

# 측정이론에 관한 중학교 1학년 학생의 선개념 조사

서정아  
(동마중학교)

## Investigation on the Seventh Grade Student's Preconceptions about Measurement Theory

Suh, Jung-Ah  
(Dongma Junior High School)

### ABSTRACT

This study investigates students' preconceptions about measurement theory; repeating measurements, how to handle repeat measurements, measurement errors, and uncertainty. Thirty students in seventh grade participated in this study. Students' conceptions were elicited using observation and interview notes.

Half of the students measured only two times, and none of them more than five times. After repeating measurements, seventy seven percent of them selected result according to their feelings, while only thirteen percent of them calculated the mean. Sixty percent of them regarded the main cause of measurement errors as their mistakes, not as the problems of environment or measuring instrument. Most students thought the main reason of various results by different persons or time period as human. Forty percent of them denied the uncertainty of measurement, while thirty three agreed, and most students thought the reason of uncertainty was due to human imperfection.

This study showed more than half of the students did not know how to handle repeat measurements, and they regarded the cause of measurement errors as their mistakes. In addition, they thought the main reason of various measuring results and uncertainty as human.

**Key words:** measurement, measurement theory, repeating measurement, measurement errors, uncertainty

### I. 연구 동기 및 연구 목적

측정은 과학 이론의 생성 과정에서 이론의 반증이나 확증에 중요한 역할을 해왔다(PSSC, 1965). 특히

18, 19세기에는 과학 이론에 '정량화'가 도입되어 자연계의 여러 상수들을 만들어내고 이론을 발전시키는 것이 더욱 활발해 졌는데, 쿤(Kuhn, 1962)은 이를 '과학혁명'이라고까지 표현하였다. 과학자들은 측정

을 통하여 과학이론을 검증하고 발달시키면서 동시에 측정 자체에 대하여-측정이란 무엇인가, 측정은 어떻게 하는 것인가, 어떤 제약이 따르는가 그리고 그 까닭은 무엇인가 등-논의를 해 왔다(PSSC, 1965).

중등학교에서도 측정의 중요성을 인식하여 밀도, 속력, 위치 에너지와 같이 정량적인 개념을 다룰 때에 측정 과정이 포함된 실험을 하고 있다. 그런데 6차, 7차 과학교육과정에는 측정과 관련된 이론들-반복 측정, 반복 측정 후 결과 값의 처리, 오차의 원인, 측정의 불확실성 등-에 대한 내용이 거의 다루어지지 않고 있다. 즉 측정 과정이 포함된 실험은 자주 등장하지만 측정 자체에 대한 학습은 제대로 이루어지고 있지 않은 것이다. 이것은 여러 가지 문제점을 초래할 수 있다.

예를 들어 밀도 측정 실험의 경우 6차 교육과정 교과서에 제시된 철의 밀도가 7.9 (김시중 외, 1995; 정창희 외, 1995)인데, 학생들이 측정 과정에서 오차가 필연적으로 발생할 수밖에 없으며 여러 번 측정한 결과의 평균값이 참값에 근사해짐을 이해하지 못하고 단 한번 측정한 결과가 교과서와 동일해야 한다고 생각한다면 과학적으로 틀린 개념을 가진 것이라고 볼 수 있다. 과학의 과정을 가르치기 위하여 실험교육이 도입되었지만 그 실험교육은 오히려 과학의 과정에서 중요한 자료 수집에 관련된 학생의 선개념을 유발하는 결과를 가져올 수도 있다.

과학사를 살펴보면, 측정 결과를 기존의 권위적인 이론으로 설명하기 어려운 경우에 오히려 새로운 발견을 한 적이 있다. 예를 들어 갈릴레오는 망원경을 이용한 관측을 통하여 지동설을 증명하였고, 러더포드도  $\alpha$ 입자의 산란각을 측정하다가 기존 이론으로 설명하기 어려운 결과들을 발견하여 새로운 원자의 구조를 생각해 내었다. 즉 과학의 발전 과정에는 기존의 이론에 의하여 예상된 것과 다른 결과를 얻을 때, 의심을 품고 원인을 찾으며 새로운 사실을 발견하는 경우가 있다. 그러기 위해 측정을 하는 사람은 자신의 측정결과를 신뢰할 수 있어야 하는데, 이는 학생의 경우도 마찬가지이다.

측정의 결과를 신뢰하기 위해서는 반복 측정, 대표값 선정, 오차, 측정의 불확실성 등의 이론이 필요하

다(송인명 외, 1973; Lubben & Millar, 1996). 즉 측정의 불확실성으로 인하여 오차가 존재하며, 측정 과정에서 특별한 실수가 없는 한 수많은 반복 측정의 평균값은 참값에 근사해진다는 이론은 측정을 가능하게 하는 것이다.

그런데 만일 학생들이 이에 대하여 무지하다면 반복 측정의 필요성을 모르는 채 단 한번의 측정값으로 결론을 내리려 할 것이며 그 결론이 기대했던 것과 다를 경우 당황할 수 있을 것이다. 물론 중학교 수준에서 이와 같은 측정이론을 알고 있는 것이 모든 탐구 실험에 필요한 것은 아니나 몇 가지 중요한 정량적인 실험들이나 학생의 개인적인 탐구 과정에 필요하다.

