

요소 결정체 성장 실험 이해도 향상을 위한 시각화 및 예측 프로그램 개발

박은희*, 김희선**

The Development of a Visualization and Prediction Program for Enhancing Understanding of Urea Crystal Growth Experiments

Eunhee Park*, Heesun Kim**

요 약

본 연구는 온도와 습도가 요소(Urea) 결정체 형성에 미치는 영향을 정량적으로 분석하고, 초등학생이 이를 직관적으로 이해할 수 있는 학습 도구를 개발하는 것을 목표로 한다. 아두이노 센서를 활용하여 온도, 습도, 결정체 무게 데이터를 수집하였으며, 이는 앱인벤터 기반 학습 애플리케이션 설계를 위한 핵심 자료로 활용되었다. 실험 과정은 스마트폰 타임랩스를 통해 기록되었고, 파이썬 엣지 검출 기법을 사용해 결정체 크기 데이터를 추출하고 정제하여 데이터셋을 구축하였다. 구축된 데이터셋을 바탕으로 상관관계 및 회귀분석을 수행한 결과, 온도와 결정체 무게는 양의 상관관계(0.84), 습도는 음의 상관관계(-0.66)를 나타냈다. 이를 바탕으로 데이터를 시뮬레이션하고 탐구할 수 있는 애플리케이션을 설계하였다. 본 연구는 데이터 기반 학습 도구의 교육적 가능성을 제시하며, 향후 학습 효과 검증을 진행할 예정이다.

Abstract

This study aims to quantitatively analyze the effects of temperature and humidity on urea crystal formation and develop an educational tool to help elementary school students intuitively understand these concepts. Temperature, humidity, and crystal weight data were collected using Arduino sensors, which served as key resources for designing a learning application based on App Inventor. The experiment was recorded as a timelapse using a smartphone, and crystal size data were extracted and refined using a Python-based edge detection method to construct a comprehensive dataset. Correlation and regression analysis of the dataset revealed a positive correlation (0.84) between temperature and crystal weight and a negative correlation (-0.66) between humidity and crystal size. Based on these findings, an application was designed to simulate and explore the data. This study demonstrates the educational potential of data-driven learning tools and plans to validate their learning effectiveness in future research.

Keywords

data visualization, crystal formation, arduino, educational program, prediction program

* 국립안동대학교 AI융합학과 박사수료
- ORCID: <https://orcid.org/0009-0007-4994-9654>
** 국립안동대학교 소프트웨어융합학과 교수(교신저자)
- ORCID: <https://orcid.org/0009-0009-3937-1187>

• Received: Nov. 14, 2024, Revised: Jan. 15, 2025, Accepted: Jan. 18, 2025
• Corresponding Author: Heesun Kim
Dept. of Software Convergence, Andong National University, Korea
Tel.: +82-54-820-5478, Email: hskim@anu.ac.kr

I. 서 론

요소(Urea)는 화학식 $CO(NH_2)_2$ 로 표현되는 화합물로, 질소 비료, 의약품, 및 화학 공정의 주요 원료로 널리 사용된다. 또한, 결정체 형성 과정에서 물리적, 화학적 요인의 영향을 받는 흥미로운 특성을 지니고 있어, 과학적 탐구를 위한 훌륭한 학습 도구로 활용될 수 있다.

결정체 형성 실험은 학생에게 중요한 학습 경험을 제공하지만, 실험 과정 중 학생은 종종 ‘왜 내 결정체는 잘 형성되지 않았는가?’라는 질문을 던지며 실험 결과의 차이에 대한 호기심을 보였다. 이러한 질문은 문제 기반 학습(PBL, Problem-Based Learning)의 출발점으로, 학생이 스스로 문제의 원인을 탐구하고 과학적 원리를 이해할 수 있는 기회를 제공한다.

본 연구는 이러한 학생의 호기심을 해결하고, 결정체 형성 과정에서 온도와 습도의 중요성을 과학적으로 분석하기 위해 설계되었다. 특히, 데이터 기반의 접근 방식을 통해, 학생이 온도와 습도의 변화가 결정체 형성에 미치는 영향을 더 직관적으로 이해할 수 있도록 돕는 것을 목표로 하였다. 이를 위해, 아두이노 센서를 활용하여 온도와 습도를 실시간으로 측정하고, 결정체의 무게 데이터를 수집하였다. 수집된 데이터는 상관관계 분석을 통해 온도와 습도가 결정체 무게에 미치는 영향을 검증하는 데 사용되었다. 이후, 분석 결과를 기반으로 앱인벤터(App Inventor)를 활용해 초등학생이 실험 데이터를 시각적으로 탐구하고 학습할 수 있는 애플리케이션을 설계 및 개발하였다. 아두이노는 실험 데이터의 정량적 수집을 가능하게 하였으며, 앱인벤터는 이 데이터를 학습 도구로 구현하는 역할을 수행하였다. 두 도구는 데이터 수집과 학습 도구 개발이라는 연구 과정에서 필수적인 상호 연관성을 가진다.

또한, 본 연구는 학생의 학습 효율성을 높이고 실험 데이터 활용 능력을 증진시키기 위해 데이터 기반 시각화 및 예측 프로그램을 설계하였다. 이를 통해 초등학생이 온도와 습도의 변화를 통해 결정체 형성과 관련된 과학적 원리를 탐구하고, 실험 결과를 더 체계적으로 이해할 수 있도록 하였다.

본 연구에서 기대하는 기여는 다음과 같다.

1. 과학적 데이터의 시각화: 온도와 습도의 변화가 결정체 형성에 미치는 영향을 직관적으로 보여주는 시각화 도구를 통해, 학생이 실험 데이터를 쉽게 이해하고 활용할 수 있도록 지원한다.

2. 교육 도구 개발: 실험 결과를 기반으로 학생 친화적인 애플리케이션을 개발하여, 기존의 추상적 설명에 의존하던 교육 방식에서 벗어나 데이터 기반 학습 환경을 제공한다.

