

측정의 본성에 대한 초등학생들의 인식론적 견해

양찬호 · 이지현 · 김영훈 · 노태희
(서울대학교)

Elementary Students' Epistemological Views on the Nature of Scientific Measurement

Yang, Chanho · Lee, Jihyeon · Kim, Younghoon · Noh, Taehee
(Seoul National University)

ABSTRACT

We investigated the elementary students' epistemological views on the nature of scientific measurement. The Views About Scientific Measurement (Ibrahim, 2005) was administered to 117 sixth graders. The analyses of the results indicated that there was an inconsistency in their epistemological views depending on the contexts of the measurement. They also had some difficulties in understanding a distribution of the data, which is needed to understand the necessity of repeating measurements, choosing a best representative value, and comparing data sets. They were found to have some naive views on scientific measurement which influenced negatively for fostering modern epistemological views on the nature of scientific measurement. The results suggest that the nature of scientific measurement should be emphasized explicitly in the national curriculum, and an effective method which improves elementary students' epistemological views on the nature of scientific measurement also be developed.

Key words : nature of scientific measurement, epistemological views, elementary student

I. 서 론

인식론은 지식의 본질과 지식을 형성하고 알아 가는 방법을 다루는 영역으로, 최근 과학교육에서는 과학 지식의 형성 과정에 대한 인식론적 이해를 강조하고 있다. 미국의 Benchmarks for science literacy(American Association for the Advancement of Science, 1993)에서는 과학 지식의 형성 과정에 대한 이해를 과학적 소양의 하나로서 교육과정에서 명시적으로 다룰 것을 제안하고 있으며, Inquiry and the national science education standards(National Research Council, 2000)에서는 학생들이 탐구를 통해 과학 지식의 형성 과정과 증거의 개념을 이해할 수 있도록 하는 탐구 수업 규준의 마련이 필요하다고 제안하

고 있다. 이는 과학 지식의 형성 과정에 대한 현대적인 인식론적 견해가 바탕이 되어야만 과학적 개념과 과정적 지식을 바르게 이해할 수 있기 때문이다(Lederman & O'Malley, 1990; Tsai, 1999). 즉, 학생들이 과학지식의 형성 과정에 대한 현대적인 인식론적 견해를 지닐 때, 개념을 단순히 암기하는 것이 아니라 그 본질적인 측면까지 이해할 수 있으며, 사실을 확인하기 위한 실험을 하기보다는 데이터를 증거로 활용하여 지식주장을 하는 과정에 주목할 수 있다. 실제로, 과학지식의 형성 과정에 대해 현대적인 인식론적 견해를 지닌 학생들이 실험 결과를 해석할 때 동료와의 논의를 중요시하는 경향이 있을 뿐 아니라, 관련 개념을 보다 깊이 있게 이해하는 것으로 나타났다(Tsai, 1999). 또한, 과학적 지식

은 변화 가능하며 해석을 통해 도출된 것이라고 생각하는 학생들이 과학적 지식은 변하지 않는 사실이라고 생각하는 학생들보다 개념 이해 수준이 높았다(Songer & Linn, 1991).

과학 지식의 형성 과정에 대한 현대적인 인식론적 견해를 형성하기 위해서는 실험을 통해 얻은 자료가 어떻게 타당한 과학적 증거가 될 수 있는지를 이해하는 것이 핵심이다(NRC, 2000). 따라서 학생들이 측정 도구를 선택하거나 눈금을 읽는 것뿐만 아니라, 실험을 설계하고 실험을 통해 얻은 자료를 분석하여 결론을 도출하고 평가하는 일련의 과정인 측정(Perry, 1998)에 대해 올바르게 이해하고, 수행하는 것은 과학 지식의 형성 과정에 대한 현대적인 인식론적 견해 형성에 매우 중요하다. 이를 위해 학교 과학수업에서는 학생들의 측정 능력의 향상뿐만 아니라 측정의 본성에 대한 이해도 강조되어야 한다. 즉, 참값에 대한 근삿값인 측정값은 본질적으로 불확실하여 참값으로부터 무작위적인 편차를 보이며 분포한다는 점(ISO, 1995)을 고려하여 자료를 수집해야 하며, 이를 바탕으로 타당한 지식 주장이 가능하다(Rezba *et al.*, 2003)는 것을 학생들이 이해하도록 할 필요가 있다. 그러나 우리나라 초등 과학과 교육과정에서는 측정의 불확실성과 이에 따른 측정의 오차, 반복측정의 필요성 등과 같은 측정의 본성에 대한 내용이 거의 다루어지지 않고 있다(이봉우 등, 2007). 이에 단순히 실험을 통해 측정 활동을 경험하고, 그 기능을 익히는 수준의 교수학습이 주로 이루어지고 있을 뿐, 측정의 본성에 대한 학습은 제대로 이루어지지 않고 있다.

한편, 어린 학생들도 ‘안다’는 것이나 ‘지식’에 대한 초기 형태의 인식론을 형성할 수 있으며(Conley *et al.*, 2004; Mansfield & Clinchy, 2002), 의도적인 교육과정에 의해 이들의 인식론적 견해를 향상시킬 수 있다(Chandler *et al.*, 2002; Smith *et al.*, 2000)는 주장을 바탕으로 초등학생들의 인식론적 제약에 대한 재평가가 이루어지고 있다. 또한, 미국의 Principles and standards for school mathematics(National Council of Teachers of Mathematics, 2000)에서는 자료집합의 특성을 이해하고, 그 분포를 비교하는 능력과 자료에 기초하여 추론과 예측을 하는 과정에서 통계적 사고를 활용하는 능력이 초등학교 고학년 학생에게 요구된다고 제시하고 있다. 이로 볼 때, 초등학생들은 기초 수준의 통계적 사고를

바탕으로 측정의 불확실성을 이해하고 측정의 본성에 대한 인식론적 견해를 형성할 것으로 기대되므로, 측정의 본성에 대한 초등학생들의 인식론적 견해를 조사하는 것은 충분히 의미 있는 일이라 할 수 있다. 특히, 개인의 인식론적 견해는 일단 형성되면 변화시키기가 매우 어려우므로(곽영순, 2002), 인식론적 견해를 형성해 나가는 초등학생 때부터 학생들이 측정의 본성에 대한 현대적인 인식론적 견해를 형성할 수 있도록 관심을 기울일 필요가 있다.