본 연구는 이에 관련된 기초 연구로서 중학생들을 대상으로 반복 측정, 대표값 선정, 오차, 측정의 불확실성에 관련된 선개념을 조사하였다. 비록 수학과 교과서에 오차와 평균 등에 대한 내용이 다루어지고는 있으나(서정아, 2000), 실제 측정 과정과 함께 다루어지는 것이 아니며, 정작 실제 측정 활동이 이루어지는 과학과 교육과정에서는 거의 다루고 있지 못하다. 따라서 학생들은 측정 이론에 대하여 다양한 선개념을 가지고 있을 것으로 여겨진다. 본 연구의 목표를 항목화하면 다음과 같다.

첫째, 중학생들이 반복 측정에 대하여 가진 개념을 조사한다.

둘째, 중학생들이 반복 측정 후 대표값을 어떤 방법으로 선정하는지 조사한다.

셋째, 중학생들이 오차의 원인이라고 생각하는 것은 무엇인지 조사한다.

넷째, 중학생들이 측정의 불확실성에 대하여 어떤 개념을 가지고 있는지 조사한다.

## II. 이론적 배경

오늘날 과학자뿐만 아니라 일반인들은 일상 생활의 많은 부분에서 다른 사람이 수집한 실험적인 정보들에 의거하여 판단을 하는 경우가 많다(Baird, 1995). 이를 위해서 먼저 측정의 본성에 대한 지식을 알 필

요가 있으며, 그 중 특히 측정의 한계에 대하여 명확히 인식해야 한다(Baird, 1995). 예를 들어, TV프로그램에서 '어떤 약품의 효능이 검증되었다'라고 보도하였을 때, 그 결과가 어느 정도의 신뢰도를 가지는지 알아볼 필요가 있다. 만일 그 실험을 무조건 100% 신뢰하고 그 약품을 산다면 더 큰 어려움이 발생할 수 있다.

측정의 한계, 즉 '측정의 불확실성'은 측정 도구의 한계에서 비롯될 수도 있고 혹은 측정되고 있는 물리량에 기인할 수도 있다. 불확실성의 근원이 무엇이든간에 그것이 존재한다는 것을 알고 있어야 하며 측정값에 대하여 어느 정도의 확신을 가질 수 있는지를 인식해야만 한다(Baird, 1995). 이에 대하여 PSSC (1965)에서 다음과 같이 설명하고 있다.

"판단을 내린다는 것은 항상 가능한 것은 아니다. 이것이 측정의 한계, 다시 말해서 오차라 불리는 것의 시초이다. 책상의 길이를 측정할 때도 책상 끝의 틈자리가 너무 거칠어서 나무의 섬유와 어떤 것은 눈금을 넘고 어떤 것은 넘지 않는 수도 있을 수 있다. 미터의 눈금에는 얼마간의 폭이 있어서 지침(指針)이 눈금을 넘었는지 안 넘었는지를 확실히 말할 수 없을 때가 많다. 만약 눈금의 줄이 대단히 가늘다면 측정의 정밀도를 올릴 수 있어서 눈금의 어느 쪽에 지침이 있는가를 명확히 결정지을 수 있다. 그러나 실제로는 그렇지 못하므로, 눈금선 자체를 세분하지 않고서는 더 이상 진행시킬 수 없는 어떤 한도가 있다. 좀 더 정밀도를 높이면 분자의 불규칙한 운동, 즉 브라운 운동이 한계로서 나타난다....(중략)...브라운 운동은 어떤 측정에도 "잡음"을 일으키며 특히 민감하고 미묘한 측정에서는 그릇된 판단을 내리게 하는 위험성을 가지고 있다. (PSSC, 1965, 191~193쪽)."

측정 오차를 그 원인에 따라 분류하면, 도구의 문제점, 측정시의 환경, 근사식의 사용, 측정자의 버릇 등으로 인하여 생긴 계통오차와, 아무리 기능을 숙달하고 알려진 오류를 수정해도 피할 수 없는 우연오차, 또 측정자의 과실로 인한 과실오차가 있다(송인명 등, 1973). 우연오차만 존재한다고 할 때, 수많은 반복 측정을 통해 얻은 측정값은 정규분포의 형태를 띠는 것

이므로 측정값의 평균은 참값에 가까울 것이다(송인명 등, 1973).

6차, 7차 교육과정에 따른 과학 교과서는 측정의 불확실성이나 오차의 원인, 측정값의 처리에 대하여 다루고 있지 않다. 과학 교과서에서 질량, 밀도, 에너지, 전류 등 많은 정량적인 물리량을 측정하도록 요구하고 있지만 측정 결과를 어떻게 다루어야 하는지에 대하여 자세히 나오지 않았다. 그러므로 학생들이 측정은 할 수 있지만 측정값 처리를 할 줄 몰라서 자신의 측정값을 불신하거나 혹은 과신할 수 있다.

