

과학적 가설 검증을 위한 학생들의 실험 설계 내용 분석

박 종 원

(전남대학교 사범대학 물리교육과)

An Analysis of the Experimental Designs Suggested by Students for Testing Scientific Hypotheses

Park, Jongwon

(Chonnam National University, Department of Physics Education)

ABSTRACT

This study is one of the successive studies for investigating students' processes of generating and evaluating scientific hypothesis. In this study, I analyzed the characteristics of students' experimental design to test whether the given hypotheses were correct or not.

As results, it was found that (1) 3 components (experimental method, prediction of the result of experiment, evaluation of hypothesis) were needed to complete description of the experimental design, (2) students tried to test hypothesis considered as being correct as well as hypothesis considered as being false by students, (3) student tried to confirm hypothesis, which was considered as being correct, based on theoretical approach rather than experimental approach, (4) students' experimental design could be classified as two types, that is, direct experimental testing and comparative experimental design, and the latter could be classified as two subtypes; positive comparative one and negative comparative one, (5) students showed tendency to design positive comparative experiment when they considered hypothesis as being correct, and vice versa, (6) students preferred the prediction which could confirm the hypothesis when they considered the hypothesis as being correct, and vice versa, (7) many students rejected contradicting prediction even though they did not actually conduct experiment yet.

Key words: test of scientific hypothesis, experimental design, biased response

I. 서 론

과학교육자들은 자연 현상에 대한 학생들의 사전개념을 알아내고, 그들의 개념이 불완전하거나 오개념인 경우에 어떻게 학생의 사전개념을 보다 과학적인 개념으로 변화 발달시킬 수 있는지를 연구해 왔다(박종원, 2002; Kaufman *et al.*, 2000). 한편 과학적 활동에서 가설의 설정과정과 가설의 검증과정은

중요한 과정이다(Klahr & Dunbar, 1988; Klahr, 2000; Poletiek, 2001). 따라서, 우리는 학생의 선행 개념을 하나의 가설로 보고, 학생들의 가설 생성과정과 가설 검증과정을 과학적 탐구의 본성에 비교하여 어떠한 특징들이 있는지 분석해 왔다(Park *et al.*, 2001; Park & Kim, 2002).

예를 들어, 학생들의 과학적 가설 생성과정을 연구한 Park와 Kim (2002)에 의하면, 학생들이 제안한

*2003.2.8(집수) 2003.2.26(최종 통과)

**박종원(jwpark94@chonnam.ac.kr)

***이 논문은 2001년도 학술진흥재단의 지원에 의하여 연구되었음. (KRF-2001-041-C00642)

가설은 그 특징에 따라 이론적 가설, 경험적 가설, 보조가설로 나뉠 수 있었다. 그리고 학생들이 가설을 제안하는 과정은 4단계(현상의 관찰 - 인과적 질문 제기 - 가설의 탐색 - 가설의 제안)로 요약할 수 있으며, 새로운 가설을 제안하기 위해서 귀추적 사고(abductive thinking)를 사용하고, 이때 배경지식이 중요한 역할을 한다는 것을 알 수 있었다.

과학적 가설의 검증 과정은 크게 세 과정으로 나누어진다(박종원, 1998) : (1) 가설에 의한 실험적 예측, (2) 실제 실험, (3) 실제 실험 결과에 의한 가설의 평가. 여기에서 처음 2단계를 논리적인 과정으로 나타내면 다음과 같다.

전제 1 : 어떤 가설(H)에 의하면, 어떤 실험적 결과(R)이 예측된다.

전제 2 : 실제 실험을 실시하였더니, 실험 결과 (R)이 나왔다(또는 나오지 않았다)

3번째 단계는 전제 1과 2에 의한 논리적인 결론인데, 실제 실험결과 (R)이 나온 경우에는 후건긍정식에 따라 가설(H)이 옳다는 논리적인 결론을 내릴 수 없지만, 실제 실험결과(R)이 나오지 않은 경우에는 후건부정식에 따라 가설(H)이 틀리다는 논리적인 결론을 내릴 수 있다(Popper, 1968, p. 41).

이러한 논리적 논의에 기초하여, Park et al. (2001)은 학생의 가설을 조사하고, 학생에게 자신의 가설을 지지하는 실험과 반증하는 실험을 직접 관찰하게 하면서, 학생의 가설확증 과정과 반증과정을 조사하였다. 조사 결과, 가설의 확증과정에서는 후건긍정의 오류를 범하는 경우가 많음을 알 수 있었다. 또한 가설의 반증과정에서는 후건부정논리에 따라 자신의 핵심가설을 폐기하는 경우도 있었지만, 라카토스식으로 보호대만을 수정하여 핵심이론을 그대로 유지시키는 경우도 볼 수 있었다. 이때 전자의 경우에는 불일치 현상을 설명하기 위한 새로운 설명이론의 제안이 중요한 역할을 한다는 것을 알 수 있었다.

이러한 일련의 연구는 어떤 현상을 설명하기 위해 학생들이 어떻게 가설을 제안하고, 주어진 실험결과에 따라 가설을 평가 및 검증하는데 어떠한 특징이

있는지를 알아보기 위한 것이었다. 그러나, 가설을 검증하기 위해 학생들이 스스로 실험을 설계하는 과정에 대한 연구는 직접 수행하지 못하였다.

심리학 분야에서 가설 검증을 위한 실험 설계과정에 대한 분석 연구로 Wason(1960)의 연구가 있다. 그는 A, B, 4, 7이라고 각각 쓰여진 4장의 카드를 제시하고, '만일 카드의 앞면에 모음이 적혀 있으면, 뒷면에는 짝수가 적혀있다'는 법칙이 맞는지 알아보려면 어떤 카드를 뒤집어 보아야 하는지를 물어 조사하였다. 또, Klahr(2000)는 모형 자동차의 진행, 회전, 후진 등의 조작을 위한 리모컨에 있는 버튼들의 역할을 알아보도록 하는 과제를 통해 피험자들의 실험 설계 과정을 분석하기도 하였다. 그리고 Laughlin et al.(1997)이나 Laughlin et al.(1999)의 연구에서는 가설검증을 위한 실험설계 전략에 두 가지가 있음을 지적하였다: ① 긍정적 가설검증 전략, ② 부정적 가설검증 전략. 여기에서 긍정적 가설검증 전략이란, 생성된 가설에 해당되는 예를 통해 가설을 검증하고자 하는 경우이고, 부정적 가설검증 전략이란 반례를 통해 가설을 검증하고자 하는 경우를 의미한다. 이때 그들은, 연속된 카드의 나열 속에서 숨겨진 규칙을 찾아가는 과정에서는 예를 통한 가설 검증 전략, 즉 긍정적 가설 검증 전략이 보다 효과적임을 관찰하였다.

그러나, 대부분의 심리학적 연구들이 과학적 추론에 대한 연구임에도 불구하고, 실제 과학 내용을 사용하지도 않았으며, 실제 과학자나 과학을 배우는 학생을 대상으로 한 연구들이 아니었다.

