왕복횟수에 영향을 미치지 않는다는 결론을 이용하여 미는 세기의 효과를 설명할 수 있다. 즉, 실험2와 실험3은 비록 무게가 다르지만 무게가 진동수에 영향을 주지 않으므로 결국 미는 세기에 대해서 설명할 수 있는 증거가 된다. 따라서 이 두 실험의 결과를 비교하여 미는 세기가 진동수에 대하여 무관한 변인이라는 결론을 내리면 형식적 사고 수준의 변인통제 능력이 있는 것으로 평가된다.

검사지에서의 응답 결과를 바탕으로 분석한 증거제시 특성은 다음과 같다.

첫째, 증거제시에 대한 응답은 제시된 증거 실험의 결과와 결과 해석의 일치 여부, 변인 통제 여부, 원인 변인값의 변화 여부의 세 가지 관점에서 분류하여 5가지로 유형화하였다. 이를 도식화하여 Fig. 4에 나타내었다.

증거제시 유형은 변인통제형, 원인변인통제A형, 원인변인통제D형, 원인변인변화A형, 원인변인변화D형으로 유형화하였다. 변인통제형은 완벽하게 변인이 통제된 증거를 제시하고, 증거 실험의 결과에 일치하게 결론을 내린 유



* Relationship evidence experiment result and conclusion

Fig. 4. Types of evidence choice of the subjects

형이다. 원인변인 통제형은 결론에 포함된 원인 변인값이 포함된 증거를 제시하는 유형이다. 그 중 A형은 실험 결과와 결론이 일치하는 실험만을 제시하고, 그렇지 않은 변칙 사례는 제외시킨다. 그런 반면 D형은 실험 결과와 결론의 일치 여부와 관계없이 특정 원인 변인값이 포함된 실험은 모두 증거로 제시한다. 모두 제시하되 실험 결과와 해석이 일치하지 않는 유형이다. 원인변인통제형의 특징은 다른 요소에 의한 효과를 동시에 고려해야 한다는 변인 통제의 필요성을 전혀 느끼지 못하며, 단지 결론에 내린 변인값이 포함된 증거만을 제시하는 형으로 반증의 필요성을 인식하지 못하고 있다. 원인변인변화형은 결론을 증명하기 위하여 원인 변인값을 변화시킨 증거를 제시하는 유형으로, A형은 한 변인에 의한 효과만을 해석하여 증거 실험의 결과와 결론이 일치하기는 하지만 다른 통제 변인은 통제하지 못한다. 그에 비해 D형은 증거 실험 결과와 결론이 일치하지도 않고, 다른 통제 변인이 통제되지도 않은 경우이다. 단순히 원인 변인값을 변화시킨 증거 자료를 제시하는데 그치는 유형이다.

둘째, 실의 길이, 추의 무게, 미는 세기에 대한 증거제시 유형별 응답률 분포는 유사한 경향을 보였으나, 특히 실의 길이에 따른 증거제시에서는 원인변인통제A형, 미는 세기에 대해서는 원인변인통제D형이 높게 나타났다. 증거제시 유형별 응답률 분포를 Fig. 5에서 살펴보면, 가장 빈도가 높은 것은 원인변인통제A형으로 결론에 제시된 원인 변인값이 포함되고, 결론과 실험 결과가 일치하는 것을 증거로 제시하는 경우가 가장 많았다. 그 다음이 원인변인통제D형으로 결론에 일치하지 않는 실험 결과가 포함되더라도 특정 원인변인값이 포함된 실험을 모두 증거로 제

시하는 사례도 많이 나타났다. 이에 반해 변인이 통제된 증거를 제시하는 경우는 3.2~10.5% 정도로 매우 낮게 나타났다.

셋째, 실험설계에 비해서 증거제시에서의 변인 통제 능력이 훨씬 부족한 것으로 나타났다. 실험설계와 증거제시에서의 변인 통제 정도를 비교하기 위하여 Table 2에 실험설계 유형과 증거제시 유형을 교차 분석하였다. Table 2에서 나타난 바와 같이 실의 길이 효과 검증을 위한 실험설계시 34명(34.7%)의 학생들의 변인을 통제하였으나, 실의 길이의 영향을 설명하는 증거제시에서는 4명(4.2%)의 학생만이 변인을 통제할 수 있었다. 추의 무게에 대한 실험설계에서도 39명(41.1%)이 변인 통제 실험을 설계하였으나, 증거제시에서는 9명(10.5%)으로 낮게 나타났다.

