

초등학생들의 과학 ‘측정’ 활동에 나타난 불확실성 원인과 감소 행동 분석

김 동 렬†

†대구교육대학교(교수)

An Analysis of Uncertainty Causes and Uncertainty Reduction Behaviors Appearing in Elementary School Students’ Scientific ‘Measurement’ Activities

Dong-Ryeul KIM†

†Daegu National University of Education(professor)

Abstract

This study aimed to analyze types of uncertainty appearing in elementary school students’ measurement activities and their uncertainty reduction behaviors. There were six types of uncertainty causes appearing in elementary school students’ measurement activities, ‘Measurement Tool’, ‘Measurement Subject’, ‘Measurement Process’, ‘Operator’s Skill’, ‘Sample-related Problem’ and ‘Environment’. As for ‘Measurement Subject’, there were many cases that elementary school students came to be uncertain about their measurement values, especially when measurement subjects were organisms moving or irregular in shape. Their uncertainty reduction behaviors in measurement activities can be divided into 6 different types, ‘developing measurement tools’, ‘clarifying the measurement area by the movement and shape of measurement subjects’, ‘designing and preparation in advance of measurement’, ‘learning to use measurement tools’, ‘selecting samples’ and ‘creating an environment’. Out of these types, ‘clarifying the measurement area by the movement and shape of measurement subjects’ was the most uncertainty reduction behavior in frequency. When analyzing relations between uncertainty causes and uncertainty reduction behaviors, this study found out that some learned to use measurement tools or even developed measurement tools in the aspect of measurement tool-related causes, while others solved uncertainty by clarifying the measurement area and measuring multiple subjects or the entire group in the aspect of measurement subject-related causes.

Key words : Elementary school student, Measurement activities, Uncertainty causes, Uncertainty reduction behaviors

I. 서론

연구자들은 어떤 교과를 막론하고 학습자가 교과의 내용과 교과 활동에 대해 깊은 이해를 하려면, 복잡성, 혼란, 혹은 의심을 일으키는 문제들을 접해야 한다고 주장했다(Dewey, 1910; Engle,

2011). 이 관점에 따르면, 학습자들은 자신이 학습 중인 교과들의 불확실한 요소들을 접해야 하며 그 교과의 활동에 의미 있게 몰입함으로써 교과 활동의 목표를 제대로 이해하게 된다(Manz, 2018). 그런 다음, 표면적으로 드러나는 문제들과 모호한 부분을 특정한 행동을 통하여 해결해나갈

† Corresponding author : 053-620-1347, ahabio@hanmail.net

수 있다(Gresalfi et al., 2009).

불확실성(uncertainty)은 모든 인간이 일상적인 상황에서 경험하는 일반적이고 핵심적인 요소이다(Yoo, 2016). 불확실성 개념은 불명확성 혹은 복수의 상충된 해석이 존재한다는 것 외에 결과 값에 대한 해석의 어려움과 자신감이 부족한 상태를 의미한다(Huh and Lee, 2018; Park, 2013). 특히, 불확실성은 과학의 고유한 특성이며, 과학 활동은 불확실성을 다루고 이를 감안해서 결론을 내린다(Ford, 2008). 과학자들은 현상을 어떻게 설명해야 하는가에 대해서 뿐만 아니라, 실험, 도구, 측정, 및 데이터 발표를 하면서도 늘 불확실성을 겪게 된다(Knorr-Cetina, 1999). 이와 같이 과학에서의 불확실성은 무엇을 해야 할지에 대한 불분명한 결정으로 그리고 과학자의 경험적 연구(당황스러운 실험 결과들을 얻는 것)와 그들이 설득시키고자 하는 대상들(그 측정의 적절성에 대해 반박하는 동료)로부터의 반발로 표현된다(Pickering, 1995). 즉, 당황스러운 결과가 나오거나 설득하려는 대상들이 반박하는 것으로 인해 불확실성을 경험하게 된다. 이에 대한 반응으로, 과학자는 자신이 쓴 방법들과 개념적 설명들을 재고려하고 행동해가게 된다. 탐색하고, 반발, 개선을 위한 행동의 순환과정은 과학적 활동을 진행하는데 있어 근간이 된다(Manz and Suárez, 2018).

특히, 초등학생들의 학습 환경에는 과학자들이 경험하는, 과학 활동에서 논증, 설명, 조사 같은 활동을 더욱 활발하게 이끄는 불확실성의 요소들이 내포되어 있지 않을 때가 많다(Manz, 2018). 초등학생들은 질문 제기, 탐구의 계획과 수행, 경험적 탐구 결과들의 해석과 관련해 과학적 불확실성을 만나는 경우가 거의 없다(Munier and Merle, 2013). 예를 들면, 과학 교육과정에서 흔히 볼 수 있는 실험을 생각해 보면, 학생들은 지시에 따라 식물들의 잎, 꽃, 꼬투리를 세어보고, 지정된 조건에서 cm 눈금자를 사용해서 식물들의 길이를 측정 한 후, 그 측정치를 비교해서, 빛을 받은 식물이 더 길다는 결론을 내린다. 이와 같은

학생들의 참여는 교사와 교육과정에 대체로 지시 받아 이루어진다. 따라서 학생이 데이터를 수집하거나 해석하는 방법에서 변동이나 이례적인 부분은 별로 없고 비판이 개입할 여지가 거의 없으며, 이로써, 학생이 지식을 의미 있게 구성하고 타당화하는 작업을 할 기회는 미비한 실정이다. 학자들은 이 접근법이 학생의 과학 실습에 대한 몰입과 이해에 제한을 가한다고 주장하는데, 그 이유는 학생은 자신이 몰입 중인 실습의 목표를 완전히 이해하지 못했을 것이고, 주장이나 설명을 구성할 기회도 없었으며, 과학에서 물리적 및 표상적 작업의 역할이 간과된 과학 활동에 대한 질 낮은 관점을 가질 가능성이 크기 때문이다(Han and Park, 2019; Kim, 2021; Manz, 2018; Manz and Suárez, 2018).

이에 따라 과학 학습 환경을 설계하는 교육자들은, 내용 이해와 과학 학습 활동을 발전시키고자, 과제들에 특정한 모호성과 불확실성을 부여하는 방향으로 학습 환경을 설계할 필요가 있다. 과학적 불확실성을 가시화시켜주는 과학적 탐구 활동들에는, 학생들에게 모호한 대상들을 다루게 하는 현상에 대해 하나 이상의 타당한 설명이 있을 때, 그 주장들에 대해 논의하게 하고 실험에서 변수들을 정의하고 조작하는 방법을 정하기 등이 포함된다(Hall, 2006; Lehrer and Schauble, 2002). 이런 설계들의 근간이 되는 생각은 학생이 모호성을 부담 없이 접하게 하고, 자연 현상을 조사하고 이해하는 방법에 관한 결정을 탐색하도록 하여 활동의 필요성을 부각하고, 학생이 자신의 활동을 무언가를 찾아내는 것으로 인식하도록 도우며 친숙하지 않은 현상들에 대해서도 타협하지 않는 전략적 접근을 제공한다(Tauritz, 2012).