이에 반해, Baker와 Dunbar (2000)는 실제 생물학자와 대학생을 대상으로 실험설계의 특성을 분석하였다. 분석결과, 연구자들은 실험 설계에 ① 실험조건과 ② 통제조건이 포함된다고 주장하였다. 여기에서 실험조건이란, 어떤 변인 A와 결과 B와의 관계를 알아보기 위한 실험에서 변인 A가 있을 때 결과 B가 나타나는지를 알아보기 위한 실험인 경우를 의미한다. 예를 들면, 생물학에서 어떤 단백질 A가 세포의 기능 B를 나타내게 하는 것이라고 생각하는 경우에 단백질 A가 없는 세포에 단백질 A를 주입해서 기능 B가 생기는지를 보는 실험을 저자들은 실험조건이라고 명명하였다. 그리고 통제조건을 다시 2가지로 나

누었다: ① 기초 통제 (baseline control), ② 알려진 기준 통제(known standard control). 기초 통제란, 변인 A가 없을 때, 결과 B가 정말 나타나지 않는지를 보기 위한 실험을 의미하는 것으로, 단백질 A와 세포기능 B에 대한 실험에서, 세포가 기능 B를 하지 못하는 경우에 정말 단백질 A가 없는지를 조사하는 실험을 말한다. 다시 요약하면, 실험조건이란 A가 있으면 B가 나타나는지를 보는 것이고, 기초통제란 B가 없는 경우에는 정말 A가 없는지를 보는 것이라고 하겠다. 알려진 기준 통제란 이미 사용되었고 타당성이 확보된 기준화된 방법으로 실험을 하여, 실험방법의 신뢰도와 오차를 줄이거나 해석하기 위한 실험 방법을 의미한다. 예를 들면, 변인 A의 검출방법이나 효과 B의 측정방법에 대한 오차를 줄이거나 신뢰도를 확보하기 위한 실험일 수 있다.

그들이 분류한 실험조건과 기초통제는, 흔히 우리가 말하는 실험그룹과 통제그룹에 대한 실험에 해당된다고 볼 수 있다. 또한 알려진 기준통제란, 실험방법의 타당성을 확보하기 위한 실험이라고 볼 수 있다.

과학을 배우는 학생을 대상으로 한 연구에는 Lawson *et al.*(2000)의 연구가 있다. 그들은 학생들의 가설 검증 기술은 두 단계의 발달과정을 거친다고 보았다: ① 관찰가능한 원인작용에 대한 가설 검증하기 기능, ② 관찰가능하지 않은 것에 대한 가설 검증하기 기능. 그들은 생물학을 배우는 대학생을 대상으로 과학적 가설을 제안하고 검증하는 순환학습 수업을 통해, 가설검증 기술단계가 높을수록 생물수업 성취도가 높고, 문제 해결력의 전이가 높다는 것을 관찰하였다.

또, 아동을 대상으로, 실험설계 부분 중에서 특별히 변인통제 전략의 사용에 대한 연구로 Chen과 Klahr (1999)의 연구가 있다. 연구결과 그들은, 범영역적 일반기능이라고 볼 수 있는 변인통제 전략의 사용은 10살 아동에게도 명시적인 훈련과 탐침 질문(probe question)을 통해 다른 실험설계에 전이될 수 있다는 것을 관찰하였다.

이러한 학생을 대상으로 한 연구들은 주로, 학습이나 훈련을 통한 실험설계 기능의 향상을 조사하거나, 그러한 기능의 향상이 개념적 이해나 성취도에 관련

이 있는 지 등을 조사하였다. 따라서, 학생들이 실험 설계하는 과정자체를 보다 깊이 조사함으로써, 학생들이 제안하는 실험설계에는 어떠한 특징이 있는지, 그러한 특징으로부터 학생들의 탐구활동 지도를 위한 시사점은 무엇인지 등을 세부적으로 조사하지는 않았다.

따라서, 본 연구에서는 물리학 내용에 대해 학생들이 가설검증을 위한 실험을 설계하도록 하여, 그들이 설계한 내용과 특성을 분석하고자 하였다.

II. 연구 방법

1. 조사내용과 대상

본 연구에서는 구리봉 안에서 천천히 떨어지는 자석의 운동에 대해 주어진 가설을 검증하기 위한 실험을 설계하도록 하였다(Fig. 1). 이 상황은 Park과 Kim (2002)이 알미늄 봉 안에서 떨어지는 자석의 운동에 대해 학생들이 가설을 제안하는 과정에 대한 연구에서 사용된 상황과 동일하다. 단, 앞선 연구(Park & Kim, 2002)에서는 학생의 가설 설정과정을 연구

Chulsoo and Youngsoo observed that a magnet fell slowly inside the copper pipe set up vertically. And they suggested following hypotheses to explain the observation.

- Chulsoo : I think this may be because of the friction such as air resistance or friction between a magnet and the inside wall of the copper pipe.
- Youngsoo : I think this may be because of the electric current induced by the falling magnet. Then this electric current makes magnetic field, and this magnetic field pull or push the magnet.

1. What do you think which hypothesis is correct?
2. Why do you think so?
3. Suggest the experiment to test whether above hypotheses are correct or not?

Fig. 1. Questionnaire

하였다면, 본 연구에서는 제안된 가설의 검증을 위한 학생의 실험설계 특성을 연구한 것이다. 본 연구에서는 2개의 가설(옳다고 생각되는 가설과 틀리다고 생각되는 가설)이 주어지고, 그 가설들을 검증하기 위한 실험을 설계하도록 하였다. 여기에서 두 개의 가설이 주어진 이유는 옳다고 생각되는 가설뿐 아니라, 틀리다고 생각되는 가설을 함께 제시하여 두 가설을 검증하는 과정을 비교해 보기 위해서였다.

2. 사전조사

본 연구는 열린 면담을 통해 학생의 실험설계과정을 보려는 것이다. 따라서, 본 면담을 실시하기 전에 학생들의 반응이 얼마나 다양할 것인지, 면담에서 주의할 것이나 특별히 관심있게 조사해야 할 것이 무엇인지 등을 사전에 살펴볼 필요가 있었다. 따라서 본 면담을 실시하기 전에 대학교 1학년생 2명을 대상으로 사전면담을 실시하였는데, 사전면담으로부터 밝혀진 주요 특징들이 다음과 같았다.

① 실험 설계를 위한 진술문에는 다음 3가지 요소가 필요하다: 실험 방법(E), 가설에 의한 실험 결과 예측(R), 예측에 따른 가설의 평가(H). 예를 들면, “어떤 실험 E를 하였을 때 결과 R이 나온다면, 가설 H가 옳은 것(또는 틀린 것)이다.” 또는 “가설 H가 옳다면 (또는 틀리다면) 어떤 실험 E를 하였을 때 결과 R이 예측된다”와 같이 진술되어야 한다. 구체적으로 예를 들면 다음과 같다: “진공에서 구리봉 안으로 자석을 떨어뜨렸을 때(E) 빨리 떨어진다면(R), 철수의 가설이 틀린 것이다(H).”