그런데 측정의 본성에 대한 인식론적 견해와 관련된 선행연구들은 주로 대학생(Buffer *et al.*, 2009; Kung, 2005; Rollnick *et al.*, 2002)을 대상으로 이루어져 인지적·정의적 수준이 다른 우리나라 초등학생들에게 그 결과를 적용하기에는 무리가 있다고 볼 수 있다. 초등학생을 대상으로 한 연구도 일부 이루어졌는데(Varelas, 1997), 많은 학생들이 반복측정의 의미를 바르게 이해하지 못할 뿐 아니라, 참값이라고 생각되는 하나의 값을 대푯값으로 선정하는 등 측정의 본성에 대한 이해가 부족한 것으로 나타났다. 그러나 이러한 연구는 반복측정이나 대푯값 선정과 같은 일부 영역에 한정되어 측정의 본성에 대한 학생들의 인식론적 견해를 종합적이고 포괄적으로 조사하지 못하였다. 국내에서도 초등학생들의 측정에 대한 이해를 조사한 연구들이 일부 이루어졌다(양일호와 김후선, 2004; 양일호 등, 2008, 2009). 연구 결과, 많은 학생들이 자신과 다른 사람의 측정 결과에 차이가 있는 경우에는 측정값을 신뢰하지 않는 등 측정값의 분포에 대한 이해가 부족하였고, 대푯값의 선정 방법을 제대로 알지 못하는 것으로 나타났다. 이러한 연구들에서는 학생들에게 실제로 측정을 수행하도록 한 후 측정에 대한 생각을 조사하였는데, 학생들이 자신이 수행한 행동을 준거로 응답하는 경우가 많아 측정의 본성에 대한 학생들의 인식론적 견해를 구체적으로 조사하는 데는 한계가 있다. 따라서 학생들의 측정의 본성에 대한 인식론적 견해를 조사하기 위해서는 과학자들이 수행하는 전문적인 측정 상황을 제시하고, 그에 대한 학생들의 견해를 알아볼 필요가 있다.

이에 본 연구에서는 초등학생들이 가지고 있는 측정의 본성에 대한 인식론적 견해의 특징을 조사하였다.

II. 연구 내용 및 방법

1. 연구 대상 및 절차

본 연구는 서울시에 있는 초등학교의 6학년 4학급 117명(남학생 61명, 여학생 56명)의 학생들을 대상으로 하였다. 연구 대상 학생들은 학교 과학수업을 통해 한 달에 1~2회 정도 측정 활동을 경험하는 것으로 조사되었다. 또한, 이들은 5학년 수학수업에서 평균의 개념을 이미 학습하였다.

학생들의 측정의 본성에 대한 인식론적 견해를 조사하기 위해 서술형 검사를 실시하였다. 담임교사의 참석 하에 연구자가 직접 학생들에게 연구의 목적 및 내용에 대해 설명한 후, 검사지 첫 장에 적혀 있는 검사지 작성 방법과 주의사항을 학생들과 함께 읽었다. 또한, 학생들에게 궁금한 점을 질문하도록 하여 검사 과정에 대해 충분히 이해할 수 있도록 하고, 예시 문항을 활용하여 검사지 작성 방법을 자세히 설명하였다. 검사에는 평균적으로 40분 정도가 소요되었다.

2. 검사 도구

측정의 본성에 대한 학생들의 인식론적 견해를 조사하기 위해 Views About Scientific Measurement (VASM; Ibrahim, 2005)를 수정하여 사용하였다. 이 검사지는 측정의 본성에 대한 8문항과 과학의 본성에 대한 6문항으로 이루어져 있는데, 이 중 측정의 본성에 대한 문항만을 선정하여 검토하였다. 측정의 본성에 대한 8문항 중 6문항은 과학자들이 지구 자기장을 측정하는 특정 상황에 바탕을 두고 있으며, 나머지 2문항은 일반적인 상황에서 측정과 관련된 내용을 묻고 있다. 모든 문항은 선다형이나 단답형의 질문에 응답한 후, 그렇게 생각한 이유를 자세히 서술하도록 구성되어 있다. 수차례의 전문가 검토를 거쳐 문항을 번역하였고, 연구 대상이 아닌 초등학교 6학년 1개 학급을 대상으로 예비 검사를 실시하였다. 이후, 선행연구(Ibrahim, 2005)의 분석틀을 기준으로 예비 검사 결과를 분석하여 검사 문항에 대한 학생들의 이해 정도와 가독성을 점검하여 문항을 수정·보완하였다. 이 검사에는 반복측정의 필요성에 대한 문항이 두 문항 포함되어 있었는데, 예비 검사 결과 학생들이 구체적인 측정 상황이 주어지지 않았을 때 문항의 의도를 더 잘 파악하는 것으로 나타났다. 이에 과학교육 전문가와의 논의를 통해 두

문항 중 구체적인 측정의 맥락이 주어지지 않은 문항을 선정하여 사용하였다. 최종 검사지는 온도 측정, 지구 자기장 측정, 반복측정의 필요성, 대푯값 선정, 자료집합의 비교, 과학과 일상생활에서의 측정, 참값의 측정에 대한 7문항으로 구성하였으며, 과학교육 전문가 2인과 초등학교 교사 2인에게 적절성과 타당성을 검증받았다.

3. 분석 방법

학생들의 응답을 분석하기 위해 선행연구(Ibrahim, 2005)의 분석틀을 활용하였다. 이 분석틀은 VASM의 각 문항별로 학생들이 서술한 이유를 검토하여 반복적으로 나타나는 진술을 범주화하는 과정을 통해 제작되었다. 이 분석틀을 참고하여 일부 학생들의 검사지를 분석하여, 각 문항에 대한 상세한 초기 분석틀을 제작하였다. 이를 바탕으로 연구자 2인이 공동으로 모든 학생들의 응답을 분석하였으며, 이 과정에서 초기 분석틀을 지속적으로 확장하였다. 그 후 연구자 간의 논의를 통해 세부 응답들 중 유사한 의미를 가진 응답들을 범주화하여 각 문항별로 최종 응답 유형을 만들었다. 또한, 학생들의 최종 응답 유형을 Buffer 등(2001)이 제안한 ‘점 패러다임’과 ‘집합 패러다임’으로 분류하였고, 견해가 혼재되어 있거나 분명히 드러나지 않은 응답은 ‘분류불가’로 구분하였다. 점 패러다임과 집합 패러다임에 해당하는 인식론적 견해의 구체적인 특징을 표 1에 제시하였다. 점 패러다임에 해당되는 인식론적 견해를 지닌 학생들은 각각의 측정결과를 서로 독립적인 것으로 여기며 그 중 하나의 값에 근거하여 결론을 내리는 반면, 집합 패러다임에 해당되는 인식론적 견해를 지닌 학생들은 다수의 측정값들을 전체적으로 고려하여 측정값의 분포에 근거한 결론을 내리는 특징이 있다.

