

예비교사의 물리 탐구 과정에서 드러난 불확실도의 개념

이재봉 · 이성묵

서울대학교

The Pre-Service Teachers' Concept of Uncertainty Revealed in Physics Inquiry Activity

Lee, Jaebong · Lee, Sungmuk

Seoul National University

Abstract: The purpose of this study is to examine the pre-service teachers' concept of measurement uncertainty. The subject of this study were 27 pre-service middle-school teachers in Seoul. They carried out open-ended inquiry tasks and surveyed two kinds of open questionnaires, and interviewed several persons. We analysed their behavior and responses. Through the analysis, we summarize pre-service teachers' concept about measurement uncertainty with representation data, precision and accuracy, error analysis, propagation of uncertainty. The results show that the teachers' concept is different from scientists' concept. They make a mistake in using term of precision and accuracy and pay no attention to measure precisely. Also they only point out sources of error but don't consider how the error affects the results of experiment. The results of study will give some implications for the curriculum and teaching material developers in order that pre-service teacher and student gain scientific concept.

Key words: measurement, uncertainty, physics inquiry activity

I. 서론

과학적 탐구는 오랜 역사를 가지고 과학교육에서 중요한 의미를 차지해 왔다. 미국의 교육학자 듀이(J. Dewey, 1859~1952)는 과학은 과학적인 지식뿐만 아니라 과정이나 방법을 포함한다고 하였으며, 이로부터 과학에서 탐구의 중요성을 인식하게 되었다. 이러한 듀이의 실용주의적 사고는 이후 브루너(J. S. Bruner, 1915~)의 발견학습과 스와브(J. Schwab, 1909~1988)의 유동적인 탐구에 영향을 주었으며 60년대 탐구에 대한 관심을 불러일으키는 계기가 되었다. 또한 최근 국내외의 과학교육개혁에서도 탐구를 크게 강조하고 있다(NRC, 1996, 2000). 2006년에 공고된 차기 교육과정개정 시안에서도 학생들의 과학적인 탐구를 증진시키기 위해 '자유탐구'를 신설하고, 학생들에게 보다 많은 탐구기회를 제공해 주려고 하고 있다(한국교육과정평가원, 2006). 그러나 그동안 국내외적으로 학생들의 과학적인 개념에 대한 연구는 많이 있었으나 학생

들의 탐구과정에서 사용하는 과정적 지식에 대한 연구는 부족하였다. 특히 과학적인 탐구과정에서 문제해결의 출발점이라 할 수 있는 측정과정에 대한 연구는 부족하였다.

측정은 외적세계에 대한 경험을 정량화하는 과정이다. 19세기의 과학자 Kelvin은 '말하려는 것에 대해 측정할 수 있고 이를 숫자로 표현할 때, 비로소 그것을 아는 것이다. 사물을 측정할 수 없거나 수로 표현할 수 없을 때, 우리의 지식은 빈약하고 불만족스러운 것이다. 측정은 지식의 출발점이다.' 라고 하였다(Baird, 1995). 누구나 주변을 둘러보면 모든 일상생활에서 측정이 기초가 됨을 알 수 있다. 다시 말해 측정은 일상생활과 밀접하게 관련되어 있으며, 중요한 과학탐구 기능 요소이다. 그러나 이러한 측정에는 불확실도(uncertainty)¹⁾가 포함되어 있다. 측정 자료는 하나의 값이 아닌 일정 정도의 영역(range)을 가지고 분포하고 있으며 보통 이것을 불확실도라고 한다. Taylor (1997)는 오차와 불확실도라는 말을 바꾸어 사용할

* 교신저자: 이재봉(jlee@dreamwiz.com)

** 2006.09.18(접수) 2006.11.24(1심통과) 2006.12.19(2심통과) 2006.12.20(최종통과)

1) 한국표준과학연구원(1998)에서는 불확도라고 표현한다. 본 연구에서는 의미를 보다 쉽게 전달하기 위해서 불확실도라고 지칭하였다.

수 있다고 하였으나, 보통 오차는 참값과 측정값과의 차이를 말하므로 많은 경우에 ‘오차’라는 말 대신에 ‘불확실도’라는 표현을 쓰는 것이 바람직하다. 측정 자료를 이해하는 것은 측정된 값이 분포하는 영역 즉 불확실도와 그 원인을 파악하는 것이다.

측정과 불확실도에 대한 이해는 실험을 설계하거나 자료를 해석하는 데 중요한 역할을 한다(Lippmann, 2003). 얼마나 정확한 측정을 하였느냐 또는 얼마나 정밀한 측정을 하였느냐에 따라 실험 자료를 해석하는 것이 달라진다.

일반적으로 학생들의 측정에 대한 개념에 대한 체계적인 연구로는 남아프리카 Cape Town 대학의 Allie와 Buffer 그리고 영국 York 대학의 Lubben과 Campbell의 공동연구가 있다(Allie et al., 1998, Buffer et al., 2001, Lubben et al., 2001). 그들은 일련의 연구과정을 바탕으로 PMQ(Physics Measurement Questionnaire)를 개발하여 학생들의 측정과 관련된 개념을 조사하였다. 연구자들은 학생들마다 서로 다른 점추론(point reasoning)과 집합추론(set reasoning)의 형태가 존재하고 있음을 보였다. 점추론은 각각의 측정이 참값이 될 수 있으며, 각각의 측정결과는 다른 것과 독립적이라는 생각을 가진 것이고, 집합추론은 측정은 단지 참값에 대한 근사이고, 참값으로부터의 변위는 무작위적이어서 측정값은 특정값 주위에서 일정한 분포를 이룬다는 것이다. 따라서 자료의 불확실도에 대해서 이해하는 것은 학생들이 집합추론을 하게 하도록 하는 것과 비슷한 의미를 지닌다.