실제적 과학 활동을 보면, 과학 지식을 어떻게 구축하는지 알 수 있다. 이론들을 검증하고, 모형들의 한계를 증명하며, 물리 상수들을 다루고, 법칙들을 확인하거나 발견하고, 이 목표들의 달성을 위해, 측정을 통해 경험적 데이터를 생산하는 실험들이 종종 이루어진다(Kim, 2018; Priemer

and Hellwig, 2018). 오차의 크기나 예상과 다른 결과를 얻은 경우, 측정 결과에 교정을 가하면 된다(Bell, 1999). 그러나 대체로 이런 원인으로부터 불확실성이, 측정에서의 전반적 불확실성에 기여하는 개별 요소들이 된다(Bell, 1999). 측정에서 불확실성이란 과학자들이 오차가 얼마만큼 클 것인지를 추정하려는 시도이다(Kim, 2015). 측정 불확실성은 목표 달성 여부를 최종적으로 결정하는데, 이유는 결론들은 측정을 통해 수집된 데이터의 질에 크게 달려있기 때문이다. 따라서 실제적 과학 활동의 명시된 교육 목표들을 달성하는 것은, 측정 불확실성을 논의하는 것과 직접 연계되어 있다(Priemer and Hellwig, 2018).

측정 불확실성은 과학 교육에서 새 개념이 아니다. 측정 불확실성의 다양한 측면들에 대한 학생의 이해와 관점들은 이미 연구되어 왔다(Kanari and Millar, 2004; Lubben and Millar, 1996; Séré et al., 1993), 그러나 측정에 관한 광범위한 연구에도 불구하고, 측정의 불확실성의 원인과 감소 행동을 연관 지어 다루지 않았으며, 탐구과정 요소로서 학생들의 측정 과정에서 나타난 불확실성 유형에 대해 상세하게 고려한 연구는 찾아보기 힘들다.

따라서 본 연구에서는 초등학생들의 측정 불확실성에 관한 연구를 세 가지 연구 문제를 설정하여 수행하였다. 첫째는 측정 활동에서의 불확실성의 원인을 분석하였다. 둘째는 불확실성의 감소 행동을 분석하였다. 마지막으로 불확실성이 원인과 감소 행동과의 관계를 분석하였다.

본 연구의 결과는 과학 탐구 활동에서 측정의 과학적 접근을 위한 방향 설정의 토대를 제공할 것으로 기대되며, 측정 활동에서의 학습 환경 조성 과 평가 방향 설정의 토대가 될 것으로 기대된다.

II. 연구 방법

1. 연구 방법

본 연구는 광역시 소재 초등학교의 4학년 26명을 대상으로 하였다. Vellom and Anderson (1999) 과 Priemer and Hellwig (2018)는 학교 교육과정에서 11~12세 학생들은 데이터에 대한 비판적 시각을 가질 수 있었고 측정 불확실성의 개념들을 이해할 수 있음을 연구를 통해 보여주었다. 또한 Kirkup(2004)와 Metz(2004)는 이 나이 때의 학생들은 자신만의 실험에서 불확실성의 원인을 찾아내고 논의할 수 있었다고 하였다.

교육대학원에서 초등과학을 전공한 4학년 담임교사 1인의 지도 학생들을 대상으로 섭외하였으며 담임교사와 학생들에게 측정 활동과 연구 참여의 동의를 구두로 받고 진행하였다. 초등과학은 3학년부터 배우기 시작하며 3학년 과정에서 기초탐구과정을 배우게 되고 4학년에서 기초탐구과정이 적용된 좀 더 심화된 탐구활동을 학습하게 되므로 기초탐구과정에 대한 경험이 있는 4학년 학생들을 대상으로 연구를 진행하게 되었다. 본 연구에서는 성별에 따른 연구를 진행하지 않았으므로 성별을 구별하여 분석을 진행하지는 않았다. 측정 활동은 담임교사 1인에 의해 진행이 되었다.

2. 측정 활동 내용

측정 활동은 블록타임제를 적용하여 2시간 동안 진행하였다. 측정 활동은 크게 교사안내와 학생활동 두 부분으로 진행되었다.

교사안내 단계에서는 측정의 의미와 측정 도구, 측정 대상에 대한 안내가 25분 동안 이루어졌다. 측정의 의미는 교사용 지도서를 참고하여 초등학생들에게 안내하였고, 생활에서의 측정의 활용 예시가 제시되었다. 또한 측정에서 사용되는 도구들에 관해 안내가 이루어졌다.

학생활동 단계에서는 4인 1조로 이루어진 실험실 테이블에서 개별 활동으로 이루어졌으며 크게 측정 활동과 활동지 작성으로 나누어졌다. 초등학생들의 측정 활동 내용은 <Table 1>과 같다.

<Table 1> Elementary School Students' Measurement Activities

<p>Measurement Tools: Steel tape measure, plastic measure and electronic scale</p> <p>Related Materials: Styrofoam, OHP film, plastic cover, thread and string, etc.</p> <p>Organism: Things moving (earthworm, snail), things not moving (egg, dried anchovy, plants)/ things regular and irregular in shape</p> <p>Method: Measuring width, height, circumference, length, weight</p> <p>Questions and Instructions</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. What tool would you use when measuring this organism in length? 2. Measure each organism in length and weight. 3. Explain on the worksheet how you measured each organism . 4. Are you sure that the value measured is the very quantitative value of the organism? (Yes/No) 5. What was the biggest difficulty when measuring this organism? 6. How did you overcome the difficulty?

초등학생들에게 생물 중에서 움직이는 것과 움직이지 않은 것을 제시하였다. 각각 측정하는 방법에 차별화를 두어야 하므로 두 가지 유형의 측정 생물을 제시하였다. 측정은 여러 가지 있으나 그중에서 초등학교에서 중심으로 이루어지는 가로세로 둘레 길이 측정과 무게 측정 활동을 중심으로 이루어졌다. 움직이는 생물과 움직이지 않은 생물에 따라 길이와 무게 측정하는 다양한 방법이 있으며 측정방법을 잘못 선정하면 그에 따른 오류를 범하기 쉽다. 따라서 이를 통하여 초등학생들의 불확실성과 불확실성 감소를 위한 행동을 분석하고자 하였다. 측정에 필요한 도구는 기본적으로 쇠줄자, 플라스틱 자, 전자저울 등을 제시하였으며 기타 필요한 재료는 초등학생들이 실험실에 있는 어떠한 도구도 사용할 수 있도록 하였다. 초등학생들의 활동 과정에서는 교사는 구체적인 피드백보다는 활동의 진행 과정에서 어려운 점에 대해 조언을 하는 정도이며 구체적

인 활동 계획과 측정법, 측정재료 등은 초등학생들 각자 결정하도록 하였다.