문항별 최종 응답 유형을 바탕으로 각 문항에서 나타난 측정의 본성에 대한 견해를 비교하여 공통적으로 해석할 수 있는 문항들을 범주화하였다. 이를 통해 학생들의 측정의 본성에 대한 인식론적 견해의 특징을 도출하였다.

분석의 타당도와 신뢰도를 높이기 위해 과학교육 전문가 4인, 현직 교사 3인, 과학교육전공 대학원생 2인으로 구성된 소그룹에서 문항별 분석틀 제작과 응답 유형의 범주화, 문항별 견해의 특징 비교 및 범주화 과정에 대한 세미나를 수차례 실시하였다.

표 1. 점 패러다임과 집합 패러다임에 해당하는 인식론적 견해의 특징

점 패러다임	집합 패러다임
(a) 측정을 통해 참값을 얻을 수 있다.	(a) 측정을 통해 참값을 얻을 수 없다.
(b) 측정 과정에서 발생하는 오차를 완전히 없앨 수 있다.	(b) 측정에는 항상 어느 정도의 불확실성이 존재한다.
(c) 각각의 측정 결과는 하나의 '점 같은' 독립적인 값이다.	(c) 측정값은 참값에 대한 근사이고 참값과의 편차가 무작위로 발생하므로, 측정 결과들이 일정한 분포를 형성한다.

III. 연구 결과 및 논의

학생들의 응답을 각 문항별로 분석한 결과, 초등학생들은 측정 상황에 따른 인식론적 견해의 일관성이 부족하고 측정값의 분포에 대한 이해 수준이 낮으며, 측정의 불확실성에 대한 고려없이 과학에서 이루어지는 측정의 정확성을 신뢰하는 등 현대적인 인식론적 견해를 보유하지 못한 경우가 많은 것으로 나타났다. 이와 같은 초등학생들의 측정의 본성에 대한 인식론적 견해의 특징이 드러난 문항별로 범주화하여 결과를 제시하고 논의하였다.

1. 측정 상황에 따른 인식론적 견해의 일관성

1) 온도 측정

이 문항은 아날로그 장비를 이용하여 온도를 측정하는 상황에서 그림으로 제시된 온도계의 측정값을 어떻게 읽는지 알아보고, 그 값을 어떻게 해석하는지 조사하기 위한 것이다. 학생들의 구체적인 응답 유형을 표 2에 제시하였다.

분석 결과, 전체 학생의 86.3%가 점 패러다임으로 분류되었으며, 이들 중 거의 대부분은 '온도계의

바늘이 가리키는 대로 정확하게 온도를 읽을 수 있다'(유형 1)고 응답하였다. 반면에 13.7%의 학생들만이 집합 패러다임에 해당하는 인식론적 견해를 가지는 것으로 나타났다. 이는 온도 측정과 관련된 학생들의 사전 경험과 관련이 있는 것으로 생각된다. 제7차 초등 과학과 교육과정에 따르면, 학생들은 3학년 때부터 온도계 사용법을 배우고 온도 측정 활동을 수행한다. 그러나 실제 초등 과학수업에서는 실험 도구의 조작에 초점을 둔 측정 활동(handson)이 주로 이루어지고 있을 뿐, 측정 활동의 의미에 대해 생각해보는 활동은 상대적으로 소홀히 다루어지고 있다(고민아, 2006). 이에 따라, 학생들은 온도계를 사용하여 측정을 할 때, 측정의 본질적인 불확실성 때문에 측정 조건을 개선하더라도 정확한 측정이 불가능하다는 것을 고려하지 못하는 것으로 해석할 수 있다. 또한, 학생들은 길이처럼 쉽게 변하지 않는 정적인 특성을 지닌 측정 대상은 주의 깊은 측정을 통해 정확히 측정할 수 있다고 생각하는 경향이 있는 것으로 보고되었다(Allie et al., 1998). 일반적으로 이루어지는 온도 측정 과정은 시간에 따른 온도의 변동이 작기 때문에, 학생들이 측정 대상인 온도의 정적인 특성에 주목하여 점 패러

표 2. 온도 측정 문항에 대한 학생들의 응답

(N=117)

패러다임	응답 유형	명(%)
점	1 온도계의 바늘이 가리키는 대로 정확하게 온도를 읽을 수 있다.	99(84.6)
	점 패러다임 기타 응답	2(1.7)
	계	101(86.3)
집합	2 측정값은 대략적이며 반드시 오차가 있으므로 정확한 측정이 불가능하다.	12(10.3)
	3 아무리 성능이 좋은 온도계도 한계가 있기 때문에 정확히 측정할 수 없다.	3(2.6)
	집합 패러다임 기타 응답	1(0.9)
계		16(13.7)
분류불가		0(0.0)
합계		117(100)

다임에 해당하는 인식론적 견해를 나타냈을 가능성도 있다.

2) 지구 자기장 측정

디지털 장비를 이용하여 지구 자기장을 측정할 때 자기장 측정 장비에 나타난 값을 학생들이 어떻게 해석하는지 조사한 문항의 구체적인 내용을 그림 1에, 학생들의 응답은 표 3에 정리하였다.

절반 이상(66.1%)의 학생들이 집합 패러다임으로 분류되었으며, 이 중 ‘측정값은 대략적이며 반드시 오차가 있으므로 정확한 측정이 불가능하다’(유형 2), ‘아무리 성능이 좋은 장비도 한계가 있기 때문에 정확한 측정이 불가능하다’(유형 3)는 응답이 가장 많은 것으로 나타났다. 한편, 이 문항은 측정값에 대한 인식론적 견해를 알아보기 위한 것이므로, ‘지

구 자기장은 변한다’와 같이 단순히 학생의 존재론적 견해만이 드러나 인식론적 견해를 알 수 없는 응답은 분류불가로 분류하였다.

온도 측정 문항에서와는 달리 다수의 학생들이 집합 패러다임에 속한 것으로 나타났다. 집합 패러다임으로 분류된 학생들이 서술한 응답의 이유는 측정 대상인 지구 자기장이 매우 미세한 값을 갖는데 디지털 장비가 표현할 수 있는 소수점 자릿수에 한계가 있기 때문에 대략적인 값을 알 수 있을 뿐이라고 생각하는 경우가 22%로 가장 많았다. 또한, 집합 패러다임으로 분류된 학생들 중 16%는 지구 자기장이 지속적으로 미세하게 변하기 때문에 측정값에 오차가 발생하기 쉽다는 것과 같이 측정 대상의 속성을 자신의 인식론적 견해를 뒷받침하는 이유로 제시하였다. 이러한 응답들로 미루어 볼 때, 디지털

[이제 과학자들이 측정을 시작합니다. 그들은 먼저 디지털 눈금(단위: mT)으로 표시 되는 매우 민감한 장비로 지구 자기장을 측정합니다. 측정 결과는 다음과 같습니다.]