그러나, 학생들이 진술한 실험 설계 내용을 보면, 실험설계 내용이 분명하지 못한 경우가 있었다. 즉, 누구의 가설을 검증하는 실험인지, 실험을 하면 결과가 어떻게 나온다는 것인지, 그렇게 실험하면 누구의 가설을 검증하게 되는 것인지 등이 분명하게 진술되지 않은 경우가 있었다.

② 주어진 가설 2개를 모두 검증하지 않고, 하나의 가설만 검증하기 위한 실험을 설계한 경우가 있었다.

③ 실험 결과에 대한 예측을 편향되게 하는 경우가

있었다. 예를 들어, 옳다고 생각되는 가설에 대해서는 가설을 반증하는 실험 결과를 예측하지 않는 경우가 있었다.

3. 본 연구에서의 면담 절차

사전면담을 통해 밝혀진 이러한 특징에 기초하여 본 면담은 다음과 같이 크게 3 단계로 계획되었다.

1단계 : 자발적인 실험 설계(Spontaneous Design of Exp. : SD)

1단계에서는 설문지에 자발적으로 실험을 설계하라고 하였다(설문지에 기술된 자발적 실험설계: SD in Questionnaire). 만일 제시된 실험 설계 내용이 불완전하면, 면담을 통해 실험 설계 내용을 정교화시키도록 하였다(면담을 통한 자발적 실험설계의 정교화: SD through Interview). 1단계 면담에서 사용한 주요 질문은 다음과 같다.

- 어떻게 실험하는 건데? 좀 더 자세히 설명해 볼래? (실험방법(E)에 대한 면담)
- 그렇게 실험하면 어떤 결과가 가능한데? 어떤 결과가 나올 수 있는데? (실험 결과 예측(R)에 대한 면담)
- 그렇게 결과가 나오면, 가설이 옳다는 거야? 틀리다는 거야? (가설검증(H)에 대한 면담)

2단계 : 강요된 실험 설계 (Forced Design of Exp. : FD)

2단계에서는 주어진 2개의 가설 중 하나의 가설만 검증하는 실험을 설계한 경우에 나머지 가설을 검증하는 실험을 설계하도록 강요하였다. 또, 실험적 예측 과정에서 편향된 예측만을 한 경우에 다른 예측의 가능성에 대해서 어떻게 생각하는지를 조사하였다. 2단계 면담에서 사용한 주요 질문은 다음과 같다.

- 〈하나의 가설만을 검증하기 위한 실험설계를 한 경우〉 그러면 철수 (또는 영수)의 가설이 옳은지 틀린지 알려면 어떻게 실험해야 하지? (FD for

a remaining hypothesis)

- <편향된 실험적 예측만을 한 경우> 결과가 (내가 예측한 것과) 반대로 나올 가능성은 없니? 실제 실험에서 결과가 반대로 나왔다면? 그러면, 철수 (또는 영수) 가설이 옳다는 거야? 틀리다는 거야? (FD for other possible results)

3단계 : 추가 내용 (Additional Information : AI)

3단계에서는 추가적으로 더 필요한 실험이 있는지, 실험시 주의 사항이 있다면 무엇인지, 가설에 관련된 배경지식에 대해서 어느 정도로 알고 있는지 등을 알아보기 위해 실시한 면담이었다. 3단계 면담에서 사용한 주요 질문은 다음과 같다.

- 더 필요한 실험은 없니?
- 실험시 주의사항이 있다면 무엇일까?
- (특정 내용이나 개념에 대해서) 좀더 자세히 (알고 있는 내용을) 설명해 볼래?

본 면담에 참여한 학생은 대학교 1학년생 8명이었고, 면담에 소요된 시간은 1인당 약 30분 정도였다. 이 학생들은 일반물리에서 전자기 유도에 대한 기본

적인 개념을 이미 배웠으며, 구리봉에서 자석이 천천히 떨어지는 현상도 수업 중에 관찰한 바 있다.

Ⅲ. 결 과

두 개 가설에 대한 사전 평가(prior assessment) 결과

설문지 Fig. 1에서는 먼저 두 개의 가설이 주어지고, 누구의 가설이 옳다고 생각하는지(사전평가)를 물었다. 조사결과, 두 개의 가설에 대해서 8명 모두 철수의 가설(공기 마찰때문이라는 가설)은 틀리다고 생각하고 있었고, 영수의 가설(전자기 유도때문이라는 가설)은 옳다고 응답하였다.

자발적 실험 설계(SD)의 내용 구성요소 분석

사전면담에서 밝혀졌듯이, 학생들이 제안한 실험 설계 내용은 3가지 구성요소(실험내용(E), 실험결과 예측(R), 가설검증(H))로 요약할 수 있었다. 실제 학생의 반응 예는 다음과 같다.

- 학생 E : 자석과 그에 동일한 무게와 크기를 지

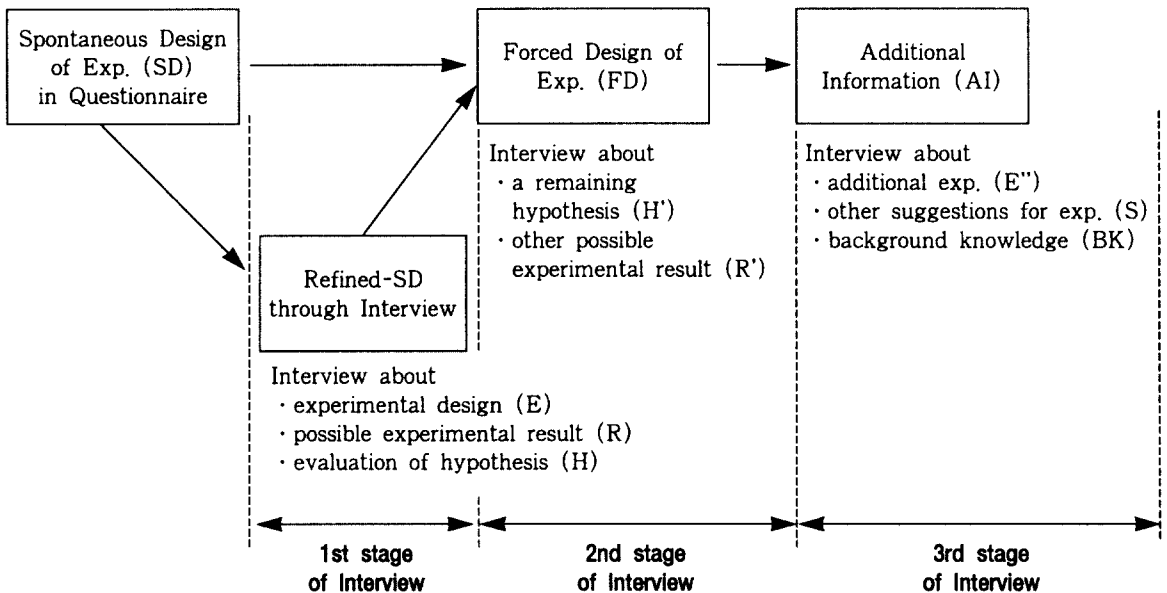


Fig. 2. Interview process and the details of interview

닌 물체를 준비하여 구리봉 안에서 떨어뜨려 낙하시간을 비교한다(E). 자석과 물체의 낙하시간이 동일하다면(R), 철수 생각이 ... 옳은 것이다(H).

