

출품번호
------

과학전시관에서 기재함
-------------

# 제64회 서울과학전람회 본선대회 작품설명서

최고 성능의 공기를 찾아서
----------------

2023. 3 . 8.

구분	학생부
출품부문	물리

## 【 차례 】

1. 탐구 동기 및 목적 .....	1
1-1. 탐구 동기 .....	1
1-2. 탐구 목적 .....	1
2. 선행연구 고찰 .....	1
3. 탐구 개요 .....	2
3-1. 탐구 문제 분석 .....	2
3-2. 탐구 기간 .....	3
4. 탐구 절차 및 방법 .....	3
5. 탐구의 내용 .....	3
5-1. 공기의 종류 .....	4
5-2. 공기의 성능 비교 .....	6
5-3. 공기의 개별적인 성질 비교 .....	8
5-4. 공기세트의 성질 비교 .....	9
5-5. 공기의 성능에 대한 물리학적 해석 .....	11
5-6. 입자의 크기에 따른 마찰열 측정 실험 (심화 실험) .....	12
1) 마찰열 측정장치 .....	13
2) 마찰열 측정 실험 .....	14
3) 온도변화 데이터 기록하기 .....	15
4) 온도변화 데이터 분석하기 .....	16
5. 결론 .....	18
6. 전망 및 활용성 .....	19
7. 참고문헌 .....	19

## 【 그림 차례 】

그림 1: 공기놀이 .....	1
그림 2: 공기 외피 .....	4
그림 3: 다양한 크기의 모래알 .....	4
그림 4: 주방용 전자저울을 이용한 공기 무게 측정 .....	5
그림 5: 고운 모래알 개수 어렵하기 .....	6
그림 6: 공기 손등에 얹기 실험 .....	6
그림 7: 공기 손등에 얹기 실험의 결과 그래프 .....	7
그림 8: 공기를 떨어뜨려 굴러간 거리 비교 실험 .....	8
그림 9: 공기 떨어뜨려 굴러간 거리 비교 실험의 결과 그래프 .....	9
그림 10: 공기세트 경사면 굴리기 실험 .....	9
그림 11: 공기세트 경사면 굴리기 실험의 결과 그래프 .....	10
그림 12: 던져진 공기의 에너지 변환 과정 (예시) .....	11
그림 13: 입자의 크기에 따른 접촉면 크기 비교 (2차원인 경우) .....	12
그림 14: 마찰열 측정장치, 마찰열 발생장치와 보온용기, 온도 측정장치, 크기가 다른 쇠구슬, 각 장치들이 결합된 모습 .....	13
그림 15: 마찰열 측정 실험 과정 .....	14
그림 16: 마찰열 측정 실험 과정 동영상 QR Code .....	15
그림 17: 온도변화 데이터 기록을 위한 블록코딩 프로그램 .....	15
그림 18: 온도변화 데이터 기록 과정 .....	15
그림 19: 마찰열에 의한 평균 온도 변화 그래프 .....	16
그림 20: 온도변화 데이터에 대한 선형회귀분석 결과 .....	17

## 【 표 차례 】

표 1: 선행연구 조사 결과 .....	2
표 2: 탐구 기간 .....	3
표 3: 공기 종류 .....	5
표 4: 실험 1(공기 손등에 얹기)의 결과 .....	7
표 5: 실험 2(공기를 떨어뜨려 굴러간 거리 비교)의 결과 .....	9
표 6: 실험 3(공기세트 경사면 굴리기)의 결과 .....	10
표 7: 던져진 공기의 에너지 변환 과정 .....	11
표 8: 온도변화에 대한 선행회귀분석 결과 .....	17

## 1. 탐구 동기 및 목적

### 1-1. 탐구 동기

학교 교실에서 친구들과 쉬는 시간에 공기놀이를 자주 한다. 예전에는 쉬는 시간에 활동성이 큰 놀이를 하였으나 코로나로 인해 교실 활동이 제한되어 심심하게 보내던 중 한 친구가 집에서 공기를 가져오면서 공기놀이가 시작되었다. 공기놀이에 참여하는 반 친구들이 차츰 늘어나게 되면서 몇몇 친구들만 했던 공기놀이가 어느새 학급 전체 토너먼트 경기로 규모가 커지게 되었다. 그런데 공기를 잘하는 친구들이 가진 공기와 내가 가진 공기를 비교해 보면 공기 무게나 내용물이 서로 달랐다. 잘하는 친구들의 공기를 볼 때마다 어떤 공기가 성능이 좋은지 궁금했다. 내가 가진 공기는 던지면 손등에서 쉽게 떨어지거나 멀리 퍼져나가서 공기놀이 토너먼트 경기에서 일찍 탈락할 때가 많았다. 그래서 어떤 공기가 성능 좋은지 의문이 생겨 탐구를 시작했다.