외국의 선행 연구들을 통하여 학생들이 측정값 처리과정에 대하여 선개념을 있음을 알 수 있다. 루벤과 밀러(Lubben & Millar, 1996)는 실험 자료의 신뢰도에 대한 학생의 개념을 조사하였다. 11세, 14세, 16세 학생 1000명을 대상으로 지필형 설문지를 이용하였다. 반복 측정을 하는 이유, 반복 측정시 자료의 결과를 처리하는 방법, 유의수준 등에 대한 학생의 개념이 조사되었다. 반복 측정의 이유에 대한 설문 결과, '반복 측정은 시간과 물자의 낭비이다' 등의 이유로 반대를 하는 학생들이 있었고, 반복 측정하는 이유로 '첫 번째 측정된 것을 확인하기 위해서'라고 대답한 학생들도 있었다. 전체적으로 반복 측정에 대한 비과학적인 설명유형은 저학년의 경우에 많았고 과학적인 설명은 고학년으로 갈수록 증가하였다. 반복 측정시 결과처리방법에 대하여 '마지막 값을 선택해야 한다'는 등의 비과학적인 설명을 하는 학생들도 많았으며, 최빈치를 선택하는 경우도 많았다. 그러나 전반적으로 평균값을 취해야 한다고 응답하는 학생수가 고학년으로 갈수록 증가하였다. 이 연구에 의하면 반복 측정이나 측정값 처리에 대하여 학생들이 다양한 선개념을 가지고 있음을 알 수 있다.

바렐라스(Varelas, 1997)는 반복 측정과 측정의 대표값에 대한 초등학교 3학년, 4학년 학생의 개념을 조사하였다. 그는 학생들의 개념이 과학자의 개념과 다르며 다양하게 존재함을 밝혔다. 대부분의 학생들은 반복 측정을 하면 다양한 측정값이 나온다고 생각하고 있었다. 어떤 학생들은 계통오차와 우연오차의 차이를 이해하고 있는 듯 하였으나 그 외 많은 학생들은 자신의 실수도 우연오차로 여겨 우연오차와 계통

오차의 구분을 하지 않았다. 또한 학생들은 측정값의 대표값을 어떻게 결정해야 하는지에 대하여 모르고 있었다.

초중등학생 뿐 아니라 대학생들도 측정에 대한 비 과학적인 개념을 가지고 있음을 밝힌 연구도 있다. 세르(Sere, 1993)는 대학 1학년생을 대상으로 측정에 대한 개념을 조사하였다. 연구 결과 학생들은 실험을 할 때 첫 번째 나온 측정값을 가장 중요하게 생각하며 반복 측정을 해야하는 필요성을 이해하고 있지 못하였다. 또한 우연오차와 계통오차를 구분하지 못하였다. 유의수준에 대하여 정확하게 이해하는 학생들도 거의 없었다. 일반적으로 학생들은 측정을 많이 하면 할수록 좋은 결과가 나온다고 생각은 하고 있으나 여기서 '좋은 결과'가 무엇을 의미하는지는 이해하지 못하는 것으로 밝혀졌다.

이상의 선행 연구들은 올바르게 측정을 하기 위하여 학생들이 측정 이론을 이해할 필요가 있음을 밝히고 있으며, 초중등학생과 대학생이 이에 대하여 과학자와는 다른 선개념을 가질 수 있음을 보여주었다. 그러나 이 결과들은 외국의 결과이기 때문에, 한국의 중학생들이 이와 같은 개념을 가지고 있다고 단정하기는 어렵다. 따라서 본 연구에서는 한국의 중학생을 대상으로 측정 이론에 대한 선개념을 조사하고자 하였다.

### Ⅲ. 연구대상과 시기 및 연구방법

#### 1. 연구 대상과 시기

중학교 1학년 학생 30명이 연구에 참여하였다. 서울에서 중간 수준의 사회·경제적 환경에 해당하는 지역의 학교에서 추첨을 통하여 한 학급을 지정하였다. 그 학교의 1학년 모든 학급이 실험을 한 횟수나 내용이 동일하였으며, 본 조사의 질문 내용 자체가 과학 교육과정에 없는 것이었기 때문에 학급의 성적 등은 고려하지 않고 무선 할당을 하였다. 본 연구는 1997년 2학기말, 중학교 1학년 과정을 거의 마친 다음에 수행되었다. 연구 대상 학생이 일년 동안에 한 실험 중 측정 과정이 포함된 것은 '질량 측정', '밀도 측정', '끓는점 측정', '어는점 측정', '고체의 용해도와

온도 관계', '힘의 크기 측정', '두 힘의 합성과 평형'이었다. 조사 시기는 6차 교육과정의 시행되던 시기였으나 현행 7차 교육과정 역시 6차와 마찬가지로 측정 이론에 대한 내용이 다루어지는 바가 거의 없다. 예를 들어 '나란하지 않은 방향으로 작용하는 두 힘의 합성' 실험의 경우 K 출판사의 6차, 7차 교과서의 내용이 거의 비슷하여, 반복 측정이나 측정의 오차에 대한 고려 없이 단 한 번의 측정을 통하여 평행 사변형법을 유도해 내도록 안내되어 있다.

