비지시적 대학 일반 물리 실험의 긍정적 효과

김 은 숙 · 황 경 수
(서울대학교)

(1996년 11월 4일 받음)

I. 서 론

과학 수업에서 실험실 활동은 학생들로 하여금 과학자들의 경험을 실제로 경험하고 그 경험을 통해 과학적인 개념 및, 과학적인 과정에 관한 이해를 증진시킴으로써 과학자가 되도록 훈련을 시키는 과정으로 생각되고 있다. 라자로비츠와 타미르(Lazarowitz and Tamir, 1994)는 과학 실험의 목적으로 다음의 일곱 가지를 들었다.

1) 복잡하고 추상적인 과학 개념을 이해하는데 구체적인 사물을 조작하는 경험이 필요하다.
2) 실제의 탐구 과정을 경험함으로써 과학의 성격을 이해한다. 과학자들이 연구를 수행하는 방법, 과학적 방법의 다양성, 과학과 사회와 기술 사이의 상호 관계 등을 예로 들 수 있다.
3) 실험은 문제 풀이, 일반화, 비판적 사고, 응용, 종합, 판단, 창의성, 등 인지적인 능력의 계발에 도움이 된다.
4) 실험은 조작, 탐구, 조사, 조직화, 의사 소통 등 다양한 능력 계발에 필수적이다.
5) 과학적 문제의 정의, 가정, 예측, 모형 설정 등 과학적 연구 과정을 나타내는 개념을 이해할 필요가 있다.
6) 인지적인 면과 정의적인 면 양쪽에서, 과학적인 태도를 키울 필요가 있다. 정직성, 실패를 기꺼이 인정하는 태도, 연구 결과와 그 한계의 비판적인 평가, 호기심, 모험심, 객관성, 정확성, 자신감, 인내심, 책임감, 협동심 등을 예로 들 수 있다.
7) 학생들은 대부분의 경우 실험을 좋아하며, 지나치게 단순하거나 어렵지 않으면서 의미 있는 과제를 할 기회가 주어졌을 때, 실험실에서 주어진 과제뿐만 아니라 과학 학습 자체에 흥미를 느끼는 것으로 알려져 있다.

대학 일반 물리 실험이 위와 같은 효과를 내는지의 여부에 대해 많은 의문이 제기되어 왔다. 일반적으로 대학 일반 물리 수업에서는 실험 지침서 및 조교를 통해 실험의 목적과 원리, 그리고 절차와 자료 처리 과정까지 아주 상세하게 제시되어 있다. 그래서 이런 실험을 "요리책식 실험"이라고도 부른다. 이런 전통적 실험에서 학생들이 하는 활동은 자료를 수집하여 수업 시간에 배운 개념을 확인하는 일이 주를 이룬다.

Anderson(1968)은 과학 실험에서 필요한 활동을 〈표 1〉과 같이 정리하였는데, 이 표에 의하면, 요리책식 실험은 학자의 활동이라기보다 기능인(technician)의 작업에 가까우며 과학자로서의 경험과 유사하거나 위에서 서술된 것과 같은 실험의 목적을 이루고 있다고 보기 어렵다. 이러한 전통적인 실험을 개선하고자 여러 가지 새로운 형태의 실험이 시도되었으며, 긍정적인 효과가 보고되고 있다. 래거버(Raghubir, 1979)는 실험을 통해서 점진적으로 개념이 형성되어 가도록 고안된 "실험 탐구 접근"(Laboratory Investigative Approach)을, 갱골리(Gangoli, 1995)는 구체적인 실험 과정을 명시하지 않은 "안내된 열린 접근" (guided

〈표 1〉 실험 수행의 주체

활 동	과학자의 실험실	학교 실험실
조사할 문제 인식	과학자	책 또는 교사
가설 설정	과학자	책 또는 교사
실험 과정과 절차 고안	과학자	책 또는 교사
데이터 수집	기능인(Technician)	학생
결론짓기	과학자	학생과 교사

open-ended approach)을 실시하여, 인지적인 측면이나 실험 기술의 습득에서 전통적인 실험보다 우수함을 보였다.

본 연구에서는 보다 과학자의 실험에 가까운 실험 환경을 실현해 보고자 비지시적 실험이 시도되었다. 이 연구에서 시도한 비지시적 실험은 갱골리(Gangoli, 1995)의 안내된 열린 접근 방법과 유사하며 전통적 실험에 비해 세부 지시 사항이 거의 없다는 점을 그 특징으로 한다. 새롭게 시도되는 비지시적 실험에서 보다 나은 개념 이해 및 사고 능력의 향상을 포함하여 여러 가지 실험의 목적이 이루어지고 있는지의 여부가 근본적인 문제인 한편 학생의 흥미가 유지되지 않은 상태에서 실험이 효과가 있으리라고 기대하기 어려우므로 흥미를 유지하는 것은 수업의 효과를 위해서 우선적인 조건 중의 하나이다(Tobin et al., 1994). 이 연구는 이러한 관점에서 새로운 실험이 학생의 흥미를 유도하는지 조사하고자 하였다. 이는 위의 일곱 가지 실험 목적 중 7)번에 해당한다.