그림 1: 공기놀이

### 1-2. 탐구 목적

1. 공기놀이 단계별 공기의 움직임を 찾아본다.
2. 공기의 움직임과 관련된 과학적 원리를 탐구한다.
3. 성능 좋은 공기가 갖춰야 할 조건을 찾아본다.

## 2. 선행연구 고찰

공기에 관한 학술 자료 검색 결과, 공기놀이가 교육과정에서 아이들에게 미치는 정서적 또는 교육적 영향 등이나 공기놀이 문화 콘텐츠에 관한 연구는 있지만, 공기 자체 성능에 관련된 실험이나 연구 자료는 없었다. 그리고 과학전람회와 관련 사이트 검색 결과 공기와 관련된 작품이 전혀 없었으므로, 연구해 볼 가치가 있다고 생각했다.

표 1: 선행연구 조사 결과

	공기에 관한 학술 자료	선행 연구
서울과학전시관	없음	해당 없음
국립중앙과학관	없음	해당 없음
RISS	공기놀이 프로그램이 유아의 수학능력 신장에 미치는 효과	해당 없음
	공기놀이의 전승 모습과 아이들의 공기놀이 현장	해당 없음
Youtube	없음	해당 없음

### 3. 탐구 개요

#### 3-1. 탐구 문제 분석

공기놀이의 규칙은 다음과 같다

- 다섯 공기 알을 바닥에 던진 후 공기 알 하나를 잡고 위로 던져 올려 그것이 바닥에 떨어지기 전에 하나씩 손에 모은다. 한 알씩 잡기가 성공하면, 같은 방식으로 두 알씩 잡고, 그다음에 세 알씩을 잡은 후 나머지 바닥에 있는 한 알을 잡는다. 마지막에는 바닥에 있는 네 알을 한꺼번에 끌어 잡아야 한다.
- 이렇게 한 알씩부터 네 알씩까지 성공하여 다섯 알이 손에 모두 모아지면 이를 동시에 위로 던져 손등으로 받아야 한다.
- 손등 위에 받아진 공기를 다시 위로 올려 한꺼번에 채어서 잡아낸다. 이때 손등에 올려진 공기 알이 하나라도 떨어지면 점수를 획득하지 못하고 상대방의 차례가 된다. 높은 점수를 획득하려면 손등에 올려진 공기 알의 개수가 많아야 한다.

공기놀이 성능 탐구를 위해 공기놀이의 규칙을 단계별로 나누어 생각해 보기로 했다. 단계별 유리한 조건은 아래와 같아야 한다.

- 1) 공기 알을 바닥에 던질 때 공기가 멀리 굴러가지 않고 서로 가까이에 있어 손에 잘 잡힐 수 있는 거리에 위치해야 한다.
- 3) 공기 다섯 알을 동시에 던져 손등에 올릴 때 손등에서 튕겨 나가지 않아야 한다.
- 3) 손등에 올려진 공기 알을 위로 던져 다시 잡을 때 공기가 멀리 퍼져나가지 않아야 한다.

### 3-2. 탐구 기간

표 2: 탐구 기간

연구내용 기간		날짜							
		2022년				2023년			
		8월	9월	10월	11월	12월	1월	2월	3월
계획	탐구 주제 선정	●							
	선행 연구 조사	●							
실행	탐구 설계	●	●						
	탐구 수행		●	●					
	심화 탐구 (마찰열 실험)				●	●	●		
결론	결과 정리 및 보고서 작성							●	●

## 4. 탐구 절차 및 방법

공기의 겉모양과 크기가 같을 때 공기 속을 어떤 내용물로 채웠을 때 성능 좋은 공기가 되는지를 알아보고 단계별 공기의 움직임과 관련된 과학적 원리를 탐구한다.

공기의 모양과 크기가 같을 때 공기 속을 어떤 내용물로 채웠을 때 가장 다루기 좋은 공기를 만들 수 있을까에 대한 궁금점을 해결하기 위해 공기 속 내용물에 따른 공기의 성능을 비교해서 좋은 공기가 가져야 하는 조건에 관해 탐구하기로 했다. 공기 내용물의 입자의 크기를 다르게 하여 공기를 제작하였고, 아래와 같은 실험을 하였다.

(실험 1) 종류별 공기를 손등으로 던져 올려서 손등 위에 올려진 공기의 개수 평균 계산

(실험 2) 일정한 높이에서 공기를 떨어뜨려서 바닥에 튕겨서 나간 거리의 평균 계산

(실험 3) 같은 종류의 공기 한 세트를 병에 넣고 여러 각도에서 굴러 굴러간 거리의 평균 계산

(심화 실험 1) 입자의 크기별 마찰열 비교 실험

## 5. 탐구의 내용

공기의 모양과 크기가 같을 때 그 안을 어떤 내용물로 채웠을 때 가장 좋은 결과를 내는지 탐구하

기 위해 공기에 들어가는 내용물을 다르게 하여 3가지 종류의 공기들을 만들었다. 실험 조건을 유지하기 위해서 공기의 외피는 같게 하고 같은 실험자들이 테스트에 참여하였다.

