

## 중·고등학생들의 측정에 대한 추론 유형 분석

이은미 · 김범기\*

한국교원대학교

### A Study on Secondary School Students' Reasoning Types about Measurement

Lee, Eun Mi · Kim, Beom-Ki\*

Korea National University of Education

**Abstract:** The purpose of this study was to analyze the secondary school students' reasoning types in regards to measurement and to get implications for science education. The subjects were 197 middle school students and 200 high school students. The PMQ1 written instrument was used to explore students' ideas. Students' ideas about measurement were classified in two types of point and set reasoning. The reasoning types distribution were analyzed by grade and measurement step such as data collection, data processing, and data comparison. Reasoning types distribution by measurement step indicated that set reasoning type showed high figures in data processing, but point reasoning type appeared in data collection, and data comparison. Set reasoning type increased significantly by grade in data comparison. The majority of students recognized that the true value of the measurand can not be determined.

**Key words:** measurement, reasoning types, point reasoning, set reasoning, uncertainty of measurement

## I. 서 론

과학에서 탐구란 과학자들이 자연 세계를 연구하고, 자신들의 연구 활동을 통해 얻어진 증거를 토대로 설명을 제안하는 다양한 방법을 말한다(NRC, 1996; NRC, 2000). 탐구는 과학자들이 어떤 현상을 설명하기 위하여 이론적인 모형을 세우고 모형의 지지여부를 판단하기 위하여 실험을 하며, 실험 결과로부터 자연을 설명하는 새로운 원리나 법칙을 제안하는 것이다. 이러한 탐구 과정에서 자연 세계에 대한 과학적 설명이나 모형을 뒷받침할 수 있는 증거를 구하는 과정이 측정이며, 측정을 통해 얻어진 증거는 새롭게 발견된 사실을 보증하거나 이미 옳다고 믿고 있는 원리 또는 법칙을 확인해 주는 역할을 한다. 증거로서 이러한 역할을 하기 위해서는 측정 자료의 타당성과 신뢰성이 보장이 되어야 한다.

신뢰할 수 있는 측정 자료는 재현성을 가지고 있고, 정밀해야 하며, 자료를 적절하게 처리하고 유의미한 해석을 내린 것이다(신광문 등, 2011). 또한 측정 자료의 신뢰성이, 실제 조사가 이루어지는 자료 수집과 자료 처리, 자료가 해석되어지는 방법의 영향을 받으며

로(Gott & Duggan, 1996), 신뢰할 수 있는 증거를 얻기 위해서는 증거를 수집하고 해석하는 과정에서 증거의 질에 대한 이해와 측정 자료가 가지고 있는 오차나 불확실도에 대한 고려가 필요하다(이재봉과 이성묵, 2006). 자료의 오차와 불확실도를 고려하여 측정 결과를 해석할 때 증거의 신뢰성을 높일 수 있는 것이다. 자료를 모으고, 처리하고, 해석하는 과정에서 측정의 불확실성에 대한 인식이 어떻게 작용하는지에 따라 서로 다른 결과를 도출할 수 있으므로, 과학 탐구를 의미 있게 수행하기 위해서는 측정의 불확실성에 대한 인식은 반드시 알아야 할 요소이다.

측정의 불확실성에 대한 인식은 참값을 구할 수 있는지에 대한 인식 여부에 따라 점 추론(point reasoning)과 집합 추론(set reasoning)의 두 가지 추론 유형으로 분류할 수 있다(Lubben *et al.*, 2001). Lubben 등(2001)은 점 추론과 집합 추론으로 분류하는 체계가 측정 과정을 결정할 때 나타나는 학생들의 다양하고 복잡한 생각들을 분류하는데 유용하며, 이것은 실험실 수업에서 학생들의 생각이, 점 추론에서 일관된 집합 추론으로 이끌어지도록 하는 교육 프로그램을 위한 기본이 된다고 하였다. 점 추론은 측정 과정을

\*교신저자: 김범기(kimbk@knu.ac.kr)

\*\*2011.12.21(접수) 2012.02.07(1심통과) 2012.02.20(2심통과) 2012.03.06(최종통과)

통해 참값을 얻을 수 있으며, 측정과정에서 오차는 0으로 줄여 하나의 점과 같은 참값이 존재할 수 있다는 인식이고, 집합 추론은 측정과정이 불완전한 정보를 제공하므로 오차를 0으로 줄일 수 없는 불확실성을 가지므로 측정 결과는 단지 참값에 대한 근사일 뿐이라는 인식이다(Lubben *et al.*, 2001; Pillay *et al.*, 2008; Buffler *et al.*, 2009).

참값은 완전한 측정에 의해서만 얻어지는 값으로, 본성적으로 확정되어 있지 않다(한국표준과학연구원, 1998). 중학교 수학 교과서에서는 어떤 양을 측정하여 눈금을 읽어서 얻은 측정값은 참값이 아니라 참값에 가까운 근사 값이라(양승갑 등, 2001) 제시하고 있고, 불확실한 상황에 대한 과학적인 의사결정을 하는 확률통계학에서 참값을 추정할 때, 점 추정량에 의해 추정된 하나의 값은 참값에 가깝기는 하지만 참값과 같은 경우는 거의 없이 크고 작은 오차를 수반하므로, 참값이 속해 있을 것이라고 생각되는 구간을 추측하는 구간추정이 보다 합리적이다(김원경, 2011)라고 제시하고 있다. 이와 같은 맥락으로 볼 때, 과학 실험에서 측정값을 읽을 때 참값이 포함될 거라 예상되는 구간으로 읽어야 하며, 측정값에 대한 이러한 집합 추론적 인식은 신뢰할 수 있는 측정결과를 얻어내기 위해 측정자가 가져야 할 인식이라 할 수 있다. 집합 추론적 인식은, 측정에서 오차와 불확실도에 대해 고려하는 것으로, 학생들이 이러한 인식 부족으로 인하여 실험을 통해 적절한 증거를 모으는데 실패하는 어려움이 있었다(이재봉과 이성목, 2006). 또한 점 추론적 인식을 바탕으로 측정이 이루어지면, 학생들은 되풀이 되는 값을 대푯값으로 선택하고, 그래프를 추세선이 아닌 점들을 연결한 선으로 그리고, 측정값들의 분포를 보지 않고 1대 1로 측정 자료를 비교하여(Lubben *et al.*, 2001), 신뢰할 수 없는 측정결과를 얻게 된다. 이는 측정에 대한 인식 교육의 방향이, 측정을 통해 참값은 본질적으로 얻을 수 없다는 집합 추론적 인식을 바탕으로, 자료를 수집하고 처리하고 해석할 때, 측정결과의 신뢰성이 높아진다는 것을 의미한다.