한 학기 동안 10개의 실험을 실시한 후, 학기말에 실험 도구 및 실험실, 실험 방법, 보고서 작성, 조교의 역할, 네 부분을 중심으로 학생들의 의견을 조사하였다. 실험 도구의 부실 등 문제점이 없는 것은 아니지만, 학생들의 의견은 대체로 긍정적이었다. 또한 실험 조교의 의견도 정리하여 포함시켰다.

Ⅱ. 연구의 내용 및 절차

1. 비지시적 실험

비지시적 실험 수업은 서울대학교 물리교육과 1 학년 학생을 대상으로 실시되었다. 실험 기간은 일 주일에 2 시간인데, 강의 3 시간, 연습 2 시간과 함께 학생들이 수강하는 일반 물리 수업의 일부이다. 〈표 2〉는 실시된 실험들의 제목을 보여준다.

〈표 2〉 실험 제목

1. 작은 질량 재기
2. 먼 거리 측정
3. 가속도에 대한 힘과 질량과의 관계
4. 면적 속도 일정의 법칙
5. 구심력
6. 중력 가속도 측정
7. 관성 모멘트 측정
8. 선 운동량 보존
9. 단진자의 에너지 보존
10. 마찰 계수 측정

이 실험들은 기존의 일반 물리 실험책과 PSSC 실험책을 참조하여 채택되었다. 비지시적 실험을 위해 새로이 고안된 실험은 없으나, 학생들에게 주어진 지침과 실험 수업 운영, 그리고 보고서 작성 및 평가에 변화를 주었다. 그리고 학생들이 토론하는 과정에서 복잡한 기구의 작동법이나 수학적 계산의 검토가 물리의 기본 원리에 관한 토론보다 비중이 커지는 것을 피하기 위해서 가능하면 실험 기구나 계산 과정이 복잡하지 않은 실험을 선택하였다.

1) 실험 지침

실험 지침에는 기본적으로 실험의 목적과 그에 필요한 도구들만 제시되었다. 필요한 도구들도 하나의 제안으로 제시되었으며, 학생들은 스스로 발견할 수 있는 도구들을 제한 없이 사용하도록 격려되었다. 실험에 따라 실험 과정에 대해 간단한 방향 제시가 주어진 경우도 있다. 〈표 3〉은 학생에게 주어진 정보의 양에 따라 과학 실험의 탐구력 수준을 나누고 있다(Herron, 1971). 이 표에 의하면 이 연구에서 시행되는 실험은 탐구력 수준 2에 해당된다. 〈표 4〉는 간략한 실험 지침의 보기로 첫 실험인 작은 질량 재기의 실험 지침이다.

2)실험 수업 운영

한 실험조는 2~3명으로 대부분의 일반 물리 실험과 크게 다르지 않다. 실험 수업 운영에서 다른 점은 실험 조교의 역할인데 조교는 학생들의 적극적인 참여를 유도하기 위해 소크라테스 대화법을 사용하였다. 소크라테스 대화법은 학생의 질문에 또 다른 질문으로 답하는 것을 의미한다. 조교는 학생이 질문할 때, 학생의 의견과 질문의 의도가 명확해지도록, 그리고 학생 스스로 올바른 방향으로 갈 수 있도록 질문에 의해 유도한다. 그리고 학생들의 의견을 골고루 물어 봄으로써, 학생들간의 의견 교환을 활발하게 하는 것도 조교의 할 일 이다. 조교는 해결책을 설명하는 사람이 아니라 해결책을 찾기 위해 같이 궁리하는 사람으로서의 자세를 지키도

〈표 3〉 주어진 정보의 양에 따른 탐구력 수준의 분류

탐구 수준	문 제	해결 과정	결 론
0단계	지침서	지침서	지침서
1단계	지침서	지침서	학생
2단계	지침서	학생	학생
3단계	학생	학생	학생

* 실험 지침에 정보가 주어진 경우는 지침서, 정보가 주어지지 않아서 학생이 결정해야 하는 경우는 학생으로 표시

〈표 4〉 작은 질량 재기

실험 1 작은 질량 재기

지구 표면에 있는 물질은 아래로 당겨지고 있다. 이 인력에 대한 우리들의 느낌은 물질의 상대적인 양에 대한 알맞은 척도가 되고, 이 척도를 질량이라고 한다. 우리는 일반적으로 질량을 양팔저울로 측정할 수 있다. 하지만 양팔저울로는 머리카락의 질량을 측정하지 못한다. 왜냐하면, 머리카락은 양팔저울의 측정 범위를 넘어서기 때문이다. 그러면 우리는 머리카락의 질량을 어떻게 잴 수 있을까? 물론 정밀한 저울을 사용할 수 있겠지만, 우리에게는 그것이 없다. 자 간단한 가구를 사용하여 머리카락의 질량을 잴 수 있는 저울을 만들자.