- 같게 할 조건: 공기의 모양(외피)과 크기, 전체 무게, 실험자
- 다르게 할 조건: 공기의 내용물의 입자 크기

### 5-1. 공기의 종류

문제를 단순하게 만들기 위해서 공기의 외피는 시중에 판매하는 공기의 외피를 그대로 사용하기로 하였다.



그림 2: 공기 외피

공기의 내용물은 주위에서 쉽게 구할 수 있는 것으로 채워서 공기를 만들기로 했다. 주변에서 가장 구하기 쉬운 모래를 사용해서 공기 내용물을 만들어 보았다. 이때 모래 입자의 크기를 다르게 했을 때 공기의 성능에 어떤 차이를 나타내는지를 조사하기로 했다.



그림 3: 다양한 크기의 모래알. (왼쪽부터) 고운 모래, 중알 크기의 모래, 쌀알 크기의 모래



그림 3은 실험에 사용된 세 가지 종류의 모래알들을 보여준다. 이렇게 세 가지 종류의 내용물로 공기를 만들었다. 종류별로 각각 5개씩 한 세트의 공기를 만들어서 실험에 사용 하였다. 이때 주방용 정밀 전자저울을 사용해서 각 공기에 들어가는 내용물의 무게를 1g으로 같게 하였다(그림 4).

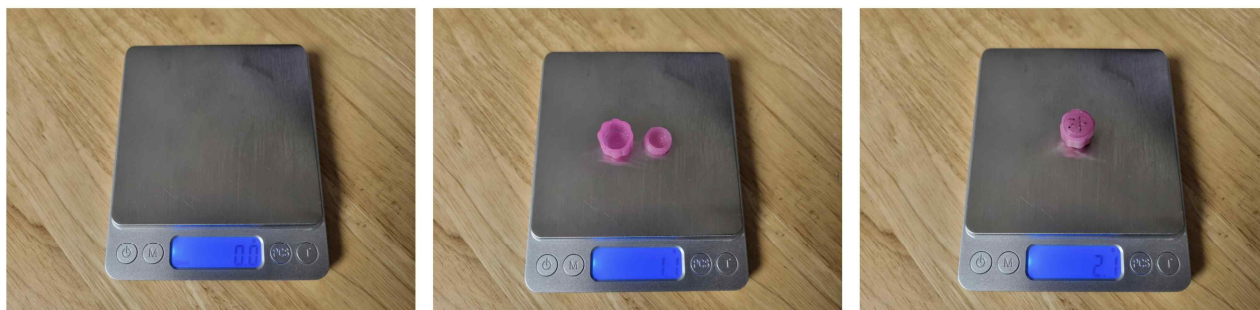


그림 4: 주방용 전자저울을 이용한 공기 무게 측정

표 3: 공기 종류 1 (채워진 알갱이의 크기에 따른 종류)

(단위: g)

	<가>타입	<나>타입	<다>타입
공기 무게 (g)	2.1	2.1	2.1
용기 무게 (g)	1.1	1.1	1.1
모래 무게 (g)	1.0	1.0	1.0
모래알 평균 개수 (개)	11900.0	82.0	19.0
모래알 평균 무게 (g)	0.00008	0.01220	0.05263

표 3은 실험에서 사용된 세 가지 종류의 공기와 관련된 측정 결과들을 표로 정리한 것이다. 고운 모래의 경우 낱알이 너무 작고 많아서 낱알의 개수를 일일이 세기 어려웠다. 이 경우 어림값으로 대신하였다. 사용된 어림 방법을 정리하면 아래와 같다.

