

대학생들의 물리실험에서 측정 활동 분석틀 개발 및 적용

신광문* · 강영창 · 이성묵 · 이재봉¹
서울대학교 · ¹한국교육과정평가원

Development and Implementation of the Analysis Frame for Measurement Activity in Undergraduate Physics Laboratory

Kwangmoon Shin · Youngchang Kang · Sungmuk Lee · Jaebong Lee¹
Seoul National University · ¹Korea Institute for Curriculum and Evaluation

Abstract: Analysis frame for undergraduate physics laboratory reports in collecting, processing, and analyzing data was developed. Using the frame and questionnaires, we analyzed what difficulties students have in the concepts of error and uncertainty in writing laboratory reports.

Students considered repetitive measurement for collecting data, but they didn't express it distinctly in their reports. They also had difficulties in measuring data around the extreme value or the large slope. Especially, most students have had difficulties with error and uncertainty. They can't apply the basic formulation to propagation of error and uncertainty. They also had the difficulties in analyzing data with concepts of error and uncertainty. While most students responded that error and uncertainty is important, there were few students who analyzed the influence of the cause of error on the results quantitatively.

The result of the study showed that students have difficulties in writing the laboratory reports because they didn't have the correct concept of the error and uncertainty. So, it is needed to not only teach the physics concept about experiment but to teach basic concept of data collecting, processing, and analyzing specially about error and uncertainty for students as well.

Key words: laboratory reports, measurement, data collecting, data processing, data analysis, error and uncertainty, inquiry skills

I. 서 론

과학에서 이론적으로 제시되는 모형은 실험을 통해 검증된다. 과학자들은 실험 결과를 통해 모형을 지지해야 할지 수정해야 할지 아니면 새로운 모형을 제시해야 할지를 결정하게 된다. 이러한 과정은 과학사에서 많이 찾아볼 수 있다. 빛의 입자성과 파동성에 대한 논란에서 입자성을 지지하는 실험, 파동성을 지지하는 실험이 고안되었고 각각의 실험 결과로 과학자들은 각각의 주장을 피력하였다. 상대성 이론에서 에테르의 존재 여부를 둘러싼 논쟁에서도 과학자들은 자신의 주장을 뒷받침할 수 있는 실험을 고안하고 결과를 제시했다(Krane, 1996). 이렇듯 실험은 과학에서 핵심적인 자리를 차지하고 있다. 그런데 실험 결과가 주장을 뒷받침하는 근거가 되려면 측정 결과가 신

뢰로워야 한다. 이를 위해서는 무엇보다도 실험 결과가 재현성을 가지고 있고, 정밀해야 한다. 즉, 단 한번 성공한 실험 결과로 많은 것을 주장하기는 어렵고, 측정할 때마다 결과 값이 서로 차이가 많이 난다면 실험 결과를 이용해 자신의 의견을 주장하기가 어렵다.

또한 동일한 실험 결과에 대해서 과학자가 획득한 자료를 어떻게 처리하고 해석하느냐에 따라 얻게 되는 결론은 다를 수 있다. 티코 브라헤는 행성의 운동과 관련하여 수많은 자료를 수집하였다. 그러나 그의 자료를 적절하게 처리하고 유의미한 해석을 내린 것은 그의 제자인 케플러였다(Cushing, 1998). 이러한 과학 일화에서 알 수 있듯이 측정 결과를 처리하고 해석하는 능력도 과학자가 지녀야 할 중요한 자질이라고 할 수 있다.

Duggan과 Gott는 이러한 작업들이 타당하고 신뢰

*교신저자: 신광문(manga6@snu.ac.kr)

**2010.09.30(접수) 2010.10.29(1심통과) 2010.12.15(2심통과) 2010.12.22(최종통과)

로운 증거를 모으는 것과 관련이 있다고 하여 증거의 개념(concepts of evidence)이라고 부르고, 이와 관련된 여러 개념을 정리하였다(Gott & Duggan 1995, 1996). 또한 이러한 자료 수집, 자료 처리, 자료 해석 과정에서 쓰이는 증거의 개념이 과학자들에게만 국한되는 것은 아니고, 과학관련 산업이나 일상생활에서 많이 사용된다고 하였다(Duggan & Gott, 2002). Lubben & Millar(1996)는 경험적인 자료의 수집과 평가에 대한 학생들의 이해 수준을 학생들의 행동별로 나누어 설명하고 있다. 이러한 개념들이 실험으로부터 얻은 자료를 평가하고 변환하는 과정이기 때문에 넓은 의미에서 측정의 개념이라고 할 수 있다.

미국이나 싱가포르, 영국 등 외국의 교육과정에서는 측정의 불확도와 관련한 개념을 포함하여, 탐구 및 실험에서 필요한 측정 자료 수집, 측정 자료 처리, 측정 자료 해석 관련 내용을 중등학교 교육 과정에 명시하고 있다. 예를 들어, 미국의 Project 2061의 Benchmark에는 측정 활동과 관련하여 초·중등 교육과정에서 학년별 성취 목표를 상세하게 제시하고 있다(AAAS, 1993). 싱가포르 중등 과학교육과정에는 물리 이론과 동시에 실험과 관련하여 과정과 사고 기능(process and thinking skills)을 강조하고 있다. 이는 싱가포르의 과학교과서에도 잘 반영이 되어 중학교 과학 교재인 Science Discovery 1에서는 자료 수집과 관련하여 측정기기의 사용법에 초점을 맞추어 교과서의 1/3가량을 할애하고 있고 Science Discovery 2에서는 수집한 자료를 처리하고 해석하는 방법에 대한 내용을 제시하고 있다(김태일, 2007).

이상의 내용에서 과학이 지니는 본연의 특성, 과학사, 외국 교육과정에 비추어 측정 관련 교육이 중요하고, 필요함을 알 수 있다. 반면 한국의 과학교육과정에는 탐구기능과 관련하여 개괄적으로 소개는 하고 있으나 세부 항목에 대한 구체적인 내용은 없다. 또한 교과서 상에 측정 과정이 포함된 실험은 자주 등장하지만, 측정 자체에 대한 학습은 제대로 이루어지고 있지 않다(서정아 등, 2002; 이재봉, 2006). 그래서 학생들은 측정과 관련하여 많은 어려움을 경험하게 된다.

실제로, 측정 과정에서 자료의 수집, 처리, 해석에 대해 학생들이 지닌 어려움에 대한 많은 선행연구가 있다. 자료 수집에서 눈금 읽기 능력 및 측정 도구, 단위에 관련하여 초중학생의 선개념을 조사한 연구가 있는데 측정도구에 따라 학생들이 눈금을 읽어내는

데 있어 어려움을 지니고, 디지털 방식의 경우 단위를 혼동하는 예도 있었다(서정아 등, 2000). 반복 측정과 그 의미에 대한 학생들의 생각을 알아보는 연구도 있었는데 반복 측정을 시행하는 이유에 대해 잘 이해하지 못하고 반사적으로 측정을 수행하는 경우가 많았다(서정아, 2002). 반복측정과 관련한 자료 처리와 자료 해석에서도 반복측정을 통해 얻은 자료를 다루는 것과 측정 결과들의 퍼지는 현상에 대한 중요성에 대해 대학생들의 이해를 설문을 통해 알아본 연구 결과가 의미를 제대로 이해하지 못하는 사례가 많았다(Lubben & Millar, 1996, Lubben *et al.*, 2001). 대푯값에 있어서 중학생은 측정된 결과를 대표하는 대푯값을 선정하는 방법에 대해 정확히 모르고(서정아, 2002), 대학생의 경우에는 대푯값을 표현할 때 유효숫자를 어떻게 결정하는지를 제대로 알지 못했고 대부분이 소수점 뒤의 자리를 길게 쓰는 것을 선호하는 경향이 있다(Deardoff, 2001). 또한 그래프 해석에서 측정값들이 퍼지는 현상에 대해서도 한두 개의 점의 값에 의미를 두어 측정결과를 해석하는 점추론(point reasoning)의 생각을 지니는 사례가 많았는데(Lubben *et al.*, 2001, Buffler *et al.*, 2001, Allie *et al.*, 2001), 이는 학생들이 측정 결과를 처리하고 해석하는 데 있어 측정의 불확도를 고려하지 못하고 있음을 보여주고 있다. 대학생을 대상으로 오차와 불확도에 학생들의 이해 정도를 조사한 연구에서 학생들은 실제 자료가 어떻게 분포하는지는 고려하지 않고 산술적인 계산에만 집중하는 경향이 있고 정밀과 정확이나 오차의 종류와 처리 방법에서도 잘못된 개념을 지니는 학생이 많았다(이재봉, 2006).