① 머리카락의 질량을 측정해 보자

② 여러분이 만든 저울의 측정 범위를 생각해 보자.

③ 여러분이 만든 저울의 오차는 어느 정도일까?

준비물: 현미경 슬라이드 유리 2장, 고무줄, 지우개, 두꺼운 종이, 집게, 나사, 실, 양팔 저울

록 해야 하며 실험 방법이나 준비물에 대한 직접적인 언급을 하지 않는다.

3) 보고서 작성 및 평가

실험 보고서는 한 조 당 1개의 보고서만을 작성하게 하여 실험의 한계와 가정, 실험 방법과 데이터 분석에 대해 학생들 간의 토론을 유도하였다. 보고서의 형식은 정해 주지 않았고, 실험 방법 고안, 실험 실행, 또는 실험 결과 분석 등의 과정에서 야기되었던 문제들, 그리고 그 문제들을 해결해 나간 과정 등을 중심으로 작성하도록 지도하였다. 학생들이 다른 수업을 통해 실험 보고서를 쓴 경험이 있기 때문인지, 제출된 보고서의 형식이 다양하면서도 전통적인 실험 보고서의 양식에서 크게 벗어나지 않았다.

보고서의 평가에서 가장 특징 있는 점은 실험의 데이터나 결론의 잘못에 대한 감점이 없다는 점이다. 실험에 성실하게 참여하고 보고서를 제출하면 기본 점수 5점을 받는다. 실험 수업 동안 참여도가 부실하면 감점이 있고, 남다르게 노력했다고 인정될 때, 실험 방법이나, 실험 분석에서 창의적인 제안을 했을 때에 1점씩 가산되었다. 노력의 대가인 추가 점수 그리고, 실험 시간 동안 성실하지 못하다고 판단되는 경우 가해지는 감점을 통해 학생들이 실험에 임하는 태도도 평가되었다고 볼 수 있다.

2. 학생들의 의견 조사

설문은 모든 실험이 실시된 후 학기말에 실시되었다. 설문에 응답한 학생은 28명이었다. 설문지는 총 9개의 문항으로 구성되어 있고 실험이 모두 끝난 후 실시되었다. 사용된 설문지는 부록에 실려 있다.

처음 2 문항은 실험의 양적 경험에서 학생들의 배경을 조사한 것으로 학생들이 전통적인 실험의 형태를 어느 정도 경험했는지와 현재 얼마나 경험하고 있는지 알아보고자 했다. 문항 3, 4, 5번은 실험 수업의 형태에 관해 묻고 있다. 조사자의 의견이 미치는 영향을 최소화하기 위해, 좋게 느꼈던 점, 바꾸고 싶은 점 등, 가능한 한 구체적인 면이 언급되지 않는 표현을 사용하였다. 한편 조사자가 정보가 필요한 항목을 분명히 하기 위해서 각각의 포괄적인 질문에서, 실험 도구 및 실험실, 실험 방법, 보고서 작성, 조교의 역할, 네 부분을 구체적으로 언급하였다.

문항 6, 7, 8번은 실시된 실험 자체에 관해 묻고 있다. 학생들이 어떤 면에서 어려움을 겪었는지 6, 7번 문항을 통해 알아봄으로써 보다 바람직한 실험의 선택에 참고하고자 하였고, 8번 문항은 흥미의 관점에서, 실험의 어떤 요소가 학생들에게 깊은 인상을 남기는지 조사하였다.

한편 학기 중, 그리고 설문 결과 분석 후 조교들이 표현한 여러 의견들을 종합 정리하였다.

Ⅲ. 결과 분석 및 논의

1. 학생들의 실험 경험

〈표 5〉는 고등 학교에서 한 학기 동안 각 과목 실험을 경험한 횟수에 따라 해당 학생의 수를 나타낸다.

과학반의 활동이 활발하여 실험의 경험이 풍부해서 표의 기타 난에 기록된 한 명의 학생을 제외하고 대부분의 학생들은 고등 학교에서 실험의 경험이 별로 없는 것으로 나타났다. 일반 물리 수업과 동시에 수강하고 있는 실험으로는 생물과 화학이 각 2 시간으로 모든 학생들이 같은 과목을 수강하고 있었다.