또한 측정에 대한 인식뿐만 아니라, 반복 측정한 값들의 대푯값으로 평균을 구하고 표준편차로 불확실도를 표현하는 수학적 과정에 대한 학습도 필요하다고 할 수 있다. Buffler 등(2001)은 이러한 수학적인 절차를 행하는 행동(action)의 측면과 측정 인식으로서

추론(reasoning)의 측면을 포함하는 것이 패러다임(paradigm)이라 하였으며, 측정에 대한 교육 목적의 성공여부는 추론과 행동의 두 가지 측면 모두가 집합 패러다임으로 얼마나 일관성 있고 탄탄하게 고정되어 지는가에 판단된다고 하였다. Buffler 등(2001)은 측정에 대한 교육의 목적을 [그림 1]과 같이 도식화 하였다.

측정은 외국 여러 나라의 과학 교육과정에서 증거의 획득 과정으로서 강조하고 있는 요소(이봉우, 2005)로, 영국과 미국, 캐나다, 호주의 여러 주에서는 반복적으로 측정을 수행하게 하고, 측정에서 나타나는 오차에 대한 이해와 오차를 줄이기 위한 방법을 생각하게 함(이봉우와 김희경, 2007)으로써, 탐구과정에서 측정의 불확실성에 대한 인식을 고려하도록 하고 있다. 미국 AAAS(1993)에서는 반복 측정과 오차 해석 그리고 측정의 불확실성을 제시하여 측정 과정에서 작용하는 집합 추론적 인식의 중요성을 강조하고 있고, 영국의 경우 GCE A-Level의 실험과 조사 영역의 평가 목표에서 측정값들의 가장 근사적인 범위와 분포를 확인할 수 있는지를 기준으로 측정의 정확성과 정밀성을 고려한 자료의 질에 대하여 강조하고 있다(CIE, 2010). 이들 또한 측정의 집합 추론적 인식을 바탕으로 자료를 반복하여 수집하고, 수집한 자료를 적절하게 처리하며, 오차 해석과 측정의 정확성과 정밀성을 고려하는 자료 해석이 이루어져야 한다는 것을 제시하고 있다.

그러나 탐구활동에서 불확실도 개념이 타당하고 신뢰로운 증거를 수집하는데 영향을 미치지만, 국내의 중고등학교 교육과정에서 이에 대한 교육이 미흡한 현실이다(이재봉과 이성목, 2006). 측정과 관련하여 반복 측정, 반복 측정 후 결과 값의 처리, 오차의 원인, 측정의 불확실성 등에 대한 내용이 거의 제시되어 있지 않아서 측정 자체에 대한 학습이 제대로 이루어지지 않고 있고(서정아, 2002), 과학 교육과정에서 자료 처리에 대한 평균값 계산과 반복 측정에 대한 안내가 일부 제시되어 있을 뿐, 오차와 불확실도를 학습하도록 되어 있는 부분이 거의 제시되고 있지 않는 문제점이 있다(이봉우 등, 2007).

실제 학생들이 측정활동에서 나타나는 인식을 조사한 연구들을 보면, 이러한 인식들이 부족하다고 지적하는 경우가 많다. 중학교 1학년 학생들의 측정이론에 관한 조사에서 과반수 학생들이 반복 측정이나 대푯

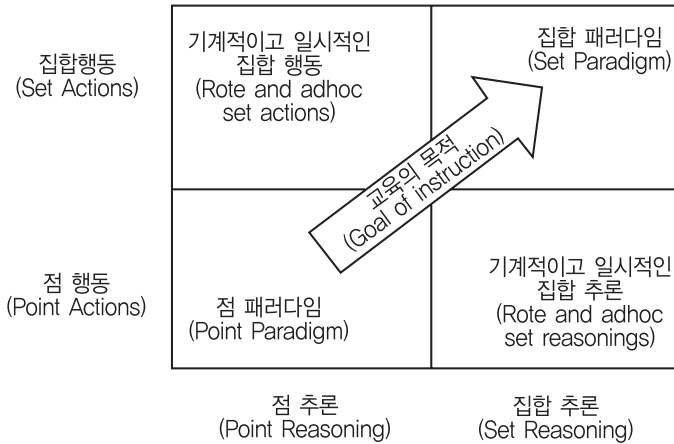


그림 1 점 패러다임과 집합 패러다임 관계에서 교육의 목적(Buffler et al., 2001)

값 선정 방법을 모르고 있었으며(서정아, 2002), 대학생들도 측정 자료가 가지는 불확실도에 대한 개념의 결핍으로 적절한 증거를 모으는데 어려움이 있었다(이재봉과 이성목, 2006). 오차와 불확실도에 대한 배경지식이 부족하고, 많이 접해보지 못했으며, 잘 몰라서 실험 보고서를 작성할 때 어려움을 느끼는 학생들도 많았다(신광문 등, 2011). 외국의 경우에서도 학생들은 반복 측정하는 이유, 측정값 처리와 변칙 자료에 대해 다양한 생각을 나타내었고(Lubben & Millar, 1996), 반복 측정의 필요성과 측정값들의 흠어짐에 대한 생각이 측정 상황에 따라 다양하게 나타났으며 측정의 정확성과 정밀성을 구별하지 못하였다(Allie et al., 1998). 이는 학생들이 오차와 불확실도를 고려하여 자료를 얻고 해석하는데 대한 안내가 필요하다는 것을 시사한다. 학생들이 탐구 과정에서 보다 의미 있는 결론을 도출하기 위해서는 자료가 가지는 불확실도 개념에 대한 체계적인 학습이 필요하다(이재봉, 2006)고 할 수 있다. 이러한 측정의 본성에 대한 이해는 단순히 측정 경험의 증가로 이해하기에는 한계가 있으며, 측정 경험과 더불어 측정의 본성에 대한 보다 직접적인 교수가 이루어져야 한다(양일호 등, 2009).

측정에 대한 인식 교육의 효과를 조사한 연구들에서, 점 추론 유형을 보인 학생이 반복 측정과 오차인식을 목적으로 한 교수법을 통하여 집합 추론 유형으로 변화됨을 보여 주었고(장정화, 2004), 실험 입문 과정에서 측정 불확도 표현지침인 GUM(Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement)을 안내한 경우, 학생들이 측정의 불확실성을 효과적

으로 이해하고 의미 있는 실험을 수행하는 것으로 나타났다(Pillay et al., 2008). 또한 측정 개념을 가르치기 위해 개발한 실험수업 모듈을 적용한 수업이 측정의 불확실성에 대한 이해를 향상시키는데 효과가 있다고 하였다(박종찬 등, 2009). 이러한 측정에 대한 인식 교육의 효과를 조사한 연구들에서와 같이, 측정에 대한 교수 전략의 효과를 보기 위해 교수 전략이나 수업 모듈을 적용하기 전의 학생들이 가지고 있는 측정에 대한 인식을 진단하는 것이 필요하다.