3. 실험 과정의 정량적 검증: 아두이노 센서를 활용한 실시간 데이터 측정을 통해 결정체 형성 과정의 주요 변수들을 정량적으로 분석하고, 실험의 신뢰성과 재현성을 높였다.

다만, 본 연구에서는 애플리케이션을 초등학생 대상 학습 환경에 직접 적용하지 못하였으며, 이와 관련된 학습 효과를 검증하는 후속 연구가 필요하다. 향후, 개발된 애플리케이션을 실제 교육 환경에 적용하여 학습 효과를 정량적으로 분석하고, 이를 통해 교육 현장에서의 활용 가능성을 더욱 확장할 계획이다.

본 논문은 다음과 같이 구성되었다.

1장 서론에서는 연구의 배경과 목적을 제시하며, 요소 결정체 형성 실험에서 온도와 습도의 영향을 분석하고 학습 도구 개발의 필요성을 논의하였다.

2장 연구 배경 및 필요성에서는 연구의 배경과 관련된 기존 연구를 검토하였다.

3장 관련 연구에서는 연구 분야의 주요 이론과 개념을 간략히 소개하였다.

4장 연구 방법에서는 실험 설계와 데이터 수집 방법을 설명하였고, 온도와 습도 데이터의 분석 결과를 기반으로 애플리케이션의 설계 과정을 기술하였다.

5장에서는 설계된 애플리케이션의 한계와 교육적 활용 가능성을 논의하고 향후 연구 방향을 제안하였다.

II. 연구 배경 및 필요성

초등학생은 온도와 습도가 결정체 형성에 미치는 관계를 이해하는 데 어려움을 겪을 수 있다.

이 관계는 다양한 변수 간의 복잡한 상호작용을 포함하고 있어 초등학생이 직관적으로 받아들이기 어렵다. 특히 초등학생은 발달 단계상 구체적 조작기(7-11세)에 해당하여 구체적이고 직접적인 경험을 통해 학습하는 경향이 있으며, 가설적 상황이나 변수 간 관계를 추상적으로 사고하는 데 한계를 보인다[1].

따라서 초등학생을 대상으로 한 과학 교육은 구체적이고 실제적인 경험을 중심으로 이루어져야 하며, 이를 통해 학생이 이론과 실재를 연결하고 과학적 개념을 더 효과적으로 이해할 수 있도록 도와야 한다. 이러한 배경에서 데이터 시각화를 활용한 교육이 중요한 접근법으로 주목받고 있으며, 이를 통해 학생이 복잡한 과학적 개념을 더 직관적이고 명확하게 이해할 수 있는 학습 환경을 제공할 수 있다.

데이터 시각화가 학습에 긍정적인 영향을 미친다는 점을 입증한 다양한 연구가 존재한다. J. S. Park[2]는 초등 사회과 교육에서 지도 활용 수업이 학습 태도와 학업 성취도에 미치는 영향을 분석하였으며, J. A. Kim et al.[3]은 구글 스프레드시트를 활용한 데이터 시각화 교육이 창의성 향상에 효과적임을 확인하였다. 또한, H. W. Lee[4]는 데이터 시각화 도구를 활용한 STEAM 프로그램이 초등학생의 지식 정보 처리 역량과 과학 기술에 대한 태도에 미치는 효과를 연구하였다. 마지막으로, J. A. Kim[5]는 컴퓨팅 사고력과 창의성 신장을 목표로 데이터 시각화 기반 컴퓨터 교육 프로그램을 설계 및 개발하고, 그 교육적 효과를 검증하였다[6].

이러한 선행 연구는 데이터 시각화가 초등학생의 학습에 긍정적인 영향을 미친다는 점을 시사한다. 그러나 대부분의 연구가 사회과나 정보 과목에 초점을 맞추고 있어, 과학적 개념 이해를 지원하기 위한 데이터 시각화의 활용은 상대적으로 미흡한 실정이다. 이에 본 연구는 요소 결정체 형성 실험을 활용하여 초등학생이 온도와 습도와 같은 다양한 변수와 그 상호 관계를 더 명확히 이해할 수 있도록 지원하는 것을 목표로 한다.

III. 관련 연구

3.1 결정체 형성

결정화(Crystallization)는 원자 또는 분자가 에너지 상태를 최소화하기 위해 규칙적인 결정 격자 구조를 자발적으로 배열하는 물리적 과정이다. 결정 격자의 기본 구조인 단위 셀(Unit cell)은 원자나 분자를 포함하여 거시적 결정으로 성장할 수 있는 기본 단위 역할을 한다. 결정화 과정에서 원자와 단위 셀은 특정 각도로 결합하며, 규칙적인 배열을 통해 매끄러운 표면과 독특한 결정면을 가진 특징적인 결정 구조가 형성된다[7].

결정이 성장하기 위해서는 먼저 결정핵(Nucleus)이 형성되어야 한다. 결정핵은 용액이나 용융체에서 이온이 규칙적으로 배열되어 처음 형성되는 매우 작은 입자를 의미한다[8].

증발에 의한 결정체 형성은 용액의 증발 과정에서 용매가 제거됨에 따라 용질이 포화 상태에 도달하고 결정화가 진행되는 현상을 말한다. 이 과정은 결정의 형태와 배열에 영향을 미치는 다양한 요인에 의해 좌우된다[9].

M. Schugmann과 P. Foerst[10]는 설탕 필름의 결정화 과정 연구에서 온도와 상대 습도가 결정 성장 및 핵생성 속도에 미치는 영향을 분석하였다. 연구 결과, 높은 온도는 결정 성장 속도를 촉진하지만, 수분 함량이 임계값 이하로 감소하면 오히려 성장이 억제되는 현상이 나타났다. 예를 들어, 온도가 40°C에서 70°C로 증가할 경우 성장 속도는 약 4.5 배 향상되었다.

