

목 차

국문초록.....	ii
I. 서론	1
1. 연구의 필요성.....	1
2. 연구 목적	2
3. 연구 문제	3
4. 용어의 정의	3
II. 선행 연구 고찰	6
1. 선행 연구	6
2. 교육과정 및 교재 분석	8
III. 연구 대상 및 방법.....	9
1. 연구 대상	9
2. 자료 수집 및 분석 절차.....	9
IV. 연구 결과 및 해석	13
1. 최소 눈금 단위를 이용한 유효숫자 자리 결정	13
2. 평균값 계산	15
3. 유효숫자의 필요성 인식.....	17
V. 결 론	20
참고문헌.....	22

과학영재 학생들의 길이 측정 및 자료 해석 과정에서 유효숫자 활용 실태 연구

설 영 찬

전남대학교 대 학 원

과 학 교 육 학 과

(지도교수 : 최재혁)

(국문초록)

본 연구는 과학영재 학생들이 과학 탐구 기능의 핵심 요소인 측정과 자료 해석 과정에서 유효숫자를 어떻게 적용하며, 그 적용 기준이 상황에 따라 일관되게 유지되는지를 분석하고자 하였다. 연구 대상은 광주광역시에 위치한 과학영재학교 2학년 재학생 74명으로, 측정과 계산, 그리고 유효숫자의 필요성 인식에 관한 설문을 실시하였다. 설문은 과학 탐구 기능의 단계에 따라 세 영역으로 구성하였다. 첫째, ‘측정’ 영역에서는 도구의 최소 눈금 단위를 이용한 유효숫자 자리 결정 문항을 제시하여, 학생들이 측정 도구의 눈금을 1/10 단위까지 판독해야 하는 원리를 이해하고 실제로 적용할 수 있는지를 검증하였다. 둘째, ‘자료 해석’ 영역에서는 반복 측정 값의 평균 계산 문항을 통해 유효숫자 자릿수 규칙을 이론적으로 알고 있는 수준과 실제 계산에서 이를 일관되게 적용하는 능력의 차이를 비교하였다. 셋째, ‘인식’

영역에서는 측정 도구의 정밀도와 탐구 맥락에 따라 유효숫자의 필요성을 어떻게 판단하는지를 분석하였다. 연구 결과, 도구와 눈금 간격이 명시된 상황에서는 69%의 학생이 유효숫자를 올바르게 처리하였으나, 실제 측정 상황에서는 8%만이 정답을 제시하였다. 평균값 계산 문항에서도 이론적 선택에서는 61%가 올바르게 응답했으나, 실제 계산에서는 20 30%만이 정확히 적용하였다. 또한 유효숫자 규칙을 알고도 단순화하거나 생략하는 학생이 약 80%에 달했으며, 자릿수를 일관되게 유지하는 학생보다 규칙을 간과하는 경향이 두드러졌다. 유효숫자의 필요성 인식 문항에서는 도구의 정밀도가 높을수록 필요성을 높게 인식하였으며, 버니어캘리퍼스에서는 81%, 물리 상수는 76%, 자 사용 상황에서는 64%가 필요하다고 응답하였다. 그러나 일부 학생은 상수가 이미 정확한 값이라고 판단하거나, 일상생활에서는 유효숫자가 불필요하다고 인식하는 등 상황에 의존하는 판단을 보였다. 이러한 결과는 학생들이 유효숫자 개념을 규칙 수준에서는 이해하고 있으나, 실제 측정과 계산의 맥락에서는 그 의미와 기능을 충분히 내면화하지 못하고 있음을 시사한다. 따라서 유효숫자 교육은 단순한 규칙 전달을 넘어, 다양한 측정 도구와 실험 상황을 연계하여 유효숫자의 필요성과 역할을 체감하고 일관되게 적용할 수 있도록 지도하는 방향으로 보완될 필요가 있다.

I. 서 론

1. 연구의 필요성

과학적 탐구에서 측정과 자료 해석은 연구 결과의 신뢰성을 결정짓는 핵심 과정이다. 실험을 통해 얻은 수치는 단순한 숫자가 아니라 측정 도구의 정밀도와 탐구자의 판단이 반영된 값이며, 그 표현의 정확성은 과학적 결론의 타당성과 직결된다. **정확한 측정은 과학 탐구의 절차를 넘어 사회가 신뢰를 갖고 기능하기 위한 필수 조건이다. 한국표준과학연구원은 측정표준이 산업, 의료, 환경 분야의 판단을 지지하는 기준이며 국가적 품질 신뢰성을 결정하는 요소라고 설명한다. 측정의 정확성이 사회적 판단과 연결된다는 점은 학교 과학에서 측정값의 표현과 해석을 명확하게 지도해야 할 필요성을 분명히 보여준다.** 유효숫자는 이러한 측정값의 신뢰도를 드러내고 계산 결과의 타당성을 유지하기 위한 기본 개념으로, 과학 탐구의 필수 요소라 할 수 있다. 그러나 실제 교육 현장에서는 유효숫자가 단순한 표기 규칙이나 암기 대상으로만 다루어지고 있으며, 학생들은 이를 탐구의 맥락 속에서 활용하기보다 형식적인 절차로 인식하는 경우가 많다. 이재봉(2006)은 학생들이 측정 결과를 하나의 평균값으로 단순화하여 표현하고, 불확실도나 자료의 변동을 함께 고려하지 못하며, 유효숫자 표현에서도 어려움을 보였다고 보고하였다. 또한 정밀도와 정확도의 개념을 혼동하고, 계통 오차와 우연 오차를 구분하지 못하는 등 측정 불확실도 개념이 충분히 형성되지 않았다고 분석하였다. 전영석(2024)은 과학 우수 학생들이 측정 오차를 단순히 절차적으로 계산하며, 측정 결과를 평균값으로 표현하되 불확실도를 함께 고려하지 못하는 등 ‘절차적 수준(procedural level)’에 머물러 있다고 분석하였다. 또한 주어진 지시에 따라 측정과 계산을 수행하지만, 오차의 원인을 해석하거나 결과의 신뢰도를 판단하는 수준에는 이르지 못하였다고 보고하였다. 특히 과학영재 학생들은 일반 학생보다 높은 과학적 사고력과 탐구 경험을 지니고 있음에도, 유효숫자를 단순한 규칙으로 이해하거나 실제 탐구 과정