본 연구에서는 중·고등학생들이 측정과정에서 사용하는 반복 측정, 반복 측정 후 결과 값의 처리, 측정 결과의 신뢰성에 대한 인식을 조사하였다. 이들을 자료 수집, 자료 처리, 자료 비교 단계로 나누어, 각 측정 단계에서 나타난 학생들의 생각을 점 추론과 집합 추론으로 분류하여, 측정 단계별 추론 유형 분포와 학년별 집합 추론 유형의 차이를 분석하였다.

측정의 불확실성에 나타난 추론 유형을 분석하여 각 측정 단계에 나타난 추론 유형과 비교하였다. 이에 대한 구체적인 연구 문제는 다음과 같다.

- 1) 자료의 수집, 처리 및 비교하는 단계에서 나타난 중·고등학생들의 측정에 대한 추론 유형은 어떠한가?
- 2) 중·고등학생들의 집합 추론 유형은 학년별로 어떠한가?
- 3) 측정을 통하여 참값을 얻을 수 있는지에 대한 점

추론과 집합 추론 유형 분포 및 학년별 추론 유형 분포는 어떠한 차이가 있는가?

## II 연구 방법

### 1. 연구 대상 및 절차

연구 대상은 충청남도 D시 G중학교 학생 197명과 J고등학교 학생 200명으로, 모두 중·고등학생 397명이다(표1).

측정에 대한 인식을 조사하기 위하여 선행 연구(Allie *et al.*, 1998; Lubben *et al.*, 2001; Buffler *et al.*, 2001)에서 개발된 측정에 대한 인식 검사지 PMQ1(Physics Measurement Questionnaire 1)을 번안하였다. 번안한 검사지는 과학 교육 전문가 3인과 석·박사 과정의 과학교사 5인등과 협의하여 번안 내용의 적절성을 검토한 후, 본 검사를 실시하였다. 검사지를 수합하여 부호화된 분석틀을 기준으로 문항별 추론 유형을 결정한 후, 측정 단계별 추론 유형 분포와 학년별 집합 추론 유형 분포를 조사 분석하였다.

표 1 중·고등학교 학년별 연구 대상 학생 수

학년	중학생		고등학생		계(명)
	7학년	8학년	10학년	11학년	
학생 수(명)	100	97	100	100	397
	197		200		

표 2 PMQ1의 세부 문항 구성 및 문항 내용

항목	세부 내용	문항 내용	문항번호	
측정 단계	자료 수집 (5문항)	눈금선 값	1	
		측정값 인식(3문항)	눈금사이 값	3
			디지털 값	10
	반복측정 인식 (2문항)	반복 측정 여부1	2	
		반복 측정 여부2	4	
	자료 처리 (3문항)	대푯값 인식(1문항)	대푯값 선정 방법	5
			평균값 인식	6
		평균 인식(2문항)	평균 계산 후 측정값에 대한 인식	7
	자료 비교 (2문항)	자료비교 기준 인식(2문항)	평균이 같고 분산이 다른 두 자료 비교	8
			평균이 다르고 분산이 같은 두 자료 비교	9
	측정의 불확실성(1문항)	측정의 불확실성 인식	11	

### 2. 검사 도구

측정에 대한 인식 검사지 PMQ1은 눈금이 있는 미터자로 거리를 측정하는 상황에서, 측정값을 구하여 이들의 대푯값을 선정하고, 측정값들과 평균값이 다른 두 개의 측정 결과를 비교할 때 나타나는 학생들의 생각을 알아보는 것이다. 문항의 형태는 [그림 2]에 예시된 바와 같이, 측정이 이루어지는 단계에 따라 학생들이 서로 이야기를 나누는 형식으로 되어있다. 각 문항들은 질문에 대한 여러 생각들 중 동의하는 의견을 선택하게 한 후, 그와 같이 선택한 이유를 서술하게 하는 형식이다. PMQ1의 문항은 자료 수집, 자료 처리, 자료 비교의 측정 단계와 측정의 불확실성 항목으로 구분되며, 총 11문항으로 구성되어 있다(표2).

검사지 형식이 측정이 이루어지는 상황에서 단계적으로 질문을 하고 있어서, 학생들이 검사에 응할 때, 앞 문항에서 답변한 내용을 다시 수정할 우려가 있었다. 이미 답변한 내용을 되돌아가서 수정하지 않도록 검사를 시작하기 전에 미리 안내하였고, 검사 시간은 문항 당 답변시간을 3분으로 통일하여 교실 내 모든

학생들이 동시에 같은 문제를 풀도록 하였다.

추론 유형을 결정하기 위하여 사용된 분석들은 선행연구(Allie *et al.*, 1998; Lubben *et al.*, 2001; Buffler *et al.*, 2001)에서 PMQ1과 함께 개발된 부호화된 분석들을 사용하였다. 부호화된 분석들은 학생들의 응답에 나타난 생각들과 서로 일치하는 추론 유형을 점 추론과 집합 추론으로 분류해 놓은 것으로, 이 연구에서 학생들의 추론 유형을 결정하는 기준으로 사용하였다.

### 3. 자료 분석

학생들의 응답에 나타난 추론 유형은 부호화된 분석들을 기준으로 점 추론과 집합 추론의 두 가지 추론 유형으로 결정하였다. 추론유형을 결정하는 과정은 다음과 같다.

[그림 2]는 눈금선 값에 대한 인식을 묻는 문항에 대한 한 학생의 응답을 예시한 것이다.

이 예시 학생은 자의 눈금선 436mm에 있는 값에 대하여, 거리  $d$ 는 대략 436mm라고 생각하였으며 그 이유를 다음과 같이 서술하였다.

1mm씩 측정할 수 있는 자에 436mm에 표시되었다 해서 정확히 436mm라고 할 수 없다. 좀 더 세밀한 자를 이용하면 436.xxmm일 것이다. 그러므로 대략 436mm이다.

학생이 서술한 내용은 [그림 3]의 부호화된 분석틀에서 일치하는 내용을 찾아 추론 유형을 결정하였다. 이 예시 학생의 답변은 부호화된 분석틀 B13 코드의 '좀 더 세밀한/작은 눈금 간격이 필요하다. 자의 눈금 간격이 너무 크다'는 내용과 일치 하므로, 이 학생의 추론 유형은 점 추론으로 하였다.

추론 유형 결정 과정은 과학교육 전문가 2인과 석·박사 과정의 과학교사 7인이 부호화된 분석틀을 기준으로, 학생들이 응답한 내용을 유형별로 분류하

< 문제 1 >  
 높이  $h = 90\text{mm}$  일 때, 거리  $d$ 를 결정하려고 합니다. 실험 후, 공이 떨어진 지점과 책상사이의 거리  $d$ 를 측정하기 위하여 자를 대어 놓은 모습입니다.

