

아두이노를 활용한 복사평형 실험에 대한 디지털 탐구 도구 개발

박연희¹ · 박수지¹ · 정덕호² · 민성하^{1*}

¹전북대학교 교육대학원 지구과학교육전공, 전주 54896

²전북대학교 과학교육학부, 과학교육연구소, 전주 54896

Development of Digital Inquiry Tool for Radiative Equilibrium Experiments Using Arduino

Park Yeon-Hee¹, Park Su-Ji¹, Chung Duk-Ho², and Min Seong-Ha^{1*}

¹Division of Earth Science Education, Graduate School of Education, Jeonbuk National University, Jeonju 54896, Korea

²Division of Science Education, Institute of Science Education, Jeonbuk National University, Jeonju 54896, Korea

초 록: 2022 개정 교육과정에서 디지털·인공지능 기초 소양 함양을 강조함에 따라 컴퓨팅 사고력을 함양하기 위해 소프트웨어 교육을 실시하고 있다. 본 연구에서는 컴퓨팅사고를 함양하기 위해 아두이노를 2022 개정 교육과정 [9과 17-01]의 복사평형 온도를 측정 실험에 접목한 디지털 탐구 도구를 개발하였다. 아두이노를 활용하여 온도를 측정할 수 있는 회로를 제작하고 이를 구동시킬 코드를 제작하였다. 이를 활용하여 광원으로부터의 거리를 다르게 한 검은 컵 속의 복사평형 온도를 측정하였다. 측정 결과 기존 교과서에 제시된 실험과 동일한 결과를 도출할 수 있었다. 이를 학교 현장에서 적용했을 때 광원으로부터의 거리에 따른 복사평형 온도 변화를 학습할 수 있으며, 더불어 컴퓨팅 사고력을 함께 익힐 수 있는 기회를 제공할 수 있을 것으로 기대된다.

중심어: 2022 개정 교육과정, 컴퓨팅 사고력, 아두이노, 복사평형, 디지털 탐구 도구

Abstract: As the 2022 revised curriculum emphasizes the cultivation of basic digital and artificial intelligence skills, software education is being conducted to cultivate computing thinking skills. In this study, in order to cultivate computing thinking, a digital inquiry tool was developed in which Arduino's radiative equilibrium temperature in the 2022 revised curriculum [9과17-01] was applied to the measurement experiment. A circuit that can measure the temperature using Arduino was fabricated, and a code to drive it was fabricated. Using this, we measured the radiative equilibrium temperature in a black cup with different distances from the light source. As a result of the measurement, the same results as the experiment presented in the existing textbook could be derived. When applied in the school field, it is expected that it will be possible to learn the change in radiative equilibrium temperature according to the distance from the light source and provide an opportunity to learn computing thinking skills together.

Keywords: 2022 Revised curriculum, Computing thinking, Arduino, Radiative equilibrium, Digital inquiry tool

Abstract:

*Corresponding Author: Min Seong-Ha

Phone: +82-63-546-8394

E-mail: alstjdgk2@jbnu.ac.kr



All the content in Journal of Science & Science Education(JSSE) is Open Access, meaning it is accessible online to everyone, without fee and authors' permission. All JSSE content is published and distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>). Under this license, the authors retain full ownership of their work, while permitting anyone to use, distribute, and reproduce the content in any medium, as long as the original authors and source are cited. For any reuse, redistribution, or reproduction of a work, users must clarify the license terms under which the work was produced.

I. 서 론

4차 산업혁명 시대에 IOT, 빅데이터, AI 등의 기술이 핵심 기술로 대두되면서 이를 활용할 수 있는 컴퓨팅사고력 교육이 중요하게 받아들여지고 있다[1]. 이러한 시대의 흐름에 맞추어 국가교육과정 또한 변화하고 있다, 2015 개정 교육과정에서 요구하는 기능은 문제 인식, 탐구 설계와 수행, 자료의 수집·분석 및 해석, 수학적 사고와 컴퓨터 활용, 모형의 개발과 사용, 증거에 기초한 토론과 논증, 결론 도출 및 평가, 의사소통이다, 또한 컴퓨터나 스마트기기, 인터넷 등 최신 정보통신기술과 기기를 과학실험과 탐구에 적절히 활용할 것을 권장한다[2]. 2022 개정 교육과정에서 요구하는 과학과 과정·기능은 문제 인식 및 가설 설정, 탐구 설계 및 수행, 자료 수집·분석 및 해석, 결론 도출 및 일반화, 의사소통과 협업이다, 또한 교육부에서는 2022 개정 교육과정의 과학 교과에서 학생의 디지털 소양 함양과 교수·학습 환경의 변화를 고려하여 교수·학습을 지원하는 다양한 디지털기기 및 환경을 적극적으로 활용할 것을 권장한다. 실험과 탐구 활동에서는 소프트웨어, 컴퓨터, 스마트 기기, 인터넷 등의 기술과 기기 등을 적절히 활용할 것을 강조했다. 특히 실시간 자료 측정을 위해 다양한 센서와 기기, 디지털 탐구 도구를 이용할 것을 명시하고 있다. 이로써 과학과 교육과정에서는 시대의 흐름에 따라 컴퓨터의 활용을 더 강조하고 있음을 알 수 있다. 2022 개정 교육과정에서는 디지털·인공지능 기초 소양 함양을 강조함에 따라 소프트웨어 교육을 필수로 지정하여 교육과정을 운영하고 있다[3]. 과학 교과에서 이러한 소프트웨어 교육을 접목하여 과학적 사고력을 기를과 동시에 컴퓨팅 사고 능력을 함양할 수 있다[4,5]. Wing은 컴퓨팅사고력을 “거대하고 복잡한 과제를 해결하거나 시스템을 설계할 때 추상화와 분해를 사용하는 것, 즉 문제를 해결하기 위해 적절한 표현 방식을 선택하거나 문제의 관련 측면을 모델링하여 문제를 해결가능한 형태로 만드는 것”이라 설명했다[7]. 컴퓨팅 사고력을 기르기 위해 피지컬 컴퓨팅을 사용한 교육이 효과적이다[8-10]. Igoe와 O’Sullivan는 그의 저서에서 “피지컬 컴퓨팅은 물리적 세계와 컴퓨터의 가상 세계 사이에서 입력과