또한 증거제시에서 완전변인통제형에 속하는 학생은 길이에 대해서 4명, 무게에 대해서는 11명 총 15명이었는데, 이들 중 13명은 실험설계에서 완전변인통제형이었다. 즉 변인이 통제된 증거를 제시할 수 있는 학생은 대부분 변인이 통제된 실험설계를 할 수 있으나, 실험설계에서 변인 통제를 할 수 있어도 증거제시에서는 변인 통제에 어려움을 겪는 것으로 나타났다. 증거제시 유형과 실험설계 유형의 비교를 통해서 증거제시 과정에서 변인 통제 능력이 매우 부족하며, 실험설계에 비해서 훨씬 낮게 나타난다는 것을 알 수 있었다.

3. 실험설계보다 증거제시에서 변인 통제를 못하는 이유

변인통제 문제를 해결할 때 결과 해석을 위해 변인이

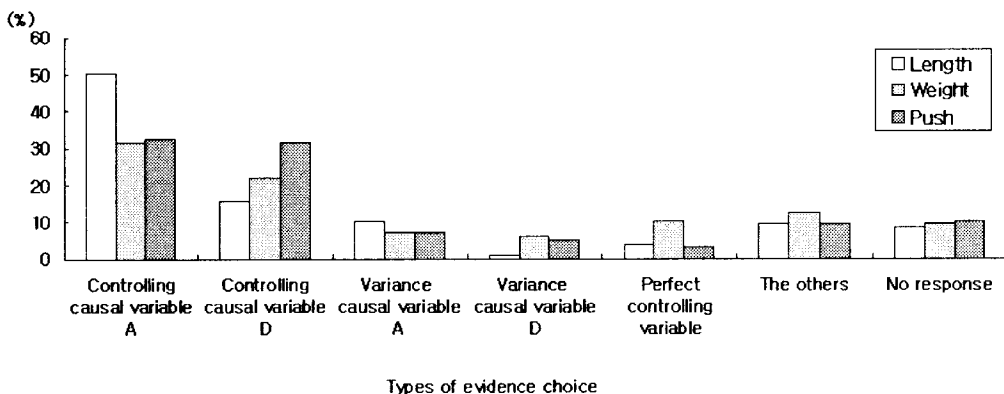


Fig. 5. Distribution of the subjects by the types of evidence choice

Table 2. The crosstabulation among the types of experimental design type and those of evidence choice

Experimental design	Evidence choice		Controlling causal variable		Variance causal variable		Perfect controlling variable	The others	No response	Total
	A	D	A	D						
Controlling of causal variable	5									5
Variance of control variable	7	3					1	1		12
Perfect controlling variable	13	4	8	1	4		2	2		34
Length Imperfect controlling variable	9	4	1				2	2		18
Variance of all variable	11	2	1				2	3		19
No response	6						2			8
Total	51	13	10	1	4		9	8		96
Controlling of causal variable	4	1					1	1		7
Variance of control variable	3	2			1		2	1		9
Perfect controlling variable	7	10	5	3	9		2	4		39
Weight Imperfect controlling variable	4	3	1	2			4	1		15
Variance of all variable	5	3					1	2		11
No response	7	2	1	1	1		2			14
Total	30	21	7	6	11		12	9		96

통제된 증거를 제시하는 것은 왜 어려운지 알아보기 위해 변인이 통제된 실험설계는 할 수 있었지만, 증거제시에서는 변인통제를 하지 못한 학생들을 대상으로 면담을 실시하였다. 면담 결과를 바탕으로 분석한 결과는 다음과 같다.

첫째, 실험 결과는 변인 통제를 방해한다.