바닥에 공이 떨어진 지점

거리 $d$ 는 정확하 게 436mm 라고 생각해.	거리 $d$ 는 대략 436mm 라고 생각해.	거리 $d$ 는 435mm 와 437mm 사이 라고 생각해.	거리 $d$ 는 435.5mm 와 436.5mm 사이라 고 생각해.	나는 너희들 누 구의 생각에도 동의하지 않아.
------------------------------	---------------------------	-----------------------------------	---------------------------------------	---------------------------

A      B                      C                      D                      E

거리  $d$  값에 대한 의견들 중, 가장 동의하는 것에 ○를 하시오.

A	ⓑ	C	D	E
---	---	---	---	---

위와 같이 선택한 이유를 설명하시오.

1mm씩 측정할 수 있는 자에 436mm에 표시 되었다고 해서 정확히 436mm라고 할 수 없다. 좀 더 세밀한 자를 이용하면 436.xxmm일 것이다. 그러므로 대략 436mm이다.

그림 2 눈금선 값 문항에 대한 응답 예시

였다. 응답 내용이 분석틀에 포함되지 않거나, 학생들의 응답으로 추론 유형을 결정하기가 곤란한 경우는, 과학교육 전문가 2인과 석·박사 과정의 과학교사 7인과 3차에 걸친 논의를 통해 추론 유형을 결정하였다. 각 문항별로 결정된 추론 유형은 자료 수집, 자료 처리, 자료 비교의 측정 단계로 나누어 측정 단계별 추론 유형 분포를 분석하였고, 학년에 따른 추론 유형의 차이를 비교하였다.

학년별 추론 유형 분포는 측정 단계별로 분석하였다. 각 측정 단계의 추론 유형 분포는 측정 단계별 해당하는 문항들에 나타난 학생들의 추론 유형의 평균 빈도수로 나타냈으며, 학년에 따른 추론 유형 분포에 유의미한 차이가 있는지를 알아보기 위해  $\chi^2$  검정을 하였다. 학년별 차이를 비교할 때, 점 추론과 집합 추론이 서로 상반되어 나타나므로 집합 추론의 빈도만을 서로 비교하였다. 그리고 측정을 통해 참값을 얻을 수

있는지에 대한 추론 유형 분포와 학년별 추론 유형 분포 차이를 분석하여, 측정 단계별로 나타난 추론 유형 분포와 비교 분석하였다. 측정의 불확실성에 대한 학년별 추론 유형 분포의 차이가 유의미한지 여부 또한  $\chi^2$  검정을 통해 분석하였다.

### Ⅲ. 연구 결과

#### 1. 측정 단계별 추론 유형 분포

학생들의 측정에 대한 추론 유형을 분석한 결과는 [표 3]과 같다. 측정 단계별 추론 유형 분포는 [그림 4]에 나타난 바와 같이 자료 처리 단계에서 집합 추론 유형이 높게 나타났고, 자료 수집과 자료 비교 단계에서 점 추론 유형이 높게 나타났다.

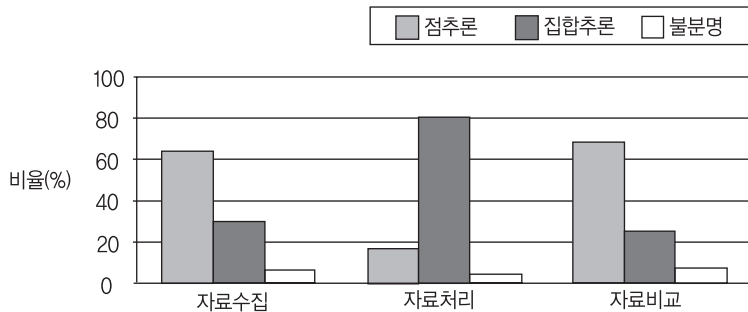
과반수 학생들이 측정을 통해 정확한 값을 얻을 수

케이프타운대학교 물리 물리측정질문지1 부호화된 분석틀 눈금선 값 문항/1		
코드	점/집합	내용
N00	-	무응답
U00	-	응답을 코드화할 수 없음
<b>A 정확하게 436mm이다. 왜냐하면 ...</b>		
A00	-	(이유 없음)
A01	-	(응답한 이유로 코드화할 수 없음)
A10	점 추론	점의 크기 때문에
A11	점 추론	공은 정확하게 436mm를 이동했다
A12	점 추론	점이 436mm 눈금 선에 정확하게 있다
A13	점 추론	거리는 눈금자로 쉽게 측정 된다/보여 진다/관찰된다.
A20	점 추론	측정은 정확하다
A41	점 추론	완벽한 상황에서 반복측정하면 정확히 같은 거리가 측정 된다
<b>B 대략 436mm이다. 왜냐하면 ...</b>		
B00	-	(이유 없음)
B01	-	(응답한 이유로 코드화할 수 없음)
B10	점 추론	점의 크기 때문에.
B11	점 추론	공의 크기/모양/운동 때문에
B12	점 추론	점이 눈금 위에 정확하게 있지 않다
B13	점 추론	<u>좀 더 세밀한/작은 눈금 간격이 필요하다. 자의 눈금간격이 너무 크다</u>
B14	집합추론	오차가 있으므로 어림 읽기로 판단해야한다
B15	점 추론	더 좋은 측정 도구가 필요하다
...		

그림 3 눈금선 값 문항의 부호화된 분석틀 예시(Allie et al., 1998; Lubben et al., 2001; Buffler et al., 2001)

**표 3**  
측정 단계별 세부 문항에 대한 추론 유형 분포

측정 단계	세부 내용	문항 내용	점 추론 학생 수(%)	집합 추론 학생 수(%)	불확실 학생 수(%)
	측정값 인식	눈금선 값	247(62.2)	133(33.5)	17( 4.3)
		눈금사이 값	244(61.5)	95(23.9)	58(14.6)
		디지털 값	172(43.3)	189(47.6)	36( 9.1)
자료 수집	측정값 인식에 대한 평균(%)		(55.7)	(35.0)	( 9.3)
	반복측정 인식	반복 측정 여부1	290(73.0)	99(24.9)	8( 2.0)
		반복 측정 여부2	313(78.8)	80(20.2)	4( 1.0)
반복측정 인식에 대한 평균(%)		(75.9)	(22.6)	( 1.5)	
자료 수집에 대한 평균(%)			(63.8)	(30.0)	( 6.2)
자료 처리	대푯값 인식	대푯값 선정 방법	157(39.5)	226(56.9)	14( 3.5)
	평균 인식	평균값 인식	29( 7.3)	343(86.4)	25( 6.3)
		평균 계산 후 측정값 인식	13( 3.3)	377(95.0)	7( 1.8)
	평균 인식에 대한 평균(%)		( 5.3)	(90.7)	( 4.1)
자료 처리에 대한 평균(%)			(16.7)	(79.4)	( 3.9)
자료 비교	비교 기준인식	평균이 같고 분산이 다른 두 자료 비교	187(47.1)	180(45.3)	30( 7.6)
		평균이 다르고 분산이 같은 두 자료 비교	354(89.2)	16( 4.0)	27( 6.8)
	자료 비교에 대한 평균(%)		(68.2)	(24.7)	( 7.2)