선행 연구들의 대부분이 검사문항을 통해 다양한 측정 활동 중에 일부분만을 대상으로 검사문항을 통해 개념을 확인하는 경우가 많았다. 몇몇 연구는 학생들에게 측정활동을 시키고 나서 관찰과 면담을 통해 학생들의 개념 상태를 조사한 연구도 있었다. 그러나 학생들이 구체적인 측정 활동에서 어떤 어려움을 가졌는지 체계적으로 분석하고 학생들에게 측정의 개념에 대해 체계적으로 학습시키려면 측정 개념 전반을 포괄할 수 있는 평가 준거가 포함된 분석틀이 개발될 필요가 있다.

많은 연구의 경우 과학교육에서 학생들이 효과적으로 의사소통하게 하는 것 특히, 보고서를 작성하는 것이 중요함을 강조하였다(Mullin, 1989; Becker,

1995; Kalman, 1996). 학생들의 보고서에는 자료 수집 과정과 획득한 자료를 처리한 방법 및 결과 그리고 그에 대한 해석이 표현되기 때문에 학생이 측정에 대해 가진 개념과 이를 어떻게 사용하는지 확인할 수 있다.

본 연구에서는 학생들의 측정 개념 이해 정도를 측정 영역 전반에 대해 포괄적으로 파악하기 위해 측정 활동 관련 보고서 분석틀을 개발하였다. 또한, 이를 학생들의 실험 보고서 평가에 적용하여 학생들이 경험하는 어려움을 구체적으로 알아내고자 하였다.

II. 연구 방법

1. 연구 대상

본 연구에서는 서울시 소재 대학교에서 물리교육을 전공하는 3, 4학년 학생 30명을 대상으로 이루어졌다. 학생들은 그 이전에 3~4과목의 실험 과목을 수강하고 3학년 2학기 '물리실험 및 시범' 과목을 수강하는 학생들이다. 학생들이 수행한 실험은 물리와 관련된 전형적인 실험으로 프랑크-헤르츠 실험, 다이오드 특성 측정 실험, 물리진자 실험, 프레넬 회절 실험, 마이크로웨이브를 이용한 광학실험, 회전하는 액체 실험(다양한 액체의 회전 각속도에 따라 액체의 종단면을 측정하여 중력 가속도 값을 측정) 이다. 연구에서는 학생들이 자신이 수행한 7종의 실험 가운데 한 가지를 선택하여 설문에 응답하도록 하였다. 본 연구에서는 마이크로웨이브 실험을 선택한 13명의 자료를 분석하였다. 이를 통해 학생들이 보고서 작성에서 자료 수집, 자료 처리, 자료 해석과 관련하여 겪는 어려움을 파악하였다. 또한, 측정과 관련하여 구체적으로 어떠한 어려움을 지니고 있는지에 대한 구체적인 사례를 살펴보고자 나머지 다른 실험에서 그 예를 찾아 분석하였다.

2. 연구 과정

본 연구에서는 학생들이 보고서 작성 시 겪는 어려움, 특히 측정 자료의 수집, 처리, 해석 과정에서의 어려움을 알아보고자 우선 보고서 평가 준거를 개발하였다. 이를 바탕으로 학생들이 평가 준거를 얼마나 이해하거나 중요성을 인지하고 있는지 알아보고자 설문 조사를 시행하고, 평가 준거를 기준으로 학생들의 보

고서를 실제로 평가하여 학생들이 보고서 작성에서 실제 적용하는 것과의 차이를 분석해 보았으며, 학생들이 측정 개념과 관련하여 보고서 작성 시 겪는 어려움에 대해 분석해 보았다.

먼저 학생들의 보고서를 평가하기 위한 측정의 개념이 강조된 평가 준거를 개발하였다. 이를 위해서 Klopfer(1971)의 과학탐구과정 목표 분류틀과 백성혜와 박승재(1992)의 실험보고서 평가 기준을 토대로 외국 과학교육과정과 선행연구, 오차와 불확도 관련 문헌을 참고하여 연구자들의 토론을 거쳐 보고서 평가 준거가 나열된 분석틀을 개발하였다. 개발된 보고서 분석틀의 타당성을 검증하기 위해 두 명의 물리교육 전공 교수와 11명의 대학원 석, 박사 과정 연구생, 일선 교사 등의 검토를 받아 최종적인 보고서 분석틀을 개발하였다.

다음으로 개발된 분석틀의 자료 수집, 자료 처리, 자료 해석의 대분류 아래에 있는 총 48가지 세부 보고서 평가 준거에 대하여 학생들이 어떻게 인식하고 있는지, 그리고 그것이 보고서에 어떻게 표현되는지 알아 보았다. 이를 위해서 한 학기 동안 수행한 물리 실험 주제 가운데 한 가지를 선택하고, 자신이 택한 실험과 관련하여 자료 수집, 자료 처리, 자료 해석의 세 영역 별로 각각의 영역의 평가 준거의 항목에 대해 보고서를 작성할 때, 고려한 여부를 3점 리커트 척도로 선택하도록 하였다. 이후 보고서 작성 시 고려한 보고서 평가 준거, 중요하다고 생각하는 보고서 평가 준거와 어렵다고 생각하는 보고서 평가 준거를 구분하여 기술하도록 하였다.

이후 학생들이 고려했다고 응답한 보고서 평가 준거와 중요하다고 생각하는 보고서 평가 준거가 실제로 보고서에 어떻게 작성되었는지를 평가해 보았다. 동일한 세부 보고서 평가 준거를 이용하여 교사의 평가가 이루어졌고, 교사는 분석기준별로 해당 실험과 관련이 있는지를, 관련이 있다면 학생이 보고서에서 그 항목에 대해 잘 작성하였는지를 다음과 같은 기준에 의해 연구자 3인이 평가하였다.

T-G(Teacher-Good): 실험과 관련이 있고 올바르게 작성하였다.

T-B(Teacher-Bad): 실험과 관련이 있으나 올바르게 작성하지 못하였다.

T-NS(Teacher-Not Seen): 실험과 관련이 있으나

보고서에 나타나지 않았다.

T-NR(Teacher-Not Related): 실험과 관련이 없다.

연구 결과의 분석에서는 설문 결과의 결과를 파악하여 이를 기초로 분석을 진행하였다. 이를 위해 우선, 학생들이 자신이 수행한 7종의 실험 가운데 한 가지 실험을 선택하여 설문 문항에 응답하였다. 학생들이 선택한 실험들이 서로 다르므로 가장 많은 13명이 선택을 한 마이크로웨이브 실험에 대한 설문응답만을 고려하여 연구 결과 '2. 분석틀에 기초한 학생들의 보고서 분석 결과'를 얻었다. 학생들이 보고서에 포함하였다고 하는 항목과 보고서 작성 과정에서 중요하다고 생각하는 항목이 실제로 정확히 표현되었는지를 위의 4가지 기준에 맞추어 평가하였다. 그리고 구체적인 사례분석에서는 마이크로웨이브 실험 보고서를 포함한 전체 실험 보고서에서 특징적인 사례를 분석하여 연구결과 '3. 보고서에 나타난 구체적인 어려움의 사례'를 얻었다.