습도의 영향 또한 뚜렷하게 나타났다. 건조한 공기에서는 낮은 과포화 상태에서도 결정화가 시작되었으며 중간 정도의 습도에서는 핵생성 속도가 약 2 배 증가하였다. 그러나 높은 습도에서는 결정화가 거의 발생하지 않았다. 이러한 결과는 결정화 조건의 변화가 설탕 필름의 물리적 안정성에 중요한 영향을 미친다는 점을 시사한다. 그림 1은 온도와 상대 습도가 건조 속도에 미치는 영향을 보여준다.

그림 1에서 확인할 수 있듯이, 온도가 높아질수록 건조 속도는 증가하고, 건조 효율이 개선된다. 또한 상대 습도가 낮을수록 건조 속도가 빨라지며 높은 건조 효율을 유지할 수 있다.

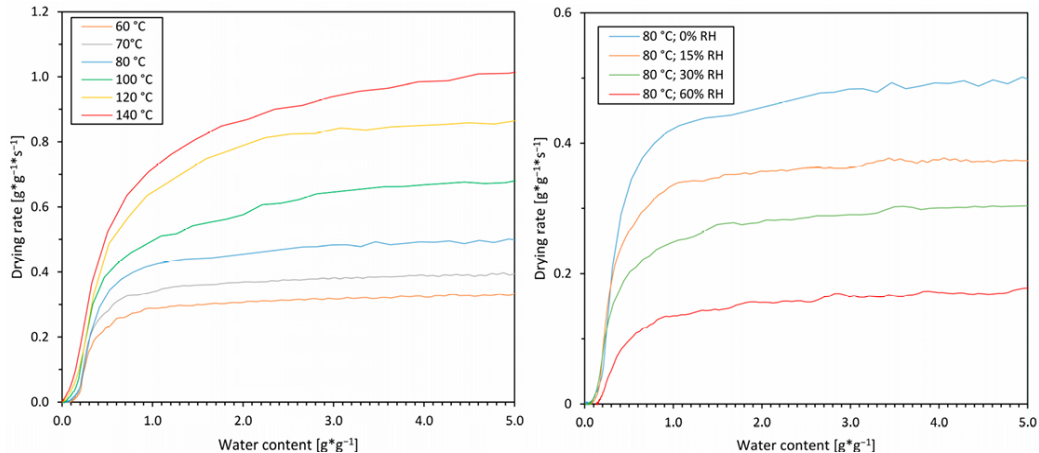


그림 1. 온도와 상대 습도가 건조 속도에 미치는 영향

Fig. 1. Effect of temperature and relative humidity on drying rate

따라서 건조 공정을 설계할 때는 온도와 상대 습도를 함께 고려하여 최적의 조건을 설정하는 것이 중요하다. 이러한 이유로 요소 결정화 실험에서도 온도와 습도는 중요한 변수로 작용한다.

3.2 데이터 시각화

데이터 시각화는 장기간 누적되거나 수집된 대량의 데이터를 기반으로 이를 이해하기 쉽도록 시각적으로 표현하고 전달하는 것을 의미한다. 데이터 시각화의 핵심은 필요한 데이터를 수집하고 이를 시각화하여 데이터 속에서 나타나는 현상, 패턴, 구조, 변화, 상호 연관성 등을 발견하고 분석함으로써 정보를 명확하고 효과적으로 전달하는 데 있다.

많은 양의 정보를 효과적으로 전달하기 위해서는 시각적 표현이 필수적이다. 인간은 다른 모든 감각을 통해 얻는 정보를 합친 것보다 시각을 통해 더 많은 정보를 획득한다. 또한, 시각적 사고는 언어적 사고와 달리 병렬적으로 정보를 처리할 수 있어, 대량의 정보를 효율적으로 이해하고 활용할 수 있는 장점이 있다[3].

3.3 앱인벤터

앱인벤터 2(App Inventor 2)는 구글에서 처음 개발되었으며, 현재는 MIT 모바일 학습센터에서 관리하는 안드로이드 앱 개발을 위한 비주얼 프로그래밍 언어이다.

클라우드 기반 플랫폼으로 별도의 소프트웨어 설치가 필요 없으며, 사용자는 구글 계정을 통해 앱인벤터 2 서버에 접속하여 프로그래밍 작업을 수행하고 데이터를 저장할 수 있다. 이 블록형 프로그래밍 언어는 학습자가 프로그래밍 개념을 쉽게 익힐 수 있도록 설계되었다.

또한, 앱인벤터 2는 “갤러리” 메뉴와 “갤러리에 게시(Publish to Gallery)” 기능을 통해 다른 사용자의 프로그램을 참고하거나 자신의 프로그램 코드를 공개하여 협력 학습을 지원한다. 프로그래밍 작업은 화면 디자이너 창(Screen designer)에서 사용자 인터페이스를 설계하고, 블록 편집기 창(Blocks editor)에서 앱의 논리를 구현하는 방식으로 이루어진다[11].

IV. 연구 방법

그림 2는 본 연구의 실행 과정을 시각적으로 정리한 flowchart이다. 연구는 다음 세 가지 주요 단계로 구성하였다.

첫째, 아두이노를 활용하여 온도, 습도, 결정체 무게 데이터를 실시간으로 측정하고 저장하였다.

둘째, 수집된 데이터를 기반으로 상관관계 및 회귀분석을 실시하여 온도와 습도가 결정체 무게에 미치는 영향을 정량적으로 분석하였다.

셋째, 분석 결과를 바탕으로 초등학생이 데이터를 직관적으로 이해할 수 있도록 앱인벤터를 사용해 학습용 애플리케이션을 설계하고 개발하였다.