**그림 4** 측정 단계별 점 추론과 집합 추론 유형 분포.

있다고 인식하고, 그 정확한 값을 찾기 위해 반복 측정이 필요하다고 하였으며, 더 좋은 측정 결과를 볼 때 측정값들이 흩어진 정도가 아니라 평균값의 일치 여부로 측정 결과를 판단하였다. 자료를 처리하는 단계에서는 과반수 학생들이 대푯값으로 평균값을 선택하였으나 평균값은 정확한 값이 아니며 평균값을 구한 후 다시 측정하였을 때 어떤 값이든 나올 수 있다고 생각하는 것으로 나타났다.

각 측정 단계별 나타난 학생들의 생각들과 분석한 추론 유형은 다음과 같다.

### 1) 자료 수집 단계에서 추론 유형

자료 수집 단계는 측정값에 대한 인식과 반복 측정에 대한 인식으로 나누어 분석하였다. 측정값에 대한 인식에서 측정값을 정확한 값으로 여기는 점 추론 유형이 55.7%, 정확한 값을 얻을 수 없다고 생각하는 집합 추론 유형이 35.0%로 나타났다. 점 추론 유형을 보인 학생들은 측정값을 정확하게 436mm 라고 답하였고, 측정값을 대략적인 값이나 구간의 값이라 답하더라도 그 이유가 정확한 값을 찾을 수 있다는 인식이 바탕이 되어 있는 경우였다. 대략적인 값이나 구간의 값

을 선택한 학생들의 대부분은 정밀한 실험 도구의 필요성을 언급하였고, 실험 조건을 완벽하게 조성하면 정확한 값을 구할 수 있다고 생각하였다.

또한, 집합 추론적 인식을 하는 학생들 대부분은 측정을 통하여 정확한 결과를 얻을 수 없으므로 측정값을 대략적인 값으로 인식하거나 측정값을 읽을 때 오차의 범위를 고려하는 것으로 나타났다. 근삿값으로서 참값이 존재할 수 있는 오차 범위에 대한 언급은 7학년에서는 나타나지 않았고, 8학년 이상의 학생들이 많이 언급하는 것으로 나타났다. 이는 8학년 수학 교과와 근삿값과 오차 단원에서 오차의 한계에 대한 이해와 근삿값에 대한 참값의 범위를 구하는 내용(교육부, 1997a)에 대한 학습의 영향으로 생각된다.

반복 측정에 대한 인식은 점 추론 유형이 75.9%, 집합 추론 유형이 22.6%로 나타났다. 반복 측정을 할 것인지에 대한 질문에서 대부분의 학생들은 반복 측정의 필요성을 인식하고 있었다. 그러나 반복 측정이 필요한 이유에 대해 측정값들의 평균을 구하거나 오차 범위를 구해야 한다고 응답한 집합 추론 유형에 비해, 반복을 통해 정확한 값을 찾기 위해서라고 하거나 되풀이 되는 값을 찾기 위해서라고 응답한 점 추론 유형이 많았다. 반복하는 연습과정을 통해 측정이 완전해 질 수 있다는 생각을 하는 것으로, 이는 중학교 1학년 학생들 과반수가 반복 측정의 의미를 잘 모르고 있는 것으로 나타난 서정아(2002)의 연구와 같은 결과이다. 과학 고등학교 학생들을 대상으로 실시한 박종찬 등(2009)의 연구에서도 반복 측정한 이유에 대해 언급하는 학생들을 찾아보기 어려웠고, 반복 측정하면 실험결과가 정확하게 될 것이고 더 좋은 실험결과를 얻을 수 있다고 생각하는 학생들이 많았다. 이는 실험 수업을 할 때 단지 반복 측정할 것을 제시하는 것이 아니라 반복 측정이 필요한 이유를 함께 알려주어야 함을 시사한다. 참값은 본성적으로 구할 수 없는 것이므로 반복 측정이 대푯값으로 평균을 구하기 위한 것임을 인식시킬 필요가 있다.

## 2) 자료 처리 단계에서 추론 유형

자료 처리 단계는 대푯값 선정 방법과 평균에 대한 인식으로 나누어 분석하였다. 대푯값 선정 방법에서 평균을 계산한 집합 추론 유형이 56.9%인 226명이었으며, 평균값이 아닌 측정값들 중의 하나를 선택한 점 추론 유형이 39.5%인 157명이었다. 점 추론 유형에 해당하는 157명의 학생들 중 73.9%는 되풀이되어 나타나는 최빈값을 선택하였고, 나머지 학생들이 측정값들의 중앙값, 특정값 순으로 선택하였다(표4). 특정값을 선택한 경우는 처음 시행에서 측정된 값이거나 가장 마지막에 측정된 값을 대푯값으로 선택하는 것으로 나타났다.

대푯값으로 평균을 구한 학생들이 56.9%로 나타났으나 자료 수집 단계에서 평균을 구하기 위해 반복 측정해야 한다고 응답한 학생들은 22.6%였다. 이러한 차이는 대푯값으로 평균을 구하는 학생들 일부가 대푯값으로 평균을 구하는 의미를 이해하지 못한 채 기계적으로 평균을 계산한 경우가 있는 것으로 생각된다. 실제 학교에서 이루어지는 실험 수업에서 학생들에게 실험 보고서 형식이 미리 제시되고, 제시된 보고서에서 측정값을 기록하는 표의 형식이, 여러 번 측정하고 평균을 계산하여 기록하도록 하는 것이 보통인 경우가 많다.

평균에 대한 인식은 점 추론 유형이 5.3%, 집합 추론 유형이 90.7%로 나타났다. 평균값이 거리 d의 정확한 값으로 볼 수 있는지에 대한 문항에서 86.4%의 학생들이 평균값을 정확한 값으로 볼 수 없다고 하였고, 평균을 구한 후 다시 측정하였을 때 95.0%의 학생들은 평균값이 포함된 구간에 속한 값이 나오거나 또는 어떤 값이든 나올 수 있다고 하였다.

다수의 학생들이 측정이 정확하게 이루어질 수 없다고 말하고 있으나 자료 수집에서 반복 측정하면 정확한 값을 찾을 수 있다고 한 응답과 서로 다른 결과이다. 측정 단계에 측정의 불확실성에 대한 인식이 일관성 있게 작용하지 않음을 알 수 있다.