측정 활동에서 구체적인 물음은 우선, 측정 활동을 유도하기 위하여 각 생물의 측정 도구와 측정방법, 측정값을 구하도록 하였다. 그런 다음에 불확실성과 관련된 질문으로서 측정 시 어려움과 이러한 어려움의 해결방안으로서 행동에 관해 묻는 질문으로 구성하였다. 이 질문을 통하여 측정 과정에서의 불확실성에 대한 유형과 감소 행동에 관해 분석하였다.

3. 분석 방법

초등학생들의 측정 활동에서 질문한 문항 중에서 불확실성 유형과 불확실성 감소 행동에 관련하여 해결 문제 5, 6문항에 대한 질적 분석이 이루어졌다. 모든 분석은 연구자와 교직경력 9년의 초등교사 1인의 합의하에 이루어졌다.

‘이 생물을 측정하는데 어려움은 무엇인가?’의 질문을 통해 초등학생들의 자유로운 응답 결과를 불확실성 유형별로 빈도 분석하였다. 불확실성 답변으로는 실제 측정한 측정값에 대해 의문을 가지거나 불확실하다고 생각된다고 한 학생들의 답변을 대상으로 하였다.

불확실성 유형은 Bell(1999)이 제시한 6가지 불확실성의 원인에 기초하여 분류하였으며 그 내용은 <Table 2>와 같다. 결과로는 유형별 빈도를 제시하고 그에 따른 실제 초등학생들의 대표 진술 내용을 제시하여 논의하였다.

불확실성 감소 행동 유형은 ‘이 어려움을 어떻게 해결하였는가?’ 질문을 통하여 분석하였다. 감소 행동의 유형은 기본적으로 Bell(1999)이 제시한 6가지 불확실성의 원인을 바탕으로 본 연구의 초등학생들의 답변 유형을 반영하여 세부적으로 분류하였다. 불확실성 감소 행동 유형은 빈도 분석하여 제시하고 유형별 대표 예시를 제시하여 논의하였다.

<Table 2> Causes of Uncertainty (Bell, 1999)

Types	Details
Measurement Tool	Likely to experience such problems as deviated tools, worn-out changes, abrasion and other variations, low readability, noise (in case of electronic tools)
Measurement Subject	The subject to measure may be unstable (Imagine when you measure the size of an ice cube in a warm room), especially when dealing with objects moving or irregular in shape
Measurement Process	Measurement itself may be difficult. For example, it is difficult to make animals cooperative especially when they are small and lively. Designing and preparation in advance of measurement may affect the measurement results.
Operator's Skill	Some measurements depend on operators' skills and judgements. Some are better at measuring things in detail or reading minute things with the naked eye than others. Using a sensitive tool like a stopwatch may result in different outcomes, depending on the response time of each operator. (Main mistakes are another problem since they are not considered as a cause of uncertainty.)
Sample-related Problem	The measurement you are about to take now should have a representative nature of the process of evaluation. If you want to know the temperature of your worktable, do not place the thermometer near the air conditioner. When collecting samples from a production line for measurement, do not select the first 10 products produced on Monday morning.
Environment	Other conditions such as temperature, atmospheric pressure and humidity may have effect on measurement subjects.

마지막으로, 불확실성 원인과 불확실성 감소 행동 유형을 서로 연관 지어 각 불확실성 원인 유형별 감소 행동의 유형은 어떠한 것이 있는지를 분석하여 모식도로 제시하고 그에 따라 논의하였다.

Ⅲ. 연구 결과 및 논의

1. 불확실성의 원인 분석 결과

초등학생들의 측정 활동에서 나타난 불확실성의 원인을 분석한 결과는 <Table 3>과 같다. 총 58회의 불확실성 원인을 진술하였으며 그중에서 '측정 대상'에 의한 불확실성의 원인이 14회가 가장 많았고 그다음으로 '조작자의 기술', '측정 도구', '표본 관련 문제들', '측정 과정', '환경' 순으로 나타났다.

<Table 3> Results of Analyzing Uncertainty Causes

Types	Details	Frequency
Measurement Tool	Difficulty in selecting tools	11
	Readability of tools	
Measurement Subject	Organisms moving	14
	Irregular shapes	
Measurement Process	Progress at each measurement phase	7
	Measurement point of time	
Operator's Skill	(Length) Tool-operating skills	12
	(Weight) Electronic scale correction	
Sample-related Problem	Differences by size despite the same kinds of animals	8
	Differences by type of observation - partial observation	
Environment	Effect of living things' temperature and humidity	6
	Stability of measurement places	
Total		58

측정 대상과 관련해서는 측정 도구 측면과 관련이 있는 불확실성의 원인을 이야기하였다. 우선 측정 대상이 움직이는 생물인 지렁이의 경우 지렁이가 이동할 때는 몸이 수축과 이완을 함으로써 길이를 정확히 측정하기에 어려움이 있는 것으로 나타났다. 이로 인해 어떤 시점에서 측정해야 할지 지렁이의 크기는 어떤 상태일 때 측정

해야 할지 고민에 따른 측정값에 대한 불확실성이 나타난 것으로 분석이 되었다. 또한 측정 대상으로서 모양이 불규칙적이거나 타원형인 경우 정확한 길이를 어떻게 측정해야 할지 고민하는 것으로 나타났다. 예를 들어 계란을 측정할 때 타원형 그 모양대로 측정 도구를 구부려 측정해야 할지 직선 방향으로 측정을 해야 할지 고민하였으며 이로 인해 측정된 값에 대해 불확실성을 갖는 것으로 분석이 되었다. 측정 대상 관점의 불확실성과 관련하여 실제 초등학생들이 작성한 예는 다음과 같다.

지렁이의 길이를 플라스틱 자로 측정한 결과 9cm이었다. 그러나 이 값이 정확한 값인지 불확실하다. 지렁이는 움직일 때 근육의 수축과 이완함으로써 어느 시점에 측정해야 할지 고민이었다. (초등학생 12번)

측정 물체로 계란이 있었는데 길이는 6cm이었다. 그런데 계란은 모양이 타원형이라 플라스틱 자를 이용하여 측정하니 6cm이었으나 계란 껍질 부분에 밀착하여 측정하는 것이 더 정확한 값이 아닐까 하는 생각이 들었다. (초등학생 4번)

조작자의 기술과 관련해서는 초등학생들의 다양한 도구에 대한 사용 경험의 부족으로 나타난 불확실성의 원인으로 볼 수 있다. 길이를 측정하기 위하여 쇠 재질의 줄자를 사용하였는데 줄자의 측정방법에 대해 이해를 못 하여 측정 대상에 손상을 가하게 됨으로서 측정값에 대하여 불확실성을 갖게 된 것으로 나타났다. 또한 전자저울의 조작 미숙으로 보정하지 않고 측정하여 측정값에 대한 불확실성을 갖게 된 것으로 나타났다. 조작자의 기술과 관련된 실제 초등학생들의 진술 내용은 다음과 같다.