학생들의 불확실도에 대한 개념에 대한 선행연구의 하나로 Deardoff(2001)는 전문가를 상대로 학생들이 알아야 할 불확실도에 대한 개념에 대한 목표를 정리하였다. 또한 Deardoff(2002)는 학생들의 불확실도에 대한 개념을 검사할 수 있는 MUQ(Measurement Uncertainty Quiz)를 개발하였다. 이재봉(2006)은 Deardoff가 개발한 MUQ를 변형하여 국내 과학고등학교 학생과 대학생들을 대상으로 오차와 불확실도에 대한 개념을 조사하였다. 이에 따르면 학생들은 일정한 영역을 가지고 분포하는 자료를 평균과 불확실도를 사용해서 표현해야 됨을 알고 있으나 서로 다른 표현 유형을 가지고 있었으며, 대부분의 경우 산술적인 계산에만 집중할 뿐 자료의 질에 대해서는 관심을 가지고 있지 않았다. 또한 서정아(2002)는 중학교 1학년 학생들의 측정에 선개념을 조사하였는데, 연구결과에 의하면 반복측정, 대표값 선정, 오차, 측정의 불확실성에 있어서 과학자들과 다른 개념을 가지고 있었다. 그러나 이러한 연구들이 실제 구체적인 탐구과제가 주어졌을 때, 자료를 얻고 해결하는 과정에서 학생들이 겪는 어려

움을 분석한 경우는 없었다.

또한 그동안 국내에서는 불확실도 개념에 대한 학습이나 교육활동이 부족하였다. 예를 들어 예비교사의 경우 대학과정을 이수하면서 3~4번의 실험 강의를 수강하지만, 실험 탐구과정에서 중요한 불확실도의 개념은 실험 강의의 첫 시간이나 교재의 첫 부분에서 형식적으로 다루어지고 있는 경우가 많다. 이렇듯 교사 교육에서도 소홀히 여겨지고 있으며, 교사와 학생 모두 이러한 활동에 대한 경험이 부족한 것이 현실이다. 이러한 상황에서 학생들이 올바른 개념을 가지기 위해서는 교사의 역할이 중요하고 크게 영향을 미치므로, 교사가 어떠한 개념을 가지고 있는 지 파악하는 것은 의미 있는 일이다. 이러한 연구는 교사와 학생들을 위한 교육프로그램 개발의 기초연구로 활용될 수 있을 것이다.

본 연구에서는 여러 선행연구들을 바탕으로 예비교사들이 실제 과학적인 탐구활동에서 어떠한 불확실도 개념이 사용하고 있는지 분석하고자 한다.

II. 연구방법

연구는 서울지역 대학교에 재학 중인 물리전공 예비중등교사 27(남 16명, 여 11)명을 대상으로 주로 질문지법과 면담조사를 통하여 수행되었다. 예비교사들의 불확실도 개념을 조사하기 위해 본 연구에서는 대상자들에게 실제 물리 탐구 과제를 제시하여 이를 해결하고 과학적인 결론을 도출하는 과정을 분석하였다.

연구에 사용된 물리 탐구 활동 과제는 ‘진자의 주기에 영향을 미치는 요인을 파악하고, 진자의 주기를 이용하여 중력가속도를 측정하시오’ 라는 개방적인 형태의 탐구과제이었다. 예비교사들은 주어진 주제에 대해서 탐구활동을 진행하고 연구자가 제시한 질문에 대한 보고서를 제출하였다. 1차질문지는 표 1과 같이 탐구의 과정과 측정된 자료를 자세히 기록하고, 실험 결과에 대한 자신의 생각을 정리할 수 있는 질문들로 구성하였다. 실험과정을 비디오로 녹화한 자료와 작성한 보고서를 바탕으로 불확실도 개념을 명확히 드러낼 수 있도록 예비교사들의 보고서 응답에 반문하는 형식으로 추가 질문을 하여 2차 보고서를 작성하도록 하였다. 이후 특별한 반응을 보이거나 보고서에 명확하게 자신의 생각을 표현하지 않은 응답자를 대상으로 면담을 실시하였다. 연구에서 응답자들은 과제를 공동으로 수행하였으나, 질문지에 대한 답이나 면담은 개별적으로 이루어졌다.

한국표준과학연구원(1998)은 불확실도를 표현하는 것과 관련된 규정을 제정하였으나, 국내에서는 이와

표 1
질문지법과 면담에 사용된 질문의 예

	주요 질문 문항
1차	- 진자의 주기에 영향을 미치는 요인은 무엇인가?
	- 측정된 중력가속도는 어느 범위에 있다고 추정할 수 있는가?
	- 다른 조에서 측정된 중력가속도와 비교할 때 자신이 측정된 중력가속도는 어떠한가? 기타 등등
2차	- 각각의 변인(길이, 질량, 각도 등)은 중력가속도 측정에 영향을 준다고 판단되는가?
	- 실험실의 중력가속도는 결론적으로 얼마라고 할 수 있는가?
	- 주기를 정확히 측정하는 것과 길이를 정확히 측정하는 것 중 어느 것이 실험결과에 더 큰 영향을 주는가?
	- 초시계의 최소눈금은 0.01 초이다. 사람의 반응시간은 0.02 초이다. 그러면 이를 어떻게 처리해야 하는가?
	- 중력가속도 값을 구하기 위해 모든 값을 평균 내는 것이 옳은가? 기타 등등

관련된 교육목표가 체계적으로 제시되고 있지 않다. 그러나 미국의 경우에 과학적 소양을 위한 기준(Benchmarks For Science Literacy)에서는 측정 불확실도의 의미에 대해 강조하고 학년별 교육목표와 내용을 제시하고 있다(AAAS, 1993). 이재봉(2006)은 여러 연구를 바탕으로 불확실도에 대한 내용범주를 대표값의 표현, 정밀과 정확, 오차의 분석, 불확실도의 전파, 실험결과의 평가로 나누었다. 본 연구에서는 이 분석들을 이용하여 예비교사들이 응답한 자료를 각 내용 요소별로 불확실도 개념을 분석 정리하였다.