출력을 통해 상호작용하는 것”이라고 서술했다[11]. 아두이노는 오픈소스 기반의 피지컬 컴퓨팅 플랫폼이다, 아두이노는 여러 센서를 이용하여 외부의 정보를 입력받을 수 있고, 이를 LED나 출력장치 등을 이용해 환경과 상호작용이 가능하다. 아두이노의 여러 가지 장점으로 인해 학교 현장에서 널리 사용된다. 아두이노의 장점은 첫째, 마이크로 컨트롤러를 작동시키기 쉽다는 점이다. 아두이노는 USB를 통해 컴퓨터와 업로드가 가능하기 때문에 다른 프로그래밍 장치보다 작동시키기 쉽다. 둘째, 아두이노 보드는 오픈소스 하드웨어로, 회로도도 공개되어 있으므로 누구나 보드를 만들고 수정할 수 있다. 셋째, 도입 비용이 저렴하다. 넷째, 입문자도 쉽게 활용할 수 있도록 센서나 액추에이터의 규격이 정해져 있지 않다. 다섯째, 기본으로 제공되는 스케치(Sketch)라는 프로그램이 있으며, 이외에도 스크래치(Scratch)나 블록형식의 프로그래밍이 가능하여 학생 수준에 맞는 교육이 가능하다[6]. 그러므로 과학 과목에서 아두이노를 활용하여 외부의 정보를 입력받고 이를 처리하는 과정을 학습하여 과학 지식뿐만 아니라 소프트웨어 활용 능력까지 학습할 수 있으며, 궁극적으로는 컴퓨팅사고력을 증진시킬 수 있다.

선행 연구에서 아두이노와 온도센서를 이용해 개발한 과학실험이 다수 존재하였다.

김선영과 윤세현(2020)의 연구에서 아두이노와 온도 센서를 활용하여 미세먼지 측정장치를 개발하고 이를 예비 교사에 적용하여 융합인재 핵심 역량에 어떤 영향을 미치는지 확인하였다[12]. 원은진, 서진하와 목련화(2018)의 연구에서는 환경교육에 코딩을 접목하였다, 아두이노와 온도 센서를 활용하여 미세먼지를 포함한 실내 공기질을 측정할 수 있는 기기를 개발하였다[13]. 유경희(2019)의 연구에서는 아두이노와 온도센서를 활용하여 계절 변화를 알아볼 수 있는 기기를 제작하였으며, 이를 초등학교 6학년 학생에게 적용하여 효과성을 확인하였다[14]. 윤세현(2021)의 연구에서는 아두이노와 온도센서를 활용하여 미세먼지 측정기를 제작하였다, 이를 ECO-STEM 프로그램에 접목하여 예비 생물교사의 환경 책무성 행동에 미치는 영향을 확인하였다[15]. Buonafina, Jefferson와 Soares, Antonio의 연구에서는 아두이노와 온도센서를

활용하여 물과 모래의 가열 및 냉각과정을 확인할 수 있는 기기를 개발하였다[16].

또한 복사평형 온도 측정에 아두이노나 MBL을 적용한 연구도 존재하였다. 조준희 외 6명(2014)의 연구에서는 아두이노에 온도센서를 연결하여 이산화탄소, 수증기, 자동차 배기가스에 의한 복사평형 온도를 측정하여 온실효과를 비교하였다[17]. 이는 온실기체의 종류에 따른 온실효과를 복사평형 온도를 측정하여 확인한 실험으로, 광원으로부터의 거리에 따른 복사평형 온도를 비교하는데 한계가 있다. 김미영(2008)의 연구에서는 대기 역할을 하는 셀로판지가 존재하는 상자와 존재하지 않는 상자의 복사평형 온도를 비교하는 온실효과 실험에 MBL을 활용하여 학습성취도와 탐구 태도를 분석하였다[18]. MBL을 사용하여 측정을 자동화했지만, 측정 도구를 제작하는 과정이 포함되어 있지 않고 광원으로부터의 거리에 따른 복사평형 온도를 비교하는데 한계가 있다. 본 연구에서 연구하고자 하는 광원에서의 거리에 따른 복사평형 온도 비교 실험에 아두이노를 접목한 선행 연구는 존재하지 않았다. 따라서 본 연구에서의 연구 목적은 컴퓨팅사고력 함양을 위해 학생들이 아두이노를 사용하여 복사평형 온도를 측정할 수 있는 기기를 직접 제작하고 자료를 수집·분석 할 수 있는 도구를 제작하는 것이다. 2015 개정 교육과정[9과18-01]의 ‘복사평형 온도 측정 실험’에 아두이노를 접목하여 측정 도구를 직접 제작하고 데이터를 수집·해석할 수 있는 디지털 탐구 도구를 제작하고자 한다.

II. 연구 방법

2.1. 교육과정 분석 및 주제 선정

아두이노와 센서를 활용한 디지털 탐구 도구 개발을 위해 2015 개정 교육과정의 중1 과학, 중 2 과학, 중3

과학, 통합과학, 지구과학I, 지구과학II 교과서를 탐색하였다. 주제를 선정할 기준은 다음과 같다. 첫째, 아두이노의 센서를 이용하여 외부 정보를 측정하고 이를 시각화할 수 있는 탐구 활동인가? 둘째, 아두이노를 활용하여 실험하였을 때 기존의 실험보다 학생들의 인지적, 정의적 능력을 함양할 수 있는 탐구 활동인가? 이를 통해 복사평형 실험(2015 개정 교육과정 [9과18-01])을 주제로 선정하였다.

2015 개정 교육과정에 제시된 복사평형 실험과 관련된 성취기준은 “[9과18-01] 기권의 층상 구조를 이해하고, 온실효과와 지구 온난화를 복사평형의 관점으로 설명할 수 있다.”라고 서술하였으며, 2022 개정 교육과정에 제시된 복사평형 실험과 관련된 성취기준은 “[9과17-01] 지구 대기권을 4개 권역으로 구분하여, 온실효과와 지구온난화를 복사평형의 관점으로 설명할 수 있다.”라고 서술하였다(Table 1).