에서 일관성 있게 활용하지 못하는 경우가 많다. 이는 ‘지식을 아는 것’과 ‘적용하는 것’ 사이의 차이를 보여주는 사례로, 영재교육에서도 기초 탐구 기능이 충분히 내면화되지 않았음을 시사한다. 이인호(2020)는 국제중등과학올림피아드(IJSO) 분석에서도 우리나라 대표 학생들은 문제 해결 과정에서 물리 현상과 관련된 공식을 기계적으로 암기하는 경향이 있다고 분석하였고, 다른 나라에 비해 유효숫자에 대한 교육이 부족함을 지적하였다. 따라서 과학영재 학생들이 측정과 자료 해석 과정에서 유효숫자 개념을 얼마나 일관성 있게 적용하는지를 구체적으로 분석할 필요가 있다.

2. 연구 목적

본 연구는 과학영재 학생들을 대상으로 측정과 자료 해석 과정에서 유효숫자 활용의 실제 양상과 그 필요성 인식 수준을 분석하여, 유효숫자 교육의 개선 방향을 제시하고자 하며, 구체적으로 다음의 목적을 가진다.

첫째, 측정 도구의 최소 눈금 단위를 이용한 판독 과정에서 학생들이 유효숫자 규칙을 이해하고 실제 측정 상황에 일관되게 적용하는지를 확인한다.

둘째, 반복 측정값의 평균 계산에서 유효숫자 규칙이 얼마나 정확히 적용되는지를 살펴보고, 지식 수준의 이해와 실제 계산 적용 간의 차이를 분석한다.

셋째, 다양한 탐구 맥락(자의 사용, 버니어캘리퍼스 활용, 물리 상수 적용)에서 학생들이 유효숫자의 필요성을 어떻게 인식하는지를 조사한다.

최종적으로 과학영재 학생들이 유효숫자를 단순한 규칙으로 인식하는 수준을 넘어, 측정의 정밀도와 탐구의 신뢰성을 유지하는 핵심 원리로 이해하고 활용할 수 있도록 하는 교육적 방향을 제시하고자 한다.

3. 연구 문제

본 연구는 과학영재 학생들이 과학 탐구 과정에서 유효숫자를 실제로 어떻게 활용하는지를 측정, 계산, 인식의 세 측면에서 분석하고자 하였다. 이에 따라 다음의 세 가지 연구 문제를 설정하였다.

첫째, 과학영재 학생들은 측정 도구의 최소 눈금 단위를 이용한 길이 측정 과정에서 유효숫자 규칙을 알고 있으며, 이를 실제 측정 상황에서 일관되게 적용하는가?

둘째, 과학영재 학생들은 반복 측정값의 평균을 계산할 때 유효숫자 규칙을 바르게 적용하여 자릿수를 결정하고, 계산 과정에서도 그 기준을 유지하는가?

셋째, 과학영재 학생들은 측정 도구의 정밀도나 과학적 맥락(자의 사용, 버니어캘리퍼스 활용, 물리 상수 적용)에 따라 유효숫자의 필요성을 어떻게 인식하는가?

4. 용어의 정의

가. 측정과 불확도

‘고등학교 물리학 실험 교과서(박종찬 외, 2024)’에서 측정은 ‘적절한 도구나 기계를 사용하여 길이, 넓이 등 단위로 나타낼 수 있는 물리량을 재어서 기록하는 활동’으로 설명하고, 측정의 목적은 수학적으로 표현할 수 있는 과학적 법칙이나 원리의 기초 자료를 얻는 데 있음을 강조하였다. 또한 측정에는 항상 오차(error)가 포함되고, 실제 실험 상황에서 참값을 정확히 알 수 없으므로 ‘불확도(uncertainty)’를 구하여 측정값을 표현한다고 설명한다. 측정은 도구의 최소 눈금 단위와 판독 방법에 따라 결과의 신뢰도가 달라진다. 본 연구에서는 자 또는 버니어캘리퍼스 등 측정 도구를 이용하여 길이를 측정하는 과정을 ‘측정 상황’으로 설정하고, 학생들이 도구의 눈금 간격과 판독 원리를 근거로 유효숫자를 올바르게 결정하는지를 분석하였다.

불확도는 측정 결과가 참값으로부터 얼마나 벗어나 있을 수 있는지를 나타내는 양으로, 측정 도구의 한계와 측정자의 판단 오차를 포함한다. 본 연구에서는 불확도를 유효숫자의 근거가 되는 개념으로 간주하며, 학생들이 측정값의 자릿수를 결정하거나 평균을 계산할 때 불확도를 얼마나 인식하고 반영하는지를 확인하고자 하였다.

나. 유효숫자와 불확도의 결정 방법

유효숫자는 측정값을 수치로 표현할 때 그 수치가 지닌 신뢰도를 나타내는 자리수로, 측정 도구의 정밀도와 측정자의 판독 습관 등을 반영한다. 본 연구에서는 유효숫자를 ‘측정 도구의 최소 눈금 1/10까지 판독하여 기록한 수치가 지닌 신뢰 가능한 자리수’로 정의하며, 학생들이 이러한 기준을 실제 측정과 계산 과정에서 얼마나 일관되게 적용하는지를 분석하였다.

‘고등학교 물리학 실험 교과서(박종찬 외, 2024)’에서 대푯값을 표현하는 규칙으로 유효숫자는 불확도와 같은 소수점 자리가 되도록 반올림하여 표현해야함을 언급하였고 불확도의 결정 방법에 대하여 설명하였다. 이 결정 방법에 의하면 단일 측정에서 눈금 간격이 큰 경우 최소 눈금의 1/10까지 어렵하여 표현할 수 있고, 눈금 간격이 작은 경우 1/10까지 어렵하기 불가능하다면 불확도를 1/2로 결정하여 표현할 수 있다.