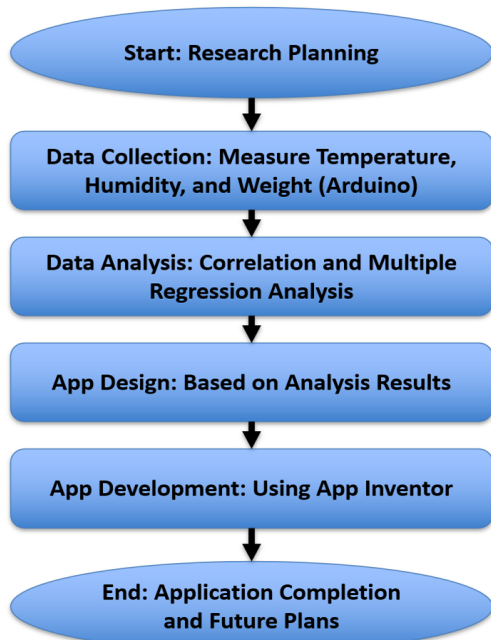


그림 2. 데이터 수집 및 학습 도구 개발 과정
Fig. 2. Data collection and learning tool development process

그림 2에서는 본 연구의 실행 과정을 단계별로 나타내었다. 데이터 수집, 분석, 그리고 앱 개발에 이르는 연구의 주요 단계를 도식화하여 연구 방법의 구조를 시각적으로 구성하였다.

4.1 앱 개발 목표

초등학생의 과학적 데이터 이해를 지원하기 위해 다음과 같은 원칙을 바탕으로 앱을 설계하였다.

1. 직관적인 인터페이스: 초등학생이 온도와 습도의 변화를 손쉽게 조작하고 그 결과를 즉시 확인할 수 있도록 슬라이더와 실시간 그래프 기능을 구현하였다. 학생이 온도와 습도에 대한 개념이 부족한 경우 비현실적인 값을 입력하여 학습 오류가 발생할 수 있으므로, 실제 상황에서 나타날 수 있는 범위 내에서만 값을 입력하도록 슬라이더의 값 범위를 사전에 설정하였다. 이를 통해 잘못된 학습을 방지하고 현실적 데이터 기반의 학습을 유도하였다.

2. 데이터 기반 시각화: 실험 데이터를 활용하여 시뮬레이션 결과와 관련 그래프를 시각적으로 제공함으로써 온도, 습도와 결정체 크기 간의 관계를 직관적으로 이해할 수 있도록 하였다. 이를 통해 추상

적인 과학 개념을 쉽게 시각화하고 학습 효율성을 높이하고자 하였다.

3. 사용 오류 방지: 실험 데이터의 유효 범위에 맞게 슬라이더값을 제한하여 비현실적인 입력값으로 인해 발생할 수 있는 오류와 혼란을 방지하였다. 이러한 설계를 통해 초등학생이 실험과 데이터를 더 신뢰성 있게 다룰 수 있도록 하였다.

4.2 실험 데이터 수집 및 처리

아두이노 기반 실험 장치는 온습도 센서, 로드셀, LCD 디스플레이로 구성되었다. 온습도 센서는 실시간으로 온도와 습도 데이터를 수집하며, 로드셀은 결정체의 무게 변화를 기록하였다. LCD 디스플레이를 통해 실시간 데이터를 확인할 수 있도록 설계하였으며, 수집된 데이터는 CSV 파일 형식으로 실시간 저장되었다. 이 데이터는 온도와 습도가 결정체 형성에 미치는 영향을 분석하고, 이를 기반으로 학습용 애플리케이션을 개발하는 데 활용되었다. 그림 3은 실험 장치 구성과 아두이노 센서를 통해 실시간 데이터를 수집하는 과정을 보여준다.

실험 과정에서는 온도와 습도 및 무게 데이터를 측정하면서 스마트폰 카메라를 이용해 타임랩스 형식으로 동영상 촬영하였다. 촬영된 동영상에서 개별 프레임을 추출한 뒤, 파이썬 기반 엣지 검출 기법을 활용하여 결정체 크기 데이터를 계산하였다. 특히, 실험 초기에는 모세관 현상이 나타나는 구간이 포함되어 있는데, 이는 결정체가 형성되기 전의 과정이다. 엣지 검출 기법은 결정체가 형성되기 시작하는 시점을 정확히 확인하여 모세관 현상이 나타나는 구간을 제외하기 위함으로, 데이터를 정제하는 데 사용되었다.

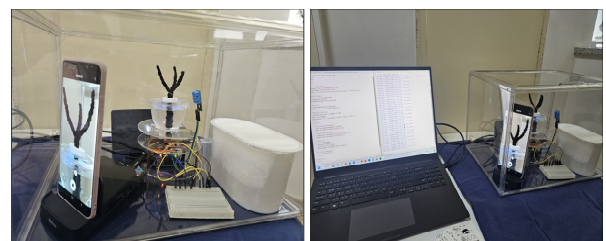


그림 3. 실험 장치 구성과 아두이노 센서 데이터 수집
Fig. 3. Experimental setup configuration and Arduino sensor data acquisition

이렇게 정제된 데이터는 온도, 습도, 그리고 결정체 무게 데이터를 병합하여 최종 데이터셋으로 구축되었다.

그림 4는 온도와 결정체 무게 간의 상관관계를 나타낸다.

그림 5는 습도와 결정체 무게 간의 상관관계를 분석한 결과를 보여준다.

데이터 분석 결과, 온도와 결정체 무게 간에는 상관관계수 0.84의 강한 양의 상관관계가 나타났으며, 이는 온도가 상승할수록 결정체 크기가 증가한다는

것을 의미한다. 반면, 습도와 결정체 무게 간의 상관관계수는 -0.66으로 음의 상관관계를 보였다.

이를 통해 온도와 습도가 결정체 형성 과정에 중요한 변수임을 확인하였다. 각 요인이 결정체 무게에 미치는 영향을 정량적으로 검증하기 위해 단순 회귀분석을 실시하였다. 회귀분석은 독립 변수와 종속 변수 사이에 상관관계를 검증하여 독립 변수의 변화에 따라 종속 변수가 어떠한 인과관계를 가지는지 예측하는 분석 기법이다[12]. 그림 6은 회귀분석을 진행한 모습이다.