해당 탐구를 A, B, C 세 출판사의 교과서에 제시된 탐구 활동을 통해 분석하였다. 복사평형 실험에 대한 탐구 활동은 세 교과서 모두 광원으로부터 일정 거리에 떨어져 있는 한 물체에 대한 온도 변화를 살펴보는 활동이었고, 추가로 심화 활동을 제시하는 방식이었다. A 교과서에서 제시된 ‘더 해보기’라는 심화 탐구 활동은 “태양이 현재보다 지구로부터 가까워지거나 멀어진다면 지구에서는 각각 어떤 변화가 일어날지 토의해 보자.”라는 내용으로 광원으로부터의 거리에 따른 복사평형 실험을 서술하였다. B 교과서는 본 실험이 ‘창의적 사고력’ 문제라는 심화 학습 활동과 연결된다. B교과서에서는 “복사평형 실험에서 컵과 전등 사이의 거리를 15 cm로 하면, 30 cm로 했을 때와 비교하여 시간에 따른 온도 변화가 어떻게 될지 말하고 그 까닭을 설명해보자.”라고 본 실험을 서술하였다. 또한 C교과서에서는 “검은색 알루미늄 컵과 적외선등 사이의 거리를 달리한 후

Table 1. 2015 교육과정, 2022 교육과정에 제시된 복사평형 실험 관련 성취기준

과학과 교육과정	성취기준
2015 교육과정	[9과18-01] 기권의 층상 구조를 이해하고, 온실효과와 지구 온난화를 복사평형의 관점으로 설명할 수 있다.
2022 교육과정	[9과17-01] 지구 대기권을 4개 권역으로 구분하여, 온실효과와 지구온난화를 복사평형의 관점으로 설명할 수 있다.

Table 2. 교과서에 제시된 복사평형 실험 내용

교과서	내용
A	태양이 현재보다 지구로부터 가까워지거나 멀어진다면 지구에서는 각각 어떤 변화가 일어날지 토의해 보자.
B	복사평형 실험에서 컵과 전등 사이의 거리를 15 cm로 하면, 30 cm로 했을 때와 비교하여 시간에 따른 온도 변화가 어떻게 될지 말하고 그 까닭을 설명해보자.
C	검은색 알루미늄 컵과 적외선 등 사이의 거리를 달리한 후 실험하여 컵의 온도가 일정해지는 복사평형 온도를 알아보자.

실험하여 컵의 온도가 일정해지는 복사평형 온도를 알아보자.'라고 추가 탐구 활동을 제시하였다(Table 2).

2.2. 실험 장치 구성

복사평형 온도를 아두이노를 활용하여 측정하기 위해 먼저 실험 장치를 고안했다. 광원은 24V, 300W 백열전구를 활용하였다. 검은색 컵 위에 투명한 비닐을 씌우고 그 안에 온도센서를 넣어 컵 속 공기를 가열하고자 하였다. 공기가 가열되는 시간과 실험이 진행되는 시간을 고려하여 밑면 지름 5 cm, 윗면 지름 7.5 cm, 높이 8 cm의 플라스틱 컵을 사용하였고, 검은색 종이를 감싸 검은색 컵을 제작하였다. 온도센서는 비닐에 고정하여 센서가 컵이나 비닐에 닿지 않도록 공중에 떠 있게 만들었다. 검은색 컵 3개에 온도센서를 각각 고정하여 광원으로부터 일정한 거리만큼 떨어진 상태로 고정시켰다. 광원은 온도센서나 비닐에 직접 영향을 끼치지 않고 컵의 옆면을 가열하도록 고정하였다. 광원의 빛이 한 컵에만 치우치지 않도록 빛의 범위를 넓히기 위해 광원을 2개 사용하였다(Fig. 1).

컵 속 공기의 온도 정보를 얻기 위한 아두이노를 설계하였다. 아두이노 우노 보드 R3와 830핀 브레드 보드를 사용하였고 온도센서는 DHT온습도 센서 3개를 활용하였다. 회로는 온습도 센서에서 입력되는 데이터가 컴퓨터로 전송될 수 있도록 설계하였다(Fig. 2). 코딩은 Sकेch 프로그램을 이용해 코드를 작성하였다(Fig. 3). #include <DHT.h> 코드는 DHT 센서를 제어하기 위한 라이브러리를 사용한다는 선언을 나타

```

temp-final.ino
1 #include <DHT.h>
2
3 #define DHTPIN1 6 // 디지털 6번핀 사용 (첫 번째 센서)
4 #define DHTPIN2 7 // 디지털 7번핀 사용 (두 번째 센서)
5 #define DHTPIN3 8 // 디지털 8번핀 사용 (세 번째 센서)
6 #define DHTTYPE DHT11 // DHT 11 모델 사용
7
8 DHT dht1(DHTPIN1, DHTTYPE); // 첫 번째 DHT 센서
9 DHT dht2(DHTPIN2, DHTTYPE); // 두 번째 DHT 센서
10 DHT dht3(DHTPIN3, DHTTYPE); // 세 번째 DHT 센서
11
12 void setup() {
13   Serial.begin(9600);
14   dht1.begin(); // 첫 번째 센서 초기화
15   dht2.begin(); // 두 번째 센서 초기화
16   dht3.begin(); // 세 번째 센서 초기화
17   Serial.println("LABEL,Temp");
18 }
19
20 void loop() {
21   // 첫 번째 센서에서 온도 읽기
22   float t1 = dht1.readTemperature(); // 섭씨 온도 측정
23   float t2 = dht2.readTemperature(); // 섭씨 온도 측정
24   float t3 = dht3.readTemperature(); // 섭씨 온도 측정
25
26   if (isnan(t1)) {
27     Serial.println("첫 번째 센서에서 온도를 읽을 수 없습니다!");
28   } else {
29     Serial.print("DATA,TIME,");
30     Serial.print(t1, 2); // 소수점 둘째 자리까지 출력
31     Serial.print(",");
32     Serial.print(t2, 2); // 소수점 둘째 자리까지 출력
33     Serial.print(",");
34     Serial.print(t3, 2); // 소수점 둘째 자리까지 출력
35   }
36
37   delay(4000); // 2초 기다리기
38 }
    
```