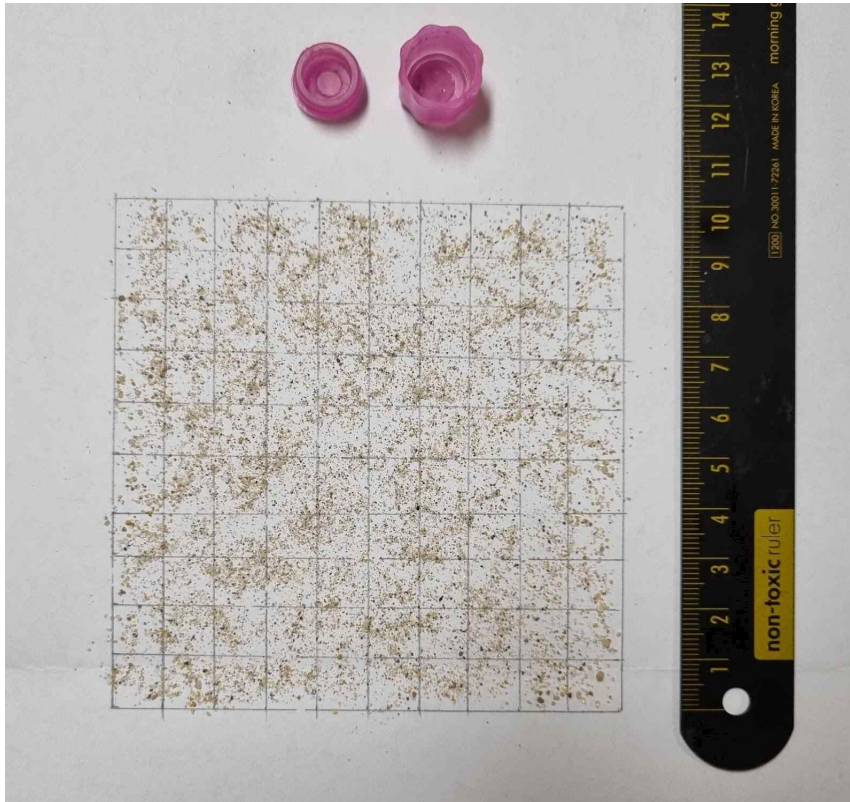


그림 5: 고운 모래알 개수 어렵하기

고운 모래알 개수 어렵하기 절차는 다음과 같다(그림 5).

1. 종이 위에 가로, 세로 각각 10cm인 격자무늬를 그린다.
2. 모래를 격자 위에 최대한 골고루 편다.
3. 무작위로 몇 개의 격자를 선택해서 그 속의 모래알 개수를 세어서 평균을 구한다.
4. 구해진 값에 격자의 개수인 100을 곱해서 전체 모래알의 개수에 대한 어렵값을 구한다.

## 5-2 공기의 성능 비교

공기의 성능을 비교하기 위해서 준비된 3종류의 공기에 대해서 다음의 실험을 해 보았다.



그림 6: 공기 손등에 얹기 실험

실험 1(공기 손등에 엮기)의 실험 절차는 다음과 같다(그림 6).

1. 같은 종류의 공기 5개를 던져서 최대한 많은 공기를 손등 엮도록 시도한다.
2. 1회 시도에서 실제로 손등에 엮힌 공기의 수를 기록한다.
3. 1~2의 과정을 한 실험자에 대해서 50회 반복한다.
4. 3종류의 공기로 서로 다른 4명의 실험자에 대해서 1~3의 과정을 각각 반복한다.
5. 실험 횟수가 거듭될수록 실험 참여자의 숙련도가 높아져서 유리한 결과를 얻을 가능성이 있으므로, 실험에 사용되는 공기의 종류를 번갈아 가면서 실험을 진행하였다. 예를 들어 <가> 타입 50회 -> <나> 타입 50회 -> <다> 타입 50회와 같은 진행 순서를 피하여  
 <가> 타입 10회 -> <나> 타입 10회 -> <다> 타입 10회 ->  
 <나> 타입 10회 -> <다> 타입 10회 -> <가> 타입 10회 ->  
 <다> 타입 10회 -> <가> 타입 10회 -> <나> 타입 10회 ->  
 ...  
 와 같은 진행 순서를 적용하여 숙련도에 따른 오차가 최소가 되도록 하였다.

표 4: 실험 1(공기 손등에 엮기)의 결과

(단위: 개)

	<가> 타입 공기	<나> 타입 공기	<다> 타입 공기
실험자 1	2.86	2.40	2.36
실험자 2	2.26	2.12	1.80
실험자 3	4.06	3.90	3.56
실험자 4	4.22	4.02	3.80