· 학생 B : 철수 생각이 틀리다는 것을 보여주기 위해 (H), 유리구슬을 떨어뜨려 본다(E).

설문지에 제시된 학생의 자발적 실험설계 내용을 3개 구성요소로 요약 분석한 결과가 Table 1에 제시

되어 있다. 이때 Table 1에서 구성요소(parts)의 기호약속은 다음과 같다.

- E : 어떤 실험(E)을 한다.
- R : 어떤 결과(R)가 예측된다.
- cHf : 철수(C)의 가설(H)이 틀리다(F).
- yHc : 영수(Y)의 가설(H)이 옳다(C)

그리고, 만일 한 학생이 여러 개의 실험을 설계한

Table 1. Contents and components composing SD

Student	Spontaneous Experimental Design (SD)	
	Components	Contents
A	E(-R-cHf-yHc)*	do experiment(E) (if some result(R) is obtained, then Chulsoo(C)'s hypothesis(H) is false(F) and Youngsoo(Y)'s hypothesis(H) is correct(C))
B	B1 cHf-E (-R)	to show that Chulsoo's(C) hypothesis(H) is false(F), do experiment (E) (then result(R) will be obtained)
	B2 yHc-E-R	to show that Youngsoo's(Y) hypothesis(H) is correct(C), do experiment(E), then result(R) will be obtained.
C	E(-R-yHc)	do experiment(E) (if result(R) will be obtained, Youngsoo(Y)'s hypothesis(H) is correct(C))
D	cHf-E (-R)	to show that Chulsoo's(C) hypothesis(H) is false(F), do experiment (E) (then, result(R) will be obtained)
E	E1 cHc-E-R	if Chulsoo's(C) hypothesis(H) is correct(C), result(R) is predicted when experiment (E) is done
	E2 yHc-R-E	if Youngsoo(Y)'s hypothesis(H) is correct(C), result(R) will be obtained when experiment(E) is done.
	E3 E-R-cHc-R 'y Hc	if experiment(E) is done and result(R) is obtained, then chulsoo(C)'s hypothesis(H) is correct(C), or if other result(R') is obtained then Youngsoo(Y)'s hypothesis(H) is correct(C)
F	E (-R-cHf)	do experiment(E) (if result(R) is obtained, then Chulsoo(C)'s hypothesis(H) is false(F))
G	G1 cHt-E (-R-cHf)	to test(T) Chulsoo(C)'s hypothesis(H), do experiment(E) (if result(R) is obtained, then Chulsoo(C)'s hypothesis(H) is false(F))
	G2 yHt-E-R (R-yHc)	to test(T) Youngsoo(Y)'s hypothesis(H), do experiment(E) and observe whether result (R) is obtained or not (if result(R) is obtained then Youngsoo(Y)'s hypothesis(H) is correct(C))
H	H1 E-R (-cHf)	if experiment(E) is done, then result(R) will be obtained. (then Chulsoo's(C) hypothesis(H) is false(F))
	H2 E-R (R-yHc)	do experiment(E) and observe whether result (R) is obtained or not (if result(R) is obtained, then Youngsoo(Y)'s hypothesis(H) is correct(C))

* components or contents inside a parenthesis indicate refined-SD in the 1st stage of interview

경우에는 학생 이름에 1, 2의 번호를 붙였다. 즉, B 학생이 2개의 실험을 설계했으므로 각 경우를 B1과 B2로 표시하였다. 또, 설문지에 기술한 실험 설계 내용(SD in questionnaire)에서 E, R, H 중 하나 이상이 빠져 있는 경우에 1단계 면담을 통해 정교화된 자발적 실험설계(refined-SD through interview) 내용은 Table 1에서 괄호 안에 나타내었다.

Table 1을 보면, 어떤 학생들은 설문지에 기술한 자발적 실험설계(SD in questionnaire)에 H, E, R 모두를 포함시켰지만(학생 B2, E1등), 어떤 학생들은 이 3개 구성요소(components) 중 하나 또는 둘만 포함한 경우가 많이 있음을 알 수 있다. (예를 들면, 학생 A는 설문지에서 실험방법(E)만 기술하였다). 이 결과는 Table 2에 제시되어 있다.

Table 2. Students according to components composing SD in questionnaire

Components	Students
H, E, R	B2, E1, E2, E3, G2 (3 students)
H, E	B1, D, G1 (3 students)
E, R	H1, H2 (1 student)
E	A, C, F (3 students)

Table 2에서 나타난 분석결과 나타난 특징 ①은 다음과 같다.

특징 ① : 학생들은 실험 설계에 대한 진술문을 분명하게 표현하지 못한다.

즉, 학생들이 설문지에 기술한 자발적 실험설계(SD in questionnaire)에서 구성 요소 3가지 (E, R,

H)가 모두 포함된 경우는 총 13개 실험 설계 중에서 5개(39%)에 불과하고, 실험을 설계한 학생 8명 중에서 3명(38%)에 불과한 것으로 나타났다.

영국과학교사협회(ASE)에서는 의사소통 기능을 3개의 과학적 탐구기능 중 하나로 명시하였다(Nellist & Nicholl, 1986). 그러나, Lemke (1990)는 학생들이 실험실에서 실제로 진행되고 있는 일을 묘사하는데 필요한 언어구사능력을 충분히 가지고 있지 못하다고 지적한 바 있다(Gaugh, 1998, pp. 81-82에서 인용). 본 연구에서도 학생들이 자신들의 실험설계 내용을 분명하게 표현하는데 부족한 부분이 있음을 알 수 있었다.

Table 1에 기초하여, 학생들이 옳다고 생각하는 가설(영수가설)과 틀리다고 생각하는 가설(철수가설)을 모두 검증하려고 하는지, 아니면 옳다고 생각하는 가설만 검증하려고 하거나, 틀리다고 생각하는 가설만 검증하려고 하는 편향적인 경향이 있는지를 알아보기 위해 Table 3과 같이 정리하였다. 이때 학생 A와 학생E(E3로 표시)는 하나의 실험으로 철수와 영수의 가설을 동시에 검증하려 하였지만, 학생 B, E, G, H는 각각 철수의 가설을 검증하기 위한 실험(B1, E1, G1, H1)과 영수의 가설을 검증하기 위한 실험(B2, E2, G2, H2)을 따로 제시하였다. Table 3에서 배경지식은 3단계 면담에서 전자기 유도와 관련된 개념의 이해 정도를 개인별로 물어서 이해 수준을 1~3으로 평가하였을 때, 그 결과를 평균한 것이다.