Fig 1. 도구 제작에 사용한 코드

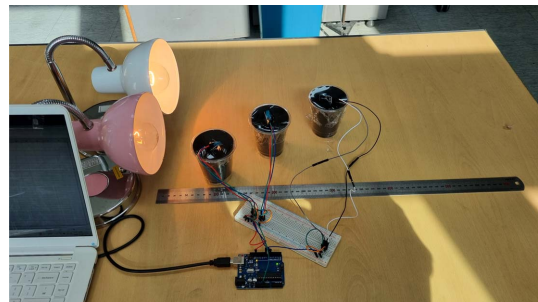


Fig. 2. 광원으로부터의 거리에 따른 복사평형 온도 측정 실험 모습(첫 번째 실험)

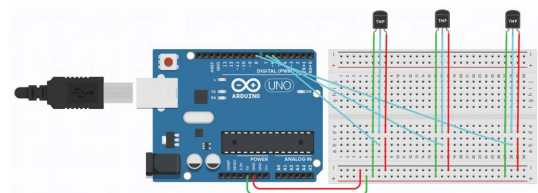


Fig. 3. 구성한 아두이노 회로도

내며, #define DHTPIN 코드는 센서를 각각 디지털 핀 6번, 7번, 8번에 연결한다는 정의를 나타낸다. #define DHTTYPE 코드는 센서 모델을 지정하는 것을 의미하며, 여기서는 DHT11 모델을 사용한다는 것을 나

타낸다. DHT dht1(DHTPIN1, DHTTYPE); 코드는 DHT 센서를 제어하기 위한 객체 생성에 대한 것이고, dht1, dht2, dht3의 객체를 생성하여 각 센서를 독립적으로 제어할 수 있도록 한다. void setup()은 초기 설정 함수로서 시리얼 통신과 각 센서를 초기화하여 데이터를 읽을 준비를 하는 것을 나타낸다. Serial.println("LABEL, Temp")는 결과 데이터를 구분할 레이블을 출력할 수 있도록 하는 코드이다. void loop()은 그 아래 제시된 코드를 계속 반복하는 것을 의미하고, float t1 = readTemperature() 코드로 첫 번째 센서의 현재 온도를 읽어낸다. 마찬가지로 각 센서에서 온도 데이터를 읽어내 변수 t2와 t3에도 값을 저장한다. 만약 첫 번째 데이터가 유효하지 않을 때 경고 메시지 출력을 위해 isnan() 코드를 사용했다. 유효한 데이터가 있을 경우 Serial.print 코드를 이용하여 원하는 형태로 데이터를 출력하도록 한다. delay(4000)은 4초 동안 대기하여 주기적으로 센서로부터 데이터를 읽어내도록 설정하는 코드이다(Fig. 3). 전송된 온도 값은 PLX-DAQ 프로그램을 활용하여 Excel로 전송되도록 만들었고, PLX-DAQ로 정보를 전송하기 위해 값이 'DATA, 시간, 온도'의 양식으로 출력되도록 코딩하였다. 온도의 소수점 둘째 자리까지 값이 출력되도록 코딩하였으나, 센서의 민감도가 높지 않아 정수로만 출력되었다. Excel로 전송된 자료를 분산형 그래프로 변환시켜 온도 변화 경향성을 파악하였다.

2.3. 실험 절차

세 개의 온도센서가 같은 온도를 유지하는지 확인한 후, 광원의 전원을 켜 컵 속 공기를 가열시키며 온도 정보를 수집하였다. 실험하는 동안 실험과 관련된 변인 이외의 조건은 모두 동일하게 유지시켜주었다.

첫 번째 실험에서는 온도센서가 부착된 컵을 광원으로부터 10 cm, 20 cm, 30 cm의 거리에 고정하였으며, 광원은 백열등 스탠드 2개를 사용, 스탠드의 빛의 세기는 1단으로 고정하여 복사평형 온도를 측정하였다(Fig. 1). 두 번째 실험에서는 온도센서가 부착된 컵을 광원으로부터 10 cm, 20 cm, 30 cm의 거리에 고정하였으며, 광원은 백열등 스탠드 2개를 사용, 스탠드의 빛의 세기는 3단으로 고정하여 복사평형 온도를 측정하였다(Fig. 4). 광원의 빛의 세기에

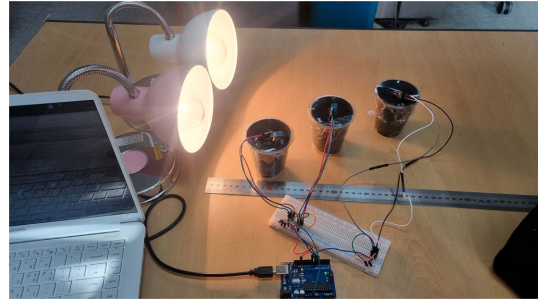


Fig. 4. 두 번째 실험 모습

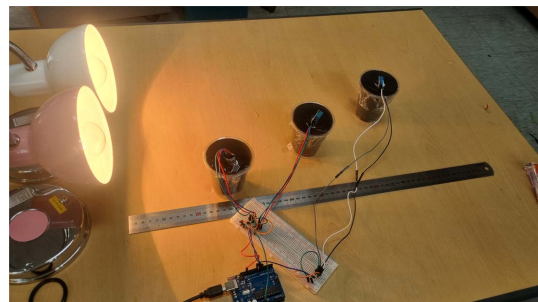


Fig. 5. 세 번째 실험 모습

따른 실험 결과의 변화를 보기 위해 빛의 세기를 조절하였다. 세 번째 실험에서는 온도센서가 부착된 컵을 광원으로부터 15 cm, 30 cm, 45 cm의 거리에 고정하였으며, 광원은 백열등 스탠드 2개를 사용, 스탠드의 빛의 세기는 3단으로 고정하여 복사평형 온도를 측정하였다(Fig. 5). 광원의 영향이 미치는 거리 한계를 알아보기 위해 광원으로부터의 거리를 더 멀게 조절하였다.

III. 연구 결과

총 3회의 실험을 통해 광원으로부터 거리를 다르게 위치시킨 세 물체의 온도 변화를 관찰하였으며, 복사평형 온도와 복사평형에 도달하는 데 걸린 시간의 데이터와 그래프를 얻었다(Table 2, Fig. 1). 각 그래프의 가로축은 데이터가 기록된 시각(시:분:초)이고, 세로축은 온도(°C)를 나타낸다. 또한 delay(4000)로 설정하여 4초 마다 데이터를 기록하도록 코딩하였지만 센서가 데이터를 읽어내는 작업에 지연이 발생하여 약간의 차이가 발생하여 실제 데이터가 기록된 시간

은 약 4~5초이다.