III. 연구 결과

1. 보고서 분석틀의 개발

본 연구에서는 학생들의 보고서를 평가하기 위한 측정 개념이 강조된 평가 준거가 담긴 보고서 분석틀을 개발하였다. 실험의 과정은 측정 기구를 이용해 자료를 수집하고, 수집된 자료를 처리하여 결과를 분석해 내는 과정이라 할 수 있다. 따라서 보고서 평가를 자료 수집, 자료 처리, 자료 해석의 대범주로 나누고, 각각의 범주를 다시 행위별로 2~3개의 소범주로 구별하였다. 각각의 소범주에는 구체적인 세부항목을 구성하였다. 분석 기준은 Klopfer(1971)의 과학 탐구과정 목표 분류틀, 백성혜와 박승재(1992)의 실험 보고서 평가기준, Allie & Buffler(1998)의 'Report Assessment Schedule'을 기초로 하였다. 여기에 측정 도구의 사용, 반복 측정, 간단한 표, 그래프 그리기 관련한 보고서 평가 준거는 싱가포르의 중등과학교육과정(Ministry of Education, 2001)과 Allie, S.(1997)의 연구 내용을 참고하였다. AAAS(1993)의 과학적 소양을 위한 기준에서 수학세계(the mathematical world) 단원의 수(number), 관계(symbolic relationships), 불확도(uncertainty), 추

론(reasoning)과 관련한 학년별 학습목표를 참고하였다. 싱가포르의 대학 입학 자격시험(GCE A Level Examination)의 평가목표(Singapore Examination and Assessment Board, 2006)에서 대푯값, 유효숫자, 측정 및 불확도 관련 평가목표를 참고하였다. 또한, 국제 물리올림피아드 출제 요목에서는 오차 및 불확도의 전과, 불확도 요인의 정량적 분석과 관련한 내용을 참고 하였다(IPho 2006, 2006). 대수변환을 통한 정비례 관계 그래프 얻기, 의심스러운 값에 대한 해석, 추세선, 그래프에서 점들의 퍼짐 등 그래프와 관련하여 학부 전공 수준의 보고서 평가 준거에 대해서는 Taylor(1997), MacPherson & Jones(1974)의 내용을 참고하여 분석기준을 정하였다. 연구자들의 토론을 거쳐 완성된 보고서 평가 준거를 두 명의 물리 교육 전공 교수와 11명의 대학원 석, 박사 과정 연구생, 교사 등으로부터 평가를 받아 수정하여 최종적인 보고서 분석 기준을 개발하였다. [표 1]에 보고서 평가 준거를 나타내었다.

선행 연구들의 분석틀은 자료 수집 등 특정 영역에 중점을 두거나 각 영역에서 추가 되는 부분만을 포함하지만 본 연구의 분석틀은 자료 수집, 처리, 해석과 관련하여 대부분의 내용을 포함하고 있다. 특히, 자료를 해석하는 과정에서 이론 또는 모델의 검증이나 수정을 위한 근거가 될 수 있는 오차와 불확도와 관련한 평가항목들이 구체적으로 포함 되었다. 이러한 평가 준거가 포함된 분석틀은 교사가 실험을 지도하고 실험 보고서를 평가하는 과정에 도움이 될 것이다.

2. 분석틀에 기초한 학생들의 보고서 분석 결과

1) 보고서 작성에서 학생들이 고려했다고 응답한 보고서 평가 준거 요소

학생이 실험 보고서 상에 고려했다고 응답한 보고서 평가 준거 요소가 실제로 보고서 상에서 올바르게 나타났는지를 분석하였다. 학생들이 모든 실험에 대해 기억할 수 없는 상황이었기 때문에 자신이 가장 기억에 남는 실험을 선택하여 해당 실험을 참고로 질문에 응답하도록 하였다. 그 가운데 동일한 실험인 마이크로웨이브 실험을 선택한 학생이 모두 13명이었고, 이들의 응답 결과를 분석에 이용하였다. 구체적으로 살펴보면, [표 1]의 보고서 평가 준거에서 자료 수집, 자료 처리, 자료 해석에 대해 13명의 학생이 고려했다

표 1
보고서 평가 준거

대범주	소범주	세부내용	참고문헌
자료 수집	측정 도구 선택 및 사용	· 실험 중, 실험에 맞는 적절한 측정도구를 사용하기	□■○●
		· 실험에 사용한 도구의 사용법을 숙지하기 · 영점조절을 하고 눈금을 읽기 · 측정도구의 측정 범위를 적절히 선택, 측정하기 · 올바른 눈금 읽기	■◆ □■○ ■ ○
	측정 수행	· 측정해야 할 변수가 올바르게 선택하기 · 기울기가 큰 경우 여러 값을 측정하기 · 극값을 알아내기 위해 그 근처의 여러 값을 측정하기 · 필요한 경우 반복측정을 시행하기	△■ ▲○ ▲○ △□
		측정 결과 정리	· SI 단위 기준에 맞는 올바른 단위를 사용하기 · 측정해야 할 변수에 적절한 단위를 사용하기 · 기본 단위 앞에 붙는 접두어를 이해하기
자료 처리	측정 자료 변환	· 유도된 물리량의 단위를 적절히 변환하여 기술하기 · 직접 측정 불가능한(어려운) 물리량을 다른 물리량의 측정을 통해 알아내기 (표를 바르게 그리기)	□■ □
		· 적절한 제목을 넣기 · 필요한 변수를 넣기 · 변수에 맞는 단위를 넣기 · 논리적 순서에 맞게(예를 들어 첫 열이 증가하는 방향) 숫자들을 배열하기 (그래프를 바르게 그리기)	■ ■ □■ ^
	표와 그래프	· 적절한 제목을 넣기 · 축에 간격(scale)을 표시하기 · 변수와 변수의 단위를 표시하기 · 올바르게 점찍기 · 정비례 관계를 얻기 위해 변수를 적절히 변환(제곱, log 등)하기 · 그래프에서 추세선을 올바르게 나타내기	■○ ○ ■○ ○ ▲◆○● ▲○●
		대표값	· 적절한 대표값(Mean, Median, Mode, RMS)을 선정하여 사용하기 · 대표값을 올바르게 구하기 · 연산에 의한 올바른 유효숫자 맞추기
자료 해석	오차와 불확도	· 측정값으로부터 불확도를 올바르게 결정하기 · 대표값 표현시 값의 범위를 표현하기 · 합성표준불확도 ¹⁾ 를 불확도 전과공식을 사용하여 올바르게 구하기 · 확장불확도 ²⁾ 를 이용하여 최종 결과를 올바르게 표현하기	▲◆○● △○● ▲◆●● ▲◆●
		표, 그래프 해석	· 그래프의 변수관계를 방정식의 형태로 적절히 표현, 해석하기 · 내삽과 외삽을 이용하여 측정하지 않은 값을 결정하기 · y절편 값의 적절한 해석하기(체중오차 또는 초기값 등) · 그래프의 면적에 해당하는 물리량을 적절히 해석하기 · 추세선으로부터 퍼진(scattered) 점들에 대해 적절히 해석하기 · 의심스러운 값(doubtful point)과 실제값(genuine point)을 구분하고 이에 대한 올바른 해석하기
	오차와 불확도 분석	· 정확성을 이해하고 이를 실험 결과 분석에 적절히 사용하기 · 정밀함을 이해하고 이를 실험 결과 분석에 적절히 사용하기 · 정밀과 정확을 구분하여 이해하기 · 실험에 나타난 오차의 원인에 대해 파악하기 · 불확도 전파를 고려하여 해당 오차가 결과에 끼치는 영향의 정도를 설명하기 · 오차를 해결할 수 있는 방안을 제시하기	● △ ■● □◆ ●◆ △▲○
		실험 결과의 비교와 설명	· 합성표준불확도를 이용하여 분포 곡선(예: 정규분포)을 그리기 · 측정 결과의 분포도가 비대칭적일 때 적절한 처리하기 · 결과값을 비교할 때 절대불확도와 비불확도(퍼센트 오차)를 올바르게 적용하기 · 두 집단의 결과나 실험값과 이론값 등을 비교 할 때 대표값과 불확도를 모두 고려하기 · 실험결과를 설명하고 추정하기 위해 물리적, 수학적 모델을 사용하기