실험설계에서는 대부분의 학생들이 원인 변인이 여러 가지이므로 검증해야 할 변인을 제외한 나머지 변인을 통제해야 할 필요성을 쉽게 인식하고 있었다. 그러나, 증거제시의 경우 먼저 결과 해석을 통해 한 변인의 영향을 설명하려다 보니 실험 결과에 관심을 집중하게 된다. 또한 이 실험 결과는 자신의 선행신념과 불일치할 경우 갈등을 일으키기도 한다. 이러한 과정에서 직관적 관념을 포기하지 못하고, 선행신념과 실험 결과에 모순되지 않는 증거를 제시하는 것에 학습자의 관심이 집중된다. 따라서, 한 변인의 영향을 검증하는 실험설계에서 변인 통제를 잘 하였다고 하더라도 증거제시에서는 실험 결과와 선행신념에 의하여 학습자의 변인 통제 능력이 제대로 발휘되지 못하는 것으로 나타났다.

둘째, 선행신념의 영향으로 특정 원인 변인값에 집착하

여 증거를 선택한다.

원인변인통제형에 해당하는 학생들은 대부분 특정 원인 변인값에 집착하여 증거를 선택할 뿐 반증의 필요성을 전혀 인식하지 못하였다. 이런 유형에 해당되는 학생들 대부분은 우선 선행신념에 기초하여 결론을 판단한 후 그에 해당되는 원인 변인값이 포함된 증거 자료를 찾게 된다. 따라서, 자신이 판단한 결론에 해당되는 실험만을 고려하다 보니까 반증 사례에 대해서 크게 주의를 기울이지 않으며, 자신의 결론과 일치하는 증거만을 제시하기도 하고 (원인변인통제A형), 특정 원인 변인값이 포함되는 증거 자료를 모두 제시하기도 한다(원인변인통제D형).

아래 지희의 응답을 살펴보면, 사전에 실의 길이에 대해서 '길수록 왕복횟수가 적다'라는 신념을 가지고 있었으며, 시범 실험 관찰 후 최종 결과 해석도 마찬가지로 '길수록 왕복횟수가 적다'라고 진술하였다. 그에 대한 판단 근거로 제시한 증거 자료는 실의 길이를 '길게'한 실험2와 실험3을 제시하였다. 실험2와 실험3은 실제 실험 결과가 다른 실험에 비해서 왕복횟수가 적게 나오기는 했지만 실제로 추의 무게도 다르고, 미는 세기도 달랐기 때문에 어떤 변인에 의한 효과인지 정확히 알 수 없으므로 충분한 증거는 되지 못한다. 이처럼 대부분의 학생들은 선행신념이나 자신이 내린 최종 결론에 해당되는 특정 원

인 변인값에 집착하여 증거를 선택하여 변인이 통제된 결과 해석을 위한 증거제시 능력이 부족함을 알 수 있었다.

<실의 길이에 대한 지회의 응답>

- 선행신념: 길수록 왕복횟수가 적다.
- 결론도출: 길수록 왕복횟수가 적다.
- 증거제시: 실험2(길게-가볍게-약하게, 왕복횟수:17)
실험3(길게-무겁게-세게, 왕복횟수: 17)

셋째, 불일치 증거는 무시하고, 우세한 증거에 기초하여 결론을 도출한다(원인변인통제D형).

특정 변인값이 포함된 증거를 모두 제시하되 결론과 일치하지 않는 불일치 증거는 무시하고, 우세한 증거에 기초하여 결과를 해석하였다. 즉, 증거 자료가 세 가지 이상인 경우에는 우세한 증거에 기초하여 판단하는 불완전 증거 기초 반응이다. 그 예로 준영의 응답 원안을 아래에 간단히 서술하였다. 준영은 '약할수록 왕복횟수가 많다' 라는 결론을 내리고 증거로 '약하게'가 포함된 실험 사례를 모

두 제시하지만, 그 중 실험2는 왕복횟수가 적다. 그러나 실험1과 실험4가 왕복횟수가 많기 때문에 결론에서는 약할수록 왕복횟수가 많은 것으로 최종 결론을 내리게 된다.