3.1. 첫 번째 실험

광원을 2개 설치했고 빛의 세기를 1단으로 하였으며 세 물체의 거리를 광원으로부터 10 cm, 20 cm, 30 cm에 위치시켜서 실험을 진행하였다. 광원으로부터 10 cm 떨어진 물체는 15분 14초(11:38:50~11:54:04) 동안 온도가 상승했고, 30°C에 도달하여 온도가 일정하게 유지되는 경향을 보인다. 광원으로부터 20 cm 떨어져 있는 물체는 28분 8초(11:38:50~12:06:58) 동안 온도가 상승했고, 27°C에 도달 후 온도가 일정하게 유지되었다. 광원으로부터 30 cm에 떨어져 있는 물체는 29분 16초(11:38:50~12:08:06) 동안 온도가 상승한 후 25°C에 도달하여 온도가 일정하게 유지되었다(Table 3). 세 물체는 시간에 따라 온도가 상승하다가 서로 다른 지점에서 일정하게 유지되는 모습을 보였다(Fig. 6).

3.2. 두 번째 실험

광원 2개와 빛의 세기를 3단으로 올렸고, 세 물체의

Table 3. 첫 번째 실험에 대한 복사평형에 도달하는 데 걸린 시간과 복사평형 온도

거리	복사평형 온도	복사평형 도달 시간
10 cm	30°C	15분 14초
20 cm	27°C	28분 4초
30 cm	25°C	29분 16초

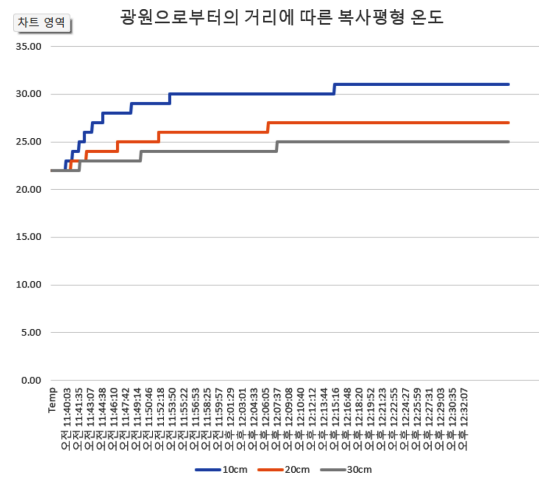


Fig. 6. 첫 번째 실험에 대한 세 물체의 온도 변화

거리는 광원으로부터 10 cm, 20 cm, 30 cm로 동일하게 설정하여 실험을 진행하였다. 광원으로부터 10 cm 떨어진 물체는 12분 34초(1:37:45~1:50:29) 동안 온도가 상승했고, 38°C에 도달하여 온도가 일정하게 유지되는 경향을 보인다. 광원으로부터 20 cm 떨어져 있는 물체는 15분 9초(1:37:45~1:53:04) 동안 온도가 상승했고, 30°C에 도달 후 온도가 일정하게 유지되었다. 광원으로부터 30 cm에 떨어져 있는 물체는 18분 27초(1:37:45~1:56:22) 동안 온도가 상승한 후 27°C에 도달하여 온도가 일정하게 유지되었다(Table 5). 첫 번째 실험과 비슷한 경향으로 세 물체의 온도는 시간에 따라 상승하다가 서로 다른 지점에서 일정하게 유지되는 모습을 보였다(Fig. 7).

3.3. 세 번째 실험

광원을 2개, 빛의 세기를 3단으로 설정하였고, 세 물체의 거리는 광원으로부터 15 cm, 30 cm, 45 cm 떨어 뜨려 위치시킨 후 실험을 진행하였다. 광원으로부터 15 cm 떨어져 있는 물체는 12분 1초(2:38:21~2:50:22) 동안 온도가 상승하였으며, 2:50:22 시점부터 31°C에 도달하여 온도가 일정하게 유지되는 경향을 보였다. 광원으로부터 30 cm 떨어져 있는 물체는 8분 57초(2:38:21~2:47:18) 동안 온도가 상승하였고, 2:47:18 시점부터 온도가 25°C로 일정하게 유지되는 모습을