△: AAAS(1993), ▲: MacPherson & Jones(1974),
 □: Ministry of Education(2001), ■: Singapore Examination and Assessment Board(2006),
 ◆: IPho 2006(2006), ○: Allie & Buffler.(1998), ●: Taylor(1997)

1) 합성표준불확도는 측정결과가 여러 개의 다른 입력량으로부터 구해질 때 측정 값의 통계 분포를 고려하여 이들이 측정 결과에 미치는 영향을 고려하여 계산한 불확도이다.
 2) 확장불확도는 신뢰도에 따라 측정값의 분포할 수 있는 구간을 나타내는 불확도로 합성표준불확도에 확장계수를 곱하여 구할 수 있다.

고 응답한 총 응답 수는 자료 수집 120개, 자료 처리 148개, 자료 해석 102개 이었다. 이들 각각에 대해 실험과 관련이 있고 올바르게 작성하였는지(T-G), 실험과 관련이 있으나 올바르게 작성하지 못하였는지(T-B), 실험과 관련이 있으나 보고서에 나타나지 않았는지(T-NS), 실험과 관련이 없는지(T-NR)를 분류한 결과가 [그림 1]과 같다. [그림 1]에서는 학생들이 어떠한 요소를 많이 고려했다고 생각하는지와 실제로 그것이 보고서에 바르게 표현되어 있는지를 알 수 있다.

학생들이 보고서 작성 시 고려했다고 선택한 항목에 대해서 영역별로 30~50%의 항목에 대해 잘못하거나(T-B) 보고서에 나타나지 않았다(T-NS). 구체적으로 자료 수집 과정에서 살펴보면 고려했다고 한 요소 중에 나타나지 않은 요소의 비율이 39.2%였다. 구체적인 내용을 살펴본 결과 측정 도구의 선택, 사용법 숙지, 측정 시 영점 조절 관련 요소의 대부분이 학생들이 고려했다고 응답하였으나 실제 보고서에는 나타나지 않았다. 이는 학생들이 측정 과정은 간과하고 실험 결과만을 보고서에 정리하는 경향이 있음을 보여주었다. 그러나 실험 결과를 정리하면서 어떤 측정도구를 선택하였으며, 그 측정도구의 측정 한계는 얼마인지는 결과 해석에서 중요한 의미를 지닌다. 또한 자료 처리와 자료 해석에서는 고려했다고는 했으나 잘하지 못한 비율이 각각 25.5%, 24.5%이었는데, 이는 학생들이 해당 요소에 대해 잘못된 개념을 지니고 있음을 보여주었다. 구체적으로 살펴보면, 오차와 불확도와 같은 복잡한 개념도 포함되어 있기는 하지만, 그래프나 표의 제목, 축의 단위 표시, 그래프의 간격 설정하기 등 비교적 간단한 요소들에 대해서도 잘못된

개념을 가진 경우가 많았다. 즉, 그래프, 표 그리기에 대한 기초적인 교육이 올바르게 이루어지지 못했음을 알 수 있었다. 세 가지 영역을 모두 합한 전체 결과에서는 학생들이 고려했다고 응답했지만 보고서에 나타나지 않거나 잘하지 못한 요소의 비율이 40.9%나 되었다. 즉 측정 자료의 수집, 처리, 해석과 관련된 올바른 이해를 위한 체계적인 교육과 결과를 보고서에 표현하는 방법에 대한 교육이 필요함을 알 수 있었다.

2) 보고서 작성에서 학생들이 중요하다고 응답한 보고서 평가 준거 요소

학생들은 설문에서 [표 1]의 보고서 평가 준거 가운데 보고서 작성에서 중요하다고 생각하는 요소를 선택하였다. [표 2]에는 학생들이 자료 수집, 처리, 해석 과정에서 중요하다고 판단한 요소와 구체적인 이유가 제시되어 있다.

학생들은 자료 수집 과정에서 중요하다고 생각하는 요소로 반복측정에 관한 항목을 선택하였다. 많은 학생이 반복측정을 중요시하는 이유는 정확한 값을 얻기 위해서라고 대답을 하였다. 그러나 제시한 이유 중에 ‘여러 번 하면, 실험을 하면서 그나마 정확한 데이터가 가능하다.’와 같이 반복측정을 해야 하는 목적을 알지 못하고, 관례로 해 온 것이기 때문에 반복측정을 시행한다는 학생도 있었다. 이는 이재봉(2006)의 연구에서 학생들이 측정과 관련한 활동에서 아무런 이해 없이 반사적으로 계산하는 모습을 지적한 연구결과와 일치하였다.

학생들은 자료 처리 과정에서는 오차의 전파가 중요한 항목이라 지적하였다. 그 이유로는 ‘실험에 의한

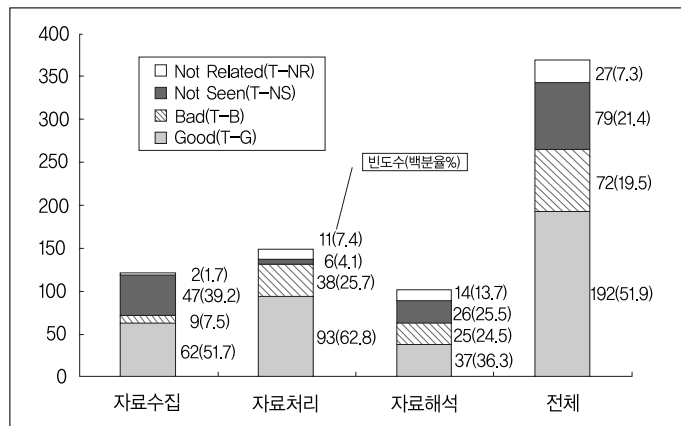


그림 1 학생들이 고려한 보고서 평가 준거 요소에 대한 연구자의 보고서평가 결과

표 2
학생들이 중요하다고 생각한 보고서 평가 준거 요소

대범주	보고서 평가 준거 요소	선택 학생 수 (%)	구체적인 이유
자료 수집	· 필요한 경우 반복측정을 하였는가?	5 (38.5)	· 여러 번 하면, 정확한 데이터가 가능 · 여러 번의 실험을 통해 오차범위를 줄여 참값에 가까운 값을 얻는 것이 중요하다고 생각
자료 처리	· 오차(불확도)의 전파를 고려하여 최종결과를 올바르게 표현하였는가?	6 (46.2)	· 실험에 의한 결과는 완전한 것이 아니므로 불확도를 사용하여 결과를 나타내는 것이 중요 · 실험결과에의 정밀한 정도를 알 수 있고, 더 정밀한 실험 가능 · 불확도가 추가된 실험 보고서를 통해 결과의 신뢰정도 가능
자료 해석	· 오차를 해결할 수 있는 방안을 제시하였는가?	5 (38.5)	· 더 나은 실험을 위한 진보적인 것 · 보다 정확한 실험을 하기위해 중요
	· 실험결과를 설명하기 위해 물리적, 수학적 모델을 사용하였는가?	6 (46.2)	· 실험을 물리, 수학적 지식을 결합하여 실험을 더 잘 이해 · 결과를 어떠한 근거로 설명해내느냐가 가장 중요

결과는 완전한 것이 아니므로 불확도를 사용하여 결과를 나타내는 것이 매우 중요하다.’와 같이 측정값에는 필연적으로 불확도가 포함되어 있다는 인식을 하는 경우가 있었으며, 실험의 정밀성과 신뢰성을 높이려면 ‘오차의 전파’에 대한 고려가 중요하다고 한 학생들도 있었다.