- ① 과학자들은 지구 자기장이 정확하게 0.137 mT라는 것을 알게 되었어.
 - ② 과학자들은 지구 자기장의 대략적인 값을 알았을 뿐이야.
 - ③ 아니야, 내 생각에는 _____
- [위와 같이 생각한 이유를 자세히 설명해 보세요.]

그림 1. 지구 자기장 측정 문항

표 3. 지구 자기장 측정 문항에 대한 학생들의 응답

(N=115)

패러다임	응답 유형	명(%)
점	1 성능이 좋은 장비로 측정하면 정확한 측정 결과를 얻을 수 있다.	9(7.8)
	점 패러다임 기타 응답	12(10.4)
	계	21(18.3)
집합	2 측정값은 대략적이며 반드시 오차가 있으므로 정확한 측정이 불가능하다.	24(20.9)
	3 아무리 성능이 좋은 장비도 한계가 있기 때문에 정확한 측정이 불가능하다.	18(15.7)
	4 평균을 구하기 위해 반복측정해야 한다.	9(7.8)
	5 측정할 때 외부 요인을 통제하는 것이 불가능하므로 정확히 측정할 수 없다.	4(3.5)
	집합 패러다임 기타 응답	21(18.3)
계		76(66.1)
분류불가		18(15.7)
합계		115(100)

장비로는 정확한 값을 측정하는데 한계가 있으며, 지구 자기장은 지속적으로 변하기 때문에 성능이 좋은 장비로 측정해도 측정값에 오차가 발생하기 쉽다는 학생들의 생각이 정확한 측정이 불가능하다는 견해의 형성에 영향을 미쳤을 가능성이 있을 것으로 해석된다.

두 문항에 대한 응답에서 학생들이 측정 대상이나 장비 등과 같은 측정 상황의 차이에 따라 측정의 본성에 대해 다른 인식론적 견해를 지니고 있음을 알 수 있다. 특히, 온도 측정 문항에서는 점 패러다임에, 자기장 측정 문항에서는 집합 패러다임에 해당하는 견해를 지닌 학생이 많았으며(58.1%), 반대의 경우도 4.3%이었다. 선행연구(Lubben *et al.*, 2001)에서 38%의 대학생들이 측정 상황의 차이에 따라 일관되지 못한 견해를 지니고 있었던 것과 비교하면, 다수의 초등학생들이 측정의 본성에 대한 일관된 인식론적 견해를 지니고 있지 못한 것을 알 수 있다. 뿐만 아니라, 두 문항 모두에서 집합 패러다임으로 분류된 학생이 6.8%에 불과한 것으로 나타나, 측정 상황의 차이에 관계없이 현대적인 인식론적 견해를 가지고 있는 학생이 매우 적은 것을 알 수 있다. 따라서 학생들이 측정 상황이 달라지더라도 측정의 본성에 대한 현대적인 인식론적 견해를 일관되게 지닐 수 있도록 돕기 위한 구체적인 방안을 1에 해당하는 학생들은 ‘여러 번 잴 때 그 답이 나오면 그게 답이다’, ‘여러 번 반복해서 같은 결과가 나오는 것을 써야 한다’ 등과 같이 생각하는 마련할 필요가 있다.

2. 측정값의 분포에 대한 이해

1) 반복측정의 필요성

반복측정의 필요성에 대한 문항에서는, 과학에서 한 번의 측정으로 정확한 결과를 얻을 수 있는지, 측정을 여러 번 반복해서 평균을 계산해야 하는지를 선택하고 그 이유를 자세히 설명하도록 하였다. 이에 대한 학생들의 응답을 표 4에 제시하였다.

대부분의 학생들이 과학에서 반복측정이 필요하다고 생각하는 것으로 나타났다. 이들은 ‘반복되어 나오는 값을 얻기 위해 여러 번 측정해야 한다’(유형 1), ‘여러 번 측정하면서 연습하여 오차를 없애면 정확하게 측정할 수 있다’(유형 2), ‘반복측정해서 평균을 구하면 좀 더 정확한 값을 얻을 수 있다’(유형 4)고 응답하였다. 반면에 ‘과학에서의 측정은 한번만으로도 정확하다’는 응답(유형 3)은 거의 없었다. 이처럼 많은 학생들이 반복측정의 필요성을 인식하였으나, 그 이유에는 차이가 있었다. 특히, 유형 2로 나타났는데, 이들은 측정값 전체의 분포를 고려하지 못하고 단순히 반복적으로 나오는 하나의 값에 주목하여 반복측정이 필요하다고 생각하는 것으로 해석할 수 있다. 또한, 반복측정하며 연습을 통해 오차를 없애는 것이 가능하다고 응답한 유형 2의 학생들도 유형 1의 학생들과 마찬가지로 측정의 불확실성이나 반복측정에 따른 측정값의 분포의 의미를 이해하지 못하고, 반복측정을 정확한 값을 얻기 위한 연습으로 간주하고 있음을 알 수 있다. 이는 학생들이 측정 기술을 향상시키거나, 첫 번째

표 4. 반복측정의 필요성에 대한 학생들의 응답

(N=117)

패러다임	응답 유형	명(%)
점	1 반복되어 나오는 값을 얻기 위해 여러 번 측정해야 한다.	29(24.8)
	2 여러 번 측정하면서 연습하여 오차를 없애면 정확하게 측정할 수 있다.	14(12.0)
	3 과학에서의 측정은 한번만으로도 정확하다.	5(4.3)
	점 패러다임 기타 응답	10(8.5)
계		58(49.6)
집합	4 반복측정해서 평균을 구하면 좀 더 정확한 값을 얻을 수 있다.	57(48.7)
	집합 패러다임 기타 응답	1(0.9)
	계	58(49.6)
분류불가		1(0.9)
합계		117(100)

측정값이 정확한지 확인하기 위해 반복측정을 하는 것으로 나타난 선행연구(양일호와 김후선, 2004; 양일호 등, 2009)의 결과와도 유사하다. 이러한 결과는 학생들이 반복측정의 필요성을 인식하더라도 측정의 본성에 대한 이해 수준이 낮을 가능성을 있음을 시사한다.

2) 대푯값 선정

이 문항은 반복측정으로 수집한 결과를 바탕으로 대푯값을 선정하는 과정에 대한 학생들의 생각을 조사하기 위한 것이다. 과학자들이 5회에 걸쳐 반복측정한 지구 자기장 값을 제시하고, 최종 측정값을 결정하여 적도록 하였으며, 그 이유를 자세히 설명하도록 하였다. 이 문항에 대한 학생들의 응답 유형을 표 5에 제시하였다.