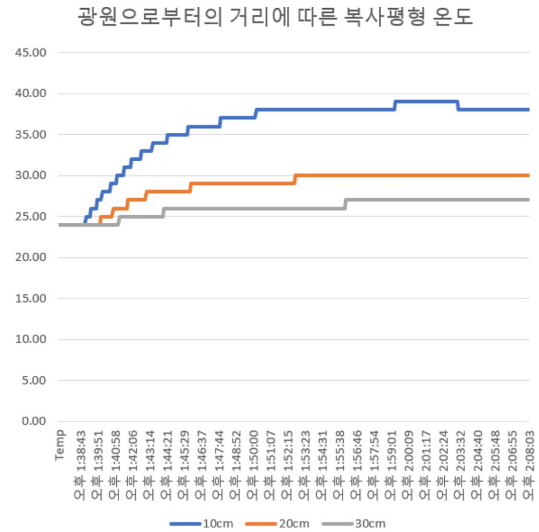


Fig 7. 두 번째 실험에 대한 세 물체의 온도 변화

Table 4. 첫 번째 실험의 시간, 거리 별 온도 값

10 cm		20 cm		30 cm	
시간	온도(°C)	시간	온도(°C)	시간	온도(°C)
오전 11:38:50	22	오전 11:38:50	22	오전 11:38:50	22
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
오전 11:53:55	29	오후 12:06:48	26	오후 12:07:56	24
오전 11:53:59	29	오후 12:06:53	26	오후 12:08:01	24
오전 11:54:04	30	오후 12:06:58	27	오후 12:08:06	25
오전 11:54:09	30	오후 12:07:03	27	오후 12:08:10	25
오전 11:54:14	30	오후 12:07:08	27	오후 12:08:15	25
오전 11:54:19	30	오후 12:07:12	27	오후 12:08:20	25
오전 11:54:24	30	오후 12:07:17	27	오후 12:08:25	25
오전 11:54:28	30	오후 12:07:22	27	오후 12:08:30	25
오전 11:54:33	30	오후 12:07:27	27	오후 12:08:35	25
오전 11:54:38	30	오후 12:07:32	27	오후 12:08:39	25
오전 11:54:43	30	오후 12:07:37	27	오후 12:08:44	25
오전 11:54:48	30	오후 12:07:41	27	오후 12:08:49	25
오전 11:54:53	30	오후 12:07:46	27	오후 12:08:54	25
오전 11:54:57	30	오후 12:07:51	27	오후 12:08:59	25
오전 11:55:02	30	오후 12:07:56	27	오후 12:09:04	25
오전 11:55:07	30	오후 12:08:01	27	오후 12:09:08	25
오전 11:55:12	30	오후 12:08:06	27	오후 12:09:13	25
오전 11:55:17	30	오후 12:08:10	27	오후 12:09:18	25
오전 11:55:22	30	오후 12:08:15	27	오후 12:09:23	25
오전 11:55:26	30	오후 12:08:20	27	오후 12:09:28	25
오전 11:55:31	30	오후 12:08:25	27	오후 12:09:33	25
오전 11:55:36	30	오후 12:08:30	27	오후 12:09:37	25
오전 11:55:41	30	오후 12:08:35	27	오후 12:09:42	25
오전 11:55:46	30	오후 12:08:39	27	오후 12:09:47	25
오전 11:55:51	30	오후 12:08:44	27	오후 12:09:52	25
오전 11:55:55	30	오후 12:08:49	27	오후 12:09:57	25
오전 11:56:00	30	오후 12:08:54	27	오후 12:10:02	25
오전 11:56:05	30	오후 12:08:59	27	오후 12:10:06	25
오전 11:56:10	30	오후 12:09:04	27	오후 12:10:11	25
오전 11:56:15	30	오후 12:09:08	27	오후 12:10:16	25
오전 11:56:20	30	오후 12:09:13	27	오후 12:10:21	25
오전 11:56:24	30	오후 12:09:18	27	오후 12:10:26	25
오전 11:56:29	30	오후 12:09:23	27	오후 12:10:31	25

Table 5. 두 번째 실험에 대한 복사평형에 도달하는 데 걸린 시간과 복사평형 온도

거리	복사평형 온도	복사평형 도달 시간
10 cm	38°C	12분 34초
20 cm	30°C	15분 9초
30 cm	27°C	18분 27초

보였다. 마지막으로 광원으로부터 45 cm 떨어져 있는 물체는 12분 54초(2:38:21~2:51:15) 동안 온도가 상승한 후 2:51:51 시점에서 온도가 25°C에 도달하여 온도가 일정하게 유지되었다(Table 7). 앞서 두 번의 실험과 비슷한 경향으로 시간에 따라 물체의 온도는 상승하였다. 하지만 광원으로부터 30 cm, 45 cm

Table 6. 두 번째 실험의 시간, 거리 별 온도 값

10 cm		20 cm		30 cm	
시간	온도(°C)	시간	온도(°C)	시간	온도(°C)
오후 1:37:40	24	오후 1:37:40	24	오후 1:37:40	24
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
오후 1:50:19	37	오후 1:52:54	29	오후 1:56:12	26
오후 1:50:24	37	오후 1:52:59	29	오후 1:56:17	26
오후 1:50:29	38	오후 1:53:04	30	오후 1:56:22	27
오후 1:50:34	38	오후 1:53:08	30	오후 1:56:27	27
오후 1:50:38	38	오후 1:53:13	30	오후 1:56:31	27
오후 1:50:43	38	오후 1:53:18	30	오후 1:56:36	27
오후 1:50:48	38	오후 1:53:23	30	오후 1:56:41	27
오후 1:50:53	38	오후 1:53:28	30	오후 1:56:46	27
오후 1:50:58	38	오후 1:53:33	30	오후 1:56:51	27
오후 1:51:03	38	오후 1:53:37	30	오후 1:56:56	27
오후 1:51:07	38	오후 1:53:42	30	오후 1:57:00	27
오후 1:51:12	38	오후 1:53:47	30	오후 1:57:05	27
오후 1:51:17	38	오후 1:53:52	30	오후 1:57:10	27
오후 1:51:22	38	오후 1:53:57	30	오후 1:57:15	27
오후 1:51:27	38	오후 1:54:02	30	오후 1:57:20	27
오후 1:51:32	38	오후 1:54:06	30	오후 1:57:25	27
오후 1:51:37	38	오후 1:54:11	30	오후 1:57:30	27
오후 1:51:41	38	오후 1:54:16	30	오후 1:57:34	27
오후 1:51:46	38	오후 1:54:21	30	오후 1:57:39	27
오후 1:51:51	38	오후 1:54:26	30	오후 1:57:44	27
오후 1:51:56	38	오후 1:54:31	30	오후 1:57:49	27
오후 1:52:01	38	오후 1:54:35	30	오후 1:57:54	27
오후 1:52:06	38	오후 1:54:40	30	오후 1:57:59	27
오후 1:52:10	38	오후 1:54:45	30	오후 1:58:03	27
오후 1:52:15	38	오후 1:54:50	30	오후 1:58:08	27
오후 1:52:20	38	오후 1:54:55	30	오후 1:58:13	27
오후 1:52:25	38	오후 1:55:00	30	오후 1:58:18	27
오후 1:52:30	38	오후 1:55:04	30	오후 1:58:23	27
오후 1:52:35	38	오후 1:55:09	30	오후 1:58:28	27
오후 1:52:39	38	오후 1:55:14	30	오후 1:58:32	27
오후 1:52:44	38	오후 1:55:19	30	오후 1:58:37	27
오후 1:52:49	38	오후 1:55:24	30	오후 1:58:42	27
오후 1:52:54	38	오후 1:55:29	30	오후 1:58:47	27
오후 1:52:59	38	오후 1:55:33	30	오후 1:58:52	27
오후 1:53:04	38	오후 1:55:38	30	오후 1:58:57	27
오후 1:53:08	38	오후 1:55:43	30	오후 1:59:01	27
오후 1:53:13	38	오후 1:55:48	30	오후 1:59:06	27
오후 1:53:18	38	오후 1:55:53	30	오후 1:59:11	27