자료 해석에서도 중요하다고 생각한 요소는 오차나 불확도에 관련된 내용이다. 학생들은 오차를 해결하는 방안을 제시하는 것이 중요하다고 생각하였다. 그 이유로는 좀 더 개선된 실험과 정확한 실험을 위해 중요하다는 의견이 많았다.

전체적으로 학생들은 보고서 작성에서 오차와 불확도 분석이 중요하다고 응답을 하였다. 또한 [표 2]에서 보면 학생들은 물리적, 수학적 모델을 통한 실험

해석에 대한 중요성을 강조한 것을 볼 수 있다. 구체적인 이유로는 실험의 올바른 수행 및 실험 개선을 위해 필요하다는 의견이 있었으며, 이러한 모델을 통해 설명할 때 물리적 의미를 잘 이해할 수 있다는 의견이 있었다. 마이크로웨이브 실험은 수행된 실험 모두 물리적, 수학적 모델을 기초로 하여 수행된 실험이었기에 이러한 의견이 많았던 것으로 보인다.

학생이 중요하다고 응답한 요소에 대해서 연구자의 평가 결과를 분석한 것을 살펴보면 [그림 2]와 같다. 자신이 중요하다고 생각하는 요소임에도 그 요소에 대하여 올바른 응답을 못하는 학생이 많음을 알 수 있다. 특히 자료 수집과 관련해서는 학생들이 중요하다고 응답한 대부분 요소가 보고서에 나타나지 않거나 잘못 표현된 경우가 많았다. 구체적으로 자료 수집과

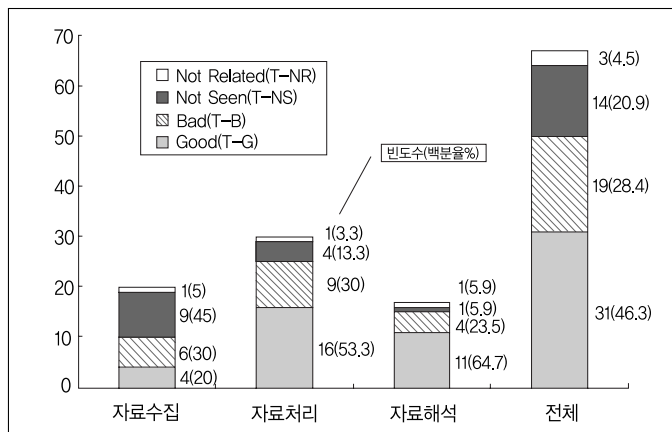


그림 2 학생들이 중요하다고 생각한 보고서 평가 준거 요소에 대한 연구자의 보고서평가 결과

관련하여 극값 근처에서 여러 번 측정하는 것이 중요하다고 응답한 학생 4명 모두의 보고서에 이에 대한 내용이 나타나지 않았다. 또한 측정 도구의 선택과 사용법이 중요하다고 응답했으나 보고서에는 응답자 전원 모두 이와 관련하여 아무런 기술도 하지 않았다. 자료 처리에서는 적절한 변수 치환과 유효숫자 맞춤, 측정값의 오차 기술과 관련하여 중요하다고 응답했으나 보고서에는 잘 드러나지 않았다. 자료 해석에서는 실험값과 이론값의 비교, 추세선 그리기, 퍼진 점의 해석에 대해 중요하다고 응답했으나 이에 대해 잘못 알고 있거나 올바르게 표현하지 못하였다. 이러한 요소는 학생 자신도 이미 중요한 요소라고 생각하고 있기 때문에 학습 동기가 충분한 상태에 있기 때문에 교육을 통해 쉽게 바로잡아질 수 있을 것이다.

3) 학생들이 어렵다고 생각한 보고서 평가 준거 요소

학생들의 설문 응답을 분석한 결과 보고서 작성에서 어렵다고 생각하는 요소에 대해 알 수 있었다. [표 3]은 설문에 응답한 13명의 학생들이 어렵다고 생각하는 요소와 그 이유를 대분류에 따라 정리한 것이다. 다른 영역에 비해 자료 처리 영역을 어려워하고 있음을 알 수 있다. 특히, 오차의 전파 공식 등 오차와 불확도와 관련하여 개념적으로 파악하지도 못하고 있고, 관련한 수학 공식 역시 기본적인 미적분과 피타고라스 정리를 이해하면 되는 부분임에도 잘 알지 못하

거나 또는 알더라도 실험 결과 처리에 적절히 이용하지 못하는 경우가 많았다.

영역별로 구체적인 사례를 살펴보면 자료 수집과 관련하여 학생들이 어렵다고 생각한 요소로는 기울기 값이 큰 영역을 측정하거나, 극값을 알아내어야 할 때, 반복측정의 필요성을 인식하는지에 대한 항목이었다. 이에 대한 구체적인 이유로 실험 시간의 부족 문제와 쉽게 관심을 가지기 힘든 항목이라는 이유를 들었으며, 또 다른 의견으로는 측정 시 어느 부분이 극값인지 알기 어려워서 극값 근처의 값을 여러 번 측정하지 못한다고 하였다.

3. 보고서에 나타난 구체적 어려움의 사례

학생들이 보고서 작성에서 측정과 관련하여 어려움을 겪는 구체적인 사례를 살펴보고자 다른 실험들에서 특징적인 사례를 살펴보았다. 예를 들어 프랑크-헤르츠 실험에서는 극값을 찾기 위해 그 근처의 여러 값을 측정해야 한다. 여기에서 학생들의 어려움을 발견하였다. 프랑크-헤르츠 실험은 가해주는 전압에 따라 전류를 측정하여 에너지 준위를 측정하는 실험으로 측정결과가 일정하게 증가하지 않고 극값이 있는 경우이다. 이와 같은 실험에서 정밀한 측정 결과를 얻고 극값을 정확히 알려면 극값 근처의 전압간격을 작게 변화시키며 여러 값을 측정해야 한다. 그러나 학생

표 3
학생들이 어렵다고 생각한 보고서 평가 준거 요소

대범주	보고서 평가 준거 요소	선택 학생 수 (%)	구체적인 이유
자료 수집	· 기울기 값이 큰 경우 여러 값을 측정하였는가?	4 (30.8)	· 데이터의 기준간격을 지켜서 실험을 수행해서 쉽게 간과함. · 반복실험에 따르는 시간적 제약이 있음. · 실험 중에 기울기 데이터까지 관심가지지 못함.
	· 극값을 알아내기 위해 그 근처의 여러 값을 측정하였는가?	3 (23.1)	· 번거롭고, 귀찮음. · 데이터를 수집과 동시에 바로 Data처리를 해야, 극값 근처의 값을 알 수 있기 때문임.
자료 처리	· 합성불확도를 이용하여 최종결과를 올바르게 표현하였는가?	11 (84.6)	· 배경 지식 부족으로 이해의 어려움과 오차 처리의 어려움. · 모든 불확도를 고려해야 하는 부담감. · 복잡한 수식에 대해 대처하지 못함. · 불확도 계산 방법을 배우긴 했으나 실험시 발생하는 모든 불확도를 고려하고 계산하는 것의 어려움. · 데이터 수집시 불확도를 간과하고 수행하여 표현 못함.
자료 해석	· 불확도 전파를 고려하여 해당 오차가 결과에 끼치는 영향의 정도를 설명할 수 있는가?	4 (30.8)	· 불확도를 사용하여 결과를 나타내는 습관이 부족함. · 변수가 여러 개 있을 경우 불확도가 어떻게 전파되는지 계산의 어려움.

들의 보고서를 분석해 본 결과 전압을 변화시키는 부분에서 다양한 유형을 나타내었다.