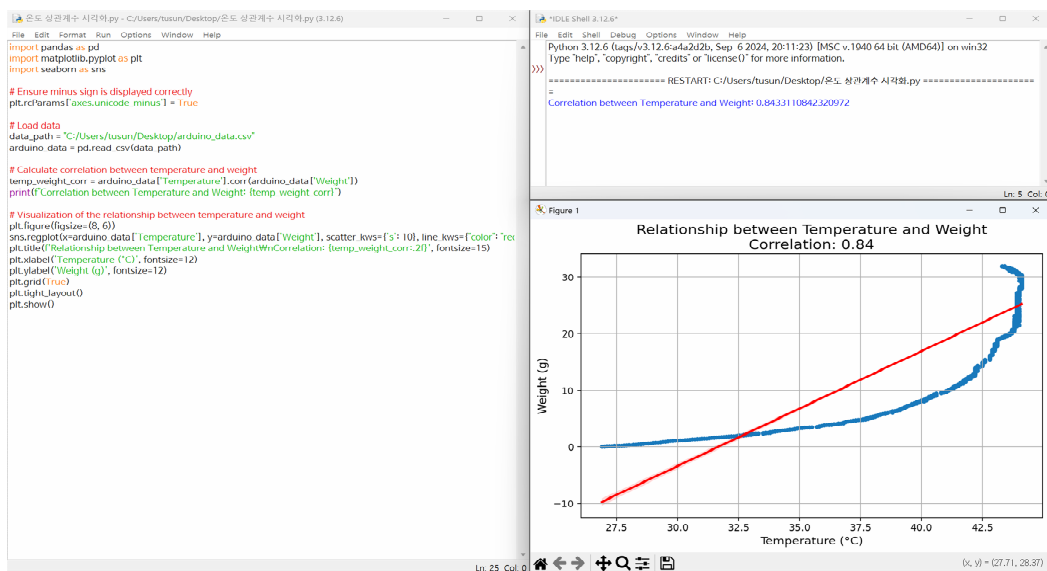


그림 4. 온도와 결정체 무게의 상관관계

Fig. 4. Correlation between temperature and crystal weight

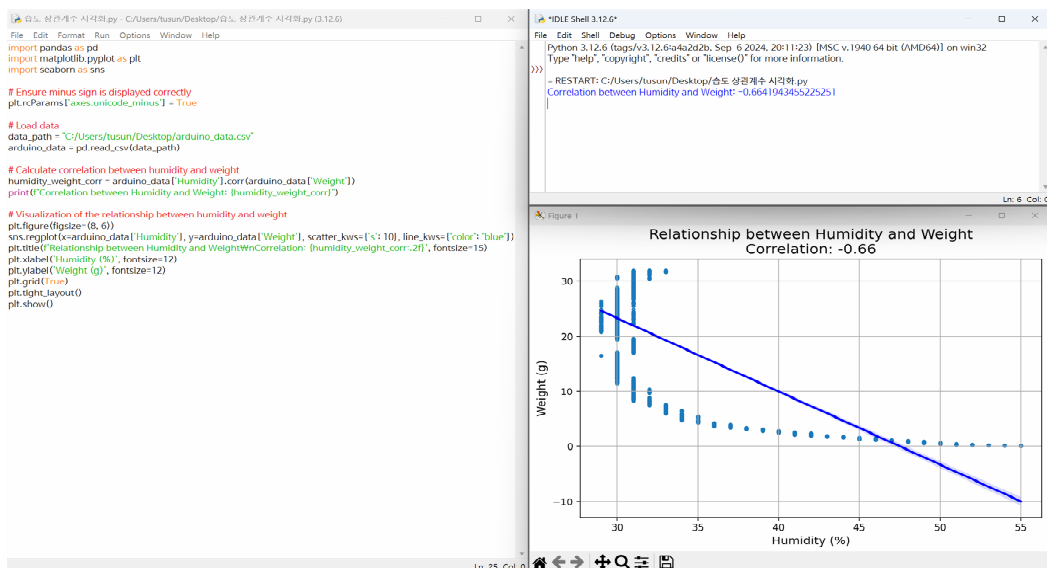


그림 5. 습도와 결정체 무게의 상관관계

Fig. 5. Correlation between humidity and crystal weight

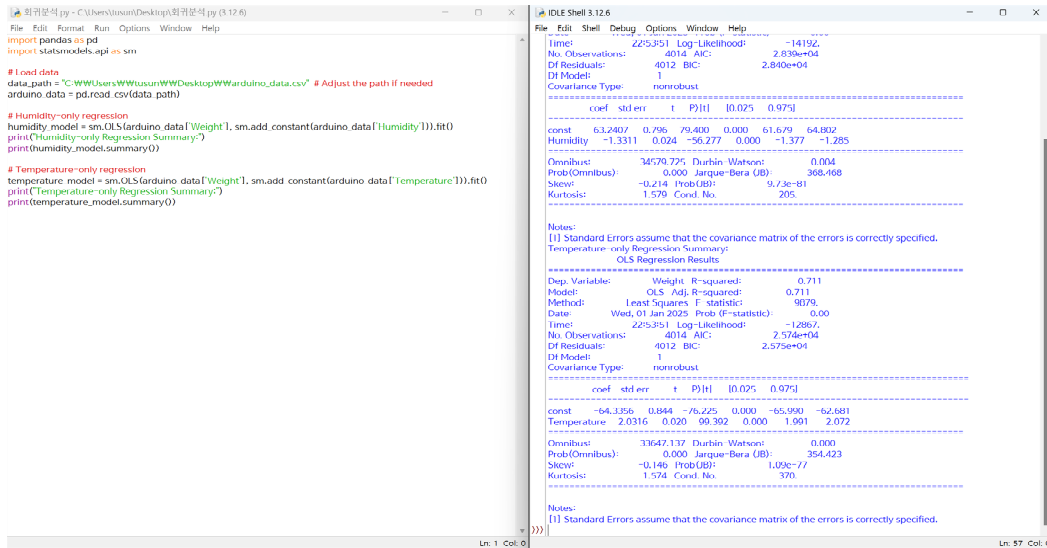


그림 6. 회귀분석

Fig. 6. Regression analysis

표 1은 온도(Temperature)와 습도(Humidity)가 결정체 무게(Weight)에 미치는 영향을 분석한 회귀분석 결과를 요약한 것이다.