선생님이 식물이 있는 화분을 주시고 잎이나 줄기의 길이를 측정할 때에 나는 쇠줄자를 이용하다가 잎과 줄기에 손상을 가하였다. 줄기가 구부러지고 잎이 조금 찢어져 내가 측정한 길이 값이 정확한지 모르겠다. (초등학생 22번)

마른 멀치의 무게를 측정하기 위하여 전자저울을 이용하는데 시작할 때 0으로 맞추고 해야 하는데

그냥 했다. 그냥 해서 나온 값을 적었는데 그 값이 맞는지 모르겠다. (초등학생 16번)

표본 관련 문제들로 대표적인 불확실성의 원인은 생물의 경우 대표성을 가진 생물(동물)을 선택하기에 어려움이 있다는 점이었다. 동일종이라도 크기나 부피에 차이가 날 수밖에 없으며 특정 종의 길이를 구하기 위해서는 대표 종을 선정해야 하나 생물인 관계로 많은 종 중에서 특정 종을 선택하기에는 비효율적인 문제나 재료 준비 면에서 어려움이 있다. 따라서 측정값이 과연 동일 생물 종의 대푯값이라고 할 수 있는지 의문이 생길 수밖에 없다. 이와 같은 의문을 해결하는 방법으로서 관찰 유형을 생각할 수 있는데, 즉 단일 대상관찰과 다수대상관찰법으로 생각할 수 있으며 이러한 대표성의 문제점을 안고 있을 경우 다수 대상 관찰법을 시행해야 한다. 또한 살아있는 생물의 경우 측정 부위에 따라 결과 값이 달라진다. 부분 관찰만 하게 되면 관찰 대상의 전체적 측정값을 확인하기 어려우므로 전체 관찰을 통해 측정 부분을 다양화함으로써 그 대상의 특징을 이해할 수 있다. 따라서 부분 관찰을 통해 대상의 측정값에 대한 불확실성을 가지는 경우가 나타났다.

동일 생물을 측정하더라도 실제 그 생물의 크기나 무게로 볼 수 있는지 모르겠다. 동일한 생물이라도 크기나 무게나 다르다. (초등학생 20번)

달팽이 몸의 길이는 측정 부분에 따라 달라서 옆 친구와 길이 측정값의 차이가 있었다. 내 측정값이 바르게 된 건지 모르겠다. (초등학생 17번)

측정 도구 측면에서의 불확실성의 원인은 크게 두 가지 세부 유형으로 나눌 수 있었다. 우선 도구 선정의 어려움을 초등학생들이 이야기하였는데, 살아있는 생물의 경우 이들을 고정하여 측정할 수 있는 도구가 없어서 길이를 측정하기 위하여 플라스틱 자를 이용한 경우 생물의 움직임에 의해 측정이 어려웠다는 이야기를 하였다. 또한 불규칙적인 모양을 가지고 있는 생물의 경우는

비록 움직임이 없다고 해도 측정 도구에서 적혀 있는 값 부분이 실제 그 생물의 끝부분과 떨어져 있는 경우가 있어 정확한 값을 읽기에 어려움이 있음을 이야기하였다.

측정 과정 측면은 측정하는 방법과 관련된 것으로서, 움직이는 생물일 경우에는 고정하는 것부터 고민을 하고 아이디어를 내어 측정이 이루어져야 하며, 움직이지 않은 생물의 경우는 길이를 재기 전에 셀로판테이프 등으로 고정을 하고 시작을 해야 하나, 측정을 시작할 때 고심 없이 진행하다 보니 측정값에 대한 불확실성을 가지게 된 것으로 나타났다. 또한 움직이는 생물의 경우 측정 시점이 중요하다. 즉, 측정 과정에서 어느 시점에 측정할 것인지에 대한 사전 설정이 필요하다. 그러나 이번 활동에서 제시된 자료는 정해진 시간 내에 하다 보니 측정 시점을 맞추기 어려웠다는 점을 이야기하였다. 이로 인해 그 측정값에 대한 불확실성을 가지게 된 것으로 확인되었다.

불확실성은 주변 환경의 영향으로 인해 결과에 관해 이야기하거나 설명하기가 어려운 경우 발생할 수도 있다(Yoo, 2016). 측정 활동에서 환경과 관련하여 살아있는 생물의 경우 측정 장소의 온도와 습도의 영향을 받아 움직임이 달라질 수 있다. 그로 인해 측정값이 달라질 수 있다. 이로 인하여 초등학생들은 측정값에 대한 의문을 가지고 불확실성을 가지게 된 것으로 나타났다. 또한 측정할 실험실의 안정된 상태에서 측정해야 하나 주변의 진동이나 실험대 바닥의 상태에 따라 측정값이 달라질 수 있다는 불확실성을 갖는 경우도 있었다. 과학은 실험실에서 과학 활동에 참여하고 새로운 과학 개념을 개발한다는 의미에서 실험실의 학습 환경에 영향을 받는다(Cobb and Yackel, 1996). 환경과 관련된 불확실성은 다른 원인보다 정교한 측정 과정에서 발생할 수 있으며 측정에 대해 세밀하게 접근한 학생들에게 나타나는 원인인 만큼 가장 낮은 빈도를 보인 것으로 판단된다.

2. 불확실성 감소 행동 분석

측정값에 대한 불확실성을 줄이기 위한 감소 행동도 불확실성의 원인에 영향을 받아 감소 행동의 유형 또한 6가지로 유형으로 나눌 수 있었다(<Table 4>).

<Table 4> Uncertainty Reduction Behaviors

Uncertainty Reduction Behaviors	Details	Frequency
Developing measurement tools	Using Styrofoam (polystyrene) grooves Developing flexible measurement tools	8
Clarifying the measurement area by the movement and shape of measurement subjects	Measuring the area to measure on repeat	13
Planning and preparation in advance of measurement	Designing a measurement method before actual measurement Setting measurement time	6
Learning to use measurement tools	Mishandling of measurement tools Revising zero	6
Selecting samples	Observing multiple subjects to get a representative value Observing the entire organism group to understand the general characteristics of a certain organism	7
Creating an environment	Measuring in the same environment of temperature and humidity Using flat experiment stands Removing obstacles from the surrounding environment	3
Total		43

불확실성 감소 행동은 총 43회로 분석되었고, ‘측정 대상에 특징에 따른 측정 부분의 명료화’ 하는 감소 행동이 13회로 가장 많이 분석되었고, 그다음으로는 ‘측정 도구 개발’, ‘표본 선정’, ‘측정을 위한 사전 설계 및 준비’, ‘측정 도구 사용법 익히기’, ‘환경 조성하기’ 순으로 나타났다.