많은 학생이 전압을 일정한 간격으로 변화시키면서 극값이 되는 전압을 찾아내는 경향이 있었다. 그러나 전압 간격이 충분히 작을 때만이 이러한 측정 자료 수집 방법이 옳다. 예를 들어 그림에는 나타내지 않았지만 어떤 학생은 전압 간격을 2V로 일정하게 하고 측정을 한 예도 있었는데, 이 학생의 자료의 극값은 기본적으로 $\pm 2V$ 의 불확도를 지니게 된다. 또한 [그림 3] (a), (c)와 같이 극값에서의 가속전압과 전류를 측정하는 경우가 많았는데, 이 유형의 학생들은 극값을 찾고 추세를 파악함으로써 가속전압과 전류의 관계를 얻었다. 그러나 이런 방법을 사용하게 되면 극값이 근처에서의 변화율이나 극값 근처에서 값들의 측정 간격, 분포를 알 수 없어서 극값 측정 결과의 오차와 불확도를 계산하고 표현하기가 어렵다. 또한 전류가 증가하는 구간과 감소하는 구간의 정보가 없어서 자료의 전체 경향성을 올바르게 알 수가 없다. 그래프 간에 극값의 차이가 나는 이유는 학생들이 실험할 때의 히터 전류를 서로 다르게 설정하여 측정하였기 때문이다.

또 하나의 특징적인 유형은 [그림 3] (b)에 나타낸 것처럼 극값 근처에서 오히려 넓은 간격으로 측정한 경우이다. 학생은 보고서의 논의 부분에 ‘좀 더 정밀한 그래프를 얻고자 전류가 1 A씩 증가 또는 감소할 때마다 전압을 측정하였고 증가하다 감소하는 순간 주위에서는 좀 더 정밀히 측정해 보았다.’라고 정리하였다. 즉, 극값 근처에서 전류의 변화율이 작아지므로 동일한 전류 값이 변하려면 전압을 다른 구간에 비해

더욱 크게 변화시켜야 하고, 이 때문에 극값 근처에서 전압변화를 크게 한 것이다. 이 학생은 실험에서 기울기의 변화를 봐야 한다고 생각한 듯하다. 그러나 실험의 목표는 극값의 전압 간격을 찾는 것이기 때문에 학생의 방법은 실험의 불확도를 더욱 증가시키는 결과를 가져왔다.

자료 처리와 관련해서는 학생들은 합성불확도에 관한 평가항목에 대해 다른 영역에 비해 84.6%가 어렵다고 응답하였다. 대체로 개념을 모른다는 의견이 가장 많았으며, 이러한 응답은 모든 실험에 대해서 비슷한 반응을 보였다. [표 2]와 [표 3]을 통해 볼 때, 학생들은 합성불확도를 이용한 최종결과의 표현에 대하여 모든 실험의 과정에서 가장 중요한 요소라고 생각하지만 동시에 가장 어려워하는 요소라고 할 수 있다. 학생들은 그 중요성을 인식하고 있지만 잘 알지 못하기 때문에 보고서 작성에 오차와 불확도에 관련한 요소를 잘 포함하지 못하는 것으로 보인다.

특히 실험 상황에서 발생하는 모든 불확도를 고려해야 한다는 부담감이 있다는 의견이 있었으며, 이와 비슷하게 ‘불확도 계산 방법을 배우긴 했으나 여전히 실험 시 발생하는 모든 불확도를 고려하고 계산하기는 쉽지 않다.’와 같은 이유처럼 합성 불확도를 이미 교육받았음에도 이에 대해 접근조차 하지 못하는 경우가 있었다. 그리고 ‘불확도 계산하는 것이 잘 이루어지지 않았는데 데이터 수집시 간과한 것...’이라는 의견으로부터 합성불확도에 대한 어려움으로 인하여 실험 수행 때부터 불확도를 고려하지 않고 자료 수집을 하고 있음이 드러났다. 학생들의 실험보고서를 분

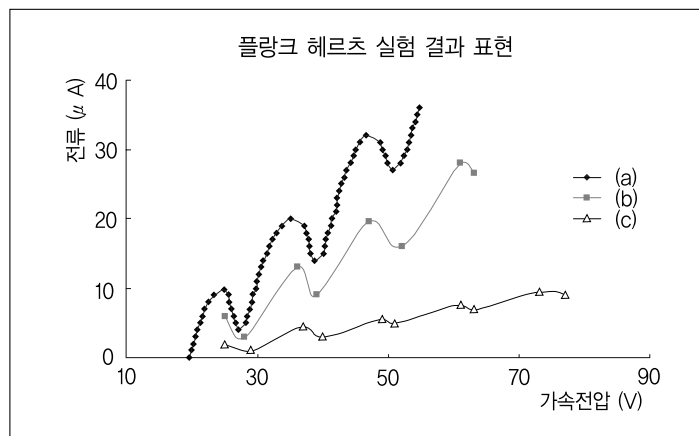


그림 3 다양한 플랑크 헤르츠 실험 결과 표현: (a) 전류가 극값이 되는 점에서만 전압을 측정하여 불확도가 큰 결과를 보여준 결과 (b) 극값 근처에서 전압 변화를 크게 하면서 측정한 결과 (c) 히터 전류를 너무 작게 하여 측정하여 극값과 극소값의 차이가 작게 나타난 결과

석한 결과 오차 및 불확도와 관련하여 극소수의 학생들만이 문헌을 참고하여 올바른 자료 처리를 하였다. 나머지 대부분 학생은 측정기의 정확도, 단일 측정의 오차 등 비교적 쉬운 개념에 대해서는 보고서에 적절히 정리를 했으나 오차의 전파에 대해서는 보고서에 잘 드러나는 경우가 없었다. 실험에서는 나눗셈 연산 결과에 따라 얻은 양의 오차 값을 결정하는 단순한 처리에서부터 근호와 삼각함수, 이차함수를 포함하는 복잡한 함수에 의해 얻은 양의 오차 값을 결정하는 것까지 다양한 수준의 오차 전파에 대한 문항이 있었으나 소수를 제외한 학생들은 정성적으로 해석해 놓거나 아무런 언급도 하지 않았다. 학생들이 이미 직전학기 수업 시간에 오차와 오차의 전파에 대해 정성적으로 배우고 몇 가지 전파 공식에 대해 학습한 점을 미루어 볼 때, 학생들이 이러한 자료의 처리 방법에 대해서 쉽게 학습하기 어렵다는 것을 알려 준다.

대범주에서 자료 해석에서도 학생들이 불확도에 대해 많은 어려움을 지니고 있음을 알 수 있었다. 특히 오차의 원인에 대해 파악하기, 불확도 전파를 고려하여 해당 오차가 결과에 주는 영향의 정도를 파악하기, 오차의 해결방안 제시하기, 정밀과 정확을 구분하여 이해하고 이를 자료 해석에 올바르게 사용하기 등에 어려움을 나타내었다. 이에 대한 구체적인 어려움은 회전하는 액체 실험에서 잘 나타났다. 이 실험은 오차의 원인이 다양하고 오차의 값 또한 크게 나타날 수 있는 실험이다. 이러한 실험의 특성상 학생들이 보고

서 작성에서 오차에 대한 분석을 비중 있게 다루었다. [표 4]는 학생들이 해당 실험의 오차에 대해 언급한 내용 가운데 올바르지 못한 분석 사례와 올바른 분석 사례를 구분해 본 것이다. 극소수의 학생을 제외한 대부분 학생이 정성적인 분석에 그치고 있고, 자신이 제시하는 여러 가지 오차의 원인 가운데 어떤 오차가 가장 심각한지, 어떤 오차가 결과에 가장 큰 영향을 줄 수 있는지에 대한 해석은 내리지 못하고 있다.