〈표 5〉 고등학교 한 학기 동안 각 과목에서 실험을 경험한 횟수에 해당하는 학생 수

	0회	1회	2회	3회	4회	5회	기타
물리	12	4	3	4	2	0	1(120회)
화학	10	2	8	3	3	1	0
지학	21	1	0	2	0	1	1(30회)
생물	12	7	3	0	2	2	1(20회)

〈표 6〉 비지시적 실험 수업의 형태에 관한 학생들의 의견 ( )안의 숫자는 그 의견을 표시한 학생 수의 백분율

	상이점	호의적 의견	비호의적인 의견
실험 도구 및 실험실	낡고 열악하다(46) 자유롭게 선택(29) 실험 장치가 간단(7)	마음대로 사용할 수 있다(36) 일상적인 도구 사용(7)	기자재가 부족하고 낙후되어 있다(100)
실험 방법	구체적인 방법과 절차가 없다(89)	방법이 정해져 있지 않아서 좋다(100)	대부분 무응답 시간이 모자란다(7)
보고서	형식이 자유로워서 더 많이 생각하게 한다(54) 아이디어의 독창성과 추론 능력을 강조한다(36) 정확한 결과보다 과정을 중시한다(14)	형식이 자유롭다(39) 공동 보고서가 토론을 더 많이 하게 한다(14) 가산점 때문에 더 열심히 한다(14) 형식보다 내용이 중요(11)	시간이 모자란다(14) 점수 기준이 분명치 않다(11) 까다롭다(11)
조 교	감독자가 아닌 안내자 또는 조언자(100)	돕는 역할을 하게 한다(25) 우리로 하여금 더 많이 생각하게 한다(18) 우리가 틀릴 때라도 같이 생각하면서 우리 스스로 문제를 발견하도록 유도한다(7)	대부분이 무응답 좀더 적극적으로 질문을 하고 도움을 주었으면 좋겠다(11)
기 타		바뀌지 않기를 바라는 면	바뀌기를 바라는 면
		실험 방법(43) 무형식의 보고서(25) 조교의 역할(18) 공동 보고서(7)	낙후된 도구(29) 시간 불충분(18) 다른 조와 의견을 나누고 종합하는 시간이 있기를(11)

2. 비지시적 실험 수업의 형태에 관한 의견

〈표 6〉에 실험 수업의 형태에 관한 의견이 요약 정리되어 있다. 설문 문항 순서에 따라, 다른 실험과의 상이점, 호의적인 의견, 비호의적인 의견의 순서로 서술하겠다. 조사 결과에서 정의적 흥미 외의 요인이 관찰 될 경우 서론에서 소개한 라자로비츠와 타미르의 실험 목적의 일곱 가지 분류에 의해 정리하였다.

1) 전통적인 실험과의 상이점

실험 도구 및 실험실은 많은 학생들에게 비판의 대상이 되었다. 46%의 학생들이 다른 과목의 실험에 비해 낡고 열악하다고 지적하였다. 상당수(29%)의 학생들이 실험 기자재를 자유롭게 선택할 수 있다는 점이 특이하다고 지적했고, 실험 기구가 단순하다는 면이 특이하다고 한 학생도 소수(7%)있었다.

실험 방법에서는 대다수(89%)의 학생이 구체적인 지침이 없다는 점을 들었고 전체 학생의 50%가 구체적인 지침이 없기 때문에 더 많이 생각해야 했다고 답하였다. 학생들이 왜 더 많이 생각해야 했는지 학생들 스스로의 응답을 몇 개 인용해 보면 다음과 같다.

- 스스로 우리 나름의 아이디어를 개발해서 직접 계획해야 하기 때문에
- 관련 과제를 잘 이해해야 하므로 (다른 실험은 이론을 몰라도 하라는 대로 하면 된다)
- 다른 학생들과 토론하며 고치게 되므로

수업 중에 실험 방법이 주어지지 않는 이유, 전통적인 실험과의 비교 등 비지시적 실험이 채택된 이유에 관해서 거론된 적이 없음에도 불구하고 연구자가 의도했던 문제 해결 능력(목적 ③번), 개념의 철저한 이해(목적 ①번), 토론의 유익(목적 ④번) 등을 학생들 스스로 자각하고 있으며, 내용을

이해하지 못한 상태에서도 전통적인 실험이 수행될 수 있음을 인식하고 있는 것은 상당히 고무적이다.

학생들이 작성한 보고서의 형식에서 큰 차이가 관찰되지 않은 반면 과반수(54%)의 학생이 형식이 자유롭다는 것을 특징으로 제시하면서 형식에 대해 걱정하지 않고 실험 자체에 대해 더 많이 생각할 수 있어서 좋다고 하였다. 이는 라자로비츠와 타미르(1994)가 학생들이 형식에 구애받지 않고 자신이 원하는 대로 보고서를 작성하는 것이 과학에 대한 태도와 지식에 긍정적인 영향을 미치는 것으로 지적하고 있는 것과 일치한다. 또한 상당수(36%)의 학생이 일반 물리 실험이 다른 실험에 비해 사고 과정과 창의성을 중시하는 것 같다고 하였으며 옳은 결과 보다 실험 과정을 중시한다고 응답한 학생도 소수(14%) 있었다.