측정에 관한 다양한 불확실성 원인으로 인하여 불확실성 감소 행동도 다양하게 나타났다. 이는 측정을 제대로 하기 위하여 다양한 행동을 표출한 결과로 볼 수 있다. 불확실성 감소 행동이 나타난다는 것은 측정의 어려움을 스스로 해결하고자 하는 노력을 표출한 것이다. 특히 측정 활동에 참여한 대상이 초등학교생들에게도 불구하고 측정에 대한 불확실성을 많이 경험하고 이에 대한 이해를 하고자 하는 의욕을 보인 것으로 나타났다.

불확실성에 대한 원인으로는 불규칙적이고 살아 움직이는 생물에 대해 가장 많은 원인이 있었다. 또한 이러한 특징을 보이는 측정 대상의 경우는 측정했다라고 그 값에 대한 의문을 갖는 경우가 있었다. 이러한 경우 측정값의 신뢰를 얻기 위해서는 측정의 가장 기본적인 행동인 반복 측정이 필요하다. 따라서 이와 관련하여 초등학교생들은 움직이는 생물의 경우 수차례 관찰 활동을 통해 대표성을 뱀 수 있는 측정값을 얻기 위하여 반복 측정한 것으로 나타났다. 또한 불규칙적인 모양을 갖는 생물은 그에 따른 측정값의 대표성과 측정 부분을 정확성을 위해 수차례 반복적으로 측정하면서 오차를 최소화하는 행동을 보였고, 측정 부분을 정확히 통일하여 그 생물의 측정값으로 제시한 것으로 분석이 되었다. 이러한 불확실성 감소 행동은 측정에 대한 기본적인 특징을 이해는 과정으로서 이해할 수 있다.

움직이는 생물이 달팽이를 측정할 때는 한번 측정으로는 그 값을 믿을 수 없으므로 반복적으로 여러 번 측정하여 대푯값을 찾았다. (초등학교생 9번)

달팽이의 길이를 측정할 때는 시작과 끝부분을 의논을 통해 통일하여 측정하고 그 값을 친구들과 비교하였다. (초등학교생 25번)

다음 불확실성 감소 행동으로 초등학교생들은 측정 도구를 개발한 것이 큰 특징이었다. 초등학교생들은 측정 도구 개발에 있어 전문가가 아니므로 그때그때 측정 도구에 의해 발생하는 문제점들을 해결하는 경향이 있었다. 예를 들어, 움직이는 생물에 대해서는 고정된 상태로 측정이 이루어져야 하므로 일부 학생들은 스티로폼을 이용하였다. 움직이는 생물의 크기만큼 고정할 수 있는 스티로폼 홈을 만들어서 그 속에 움직이는 생물들을 넣어 측정하는 방법을 고안하였다. 혹은 주변의 아크릴판을 이용하여 공간을 만들고 아크릴판에 눈금을 표시한 후 그 속에 넣어 움직임을 고정된 후 측정값을 읽음으로써 측정값에 대한 불안감을 줄이고자 하였다. 또 다른 측정 도구의 개발과 관련해서는 대부분의 측정 도구는 유연성이 없으므로 불규칙한 모양의 생물을 측정할 때는 측정값에 신뢰성이 없다. 이에 대해 초등학교생들은 비닐 소재의 재료에 눈금을 표시하여 불규칙적인 모양의 생물을 측정하거나 털실을 이용하여 길이를 잰 후에 다시 플라스틱 자에 그 실의 길이를 측정하는 방법을 사용하였다. 기존의 측정 도구를 이용해서는 정확한 측정값을 얻기에는 어려움이 있으므로 스스로 문제를 해결하고자 하는 불확실성에 대한 감소 행동을 표출하였다.

움직이는 지렁이의 길이를 측정하기 위해서는 고정하는 것이 중요하므로 실험실 구석에 있는 스티로폼에 홈을 파서 고정한 후 측정하였다. (초등학교생 11번)

식물의 줄기는 곧지 않은 부분이 있어서 유연성 있는 비닐을 잘라서 길게 연결하고 눈금을 표시하여 줄기의 길이를 측정하였다. (초등학교생 1번)

동일한 생물이라도 측정자에 따라 측정값에 차이가 있을 수 있으므로 동일한 생물이라도 여러 생물을 선택하여 그 생물에 대한 대푯값을 구할 수 있다. 이에 대하여 측정을 위해 교사는 동일종에 대해서는 한 생물만을 제공하였으나 여러

초등학생이 측정한 생물을 서로 바꿔가면서 그 값을 측정하여 대푯값을 찾는 경우도 있었다. 또한 한 생물의 특징을 이해하기 위해서는 한 부분만을 측정하는 것이 아니라 측정할 수 있는 생물의 모든 부분을 측정하는 것이 중요하다. 일부 초등학생은 측정값으로 생물의 특징을 이해하고자 할 때 전체적인 관점에서 모든 부분을 측정하여 전체적 특징을 이해하고자 하였다.

움직이는 생물을 측정할 때는 내 것만 측정하는 것이 아니라 친구 것도 측정해 보고 동일 생물의 크기가 같은지 확인하였다. (초등학생 3번)

선생님이 나눠준 생물의 특징을 이해하기 위하여 특정 부분만 측정하는 것이 아니라 모든 부분을 측정하였다. (초등학생 19번)

이번 활동은 측정에 대한 사전예고 없이 진행하다 보니 측정에 대한 계획이 없이 진행하게 되었다. 따라서 측정을 위한 과정적 측면에서 계획이 없다 보니 그에 따른 불확실성이 생기고 불확실성 감소 행동이 나타났다. 예를 들어 움직이는 생명체의 경우는 측정을 위해 고정할 방법 고안이 사전에 이루어졌다면 시행착오를 최대한 줄인 상태에서 정량적 측정이 이루어질 수 있으나 사전 계획이 없는 상태에서는 상황에 따른 순간적 처치가 이루어져 측정값에 대한 오류가 발생할 수 있는 상황이었다. 이에 대해 일부 초등학생들은 2차적으로 생물을 측정할 때 사전 계획으로 움직이는 생물의 경우 고정할 수 있는 다양한 방법을 조원들과 의논하여 계획을 수립한 것으로 나타났다. 이는 Sorrentino et al.(1995)의 연구에서 불확실성이 높은 개인들은 집단 활동을 통하여 정보 교환과 신뢰성 높은 값을 얻을 수 있다는 주장과 같은 맥락으로 해석할 수 있다. 또한 관찰하고자 하는 생물에 대한 특징을 사전에 파악하는 것이 중요하다. 특히 생물인 경우 측정하고자 하는 시점의 환경 변화를 통해 측정값이 달라질 수 있다. 따라서 사전에 측정하고자 하는 생물을 충분히 관찰한 후(달팽이의 더듬이가 나오