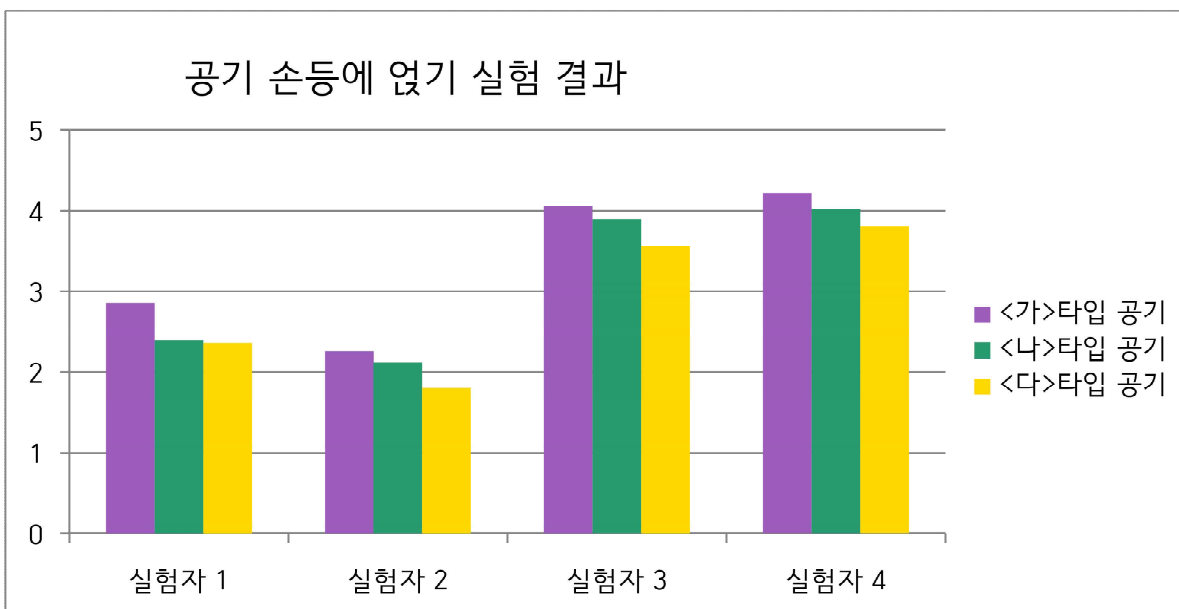


그림 7: 실험 1(공기 손등에 엮기)의 결과 그래프

실험 결과 아래의 내용을 확인할 수 있었다(그림 7).

- 공기에 들어있는 알갱이의 크기가 작고 개수가 많을수록 좋은 성능을 나타내었다.

이러한 내용은 서로 다른 4명의 실험자에 대해서 일관되게 관찰되었다.

### 5-3 공기의 개별적인 성질 비교

종류별 공기의 개별적인 성질을 비교하기 위해서 2번째 실험을 해 보기로 했다. 앞의 실험 1의 결과에 따라서 모래알의 굵기가 고을 수록 움직임이 둔해지므로 손등에서 떨어지는 공기의 개수가 줄어들 것이라고 예상해 보았다. 예상한 것을 실험으로 확인하기 위해서 공기를 일정한 높이에서 떨어뜨려서 굴러가는 거리를 측정해보기로 했다.

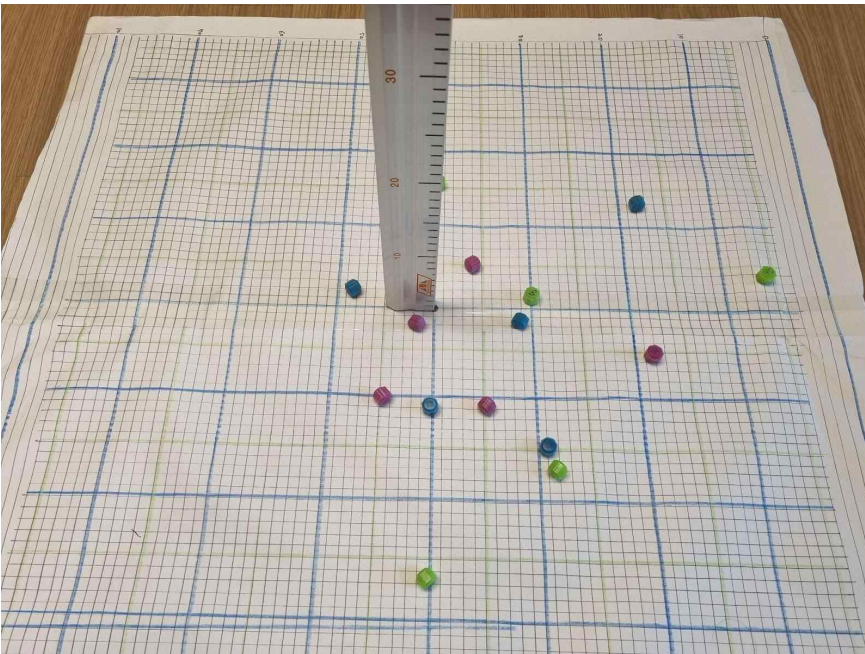


그림 8: 공기를 떨어뜨려 굴러간 거리 비교 실험

실험 2(공기를 떨어뜨려 굴러간 거리 비교)의 실험 절차는 다음과 같다(그림 8).

1. 공기를 일정한 높이에서 모눈종이 위로 떨어뜨린다.
2. 떨어진 충격으로 굴러간 공기가 멈추면 처음 떨어진 중심으로부터 멈춘 위치까지의 가로세로 좌표를 기록한다.
3. 같은 높이에 대해서 1~2의 과정을 50회 반복한다.
4. 3종류의 공기와 서로 다른 3가지의 높이에 대해서 각각 1~3의 과정을 반복한다.

실험에서 얻어진 가로세로 좌표로부터 굴러간 거리를 계산할 수 있다. 이때 피타고라스 정리를 사용했으며 직각 삼각형에 적용되는 피타고라스 정리는 아래와 같다.