III. 연구결과

1. 대표값의 표현

정확한 물리량을 구하는 실험에서 반복 측정하여 얻는 결과를 분석하거나, 일정한 영역을 가지고 분포하고 있는 측정 자료를 하나의 대표값으로 표현하는 것이 중요하다. 대표값으로는 평균값, 중앙값, 최빈값 등이 있다. 하지만 가장 일반적으로 사용되는 것은 평균값이다. 측정 결과를 대표값으로 표현하는 것에 관한 예비교사들의 개념을 알아보기 위해 측정한 중력가속도를 어떻게 표현하는지를 분석하였다. 예비교사들은 진자의 길이나 질량, 진자를 놓는 각도 등을 변화시켜가면서 실험을 실시하였으며, 중력가속도를 하

나의 대표값으로 나타내었다. 예비교사들의 반응을 분석한 결과는 표 2와 같다. 표 2는 중력가속도를 제시하기 위해서 여러 번 측정한 자료를 어떻게 처리하고 표현하는가를 보여준다.

표 2
대표값 표현에 대한 예비교사들의 반응

(단위: 명)	
중력가속도 값에 대한 자료제시 유형	빈도수(%)
모든 변인에 대해서 각각의 값을 제시하는 유형(a)	4 (15%)
여러 변인 중에 하나의 변인에 대해 선택하는 유형(b)	1 (4%)
모든 변인에 대해서 범위 제시하는 유형(c)	2 (7%)
모든 변인에 대해서 평균 제시하는 유형(d)	11 (41%)
가장 신뢰할 수 있는 값들을 선택하여 평균을 내는 유형(e)	3 (11%)
정확한 조건을 찾은 후 반복 측정하여 평균을 내는 유형(f)	3 (11%)
기타	3 (11%)
합계	27(100%)

표 2에서 모든 변인에 대해서 각각의 값을 제시하는 유형(a)은 하나의 값을 제시하지 않고, 각각 변인에 대해서 값을 제시하는 경우이다. 그리고 여러 변인 중에 하나의 변인을 선택하는 유형(b)은 변인을 변경하며 실험을 했을 때 가장 참값이라고 생각하는 값과 가까운 하나의 값을 선택하는 유형이다. 이러한 두 가지 유형의 예비교사들은 Allie 등(1998)의 연구와 비교하면 각각의 측정값에 의미를 두는 점추론(point reasoning)을 하는 경우이다. 모든 변인에 대해서 범위를 제시하는 유형(c)은 $8.8 \sim 10.9 \text{ m/s}^2$ 과 같이 측정한 중력가속도가 변하는 범위를 제시하는 경우이다. 다음으로 모든 변인에 대해서 평균 제시하는 유형(d)은 변인에 따라 값이 변하는데 이 값 전체를 평균을 내는 유형으로 측정한 모든 자료를 평균 내는 경우이다. 가장 신뢰할 수 있는 값들을 선택하여 평균을 계산하는 유형(e)은 평균을 내는데 모든 값을 내지 않고 특정한 조건에 맞는 값을 취사선택하여 평균을 내지만 유형 (d)과 같이 변인의 효과를 무시하고 있다. 이와 달리 유형 (f)의 경우는 유형 (e)과 달리 항상 같은 조건에서 여러 번 측정한 결과를 평균내야 함을 알고, 이미 측정한 결과를 바탕으로 가장 좋은 조건을 찾은 후 같은 조건에서 반복 측정하여 평균을 내는 경우이다.

유형(a)에서 유형(f)으로 갈수록 보다 과학적인 답변을 하고 있다고 할 수 있다. 그러나 표2에서 알 수

있듯이 과학적인 개념을 가지고 있는 경우는 3명(11%)으로 매우 낮다. 다시 말해 어떤 값을 평균을 내어야 할지에 대해서는 잘 알지 못하거나 의미 없는 값을 가지고 평균을 계산하는 경우가 많다.

응답자들의 평균에 대한 인식을 보다 구체적으로 알아보기 위해 ‘중력가속도 값을 구하기 위해 모든 값을 평균을 내는 것이 옳은가?’ 라는 추가질문을 실시하였다. 표 2의 6가지 유형의 예비교사들에게 각각 같은 질문을 하였을 때, 표 3과 같은 결과를 얻을 수 있었다. 표3에서 행은 면담결과에 따라 예비교사들이 가진 생각을 유형화한 것이고, 열은 보고서에 실제로 제시한 것을 유형화한 것이다. 표 3에서 보듯이 자신이 보고서에 제시한 것과 평균에 대해 예비교사들이 가진 생각과는 차이가 있다.

표 3
대표값 표현에 대한 예비교사들의 생각과 행동의 유형분포

(단위: 명)

행동 \ 생각 유형	유형 (a)	유형 (b)	유형 (c)	유형 (d)	유형 (e)	유형 (f)	합계
유형(a)							0
유형(b)	2	1					3
유형(c)							0
유형(d)			1	5	1		7
유형(e)	1		1	4	2		8
유형(f)	1			2		3	6
합 계	4	1	2	11	3	4	27

구체적으로 살펴보면 모든 변인에 대해서 각각의 값을 제시한 유형(a)의 예비교사들은 모두 자신이 행한 것과 다른 반응을 보였다. 또한 모든 변인에 대해서 단순한 평균을 제시한 예비교사들도 유형(e)나 유형(f)과 같은 생각을 하고 있음을 알 수 있다. 표에서 보듯이 전체적으로 살펴볼 때, 반응이 행동보다는 생각에서 과학적인 답으로 이동하는 것을 볼 수 있다. 예비교사들은 많은 경우에 자신이 지니는 과학적 개념보다 실제로 자료를 처리할 때 더 미숙한 것으로 판단된다.

위의 표 3의 여러 가지 유형들 중에서 모든 변인에 대해서 평균값을 제시하는 것이 좋다고 생각하는 응답자들이 그렇게 답한 이유를 다음과 같이 진술하였다.

[예비교사 A] 그렇다. 한 데이터만 가지고 이것이 중력가속도라고 하는 것은 일반화의 오류를 범하기 쉽기 때문이다.