<미는 세기에 대한 준영의 응답>

- 결론도출: 약할수록 왕복횟수가 많다.
- 증거제시: 실험1 (짧게-무겁게-약하게, 왕복횟수: 22)
실험2 (길게-가볍게-약하게, 왕복횟수: 17)
실험4 (짧게-가볍게-약하게, 왕복횟수: 22)

넷째, 증거와 관계없이 선행신념에 기초하여 결론을 도출한다(원인변인통제D형, 원인변인변화D형)

앞서 증거제시 유형의 특징을 살펴보는 과정에서 언급하였듯이, 실험 결과와 일치하지 않는 결론을 내리게 되는 유형이 있었다. 이 유형에 속하는 학생들은 제시된 증거를 어떻게 평가하는지에 대해 분석하기 위해 선행신념과 결론을 비교하여 Table 3에 나타내었다. Table 3에서 살펴보면 제시한 증거의 실험 결과와 일치하지 않는 결

Table 3. Conclusion and prior belief

Variable	Conclusion	Prior belief	Types of evidence choice	
			Controlling causal variable D	Variance causal variable D
Length	Long	Long	2(IB)	
		Short	1	
	Short	Long	2	
		Short	10(IB)	1(IB)
Weight	Heavy	Heavy	7(IB)	2(IB)
		Light	3	
		Heavy	4	
	Light	Light	4(IB)	3(IB)
		The others	1	
	Not affect	Heavy	1	
		Light	1	
The others	Light		1	
Push	Hard	Hard	16(IB)	4(IB)
		The others	1	
	Gentle	Hard	2	
		Gentle	10(IB)	
		The others	1	
	Not affect	Gentle		1

IB: idea-based

론을 도출한 학생이 길이에 대해서는 16명, 무게에 대해서는 27명, 세기에 대해서는 35명으로 나타났다. 이러한 학생들의 결론 도출 근거를 조사한 결과 길이에 대해서 13명(81%), 무게에 대해서 16명(59%), 세기에 대해서 30명(86%)의 학생이 선행 신념과 일치한 결론을 도출하였다. 즉, 많은 학생들은 자신이 제시한 증거 실험의 결과와 관계없이 자신의 선행신념에 기초하여 결론을 도출하는 경향이 강하게 나타났다.

다섯째, 제시된 변인은 모두 원인 변인이라고 생각한다.

결과 해석시 변인을 통제하지 못하여 증거를 과학적으로 제시하지 못하는 학생들의 어려움을 살펴보기 위하여 해당 학생들과의 면담을 실시하였다. 단순변인 과제와는 달리 다중변인 과제에는 여러 가지 변인들이 제시되고, 대부분의 학생들은 이런 원인 변인들이 반드시 결과 변인에 영향을 줄 것이라는 가정을 한다. 이러한 경향은 현행 과학과 교육과정에서 대부분의 변인 통제와 관련된 실험들이 무관한 변인이 제시된 경우는 거의 없기 때문이다. 그래서 학생들 대부분은 제시된 변인이 무관한 변인이라는 생각은 거의 하지 않는다. 진자의 왕복 횟수에 대해서도 진자의 길이, 무게, 미는 세기가 모두 영향을 줄 것이라는 선행신념을 지니고 있었다.

구체적으로 진자의 운동과 관련된 시범 실험을 보여주기 전에 '실의 길이', '추의 무게', '미는 세기'가 진자의 왕복 횟수에 어떠한 영향을 주는지에 대한 학생들의 생각을 조사하였다. Table 4은 학생들의 응답을 왕복 횟수가 많을 것이라고 생각하는 변인값에 대한 응답률이다.

실의 길이에서는 '짧게'의 응답 비율이 72.6%, 미는 세기에 대해서는 '세게'가 68.4%로 가장 높았고, 추의 무게에 대해서는 '무겁게'가 48.4%, '가볍게'가 47.4%로 비슷하게 나타났다. 자신의 생각에 대해 이유를 표현한 것 중에서 변인값별로 대표적인 사례를 제시하면 아래와 같다.

- ① 짧게-이동거리가 짧아져서 왕복횟수가 많아진다.
- ② 무겁게-무거운 것이 빨리 떨어진다.
- ③ 가볍게-미는 힘이 같으면 가벼운 것이 속도가 커진다.
- ④ 세게-세게 밀면 속도가 빨라진다.
- ⑤ 약하게-약하게 밀면 이동거리가 짧아진다.