Table 3에 의해 나타난 자발적 실험설계(SD)의 특징 ②는 다음과 같다.

특징 ② : 학생들은 옳다고 생각되는 가설(영수 가

Table 3. Kinds of hypothesis tested by students

Test of Hypothesis	Students	Level of Background Knowledge
Chulsoo' hypothesis and Youngsoo's hypothesis simultaneously*	A(3)**, B(1), E(3), G(2), H(3)	2.4***
only Chulsoo's hypothesis	D(2), F(1)	1.5
only Youngsoo's hypothesis	C(3)	3

* all subjects thought that Chulsoo's hypothesis is false and Youngsoo's hypothesis is correct.

** point in the parenthesis means the level of understanding of background knowledge related to electromagnetic induction, and point 3 indicates good understanding and point 1 indicates poor understanding.

설)과 틀리다고 생각되는 가설(철수 가설)을 모두 검증하려는 경향이 있었다. 단지, 옳다고 생각되는 가설만 검증하려는 경우에는 배경지식이 높은 경향이 있었고, 틀리다고 생각되는 가설만 검증하려는 경우에는 배경지식이 낮은 경향이 있었다.

즉, 대부분의 학생들은 옳다고 생각하는 가설만 검증하려고 하거나, 틀리다고 생각하는 가설만 검증하려고 하는 편향성을 보이지 않았다. 단, 한가지 흥미로운 결과는, 전자기에 대한 배경지식 점수가 높을수록 옳다고 생각되는 가설을 검증하려고 하였고, 배경지식이 낮을수록 틀리다고 생각되는 가설을 검증하려고 하는 경향이 있었다. 아마도, 주어진 가설에 대해서 완전한 이해가 부족한 경우에는 틀리다고 생각하는 가설을 반증함으로써 옳다고 생각하는 가설을 지지하는 것으로 생각하는 경향이 있고, 이해가 충분한 경우에는 옳다고 생각하는 가설을 확실하게 확증하고 싶어하는 경향이 있는 것으로 생각해 볼 수 있겠다. 그러나, 이러한 해석은 대상 학생수가 너무 작아 현재로서는 일반화하는 데 무리가 있을 수 있다고 생각한다.

C, D, F 학생에 대한 강요된 실험 설계 (FD for a remaining hypothesis) 내용 분석

Table 1에서 C, D, F 학생은 철수의 가설만 검증하거나 영수의 가설만 검증하는 실험설계를 하였다. 이 경우에는 2단계 면담에서 나머지 가설도 검증할 수 있는 실험을 강제로 설계하도록 하였다(FD for a remaining hypothesis).

2단계 면담을 통해 빠진 나머지 가설에 대해서 강요된 실험설계를 하도록 하였을 때 나타난 특징 ③은 다음과 같다.

특징 ③ : 옳다고 생각되는 가설에 대해서 실험적 검증이 아닌, 이론적 검증을 하려는 경우가 있었다.

즉, 학생 F는 옳다고 생각하는 가설에 대해서 실험적 검증을 위한 실험설계를 하라고 하였지만, 이론적

으로 증명하려고만 하였다. 다음은 실제 면담 예이다.

면담자 : 영수말이 맞는지 틀리는지는 어떻게 알아? 어떤 실험을 해야 알 수 있을까?

학생 F : 자석을 놓으면 철가루가 이렇게 되잖아요 (손가락으로 자기장 모양을 그려본다). 자석을 치우면 철가루끼리 인력이 작용해서 붙는 거 보고...

면담자 : 그러면 영수말이 맞는지 틀리는지 어떻게 알아?

학생 F : 철가루가 되면 자기장이 있는 거잖아요. 철가루에 인력이 작용하는 거니까...

면담자 : 자석이 움직이면 전류가 생긴다고 했는데, 전류가 생기는 것은 어떻게 알 수 있을까?

학생 F : 자석이 천천히 내려오는 것을 보고 알 수 있지 않을까요?

학생들의 실험설계(SD와 FD for a remaining hypothesis) 유형 분석

Table 1과 Table 4를 합치면, 학생들은 영수와 철수의 가설을 모두 검증하는 실험을 설계한 결과가 된다. 이제 학생들이 제안한 실험설계 내용의 구체적인 특성을 알아보도록 하겠다. 먼저, 본 연구에서 주어진 가설의 내용은 기본적으로 다음과 같은 형태를 갖는다 : “A의 영향 때문에 B 현상이 나타난다.”

Table 1과 Table 4에서 제시된 학생들이 제안한 실험설계 내용을 구체적으로 살펴보면, 다음과 같은 특징 ④가 있음을 알 수 있었다.

특징 ④ : 실험 설계의 내용을 보면, 직접실험과 비교실험이 있었고, 비교실험에는 다시 긍정비교실험과 부정비교실험이 있었다.

여기에서 비교실험(comparative-testing)이란 A가 B에 미치는 영향을 다른 경우와 비교해서 알아보는 실험방법으로 다음 2가지 유형이 있었다: ① 긍정

Table 4. Contents and components composing FD

Student	Forced Experimental Design (FD)	
	Components	Contents
C	C1 [E-R _c H _F]*	[do experiment(E), if result(R) is obtained, then Chulsoo's(C) hypothesis(H) is false(F)]
	C2 E (-R _γ H _C)**	do experiment(E) (if result(R) is obtained then Youngsoo(Y)'s hypothesis(H) is correct(C))
D	D1 cH _F -E (-R)	to show that Chulsoo's(C) hypothesis(H) is false(F), do some experiment(E) (then, result(R) will be obtained)
	D2 [γH _C -E-R]	[to show that Youngsoo'(Y)s hypothesis(H) is correct(C), do experiment(E), then result(R) will be obtained]
F	F1 E (-R _c H _F)	do experiment(E) (if some result(R) is obtained, then Culisoo(C)'s hypothesis(H) is false(F))
	F2 FAIL	[subject tried to verify hypothesis based on theory rather than experiment, or showed responses of self-verification]

* parts inside a bracket indicate FD in the 2nd stage of interview

** parts inside a parenthesis indicate refined-SD in the 1st stage of interview

Table 5. Type of experimental design and the predicted experimental result

Hypothesis	Type of Exp. Design	Contents	Students
Youngsoo (Y)	comparative	positive(O)	fall more strong magnet D2
		negative(N)	fall a magnet inside a glass pipe A, B2, C2, E3
	direct(D)	measure electric current using an ammeter	E2, G2, H2
Chulsoo (C)	comparative	positive(O)	fall non-magnetic material A, B1, C1, D1, E3, G1
		negative(N)	fall a magnet in a vacuum F1
	direct(D)	test friction itself	H1

비교실험(positive-comparative-testing : 다른 경우에도 A의 영향이 주어졌을 때 B 현상이 일어나는지 아닌지를 보려고 하는 실험, ⊖ 부정비교실험: negative-comparative-testing : A의 영향을 없었을 때 B 현상이 일어나는지 아닌지를 보려고 하는 실험. 그리고, 직접실험(direct-testing) 이란, A의 영향이 직접 작용하는지를 알아보려는 실험을 말한다. 다음은 각 유형에 대한 반응 예이다.