- (빗변의 길이) $\times$ (빗변의 길이) = (밑변의 길이) $\times$ (밑변의 길이) + (높이) $\times$ (높이)

이 실험에서 가로세로 좌표는 밑변의 길이와 높이에, 굴러간 거리는 빗변의 길이에 해당한다.

표 5: 실험 2(공기를 떨어뜨려 굴러간 거리 비교)의 결과

(단위: cm)

	<가> 타입 공기	<나> 타입 공기	<다> 타입 공기
20cm 높이	6.4	11.2	14.2
30cm 높이	8.6	12.3	16.6
40cm 높이	12.3	18.2	20.3

피타고라스 정리를 사용하여 계산된 굴러간 거리의 평균을 표로 정리하면 표 5와 같고 그래프로 표현하면 그림 9와 같다.

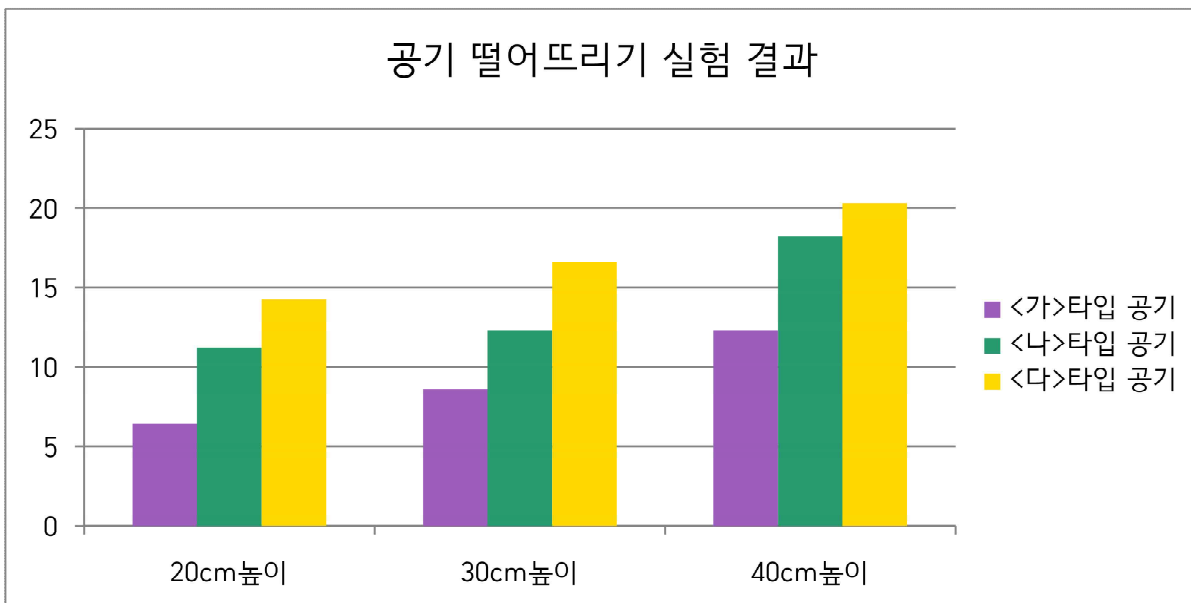


그림 9: 실험 2 (공기를 떨어뜨려 굴러간 거리 비교)의 결과 그래프

실험 결과에서 아래의 내용을 확인할 수 있었다.

- 사용된 모래알이 작을수록 이동한 거리가 짧다.

이러한 내용은 3가지의 서로 다른 높이의 실험 조건에 대해서 일관되게 관찰되었다. 이것은 고운 모래를 사용할수록 공기의 움직임이 둔해질 것이라는 예상과 일치하는 결과이다.

#### 5-4 공기세트의 성질 비교

종류별 공기의 집단적인 성질을 비교하기 위해서 3번째 실험을 해 보았다. 실험 2의 결과를 참고해서 여러 개의 공기를 굴렸을 때 모래알의 굵기가 고을 수록 움직임이 둔해질 거라 예상해 보았다. 이 예상을 실험적으로 확인하기 위해서 플라스틱병에 여러 개의 공기를 넣고 경사면에서 굴려서 멈출 때까지 굴러간 거리를 측정해보았다.





그림 10: 공기세트 경사면 굴리기 실험

실험 3(공기세트 경사면 굴리기)의 실험 절차는 다음과 같다(그림 10).

1. 원기둥 모양의 플라스틱병에 같은 종류의 공기를 5개 넣은 다음 모눈종이가 그려진 평평한 바닥과 연결된 일정한 각도의 경사면에서 굴린다.
2. 플라스틱병이 멈출 때까지 기다렸다가 평평한 바닥 면을 굴러간 거리를 기록한다.
3. 1~2의 과정을 50회 반복한다.
4. 3종류의 공기와 서로 다른 2가지의 경사면 각도에 대해서 1~3의 과정을 반복한다.

이때 사용한 경사면의 길이는 약 26cm였다.