는 시점 등)에 그에 따른 특징을 파악하고 측정 시점을 정하는 것이 중요하다. 이에 따라 일부 초등학생은 이러한 불확실성의 감소 행동으로 생물의 지속적 관찰을 통하여 측정하기 위한 가장 좋은 시점을 선정한 것으로 나타났다. 한편, 학생들이 탐구 활동에서 교사의 지원 없이 혼자 탐구 과정을 설계하고, 무한한 불확실성을 경험하도록 내버려 두는 것은 효과적 접근법이 될 가능성이 낮다(Engle, 2011; Kim, 2020; Lee and Yoo, 2021). 그 대신 학생이 어떤 모호성과 결정들을 접할지를 전략적으로 계획한 후, 학생들이 불확실성을 다루면서 그것들을 인식하고 이를 통해 발전해가도록 지원해주어야 한다(Lehrer, 2009; Metz, 2004).

측정 도구의 조작 미숙으로 인한 불확실성이 나타날 경우 측정하기 전에 측정 도구를 여러 번 미리 사용해 봄으로써 측정 도구에 익숙해지는 것이 중요하다. 일부 초등학생들의 의견으로는, 실제 측정하고자 하는 생물을 이용할 수 있으나 일반적인 주변의 물체를 사용하여 측정을 해 봄으로써 실수 없이 실제 측정해야 할 것에 대해 익숙하게 측정할 수 있을 것으로 보였다. Kim et al.(2018)의 연구에서도 학생들의 실제 크기를 파악하는 능력을 기르기 위하여 실생활에서 경험할 수 있는 물체를 사용하여 크기를 이해하는 교수 전략이 필요하다고 주장하였다. 또한 일부 초등학생은 측정 도구에 익숙해지기 위하여 수차례 반복하여 측정하였다. 무게를 측정하기 위하여 전자저울을 사용할 때는 영점보정을 해야 하나 영점보정법을 익히지 못하여 불확실한 측정값을 추출한 것으로 분석이 되었다. 이에 따라 교사의 도움을 받아 사용방법을 익힌 후에 사용하게 된 것으로 분석이 되었다.

측정을 위한 환경을 조성하는 것은 초등학생들의 능동적인 탐구 자세에 달려있다. 항상 주어진 상태로 측정을 하는 것은 탐구 위주의 실험을 진행하는 학생의 자세로서는 부족한 상태이므로 어떠한 환경 조건을 갖추어져 있는지를 사전에 파악하여 과학적 측정이 이루어지도록 해야 한다.

이와 관련하여 일부 초등학생은 주변 환경에 대한 문제들로 인하여 측정에 대한 불확실성을 가졌는데, 특히 생물의 경우 온습도에 따라 측정값이 달라지므로 동일한 온습도 환경에 측정하고자 노력하는 것으로 나타났다. 따라서 측정을 할 때는 실제 측정 도구만을 이용하는 것이 아니라 온습도계를 항상 준비한 상태에서 측정이 이루어지는 것과 보고서 작성에서도 날짜와 함께 온습도 값을 적도록 하는 것이 중요하다. 또한 측정하는 장소인 실험대의 평평하게 하고 진동에 의한 방해가 없애기 위하여 책상의 이물질 제거하거나 실험대 위에 유리판을 깔고 측정을 하였다. 비록 극소수였으나 실험대 받침대 높이가 일치되도록 하거나 실험대를 고정하여 주변 공사에 의한 진동을 최소화하고자 했다는 진술한 학생도 있었다.

3. 불확실성의 원인과 감소 행동의 관계

불확실성 원인과 불확실성 감소 행동과의 관계를 모식도로 나타내면 [Fig. 1]과 같다. 측정 도구에 의한 불확실성 원인과 관련해서는 직접 측정 도구를 개발하거나 측정 도구 사용법을 익히는 방향으로 해서 불확실성을 해결하고자 하였다. 측정 도구 측면의 불확실성은 직접 측정에 대한 문제를 해결하기 위한 아이디어를 내어 기존의 도구의 문제점을 보완하여 새로운 도구를 만드는 점에서 실천적 감소 행동으로 볼 수 있다. 특히 측정 도구의 사용법을 익히기 위해서는 주어진 측정 도구만을 활용하는 것이 아니라 다양한 측정 도구를 다룰 수 있는 기회를 갖는 것이 중요하다. Priemer and Hellwig(2018)는 측정 도구에 의한 불확실성은 일회성으로 가르치는 것은 효과가 없으므로 오랜 기간 정규 수업의 일부가 되는 형태로 지속을 띠어야 한다고 주장하였다.

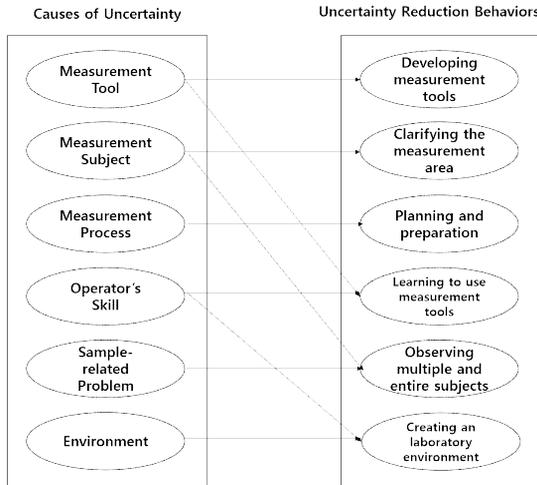
측정 대상과 관련해서는 다양한 불확실성 원인이 나타날 수 있다. 움직이는 생물과 움직이지 않는 생물, 불규칙적인 모양과 규칙적인 모양에 따라 불확실성의 원인이 달라지며 특히 수학에서

의 측정과 달리 생물을 이용한 측정일 경우 더욱 불확실성의 측정값이 나올 수 있다. 이와 관련하여 측정 방법적 측면에서 측정 부분을 정확히 통일하여 그 값을 정량화하거나 생물의 다양한 관점에서 측정의 의미를 살리기 위하여 다수 대상의 측정과 전체 관찰을 통한 측정을 시도한 행동이 나타났다.