따라서, 본 연구의 연필 눈금 측정 문항에서는 적어도 최소 눈금의 절반을 어렵하여 표현하는 것이 유효숫자 규칙을 충실히 따른 것으로 볼 수 있다.

다. 기초 탐구과정과 통합 탐구과정

미국의 AAAS(American Association for the Advancement of Science)는 탐구과정의 중요성을 인식하고 SAPA (Science-A Process Approach)를 개발하였다. 이는 크게 기초 탐구과정(Basic Process)과 통합 탐구과정(Integrated Process)으로 분류되고 김수경 등(2004)은 기초탐구기능의 하위 영역으로 관찰, 분류, 측정, 추리, 예상하기 기능이 있고, 통합탐구기능의 하위 영역으로 문제 발견, 가설 설정, 자료 변환, 자료 해석, 변인 통제, 결론 도출, 일반화가 있음으로 번역하였다.

문헌 찾기

라. 측정과 자료해석

‘측정’은 기초 탐구과정의 하위 영역으로 ‘고등학교 물리학 실험 교과서(박종찬 외, 2024)’에서 적절한 도구나 기계를 사용하여 길이, 넓이 등 단위로 나타낼 수 있는 물리량을 재어 기록하는 활동으로 표현하고 있다. 임청환(2011)은 측정을 관찰을 수량화하는 활동으로 표현하였고, 도구의 선택과 사용, 단위 선택, 측정 범위와 구간, 어림셈, 오차와 정확도, 반복가능성에 대한 이해가 필요함을 언급하였다.

한편, 통합 탐구과정 중 ‘자료 변환’은 관찰이나 측정, 실험 등으로 얻은 데이터를 기록하고, 표나 그래프 등의 여러 형태로 변환하는 활동을 말한다. 또한 측정된 여러 수치를 비교, 종합하여 의미 있는 결론을 도출하는 과정이다. 임청환(2011)은 자료 해석이 포괄적인 의미에서 수집한 실험 자료의 이해를 의미한다고 하였다. 본 연구에서는 반복 측정값의 평균 계산을 중심으로 학생들이 유효숫자 규칙을 적용하고 계산된 결과의 자릿수를 적절히 표현하는지를 확인하였다.

마. 유효숫자 필요성 인식

유효숫자 필요성 인식이란 측정 과정뿐 아니라 자료 처리, 상수 적용 등 다양한 탐구 맥락에서 유효숫자가 왜 필요한지를 자각하는 정도를 의미한다. 본 연구에서는 자, 버니어캘리퍼스, 물리 상수 등 서로 다른 정밀도의 도구나 상황에 따라 학생들의 인식이 어떻게 달라지는지를 분석하였다.

II. 선행 연구 고찰

1. 선행 연구

가. 전영석(2024)의 연구

전영석(2024)은 과학 우수 학생을 대상으로 온도 측정 과정에서의 오차 인식과 불확실성 이해를 분석하였다. 연구자는 과학 실험에서 측정과 오차가 탐구의 신뢰성을 결정짓는 핵심 요소임에도, 교육 현장에서 이를 단순 계산 절차로만 다루는 한계를 지적하였다. 이를 위해 중등과학올림피아드 예비대표단과 대표단 총 20명을 대상으로 물의 온도 측정 실험을 수행하게 하고, 측정 태도와 오차 인식 과정을 관찰하였다. 학생들은 온도계 판독이나 측정 절차를 알고 있었으나 실제 상황에서는 이를 일관되게 적용하지 못했으며, 측정값의 변동을 오차로 해석하지 못했다. 여러 측정값이 주어질 때 대부분 평균만 계산하여 대표값으로 제시하였고, 불확실성이나 유효숫자 적용은 거의 이루어지지 않았다. 오차의 원인을 도구 결함이나 실험자의 실수 등 외적 요인으로만 인식하는 경향도 나타났다.

연구자는 학생들의 인식 수준을 절차적(procedural), 개념적(conceptual), 주체적(agentive) 단계로 구분한 결과, 모든 학생이 절차적 수준에 머물러 있음을 보고하였다. 즉, 주어진 지시에 따라 측정과 계산을 수행하지만 오차의 원인과 결과의 신뢰도를 스스로 해석하지 못하는 수준이었다. 이러한 결과를 바탕으로, 연구자는 불확실성 중심의 실험 교육과 반복 측정 및 자료 해석 경험의 강화가 필요하다고 제안하였다. 본 연구는 과학 우수 학생들조차 오차를 절차적으로만 인식한다는 점을 실증적으로 보여줌으로써, 측정 개념 교육의 개선 방향을 제시한 선행연구로 의의가 있다.

나. 이재봉(2006)의 연구

이재봉(2006)은 학생들의 측정과 오차 개념을 탐색하며, 과학 탐구 과정에서 불확실성 개념이 어떻게 작용하는지를 연속적으로 분석하였다. 첫 번째 연구인 「측

정 자료의 오차와 불확실도에 대한 학생들의 이해」에서는 고등학생과 대학생을 대상으로 측정 자료의 표현, 정확도와 정밀도의 구별, 오차의 원인, 불확실성의 전과 등 네 영역의 문항을 통해 학생들의 개념 수준을 조사하였다. 학생들은 측정값을 평균으로 단순화하면서 자료의 분포나 변동성을 고려하지 않았고, 불확실성을 단순 계산 절차로 인식하였다. 또한 정밀도와 정확도를 혼동하거나 계통 오차와 우연 오차의 차이를 명확히 구분하지 못하였으며, 오차의 원인을 실험 도구나 개인의 실수로 한정하는 경향을 보였다. 이재봉은 학생들이 측정값을 과학적 증거로 해석하는 능력이 부족하다고 지적하며, 불확실성과 오차의 구분, 측정의 신뢰도 해석을 중심으로 한 교육이 필요함을 제안하였다.