#### 2. 연구 방법

반복 측정에 대한 학생의 개념을 알아보기 위하여 학생들에게 시간을 측정하는 과제를 제시하였다. 연구자는 학생들이 시간을 측정할 때 몇 번씩 반복 측정을 하는지 관찰하여 기록하였으며, 이 활동 후 반복 측정값 처리, 즉 대표값 선정에 대한 면담을 실시하였다. 그리고 이어서 오차의 원인과 측정의 불확실성에 대한 면담을 하였다. 한 학생 당 측정 및 면담에 소요된 시간은 대략 6분~10분이었다. 연구자는 이와 관련된 학생의 응답을 요약하여 응답지에 기록하였다. 연구자가 학생의 응답을 기록할 때 보조원이 옆에서 학생의 응답과 연구자의 요약을 비교하여 확인하였다. 따라서 본 연구는 학생의 행동에 대한 연구자의 관찰결과와 연구자가 요약하여 기록한 면담 응답지에 대한 분석을 통하여 이루어진 것이다.

Table 1은 연구자가 관찰하거나 면담할 때 학생들에게 질문한 목록이다.

시간을 측정하는 과제는 두 가지 부분으로 이루어졌다. 과제 1은 초시계를 작동하는 법을 미리 연습하기 위해 부수적으로 제시된 것이며 메트로놈의 추의 주기를 측정하는 과제 2가 본 연구에서 반복 측정의 횟수를 기록한 주과제이었다.

- 과제1 : 15초가 되는 순간 초시계의 버튼을 누르시오.
- 과제2 : 메트로놈의 추가 한번 왕복하는 시간을 측정하십시오.

**Table 1.** Items of observation and interviewed questions

Conceptions	Method	Contents
Repeating measurements	Observation	· Numbers of repeating measurements
How to handle repeat measurements	Interview	· What is the best representative of your data? · Tell me the reason why.
Measurement errors	Interview	· Your result is different from the true value. Why do you think so? · Your result is different from others. Why do you think so? · If you repeat it one week later, will the result be the same as now?
Uncertainty	Interview	· Do you think completely accurate measuring is possible? If possible, how can you do it?

**Table 2.** Number of repeating measurements

Number of repeating measurement	1	2	3	4	Total
Number of students(%)	5(17)	15(50)	7(23)	3(10)	30(100)

## IV. 연구 결과 및 토의

### 1. 반복 측정

연구자는 학생들이 메트로놈의 주기를 측정할 때 '만일 원한다면 여러 번 측정해도 된다' 라고 말하였다. Table 2 는 반복 측정의 횟수와 이에 해당하는 학생들의 수이다. Table 2를 보면 알 수 있듯이 30명의 학생 중 단 한 번만 측정한 학생은 5명(17%), 두 번 측정한 학생은 15명(50%), 세 번 측정한 학생은 7명(23%), 네 번을 측정한 학생은 3명(10%) 이었다. 다섯 번 이상 측정한 학생은 없었다.

반복 측정을 하지 않고 단 한번의 측정을 한 학생들에게 왜 안 하는지 물어보자 첫 번째 측정값을 믿기 때문에 다시 할 필요는 없다고 하였다. 이 5명의 학생들은 처음 측정했을 때 자신이 비교적 잘 하였다 고 느껴지자 측정을 다시 하지 않았던 것이다.

처음 측정 후 다시 한번 주기를 측정한 학생 15명(50%)에게 다시 측정하는 이유에 대하여 물어보자,

일부는 움직이는 추의 시간을 측정하는 것에 익숙하지 않아서 연습이 필요하기 때문이라고 하였다. 이 경우 학생들은 처음 측정에 신뢰를 갖지 않았기 때문에 다시 한 번 측정을 한 것인데 이는 과학자들이 생각하는 반복 측정의 이유와는 다른 것이다. 반복 측정의 이유에 대한 좀 더 구체적인 면담 결과는 반복 측정 후 대표값 선정에 대하여 면담을 하면서 이루어졌으며 다음 절에 제시하였다.

### 2. 반복 측정 후 대표값 선정

Table 3은 학생들이 측정한 값 중 어느 것을 대표값으로 선정하였는지를 보여주는 것이다. 단 한번만 측정한 학생들은 모두 단 한번의 측정 결과 값을 대표값으로 선정하였다. 나머지 학생들 중에서 6명(20%)은 처음 측정한 값을, 3명(10%)은 두 번째나 세 번째 측정값을 선택하였다. 11명(37%)의 학생은 마지막 값을 선택하였으며 4명(13%)의 학생만이 평균값을 선택하였다. 1명(3%)의 학생은 '몇 초에서

몇 초 사이에 있는 값일 것이다'라며 구간으로 응답하였다.

**Table 3.** Determining the best representative of data

Representative of data	Number of students(%)
Only one trial	5(17)
First trial	6(20)
2nd, 3rd trial	3(10)
Final trial	11(37)
Average	4(13)
Interval	1(3)
Total	30(100)

연구자는 학생들에게 측정한 값 중 왜 그 값을 대표값으로 선정하였는지 물어보았다. Table 4에 이에 대한 학생들의 설명 유형이 제시되어 있다.