[표 4]에 나타난 올바른 분석 사례에 해당하는 학생은 오차의 원인을 정량적으로 분석하고 해당 오차가 결과에 얼마의 영향을 줄 수 있는지를 따져보아 다른 물리량의 측정보다 주기의 정밀한 측정이 좋은 실험 결과를 얻는 데 필요함을 지적하고 있다. 실제로 이 학생의 중력가속도 측정 결과는 정확도와 정밀도에서 다른 학생들의 결과보다 좋았다. 오차와 불확도 분석을 통해 실험을 개선하고 이를 통해 정밀도와 정확도가 더욱 향상된 실험결과를 얻을 수 있음을 보여준다.

물리진자를 갖고 중력가속도를 측정하는 실험에서도 학생들은 오차와 불확도 분석과 관련하여 어려움을 나타내었다. 실험에서 학생들은 실험결과를 해석하는데 정밀함을 제대로 이용하지 못하였다. 측정 결과가 이론값과 큰 차이를 보이는 경우 대부분 학생이 오차원인을 정성적으로 설명할 뿐 더 이상의 논의를 하지 않았다. 이론값과 비교했을 때 오차가 크더라도 정밀한 결과를 얻었다면 모델을 수정하거나 계통오차를 찾아야 하는 것이 올바른 대처라고 할 수 있다. 한

표 4
회전하는 액체 실험에서의 오차원인에 대한 학생들의 설명 사례

구분	학생들의 설명
올바르지 못한 분석	<ul style="list-style-type: none"> · 회전하던 글리세린의 관성에 의해 포물면이 일정하지 못하고 포물면을 기준으로 약간 진동하고 있다고 할 수 있다. · 각속도를 변화시키지 않아도 스스로 각속도가 변화했는데 이 이유는 글리세린을 회전시킬 만큼 실험기구에 사용된 모터의 힘이 세지 않기 때문이다. · 이 정도의 오차가 나게 된 이유는 액체사이의 점성이 큰 작용을 했다 · 각속도가 증가할수록 반사된 빛이 점이 아닌 선으로 나타나서 중간 값을 읽었는데 이는 거리 측정의 오차의 원인이 된다. · 사진을 통해 보이는 액체의 모양은 굴절에 의해 왜곡되어 있으므로 실제 모양과 차이가 날 수 밖에 없다. · 픽셀 분석에 의한 사진 분석의 오차도 생각해볼 수 있는데 한 두 개 픽셀에 의해 생기는 측정오차는 거의 무시할 만한 수준이다. · 각각의 변위를 측정하는 것이 매우 까다로워서 이 과정에 오차가 발생할 수 있다.
올바른 분석	<p>실제로 스톱워치로 주기를 측정하여 0.03s의 오차가 발생했다고 가정해보자. 즉, 0.73s가 아니라 0.70s로 주기가 측정이 되었다면, 중력가속도 g는 10.21m/s^2로 얻어진다. 0.03s 차이가 4.2%의 오차를 만든 것이다. 결국 이 번 실험을 정확하게 하기 위해서는 주기 측정이 최대한 정밀하게 되어야 하는데…….</p>

학생은 너트 위치에 따른 회전 관성에 대한 모델을 잘 못 세워 결과 값이 이론과 11%의 오차가 발생하였다. 이 과정에서 자신의 측정 결과가 정밀한지 그렇지 못한지를 판단하여 정밀하다는 판단을 했다면 계통오차의 원인을 찾았을 것이다. 그러나 보고서에서 학생은 정밀함에 대한 아무런 고려나 언급 없이 지구에서 위도에 따른 중력가속도 변화를 하나의 오차원인으로 제안했다. 반면에 다른 한 학생은 자신의 측정 결과가 중력가속도와 0.4%의 오차를 보이지만 자신의 측정 결과가 정밀하다는 근거로부터 자신이 실험을 수행한 지점의 중력가속도 값이 측정값이라는 주장을 펼친다. 물론 이런 자신의 결론에 위도에 따른 중력가속도의 변화를 고려하였지만, 핵심적인 근거는 측정 결과의 정밀함에 있음을 알 수 있었다. 두 학생의 예에서 자료 해석에서 정밀함을 이해하고 적용하는 것이 지니는 의미를 알 수 있다. 즉, 자신이 측정한 자료가 정밀한 결과인지를 파악하고 만약 측정결과 값이 일정 범위 내로 정밀하지만, 실험값과는 달리 참값이 이 범위를 벗어나 존재한다면 실험에 영향을 미치는 다른 요인 즉 계통오차가 생김을 학생들이 이해하도록 할 필요가 있다.

이상의 결과에서 자료 처리 및 해석의 영역에 걸쳐서 불확도 개념에 대한 교육이 필요함을 알 수 있다.

IV. 요약 및 결론

본 연구에서는 탐구 기능 가운데 자료 수집, 자료 처리, 자료 해석에서 측정 및 오차와 불확도와 관련하여 학생들의 보고서 분석을 위한 평가항목을 개발하였고 이를 물리교육을 전공하는 대학생들의 실험보고서 평가에 적용하여 학생들이 보고서 작성에서 어떤 어려움을 겪고 있는가에 대해 알아보았다. 대부분의 선행연구가 초보적인 수준의 자료 수집 능력을 파악하는 지표들에 국한되어 있기 때문에 대학생들의 보고서를 평가하는 데에는 부족한 부분이 있었다. 특히, 다양한 물리량을 측정하여 최종 결과 값의 대푯값과 불확도를 얻을 때, 필수적으로 필요한 불확도 전파에 대한 평가항목은 선행 연구에서는 찾아보기 어렵다. 이에 따라 본 연구에서는 불확도 전파 및 불확도를 이용하여 자료를 해석하는 부분에 대한 평가항목을 개발하였다. 또한, 학생들의 보고서 작성 결과와 설문 및 면담 결과를 통해 학생들이 실제로 자신들이 자료

와 관련한 개념을 어떻게 사용하는지 알 수 있었고, 실험 결과를 의사소통하는 과정에서 겪는 어려움을 파악할 수 있었다.

학생들의 실태 분석을 위해 설문에 응답한 결과와 보고서를 분석한 결과를 비교하였다. 학생들은 자신들이 고려했다고 생각한 요소들을 보고서에 잘 드러내지 못하고 있었다. 특히, 측정 도구의 선택이나 측정 도구의 사용방법에 대해서는 실험을 수행할 때에는 고려하게 되나 보고서를 작성할 때에는 간과하는 경향이 뚜렷했다. 자료 처리와 해석에는 오차와 불확도와 관련한 요소에 대해 학생들이 보고서에 적절히 나타내지 못하였다. 특히, 표나 그래프 그리기와 관련하여 제목, 단위 표시, 축 간격 설정 등 비교적 단순한 내용에 대해서도 쉽게 간과하고 명확하게 표현하지 않는 학생이 많았다.

또한 학생들이 실험보고서를 작성할 때 어떠한 요소를 어려워하고 어떠한 요소를 중요하다고 생각하는지 그 인식도 조사해 보았다. 조사 결과 극값 근처나 기울기가 큰 값을 지니는 영역에서 더욱 정밀하게 측정하는 것에 대해 일정한 간격으로 측정하던 습관이나 시간적 제약, 번거로움 등의 이유를 들어 어렵다고 응답하였고, 오차와 불확도에 대해 배경 지식이 부족하고, 많이 접해보지 못했으며, 잘 몰라서 어렵다는 의견이 많았다. 중요하다고 생각하는 요소에는 정확한 데이터를 얻으려면 반복측정이 중요하다고 인식하였다. 자료 처리 및 해석과 관련해서는 오차와 불확도를 이용하여 자료를 분석하고 오차의 원인을 해결하는 방안을 제시하는 것이 중요하다고 응답하였다. 이 경우 대부분이 정확한 측정을 위해서라는 이유를 제시하였는데 학생들이 측정에 있어서 정밀함보다 정확함을 중요시하고 있음을 알 수 있었다.