또 다른 연구인 「학생들의 측정불확실도 개념의 결핍으로 인한 물리탐구과정에서의 어려움 분석」에서는 예비 중등교사 27명을 대상으로 진자 운동 실험을 수행하게 하고, 불확실도 개념의 부족이 탐구 수행 전반에 미치는 영향을 분석하였다. 학생들은 실험 설계 단계에서 변인 통제보다 반복 측정에 초점을 두거나, 불확실도의 크기를 고려하지 않은 채 결과를 도출하는 등 과학적 타당성을 확보하지 못하였다. 자료 해석 과정에서도 오차 막대나 추세선을 활용하지 못하고, 그래프를 단순히 시각적으로 해석하는 수준에 머물렀다. 이로 인해 자료의 변동을 오차와 구별하지 못하고, 불확실도를 반영한 결론 도출에도 실패하였다. 연구자는 이러한 문제의 원인을 결과 중심의 학습 관행에서 찾으며, 측정의 분포와 변동을 탐구의 일부로 인식할 수 있도록 지도해야 한다고 강조하였다.

다. 지영래(2019)의 연구

지영래(2019)는 사범대학 물리교육과 학부생들이 수행한 작은 질량 측정 실험 보고서를 분석하여, 대학생의 측정과 오차 이해 수준을 구체적으로 탐색하였다. 연구 대상은 물리교육 전공 2학년생 25명으로, 이들은 일상적 재료를 활용해 작은 질량 측정 도구를 제작하고, 측정 과정과 오차 요인, 유효숫자 처리, 측정값의 신뢰도 판단 등을 보고서 형태로 기술하였다. 연구의 목적은 학생들이 실험을 통해 측정 원리와 오차 개념을 어떻게 이해하고 적용하는지를 분석하는 데 있었다. 학생들은

측정 도구의 개발 원리를 정성적으로는 설명했으나, 이를 수치적, 분석적 모델로 표현하지 못하였다. 측정 과정에서는 반복 측정의 필요성을 인식하지 못하고 대부분 5회 미만의 시도에 그쳤으며, 모눈종이의 면적을 한 번만 측정해 ‘정확한 값’으로 간주하는 등 참값 중심(point paradigm)의 사고 경향을 보였다. 유효숫자 처리 또한 미숙하여, 동일한 도구로 측정했음에도 자리수를 다르게 기록하거나 평균 계산 시 규칙을 지키지 못하는 오류가 다수 확인되었다. 계통오차와 우연오차의 구분에서도 혼동이 나타나, 측정 과정의 불안정성을 우연오차로, 도구의 부정확성을 계통오차로 구분하지 못하는 사례가 많았다. 학생들이 제시한 계통오차 요인은 각도 측정의 어려움, 측정 도구 눈금의 부정확함, 핀과 지지대 사이의 마찰 등이었으며, 우연오차 요인은 외력, 관찰자의 움직임, 측정자의 숙련도 부족 등이었다. 그러나 두 오차의 개념을 혼동하는 응답이 절반 이상을 차지해, 오차 분류의 기준과 과학적 근거가 명확히 내면화되지 않았음을 보여주었다. 측정값의 신뢰 여부를 판단할 때는 ‘참값과의 오차가 작다’거나 ‘실험을 열심히 수행했다’는 비과학적 근거를 제시하는 경우가 많았다. 연구자는 이러한 결과를 바탕으로, 대학 수준에서도 학생들이 측정과 오차 개념을 형식적 규칙으로만 이해하고 탐구 맥락 속에서 기능적으로 활용하지 못하고 있음을 지적하였다. 또한 측정 탐구 요소를 중심으로 한 정교한 실험 설계와 보고서 환류가 필요하다고 제안하였다.

2. 교육과정 및 교재 분석

III. 연구 대상 및 방법

1. 연구 대상

본 연구의 대상은 광주광역시에 위치한 과학영재학교 2학년 재학생 74명이다. 이들은 수학, 과학 중심의 선발 과정을 거쳐 입학하였으며, 입학 이후 심화된 과학 교육과정을 이수하면서 탐구 역량을 집중적으로 강화해왔다. 대부분의 학생은 연구 중심의 실험 수업, R&E 활동, 과학 탐구대회 등을 통해 과학 개념을 실제 현상과 연결하고 문제 상황을 분석하는 경험을 꾸준히 쌓아온 집단이다. 따라서 본 연구의 참여자들은 고등학생 수준을 넘어, 일정 수준 이상의 과학적 사고력과 탐구 수행 능력을 갖춘 과학영재로 볼 수 있다.

학생들은 「측정과 자료 해석 과정에서의 유효숫자 활용」을 주제로 한 설문에 참여하였다. 설문은 측정 도구의 최소 눈금 단위를 이용한 자릿수 결정, 평균값 계산에서의 유효숫자 규칙 적용, 다양한 측정 맥락에서의 유효숫자 필요성 인식 등 세 영역으로 구성되었다. 각 문항은 학생들의 지식 수준과 실제 적용 능력, 그리고 유효숫자 개념에 대한 인식 수준을 종합적으로 파악할 수 있도록 설계되었다. 설문을 이용하여 과학영재 학생들이 유효숫자를 단순한 규칙으로 인식하는 데 그치지 않고, 실제 탐구 상황에서 얼마나 일관성 있게 적용하는지를 분석하였다.

2. 자료 수집 및 분석 절차

본 연구는 과학영재 학생들의 유효숫자 활용 양상을 측정, 계산, 인식의 세 측면에서 분석하였다. 이를 위해 다음의 세 가지 연구 주제를 중심으로 설문을

구성하였다.

첫째, 과학영재 학생들이 과학 탐구 과정에서 유효숫자 규칙을 실제 측정 상황에 얼마나 일관되게 적용하는지 탐색하였다.