실험 조교에 관한 항목은 모든 학생의 의견이 일치하였는데 실험 조교가 안내자의 역할을 맡는다는 사실이 다른 과목의 실험과 다르다고 했다. 학생들이 지적한 안내자의 특성들은 다음과 같다.

· 조교가 우리와 같이 생각하고 실험을 한다.
· 다른 과목 실험 조교에 비해 지시를 덜한다.
· 우리를 더 고민하게 만든다.
· 조교는 단지 보조적인 역할만 하고 실험은 우리의 뜻대로 한다.

이러한 조교의 특성은 토빈 등(Tobin et al., 1994)이 기술한 구성주의적 접근에서 교사의 역할과 아주 흡사하다. 학생들은 아직 한 과목도 교육학 강의를 수강하지 않았으며, 따라서 구성주의에 대해 들어볼 기회가 없었는데도 이러한 특징들은 지적할 수 있다는 사실은 실험 방법에서 비지시적 실험의 의도를 자각한 것처럼 고무적인 현상이라고 생각된다. 다음절에서 언급되겠지만, 학생들은 이러한 구성주의적인 면이나, 비지시적 실험의 의도에 대해 호의적인 의견을 보이고 있다.

2) 학생들의 호의적인 의견

열악한 실험 기구에 관한 불평이 많았음에도 불구하고 실험 기구에 관해 호의적인 의견도 관찰되었다. 36%의 학생이 발견할 수 있는 도구는 어느 것이나 이용할 수 있는 점이 좋다고 했으며, 일상생활에서 볼 수 있는 도구라는 것이 좋다고 대답한 학생도 소수(7%) 있었다.

실험 방법이 구체적으로 언급되지 않았다는 사실을 모든 학생이 좋아하였다. 차이점에 관한 응답에서 이미 언급했듯이 학생들이 비지시적 실험이 의도했던 바를 자각하고 있다는 사실과 함께, 모든 학생들이 긍정적인 의견을 보인다는 사실은 대단히 바람직한 결과이다. 응답에 나타난 좋아하는 이유를 구체적으로 살펴보면, 스스로의 힘으로 했다는 사실이 성취감을 주기 때문에(22%), 창의적이며 다양하게 생각하게 해서(25%), 도전이 돼서(29%) 등이다. 라자로비츠와 타미르(1994)는 여러 문헌의 종합적인 고찰을 통해 학생들이 독립성, 자유, 그리고 책임감을 느낄 수 있는 실험이나 과제를 하게 될 때 전적으로 몰두하게 되며, 비교할 수 없는 성취감을 느끼는 바람직한 효과를 기대할 수 있다고 보고하고 있는데, 이 연구에서 실시한 비지시적 실험이 학생들의 이러한 필요를 상당히 만족시켜 주고 있는 것으로 해석된다. 이는 실험 목적 ⑥번에 해당된다. 또한 다양성이나 창의성 등 인지적인 면에서의 효과(목적 ③번)도 볼 수 있다.

보고서 형식과 채점 방법에 관해서도 많은 학생이 호의적인 의견을 보였다. 좋아하는 이유로는 우리가 생각하는 대로 자유롭게 쓸 수 있다(39%), 조원들이 한 개의 보고서를 쓰니까 토론을 많이 하게 된다(14%), 가산점 때문에 더 열심히 하게 된다(14%), 형식보다 내용이 중요하다는 점이 좋다(11%) 등이다.

조교에 관해서는 실험 형식이나 보고서만큼 절대적인 지지가 관찰되지 않았다. 응답의 유형을 살펴보면 구체적인 이유는 제시하지 않고 도움이 많이 되었다고 응답한 사람이 가장 많고(25%), 우리로 하여금 더 많이 그리고 더 창의적으로 생각하게 한다(18%), 우리가 틀렸을 때라도 우리와 함께 생각한다(7%), 같이 토론할 수 있어서 좋다(4%) 등이다.

실험에 관한 호의적인 의견에서 마지막 문항에 다음 학기에 바꾸지 않기를 바라는 것을 물었을 때, 절반에 가까운(43%) 학생이 자세한 지시 사항이 없는 실험 과정을 지적하였다. 무형식의 보고서가 25%로 그 다음이었으며, 그 외 조교의 역할 18%, 보고서를 조원이 같이 작성하는 것(7%)등이 언급되었다.

3) 학생들의 비호의적인 의견

모든 학생이 실험 기구의 부족과 낙후 그리고 다양성의 부족을 지적하였다.

실험 과정과 조교의 역할에 관해서는 응답한 학생이 거의 없는 것으로 미루어 대체로 만족한 것으로 판단된다. 실험 과정에서는 시간의 부족이 지적되었고(7%), 조교의 역할에 관해서는 좀더 많은 질문과 도움을 바란다고(7%) 응답하였다. 조교들의 의견에 의하면 새로운 실험 형태를 지도하는 것이 쉽지 않으며, 학생들에게 직접적인 답을 주지 않으면서 활발한 토론으로 이끌어 가기 위해 경험과 훈련이 필요하다.