측정 과정에서의 불확실성 감소 행동으로는 탐구에서 과정적 측면과 동일한 관점으로 사전에 실험을 설계하고 계획을 세우듯이 측정 과정에서의 구체적인 계획을 세우고 실제적인 측정을 해야 그에 대한 오류를 줄일 수 있는 관점이다. 즉, 계획의 중요성에 대한 행동적 변화를 보였고 그에 따른 불확실성 감소 행동이 관찰되었다.

조직자의 기술 측면은 탐구를 수행하는 데 있어 기본적으로 갖추어야 할 자질로 볼 수 있다. 직접 측정을 해 봄으로써 자신의 기존 능력에 대한 불확실성을 갖게 되어 측정 도구의 사용법과 과학적 측정을 위한 주변 환경 조성에 관심을 보이면서 불확실성을 줄여나간 것을 확인할 수 있었다. 주변 환경 조성까지 관심을 보이는 행동은 과학자다운 접근으로 해석할 수 있다.

표본 관련 불확실성 감소 행동으로는, 표본의 한 부분만의 특징을 이해하기보다는 측정을 통해 표본의 전체적인 특징을 이해하고자 하였다. 특정한 한 부분만을 측정하면 실제 그 생물의 측정값으로 보기 힘들며 측정자에 따라 값이 달라질 수 있는 점이 있다. 따라서 모든 생물의 전체 부분을 측정하면서 동료 친구들의 측정값과 서로 비교하여 생물의 전체적인 특징을 이해할 수 있는 관점으로 접근하였다. 불확실성 감소의 기본 원리는 자신과 동료간의 불확실성에 대한 상호관계를 증진시켜 감소시키는 것이다(Huh and Lee, 2018). 또한 초등학생들은 생물을 측정할 때 한 생물만을 두고 측정하는 것이 아니라 동일한 종이라도 여러 생물을 함께 측정하여 그 생물의 전체적인 특징을 이해하여 측정에 대한 불확실성을 감소시키고자 하였다.



[Fig. 1] Relations between Uncertainty Causes and Uncertainty Reduction Behaviors in Measurement Activities

IV. 결론 및 제언

본 연구에서는 초등학생들의 측정 활동에서 나타난 불확실성 유형과 이러한 유형별 감소 행동에 대해 분석하는 데 연구 목적이 있다.

이러한 목적하에 도출된 연구 결론은 다음과 같다.

초등학생들의 측정 활동에서 나타난 불확실성 원인으로서는 ‘측정 도구’, ‘측정 대상’, ‘측정 과정’, ‘조직자의 기술’, ‘표본 관련 문제들’, ‘환경’ 6가지 유형이 나타났으며 그중에서 ‘측정 대상’과 관련하여 움직이는 생물과 불규칙적인 모양에 따른 측정값에 대해 불확실성을 갖는 경우가 많았다. 그다음으로는 ‘조직자의 기술’과 관련하여 도구의 조작 기술의 부족과 전자저울의 영점보정 기술의 부족으로 측정값에 대해 불확실성을 갖는 것으로 나타났다. 이는 초등학생들의 측정에 대한 다양한 경험의 부족과 직접 측정 도구의 사용 경험 부족의 원인으로 볼 수 있다. 그 밖의 원인은 과학 탐구 활동의 과정적 측면에서 나타날 수 있는 원인과 좀 더 세밀한 측정의 접근을 통해

나타날 수 있는 불확실성이므로 불확실성의 감소 행동을 통해 해결할 수 있는 부분이었다.

측정 활동에서 불확실성 감소 행동 또한 6가지 유형으로 나눌 수 있었으며 그중에서 ‘측정 대상의 움직임과 모양에 따른 측정 부분의 명료화’에 대한 감소 행동이 가장 높은 빈도를 보였는데, 측정의 가장 기본적인 원칙인 측정 부분을 정하여 반복 측정하기의 행동을 통해 불확실성의 문제점을 해결하고자 노력하였다. 그다음으로는 ‘측정 도구 개발’을 통해 측정의 불확실성을 해결하고자 하였다. 이는 초등학생들의 수준에 다소 어려운 불확실성 감소 행동으로 볼 수 있으나 주변의 재료를 사용하고자 하는 탐구력만 갖추어진다면 행동으로 표출될 수 있는 요소라고 판단된다. 그 외로 ‘측정을 위한 사전 설계 및 준비’, ‘측정 도구 사용법 익히기’, ‘표본 선정’, ‘환경 조성하기’ 등이 있었다.

불확실성 원인과 감소 행동과의 관계 분석을 해 보았을 때, 측정 도구 원인 측면과 관련하여 측정 도구 사용법을 익히거나 측정 도구 개발하였고, 측정 대상 원인과 관련해서는 측정 부분 명료화하기와 다수 대상 혹은 전체 부분 측정을 통해 불확실성을 해결하는 것을 볼 수 있었다. 그 외 불확실성의 원인도 각각의 감소 행동을 보이면서 초등학생들의 수준에서 측정에서 나타나는 불확실성을 감소시키기 위한 행동을 보였다. 그러나 모든 연구 대상 학생들이 각 불확실성의 원인에 대한 합리적인 감소 행동을 보인 것이 아니라 원인별 일부 학생들만 보인 것을 볼 때 과학 탐구 활동에서 측정 활동 시 불확실성을 해결할 수 있는 구체적 행동을 전략적으로 초등학생들에게 안내할 필요가 있어 보였다.

본 연구의 결론을 바탕으로 후속 연구를 위한 제언을 하면 다음과 같다.

본 연구에서는 초등학생들의 측정 활동을 통해 나타난 불확실성을 분석하였으나, 실제 이들의 불확실성 감소 행동이 다음 측정 활동에 어떠한 영향을 미치는지에 대한 후속 연구가 필요하다.

또한 본 연구의 결과를 반영한 측정 활동 프로그램을 개발하여 불확실성 문제 해결 과정 분석을 통하여 그 효과에 대한 양적 질적 연구가 추가되어야 할 것이다. 교사들의 불확실성이 초등학교들의 측정 활동에서도 실제 어떠한 영향을 줄 수 있는지도 관찰 평가가 이루어질 필요가 있다.