둘째, 계산 및 자료 처리 과정에서 유효숫자 규칙을 얼마나 정확하게 활용하는지 분석하였다.

셋째, 다양한 과학 탐구 맥락에서 유효숫자의 필요성과 의미를 어떻게 인식하는지 살펴보았다.

설문 문항은 이러한 세 연구 주제에 따라 측정 상황, 계산 상황, 인식 상황의 세 영역으로 구성되었으며, 각 문항은 인지적 수준(지식, 이해, 적용)과 정의적 수준(인식, 태도)을 함께 평가할 수 있도록 설계되었다.

측정 상황(자료수집 1)은 학생들이 측정 도구의 최소 눈금 단위와 판독 규칙을 얼마나 정확히 이해하고 적용하는지를 확인하기 위한 것이다.

(1) 도구와 눈금 간격이 명시된 상황에서는 ‘눈금 간격이 0.1 cm인 자를 사용할 때, 측정값은 소수점 아래 몇 자리까지 쓰는 것이 적절한가?’를 묻는 문항을 통해 이론적 판단 능력을 평가하였다.

(2) 실제 측정 장면에서는 연필의 좌측 끝이 2.00 cm, 우측 끝이 10.67 cm 눈금에 놓인 그림을 제시하고, ‘연필의 길이는 얼마인가요?’를 묻는 방식으로 눈금의 1/10 단위를 고려한 실제 판독 능력을 점검하였다.

계산 상황(자료수집 2)은 학생들이 평균값 계산 과정에서 유효숫자 규칙을 일관되게 적용하는지를 분석하기 위한 것이다.

(1) 도구와 눈금 간격이 명시된 상황에서는 ‘눈금 간격이 0.1 cm인 자를 사용할 때 평균값을 기록한다면 소수점 아래 몇 자리까지 쓰는 것이 적절한가?’를 제시하여 규칙에 대한 인지적 이해를 확인하였다.

(2) 두 측정값(8.628 cm, 8.625 cm)이 주어진 문항과 (3) 아홉 개의 측정값이 제

시된 문항에서는 평균값 계산 과정에서 유효숫자 규칙을 실제로 적용하는 능력을 평가하였다.

인식 상황(자료수집 3)은 학생들이 다양한 탐구 맥락에서 유효숫자의 필요성을 어떻게 인식하는지를 파악하기 위한 것이다.

- (1) 버니어캘리퍼스와 같이 정밀한 도구를 사용하는 경우,
- (2) 자와 같이 정밀도가 낮은 도구를 사용하는 경우,
- (3) 물리 상수를 활용한 계산의 경우를 제시하고, 각 상황에서 ‘유효숫자를 반드시 지켜야 한다고 생각하는가?’를 판단하게 하였다.

이를 이용하여 학생들이 유효숫자를 단순한 표기 규칙이 아니라 측정 도구의 정밀도와 탐구 맥락에 따라 변동하는 신뢰도의 표현으로 인식하고 있는지를 분석하였다. 수집된 응답은 문항별 정답률, 자릿수 표현 유형, 응답 경향 등을 중심으로 분석하였다. 또한 서술형 응답은 학생들이 제시한 이유와 표현을 바탕으로 유효숫자 개념의 이해 수준과 필요성 인식의 특징을 해석하였다. 이후 각 문항 영역별로 학생들의 유효숫자 활용 실태를 구체적으로 파악하고, 측정, 계산, 인식의 세 측면에서 비교하였다. 설문 분석 순서는 <표 1>과 같다.

<표 1> 설문 분석 순서

순 서	인지적, 정의적 수준	탐색 주제	질문 내용
1	지식, 이해	측정에서 도구의 눈금을 1/10까지 판독해야 하며, 적용해야 함을 아는가?	눈금 간격이 0.1 cm인 자를 사용할 때, 측정값은 소수점 아래 몇 자리까지 쓰는 것이 적절한지 판단하기
	적용	실제로 측정값을 읽을 때 측정 도구의 1/10까지 고려하는가?	연필의 좌측과 우측 끝 눈금을 읽고 길이를 계산하기
2	지식, 이해	자료 해석에서 유효숫자 규칙을 바르게 알고, 적용해야 함을 아는가?	측정값이 주어질 때, 평균값은 소수점 아래 몇 자리까지 기록하는 것이 적절한지 판단하기
	적용	주어진 측정값에서 유효숫자 규칙에 따라 평균을 계산하는가?	(1) 두 측정값의 평균 계산 (2) 여러 측정값의 평균 계산
3	인식(태도)	다양한 탐구 맥락에서 유효숫자 적용의 필요성을 인식하는가?	(1)자 이용 측정 필요성 판단 (2) 버니어캘리퍼스 필요성 판단 (3) 물리 상수 계산 필요성 판단

IV. 연구 결과 및 해석

본 연구에서는 과학영재 학생들의 유효숫자 활용 양상을 측정, 계산, 인식의 세 측면에서 분석하였다.

첫째, 측정 상황에서는 측정 도구의 최소 눈금 단위를 이용하여 학생들이 유효숫자 규칙을 실제 측정 상황에 얼마나 일관되게 적용하는지를 확인하였다.

둘째, 계산 상황에서는 평균값 계산 문항을 통해 학생들이 유효숫자 규칙을 계산 및 자료 처리 과정에서 얼마나 정확히 활용하는지를 분석하였다.

셋째, 인식 상황에서는 측정 도구의 정밀도와 과학 탐구 맥락을 달리하여 제시된 문항을 통해 학생들이 유효숫자의 필요성과 의미를 어떻게 인식하는지를 살펴보았다.

이 세 영역의 결과를 종합적으로 분석함으로써, 과학영재 학생들의 유효숫자 활용이 지식적 이해에 머무는지, 아니면 실제 탐구 과정에서 일관된 실천으로 이어지는지를 탐색하였다.