**표 4**  
점 추론 유형 학생들의 대푯값 선정 방법의 분포

구분	대푯값 선정 방법				전체
	최빈값	중앙값	특정값	기타	
점 추론 유형 학생 수(%)	116(73.9)	27(17.2)	10(6.4)	4(2.5)	157(100)



### 3) 자료 비교 단계에서 추론 유형

자료 비교 단계에서는 서로 다른 두 조의 5회 측정치 값과 이들의 평균값을 보고, 어느 조의 결과가 더 좋은지에 대한 응답에서 나타난 추론 유형을 분석하였다. 두 조의 평균값의 일치 여부로 판단하는 점 추론 유형은 68.2%이며, 두 조의 측정값들이 흩어진 정도인 분산을 보고 자료를 비교하는 집합 추론적 인식을 보인 학생들은 24.7%로 나타났다. 측정값들의 흩어진 정도를 보는 인식이 부족함을 나타낸 것으로, 학생들은 측정값들의 흩어진 정도로 측정치의 정밀성을 이해하고 적용하는 것에 어려움이 있음을 알 수 있다. 선행 연구에서도 측정에 대한 이론 강의와 피드백을 통해서 과학 고등학교 학생들이 측정값들의 퍼짐과 정확도 정밀에 의한 자료 해석에서 의미 있는 변화가 나타나지 않았고(박종찬, 2009), 실험을 통해 대학교 1학년 학생들의 자료 수집이나 자료 처리와 같은 기술적인 면은 향상이 되었으나 자료를 비교하는데 바탕이 되는 측정치의 불확실성에 대한 이해가 비교적 낮게 나타난 연구 결과(Volkwyn *et al.*, 2008)와 같은 맥락으로 볼 때, 학생들은 측정결과를 판단할 때 측정값들의 흩어진 정도를 보는 것이 익숙하지 않음을 알 수 있다.

평균이 같고 측정값들의 분산이 다른 두 자료를 비교하는 문항에서, 평균이 같으면 서로 같은 결과라고 생각하는 점 추론 유형은 47.1%, 평균은 같지만 측정값들의 분산이 다르므로 다른 결과라고 생각하는 집합 추론 유형은 45.3%로 나타났다.

그러나 측정값들의 평균이 다르고 분산이 같은 두 자료를 비교하는 문항에서는 평균이 다르므로 다른 결과라고 생각하는 점 추론 유형이 89.2%, 평균은 다르지만 측정값들의 분산이 같으므로 같은 결과라고 생각하는 집합 추론 유형이 4.0%로 앞 문항에서 응답한 결과와 차이가 있었다. 자료 비교 단계의 상황만 다르고 같은 내용을 묻는 두 문항에 나타난 학생들의 추론 유형의 분포 차이는, 측정값들의 흩어짐을 보는 인식이 내면화되어 있지 않기 때문이라 판단된다. 두 문항의 구성을 보면 평균이 같고 측정값들의 분산이 다른 두 자료를 비교하는 문항에서는 측정 결과를 비교하는 기준이 언급되어 있고 언급된 기준들 중 동의하는 것을 선택하게 하여 인식 유형이 비교적 뚜렷이 나타났으나, 평균이 다르고 분산이 같은 측정값을 비교하는 문항에서는 기준에 대한 언급 없이 더 좋은 측

정 결과를 선택하도록 되어 있어서 측정값들의 분산에 대해 인식하지 못하는 기존의 생각들이 나타난 것으로 생각된다. 측정값들의 분포로부터 측정결과를 판단하는 것에 동의는 하되 그러한 인식이 내면화되어 있지 않음으로 인해 결과로 생각된다.

## 2. 학년에 따른 집합 추론 유형 분포

학년별 추론 유형 분포는 측정 단계별로 분석하였다. 각 측정 단계의 추론 유형은 측정 단계내의 문항들에서 분석한 추론 유형들의 평균 학생 수로 나타냈으며, 각 측정 단계별 학년에 따른 추론 유형 분포에 유의미한 차이가 있는지를 알아보기 위해  $\chi^2$ 검정을 하였다. 추론 유형이 불확실성에 해당하는 학생 빈도수가 5이하인 경우가 있으므로,  $\chi^2$ 검정을 할 때 불확실성에 해당하는 셀은 제외하였다. 학년별 추론 유형 분포 차이는 자료 비교 단계에서 유의미한 것으로 나타났고, 나머지 측정 단계들에서는 유의미하지 않았다. 7학년과 8학년 사이와 10학년 11학년 사이인 학교 급 내에서도 유의미한 차이가 나타나지 않았다. 전체학년 비교에서 유의미한 차이가 있었던 자료 비교 단계는, 7학년과 8학년 사이 그리고 10학년과 11학년 사이에서 유의미하지 않았으나 중학생과 고등학생들 사이에서 유의미한 차이가 있는 것으로 나타났다(표5). 집합 추론 유형의 빈도만 나타낸 [그림 5]를 보면 학년이 올라감에 따라 집합 추론 유형이 증가하고 있음을 알 수 있다. 따라서 학년별 추론 유형 분포 차이의 유의미성을 고려해 볼 때, 자료 비교 단계에서 중학생과 고등학생들 사이의 집합 추론 유형이 유의미하게 증가한다고 볼 수 있다.

이러한 결과는 학년에 따라 자료 비교와 관련된 내용을 학습한 경험이, 집합 추론 유형이 증가하는데 영향을 준 것으로 판단된다. 평균과 표준편차와 관련하여 수학교과 7학년 확률과 통계단원에서 평균을 이해하고 구하는 내용이 학습 목표로 제시 되어 있고(교육부, 1997a), 10학년 수학교과 산포도와 표준편차 단원에서 분산과 표준편차가 평균을 중심으로 변량이 흩어져 있는 정도를 나타내는 값이라는 것(교육부, 1997b)을 이해하도록 하고 있다. 이러한 학습 경험이 학년에 따라 집합 추론 유형이 증가하는데 영향을 준 것으로 생각된다. 또한 자료 비교에서 측정값들의 흩어짐을 보는 고등학생들의 비율이 50% 넘지 않은 것