전체 학생의 42.7%가 점 패러다임에 해당하는 인식론적 견해를 지닌 것으로 나타났으며, 측정값의 분포에 대한 고려 없이 반복적으로 나오는 하나의 값(유형 1)이나 마지막에 측정한 값(유형 2)이 정확하다고 생각하는 경우가 많았다. 제7차 초등 과학과 교육과정에는 측정값의 처리 과정에서 평균을 계산하는 활동이 거의 제시되어 있지 않은데(이봉우 등, 2007), 이는 측정 활동 중에 수학적으로 자료를 처리하는 방법에 대한 교수학습이 제대로 이루어지지 않고 있음을 의미한다. 이에 다수의 학생들이 대푯값 선정 과정에서 평균을 계산해야 함을 인식하지 못하고 특정 측정값에 주목하기 때문에, 이와 같은

결과가 나타난 것으로 해석할 수 있다.

반면에 54.7%의 학생들은 집합 패러다임에 속하는 것으로 나타났으며, 이들 중 대부분은 ‘평균을 계산하는 것이 정확하다’(유형 4)고 응답하였다. 이들은 ‘측정값이 매번 다르기 때문에 대략적으로 평균을 구해야 한다’ 등과 같이 특정한 측정값에만 집중한 것이 아니라 여러 측정값들을 전체적으로 고려하여 대푯값을 선정했기 때문에 집합 패러다임으로 분류되었다. 이들의 세부 응답을 살펴본 결과, 대부분의 학생들이 반복측정 후 평균을 계산하는 이유를 제시하지 않거나 측정값들이 서로 다르기 때문에 평균을 구해야 한다는 이유를 제시했다. 본 연구에서는 선행연구(Buffler *et al.*, 2001)의 기준에 따라 반복측정 후 평균을 계산하는 이유를 제시하지 않은 경우도 집합 패러다임으로 분류하였다. 선행연구(Varelas, 1997)에 따르면, 초등학생들 중에는 반복측정을 계획하였더라도 한 번만 측정해 보라는 권유를 받으면 반복측정 계획을 쉽게 포기하는 등 반복측정에 대한 견해가 확고하지 않은 경우가 있었다. 대학생 역시 대푯값 선정에 대해 평균을 계산하는 과정이 필요한 이유를 측정의 본성 차원에서 설명하지 못하는 경우가 적지 않은 것으로 보고되었다(Lubben *et al.*, 2001). 이로 미루어 볼 때, 학생들이 반복측정 후 평균을 계산하는 이유를 측정의 본성 측면에서 명확히 이해하지 못하였을 가능성이 있다. 즉, 자료를 수학적으로 처리하는 방법에 익숙한 학생이라 할지라도, 반복측정의 결과들이 분포

표 5. 대푯값 선정에 대한 학생들의 응답

(N=117)

패러다임	응답 유형	명(%)
점	1 반복적으로 나오는 값이 정확하다.	21(17.9)
	2 가장 마지막에 측정한 값이 정확하다.	18(15.4)
	3 중간에 측정한 값이 정확하다.	5(4.3)
	점 패러다임 기타 응답	6(5.1)
	계	50(42.7)
집합	4 평균을 계산하는 것이 정확하다.	53(45.3)
	5 중간 크기의 값을 계산하는 것이 정확하다.	8(6.8)
	집합 패러다임 기타 응답	3(2.6)
	계	64(54.7)
분류불가		3(2.6)
합계		117(100)

를 형성하므로 이를 고려하여 대푯값을 선정해야 한다는 것을 이해하지 못하였을 수 있다.

3) 자료집합의 비교

서로 다른 자료집합을 비교할 때의 학생들의 생각을 조사하기 위한 문항의 구체적인 내용을 그림 2에, 학생들의 응답을 표 6에 제시하였다.

전체 학생의 74.8%가 점 패러다임으로 분류되었으며, 대부분이 ‘두 팀의 평균이나 개개의 측정값에 차이가 있으므로 두 팀의 결과는 다르다’(유형 1)는 견해를 보였다. 반면에 집합 패러다임에 해당하는 인식론적 견해를 지닌 학생들은 전체의 21.7%에 불과하였으며, 주로 ‘오차를 감안하면 두 팀의 평균이나 개개의 측정값들이 비슷하므로 두 팀의 결과는 같다’(유형 3)고 생각하는 것으로 나타났다. 이상의 결과에서 알 수 있듯이 자료집합의 비교에 대한 학생들의 인식론적 견해의 수준은 전반적으로 낮았다. 이는 제7차 초등 과학과 교육과정의 과학 교과서에서는 자료의 분포를 고려하여 결과를 해석하는 활동이나 서로 다른 자료집합을 비교하는 활동이 제시되지 않기 때문(이봉우 등, 2007)으로 해석된다.

측정값의 분포를 고려하여 자료집합을 비교하는 것은 자료의 질을 판단하여 타당한 증거를 생성하고, 그에 따른 지식 주장을 할 수 있는 바탕이 되므로 매우 중요한 과정이라 할 수 있다(Campbell et al., 2005). 따라서 학교 과학수업에 학생들이 직접 측정한 값을 처리하는 활동뿐만 아니라 주어진 자료집합을 측정의 본성 측면을 고려하여 비교하고 평가하여 결론을 도출하는 활동도 포함시킬 필요가 있다.

세 문항들에 대한 학생들의 응답에서 볼 수 있듯이, 반복측정의 필요성이나 대푯값 선정, 자료집합의 비교에 대한 견해의 바탕이 되는 자료의 분포에 대한 학생들의 이해 수준은 비교적 낮은 편이었다. 즉, ‘반복측정의 필요성’ 문항과 ‘대푯값 선정’ 문항에 대해 집합 패러다임에 해당하는 인식론적 견해를 지닌 학생의 비율이 약 절반 정도였고, ‘자료집합의 비교’ 문항에서는 20% 정도의 학생들만이 측정값의 분포를 고려하는 것으로 나타났다. 이는 학생들이 반복측정 후 대푯값을 선정하는 과정의 의미를 올바르게 이해하지 못해, 자료집합의 비교에도 어려움을 겪는다는 것을 보여주는 결과로 해석된다. 따라서 학생들이 측정값의 분포와 같은 측정

[이제 과학자들은 자신들이 측정한 결과를 다른 과학자 팀의 측정 결과와 비교합니다. 과학자 A팀과 B팀은 같은 시간과 장소에서 같은 실험을 하였습니다. 과학자 A팀과 B팀에서 지구 자기장을 측정한 결과는 표와 같습니다.]