표 1. 회귀분석 결과

Table 1. Results of simple linear regression analysis

Variable	Coefficient (β)	Standard error	t-value	p-value
Constant	-64.3356	0.844	-76.225	0.000
Temperature	2.0316	0.020	99.392	0.000
Variable	Coefficient (β)	Standard error	t-value	p-value
Constant	63.2407	0.796	79.400	0.000
Humidity	-1.3311	0.024	-56.277	0.000

회귀분석 결과는 다음과 같다.

1. 온도(Temperature):

결정계수(R^2) 0.711로, 온도가 종속 변수(결정체 무게)의 변동성을 71.1% 설명하였다. 회귀계수는 2.0316으로, 온도가 1°C 증가할 때 결정체 무게가 평균적으로 2.0316g 증가함을 의미한다. 상수항(Constant)은 -64.3356이며, 이는 온도가 0일 때의 예측 무게 값을 나타낸다.

2. 습도(Humidity):

결정계수(R^2)는 0.441로, 습도가 종속 변수의 변동성을 44.1% 설명하였다. 회귀계수는 -1.3311로, 습도가 1% 증가할 때 결정체 무게가 평균적으로 1.3311g 감소함을 의미한다. 상수항(Constant)은

63.2407이며, 이는 습도가 0일 때의 예측 무게 값을 나타낸다.

온도와 습도의 결합 된 영향을 분석하기 위해 추가로 다중회귀분석을 실시하였다. 다중회귀분석은 단순 회귀분석을 확장하여 여러 독립 변수가 종속 변수에 미치는 영향을 동시에 분석하는 기법이다[9].

다중회귀분석 결과, 본 모델의 결정계수(R^2)는 0.935로 나타났으며, 이는 독립 변수(온도와 습도)가 종속 변수(결정체 무게)의 변동성을 93.5% 설명함을 의미한다. 이는 모델이 데이터를 매우 잘 설명하고 있음을 보여준다.

이러한 분석 결과는 온도와 습도가 결정체 무게에 미치는 영향을 정량적으로 검증하였음을 보여준다. 본 연구의 데이터를 기반으로, 학생이 과학적 탐구를 경험할 수 있는 학습용 애플리케이션을 설계하였다.

4.3 앱 개발 과정

4.3.1 앱의 구성

슬라이더를 활용하여 사용자가 온도와 습도 값을 조절할 수 있도록 설계하였다. 온도 범위는 15°C에서 50°C로, 습도 범위는 30%에서 70%로 설정하였으며, 이는 실험 조건 내에서 현실적인 데이터를 입력하고 분석할 수 있도록 구성한 것이다.

입력값에 따라 결정체 크기를 숫자와 그래프로 동시에 시각화할 수 있도록 설계하였다. 예를 들어, 습도 값을 고정한 상태에서 온도만 변화시키면, 온도가 상승함에 따라 결정체 크기의 숫자와 그래프가 동시에 증가하는 것을 확인할 수 있다. 이를 통해 온도가 결정체 형성에 긍정적인 영향을 미친다는 점을 직관적으로 이해할 수 있도록 하였다.

반대로, 온도를 고정한 상태에서 습도만 변화시키면, 습도가 증가할수록 결정체 크기가 감소하는 것을 실시간으로 관찰할 수 있다. 이렇게 설계된 시각화는 습도가 결정체 형성에 부정적인 영향을 준다는 점을 명확히 보여줄 수 있다. 그림 7은 앱의 전체 구성 모습을 보여준다.

또한, 캔버스를 활용하여 온습도 데이터를 막대 그래프로 시각화하였으며, 막대그래프의 높이는 데이터 분석을 통해 확인한 상관계수 값을 기반하여 변화도록 설계하였다. 동일한 변화폭에서도 온도의 막대그래프가 습도보다 더 크게 변화도록 설정하여, 온도가 결정체 형성에 습도보다 더 큰 영향을 미친다는 사실을 효과적으로 표현하였다.

4.3.2 앱 조작 방법

앱은 온도와 습도의 입력값에 따른 결정체 크기의 변화를 시각적으로 확인할 수 있도록 구성하였다.

1. 결과 확인

사용자가 슬라이더로 온도와 습도 값을 조정한 후 실행 버튼을 클릭하면, 결정체 크기의 변화 추세를 나타내는 그래프가 생성된다. 이 그래프를 통해 온도와 결정체 크기 간에는 양의 상관관계가, 습도와 결정체 크기 간에는 음의 상관관계가 있음을 시각적으로 확인할 수 있다.

2. 입력 데이터와 회귀선의 시각화

사용자가 입력한 온도와 습도 값에 해당하는 결정체 크기 데이터는 고정된 회귀선 위에 점으로 표시되도록 설계되었다. 초등학생이 데이터를 직관적으로 이해할 수 있도록, 입력값에 따른 데이터의 점은 항상 회귀선 위에 존재하도록 하였다. 이는 입력 데이터가 회귀선 외부에 위치하는 경우 학생이 이를 잘못된 값으로 인식할 수 있는 오류를 방지하기 위한 설계이다.

3. 결정체 상태 메시지 및 이미지

온도와 습도 값을 조정할 때마다 캔버스에 결정체 상태 메시지가 실시간으로 업데이트된다. 실제 실험 데이터를 바탕으로 생성된 결정체 이미지와 함께 크기의 변화를 시각적으로 보여주어, 데이터를 기반으로 한 학습 경험을 제공한다.