1. 최소 눈금 단위를 이용한 유효숫자 자리 결정

본 연구에서는 과학영재 학생들이 유효숫자 규칙을 실제 측정 상황에 얼마나 일관되게 적용하는지를 살펴보았다. 연구 결과, 약 70%의 학생들이 최소 눈금 단위를 이용한 유효숫자 자릿수 규칙을 알고 있었으나, 실제 측정 상황에서는 8%만이 이를 바르게 적용했다. 이는 측정 상황에서 이론적 지식과 실제 적용 간의 큰 차이가 존재함을 보여준다.

‘눈금 간격이 0.1cm인 자를 사용할 때, 측정값은 소수점 아래 몇 자리까지 기록하는 것이 적절한가?’라는 문항에서는 69%(51명)의 학생이 소수점 둘째 자리까지

기록해야 한다고 응답하였다. 이들은 대부분 ‘어림, 눈대중, 1/10, 육안’ 등의 근거를 제시하며 최소 눈금의 1/10 단위를 활용해야 한다는 규칙을 인식하고 있었다. 반면, 23%(17명)는 소수점 첫째 자리까지만, 7%(5명)는 셋째 자리 이상으로 응답하여 규칙의 적용 범위를 혼동하는 모습을 보였다. 즉, 학생들은 이론적으로는 규칙을 알고 있었으나, 실제 상황에서 정밀도 판단의 근거를 체계적으로 설명하지는 못하였다.

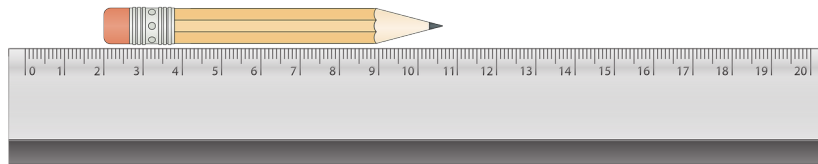
<표 2> 도구와 눈금 간격이 명시된 상황에서 측정값의 자릿수 선택 응답

응답	비율 (학생 수)
* 2	69% (51명)
1	23% (17명)
3 또는 4	7% (5명)

*답은 2이다.

이후 실제 측정 상황에서는 연필의 좌측 끝이 2.00 cm, 우측 끝이 10.67 cm 눈금에 위치한 그림을 제시하였다. 이때 모범 답안은 각각 2.00 cm와 10.67 cm를 읽어 차이를 계산한 8.67 cm이며, 이는 모든 측정값을 소수점 둘째 자리까지 표현한 경우이다.

<그림 1> 자의 눈금 판독 문항



(연필의 좌측 끝이 2.00 cm 눈금에 걸쳐 있음)

그러나 실제로 이 정답과 일치한 학생은 8%(6명)에 불과하였다. 반면, 46%(34명)는 세 항목 모두를 정수 혹은 첫째 자리까지만 기록하였고, 36%(27명)는 일부 항목만 소수 둘째 자리로 표기하는 등 유효숫자 자릿수의 일관성이 유지되지 않았다.

<표 3>에 제시된 바와 같이, 응답 유형은 크게 세 가지로 구분되었다. 첫째, ‘일관형(A형)’은 세 항목 모두에서 소수 둘째 자리를 유지한 경우(2-2-2, 8%)로, 규칙을 이해하고 일관되게 적용한 소수의 집단이다. 둘째, ‘간과형(B형)’은 첫 항목을 정수로 기록하거나 일부 자릿수를 생략한 응답(0-2-2, 0-1-1 등)으로 전체의 82%(61명)를 차지하였다. 이들은 규칙을 알고 있음에도 실제 적용에서 생략하거나

<표 3> 실제 측정 상황에서 전체 학생 응답 구분

구분		응답	사용한 자릿수	비율 (학생수)
일관형	*A1	소수 둘째 자리 사용	2-2-2	8% (6명)
	A2	소수 첫째 자리 사용	1-1-1	4% (3명)
간과형	B1	첫 항목만 정수처리	0-2-2	36% (27명)
	B2	첫 항목만 정수처리	0-1-1	46% (34명)
불일치형	C	일관성 없음	2-1-2 등	5% (4명)

*답은 A1유형(2-2-2)이다.

단순화하는 경향을 보였다. 셋째, ‘불일치형(C형)’은 각 항목의 자릿수가 제각각이거나 불일정한 응답(2-1-2 등, 5%)으로, 측정 기준을 체계적으로 인식하지 못한 집단이다.

이와 같은 결과는 학생들이 도구의 최소 눈금 단위를 이해하고 있음에도 불구하고, 실제 측정에서는 이를 정량적으로 반영하지 못하고 ‘눈금 값 자체를 신뢰’하는 경향을 보인다는 점을 시사한다. 특히 연필 좌측 끝을 정수로 표기한 응답이 전체의 82%에 달했다는 점은 많은 학생이 ‘측정값은 눈금 단위까지만 쓴다’는 단순한 규칙에 의존하고 있음을 보여준다. 즉, 이론적 지식은 있으나 불확실도와 어림 판단을 결합하여 자릿수를 결정하는 탐구적 사고가 충분히 내면화되지 않은 상태라 할 수 있다.

따라서 이러한 결과는 유효숫자 교육이 단순 암기식 규칙 전달에 머무르지 않고, 측정 도구의 정밀도와 어림 판단이 실제 기록 과정에서 어떻게 작용하는지를 체험적으로 익히는 활동 중심 학습으로 전환될 필요성을 시사한다.

2. 평균값 계산

연구 결과, 유효숫자가 명시된 상황에서는 자릿수 규칙을 선택하는 수준에서 비교적 높은 정답률을 보였으나, 실제 계산에 적용하는 단계에서는 정답률이 크게

떨어졌다. 이는 과학영재 학생들이 유효숫자 규칙을 인지적으로는 이해하고 있으나, 실제 연산 과정에서 일관되게 적용하지 못함을 보여준다.

<표 4> 도구와 눈금 간격이 명시된 상황에서 평균값 자릿수 선택 응답

응답	비율 (학생 수)
* 3	61% (45명)
2 또는 4	39% (29명)

*답은 2이다.