표 6: 실험 3(공기세트 경사면 굴리기)의 결과.

(단위: cm)

	<가> 타입 공기	<나> 타입 공기	<다> 타입 공기
15도 경사면	24.5	26.9	27.7
30도 경사면	53.5	54.4	55.9

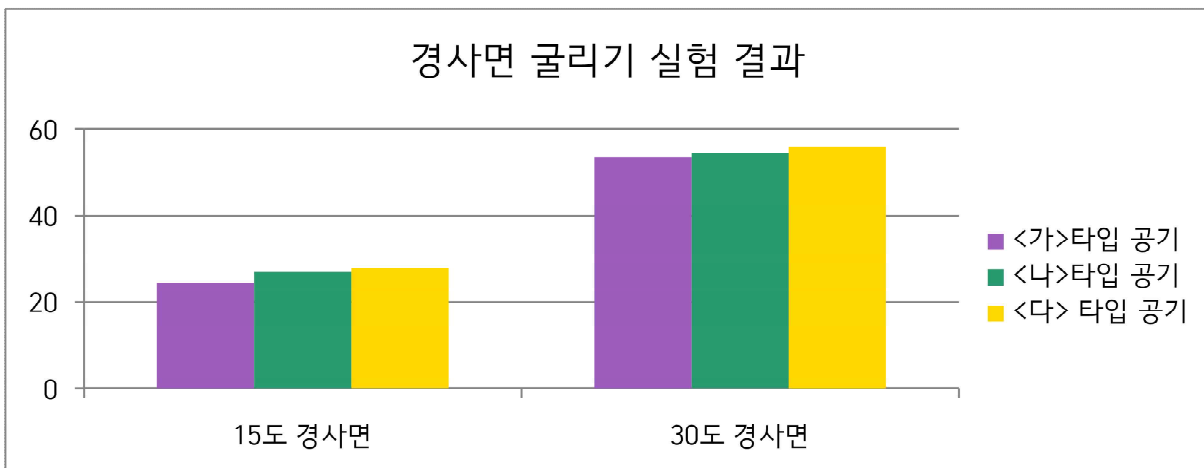


그림 11: 실험 3(공기세트 경사면 굴리기)의 결과 그래프

실험 결과 아래의 내용을 확인할 수 있었다(그림 11).

- 사용된 모래알이 고을수록 굴러간 거리가 짧다.

이러한 내용은 2가지의 서로 다른 경사면의 각도에 대해서 일관되게 관찰되었다. 이것은 고운 모래를 사용할수록 공기들의 움직임이 둔해질 것이라는 예상과 일치하는 결과이다.

## 5-5 공기의 성능에 대한 물리학적 해석

공기가 공중으로 던져졌다가 손등이나 바닥에 떨어져 움직이다가 멈추는 현상은 아래와 같은 과정을 거친다고 설명할 수 있다.

- 공기가 공중으로 던져졌다가 손등이나 바닥에 떨어지게 되면 손등이나 바닥에 부딪히기 직전에 가장 큰 운동에너지를 가지게 된다.
- 공기는 손등이나 바닥에 부딪힘과 동시에 운동에너지가 일부는 수평 방향의 운동에너지로 바뀌게 된다.
- 시간이 지남에 따라 모든 운동에너지가 소리나 열에너지로 바뀌게 되고 운동에너지가 0이 되면 멈추게 된다.

표 7: 던져진 공기의 에너지 변환 과정

순간	부딪히기 직전	부딪힌 직후	멈춘 직후
수직 운동에너지	최대	중간	최소
수평 운동에너지	최소	최대	최소
소리 / 열에너지	최소	중간	최대

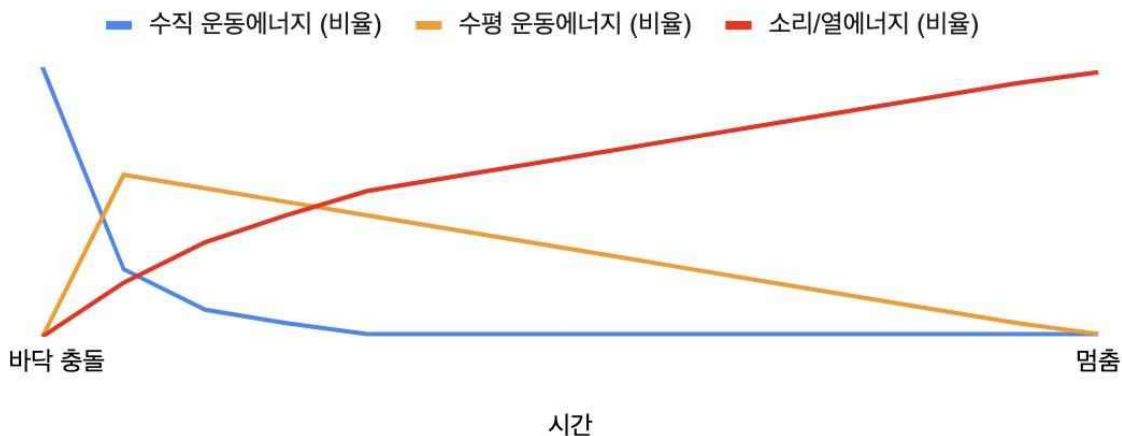


그림 12: 던져진 공기의 에너지 변환 과정 (예시)

이 과정을 요약하면 표 7과 같고 이를 그래프로 나타내면 그림 12와 같다.