보고서에 관해서는 다른 항목에 비해 다양한 응답이 관찰

되었다. 학생들이 만족스럽지 않은 점으로 보고서 작성 시간 부족(14%), 주관적인 채점 기준(11%), 기대에 비해 낮은 점수(11%), 점수에 관해 조교로부터 구체적인 설명의 부족(7%), 채점된 보고서에 관해 토론할 시간의 부족(7%) 등이 지적되었다. 보고서 평가를 담당했던 조교는 추가점의 근거가 되는 창의적인 면과 남다른 노력을 판단할 때 조교의 주관이 개입될 여지가 많음을 지적하면서, 좀 더 구체적이고 실질적인 평가 기준의 필요성과 함께 학생들의 불만이 근거 있는 것임을 인정하였다. 경험의 축적에 따라 개선되어야 할 항목이라고 생각된다.

다음 학기에 바뀌어야 한다고 생각되는 점들로는 낙후된 실험 도구(29%)가 가장 많았다. 그 외 보고서 쓸 시간이 충분했으면 좋겠다(18%), 실험이 모두 끝난 후 다른 조와 의견을 나누는 시간이 있었으면 좋겠다(11%) 등의 의견이 있었다.

3. 실험 자체에 관한 의견

문항 6과 7의 결과에 의하면, 10개의 실험 중에서 특히 두 개의 실험을 학생들이 어려워했다. 절반에 가까운(43%) 학생들이 실험 4(면적 속도 일정의 법칙)를 어렵다고 했는데, 실험 과정에서 일정한 타원을 만드는 것이 대단히 어려웠기 때문이었다. 한편, 실험을 하는 도중 토론에 의해 밝혀진 사실이지만, 이 실험은 면적 속도 일정의 법칙이라는 이론과, 제안된 실험 방법이 일치하지 않아서 문제가 되었던 실험이기도 하다.

비슷한 수(46%)의 학생들이 실험 7이 어려웠다고 했다. 관성 모멘트, 토크 등 강체의 회전에 관한 개념이 고등학교에서 전혀 다루어지지 않았던 새로운 개념으로써 전반적인 이해가 부족해서 실험의 고안, 결과, 분석 등 모든 면에서 어려웠다. 이 연구에 참여한 학생들은 비교적 우수한 학생들로서 실험에 필요한 대부분의 기본 개념이나 수식에 익숙한 편이다. 유일하게 새로운 개념이었던 강체의 회전 운동이 학생들에게 어려움을 주었음을 감안할 때, 모든 실험이 새로운 개념에 관한 것이었다면, 이 논문에서 서술된 것과 같은 긍정적인 결과가 관찰될지 의문의 여지가 있다. 스피어스와 졸만(Spears and Zollman, 1977)은 학생들이 준비가 부족할 때는 조직된(structured) 형태가 조직되지 않은(unstructured) 형태보다 효과적일 수 있다는 연구 결과를 보고함으로써 과제의 열린 정도가 학생의 준비에 따라 적절히 조절되어야 함을 시사하고 있다.

〈표 7〉 각 실험에 관해 의견을 표현한 학생 수

10 가지 실험 중에서 어떤 실험이 가장 어려웠습니까?
그 이유는 무엇입니까?
면적 속도 일정의 법칙(실험수행이 어려웠다): 12 (43%)
관성 모멘트(이론을 제대로 알지 못했다): 13 (46%)
이론과 실험의 불일치 : 13 (46%)
가장 기억에 남는 실험은 무엇입니까?
그 이유는 무엇입니까?
토론을 많이 했다: 6(22%)
결과가 만족스럽다: 4(15%)
실험실 밖에서 했다(먼 거리 측정 실험): 4(15%)
많은 노력을 했다: 3(11%)
매우 어려웠다: 2(7%)

( )안은 백분율.

학생들의 기억에 남는 실험은 다양했는데, 그 이유를 살펴보면 실험에 상관없이 몇 가지 유형이 관찰된다. 그 이유들은 가장 활발하게 토론을 해서(21%), 결과가 만족스러워서(14%), 많은 노력을 기울였기 때문에(11%), 너무 어려워서(7%), 가장 창의적으로 했다고 생각되어서(7%)등이다. 이는 이미 언급된 독립성, 자유, 책임감, 전적인 몰두, 성취감 등과 일관성 있는 맥락의 반응이다(실험 목적 ⑥번, 라자로비츠와 타미르, 1994). 한편, 먼 거리 측정이 가장 기억에 남는다고 한 학생들이 상당수(21%) 되었는데 그 이유는 밖에 나가서 했기 때문이라고 대답해서 실험 장소의 변화가 바람직한 영향을 끼칠 수 있음을 보였다.