여러 번 측정을 한 경우 그 측정값 중에서 특정한 값을 선택해야 한다고 응답한 학생은 30명 중 23명(77%)이었다. 이 사실은 반복 측정 후 평균값을 대표값으로 처리하는 방법이 측정 실험만 하면 자연스럽게 터득할 수 있는 것이 아니며 이에 대한 별도의 교육이 필요함을 보여주는 것이다. 학생들에게 왜 그

값을 선택하였는지 물어보았을 때 그 중 9명(30%)은 '그 때 정확하게 측정을 하였다'라고 응답하였고, 6명(20%)은 '나의 손이 측정도구를 정확하게 조작하였다'라고 하였으며, 3명(10%)은 '측정할 때 버튼을 정확하게 눌렀다'라고 하였다. 2명(7%)은 측정의 순서를 고려하여 '연습을 한 후 마지막에 측정한 값'이 바람직한 결과 값이라고 하였고 3명(10%)은 마지막에 부정확하였고 '차라리 처음 측정값이 정확한 값'이었다고 응답하였다. 즉 이 23명(77%)의 응답은 모두 비슷한 유형으로 볼 수 있는데, 이 학생들은 측정을 한 다음 가장 정확하게 측정을 했다고 주관적으로 느껴지는 값을 대표값으로 선택하였던 것이다.

30명 중 4명(13%)의 학생은 여러 번의 측정이 이루어졌을 때 그 평균값을 결과로 제시하여야 한다고 응답하였다. 그 학생들에게 이유를 물어보자, 학생들은 '측정값들이 제각기 다르기 때문에', 혹은 '참값이 평균에 가까울 것 같아서'라는 등으로 응답하였다. 물론 학생들이 평균을 내야 하는 이유를 과학적으로 정확히 알고 자신감 있게 설명한 것은 아니었으나 과학적인 결과 처리 방법을 어렵 못하게 인식한 것으로 보였다.

한 명의 학생은 평균을 내기보다는 자신이 측정한 값의 범위로 응답하였다. 즉 대표값은 자신이 측정한

**Table 4.** Handling repeat measurements

	Students' explanations	Number of students(%)
Selecting specific data	It was accurate at that time	9(30)
	My hands accurately acted at that time	6(20)
	I accurately pressed the button at beginning and finishing at that time	3(10)
	The final was done after exercises.	2(7)
	I did it inaccurately at the final, so the first one is better.	3(10)
Calculating Average	When we measure something several times, different results will come out, so we should average them	3(10)
	The true value may be near the average	1(3)
Interval	The true value will be in the range of the results	1(3)
Other		2(6)
	Total	30(100)

값 중의 최소값에서 최대값 사이에 있다고 생각하였다. 이 학생은 비록 대표값을 말하지는 못하였지만 측정값을 통하여 참값을 알아낼 수 있다는 생각을 가지고 있는 듯 하였다.

### 3. 오차

연구자는 학생에게 '당신의 측정값이 참값과 차이가 난다. 그 원인이 무엇이라고 생각하는가?' 라고 물어보았다. 이 질문은 학생들이 우연오차나 계통오차, 과실오차에 대한 기본적인 개념을 가지고 있는지 알아보기 위한 것이었다. 예를 들어 학생들이 측정 도구의 문제점이나 자신의 버릇 등을 지적하였다면, 이것은 계통오차 개념을 가지고 있음을 의미한다. 반면 '측정이 완전히 정확할 수는 없다' 라는 등으로 말한다면 기본적인 우연오차의 개념을 가지고 있는 것으로 볼 수 있다. 또 측정을 하는 동안 중대한 과실을 범한 것을 지적한다면, 측정 자는 개인의 과실을 오차의 원인으로 생각하고 자신의 측정값을 신뢰하지 않는 것을 의미한다. 이에 대한 학생들의 응답을 Table 5에 제시하였다.

대략 3명(10%)의 학생들은 측정의 대상체인 메트로놈이나 시계에 문제가 있다고 하였다. 또 4명(13%)은 측정자의 버릇 등 개인간의 차이를 언급하였다. 즉 참값도 개인이 측정한 것이라고 할 때 개인간에 차이가 있을 수 있다는 응답이었다.

반면 우연오차의 개념을 가진 것으로 보이는 학생들은 없었다.

18명(60%)의 학생들은 측정 오차의 원인을 자기의

과실 때문이라고 응답하였다. 예를 들면, '내가 좀 늦게 눌렀다', '난 측정을 잘 못한다', '반응시간이 좀 늦어서 그렇다', '내가 실수를 하였다. 영점 조정을 하지 않았다' 라는 등의 응답이었다. 본 과제에서 학생들이 측정을 여러 번 할 수 있도록 허용하였고 원하는 대로 대표값을 정하도록 하였으나, 측정 결과가 참값과 다르다는 말을 하고 그 원인을 물어보자 다른 오차의 원인보다는 측정 과정에서 자신이 잘못된 점을 생각해 내었다. 이는 학생들이 측정에 익숙하지 못하여 자신감이 부족함을 의미하기도 한다.

이와 관련하여 부가적으로 질문을 변형하여 보았다. 질문은 '당신의 측정값은 다른 친구들의 측정값과 다르다. 그 이유는 무엇이라고 생각하는가?' 이었다. 즉 '참값' 대신 '다른 친구의 측정값' 이라고 용어를 바꾼 것이다. '참값' 과의 차이를 물어보았을 때 '참값' 이라는 권위에 눌러 자기 자신의 실수만을 언급할 수도 있으므로 '다른 친구의 측정값' 과의 차이를 물어본 것이다. 결과는 Table 6에 제시하였다.