4. 입력값 제한

실험 데이터의 범위 내에서 입력값을 제한하여 비현실적인 데이터를 차단함으로써 과학적 탐구의 신뢰성을 유지하도록 설계하였다. 그림 8은 온도와 습도의 관계를 시각화한 것이다.

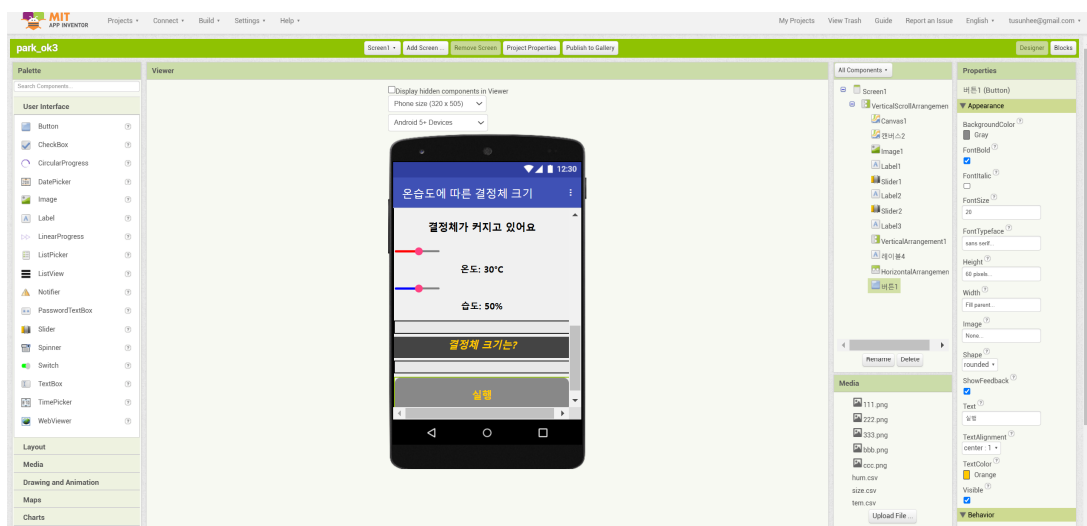


그림 7. 앱 구성
Fig. 7. App configuration

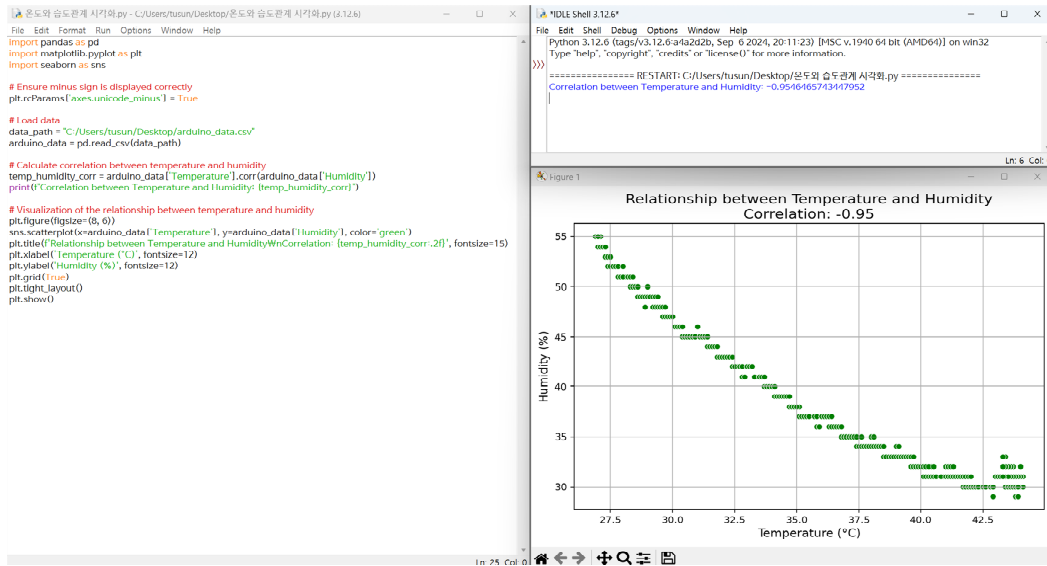


그림 8. 온도와 습도 관계 시각화

Fig. 8. Visualization of the relationship between temperature and humidity

위의 그림에서 알 수 있듯이, 온도와 습도의 상관관계수는 -0.95 로 음의 상관관계가 있음을 보여준다. 이러한 관계는 앱에 반영되어 고정된 회귀선을 통해 시각적으로 표현된다.

그림 9는 앱을 실행하는 모습이다. 온도와 습도 변화에 따른 결정체 생성 이미지와 회귀선의 변화가 명확히 나타난다.

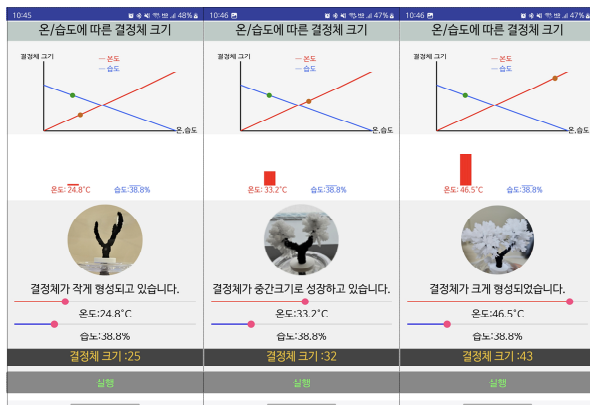


그림 9. 앱 구성

Fig. 9. App configuration

이 앱은 온도와 습도가 결정체 형성에 미치는 영향을 실시간으로 시각화하고, 변수 간 관계를 탐구할 수 있는 도구로 설계되었다. 초등학생이 온도와 습도 값 변화에 따른 결정체 크기의 변화를 직관적으로 학습할 수 있도록 구성하였다. 입력 데이터가 항상 회귀선 위에 위치하도록 설계하여, 데이터의 신뢰성

과 이해도를 높였다. 또한 실험 데이터를 기반으로 구성된 고정된 회귀선과 입력 데이터의 점을 통해, 변수 간 관계를 명확히 이해할 수 있도록 설계하였다. 캔버스를 활용하여 실시간으로 데이터와 결정체 이미지를 시각화함으로써, 데이터와 실제 실험 간의 연관성을 학습할 수 있는 환경을 조성하였다.