- 직접실험 (학생 G) : 구리봉에 전류계를 연결하여 전류가 생기는지 실험하여 검증한다.
- 긍정비교실험 (학생 D) : 자석의 세기를 바꾸어 가면서 ... 자석이 강할수록 늦게 떨어질 것 같아요.

· 부정비교실험 (학생 F) : 똑같은 실험을 진공에서 하면 ... 마찰이 없으니까 그냥 내려올 것 같아요.

Table 1과 Table 4의 실험설계 내용을 이러한 측면에서 다시 구분하여 보면 Table 5와 같다.

Table 5를 보면, 비교실험은 12개인 반면, 직접실험은 4개였다. 또 영수가설(옳다고 생각하는 가설)에 대해서는 긍정비교실험이 1개인 반면 부정비교실험이 4개였고, 철수가설(틀리다고 생각하는 가설)에 대해서는 긍정비교실험이 6개인 반면 부정비교실험이 1개에 불과하였다. 따라서, Table 5에서 알 수 있는 특징 ⑤는 다음과 같다.

특징 ⑤ : 학생들은 직접실험보다는 비교실험을 선호하였으며, 비교실험의 경우에는 옳다고 생각하는 가설에 대해서는 부정비교를 선호하고, 틀리다고 생각하는 가설에 대해서는 긍정비교를 선호하는 것으로 나타났다.

본 연구에서의 가설은 “A의 영향 때문에 B현상이 나타난다”라는 형태이다. 여기에서 학생들이 직접 실험보다는 비교실험을 선호한다는 것은 A의 영향 자체를 조사하기보다는, 다른 경우에서 A의 영향이 어떻게 나타나는지를 조사하여 비교하려 한다는 것을 의미한다. 그 이유는, 어쩌면 이 실험에서 A의 영향 자체를 조사하는 것이 어렵기 때문일 수도 있을 것이다. 만일 그렇다면, 과학자나 과학교사와 같이 실험에 여러 경험이 있거나 구체적인 방법들을 잘 알고 있는 경우라면 직접 실험을 하려는 경향이 본 연구에서의 대상자에 비해 증가할 수도 있을 것이다. 이러한 점은 앞으로의 연구에서 알아볼 가치가 있다고 생각한다.

“A의 영향 때문에 B 현상이 나타난다”는 형태의 가설에 대해 옳다고 생각하는 경우는 A와 B가 서로 인과적이라고 생각하는 경우이고, 가설이 틀리다고 생각하는 경우에는 A와 B가 서로 비인과적이라고 생각하는 경우이다. 따라서, 특징 ⑤를 다시 기술해 보면, 학생이 선호하는 실험설계 유형은 다음과 같다고 할 수 있다.

가설에 대해 인과적인 생각인 경우 - “A의 영향이 없어도 B 현상도 없어질 것이다.”라는 유형의 실험설계를 선호

가설에 대해 비인과적인 생각인 경우 - “다른 경우

에 A의 영향이 있게 하여도 B 현상은 없을 것이다” 라는 유형의 실험설계를 선호

이와 같이 선호하는 실험설계 유형이 있다는 의미는, 학생들은 가설에 대해서 인과적인 생각을 가진 경우에는, “다른 경우에 A의 영향이 있어도 B 현상이 있을 것이다”라는 실험설계를 하려 하지 않는다는 것을 의미한다. 마찬가지로, 가설에 대해서 비인과적인 생각을 가진 경우에는, “A의 영향이 없어져도 B 현상이 일어날 것이다”라는 실험설계를 하려 하지 않는다는 것을 의미한다.

실험설계(SD와 FD for a remaining hypothesis)에서 실험 결과 예측 분석

Table 1과 Table 4에서 학생들이 실험을 설계할 때에는 논리적으로 γH_C (영수(Y)의 가설(H)이 옳다(C)), γH_F , cH_C , cH_F 를 모두 검증해 볼 수 있도록 실험을 설계해야 할 것이다. 그러나, Table 1과 Table 4를 보면, 한 학생이 4개의 경우에 해당되는 실험을 모두 설계한 것이 아님을 알 수 있다. 따라서, 4개의 가능한 경우를 학생들이 각각 얼마나 언급했는지를 정리한 결과가 Table 6에 제시되어 있다.

Table 6을 보면, 영수가설(옳다고 생각하는 가설)에 대해서는 가설을 지지하는 실험적 예측이 8개였지만 가설을 반증하는 실험적 예측은 하나도 없었다. 반대로, 철수가설(틀리다고 생각하는 가설)에 대해서는 가설을 반증하는 실험적 예측은 8개였지만, 가설을 지지하는 실험적 예측은 2개에 불과하였다. 따라서, 이러한 특징 ⑥을 요약하면 다음과 같다.

Table 6. Students' prediction of experimental result to test hypothesis

Prediction of Experimental Result(R)	Students
R which may confirm Youngsoo's hypothesis (γH_C)	A, B2, C1, D2, E2, E3, G2, H2
R which may falsify Youngsoo's hypothesis (γH_F)	0
R which may confirm Chulsoo's hypothesis (cH_C)	E1, E2
R which may falsify Chulsoo's hypothesis (cH_F)	A, B1, C2, D1, F, G1, H1

* There was no experimental result(R) to test whether Youngsoo's hypothesis was correct or not simultaneously.

** There was no experimental result(R) to test whether Chulsoo's hypothesis was correct or not simultaneously.

특징 ⑥ : 학생들은 옳다고 생각되는 가설에 대해서는 가설을 지지하는 실험적 예측만을 하고, 틀리다고 생각되는 가설에 대해서는 가설을 반증하는 실험적 예측만을 하는 경향이 있다.

이러한 편향된 실험적 예측은 실제 실험결과의 해석에도 영향을 줄 수 있을 것이다. 따라서, 본 연구 결과에 의하면, 실험결과의 해석에서 나타내는 편향적 행동은 이미 실험설계 과정에서부터도 나타날 수 있음을 알 수 있었다.

따라서 만일, 학생들이 주어진 가설에 대해서 옳은지 틀린지를 분명하게 결정지을 수 없는 경우에도 실험설계에서 이러한 편향된 반응이 나오는지 앞으로의 연구를 통해 비교해 보면 흥미로운 것으로 기대된다.

편향된 예측과 반대되는 예측에 대한 강요된 실험설계 (FD for other possible experimental result) 분석

옳다고 생각되는 가설에 대해서 가설을 지지하는 실험 결과만을 예측한 경우에는 가설을 반증할 수 있는 실험 결과에 대해서 어떻게 생각하는지를 조사하였다. 마찬가지로, 틀리다고 생각되는 가설에 대해서 가설을 반증하는 실험 결과만을 예측한 경우에는 가설을 지지할 수 있는 실험 결과에 대해서 어떻게 생각하는지를 조사하였다.