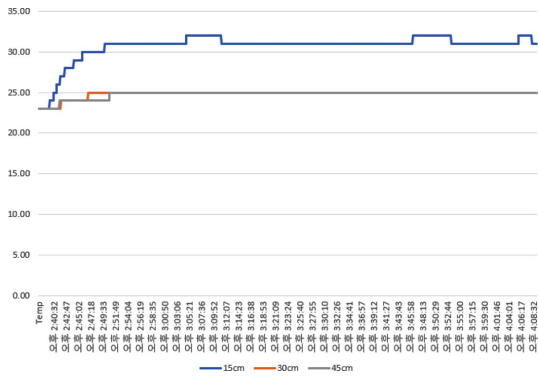


Fig. 8. 세 번째 실험에 대한 세 물체의 온도 변화

Table 7. 세 번째 실험에 대한 복사평형에 도달하는 데 걸린 시간과 복사평형 온도

거리	복사평형 온도	복사평형 도달 시간
15 cm	31°C	12분 1초
30 cm	25°C	8분 57초
45 cm	25°C	12분 54초

떨어져 있는 물체의 복사평형 온도는 같게 나타났고, 광원으로부터 30 cm 보다 더 가까운 15 cm에 떨어져 있는 물체가 복사평형에 도달하는 데 걸리는 시간이

Table 8. 세 번째 실험의 시간, 거리별 온도 값

15 cm		30 cm		45 cm	
시간	온도(°C)	시간	온도(°C)	시간	온도(°C)
오후 2:38:21	23	오후 2:38:21	23	오후 2:38:21	23
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
오후 2:50:12	30	오후 2:47:08	24	오후 2:51:05	24
오후 2:50:17	30	오후 2:47:13	24	오후 2:51:10	24
오후 2:50:22	31	오후 2:47:18	25	오후 2:51:15	25
오후 2:50:26	31	오후 2:47:23	25	오후 2:51:20	25
오후 2:50:31	31	오후 2:47:28	25	오후 2:51:24	25
오후 2:50:36	31	오후 2:47:32	25	오후 2:51:29	25
오후 2:50:41	31	오후 2:47:37	25	오후 2:51:34	25
오후 2:50:46	31	오후 2:47:42	25	오후 2:51:39	25
오후 2:50:51	31	오후 2:47:47	25	오후 2:51:44	25
오후 2:50:55	31	오후 2:47:52	25	오후 2:51:49	25
오후 2:51:00	31	오후 2:47:57	25	오후 2:51:53	25
오후 2:51:05	31	오후 2:48:01	25	오후 2:51:58	25
오후 2:51:10	31	오후 2:48:06	25	오후 2:52:03	25
오후 2:51:15	31	오후 2:48:11	25	오후 2:52:08	25
오후 2:51:20	31	오후 2:48:16	25	오후 2:52:13	25
오후 2:51:24	31	오후 2:48:21	25	오후 2:52:18	25
오후 2:51:29	31	오후 2:48:26	25	오후 2:52:22	25
오후 2:51:34	31	오후 2:48:30	25	오후 2:52:27	25
오후 2:51:39	31	오후 2:48:35	25	오후 2:52:32	25
오후 2:51:44	31	오후 2:48:40	25	오후 2:52:37	25
오후 2:51:49	31	오후 2:48:45	25	오후 2:52:42	25
오후 2:51:53	31	오후 2:48:50	25	오후 2:52:47	25
오후 2:51:58	31	오후 2:48:55	25	오후 2:52:51	25
오후 2:52:03	31	오후 2:48:59	25	오후 2:52:56	25
오후 2:52:08	31	오후 2:49:04	25	오후 2:53:01	25
오후 2:52:13	31	오후 2:49:09	25	오후 2:53:06	25
오후 2:52:18	31	오후 2:49:14	25	오후 2:53:11	25

Table 8. 계속

15 cm		30 cm		45 cm	
시간	온도(°C)	시간	온도(°C)	시간	온도(°C)
오후 2:52:22	31	오후 2:49:19	25	오후 2:53:16	25
오후 2:52:27	31	오후 2:49:24	25	오후 2:53:21	25
오후 2:52:32	31	오후 2:49:28	25	오후 2:53:25	25
오후 2:52:37	31	오후 2:49:33	25	오후 2:53:30	25
오후 2:52:42	31	오후 2:49:38	25	오후 2:53:35	25
오후 2:52:47	31	오후 2:49:43	25	오후 2:53:40	25
오후 2:52:51	31	오후 2:49:48	25	오후 2:53:45	25
오후 2:52:56	31	오후 2:49:53	25	오후 2:53:50	25
오후 2:53:01	31	오후 2:49:57	25	오후 2:53:54	25
오후 2:53:06	31	오후 2:50:02	25	오후 2:53:59	25
오후 2:53:11	31	오후 2:50:07	25	오후 2:54:04	25

더 길게 측정되는 결과가 나타났다(Fig. 8).

IV. 결론 및 토의

본 연구는 아두이노를 활용한 복사평형 측정 실험 디지털 탐구 도구를 제작하는 것이다. 이를 위해 기존에 제시된 2015 교육과정의 중학교 3학년 과학 교과서에 제시된 복사평형 온도 측정 실험과 같은 결과가 도출되는지 세 차례 실험하였다.

아두이노를 활용한 복사평형 실험의 결과에서 첫 번째, 두 번째 실험에서 이상적인 실험 결과와 동일한 결과가 도출되었다. 특히 시간에 따른 온도 변화에 대한 데이터를 실시간으로 얻어 낼 수 있었으며, 실시간 데이터를 그래프로 변환하여 시간에 따른 온도 변화를 눈으로 쉽게 관찰할 수 있었다. 하지만 세 번째 실험에서는 세 물체의 거리를 광원으로 부터 각각 15 cm, 30 cm, 45 cm 떨어진 위치에 두고 실험하였더니 앞서 두 번의 실험과 다른 결과가 나타났다. 광원으로부터 15 cm 위치에 있는 물체와 45 cm에 있는 물체의 복사평형까지 도달하는 데 걸린 시간이 비슷하게 측정되었고, 광원으로부터 30 cm 위치에 있는 물체와 45 cm 위치에 있는 물체의 복사평형 온도는 25°C로 같게 측정되었다. 이는 복사평형의 실험에서 광원으로부터 물체가 너무 멀어지게 되면서 거리, 광원의 세기 외 변인의 통제가 잘 이루어

어지지 않아 교과서에서 제시된 실험 결과와 다른 결과가 나타난 것으로 판단된다. 따라서 거리를 다르게 하여 복사평형 온도를 확인하는 실험에서는 광원의 규격에 맞춰 적당한 거리를 설정할 필요가 있다. 본 실험에서는 24V, 300W의 백열전구를 사용하였고, 실험 결과에 따르면 물체의 거리를 10 cm, 20 cm, 30 cm로 설정하는 것이 적절하다고 판단된다.