[예비교사 B] 모든 값들의 평균을 계산하는 것은 중력가속도

는 어떤 상황이든 일정하리라는 가정 하에 이루어지는 일이다. 이 가정이 옳다면 실험적인 오차가 있기는 해도 어떤 값은 무시하고, 어떤 값만 옳다고 받아들이는 것은 그르다고 생각되기 때문이다. 따라서 실제의 중력가속도가 있는 위치를 확인하기 위해서 되도록 많은 자료(data)를 토대로 확률적으로 어느 정도에 위치에 있는지를 확인하는 것이 옳다고 생각한다.

[예비교사 C] 평균을 구한다는 것이 유의미하기 위해서는 기본적으로 실험한 결과로서의 데이터가 많아야 한다. 따라서 2~3회 측정된 결과를 평균으로 계산한 값을 내놓으면 실제의 값과 오차가 발생할 확률이 높다. 반대로 수많은 데이터에 대한 평균을 계산하면, 중간에 몇 개의 오류들이 생길지라도 참값에는 큰 영향을 미치지 못한다.

위 예비교사들은 모두 평균을 계산하는 것이 옳아도 인한 측정값의 불확실도를 감소시켜 주고, 따라서 가능한 많이 자료를 모으는 것이 좋다는 것을 알고 있다. 그러나 변인을 바꾸어 주며 얻는 자료를 평균을 내는 것이 물리적으로 의미가 없다는 것을 인식하지 못하고 있다. 예를 들어 길이를 변화시켜주면서 측정 한 것과 질량을 변화시켜주면서 측정한 자료는 서로 평균을 내어서는 안 된다. 평균은 변인의 변화에 따른 변동을 상쇄시키는 것이 아니라 측정의 불확실도에 따른 변동을 제거시켜 준다.

가장 과학적인 답변을 한 유형(f)의 결론을 도출하는 과정을 보면, 변인을 변화시켜주는 실험을 통해 주기의 측정에 영향을 미치는 요인을 파악하고, 가장 적절한 조건을 찾은 후 이 조건에서 여러 번 반복 측정하여 결과를 제시하고 있다.

[예비교사] 그렇지 않다. 3번의 각 실험에서 목적으로 한 것은 질량, 실의 길이, 진자의 놓는 위치에 따른 중력가속도의 값의 변화였다. 실험보고서에서 언급하였듯이, 진자의 주기 공식은 $T = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}$ 이고 여기서 중력가속도 $g = \frac{4\pi^2l}{T^2}$ 을 구해낼 수 있다. 여기서의 가정은 θ 가 매우 작다는 것이다. 그리고 실험에서 추의 질량에 따른 주기 값의 변화가 거의 없었다. 이를 근거로 공기와 마찰을 무시하고, 적절한 질량(실험에 사용한 것과 같이 약 300g 정도)의 진자를 θ 가 작은 범위에서 반복하여 실험하여 그 평균값을 중력가속도로 사용하는 것이 가장 적절했었다.

이러한 유형 (f)의 경우 표3에서 보면 이 유형의 예비교사들은 모두 자신의 생각과 행동이 일치하는 것을 볼 수 있다.

평균과 더불어 여러 번 반복 측정하고 대표값을 표현할 때, 측정된 값의 정밀도를 나타내는 것이 유효수

자이다. 유효숫자는 측정값을 표시하는 데 중요한 역할을 한다. 보통 유효숫자는 ‘측정값을 표시하는 데에 필요한 숫자로 믿을 수 있는 자릿수의 숫자’로 정의한다. 따라서 유효숫자와 오차는 서로 밀접한 관련이 있다.

표 4는 예비교사들이 중력가속도를 측정하고 보고서에 제시한 유효숫자에 관한 표현을 정리한 것이다.

표 4 유효숫자의 표현에 대한 예비교사들의 반응 (단위: 명)

유효숫자의 표현	물리적 의미 고려 여부	빈도수(%)
유효숫자 2~3 개로 표현 예) 9.76 m/s^2	○	3 (11%)
	×	4 (15%)
유효숫자 5개 이상으로 표현 예) 9.7645829 m/s^2	×	20 (74%)
합 계		27(100%)

표에서 보면 응답자의 74%가 유효숫자를 5개 이상으로 표현하였다. 현대의 고급실험장치로도 이렇게 정밀하게 측정할 수 없다. 유효숫자를 2~3개로 표현한 예비교사 중에서도 유효숫자의 물리적 의미를 고려하여 표현한 경우는 3명에 그쳤으며 많은 경우 임의로 개수를 정하였다. 유효숫자를 5개 이상으로 표현한 일부의 예비교사는 유효숫자의 개수가 많을수록 정확하게 적는 것이라고 응답하였다.

[예비교사] 중력가속도는 여러 번 측정해서 평균을 낸 것이니까, 실험결과를 가장 정확하게 표현하기 위해서는 계산해서 얻는 값을 모두 적어주어야 한다. 적게 적는 것은 근사적으로 나타낼 때 사용한다.

2. 정밀과 정확

실험 자료가 얼마나 정밀(Precision)한가, 정확(Accuracy)한가? 하는 것은 과학자들이 자신의 이론을 주장할 때 매우 중요한 역할을 한다. 학생들 또한 이를 구별하여 표현하고, 실험의 정밀성과 정확성을 높일 수 있는 방안을 찾는 활동은 매우 중요하다. 정밀과 정확에 대한 개념을 알아보기 위해 실험과정에서 사용하는 용어나 보고서에 제시된 진술, 그리고 면담을 통해 얻은 자료를 분석하였다.

연구결과 첫째, 예비교사들은 정밀과 정확의 개념을 혼동하여 예비교사들마다 다르게 사용하고 있었다. 실제의 탐구 과정에서 어떻게 하면 자료가 하나의 값에 모이게 할 수 있는지(정밀)와 어떻게 하면 참값과 비슷하게 측정할 수 있는지(정확)를 구분하여 실험을

실제하고 수행해야 한다. 다음은 다른 조와 비교하여 자신의 탐구활동 결과에 대해서 어떻게 개선해야 되는지 질문하였을 때 답변들이다.