Ⅳ. 결론 및 제언

1. 결 론

물리 교육과 1학년을 대상으로 하여, 실험 방법과 실험 준비물, 데이터 분석 방법 등을 자세히 제시하지 않은 비지시적 안내서를 사용한 실험에 대한 학생들의 흥미 여부 등을 조사하기 위해서 설문지를 사용하였다.

학생들은 실험 방법과 기자재를 자신들의 생각대로 자유롭게 결정할 수 있었던 것을 다른 실험과는 다른 가장 큰 특징으로 들었고, 이런 실험이 창의성, 성취감, 다양성을 경험하게 한다고 느꼈으며 실험의 여러 가지 면 중 가장 높은 선호도를 보였다. 구체적인 실험 방법과 절차가 주어지지 않기 때문에 어려움을 겪었지만, 이러한 어려움에 지적인 도전을 느끼고, 더 많이 생각하게 한다는 사실에 호의적인 의견을 보였다. 또한 다른 학생들과의 토론을 좋아하였다.

직접적인 지시를 주지 않는 조교들을 안내자, 보조적인 역할 등으로 표현하였으며, 스스로의 의견대로 할 수 있다는

사실과 조교가 도전이 되는 질문을 한다는 사실에 호의적인 의견을 보였다.

형식없이 공동으로 작성하는 보고서는 학생들이 형식보다 내용에 관심을 기울이게 하며, 실험 설계, 실험 과정, 결과, 실험의 한계 등에 관해 조원과의 토론을 활발하게 하는 효과가 있었고 이에 대한 학생들의 의견은 긍정적이었다.

학생들이 실험에서 어려움을 많이 느끼는 부분은 실험 방법을 고안하는 것보다는 실험에 필요한 예비 지식이 부족한 것으로 나타났으며, 학생의 준비 정도에 따라 과제의 구조화된 정도가 적절히 조절되어야 함을 시사한다.

이상 살펴본 바와 같이 본 연구가 의도한 바인 정의적인 흥미(목적 ⑦번) 여부에서 학생들은 전반적으로 긍정적인 의견을 보였고, 특히 실험 방법과 기자재에 제한을 두지 않은 점을 가장 높이 평가하였다. 한편 정의적인 흥미 외에도 문제 해결 능력(목적 ③번), 개념의 철저한 이해(목적 ①번), 토론의 유익(목적 ④번) 등 비지시적 실험의 의도와 조교의 구성주의적 접근 방법을 학생들 스스로 인식했으며, 창의성, 성취감, 다양성을 경험하는 등(목적 ⑥번) 비지시적 실험이 보다 바람직한 형태의 실험으로 발전될 수 있는 가능성을 보였다.

2. 제 언

비지시적 실험이 궁극적으로 의도하는 것은 학생 스스로 실험 방법을 고안하고 결과를 분석하게 함으로써 실험 수업을 좀더 과학적 탐구에 가깝게 하고자 하며, 이러한 과정을 거침으로써 학생들의 개념 이해와 사고 능력을 포함한 실험의 여러 가지 목적을 이루고자 하는 것이다. 학생들이 새로운 실험에 대해 호의적이 된다는 것은 새로운 실험이 지속되기 위한 기초로써 필요하다고 생각했기 때문에 정의적인 흥미 조사를 실시하였다. 학생들은 지적인 도전과 흥미를 느끼는 것으로 관찰되는데, 이러한 지적 도전과 흥미를 포함한 실험의 여러 가지 목적이 비지시적 실험을 통해 이루어지는지 후속 연구로 실시될 필요가 있다.

이 실험은 연구 대상이 서울대 물리 교육과 1학년 30명이라는 것, 즉 표본의 크기가 작고, 특수한 한 집단만을 대상으로 하여 일반화하기에는 한계가 있다. 하지만 이 연구가 실험실 활동에서 사용 가능한 한가지 모형을 제시할 수 있다고 생각된다.

참 고 문 헌

Anderson, H. (1968). The teaching in the laboratory. In H. Anderson (ed.), *Readings in Science Education*. New York, Macmillan, pp.28-30.

Gangoli, S.G. (1995). A study of the effectiveness of a guided open-ended approach to physics experiments, *International Journal of Science Education*, 17(2), pp 233-241.

Herron, M.D. (1971). The nature of scientific inquiry, *School Review*, 79, pp. 171-212.

Lazarowitz, R., and Tamir, P. (1994). Research on Using Laboratory Instruction in Science. In D. L. Gabel (Ed) *Handbook of Research on Science Teaching and Learning*, Macmillan Publishing Company, 94-128.

Raghubir, K.P. (1979). The laboratory-investigative approach to science instruction, *Journal of Research in Science Teaching*, 16(1), pp.13-17.