따라서, 이러한 잘못된 선행신념을 과학적 개념으로 변화시키기 위해서는 실제 과학교육과정에서 결과 변인에 영향을 주지 않는 무관한 변인을 찾아내는 탐구자료가 필수적일 것이다.

여섯째, 원인 변인들은 반드시 상호작용할 것이라고 가정한다.

한 변인에 의한 효과를 설명하기 위하여 증거를 선택할 때 특정 변인값을 선호하여 제시하지만, 실험 결과는 서로 모순되게 나타나는 경우가 있다. 이런 경우 그 원인을 다른 변인의 변인값에 의한 것으로 생각하는 변인값의 조합에 대한 집착이 나타났다.

아래에 응답 사례가 제시된 이민아의 경우 '짧게, 가볍게, 약하게'라는 조합 조건에 집착하는 학생으로, 실험2에서 왕복횟수가 적은 것을 실을 길게 하였고 때문이라는 것이다. 즉, 실의 길이 조건이 짧을 경우에만 '약하게'가 왕복횟수를 증가시킬 수 있다고 설명한다. 이는 다중변인 과제에서 원인 변인을 독립적으로 해석하지 않고 반드시 서로 상호작용할 것이라는 가정을 하기 때문이다. 따라서, 다중변인 과제에서 변인들이 서로 상호작용하여 결과 변인에 영향을 주는 사례와 함께 원인 변인이 독립적으로 영향을 주는 사례 등에 대한 다양한 학습 경험을 조직하여 제공할 필요가 있다.

〈추의 무게에 대한 이민아의 응답〉

- 결론도출: 가벼울수록 왕복횟수가 많아진다.
- 증거제시: 실험2(길게-가볍게-약하게, 왕복횟수: 17)
실험4(짧게-가볍게-약하게-왕복횟수: 22)

Table 4. Prior belief about the value of variables which influence the frequency of the pendulum

Length		Weight		Push	
Long	23.2	Heavy	48.4	Hard	68.4
Short	72.6	Light	47.4	Gentle	25.3
Not affect	1.1	Not affect		Not affect	
The others	3.2	The others	4.2	The others	6.3

*Value of the variable when the frequency of the pendulum is high.

IV. 결론 및 제언

이 연구에서는 변인통제 문제에서 통합 탐구능력의 핵심인 실험설계와 증거제시 과정에서 나타난 초등학생들의 변인통제 특성 및 어려움을 구체적으로 알아보았다. 학생들의 응답 및 면담을 바탕으로 분석한 결론은 다음과 같다.

첫째, 변인통제 문제해결 과정에서의 실험설계 유형으로는 통제변인변화형, 원인변인통제형, 완전변인통제형, 불완전변인통제형, 모든변인변화형으로 구분되었다. 선행신념의 영향으로 특정 변인값을 포함하여 실험설계를 함으로써 변인통제를 잘 하지 못하였고, 변인을 잘 통제하더라도 선행신념에 포함된 특정 변인값을 포함시키려 하였다. 실험설계에 영향을 주는 선행신념은 주로 결과 변인값이 최대가 되게 하는 원인 변인값으로 고정된다는 특징을 보였다.

둘째, 변인통제 문제에서 자신이 내린 결론에 대한 증거제시 사례를 분석한 결과 원인변인의 변화 여부, 통제 변인 통제 여부, 실험결과와 결론의 일치 여부에 따라 완전변인통제형, 원인변인통제형, 원인변인변화형으로 구분되었으며, 특정 원인값이 포함된 실험만을 제시하는 원인 변인통제형이 가장 빈도가 높았다. 실험설계에 비해서 증거제시에서의 변인 통제 능력이 훨씬 부족한 것으로 나타났는데, 선행신념에 포함된 특정 원인 변인값에 대한 집착, 증거 실험에 제시된 실험 결과와 선행신념과의 불일치, 제시된 변인들은 모두 원인변인이며 상호작용할 것이라는 다중변인과제에서의 잘못된 선행신념 등은 증거제시 과정에서 변인통제 능력의 발현을 방해하는 요인으로 분석되었다. 따라서, 형식적 사고 수준의 변인통제 능력을 발달시키기 위한 프로그램은 선행신념에 대해 인지 갈등을 유발할 수 있는 활동에 의해 구조화되어야 하며, 변인 통제나 증거 제시 등과 같은 탐구 과정 요소의 특성을 고려하여 개발되어야 할 것이다.