[예비교사 A] 만약 표준편차가 주어진다면 표준편차가 더 작은 쪽이 더 정확하다고 하겠다. 알려진 중력가속도로 비교해보면 다른 조의 실험결과가 좀 더 정확하게 측정되었다고 볼 수 있다.

[예비교사 B] 우리 조의 실험과 비교했을 때 상대적으로 크게 측정된 값으로 생각된다. 그러나 어떤 값이 더 정확한 값이라고는 판단할 수 없다. 조별 데이터의 표준편차를 알면 표준편차가 작은 값이 정확한 값일 가능성이 높다고는 말할 수 있을 뿐이다. 문헌값 9.81과 비교해 보면, 우리 조의 값이 더 정확한 값으로 판단된다.

두 경우 모두 표준편차가 작은 것이 더 정확한 실험이라고 하였다. 그러나 이것은 정밀한 것과 관련이 있다. 정밀한가, 덜 정밀한가를 구분하는 것은 자료의 퍼짐(spread)과 관련이 있다. 일반적으로 표준편차는 평균값에서 벗어난 정도를 나타내므로 정밀한 것을 표현하는 도구로 사용된다. 정밀한 측정을 위해서는 눈금의 단위가 작은 것을 사용하고 측정 횟수를 늘려주는 것이 좋다. 다음의 경우에도 정확한 측정을 정밀한 측정이라고 생각하는 예이다.

[예비교사] 대개의 실험을 10°에서 하였으나 실제의 경우 정밀한 측정을 위해서는 보다 작은 각도로 측정을 하여야 할 것이다.

진자의 주기 실험에서 각도를 작게 해주는 것은 각도가 크면 중력가속도를 예측하는 식이 달라지기 때문이다. 따라서 각도를 크게 하면 정확한 실험을 하기 어려울 것이다. 하지만 변인을 잘 통제한다면 각도가 큰 구간에서도 측정된 값이 특정한 값에 수렴하는 정밀한 실험은 할 수 있다.

둘째, 예비교사들은 대부분의 경우 정밀한 실험을 하려고 하기보다 정확한 실험을 하려고 한다. 과학적으로 정밀과 정확 모두 실험 자료가 갖추어야 할 중요한 요소이다. 예를 들어 측정된 자료가 특정한 값에 수렴하지 않는다면, 그 자료는 신뢰하기 어려운 결론을 도출하기 어렵다. 다음 표 5는 보고서를 보고 예비교사들이 실험에 있어서 정확한 값을 가지는 것에 관심을 기울이는지 아니면 정밀한 측정하는 데 관심을 기울이는지를 분석한 것이다. 예비교사들이 결과를 분석하는 데 있어서 많은 경우에 정밀한 실험과 정확한 실험을 혼동하여 사용하기 때문에, 보고서를 바탕으로 예비교사들이 특정한 하나의 값에 수렴하는데 집중하는지, 아니면 알려진 값에 가까이 가도록 하는

표 5
예비교사들의 실험방법에 대한 지향점

(단위: 명)	
응답군	빈도수(%)
정확한 값을 가지는 것에 집중	15 (56%)
정밀한 값을 가지는 것에 집중	3 (11%)
정밀과 정확에 집중	6 (22%)
판단 불가	3 (11%)
합계	27(100%)

데 집중하는지에 따라 연구자가 판단하여 분류하였다. 연구결과를 보면 연구에 참여한 대부분의 예비교사들이 정밀한 실험을 하려고 노력하지 않았다.

표 5에서 보듯 56%가 중력가속도 값이 알려진 값에 가까이 가는 것에만 집중하였으며, 측정된 값이 얼마나 특정 값 주위에 분포하는지에 대해서는 관심을 기울이지 않았다. 즉 예비교사들은 어떻게 해서든지 문헌값에 맞추려고 하고, 측정된 값에 모이게 하는 것과 관련 있는 정밀한 실험을 하려고 노력하지 않았다.

셋째, 컴퓨터나 디지털기기를 사용하면 항상 정확한 실험을 할 수 있다고 생각한다. 디지털 기기는 상황에 따라서는 정밀한 실험과 정확한 실험을 가능하게 한다. 하지만 항상 좋은 결과를 나타내는 것은 아니다. 하지만 예비교사들은 대부분의 원인을 사람에 기인한 오차라고 생각한다.

[예비교사] 왜냐하면 우리가 실험을 한 방법은 컴퓨터로써 정확하게 측정된 실험이 아닌 사람의 자각으로 한 것이므로 여러 번 실험을 하여 한 번의 주기를 예측해 보았고, 이것 또한 오차를 초래할 수 있다는 생각에 평균을 내었기 때문에 오차를 줄일 수 있다고 본다.

위의 응답을 보면 기계가 측정하는 것은 사람이 측정하는 것보다 항상 정확하고 신뢰롭다고 생각하고 있다. 오차의 대부분이 사람의 부정확함에서 온다고 생각하고 있다. 하지만 이것은 잘못된 것이다. 사람이 주는 오차는 대부분 반응 속도에서 오는 오차인데 이것은 반복 측정을 통해서 어느 정도 제거해 줄 수 있다.

또한 많은 경우에 디지털 실험의 예로 캠코더를 이용한 실험을 들고 있었다. 이것은 이전에 비디오카메라를 이용한 실험을 해 보았기 때문으로 판단된다. 그러나 비디오카메라의 경우 최대 1/30초당 한 번 측정하기 때문에 1/30초의 불확실도가 있으며, 물체가 여러 컷에 나누어져 찍히기 때문에 거리의 측정에서도 많은 불확실도가 존재한다. 본 연구에서 사용된 초시계는 1/100초의 정밀도를 가지고 있으며, 여기에 사람

의 측정에서 오는 불확실도를 합성하면 전체 불확실도를 구할 수 있다. 따라서 어느 것이 더 정밀한 실험을 수행할 수 있는지는 판단하기 어렵다. 그러나 대부분의 경우 예비교사들은 이러한 분석 없이 디지털기가 오차를 줄여 줄 것이라고 생각하고 있었다. 이러한 문제를 해결하기 위해서는 예비교사나 학생들에게 측정기기가 주는 불확실도를 분석해 보는 활동을 해 보도록 하는 것이 필요하다고 생각한다.