References

- Bell S(1999). A Beginner's guide to uncertainty of measurement. measurement good practice guide No. 11 (Issue 2), Reproduced by permission of the Controller of HMSO.
- Cobb P and Yackel E(1996). Constructivist, emergent, and sociocultural perspectives in the context of developmental research. *Educational Psychologist*, 31(3), 175~190.
<https://doi.org/10.1080/00461520.1996.9653265>
- Dewey J(1910). *How we think*. Boston, MA: Heath.
- Engle RA(2011). The productive disciplinary engagement framework: Origins, key concepts, and developments. In D. Dai (Ed.), *Design research on learning and thinking in educational settings: Enhancing growth and functioning*. New York, NY: Routledge.
- Ford MJ(2008). Disciplinary authority and accountability in scientific practice and learning. *Science Education*, 92(3), 404~423.
<https://doi.org/10.1002/sci.20263>
- Gresalfi M, Martin T, Hand V and Greeno J(2009). Constructing competence: An analysis of student participation in the activity systems of mathematics classrooms. *Educational Studies in Mathematics*, 70(1), 49~70.
<https://doi.org/10.11120/plan.2006.00170048>
- Hall B(2006). Teaching and learning uncertainty in science: the case of climate change. *Planet*, 17(1), 48~49.
- Han KS and Park JH(2019). Correlation of factors affecting elementary school students' academic achievement level. *Journal of Fisheries and Marine Sciences Education*, 31(1), 60~71.
<https://doi.org/10.13000/JFMSE.2019.2.31.1.60>
- Huh J and Lee SH(2018). The influence of task uncertainty and relationship uncertainty on team composition, satisfaction, and performance. *Korean Business Education Review*, 33(1), 257~279.
<https://doi.org/10.23839/kabe.2018.33.1.257>
- Kanari Z and Millar R(2004). Reasoning from data: How students collect and interpret data in science investigations. *Journal of Research in Science Teaching*, 41(7), 748~769.
<https://doi.org/10.1002/tea.20020>
- Kim DR(2020). Analyses of relations among environmental consciousness, environmental teaching anxiety and environmental teaching efficacy in elementary pre-service teachers through structural equation modeling. *Journal of Fisheries and Marine Sciences Education*, 32(2), 353~365.
<https://doi.org/10.13000/JFMSE.2020.4.32.2.353>
- Kim DR(2021). A Study on correlations between scientific model assessments and phased consistency in the process of pre-service elementary school teachers' developing a food web and ecological pyramid model. *Journal of Fisheries and Marine Sciences Education*, 33(2), 299~313,
<https://doi.org/10.13000/JFMSE.2021.4.33.2.299>
- Kim JE, Dong HG and Kim YJ(2018). The students' perception on the real thing's actual size through the illustrations in life science's textbooks. *Biology Education*, 46(3), 398~410.
<https://doi.org/10.15717/bioedu.2018.46.3.398>
- Kim JG(2015). *An introduction to error analysis-inquiries into uncertainty through natural science measurements*. Seoul: SNU (Seoul National University) Publication Center.
- Kim SK(2018). Recognition of pre-service elementary teachers' science units and Korea, Japan, and USA Elementary Science Textbooks Science Unit Analysis. *Journal of Fisheries and Marine Sciences Education*, 30(5), 1663~1678.
<https://doi.org/10.13000/JFMSE.2018.10.30.5.1663>
- Kirkup L(2004). Reforming the teaching of uncertainty to undergraduate science and engineering students proceedings of the MSA (Metrology Society of Australia) 2004 5th Biennial Conference, Melbourne, 21~25.
- Knorr-Cetina K(1999). *Epistemic cultures: how the sciences make knowledge*. Cambridge, MA: Harvard University Press.
- Lee HR and Yoo BK(2021). The effects of using

- science textbook on elementary school students' interest and curiosity in science. *Journal of Fisheries and Marine Sciences Education*, 33(1), 181~192. <https://doi.org/10.13000/JFMSE.2021.2.33.1.181>
- Lehrer R(2009). Designing to develop disciplinary dispositions: Modeling natural systems. *American Psychologist*, 64(8), 759~771. <https://doi.org/10.1037/0003-066X.64.8.759>
- Lehrer R and Schauble L(2002). Investigating real data in the classroom: Expanding children's understanding of math and science: New York, NY: Teachers College Press.
- Lubben F and Millar R(1996). Children's ideas about the reliability of experimental data. *International Journal of Science Education*, 18(8), 955~968. <https://doi.org/10.1080/0950069960180807>
- Manz E(2018). Designing for and analyzing productive uncertainty in science investigations. In Kay, J. and Luckin, R. (Eds.) *Rethinking Learning in the Digital Age: Making the Learning Sciences Count*, 13th International Conference of the Learning Sciences (ICLS) 2018, (Volume 1, pp. 288-295). London, UK: International Society of the Learning Sciences.
- Manz E and Suárez E(2018). Supporting teachers to negotiate uncertainty for science, students, and teaching. *Science Education*, 102(4), 771~795. <https://doi.org/10.1002/sce.21343>
- Metz KE(2004). Children's understanding of scientific inquiry: Their conceptualization of uncertainty in investigations of their own design. *Cognition and Instruction*, 22(2), 219~290. <https://doi.org/10.1080/09500693.2011.640360>
- Munier V and Merle H(2013). Teaching scientific measurement and uncertainty in elementary school. *International Journal of Science Education*, 35(16), 1~32. <https://doi.org/10.1080/09500693.2011.640360>
- Park WS(2013). The effects of perceived uncertainty to organizational change and communication style on employee's participation to organizational change. Unpublished doctoral dissertation, Chung-Ang University.
- Pickering A(1995). *The mangle of practice: time, agency, and science*. Chicago, IL: University of Chicago Press.
- Priemer B and Hellwig J(2018). Learning about measurement uncertainties in secondary education: a model of the subject matter. *International Journal of Science & Mathematics Education*, 16(1), 45~68. <https://doi.org/10.1007/s10763-016-9768-0>
- Séré MG, Journeaux R and Larcher C(1993). Learning the statistical analysis of measurement errors. *International Journal of Science Education*, 15(4), 427~438. <https://doi.org/10.1080/0950069930150406>
- Sorrentino RM, Holmes JG, Hanna SE and Scharp A(1995). Uncertainty orientation and trust in close relationships: Individual differences in cognitive styles. *Journal of Personality and Social Psychology*, 68(2), 314~327. <https://doi.org/10.1037/0022-3514.68.2.314>
- Tauritz RL(2012). How to handle knowledge uncertainty: Learning and teaching in times of accelerated change. In: *Learning for sustainability in times of accelerating change*, (A. E. J. Wals and P. B. Corcoran, eds), pp. 299~316. Wageningen Academic Publishers, Wageningen, The Netherlands.
- Vellom RP and Anderson CW(1999). Reasoning about data in middle school science. *Journal of Research in Science Teaching*, 36(2), 179~199. [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1098-2736\(199902\)36:2<179::AID-TEA5>3.0.CO;2-T](https://doi.org/10.1002/(SICI)1098-2736(199902)36:2<179::AID-TEA5>3.0.CO;2-T)
- Yoo YR(2016). Study on consumers' perceived uncertainty types and uncertainty reduction behaviors in purchase decision process : integrated approach of qualitative and quantitative methods. Unpublished doctoral dissertation, Chonnam National University.

-
- Received : 16 January, 2023
 - Revised : 13 February, 2023
 - Accepted : 17 February, 2023