국문 요약

이 연구에서는 초등학교 6학년을 대상으로 변인통제 능력이 요구되는 문제해결 과정에서 실험설계와 증거제시의 특성 및 어려움을 분석하였다. 연구 결과 변인통제 문제 해결 과정에서의 실험설계 유형은 원인 변인과 통제 변인의 통제나 변화 여부에 따라 통제변인변화형, 원인변인통

제형, 완전변인통제형, 불완전변인통제형, 모든변인변화형으로 구분되었으며, 실험설계 과정에서 선행신념에 포함된 원인 변인값을 포함시키려는 경향이 강하게 나타났다. 결론에 대한 증거제시 사례를 분석한 결과 원인변인의 변화 여부, 통제변인 통제 여부, 실험결과와 결론의 일치 여부에 따라 완전변인통제형, 원인변인통제형, 원인변인변화형으로 구분되었으며, 원인변인통제형이 가장 빈도가 높았다. 실험설계에 비해서 증거제시에서의 변인통제 정도는 훨씬 낮았는데, 이는 선행신념에 포함된 원인 변인값에 집착한 증거제시, 증거 실험에서의 실험 결과와 선행신념의 불일치, 다중변인과제에 대한 잘못된 선입견 때문인 것으로 나타났다. 따라서, 선행신념을 극복할 수 있고, 탐구 과정 요소의 특성이 반영된 다양한 변인통제 발달 프로그램이 개발되어야 할 것이다.

참고 문헌

- 김현재, 장경례(1991). 인지가속자료 적용을 통한 논리적 사고의 지도 효과. 한국초등과학교육학회지, 10(2), 159-173.
- 양일호, 권용주, 김영신, 장명덕, 정진우, 박국태(2002). 학생들의 사전 지식이 밀도과제의 과학적 추론에 미치는 영향. 한국과학교육학회지, 22(2), 314-335.
- 임청환, 권성기, 송명섭, 송남희 역(1999). 초등과학교육: 구성주의적 접근. 시그마프레스.
- 최미화(2002). 'Thinking Science' 활동이 중학생의 인지 가속에 미치는 효과 및 인지 수준과 동기 유형에 따른 'Thinking Science' 문제 해결 과정 분석. 한국교원대학교 박사학위논문.
- 최병순, 허명(1987). 중학생들의 인지 수준과 과학 교과 내용과의 관계 분석. 한국과학교육학회지, 7(1), 19-32.
- Chinn, C. A., & Brewer, W. F.(1993). The role of anomalous data in knowledge acquisition: A theoretical framework and implications for science instruction. *Review of Educational Research*, 63, 1-51.
- German, P. J., Haskins, S., & Auls, S.(1996). Analysis of nine high school biology laboratory manuals: Promoting scientific inquiry. *Journal of Research in Science Teaching*, 33(5), 475-499.

- Inhelder, B., & Piaget, J.(1958). *The growth of logical thinking*. Basic Books: New York.
- van Jooligen, W. R., & de Jong, T.(1991). Supporting hypothesis generation by learners exploring an interactive computer simulation. *Instructional Science*, 20, 389-404.
- Karplus, R.(1977). *Science teaching and the development of reasoning*. University of California: Berkely, CA.
- Lawson, A. E., & Wollman, W. T.(1976). Encouraging the transition from concrete to formal cognitive functioning an experiment. *Journal of Research in Science Teaching*, 13, 413-430.
- Linn, N. C.(1980). When do adolescents reason? *European Journal of Science Education*, 2(4), 429-440.
- Rosenthal, D.(1979). The aquisition of formal operations: The effects of two training procedures. *Journal of Genetic Psychology*, 134, 125-140.
- 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.(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.
- Wylam, H., & Shayer, M.(1978). *CSMS Science Reasoning Tasks*. NFER Publishing Company: Berks, 6-28.