또한 아두이노를 활용한 복사평형 측정 디지털 탐구 도구를 설계하는 과정에서 기본적인 코딩 지식이 필요하다. 사실 생성형 AI를 보조 도구로 사용하면 복사평형 실험에 맞는 원하는 코드를 비교적 쉽게 만들 수 있다. 다만, 생성형 AI를 이용하여 원하는 코딩을 만들어도 단순히 복사와 붙여넣기의 과정으로는 원하는 실험 결과를 얻을 수 없다. 실험자의 아두이노 설계와 그에 맞는 적합한 코드를 이해하고 수정할 수 있는 기본적인 코딩 지식이 요구된다. 또한 2022 개정 교육과정의 정보 교과에서 제시된 “[9정 02-02] 제 해결에 적합한 데이터를 수집하고, 목적에 맞게 구분하여 관리한다.”, “[9정02-03] 실생활의 데이터를 표, 다이어그램 등 다양한 형태로 구조화한다.”, “[9정03-08] 실생활의 문제를 탐색하여 발견하고, 프로그래밍을 통해 해결한다.”와 같은 성취 기준과 중학교 과학 복사평형 실험을 연계하여 융합 수업을 통해 학생들의 컴퓨팅 사고력을 향상시키기 위한 수업을 계획할 수 있다.

결론적으로, 이 연구에서 제시된 아두이노를 활용한 복사평형 측정 디지털 탐구 도구는 기존의 교과서에 제시된 실험과 동일한 결과를 도출할 수 있으며, 프로그래밍 기초 지식을 함께 익힐 수 있는 기회를 제공한다. 더 나아가 2022 교육과정에서 요구하는 컴퓨팅 사고력을 증진할 수 있는 과학 수업 자료 또는 정보 교과와의 융합 수업 자료의 일부로서 교육 현장에 적용될 것이라 기대한다.

참고문헌

- [1] 최숙영, 제 4차 산업혁명 시대의 디지털 역량에 관한 고찰, 컴퓨터교육학회 논문지, **21**(5), 25-35 (2018).
- [2] 교육부, 2015 개정 교육과정 [별책9] 과학과 교육 과정, 교육부 고시 제2015-14호 (2015).
- [3] 교육부, 2022 개정 교육과정 [별책9] 과학과 교육 과정, 교육부 고시 제2022-33호 (2022).
- [4] 김성원, 이영준, 과학·수학·정보 융합 교육 프로그램이 중학생의 컴퓨팅 사고력에 미치는 효과, 컴퓨터교육학회 논문지, **24**(3), 1-10 (2021).
- [5] 송옥지, 박은경, 배종민, 마이크로비트를 활용한 소프트웨어 교육이 초등학생의 컴퓨팅사고력에 미치는 영향, 한국지식정보기술학회 논문지, **15**, 37-46 (2020).
- [6] 서정현, 김영식, 아두이노(Arduino)를 이용한 피지컬 컴퓨팅의 교육적 활용 방안 연구, 한국컴퓨터교육학회 학술발표대회논문집, **16**(2), 103-107 (2012).
- [7] J. M. Wing, Computational Thinking, Communications of the ACM, **49**, 3 (2006).
- [8] 이재호, 김선향, 피지컬 컴퓨팅 기반 소프트웨어 교육이 초등학생의 컴퓨팅 사고력에 미치는 영향, 창의정보문화연구, **7**(4), 243-255 (2021).
- [9] 이준형, 김종석, 이형욱, 컴퓨팅 사고력 교육을 위한 아두이노 기반의 텐저블 유저 인터페이스 모듈 설계, 예술인문사회 융합 멀티미디어 논문지, **8**(8), 451-459 (2018).
- [10] 장봉석, 중·고등학생 대상 아두이노 활용 교육의 효과에 대한 메타분석, 산업융합연구, **19**(3), 61-65 (2021).
- [11] T. Igoe and D. O'Sullivan, Physical computing: sensing and controlling the physical world with computers (Thomson: Boston, 2004).
- [12] 김선영, 윤세현, 아두이노를 활용한 STEAM 프로그램이 예비 과학교사의 융합인재 핵심역량에 미치는 영향, 과학교육연구지, **44**(2), 183-196 (2020).
- [13] 원은진, 서진하, 목련화, 코딩을 활용한 실내환경 측정 환경교육콘텐츠 개발, 한국환경교육학회 학술대회 자료집, 서울 (2018).
- [14] 유경희, 아두이노를 활용한 초등학교 6학년 과학 계절의 변화 단원 프로그램 개발 및 적용 효과, 석사학위논문, 경인교육대학교 대학원 (2019).
- [15] 윤세현, 아두이노를 활용한 ECO-STEAM 프로그램의 효과성 탐색, 국내석사학위논문, 조선대학교 교육대학원 (2021).
- [16] B. Jefferson and S. Antonio, Studying the specific heat of sand with an Arduino board, Physics Education, **56**, 045016. 10.1088/1361-6552/abf5f2 (2021).
- [17] 조준희, 최창원, 한상범, 장명호, 김희주, 김동정, 유현창, 온실효과 실험에서 피지컬 컴퓨팅 기반 스텝 교육의 효과 분석, 한국컴퓨터교육학회 학술발표대회논문집, **18**.1, 111-115 (2014).
- [18] 김미영, MBL을 이용한 온실효과 실험이 중학교 1학년 영재교육원 학생들에게 미치는 학습 효과, 국내석사학위논문, 이화여자대학교 교육대학원 (2008).