Table 7에 의하면, 편향된 예측과 반대되는 예측에 대해 강요된 실험설계를 하도록 하였을 때, 전체 반응의 43%가 자신의 예측과 반대되는 예측을 거부하는 것으로 나타났다. 따라서, 특징 ⑦과 구체적인

면담 예는 다음과 같다.

특징 ⑦ : 학생 반응들 중 43%는 옳다고 생각하는 가설에 대해서는 가설이 틀릴 가능성을 거부하거나, 틀리다고 생각하는 가설에 대해서는 가설이 옳을 가능성을 거부하였다.

<틀리다고 생각하는 가설이 옳을 가능성에 대해 거부하는 반응 예>

학생 D : (철수 가설을 검증하기 위해 자석이 아닌 다른 물체를 떨어뜨리면) 만일 더 빨리 떨어지면 마찰때문이라는 것이 틀린 것이 될 것 같아요.

면담자 : 만일 똑같이 떨어질 가능성은 없을까?

학생 D : 똑같이 떨어질 수 없는 데 만일 (똑같이) 천천히 떨어진다면 어떻게 해야할지 ... 말로서 무마해야 할 것 같은데요. 그게 아닌데 하고 ...

면담자 : 만일 실제로 해 보았더니 똑같이 떨어진다면?

학생 D : (고민을 하다가) ... 어떻게 해서든 실험을 다시 해 봐야 하겠는데요. 재료도 바꾸어 보고 ...

면담자 : 실험을 다시 하는 이유는?

학생 D : 철수 생각대로 마찰력 때문이 아니라는 것을 알려주기 위해서요 ...

<옳다고 생각하는 가설이 틀릴 가능성을 거부하는 반응 예>

학생 G : (영수 가설을 검증하기 위해 구리봉에 직접 전류계를 연결하면) 자석이 지나감에

Table 7. Students' responses about the contradicting prediction of experimental result

Hypothesis	Students' responses	Students
Chulsoo	accept the possibility of cH _c	A, C, G, H
	reject the possibility of cH _c	B, D, F
Youngsoo	accept the possibility of γ H _F	B, C, D, H
	reject the possibility of γ H _F	A, E, G

* Student E already suggested cH_c in SD (see table 1).

** Student F failed to suggest experimental design to test Youngsoo's hypothesis (see table 4).

따라 전류계가 왔다 갔다 움직일 거예요... 그러면 영수생각이 맞다고 생각해요.

면답자 : 전류계가 움직이지 않을 가능성은 없니?

학생 G : (자석이) 위에서 떨어지면 자기장이 생기는데, (그러면) 유도전류가 생기면 자기장이 생기는데 ... 그 자기장의 힘이 (자석에 의한) 위의 자기장의 힘과 같아지면 유도전류가 안 생길 수 있으니까 ...

면답자 : 전류계가 움직이지 않는다면 영수말이 맞다는 말이야 틀리다는 말이야?

학생 G : 그래도 (영수가설이) 맞을 것 ...

면답자 : 왜?

학생 G : 아까 제 생각처럼 (자석이 떨어지면) 자기장이 생길 거라는 것은 뻔히 아는데, 유도전류가 안 생겼으면, 그래서 전류계 움직임이 없다면 ... 상쇄되는 자기장이 생겼을 것이기 때문에 .. (전류계가) 안 움직여도 (자기장은) 생겼을 거고...

이와 같이 자신이 생각하는 가설에 반대되는 실험 예측을 거부하는 반응을 보면, ① 반대되는 실험결과 자체를 거부하거나(학생 B, D, E, F), ② 보호대를 수정해서 반대되는 실험결과를 다른 방향에서 해석하는 경우(학생 A, G)가 있음을 알 수 있었다.

학생의 가설확증과정과 반증과정을 조사한 앞선 연구(Park et al., 2001)에 의하면, 학생들은 자신의 가설을 반증하는 결과가 제시되었음에도 불구하고 가설의 핵심이론을 폐기하기보다는 보호대를 수정하는 식의 반응을 관찰할 수 있었다. 본 연구에서는 가설을 반증하는 결과에 대한 이러한 반응이 실제 실험 이전인 실험설계 단계에서도 나타나고 있다는 것을 의미한다.

IV. 결 론

본 연구에서는 학생들이 과학적 가설을 검증하기 위한 실험을 설계할 때 어떠한 특성이 있는지를 조사하였다. 이를 위해, 먼저 주어진 가설이 옳다고 생각하는지, 틀리다고 생각하는지를 조사하고, 주어진 가

설을 검증하기 위한 실험을 설계하도록 하였다.

연구 결과, 학생들이 제안한 실험설계에는 필요한 구성요소들(실험방법, 실험 결과의 예측, 예측된 결과에 따른 가설의 평가)이 충분히 기술되어 있지 않아, 과학적 탐구활동에서도 언어적 표현능력을 향상시키기 위한 노력이 필요하다는 것을 알 수 있었다.

그리고 옳다고 생각하는 가설과 틀리다고 생각하는 가설에 대해서 각각 실험설계에 차이가 있음을 알 수 있었다. 즉, “A의 영향으로 B 현상이 생긴다”와 같은 형태의 가설인 경우에, 옳다고 생각하는 가설에 대해서는(A와 B가 인과적인 관계에 있다고 생각하는 경우) A의 영향이 없으면 B 현상이 생기지 않을 것이라는 형태의 실험설계를 선호한 반면, 틀리다고 생각하는 가설에 대해서는(A와 B가 인과적인 관계가 아니라고 생각하는 경우) 다른 경우에 A의 영향이 주어져도 B현상이 생기지 않을 것이라는 형태의 실험설계를 선호한 것으로 나타났다.

또한, 옳다고 생각하는 가설에 대해서는 가설을 지지하는 실험결과만을 예측하였지만, 틀리다고 생각하는 가설에 대해서는 가설을 반증하는 실험결과만을 예측하였다. 더구나 자신의 예측과 반대되는 실험결과에 대해서는 실제 실험을 실시하기 이전인데도 불구하고 실험결과에 대한 예측을 거부하는 반응들이 있었다. 따라서, 가설평가과정에서 나타나는 편향된 반응들(예를 들면, 가설을 반증하는 실제 실험결과에 대해서 실험결과를 거부하거나, 보호대를 수정하는 반응 등)은 실제 실험결과에서만 나타나는 것이 아니라, 실험설계 과정에서 결과를 예측할 때에도 나타날 수 있다는 것을 알 수 있었다.