과학자 A팀 (mT)	0.137	0.128	0.138	0.128	0.134	평균 = 0.133
과학자 B팀 (mT)	0.128	0.140	0.134	0.127	0.126	평균 = 0.131

- ① 과학자 A팀의 결과와 과학자 B팀의 결과는 같다고 볼 수 있어.
 - ② 아니야. 과학자 A팀의 결과와 과학자 B팀의 결과는 같다고 볼 수 없어.
- [위와 같이 생각한 이유를 자세히 설명해 보세요.]

그림 2. 자료집합의 비교 문항

표 6. 자료집합의 비교에 대한 학생들의 응답

(N=115)

패러다임	응답 유형	명(%)
점	1 두 팀의 평균이나 개개의 측정값에 차이가 있으므로 두 팀의 결과는 다르다.	80(69.6)
	2 두 팀의 측정 조건과 방법이 같기 때문에 두 팀의 결과도 같다.	6(5.2)
	계	86(74.8)
집합	3 오차를 감안하면 두 팀의 평균이나 개개의 측정값들이 비슷하므로 두 팀의 결과는 같다.	22(19.1)
	집합 패러다임 기타 응답	3(2.6)
	계	25(21.7)
분류불가		4(3.5)
합계		115(100)

의 본성의 핵심적인 측면을 이해할 수 있도록 도울 필요가 있다.

3. 과학에서의 측정의 정확성에 대한 신뢰

1) 과학과 일상생활에서의 측정

이 문항은 과학과 일상생활에서의 측정에 대한 학생들의 생각을 조사하기 위한 것으로, 과학과 일상생활 모두에서 정확한 측정이 가능한지, 과학에서만 정확한 측정이 가능한지, 양쪽 모두 정확한 측정을 할 수 없는지를 선택하고, 그 이유를 자세히 설명하도록 하였다. 또한, 학생들이 생각하는 ‘정확한 측정’의 의미를 설명하도록 하였다. 이 문항에 대한 학생들의 응답 유형을 표 7에 제시하였다.

전체 학생의 77.8%가 점 패러다임에 속하는 것으로 나타났으며, ‘과학에서는 일상생활에서보다 성능이 좋은 도구로 측정하므로 정확한 측정이 가능하다’(유형 1)는 응답이 가장 많았다. 반면에 ‘과학과 일상생활 모두에서 측정값은 대략적으로 표현되며 오차가 있다’(유형 6) 등의 집합 패러다임에 해당하는 인식론적 견해를 지닌 학생은 17.9%에 불과하였다. 학생들이 생각하는 정확한 측정의 의미를 조사한 결과, 대부분의 학생들은 ‘대상의 양을 정확하게 측정하는 것’(56.4%), ‘오차 없이 숫자가 딱 떨어지게 측정하는 것’(33.3%)처럼 오차의 발생 여부

를 정확한 측정의 기준으로 생각하였다. 즉, 학생들은 오차가 없는 측정을 정확한 측정이라고 생각하였으며, 그 중 다수가 측정의 본질적인 불확실성을 고려하지 못한 채 과학에서는 오차 없이 정확한 측정이 가능하다고 생각하는 것으로 나타났다.

과학에서는 성능이 좋은 도구를 사용한다거나 과학적 지식을 바탕으로 전문적인 일을 하므로 정확하게 측정할 수 있다는 등의 응답으로 미루어볼 때, 측정 도구나 측정자에 대한 학생들의 생각이 이러한 결과에 영향을 미친 것으로 해석할 수 있다. 선행연구(서정아, 2002; 양일호와 김후선, 2004)에 따르면 학생들은 측정 도구의 문제나 측정자의 능력 부족을 측정 오차의 원인으로 생각하는 경우가 많았다. 예를 들어, 측정 도구가 정밀하지 않기 때문에 측정 결과에 오차가 발생하므로 정확한 측정을 위해서는 성능이 좋은 도구를 이용해야 한다고 생각하는 경우가 적지 않았다. 또한, 대다수의 학생들이 측정 능력에 개인차가 존재한다고 생각하는 것으로 나타났으며, 자신의 측정 능력을 불신하는 경향이 높았다. 이에 비해 초등학생들은 과학자를 비상한 존재로 인식하고 있으며, 자신과 비교하여 더 나은 존재로 평가하는 것으로 보고되고 있다(권난주, 2006). 따라서 학생들은 과학에서 이루어지는 측정 활동과 자신의 개인적인 측정 경험을 비교하여 단순히 과학에서는 전문적인 과학적 지식을 지

표 7. 과학과 일상생활에서의 측정 문항에 대한 학생들의 응답 (N=117)

패러다임	응답 유형	명(%)
점	1 과학에서는 일상생활에서보다 성능이 좋은 도구로 측정하므로 정확한 측정이 가능하다.	38(32.5)
	2 일상생활에 과학이 적용되므로 과학과 일상생활 모두에서 정확하게 측정할 수 있다.	13(11.1)
	3 과학에서는 실험 등의 전문적인 일을 하거나 과학적 지식이 있으므로 정확하게 측정할 수 있다.	7(6.0)
	4 과학과 일상생활 모두에서 오차 없이 정확하게 측정할 수 있다.	7(6.0)
	5 과학에서는 오차 없이 정확하게 측정할 수 있지만 일상생활에서의 측정은 오차가 있다.	4(3.4)
점 패러다임 기타 응답		22(18.8)
계		91(77.8)
집합	6 과학과 일상생활 모두에서 측정값은 대략적으로 표현되며 오차가 있다.	11(9.4)
	7 사람의 능력에 한계가 있으므로 과학과 일상생활 모두에서 정확한 측정이 불가능하다.	3(2.6)
	집합 패러다임 기타 응답	7(6.0)
계		21(17.9)
분류불가		5(4.3)
합계		117(100)

는 과학자들이 성능이 좋은 도구를 사용하여 측정하므로 정확한 측정이 가능하다고 생각할 뿐, 측정의 본질적인 불확실성에 대해서는 고려하지 못하는 경우가 많은 것으로 해석된다.

2) 참값의 측정

과학에서 참값의 측정이 가능한지에 대한 학생들의 생각을 조사하기 위한 문항에서는, 과학자들이 많은 돈과 최신 장비로 지구 자기장의 참값을 얻는 실험을 계획할 수 있는지, 어떻게 해도 지구 자기장의 참값을 절대 얻을 수 없는지를 선택하고, 그 이유를 자세히 설명하도록 하였다. 이 문항에 대한 학생들의 응답은 표 8에 정리하였다.