‘눈금 간격이 0.1 cm인 자를 사용할 때, 평균값을 기록한다면 소수점 아래 몇 자리까지 쓰는 것이 적절한가?’라는 문항에서 61%(45명)의 학생이 소수점 셋째 자리까지 기록해야 한다고 응답하였다. 이는 버니어캘리퍼스의 정밀도를 고려하여 이론적으로 올바른 자릿수를 선택한 경우로, 학생들이 측정 도구의 정밀도와 유효숫자 규칙의 관계를 개념적으로는 이해하고 있음을 시사한다. 반면 39%(29명)의 학생은 둘째 자리나 넷째 자리로 응답하여, 정밀도 판단 기준을 혼동하거나 계산 과정에서 자릿수 규칙을 과대 또는 과소 적용하는 경향을 보였다.

<표 5> 평균값 구하기 문제에서 학생들의 정답률

문항	비율 (정답 학생 수)
두 측정값의 평균	20% (15명)
여러 값의 평균	31% (23명)

실제 계산 문항에서 양상은 달라졌다. 두 측정값(8.628 cm, 8.625 cm)의 평균을 구하는 문항에서 정답을 제시한 학생은 20%(15명)에 불과하였고, 여러 측정값(총 9개)이 주어진 문항에서는 31%(23명)만이 정답을 기록하였다. 이처럼 계산 상황으로 이동하면서 정답률이 60%대에서 20 30%대로 급감한 것은 학생들이 유효숫자 자릿수 규칙을 지식수준에서는 이해하지만, 실제 계산 과정에서는 이를 연결하지 못한다는 점을 명확히 보여준다.

응답 경향을 살펴보면, 일부 학생들은 모든 자릿수를 계산 결과 그대로 표기하거나, 반대로 임의로 반올림하여 평균값을 단순화하는 모습을 보였다. 이는 계산 결과의 자릿수를 결정할 때 측정값의 신뢰도나 불확실정보보다는 산술적 편의성에

근거한 판단을 내리고 있음을 시사한다. 특히 여러 측정값이 주어졌을 때 평균을 구하는 문항에서는, 반복 측정으로 인한 불확실도의 감소를 고려하지 않고 단순히 ‘숫자가 많으니 더 정밀하다’는 식의 판단을 내린 경우도 다수 관찰되었다.

이러한 경향은 유효숫자 개념을 계산 규칙으로만 이해하고, 계산 결과에 반영되어야 할 ‘측정의 의미’를 고려하지 못한 결과로 해석된다. 즉, 학생들은 측정값의 정밀도와 평균값의 자릿수 사이의 관계를 체계적으로 설명하지 못하였으며, 결과적으로 유효숫자를 표기상의 형식적 규칙으로만 인식하는 한계를 드러냈다.

따라서 이 결과는 과학영재 학생들도 계산 단계에서 유효숫자 규칙을 실질적으로 적용하는 데 어려움을 겪고 있음을 보여준다. 이론적 이해에 머물지 않고 계산 결과가 측정의 신뢰도와 불확실도를 반영해야 한다는 개념적 인식이 필요하며, 이를 위해 평균값 계산을 단순 연산이 아닌 탐구적 해석 과정으로 다루는 교수학습 설계가 요구된다.

3. 유효숫자의 필요성 인식

연구 결과, 학생들은 탐구 맥락에 따라 유효숫자의 필요성을 다르게 인식하였으며, 정밀도가 낮은 도구나 일상생활에서는 유효숫자를 지킬 필요가 없다고 판단하는 경향을 보였다. 즉, 측정 도구의 정밀도가 높을수록 유효숫자의 필요성을 크게 인식하였으나, 단순한 측정이나 일상적 상황에서는 그 중요성을 낮게 평가하였다.

<표 6> 여러 탐구 상황에서 유효숫자 필요성 응답률

항목	비율 (응답 학생 수)
자	64% (47명)
버니어캘리퍼스	81% (60명)
물리상수	76% (56명)

자, 버니어캘리퍼스, 물리 상수를 활용한 세 가지 상황을 제시한 결과, 버니어

캘리퍼스 사용 상황에서는 81%(60명)가, 물리 상수 계산 상황에서는 76%(56명)가, 자를 이용한 측정에서는 64%(47명)가 ‘유효숫자를 지켜야 한다’고 응답하였다. 세 상황 모두 절반 이상의 학생이 필요성을 인식하였으나, 정밀도가 높은 도구일수록 응답 비율이 높게 나타났다. 특히 버니어캘리퍼스의 경우 소수점 셋째 자리까지 판독이 가능한 정밀 기구로, 학생들은 ‘정밀할수록 자릿수의 중요성이 크다’는 인식을 분명히 드러냈다. 반면 자를 이용한 측정에서는 정밀도에 대한 고려가 약했고, 35%(26명)의 학생이 ‘일상생활에서는 굳이 유효숫자를 지킬 필요가 없다’고 응답하여, 측정의 맥락에 따라 필요성 판단이 달라지는 모습을 보였다.

응답 이유를 분석한 결과, 다수의 학생이 ‘유효숫자는 측정의 정확도를 표현하기 위해 필요하다’거나 ‘실험 결과의 신뢰성을 높이기 위한 규칙’이라는 일반적인 수준의 진술에 머물렀다. 반면 일부 학생은 ‘물리 상수는 이미 정확히 정의되어 있으므로 별도로 유효숫자를 고려하지 않아도 된다’고 응답하여, 유효숫자의 기능을 측정의 불확실성과 연결하지 못한 채 절대적 정확도의 개념으로 오해하는 경향을 보였다. 이러한 인식은 상수의 성격이나 계산 맥락에서 자릿수 의미를 과소평가하는 태도로 이어졌다.