3. 오차의 분석

오차는 발생하는 원인에 따라 크게 우연 오차와 계통 오차로 구분할 수 있다. 모든 실험에서 우연 오차와 계통 오차를 구별하여 표현할 필요는 없지만, 상황에 따라 오차를 제거하는 방법이 다르기 때문에 각각의 오차를 제거하는 방법을 알아야 한다. 다음은 한 예비교사가 제시한 오차의 처리방법이다.

주기를 측정하는 데 있어서 실험자에 의한 우연 오차를 줄이기 위해 10번 진동하는 데에 걸리는 시간을 측정하여 이를 10으로 나눈 값을 취하였다. 이는 주기의 우연 오차가 1초라고 한다면 10번 측정하여 1초의 차이가 난 것이므로 한 번 진동하는 것에 대한 주기는 0.1초의 오차가 생기는 것이라고 할 수 있다. 횟수를 더 늘리면 우연 오차를 더욱 줄일 수 있다고 생각할 수 있겠지만 실제로 실험을 하면 공기의 저항과 실험의 계통적 오차로 인해 진폭이 조금씩 작아지게 된다. 따라서 변인 통제를 위해 10회가 적당하다고 판단하여 10번 왕복하는 데 걸리는 시간을 측정하여 주기를 얻는 데이터로 활용했다.

위의 경우 우연 오차와 계통 오차를 적절히 구분하여 사용하고 있다. 우연 오차는 반복된 측정을 통하여 제거할 수 있지만 계통 오차는 그 원인을 밝혀 교정해 주어야 한다. 그러나 많은 예비교사들이나 학생들은 실험과정에서 오차를 구별하지 못하거나 의미를 모르고 있는 것으로 판단된다. 예비교사들이 오차를 어떻게 구분하고 이를 어떻게 처리하는지에 대한 개념을 다음과 같은 질문을 통해 알아보았다.

[연구자] 초시계의 최소눈금은 0.01 초이다. 사람의 반응시간은 0.02초 이다. 그러면 이를 어떻게 처리해야 하는가?

위 질문에서 최소눈금 0.01초는 기기의 오차(계통 오차)와 관련이 있고, 사람의 반응시간 0.02초는 우연 오차에 해당한다. 우연 오차의 경우 여러 번 측정을 하면 제거할 수 있다.

표 6에서 보듯이 과학적인 응답비율이 상당히 낮다. 우선 계통 오차처럼 측정값에서 일정한 비율만큼의 값을 더하거나 빼주어야 한다고 응답한 예비교사가

표 6 계통 오차와 우연 오차의 구분에 대한 예비교사들의 반응

(단위: 명)	
응답군	빈도수(%)
모든 측정값에서 0.02초를 뺀	4 (15%)
전체 걸린 시간에서 0.02초를 뺀	4 (15%)
측정값에 0.02 초를 더함	1 (4%)
시작과 끝에서 상쇄됨	4 (15%)
여러 번 반복 측정으로 상쇄됨*	1 (4%)
초기계가 아닌 다른 디지털기기 사용해야 함	2 (7%)
모르겠다.	5 (18%)
기타	6 (22%)
합 계	27(100%)

* 과학적인 응답

9명(34%)나 되었다. 이 중에서 하나의 응답을 살펴보면 다음과 같다.

[예비교사] 정확히 사람의 반응시간이 0.02초이라는 것이 확실하다면 스탑워치의 눈금을 0.03이라고 읽어야 할 것이다. 스탑워치의 눈금이 만약 0.02를 무시할 수 있을 만큼 큰 시간을 잴 것이라면 별 상관이 없겠지만 이처럼 크게 영향을 줄 수 있는 수치라면 반응시간을 고려해야 할 것이다.

위의 경우 0.02초가 진자의 한 주기(대략 1~2초)에 비해 무시할 만큼 작은 수치가 아니기 때문에 이것을 고려해 주어야 한다고 하고 있다. 그러나 과학적인 오차처리방법에 의하면 우연 오차의 경우 여러 번의 반복 측정에 의해서 무시될 수 있다. 스탑워치의 눈금에 더하거나 빼서 읽을 때는 실험에서 계통적인 원인이 발생했을 경우이다. 예를 들면 시계가 항상 조금씩 늦게 측정될 경우이다.

0.02초를 무시해도 좋다는 의견 중에 처음과 끝에서 각각 다른 방향으로 오차가 발생하기 때문에 이를 무시할 수 있다고 생각한 예비교사들도 많이 있었다. 이것은 우연 오차를 다루는 것과 계통 오차를 다루는 것을 잘 모르기 때문이다. 사람의 반응시간이 0.02초라는 것은 측정을 시작할 때 또는 마칠 때, 언제나 발생할 수 있고 방향성을 알 수 없다. 하지만 일부 예비교사의 경우 이러한 오차가 항상 일정한 방향성을 가지고 있다고 생각하고 있었다.

기타의 의견으로 초시계가 아닌 다른 디지털기기를 사용해야 한다고 답을 하거나 어떻게 자료를 처리할지 모르겠다고 답하는 경우가 있었다.

4. 불확실도의 전파

측정하는 물리량이 다른 물리량들을 측정하여 새롭게 유도되는 경우 불확실도의 전파에 관해서 이해해야 실험결과를 타당하게 표현할 수 있다. 실험보고서에 많은 예비교사들이 중력가속도 측정에 시간을 측정하는 것에 대한 오차 그리고 길이의 측정에서의 오차를 개별적으로 나열은 하지만 그것이 전체 중력가속도 측정에 어떻게 영향을 미치는지에 대해서는 고려하지 않았다. 다시 말해 많은 경우에 오차의 원인에 대해 나열을 하지만 그 오차가 실험결과에 얼마나 영향을 미치는지에 대해서는 분석하지 않는다. 다음은 이러한 시도를 한 예비교사의 보고서의 일부이다.