전체 학생의 37.9%가 점 패러다임으로 분류되었으며, 이 중에는 ‘과학이 발전하거나 좋은 도구를 만든다면 참값을 측정할 수 있다’(유형 1)는 응답이 가장 많았다. 이는 ‘과학과 일상생활에서의 측정’ 문항에서 과학에서는 성능이 좋은 도구로 측정하므로 정확한 측정이 가능하다고 생각하는 학생들이 많았던 것과 유사하게 과학에서의 측정의 정확성에 대한 신뢰가 반영된 결과로 볼 수 있다. 40.5%의 학생들은 집합 패러다임에 속하였으며, ‘측정값은 대략적이며 반드시 오차가 있으므로 참값을 측정할 수 없다’(유형 3) 등의 견해를 지닌 것으로 나타났다. 한편, 이 문항은 참값의 측정에 대한 인식론적 견해를 알아보는 것이므로 ‘지구 자기장이 변한다’와 같이 측정 대상에 대한 존재론적 견해만을 드러낸 응

답은 분류불가로 분류하였다.

집합 패러다임으로 분류된 학생의 비율이 점 패러다임으로 분류된 학생의 비율보다 약간 높은 것으로 나타났다. 특히, 측정값이 본질적으로 지닐 수밖에 없는 오차에 대한 견해를 드러낸 응답(유형 3)의 비율이 비교적 높았는데, 다른 문항들에서의 응답을 종합적으로 고려하였을 때 학생들이 측정의 불확실성에 대해 잘 이해하고 있음을 의미하는 결과로 보기는 어렵다. 오히려 단순히 참값에 대한 학생들의 경험과 그로부터 형성된 인식이 반영된 결과일 가능성이 있다. 학생들은 학교 과학수업에서 자신의 측정값에서 오차를 완전히 제거하지 못하는 경우를 쉽게 경험하게 된다. 이에 따라, 학생들이 참값은 실제로 측정하기 매우 어려운 이상적인 값이라는 인식을 갖게 되기 쉽다. 중학생을 대상으로 한 서정아(2002)의 연구에서도 학생들이 자신의 실수나 도구의 문제 때문에 측정값이 참값과 다르게 나왔다고 생각하는 경우가 많았다. 이러한 생각은 측정 능력의 제고나 측정 도구의 개선을 통해 참값의 측정이 가능할 수 있다는 견해로 연결될 수 있으므로, 측정 조건을 개선하더라도 참값의 측정이 본질적으로 불가능하다는 점을 강조할 필요가 있다.

두 문항에 대한 응답에서 학생들은 측정의 불확실성을 고려하지 못하고, 과학에서 이루어지는 측정의 정확성을 신뢰하는 경우가 많았다. 이러한 결과는 측정 도구나 측정자의 능력과 관련된 학생들의 개인적인 측정 경험과 과학에서의 측정에 대한 피

표 8. 참값의 측정에 대한 학생들의 응답 (N=116)

패러다임	응답 유형	명(%)
점	1 과학이 발전하거나 좋은 도구를 만든다면 참값을 측정할 수 있다.	32(27.6)
	2 계속해서 실험하거나 연구하다보면 참값을 측정할 수 있다.	4(3.4)
	점 패러다임 기타 응답	8(6.9)
	계	44(37.9)
집합	3 측정값은 대략적이며 반드시 오차가 있으므로 참값을 측정할 수 없다.	25(21.6)
	4 아무리 성능이 좋은 도구도 한계가 있으므로 참값을 측정할 수 없다.	10(8.6)
	5 인간의 능력에 한계가 있으므로 참값을 측정할 수 없다.	4(3.4)
	집합 패러다임 기타 응답	8(6.9)
	계	47(40.5)
분류불가		25(21.6)
합계		116(100)

상적인 인식이 측정의 본성에 대한 현대적인 인식론적 견해의 형성에 부정적인 영향을 미칠 수 있음을 시사하는 것으로 볼 수 있다. 따라서 정량적인 측정 과정에서 측정의 본성을 고려할 수 있는 기회를 제공함으로써 학생들이 적절한 측정 경험을 갖도록 할 뿐만 아니라, 과학자들의 측정에도 본질적인 불확실성이 존재함을 명시적으로 지도할 필요가 있을 것이다.

IV. 결론 및 제언

이 연구에서는 초등학생들의 측정의 본성에 대한 인식론적 견해의 특징을 조사하였다. 연구 결과, 대부분의 학생들은 측정 장비나 대상 등 측정 상황의 차이에 따라 일관된 인식론적 견해를 지니지 못하였으며, 반복측정의 필요성, 대푯값 선정, 자료집합의 비교에 대한 견해의 바탕이 되는 측정값의 분포에 대한 이해 수준이 비교적 낮은 것으로 나타났다. 또한, 과학에서는 성능이 좋은 도구를 사용하며, 과학적 지식을 바탕으로 실험 등과 같은 전문적인 일을 하므로 정확한 측정이 가능하다고 생각하는 등, 과학에서 이루어지는 측정의 정확성에 대한 신뢰가 반영된 측정의 본성에 대한 인식론적 견해를 지닌 경우가 많았다.

이러한 결과는 초등학생들이 측정의 본성에 대한 현대적인 인식론적 견해를 형성하지 못하고 있음을 의미한다. 이는 초등 과학과 교육과정에서 측정의 불확실성과 이에 따른 측정의 오차, 반복측정의 필요성 등과 같은 측정의 본성에 대한 내용이 거의 다루어지지 않고 있으며, 실제 교수학습 과정에서도 측정 활동에 내포된 의미를 제대로 다루지 않고 있는 것이 가장 큰 원인으로 해석된다. 따라서 초등학생들이 측정의 본성에 대한 현대적인 인식론적 견해를 형성할 수 있도록 하는 방안을 마련할 필요가 있다.

우선, 초등 과학과 교육과정에 측정의 본성과 연관 지어서 반복측정 후 자료를 처리하거나, 주어진 자료집합을 비교하여 타당한 결론을 내리는 등의 활동을 포함시키기 위한 논의가 이루어질 필요가 있다. 즉, 교육과정에서부터 측정의 본성에 대한 이해를 과학적 소양을 갖추는 데 필요한 핵심 요소로 강조해야 할 것이다. 이는 학생들이 측정의 본성에 대한 현대적인 인식론적 견해를 형성하도록 하려면

단순히 학생들의 측정 경험을 증가시키는 것으로는 부족하며, 측정의 본성과 관련된 내용을 명시적으로 가르치는 것이 효과적이기 때문이다. 이에 이 연구의 결과를 바탕으로 학생들의 측정의 본성에 대한 현대적인 인식론적 견해를 형성하기 위한 구체적인 교수 내용과 방법을 다음과 같이 제안할 수 있다.