이 질문에 대하여 26명(87%)의 학생들은 개인차가 존재한다고 응답하였다. 예를 들면, '개인별로 초시계를 시작하고 누를 때 반응시간이 다르다', '측정 능력은 사람마다 다르다', '반응 시간이 다르다', '다른 사람의 결과는 내 것과 다르다. 왜냐하면 손이 다르게 움직이기 때문이다' 라는 등으로 응답하였다. 30명 중 3(10%)명은 자신의 실수를 언급하였다. 결과적으로 이 질문에 대하여 측정값의 차이는 자신의 실수 때문이기보다는 개인적인 차이에 의한 것이라고 생각하는 학생이 대부분이었다.

위의 두 가지 질문 결과를 통하여 알 수 있는 점은

Table 5. Students' explanations about the causes of measurement errors

	Explanation	Number of students(%)
Systematic error	Instrument	3(10)
	Measurer's habit	4(13)
Random error	Random error	0(0)
Mistake	Mistake	18(60)
No answer	I don't know	5(17)
	Total	30(100)

다음과 같다. 즉 학생들은 자신이 측정한 값이 권위에 의하여 제시된 참값과 다를 경우 자신의 실수 때문이라고 인정하려 하는 반면, 다른 친구와 다를 경우에는 개인의 차이를 그 원인으로 생각하는 경향이 있다는 점이다.

이와 관련된 다른 질문으로 '만일 일주일 후에 다시 측정한다면, 결과가 같을까?' 라고 물어보았다. 대부분의 학생들이 오차의 원인을 자신의 실수나 개인의 차이 등 인간에 의한 것으로 보았기 때문에, 이번에는 동일한 사람이 시간차를 두고 측정을 한 경우에 대하여 질문한 것이다. 이 질문에 대한 응답은 Table 7에 제시하였다.

22명(73%)은 '달라질 것이다' 라고 응답하였다. 그들은 '손이 다르게 움직인다', '사람의 움직임이 다르다', '일주일 후에 기술이 늘어났다'는 등으로 응답하여, 이 질문의 경우에도 인간의 변화에 의한 측정값의 차이를 언급하였다. 그러나 5명(17%)의 학생은 환경의 변화에 의한 차이를 언급하였다. 그들은 '환경에 차이가 생긴다', '물체들은 그 때마다 다르게 움직인다' 라는 등의 응답이었다. 나머지 3명(10%)의 학생은 결과가 동일할 것이라고 응답하였다. '만일 우리가 주의해서 측정하기만 한다면, 결과는 똑같은

것이다', '동일한 사람이 측정을 하는 것이기 때문에 결과는 같을 것이다', '동일한 것을 측정하는 것이기 때문에 결과는 같다' 라고 응답하였다. 이 3명의 학생은 오직 '오차란 인간에 의해서만 생긴다'고 생각하였기 때문에 동일한 인간이 측정한다면 시간이나 장소와 관계없이 결과가 동일할 것이라고 응답한 것으로 보였다. 여전히 많은 학생들이 시간적 간격을 둔 측정값의 차이에 영향을 미치는 요인으로 인간을 가장 중요하게 생각하고 있었다.

오차에 대한 면담 결과를 요약하면 다음과 같다. 대부분의 학생들은 측정한 값이 참값이나 다른 사람의 측정값과 다를 경우 그 원인을 측정 도구나 환경의 차이보다는 개인의 과실이나 습관 때문이라고 생각하였고, 동일한 사람이 시간간격을 두고 같은 측정과제를 하는 경우에도 환경 등의 변화보다는 측정하는 사람의 변화에 의한 오차를 더 많이 언급하고 있음이 드러났다. 즉 학생들은 측정 오차의 원인을 측정 도구, 환경보다는 인간의 불완전성으로 생각하고 있었다. 한편, 우연오차의 개념을 가지고 있는 것으로 보이는 학생들은 거의 없었다. 또한 학생들은 권위에 의해 주어진 참값과 자신의 측정값이 다를 경우 자신

**Table 6.** Students' explanations about the various results by different persons

	Explanation	Number of students(%)
Systematic error	Instrument	0(0)
	Measurer's habit	26(87)
Random error	Random error	0(0)
Mistake	Mistake	3(10)
No answer	I don't know	1(3)
Total		30(100)

**Table 7.** Students' explanations about the results of the same measurer after a week

	Explanation	Number of students(%)
Result will be changed	Human's change through time	22(73)
	The change of environment	5(17)
Result will not be changed	The same person will measure.	3(10)
Total		30(100)



의 측정 과실을 인정하는 경우가 많아 자신이 측정한 값을 신뢰하지 않는다는 것을 알 수 있었다.

#### 4. 측정의 불확실성

마지막 질문은 '당신은 완전히 정확한 측정이 가능하다고 생각하는가? 만일 그렇다면 어떻게 할 수 있는가? 불가능하다면 그 이유는?' 이었다.