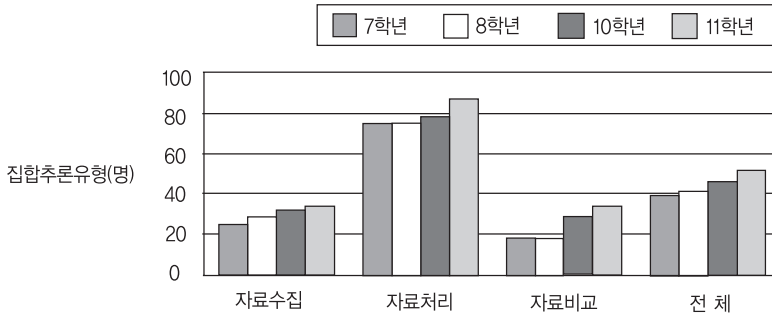


그림 5 측정 단계별 학년에 따른 집합 추론 유형 분포

표 5 측정 단계별 학교 급에 따른 추론 유형 분포

측정 단계	추론 유형	중학생	고등학생	$\chi^2$
		7,8학년(N=197)	10,11학년(N=200)	
자료 수집 (5문항)	P	130	124	1.246
	S	54	66	
	U	13	10	
자료 처리 (3문항)	P	35	32	0.472
	S	150	165	
	U	12	3	
자료 비교 (2문항)	P	143	129	7.638*
	S	36	63	
	U	18	8	
전체	P	103	94	2.017
	S	80	98	
	U	14	8	

\*p<0.05, P: 점 추론, S: 집합 추론, U: 불확실.

은 분산과 표준편차에 대한 학습이 10학년에서 이루어져 학습 경험이 있는 학생이 적었기 때문에 전체적으로 낮은 비율을 보인 것으로 생각된다. 평균으로 대푯값을 선정하고 평균을 기준으로 측정값들의 분포를 파악하여 측정 결과의 신뢰성을 판단하는 이러한 인식들이 관련된 내용의 학습 유무에 따라 차이가 있음을 알 수 있으며, 이는 측정에 대한 교육의 효과를 보여 준다고 할 수 있다. 실제 측정이 이루어지는 과학 실험수업에서 명시적인 안내는 물론 수학교과에서 배운 측정과 관련된 내용들과 연계하여 학습이 이루어질 필요가 있다.

### 3. 측정의 불확실성에 대한 추론 유형

측정의 불확실성에 대한 인식은 정확한 참값을 얻을 수 있는지 여부에 따라 점 추론 유형과 집합 추론

유형으로 구분된다. 추론 유형 분포를 분석한 결과, 점 추론 유형이 24.2%, 집합 추론 유형이 73.3%로, 측정을 통해 정확한 참값을 얻을 수 없다고 생각하는 집합 추론 유형이 높게 나타났다(표6). 그러나 측정의 불확실성에 대한 집합 추론적 인식을 바탕으로 측정이 이루어져야 할 측정 과정에서, 자료 처리 단계에서만 집합 추론 유형이 높았고, 자료 수집과 자료 비교 단계의 집합 추론 유형이 낮았다(그림4). 이는 학생들이 측정이 정확하게 이루어질 수 없다는 생각에 동의

표 6 측정의 불확실성에 대한 추론 유형 분포

항목	추론 유형	학생 수 (%)
측정의 불확실성	P	96(24.2)
	S	291(73.3)
	U	10(2.5)

하고 있으나 실제 측정이 이루어지는 각 단계에서 일관성 있게 적용하지 못하고 있는 것으로 생각된다.

측정의 불확실성에 대한 교육의 효과를 보기 위하여 추론 유형의 학년별 차이를 검정한 결과에서는 전체 학년과 7학년과 8학년 사이 그리고 10학년과 11학년 사이 모두 유의미하지 않은 것으로 나타났다. 중학생과 고등학생들 간에도 유의미한 차이가 없었다(표7).

측정의 불확실성 개념은 측정 자료가 일정 정도의 변동이 있고, 하나의 단일한 값으로 수렴할 수 없다는 인식으로 자료 수집과 자료 처리, 자료 비교의 각 측정 단계에 포괄적으로 작용하는 인식이다. 측정이 이루어질 때 이러한 인식의 작용 여부에 따라 서로 다른 결론을 얻을 수 있다. 과반수의 학생들이 측정이 정확하게 이루어질 수 없다고 생각하고 있지만 이러한 학생들의 생각이 따라 유의미하게 증가하지 않았다는 것은 측정의 불확실성에 대한 실질적인 교육이 이루어지고 있지 않음을 의미한다. 측정의 불확실성에 대한 인식이 내면화되어 각 측정 단계에 일관성 있게 작용함으로써 측정을 통해 신뢰할 수 있는 결과를 얻을 수 있도록 측정의 불확실성에 대한 인식 교육이 이루어져야 함을 시사한다.

#### IV. 요약 및 결론

이 연구는 측정 상황에서 나타나는 중·고등학생들의 추론 유형을 분석하여 측정 인식에 대한 학습의 필요성을 찾고, 측정에 대한 학습 자료의 내용과 방법 설계에 도움을 주고자 하는 것이다. 측정 단계를 자료 수집, 자료 처리, 자료 비교로 나누어, 측정 단계별 추론 유형 분포와 학년에 따라 나타난 집합 추론 유형의 분포 차이를 분석하였고, 측정의 불확실성에 대한 학생들의 생각이 측정 단계에 일관성 있게 작용하는지 여부를 분석하였다.

측정 단계별 추론 유형은 자료 처리에서 집합 추론

유형이 높게 나타났고, 자료 수집과 자료 비교에서 낮게 나타났다. 집합 추론 유형의 학년별 차이는 자료 비교 단계에서 중학생과 고등학생 사이에 유의미한 차이가 있는 것으로 나타났다. 측정의 불확실성에 대한 인식은 집합 추론적 유형이 많았으나 학년에 따라 유의미한 차이가 없었다.

학생들은 측정을 통해 참값을 얻을 수 없는 것에 동의하고 있으나 이러한 인식이 측정이 이루어지는 단계에 일관성 있게 작용하지 못함을 알 수 있었다. 측정의 불확실성에 대한 인식이 실제 측정이 이루어지는 과정에 적용시키지 못하고, 단지 관련된 내용의 학습 경험 유무에 따라 추론 유형 분포가 다르게 나타난 것으로 생각된다. 실제 학교 실험 수업에서 반복 측정 한 값들의 대푯값으로 평균을 구하고 측정 결과에 대한 오차를 해석하는 과정은, 정도의 차이는 있으나 학생들이 대체로 경험하고 있으므로, 자료 처리와 측정의 불확실성에 대해서 과반수의 학생들이 집합 추론적 인식을 나타내고 있다고 생각된다. 집합 추론이 학년에 따라 유의미하게 증가하지 않는 것 또한 관련된 내용의 학습 경험이 추론 유형에 영향을 준다는 측면에서 생각해 볼 수 있다. 자료 비교 단계에서 고등학생들의 집합 추론 유형이 중학생들보다 높게 나타난 결과는, 자료 비교와 관련된 평균과 표준편차에 대하여 10학년 수학교과와 산포도와 표준편차 단원에서 학습한 경험이, 측정값들을 비교하는데 이들을 고려하게 된 것으로 생각된다.