첫째, 학생들이 측정 장비나 대상의 특성에 관계 없이 측정의 불확실한 본성 때문에 정확한 측정이 불가능함을 이해할 수 있도록 하는 것이 중요할 것이다. 예를 들어, 동일한 측정 대상을 서로 다른 장비로 측정하는 과제를 학생들에게 제공하고 결과에 차이가 있는지 논의하도록 한 후, 이를 측정의 본성과 연관 지어서 설명할 수 있도록 교사가 안내할 수 있다. 둘째, 학생들의 측정값의 분포에 대한 이해를 향상시킬 수 있는 방안을 마련할 필요가 있다. 이를 위해 반복측정을 통해 측정값에 변동이 생기는 것을 직접 확인해 보고 소집단별로 측정 결과를 비교 및 평가해 보는 기회를 학생들에게 제공할 수 있으며, 그 원인과 개선 방안에 대해 학급 전체를 대상으로 한 논의를 진행할 수 있다. 셋째, 학생들이 측정의 본질적인 불확실성을 고려하지 못하고 과학에서의 측정의 정확성을 신뢰하는 경향이 높다는 점을 고려한 교수학습이 이루어질 필요가 있다. 이를 위해 과학에서의 전문적인 측정 활동을 통해 얻은 측정값도 본질적으로 부정확하기 때문에 오차가 발생하며, 이를 개선하기 위해 과학자들도 여러 가지 노력을 한다는 점을 강조할 수 있을 것이다.

한편, 측정의 본성에 대한 효과적인 교수학습이 이루어지기 위해서는 초등교사들이 측정의 본성에 대한 현대적인 인식론적 견해를 갖는 것이 무엇보다 중요하다. 그러나 현직 초등교사들의 측정의 본성에 대한 인식론적 견해를 조사한 연구는 이루어지지 않았으므로 이에 대해 조사할 필요가 있다. 또한, 교육과정의 진행에 따라 측정의 본성에 대한 학생들의 견해의 변화를 파악하기 위해 중등학생을 대상으로 추후연구를 진행할 수 있을 것이다. 이러한 연구는 현재 학교 과학수업에서 이루어지고 있는 측정 지도의 실태를 점검하고 개선방안을 모색하는데, 유용한 정보를 제공할 수 있을 것으로 기대된다.

참고문헌

고민아(2006). 초등학교 4학년 화학 실험 영역에서의 학

- 생들의 실험 기구 조작 능력 조사. 한국교원대학교 교육대학원 석사학위논문.
- 곽영순(2002). 구성주의 프로파일로 표현된 예비교사들의 신념변화. 한국지구과학회지, 23(3), 242-258.
- 권난주(2006). 문장완성과 연상질문으로 알아본 과학과 과학자, 과학수업에 대한 초등학생과 초등교사의 인식. 과학교육논총, 19, 181-192.
- 서정아(2002). 측정이론에 관한 중학교 1학년 학생의 선 개념 조사. 한국과학교육학회지, 22(3), 455-465.
- 양일호, 김후선(2004). 초등학생이 갖고 있는 측정 결과에 대한 신념 분석. 청람과학교육연구논총, 14(1), 149-169.
- 양일호, 송진령, 임성만, 임재근(2008). 미시발생학적 방법을 이용한 초등학생의 측정 능력 분석. 초등과학교육, 27(4), 341-355.
- 양일호, 임성만, 임재근, 송진령(2009). 측정과 관련된 실험 활동에서 보이는 초등학생의 대푯값 선정 및 신뢰 방법 분석. 초등과학교육, 28(3), 263-276.
- 이봉우, 박보화, 김희경(2007). 우리나라 3-10학년 과학 교과서에 나타난 기초탐구과정 분석: 관찰 및 측정 탐구 요소를 중심으로. 한국과학교육학회지, 27(5), 421-431.
- 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.
- American Association for the Advancement of Science (1993). *Benchmarks for science literacy*. (pp. 3-4). New York: Oxford University Press.
- Buffler, A., Allie, S., Lubben, F. & Campbell, B. (2001). The development of 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. 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.
- Campbell, B., Lubben, F., Buffler, A. & Allie, S. (2005). Teaching scientific measurement at university: understanding students' ideas and laboratory curriculum reform. *African Journal of Research in Mathematics, Science and Technology Education, Monograph*, 1-126.
- Chandler, M. J., Hallett, D. & Sokol, B. W. (2002). Competing claims about competing knowledge claims. In P. R. Pintrich (Ed.), *Personal epistemology: The psychology of beliefs about knowledge and knowing*. Mahwah: Lawrence Erlbaum Associates.
- Ibrahim, B. B. (2005). The relationship between views of the nature of science and views of the nature of scientific measurement. Masteral dissertation, University of Cape Town.
- International Organization for Standardization (ISO) (1995). *Guide to the expression of uncertainty in measurement (GUM)*. Geneva: ISO.
- Kung, R. L. (2005). Teaching the concepts of measurement: An example of a concept-based laboratory course. *American Journal of Physics*, 73(8), 771-777.
- Lederman, N. G. & O'Malley, M. (1990). Students' perceptions of tentativeness in science: Development use and sources of change. *Science Education*, 74(2), 225-239.
- Lubben, F., Campbell, B., Buffler, A. & Allie, S. (2001). Point and set reasoning in practical science measurement by entrant university freshmen. *Science Education*, 85(4), 311-327.
- Mansfield, A. F. & Clinchy, B. M. (2002). Toward the integration of objectivity and subjectivity: Epistemological development from 10 to 16. *New Ideas in Psychology*, 20(2-3), 225-262.
- National Council of Teachers of Mathematics (2000). *Principles and standards for school mathematics*. (p. 179). Reston: NCTM.
- National Research Council (2000). *Inquiry and the national science education standards: A guide for teaching and learning*. (p. 13). Washington, D.C.: National Academy Press.
- Perry, D. K. (1998). The role of children's theory of mind in science experimentation. *The Journal of Experimental Education*, 66(2), 101-124.
- Rezba, R. J., Sprague, C. & Fiel, R. (2003). *Learning and assessing science process skills*. Dubuque: Kendall/Hunt Publishing Company.
- Rollnick, M., Lubben, F., Lotz, S. & Dlamini, B. (2002). What do underprepared students learn about measurement from introductory laboratory work? *Research in Science Education*, 32(1), 1-18.
- Smith, C. L., Maclin, D., Houghton, C. & Hennessey, M. G. (2000). Sixth-grade students epistemologies of science: The impact of school science experiences on epistemological development. *Cognition and Instruction*, 18(3), 349-422.
- Songer, N. B. & Linn, M. C. (1991). How do students views of science influence knowledge integration? *Journal of Research in Science Teaching*, 28(9), 761-784.
- Tsai, C. C. (1999). "Laboratory exercises help me memorize the scientific truths": A study of eighth graders' scientific epistemological views and learning in laboratory activities. *Science Education*, 83(6), 654-674.
- 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.