[예비교사] ... 눈으로 보든 속으로 횡수를 셈하든 뇌에서 내리는 명령이 실제 손으로 와서 손이 버튼을 누르기까지의 시간 간격이 오차를 발생하게 한다. 실제로 주기가 1% 변화할 경우 중력가속도는 2% 정도의 차이를 보이는 것을 알 수 있다. 우리는 진자의 운동 횡수를 30회로 정하여 주기를 구했는데 1%는 보통 0.4~0.5초이다. 우리가 실험을 통해 구한 중력가속도가 이른값인 9.81%와 보통 2% 정도의 오차를 보이는 것을 생각하면 우리의 실험값은 꽤 의미 있는 결과를 나타낸다고 볼 수 있다.

위의 경우 주기측정이 얼마나 가속도 측정에 영향을 미치는지 파악하고 이를 통해 실험이 얼마나 잘 이루어졌는지를 판단하고 있다.

그러나 대부분의 경우 예비교사들에게 ‘주기를 정확히 측정하는 것과 길이를 정확히 측정하는 것 중 어느 것이 더 큰 영향을 주는가?’ 라는 질문을 하였을 때, 올바른 응답을 하지 못했다. 많은 경우에 다음과 같이 응답하였다.

[예비교사] 주기를 정확하게 측정하는 것이 길이를 정확히 측정하는 것보다 실험값에 큰 영향을 준다. 길이는 중력가속도의 값을 구하는데 L이라고 한다면(즉 1승에 비례) 주기는 제곱에 영향(L²)을 주므로 길이보다는 더욱 큰 영향을 준다고 할 수 있다.

그러나 불확실도의 전파를 고려할 때는 유도되는 식과 더불어 상대적인 불확실도를 고려해야 한다. 예를 들어 주기를 1.00 초를 측정할 때 오차가 0.01 초 일 경우, 1%의 오차가 있고, 길이도 50cm를 측정하는데 0.1cm의 오차가 있다면 0.2%의 오차가 있다. 이러한 것을 함께 고려해 주어야 불확실도를 구할 수 있다. 하지만 예비교사들의 경우 이러한 기능을 익히는데 소홀했기 때문에 어려움을 가지고 있다.

5. 실험결과와 평가

불확실도와 관련한 중요한 내용 중 다른 하나는 실험결과를 평가하는 것이다. 예비교사들이 자신이 측정 한 자료와 다른 사람이 측정한 자료를 불확실도 개념을 이용해서 어떻게 비교하는지 알아보기 위해 다음과 같은 질문을 하고 반응을 알아보았다.

[연구자] 다른 조에서 측정한 중력가속도 값이 9.98 m/s^2 이었다. 자신의 실험결과와 비교하여 이 값은 어떻다고 판단할 수 있는가? 실험실의 실제 중력가속도 값은 얼마일까?

표 7

예비교사들의 실험결과와 평가 방법

(단위: 명)	
응답군	빈도수(%)
단순한 크기의 비교	9 (33%)
문헌값과 비교	6 (22%)
불확실도를 고려한 비교	5 (19%)
본인이 실험을 정확하게 했고, 판단불가능하다.	3 (11%)
기타	4 (15%)
합 계	27(100%)

예비교사들의 반응을 분석한 결과 표 7과 같은 결과를 얻었다. 표에서 보면 알 수 있듯이 자신의 실험결과를 다른 조의 실험결과 또는 문헌값과 단순히 크기를 비교하여 어느 값이 어느 값보다 크다 또는 작다고 하는 경우가 많았다. 이러한 생각은 실험결과가 나름대로의 오차나 불확실도를 포함하고 있다는 생각을 하지 못하기 때문이다. 불확실도를 고려한 비교는 두 측정값이 가지는 불확실도를 고려하여 두 값이 값은 측정결과인지 아니면 다른 결과인지를 판단한 것을 의미한다. 이것이 가장 과학적인 응답이라고 할 수 있지만, 이러한 예비교사는 5명에 그쳤다. 이번 연구에 참여한 예비교사들은 3학년으로 여러 번의 실험과목을 수강하면서 학기 초에 오차론에 대해서 학습하였지만 그 의미를 이해하고 있지 못한 것으로 보인다.

실험결과와 불확실도에 대해 이해하고 이를 이용하여 실험결과를 비교한 예비교사의 응답은 다음과 같다.

[예비교사] 우리 조는 문헌값보다 0.2m/s^2 정도 작은 중력가속도를 얻을 수 있었는데 다른 조는 오히려 문헌값보다 0.2m/s^2 정도 더 큰 중력가속도를 얻었다. 우리 조의 실험에서 측정시 별다른 문제점을 발견할 수 없고, 또 측정된 값으로 신뢰구간을 따져도 95%의 범위 내에서 0.05m/s^2 정도로 다른 조의 측정값은 신뢰구간 안에 들어오지 않는다. 우리 조가 측정한 중력가속도가 방법적으로 별다른 문제

점이 없다면 우리가 측정 한 값을 0.05m/s^2 정도의 정확성으로 신뢰할 수 있다.[이하생략]

어떠한 측정값도 하나의 정해진 값으로 주어질 수 없다. 측정값에는 불확실도가 포함되어 있고, 이 불확실도를 줄일수록 신뢰로운 실험이다. 두 값을 비교할 때도 단순한 값을 비교하지 말고 통계적인 사고를 하는 것이 바람직하다. 하지만 표 7에서 알 수 있듯이 많은 예비교사들이 단순한 크기를 비교하거나 문헌값을 비교하는 경우가 많았다.

IV. 요약 및 결론

물리 탐구 활동에서 측정은 가장 기본적이고 중요한 활동이다. 하지만 측정활동에서는 단순히 기기를 다루거나 눈금을 읽는 능력뿐만 아니라 측정값이 가지는 의미를 이해하는 것이 중요하다. 이러한 면에서 측정값의 불확실도에 대해서 이해하는 것이 필요하다. 본 연구에서는 예비교사를 대상으로 실제 물리 탐구 활동을 수행하게 하면서 이 과정에서 드러나는 불확실도 개념을 정리하였다.