이 질문에 대하여 12명(40%)의 학생이 가능하다고 응답하였다. 그 중 7명(23%)의 학생은 기계나 좋은 도구를 이용하면 된다고 하여 기계가 인간보다 측정을 정확하게 할 수 있다고 응답하였다. 4명(13%)의 학생은 인간이 좀 더 주의를 기울여 측정한다면 가능하다고 하였고 1명(3%)은 여러 번의 측정 중에서 우연히

한 번쯤은 참값이 된다고 하였다. 즉 이 학생들은 참값이 고유하게 존재하며 기계를 이용하거나 인간이 주의한다면 참값이 나올 것으로 생각하고 있었다.

불가능하다고 생각한 학생은 10명(33%)이었다. 이 중 9명(30%)의 학생은 인간의 실수를 언급하였다. 이 학생들은 인간은 불완전하기 때문에 참값을 찾을 수 없다고 하였다. 특히 그 중 1명(3%)의 학생은 인간뿐 아니라 기계도 실수를 하기 때문에 참값을 찾아 낼 수는 없다고 하여 절대적인 불완전성을 언급하였다. 학생들 중 3명(10%)은 측정 대상체에 따라서 다르다고 하였다. 즉 길이 등은 변하지 않으므로 완전한 측정이 가능하지만 물의 부피 등은 환경에 따라서 달라지기 때문에 측정이 불완전하다는 것이다.

학생들은 측정의 불확실성의 원인을 주로 인간의 실수 때문이라고 생각하고 있다. 학생들 스스로가 측

Table 8. Students' responses about uncertainty

Possibility of completely accurate measuring & the way or reason		Number of students(%)	
Possible	Using tools	If I use a machine	3(10)
		If the tool is good enough	1(3)
		Machine is accurate, but human is not	3(10)
	Careful measurement by measurer	If one measures it well	2(7)
		If one measures it as directed by theory	1(3)
		If one measures it repeatedly and practices it many times	1(3)
Incident	Occasionally	1(3)	
Impossible	Due to human's mistake or difference	Because human will	3(10)
		Human will make a mistake	2(7)
		One did not do it carefully	1(3)
		Due to individual differences	3(10)
	Due to the mistakes by machine and human	Both machine and human can make mistakes	1(3)
Other	It depends on what one measures	3(10)	
	No answer	5(17)	
Total		30(100)	

정의 초보자이기 때문에 그렇게 응답한 것은 오히려 자연스러운 결과라고 볼 수도 있다. 그러나 이 결과는 또한 학생들이 자신의 측정 결과를 불신하고 있다는 사실을 보여준다.

## V. 결론 및 시사점

반복 측정, 대표값 선정, 오차, 측정의 불확실성에 대한 연구 결과, 학생들은 과학자들과는 다른 개념을 가지고 있음을 알 수 있었다. 50%의 학생들이 두 번만 측정하였고, 5번 이상 측정한 학생은 없었다. 그리고 반복 측정 후 대표값을 선정할 때 주관적으로 정확하였다고 느껴지는 특정한 값을 선택한 학생의 수가 77% 이었다. 즉 학생들이 반복 측정을 해야 하는 이유나 처리 방법에 대하여 잘 모르고 있음을 알 수 있었다. 또한 자신의 측정값이 권위에 의해 주어진 참값과 다를 때에는 쉽게 자신의 과실이라고 인정하는 것으로 보아, 자기의 측정능력에 대한 신뢰도가 낮다는 것을 알 수 있었다. 그리고 학생들은 측정 오차의 원인으로 온도나 기압 등의 물리적인 환경이나 측정 도구의 문제점, 측정의 본질적인 불확실성보다는 자신의 실수나 개인의 차이 등 인간을 그 원인으로 생각하는 경향이 강하였다. 측정의 불확실성에 대하여 완전히 정확한 측정이 가능하다고 생각한 학생이 40%, 그것은 불가능하다고 생각한 학생이 33% 이었는데, 많은 학생들이 인간의 한계를 불확실성의 주요 원인으로 생각하고 있었다. 즉 완전히 정확한 측정이 가능하다고 응답한 학생들도 이를 위해서는 '개인의 주의 집중'이나 '아주 좋은 측정도구의 사용' 등이 필요하다고 주장하였고, 완전한 측정이 불가능하다고 생각한 학생들도 그 이유를 '인간이 불완전하기 때문이라고 주장하였던 것이다.

결론적으로, 과반수 이상의 학생들은 반복 측정이나 대표값 선정 방법을 잘 모르고 있었고, 측정 오차의 원인을 측정 당시 환경이나 측정 도구의 문제보다는 자신의 과실로 생각함을 알 수 있었다. 또한 다양한 측정값이나 측정의 불확실성의 원인이 주로 인간에 기인한 것으로 보는 경향이 컸음을 알 수 있었다.