V. 결론 및 향후 과제

본 논문에서는 온도와 습도가 결정체 형성에 미치는 영향을 정량적으로 분석하고, 이를 바탕으로 직관적이며 이해하기 쉬운 학습 지원 도구를 개발하였다. 개발된 앱은 실험 데이터를 효과적으로 시각화하여 초등학생이 결정체 형성에 온도와 습도의 중요성을 체험적으로 이해할 수 있도록 설계되었다. 이 앱은 결정체 형성의 과학적 메커니즘을 직관적으로 이해시키는 데 유의미한 잠재력을 보여준다. 또한 단순히 실험 결과를 전달하는 것을 넘어, 학습자의 과학적 사고력 증진에 기여할 수 있는 교육 도구로 활용될 가능성을 제시한다.

다만, 본 연구에서는 애플리케이션을 학생에게 직접 적용하여 학습 효과를 검증하지 못하였으며, 이는 본 연구의 한계로 남아 있다. 향후 연구에서는 개발된 애플리케이션을 교육 현장에서 적용하여, 학습 효과를 정량적으로 분석하고 이를 통해 앱의 개선 및 추가 개발 방향을 제시할 계획이다.

References

- [1] S. Y. Kim and M. G. Seol, "A Study on Changes in Logical Thinking Ability of Elementary Students Through Game-Based Robot Education", *Journal of The Korean Association of Information Education*, Vol. 14, No. 1, pp. 111-121, Mar. 2010.
- [2] J. S. Park, "The Effect of Classes Using Map as Data Visualization Tool on Learning Attitude and Academic Achievement in Elementary Social Studies Education", Master's Thesis, Pusan National University of Education, 2017.
- [3] J. A. Kim, M. B. Kim, T. H. Kim, Y. M. Kim, and J. H. Kim, "The Effect of Education Data Visualization Using Google Spreadsheet Program on Improvement of Creativity of Fourth and Fifth Grade Students", *Journal of The Korean Association of Information Education*, Vol. 23, No. 4, pp. 293-302, 2019. <https://doi.org/10.14352/jkaie.2019.23.4.293>.
- [4] H. W. Lee, "The Effects of STEAM Program Utilizing Data Visualization Tools on Elementary Students' Ability to Process Knowledge Information", Master's Thesis, Graduate School of Korea National University of Education, 2019.
- [5] J. A. Kim, "Computer Education Program Based on Data Visualization to Improve Computational Thinking and Creativity", Doctoral Dissertation, The Graduate School, Jeju National University, 2021.
- [6] J. S. Woo and G. S. Kim, "A Development and Application of Data Visualization Education Program for 3rd Grade Students in Elementary School", *Journal of The Korean Association of Information Education*, Vol. 26, No. 6, pp. 481-490, Dec. 2022. <http://dx.doi.org/10.14352/jkaie.2022.26.6.481>
- [7] Mettler Toledo, "Crystal Size, Yield and Purity Optimization Using Crystallization", https://www.mt.com/kr/ko/home/applications/L1_AutoChem_Applications/L2_Crystallization.html [accessed: Nov. 26, 2024]
- [8] Naver Blog, "Formation Process of Crystal", <https://blog.naver.com/hsmoon121/220793982397> [accessed: Nov. 26, 2024]
- [9] S. A. McBride, S. Dash, and K. K. Varanasi, "Evaporative Crystallization in Drops on Superhydrophobic and Liquid-Impregnated Surfaces", *Langmuir*, Vol. 34, No. 41, pp. 12350-12358, Apr. 2018. <https://doi.org/10.1021/acs.langmuir.8b00049>.
- [10] M. Schugmann and P. Foerst, "Tailoring Crystallization Kinetics in Thin Sucrose Films during Convective Drying: Impact of Temperature and Humidity on Onset, Growth, and Nucleation Rate", *Pharmaceutics*, Vol. 16, No. 10, pp. 1260, Sep. 2024. <https://doi.org/10.3390/pharmaceutics16101260>.
- [11] Y. J. Ki and H. S. Chung, "A Study on the App Inventor 2 for Utilization of Programming Basics Educational Tool in Primary and Secondary Education", *Journal of KIIT*, Vol. 14, No. 3, pp. 163-173, Mar. 2016. <https://doi.org/10.14801/jkiit.2016.14.3.163>.
- [12] M. S. Kim, G. Park, H. C. Chu, H. J. Ham, S. H. Lee, H. S. Eom, M. H. Yu, and K. Y. Chung, "Correlation Analysis between Weather Factors and Damaged Areas based on Polynomial Regression", *Proceedings of KIIT Conference*, Jeju, Korea, pp. 498-501, Jun. 2022.

저자소개

박 은 희 (Eunhee Park)



1997년 2월 : 국립안동대학교

자연과학대학 화학과(이학사)

2022년 2월 : 국립안동대학교

멀티미디어공학과(석사)

2025년 2월 : 국립안동대학교 AI

융합학과(박사수료)

관심분야 : 멀티미디어 콘텐츠, 교육용

AI 기술, STEAM 교육

김 희 선 (Heesun Kim)



2001년 8월 : 경북대학교

컴퓨터과학과(이학박사)

2005년 3월 ~ 현재 : 안동대학교

소프트웨어융합학과 교수

관심분야 : 디지털 콘텐츠, UI/UX,

모바일 응용