또한 동일한 학생이 측정 도구의 종류에 따라 ‘필요하다’와 ‘필요하지 않다’를 오가며 응답한 경우도 적지 않았다. 이는 학생들이 유효숫자의 필요성을 규칙적 지식으로는 알고 있지만, 이를 상황에 따라 변하는 측정의 신뢰도 개념으로 내면화하지 못했음을 보여준다. 다시 말해, 유효숫자의 필요성을 ‘정밀한 도구일수록 중요하다’는 단순 비교의 논리로 판단하고 있으며, 불확실도 개념과의 연관성을 충분히 이해하지 못하고 있다.

이 결과는 학생들이 유효숫자를 과학 탐구의 신뢰도를 보장하는 개념적 도구로 인식하기보다, 형식적 규칙으로 이해하는 경향이 강하다는 점을 시사한다. 따라서 유효숫자 교육은 도구의 정밀도와 과학적 맥락에 따라 왜 필요한지를 스스로 체감할

수 있도록 설계되어야 한다. 특히 단순한 규칙 암기를 넘어, 측정 도구의 특성과 탐구 맥락을 결합하여 자릿수 선택의 이유를 설명하고 정당화할 수 있는 학습 경험이 요구된다.

V. 결 론

본 연구는 과학영재 학생들이 측정과 자료 해석 과정에서 유효숫자 규칙을 얼마나 일관되게 적용하는지를 분석하였다. 그 결과, 도구나 눈금 간격이 명시된 문항에서는 60 70%의 학생이 유효숫자 규칙을 바르게 답했으나, 실제 측정과 계산 상황에서는 8 30% 수준만이 이를 적용하여, 유효숫자 지식과 실제 적용 사이의 뚜렷한 격차가 나타났다. 즉, 학생들은 이론적으로는 유효숫자 규칙을 이해하고 있으나, 실제 탐구 상황에서는 그 의미를 반영하지 못한 채 절차적으로 처리하는 경향을 보였다.

또한 응답 유형 분석 결과, 유효숫자 규칙을 알고도 생략하거나 단순화하는 학생이 전체의 약 80%를 차지하였으며, 자릿수를 일관성 있게 사용하는 ‘일관형’보다 규칙을 알고도 무시하거나 간과하는 ‘간과형’이 우세하였다. 이는 학생들이 측정 도구의 정밀도와 불확실도를 고려하지 않은 채, ‘눈금 단위까지만 기록한다’는 단순 규칙에 의존하고 있음을 보여준다.

<표 7> 측정과 자료 해석에서 정답률 차이

항목	비율 (학생수)		
	설명된 상황	실제 적용 상황	
최소 눈금 단위를 이용한 유효숫자 자리 결정	69% (51명)	8% (6명)	
여러 값의 평균 구하기	61% (45명)	20% (15명)	31% (23명)

유효숫자의 필요성 인식에서도 정밀한 도구인 버니어캘리퍼스 상황에서는 81%의 학생이 필요성을 인식했으나, 자의 경우 64%만이 필요하다고 응답하였다. 즉, 도구의 정밀도가 높을수록 유효숫자를 중요하게 여겼지만, 일상적이고 정밀하지 않은 상황에서는 그 필요성을 낮게 평가하는 인식의 불안정성이 존재하였다. 일부 학생은 ‘물리 상수는 이미 정확하다’거나 ‘일상생활에서는 굳이 지킬 필요가 없다’는 이유를 제시하여, 유효숫자의 기능을 불확실성과 신뢰도의 표현으로 이해하지

못하는 모습을 보였다.

이러한 결과는 학생들이 유효숫자 개념을 규칙 차원에서는 알고 있으나, 과학적 맥락 속에서 그 필요성과 기능을 충분히 내면화하지 못하고 있음을 시사한다. 다시 말해, 지식 수준에서는 이해하지만 실제 탐구 과정에서는 일관된 판단으로 연결되지 못하고 있으며, 이는 탐구적 사고의 단절로 이어지고 있다.

따라서 유효숫자 교육은 단순한 규칙 전달을 넘어, 측정 도구의 정밀도와 실험 상황을 연계하여 유효숫자의 필요성과 의미를 체감적으로 이해하도록 하는 방향으로 보완될 필요가 있다. 학생들이 다양한 측정 사례를 통해 불확실성과 정밀도의 관계를 탐색하고, 측정값의 기록, 계산, 해석 전 과정에서 자릿수의 일관성을 스스로 점검하도록 하는 교수학습 설계가 요구된다. 이러한 접근을 통해 유효숫자는 더 이상 ‘표기 규칙’이 아닌 과학 탐구의 신뢰성을 유지하는 사고의 틀로 정착될 수 있을 것이다.

참고문헌

- 김수경, 차희영 and 김중복. (2005). 과학 탐구능력 향상을 위한 실생활 소재 모듈의 개발. 한국과학교육학회지, 25(7), 754-764.
- 박종찬 외. (2024). 고등학교 물리학 실험. 선두.
- 이인호. (2020). 제15회 국제중등과학올림피아드(IJSO2018) 문항 및 우리나라 대표 학생 답안 분석 - 물리 이론 시험 문항을 중심으로 -. 국제과학영재학회지, 6(2), 77-85.
- 이재봉. “측정자료의 오차와 불확실도에 대한 학생들의 이해.” 새물리 52.5 (2006): 436-446.
- 이재봉 (Jae Bong Lee),and 이성묵 (Sung Muk Lee). “학생들의 측정불확실도 개념의 결핍으로 인한 물리탐구과정에서의 어려움 분석.” 한국과학교육학회지 26.4 (2006): 581-591.
- 임청환. “과학 탐구과정과 탐구기능에 대한 고찰.” (2011)
- 전영석. “온도 측정 오차의 원인 및 대처 방안에 대한 과학 우수 학생의 인식 분석.” 새물리 75.1 (2025): 35-43.
- 지영래,and 조현국. “작은 질량 측정 실험 보고서에서 나타난 대학생들의 측정과 오차 이해.” 새물리 69.5 (2019): 547-558.
- 한국표준과학연구원. 측정표준의 중요성. KRISS 홈페이지. <https://www.kriss.re.kr> 최종 접속: 2025.11.11.