연구결과에 의하면 여러 번 측정 한 자료를 하나의 대표값으로 표현할 때, 예비교사들은 과학적인 개념과는 다른 유형의 개념을 많이 가지고 있었다. 그래서 대부분의 경우 평균과 표준편차 등으로 대표값을 표현하지만 어떤 값을 평균을 내어야 할지에 대해서는 잘 알지 못하거나 의미 없는 값을 가지고 평균을 계산하는 경우가 많았다. 변인을 변화시켜 준 실험결과를 서로 평균 내는 것이 여기에 해당한다. 그러나 예비교사들을 면담한 결과 많은 예비교사들이 실제 보고서에 표현한 것보다 더 과학적인 개념을 가지고 있으나 실제로 자료를 표현하거나 분석하는 것에서 미숙하였다. 유효숫자를 표현할 때도 물리적인 의미를 고려하여 바르게 표현하는 비율은 극히 낮았다. 또한 정밀과 정확의 개념을 혼동하여 사용하고, 정밀한 실험을 하기보다는 문헌값에 가까운 값을 찾는 경향을 보였다.

오차분석에 있어서는 오차가 발생하는 원인에 따라 우연오차와 계통오차를 구분하여 사용하지 못했으며, 오차를 제거하는 방법에서도 두 경우를 혼돈하여 사용하고 있었다. 그리고 대부분의 경우 오차의 원인을 나열하지만 그 오차가 실험결과에 얼마나 영향을 주는 지에 관해서 고려하지 않았다. 실험결과를 평가할 때도 실험에서 측정한 결과가 하나의 고정된 값이 아니라 일정한 불확실도를 포함하고 있는 값이라는 개념을 가지고 않았다.

학교현장에서 수행되는 많은 실험들이 학생들에게 자료를 측정하는 것만을 강조하고 있고, 측정된 자료의 질에 대해서는 크게 고려하지 않고 있다. 그러나 탐구활동을 증진시키고 탐구를 통해 올바른 결론을 도출하도록 하기 위해서는 학생들에게 측정에서 얻은 자료는 일정한 영역을 가지고 분포하고 있다는 것을 주지시킬 필요가 있다. 또한 학생들에게 측정활동이 눈금을 읽어 기록하는 것 외에 측정된 자료의 분포를 고려할 때 비로소 완벽해 질 수 있다는 개념을 가르칠 필요가 있으나 학생들은 이러한 개념을 잘 모르고 있다. 여기에는 여러 가지 원인이 있을 수 있겠지만 하나의 원인은 교사들조차도 측정된 자료가 가지는 불확실도 개념을 제대로 알지 못하기 때문이다. 교사들이 이러한 개념에 대해서 미리 알고, 학생들을 지도할 때 올바른 불확실도 개념을 사용하여 측정된 자료를 평가하고, 분석하는 활동을 장려해야만 학생들이 올바른 사고를 할 수 있을 것이다. 따라서 앞으로 이러한 개념을 체계적으로 학습시키기 위한 교사와 학생들을 위한 교수학습자료가 개발되어야 하겠다.

국문 요약

본 연구의 목적은 예비교사를 대상으로 하여 측정 자료의 불확실도 개념을 조사하는 것이다. 연구의 대상은 서울시내 소재한 대학의 예비교사 27명이었다. 예비교사들에게 개방적인 탐구과제를 수행하게 하고 이것을 관찰 분석하는 방법을 사용하였다. 예비교사들의 개념을 조사하기 위해 2차례의 질문지를 제시하였으며, 일부에 대해서는 면담을 실시하였다. 응답한 자료를 분석하여 불확실도의 개념요소인 대표값의 표현, 정밀과 정확, 오차의 분석, 불확실도의 전파 등으로 나누어 예비교사들의 개념을 정리하였다. 연구결과에 의하면 예비교사들은 대표값의 표현에서 과학자들의 개념과 다른 개념을 가지고 있었으며, 정밀과 정확을 혼동하여 사용하고 정밀한 실험을 실시하는데 소홀하였다. 또한 오차를 나열할 뿐 그 원인이나 실험에 영향을 미치는 정도를 분석하는 경우는 거의 없었다. 이러한 연구결과는 예비교사와 학생들이 올바른 개념을 가지게 하기 위한 교육과정이나 교수 학습 자료 개발에 활용될 수 있을 것이다.

참고 문헌

- 서정아 (2002). 측정이론에 관한 중학교 1학년 학생의 선개념 조사. 한국과학교육학회지, 22(3), 455-465.
 이재봉 (2006). 측정 자료의 오차와 불확실도에 대

한 학생들의 이해. 새물리, 52(5), 436-446.

한국교육과정평가원 (2006). 과학과 교육과정 개정 (시안) 연구 개발 공청회 자료집. 서울: 한국교육과정평가원.

한국표준과학연구원 (1998). 측정불확도 표현지침. 대전: 한국표준과학연구원.

American Association for the Advancement of Science (1993). Benchmarks for science literacy. NY: Oxford University Press.

Allie, S., Buffler, A., Kaunda, L., Campbell, B., & Lubben, F. (1998). First year physics students' perceptions of the quality of experimental measurements. International Journal of Science Education, 20(4), 447-459.

Baird, D. C. (1995). Experimentation: an introduction to measurement theory and experiment design. Englewood Cliffs, NJ: PrenticeHall.

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.

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

Deardoff, D. L. (2002). Measurement uncertainty instructional resource, Online Available: <http://www.physics.unc.edu/~deardorf/uncertainty>.

Lippmann, R. F. (2003). Student's understanding of measurement and uncertainty in the physics laboratory: social Construction, underlying concepts, and quantitative analysis. Doctorial Paper University of Maryland Lord Kelvin.

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

National Research Council (1996). National science education standards. Washington, DC: National Academy Press.

National Research Council (2000). Inquiry and the national science education standards: A guide for teaching and learning. Washington, DC: National Academy Press.

Taylor, J. R. (1997). An introduction to error analysis: the study of uncertainties in physical measurements. Sausalito, California: University Science Books.