구체적으로 자료 수집과 처리, 해석에서 학생들의 보고서에 드러난 어려움을 알아내고자 7종목 210개의 실험 보고서를 자세히 분석하였다. 극값 근처에서 여러 값 측정하기, 측정 자료 변환하기, 추세선 그리기, 대푯값 계산과 표현, 유효숫자, 불확도 전파, 그래프 해석, 오차의 원인 파악과 처치, 정확과 정밀의 개념을 구분하여 사용하기, 가장 주요한 오차 원인 결정하기, 실험값을 이론값과 비교하기 등 전 영역에 걸쳐 다양한 어려움을 파악할 수 있었다. 특히, 오차와 불확도와 관련한 요소에서 학생들이 많은 어려움을 경험하고 있음을 알 수 있었다.

본 연구를 통해 실험 마지막 학기인 학생들이 보고서 작성에서 얼마나 많은 어려움과 문제점을 지니고 있는지를 알 수 있었다. 내용이 어렵거나 생소한 것도 있었지만, 매우 기초적인 부분에서도 어려움을 드러내고 있음을 알 수 있었다. 이는 실험 수업에서 자료 수집, 자료 처리, 자료 해석 등 탐구 기능과 관련한 요소들에 대한 교육이 올바르게 이루어지지 못하고 있기 때문으로 생각한다. 특히, 오차와 불확도와 관련한 내용은 학생들도 그 중요성을 인식하고 있기 때문에 적절한 교수활동을 통해 문제점을 쉽게 해결할 수 있을 것으로 기대된다.

본 연구는 7가지 실험 종목에 대한 보고서만을 분석하였기 때문에 문헌을 참고하여 개발한 분석 요소 모두를 반영한 연구를 했다고 볼 수는 없다. 실제로 실험에 따라 분석 요소 가운데 관련이 없을 수가 있기 때문에 다양한 유형의 실험에 대한 적용을 통해 유사한 연구가 이루어진다면 실험 교육과 관련하여 많은 시사점을 얻을 수 있을 것이다.

국문 요약

본 연구에서는 탐구 기능 가운데 자료 수집, 자료 처리, 자료 해석과 관련하여 실험보고서 분석틀을 개발하였다. 또한 개발한 분석틀을 대학생들의 보고서 분석에 적용하여 오차와 불확도 개념을 중심으로 대학생들이 보고서 작성에서 어려움을 겪고 있는가에 대해 알아보았다. 물리실험 수업을 수강한 30명의 학생들에게 실시한 설문지와 학생들이 작성한 실험보고서를 분석하였다. 학생들은 자료 수집과 관련하여 반복 측정에 대해 인식을 하고 있으나 보고서에서는 이를 명확하게 표현하지 못하였다. 극값이나 기울기가 급하게 변하면 더욱 정밀한 측정을 해야 하지만 학생들은 이 부분에서도 어려움을 지니고 있었다. 특히, 오차와 불확도와 관련하여 학생들은 많은 어려움을 표출하고 있었다. 오차와 불확도의 전파에 대한 이해도가 매우 낮은 상태에서 단순한 오차 전파공식도 이용하지 못하는 학생이 많았다. 오차와 불확도를 분석을 통해 자료를 해석하는 과정에서도 많은 어려움을 겪고 있었는데, 오차의 원인들이 결과에 어떻게 영향을 주는지를 정량적으로 분석할 수 있는 학생은 거의 없었다. 반면에 학생 대부분이 오차와 불확도 분석이 중요하다고 응답하였다. 학생들이 중요성을 인식하고

있으나 올바른 개념을 지니지 못하여 보고서 작성에서 어려움을 겪고 있다는 결론을 내릴 수 있었다. 실험 수업에서 보고서를 통해 과학적 의사소통을 해야 하는 학생들에게 물리 개념뿐만 아니라 자료를 수집하고 처리하고 해석하는 데 필요한 기본 개념에 대한 교육이 필요할 것이다.

참고 문헌

- 김태일 (2007). 한국과 싱가포르의 과학 교과서 탐구 활동의 특징 비교. 서울대학교 대학원 석사 학위 논문.
- 백성혜, 박승재 (1992). 계통도 분석법을 이용한 실험보고서 평가의 효과 분석. 한국과학교육학회지, 12(1), 93-101.
- 서정아, 정희경, 정용재 (2000). 초·중학생의 눈금 읽기 능력 및 측정 도구와 단위에 관련된 개념 조사. 한국과학교육학회지, 20(1), 1-11.
- 서정아 (2002). 측정 이론에 관한 중학교 1학년 학생의 선개념 조사. 한국과학교육학회지, 22(3), 455-465.
- 이재봉 (2006). 측정 자료의 오차와 불확실도에 대한 학생들의 이해. 새물리, 52(5), 436-446.
- Allie, S. (1997). Writing-intensive physics laboratory reports: Tasks and assessment. *The Physics Teacher*, 35, 399-403.
- Allie, S. & Buffler, A. (1998). A course in tools and procedures for Physics 1. *American Journal of Physics*, 66(7), 613-624.
- Allie, S., Buffler, A., Lubben, F. & Campbell, B. (2001). Point and set paradigms in students' handling of experimental measurements. *Science Education*, 331-336.
- American Association for the Advancement of Science (1993). *Benchmarks for science literacy*. New York: Oxford University Press.
- Becker, S. F. (1995). Guest comment: Teaching writing to teach physics. *American Journal of Physics*, 63, 587.
- Buffler, A., Allie, S., Lubben, F. & Campbell, B. (2001). The development of first year physics students' ideas about measurement in terms of point and set paradigms. *International Journal of Science*

Education, 23(11) 1137-1156.

Cushing, J. T. (1998). *Philosophical Concepts in Physics*. NY: Cambridge University Press.

Deardoff, D. L. (2001). *Introductory physics students' treatment of measurement uncertainty*. Doctorial paper North Carolina State University.

Duggan, S., & Gott, R. (2002). What sort of science education do we really need?. *International Journal of Science Education*, 24(7), 661-679.

Gott, R. & Duggan S. (1995). *Investigative Work in the Science Curriculum*. UK: Open University Press.

Gott, R. & Duggan S. (1996). Practical Work: its role in the understanding of evidence in science. *International Journal of Science Education*, 18(7), 791-806.

IPho 2006. (2006). The syllabus. Retrieved August 11, 2006, from the World Wide Web: <http://www.ipho2006.org/>

Kalman, J. & Kalman, C. (1996). Writing to learn. *American Journal of Physics*, 64, 955.

Klopfer, (1971). "Evaluation and Learning in Science". in Bloom, B., Hastings, T. & Madaus, G. (1971). *Handbook on Formative and Summative Evaluation of Student Learning*. New York : McGraw-Hill, 559-641.

Krane, K. S. (1996). *Modern Physics*. 2nd ed., NY: John Wiley.

Lubben, F., Campbell, B., Buffler, A. & Allie, S. (2001). Point and set reasoning in practical science measurement by entering university freshmen. *Science Education*, 85(4), 311-327.

Lubben, F., & Millar, R. (1996). Children's ideas about the reliability of experimental data. *International Journal of Science Education*, 18(8), 955-968.

MacPherson, I. S. & Jones, B. R. (1974). *The interpretation of graphs in physics*. London: Hutchinson Educational.

Ministry of Education. (2001). *Science syllabus lower secondary*. Retrieved October 1, 2006, from the World Wide Web: <http://www.moe.gov.sg/>

Mullin, W. J. (1989). Writing in physics. *The Physics Teacher*, 27, 342.

Taylor, J. R. (1997). *An introduction to error analysis*. California: University Science Books.

Singapore Examination and Assesment Board. (2006). *GCE Phycis advanced level syllabus*, Retrieved September 24, 2006, from the World Wide Web:<http://www.seab.gov.sg/>