본 연구 결과의 시사점은 다음과 같다. 측정을 하는

학생들은 우선 측정 오차의 원인에 인간의 실수나 개인 차 외에도 다양한 것이 존재함을 학습해야 한다. 오직 인간의 실수나 개인차만을 고려한다면 더 중요한 오차의 원인을 간과할 가능성이 크다. 예를 들어 용수철 저울을 사용할 때 도구 자체에 문제가 있을 수도 있으며 끊는점을 측정할 때엔 환경의 영향을 받을 수도 있다는 점이다. 이와 더불어 측정의 불확실성에 대한 이해가 필요하다. 아무리 측정에 대한 연습을 하였고 훌륭한 도구를 사용하였다고 하더라도 측정이 완전할 수는 없다는 것을 이해하고 이와 함께 측정의 방법을 개선하려 노력한다면 학생들은 자신의 측정값에 대한 신뢰도를 높여 나갈 수 있을 것이다. 또한 학생의 측정값의 정확성을 증진시키기 위하여 구체적으로 반복 측정을 해보고 대표값을 처리하는 연습을 실제 탐구활동에서 해 보는 것이 필요할 것이다.

## VI. 연구의 한계 및 후속 연구 과제

본 연구는 서울시내 중학교 1학년 학생들의 측정 이론의 대한 개념을 조사한 것이다. 표본이 중학생 전체를 대표한다고 보기 어려우므로, 일반화할 수 있는 통계 자료가 필요하다면 표본의 수를 증가시킬 필요가 있다. 그러나 본 연구에서는 면담을 이용하여 정성적인 분석을 시도하였기에 본 연구를 기초로 하여 설문지를 작성하여 지필 검사를 한다면 측정 이론에 대하여 학생이 지닌 선개념을 보다 광범위하게 조사할 수 있을 것이다.

또한 본 연구가 중학교 수준의 학생을 대상으로 한 것이므로 연구 대상을 고등학생으로 확장한다면 중등 학생의 측정이론 관련 개념을 알아내는 것에 도움이 될 것이다.

본 연구에서 사용된 질문들은 비교적 추상적이어서 중학교 1학년 수준에 어려울 수도 있었다. 면담시에 질문을 못 알아들을 경우 설명을 해 주었으나 만일 지필 평가를 한다면 좀 더 학생에게 쉬운 용어로 고칠 필요가 있다.

중학교 1학년 학생들이 탐구를 수행할 때 필요한 측정 관련 이론들을 소개해 준다면 학생들이 탐구를

수행할 때 자료 처리 과정을 직접 경험해 보는 데에 도움을 줄 수 있다고 하였지만, 어떤 수준과 방법으로 측정 이론을 중학교 학생들에게 소개할 수 있는지에 대하여 연구한 것이 아니므로 이에 대한 사후 연구가 필요할 것이다.

### 적 요

본 연구는 중학교 1학년 학생 30명을 대상으로 반복 측정, 대표값 선정, 오차, 측정의 불확실성에 대한 선개념을 관찰 및 면담을 통하여 조사하였다. 조사 결과 50%의 학생들이 단 두 번만 측정하였고, 5년 이상 측정한 학생은 없었다. 반복 측정 후에 77%의 학생들은 자신의 느낌에 의거하여 측정값 중에서 대표값을 선택하였고, 13%의 학생만 평균값을 계산하여 대표값으로 정하였다. 60%의 학생은 측정 오차의 원인을 환경이나 측정 도구보다는 자신의 과실 때문이라고 하였다. 또한 대부분의 학생들은 다른 사람들에 의한 측정값이나 시간차를 둔 측정값이 달라지는 원인을 인간 때문이라고 생각하였다. 측정의 불확실성에 대하여 묻는 질문에 대하여 완전히 정확한 측정이 가능하다고 응답한 학생이 40%, 측정은 불확실하다고 응답한 학생이 33% 이었다. 학생들은 이에 대한 판단 근거로 주로 인간의 한계를 생각하였다.

결론적으로 과반수 이상의 학생들이 반복 측정 및 대표값 선정에 대하여 이해하지 못하였고 측정 오차의 원인을 자신의 과실로 생각하였다. 또한 대부분의 학생들은 측정 결과가 다르거나, 측정이 불확실한 원인을 인간으로 생각하였다.

### 참 고 문 헌

김시중, 정완호, 한복수, 우종욱, 이종면, 임경배, 정근화, 민정덕, 구창현, 이광석, 최돈형, 김병국, 이상진, 박범익(1995). 중학교 과학 1, 금성교과서, 189.

서정아(2000). 정량적 물리개념에 대한 어림활동과 측정활동이 문제해결과정에 미치는 영향. 서울대학교 박사학위 논문.

송인명, 박승재, 고재걸, 오길한, 김대중, 이춘우(1973). 새로운 물리학 실험, 탐구당, 8-23.

정창희, 이원식, 강만식, 이인규, 송희성, 윤홍식, 이금휘, 한인섭, 박은호, 문찬호, 윤용(1995). 중학교 과학 1, 교학사, 183.

Baird, D. C.(1995). *Experimentation, an Introduction to Measurement Theory and Experiment Design*, 3rd ed. Prentice-Hall, N.J.

Kuhn, T. S.(1962). *The Structure of Scientific Revolution*. 김명자(역). 서울: 동아출판사.

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

PSSC(1965). *PSSC Physics*. PSSC 번역위원회(역). 탐구당.

Sere, M.(1993). Learning the statistical analysis of measurement errors. *International Journal of Science Education*, 15(4), 427-438.

Varelas, M.(1997). Third and fourth graders' conceptions of repeated trials and best representatives in science experiments. *Journal of Research in Science Teaching*, 34(9), 853-872.