증거평가 연구에서 Kuhn et al.(1988)은 많은 학생들이 이론과 증거를 구별하지 못한다고 지적하면서, 이들간의 구별이 과학적 사고로서 중요하다고 하였다(Park & Pak, 1997). 본 연구에서는 실험설계과정에서 학생들이 가설과 가설검증을 위한 실험적 예측을 구별하지 못하는 것을 관찰할 수 있었다. 즉, 자신의 어떠한 가설을 가지고 있더라도 논리적으로는 실험을 통해 언제든지 반증될 수 있음에도 불구하고, 실험설계과정에서 이미 자신의 실험을 지지하는 실험적 예측만을 한다는 것은 곧 실험적 검증을 자신의

가설에 대한 사례로 본다는 것을 의미하기 때문이다.

이러한 특징은 학생들이 사전에 가설에 대해서 가설이 옳은지 틀린지를 분명하게 생각하고 있기 때문에 나타난 특징이라고 할 수 있다. 따라서, 제시한 가설이 옳은지 틀린지를 분명하게 알기 어려운 경우에 학생의 실험설계과정을 분석하여 본 연구 결과와 비교하면 흥미로운 것으로 예상된다.

학생의 선행개념을 조사한 연구들이 강조하는 것 중의 하나는, 학생의 선행개념으로부터 개념학습이 시작되어야 한다는 것이다. 즉, 학생이 개념학습 이전에 어떠한 생각을 하는지에 대한 이해가 선행되어야 한다는 것이다. 마찬가지로 학생의 과학적 탐구활동을 지도하기 위해서 학생의 탐구활동에서 나타나는 행동특성을 먼저 이해할 필요가 있을 것이다. 본 연구에서 학생의 실험설계활동에서 나타난 행동특성들이 학생의 탐구활동 지도를 위한 기초자료로서 활용될 수 있기를 기대해 본다.

국 문 요 약

가설의 생성과정과 검증과정에 대한 연구는 가설의 생성과정, 가설을 검증하기 위한 실험설계과정, 실제 실험수행과정, 실험결과에 따른 가설의 평가과정 등으로 세분화할 수 있다. 본 연구는 이러한 연구들 중에서 가설을 검증하기 위한 실험설계과정에 대한 연구이다. 이를 위해, 본 연구에서는 제안된 가설을 검증하기 위해 학생들이 제안한 실험설계 내용을 분석하였다.

분석 결과, (1) 실험설계를 위해서는 실험방법, 실험결과의 예측, 예측된 결과에 의한 가설평가의 3요소가 필요함을 알 수 있었다. (2) 학생들은 옳다고 생각하는 가설과 틀리다고 생각하는 가설에 대해서 모두 검증하려는 경향을 보였다. (3) 간혹, 옳다고 생각되는 가설에 대해서는 실험적 검증이 아닌 이론적 검증을 하려는 경우도 관찰되었다. (4) 학생들이 제안한 실험설계의 유형은 직접실험과 비교실험으로 나눌 수 있었고, 비교실험은 긍정비교실험과 부정비교실험으로 나눌 수 있었다. (5) 학생들은 옳다고 생각하는 가설에 대해서는 긍정비교실험설계를, 틀리다고

생각하는 가설에 대해서는 부정비교실험설계를 선호하는 것으로 나타났다. (6) 학생들은 옳다고 생각하는 가설에 대해서는 실험설계를 하면서 가설을 지지하는 결과만을 예측하였고, 틀리다고 생각되는 가설에 대해서는 실험설계를 하면서 가설을 반증하는 결과만을 예측하였다. (7) 이러한 편향된 예측과 반대되는 예측을 하도록 강요하여도 이를 거부하는 경우가 많았다. 따라서, 자신의 예측과 반대되는 결과에 대한 거부반응은 실험결과의 해석에서 뿐 아니라 실험설계 단계부터 있을 수 있음을 알 수 있었다.

참 고 문 헌

- 박종원(1998). 과학활동에서 연역적 사고의 역할. 한국과학교육학회지, 18(1), 1-17.
- 박종원(2002). 학생개념체계의 연속적 세련화와 정교화를 통한 개념변화 분석 - 이론적 논의를 중심으로 - 한국과학교육학회지, 22(2), 357-377.
- Baker, L. M., & Dunbar, K.(2000). Experimental design heuristics for scientific discovery: the use of "baseline: and :known standard" controls. *International Journal of Human-Computer Studies*, 53, 335-349.
- Chen, Z., & Klahr, D.(1999). All other things being equal: Acquisition and transfer of the control of variables strategy. *Child Development*, 70(5), 1098-1120.
- Gough, N.(1998). 'If this were played upon a stage ...': school laboratory work as theatre of representation. In J. Wellington (Ed.) *Practical work in school science: Which way now?* London: Routledge.
- Kaufman, D. R., Vosniadou, S., diSessa, A., & Thagard, P.(2000). Scientific explanation, systematicity, and conceptual change. *Proceedings of the twenty-second annual conference of the cognitive science society*, August, 13-15. University of Pennsylvania, 5-9.

- Klahr & Dunbar(1988). Dual space search during scientific reasoning. *Cognitive Science*, 12, 1-48.
- Klahr, D.(2000). *Exploring Science: The cognition and development of discovery processes*. London: The MIT Press.
- Kuhn, D., Amsel, E., & O'Loughlin, M.(1988). *The development of scientific reasoning skills*. Lawrence Erlbaum Associates, Pub.
- Laughlin, P. R., Bonner, B. L., & Altermatt, T. W.(1999). Effectiveness of positive hypothesis testing in inductive and deductive rule learning. *Organizational Behavior and Human Decision Processes*, 77(2), 130-146.
- Laughlin, P. R., Magley, V. J., Shupe, E. L. (1997). Positive and negative hypothesis testing by cooperative groups. *Organizational Behavior and Human Decision Processes*, 69(3), 265-275.
- Lawson, A. E., Clark, B., Cramer-Meldrum, E., Falconer, K.A., Sequist, J.M., & Kwon, Y. (2000). Development of scientific reasoning in college biology: Do two levels of general hypothesis-testing skills exist? *Journal of Research in Science Teaching*, 37(1), 81-101.
- Nellist, J., & Nicholl, B.(1986). *ASE science teachers' handbook*. London: Hutchinson.
- Park, J., & Pak, S.(1997). Students' responses to experimental evidence based on perceptions of causality and availability of evidence. *Journal of research in science teaching*, 34(1), 57-67.
- Park, J., & Kim, I.(2002). Analysis of students' processes of generating scientific explanatory hypothesis. Paper presented at the ASERA, Townsville, Australia.
- Park, J., Kim, I., Lim, M., & Lee, M.(2001). Analysis of students' processes of confirmation and falsification of their prior ideas about electrostatics. *International Journal of Science Education*, 23(12), 1219-1236.
- Ploetiek, F.(2001). *Hypothesis Testing Behaviour*. Philadelphia: Taylor & Francis Inc.
- Popper, K. R.(1968). *The Logic of Scientific Discovery*. London: Hutchinson.
- Sharaagen, J. M.(1993). How experts solve a novel problem in experimental design. *Cognitive Science*, 17(2), 285-309.
- Wason, P. C. (1960). On the failure to eliminate hypotheses in a conceptual task. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 12, 129-140.