Spears, J., and Zollman, D. (1977). The influence of structured versus unstructured laboratory on students' understanding the process of science, *Journal of Research in Science Teaching*, 14(1), pp. 33-38.

Tamir, P. (1991). Practical work in school science: an analysis of current practice In Woolnough, B. E. (ed.) *Practical Science*. Open University Press, pp. 13-20.

Tamir, P., and Lunetta, V. N. (1981). Inquiry related tasks in high school laboratory handbooks, *Science Education*, 65, 477-484.

Tobin, K., Tippins, D. J., and Gallard, A. J. (1994). Research on Instructional strategies for Teaching Science. In D. L. Gabel(Ed) *Handbook of Research on Science Teaching and Learning*, Macmillan Publishing Company, 45-93.

한국과학교육학회지 제17권 제1호, pp. 55~64(1997)

(ABSTRACT)

Positive Effect of Non-directive College Introductory Physics Laboratory

Kim, Eun-Sook · Hwang, Kyung-Soo
(Seoul National University)

Experiments done in traditional physics laboratories have been criticized for giving too detailed instruction so that student could follow the experimental procedure without understanding. This type of experiment is often called "cook-book experiment." Cookbook experiment was known to be little help to understand the physics concepts and to increase student interest.

To solve these problems with traditional cookbook experiment, non-directive introductory physics laboratory was designed and tried with the freshmen of Department of Physics Education of Seoul National University. Non-directive laboratory was characterized by the lack of step by step instruction for students to follow. The instruction students received consisted of the goal of experiment, a short introduction, and a list of suggested materials to be used. Student designed the experimental procedure and decided what material they wanted to use. One group submitted one lab report as a group to encourage cooperation among students. Lab report could be written in any form students wanted and no penalty point was given to poor data or inappropriate theory, etc to encourage taking risks. Penalty points were given if the students did not get involved during class hours. Student received extra point for being creative and/or working hard. Teaching assistants used Socratic dialogue in helping students to find their own way instead of explaining what they had to do.

Students' interest about the non-directive experiment was studies at the of the semester. A questionnaire was made for students to answer. The questionnaire consisted of four categories, the equipment and the laboratory, the experimental procedure, the lab report, and teaching assistant. For each category, student were asked to explain the differences from other laboratory classes, features they liked and the reasons why they do, features they did not like and why they did not. At the end of the questionnaire, students were asked what hey wanted to change and what they did not. They also could put any opinion they had other than the questions asked.

Student overall opinion was very positive. All the students said they liked the lack of detailed experimental procedure because it gave them the feeling of achievement, made them feel challenged and think in more diverse and creative ways. Students liked the lab report because group report forced them to discuss more and the free form lab report helped them to focus on the what they did. Student responses about the teaching assistant was also positive but not as enthusiastic as the experimental procedure or lab report. However students recognised that the role of the teaching assistant was as a guide, a supporter, or a facilitator.

<부 록>

비지시적 실험에 관해 학생의 의견을 묻는 설문지

다음 학기의 실험을 고안하는데 여러분의 의견이 큰 도움이 될 것입니다. 모든 질문에 빠짐없이 대답해 주십시오.

1. 고등학교 때 다음 과목의 실험을 한 학기에 몇 번 정도 실시했습니까?

물리: 화학: 지학: 생물:

2. 현재 대학에서 어느 과목의 실험을 몇 시간씩 수강하고 있습니까?

3. 일반 물리 실험은 다른 과목의 실험과 다르다고 생각하십니까? 왜 그렇습니까? 구체적으로 답해 주십시오.

실험 도구와 실험실

실험 과정

보고서 작성 및 채점

조교의 역할

기타

4. 일반 물리 실험에서 어떤 것들이 마음에 들었습니까? 구체적으로 답해 주십시오.

실험 도구와 실험실

실험 과정

보고서 작성 및 채점

조교의 역할

기타

다음 학기에 바뀌지 않기를 바라는 것이 있으면 써 주십시오.

5. 일반 물리 실험에서 마음에 들지 않는 것들은 어떤 것들이 있습니까? 구체적으로 답해 주십시오.

실험 도구와 실험실

실험 과정

보고서 작성 및 채점

조교의 역할

기타

다음 학기에 바뀌기를 바라는 것이 있으면 이야기해 주십시오.

6. 실시한 10개의 실험 중 개념적으로 가장 어려웠던 실험은 어느 것입니까? 왜 그렇습니까? 설명해 주세요.

7. 실시한 10개의 실험 중 실험의 실행이 가장 어려웠던 실험은 어느 것입니까? 왜 그렇습니까? 설명해 주세요.

8.실시한 10개의 실험 중 가장 기억에 남는 실험은 어느 것입니까? 왜 그렇습니까? 설명해 주세요.

9. 위에 언급되지 않은 사항 중 하시고 싶은 말씀이 있으시면 언제나 환영합니다.