측정 결과는 자료를 수집하고, 처리하고, 해석하는 측정 과정에서 측정을 통해 참값을 얻을 수 없다는 인식을 바탕으로 이끌어진 것일 때 신뢰할 수 있다. 학생들에게 실제 측정하는 상황을 제시하여 측정의 불확실성에 대해 생각해 볼 기회를 제공하고, 실험 수업에서 참값과 근삿값, 오차, 측정값들의 평균 및 표준편차와 같은 측정 관련 내용에 대해, 교사의 직접적인 교수가 이루어져야 할 것으로 판단된다. 또한 학생들

표 7  
측정의 불확실성에 대한 학교 급별 추론 유형 분포

항목	추론 유형	중학생	고등학생	$\chi^2$
		7,8학년(N=197)	10,11학년(N=200)	
측정의 불확실성	P	48	48	0.008
	S	144	147	
	U	5	5	

P: 점 추론, S: 집합 추론, U: 불확실

이 수학 교과에서 학습한 이러한 측정 관련 내용을 과학 실험 상황에 잘 연계할 수 있어야 한다. 무엇보다 측정을 통해 참값은 본질적으로 얻을 수 없다는 집합 추론적 인식은, 학생들을 가르치는 교사들에게 우선적으로 필요한 것이므로 교사와 예비교사들에게 측정 인식에 대한 이러한 교육의 기회가 필요할 것으로 생각된다.

이 연구는 학생들이 지필검사지에 서술한 응답내용을 부호화된 분류 틀에 제시된 기준만으로 추론유형을 결정할 것이므로, 학생들이 생각이 충분히 나타나지 못한 제한점이 있다. 학생들이 생각하는 측정의 본성에 대하여 실질적으로 이해하기 위해서 면담을 통한 학생들의 인식 파악이 필요할 것으로 생각된다.

## 국문 요약

이 연구는 중·고등학생들의 측정 인식에 나타난 추론 유형을 분석하여 과학 교육의 시사점을 얻는 데 있다. 연구 대상은 중학생 197명과 고등학생 200명으로 하였다. 측정에 대한 인식 조사를 위하여 검사지 PMQ1을 사용하였고, 검사지의 문항별 응답 내용은 부호화된 분석틀을 기준으로 점 추론과 집합 추론 유형으로 분석하였다. 분석한 추론 유형을 자료 수집, 자료 처리, 자료 비교로 나누어 측정 단계별 추론 유형 분포 및 학년별 집합 추론 유형 분포 차이를 분석하였다. 또한 측정의 불확실성에 대한 추론 유형 분석을 통해 각 측정 단계별 나타난 추론 유형과 비교 분석하였다. 측정 단계별 추론 유형 분포에서 집합 추론 유형은, 자료 처리에서 높게 나타났고, 자료 수집과 자료 비교에서 낮게 나타났다. 측정 단계별 학년에 따른 집합 추론 유형 분포는 자료 비교 단계에서 중학생들과 고등학생들 사이에 유의미한 차이가 있었다. 측정의 불확실성에 대한 인식은 집합 추론 유형이 높게 나타났으나 학년에 따라 유의미한 차이는 없었다. 측정을 통해 신뢰할 수 있는 결과를 얻기 위해서는 각 측정 단계에서 측정의 불확실성에 대한 인식이 일관성 있게 작용해야 하며 이는 학생들에게 측정에 대한 직접적인 교수 학습이 필요함을 시사한다.

## 참고 문헌

교육부 (1997a). 중학교 교육과정 해설(Ⅲ)-수학,

과학, 기술·가정-. 교육부 고시 제1997-15호.

교육부 (1997b). 고등학교 교육과정 해설-5수학-. 교육부 고시 제1997-15호.

김원경 (2011). 교사를 위한 확률과 통계학. 교우사.

박종찬, 강영창, 신광문, 이성묵, 이재봉(2009). 측정 개념을 가르치기 위한 실험모듈 개발과 수업적용 효과. 새물리, 58(3), 325-339.

서정아 (2002). 측정이론에 관한 중학교 1학년 학생의 선 개념 조사. 한국과학교육학회지, 22(3), 455-465.

신광문, 강영창, 이성묵, 이재봉 (2011). 대학생들의 물리실험에서 측정 활동 분석틀 개발 및 적용. 한국과학교육학회지, 31(1), 115-127.

양승갑, 박명수, 박원선, 배종숙, 성덕현, 이성길, 홍우칠 (2001). 중학교 수학 8-가, 금성출판사.

양일호, 임성만, 임재근, 송진령 (2009). 측정과 관련된 실험 활동에서 보이는 초등학생의 대푯값 선정 및 신뢰 방법 분석. 초등과학교육, 28(3), 263-276.

이봉우 (2005). 외국 과학교육과정의 탐구기준 비교 분석. 한국과학교육학회지, 25(7), 873-884.

이봉우, 김희경 (2007). 외국 과학교육과정의 관찰과 측정 기준 분석. 초등과학교육, 26(1), 87-96.

이봉우, 박보화, 김희경 (2007). 우리나라 3-10학년 과학 교과서에 나타난 기초탐구과정 분석: 관찰 및 측정 탐구요소를 중심으로. 한국과학교육학회지, 27(5), 421-431.

이재봉 (2006). 측정 자료의 오차와 불확실도에 대한 학생들의 이해. 새물리, 52(5), 436-446.

이재봉, 이성묵 (2006). 학생들의 측정불확실도 개념의 결핍으로 인한 물리탐구과정에서의 어려움 분석. 한국과학교육학회지, 26(4), 581-591.

장정화 (2004). 과학 측정활동에서 중학생들의 추론 유형, 서울대학교, 교육학석사학위논문.

한국표준과학연구원 (1998). 측정불확도표현지침. 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.

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.

Buffler, A., Lubben, F., & Ibrahim, B. (2009). The relationship between students' views of the nature of science and their views of the nature of scientific measurement. *International Journal of Science Education*, 31(9), 1137-1156.

University of Cambridge International Examinations(2010). *Physics AS Level and GCE A-Level syllabus*. Online Available: <http://www.cie.org.uk>.

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.

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.

National Research Council(1996). *National Science Education Standards*. Washington, D.C, USA: National Academy Press.

National Research Council(2000). *Inquiry and the National Science Education Standards*. Washington, D.C, USA: National Academy Press.

Pillay, S., Buffler, A., Lubben, F., & Allie, S.(2008). Effectiveness of a GUM-compliant course for teaching measurement in the introductory physics laboratory. *European Journal of Physics*, 29, 647-659.

Volkwyn, T.S., Allie, S., Buffler, A., & Lubben, F.(2008). Impact of conventional laboratory course on the understanding of measurement. *Physical Review Special Topics Physics Education Research*, 4(010108), 1-10.