에너지 보존법칙에 따라 처음의 운동에너지는 모두 마찰에 의해서 소리나 열에너지로 바뀌게

되는 것을 알 수 있다.

$$\text{수직 운동에너지} + \text{수평 운동에너지} + \text{소리/열에너지} = \text{일정함}$$

운동에너지가 소리나 열에너지로 바뀌는 속도가 빠를수록 공기가 이동한 거리가 짧아진다. 따라서 이동 거리가 짧은 공기는 반대로 운동에너지가 소리나 열에너지로 바뀌는 속도가 빠름을 알 수 있다.

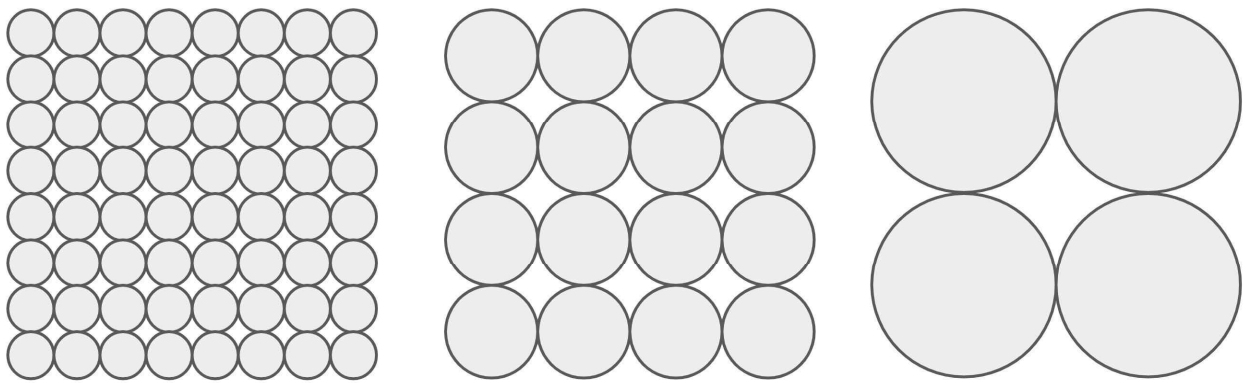


그림 13: 입자의 크기에 따른 접촉면 크기 비교 (2차원인 경우).

고운 입자의 공기에서 운동에너지가 소리나 열에너지로 바뀌는 속도가 빨라지는 이유는 입자가 가지는 마찰이 크다는 의미이고 마찰이 크다는 것은 아래와 같이 설명할 수 있다(그림 13).

- 공기 속 입자의 개수가 많을수록 입자들이 서로 만나는 접촉면이 많아진다.
- 가령 입자가 완전한 구 형태라고 가정하면 입자 하나당 대략 6개의 접점을 가지게 되고 입자의 개수가 늘어나면 접점의 개수도 늘어나게 된다.
- 따라서 입자의 크기가 작을수록 접점의 개수, 다른 말로 전체적인 접촉면이 늘어나게 되어 마찰이 커진다고 설명할 수 있다.

#### 5-6 입자의 크기에 따른 마찰열 측정 실험 (실험 4)

공기의 입자가 작을수록 마찰열이 커진다는 것을 확인하기 위해 추가 실험을 해 보기로 했다. 마찰열을 측정할 수 있는 실험 장치를 직접 제작하기로 했다. 마찰열을 발생시키기 위해 로보트 교구 키트를 이용하여 일정한 속도로 회전하면서 흔들어주는 마찰열 발생 장치를 만들었다. 쇠구슬이 담긴 용기를 회전시켜서 마찰열을 발생시키고 이때 발생된 열에 의해서 용기의 온도변화를 측정할 수 있도록 설계하였다. 마찰에 의해 발생한 열을 정확하게 측정하기 위해서 열이 보존되는 보온용기를 만들어 사용하기로 했다, 또한 비교 실험을 위해서 크기가 다른 쇠구슬을 사용하기로 하였다.

실험 결과에 대해서 아래와 같은 예상을 해 보았다.



- 시간이 지남에 따라 온도가 일정한 속도로 증가할 것이다.
- 작은 쇠구슬을 사용할수록 온도가 더 빠르게 증가할 것이다.

### 1) 마찰열 측정장치

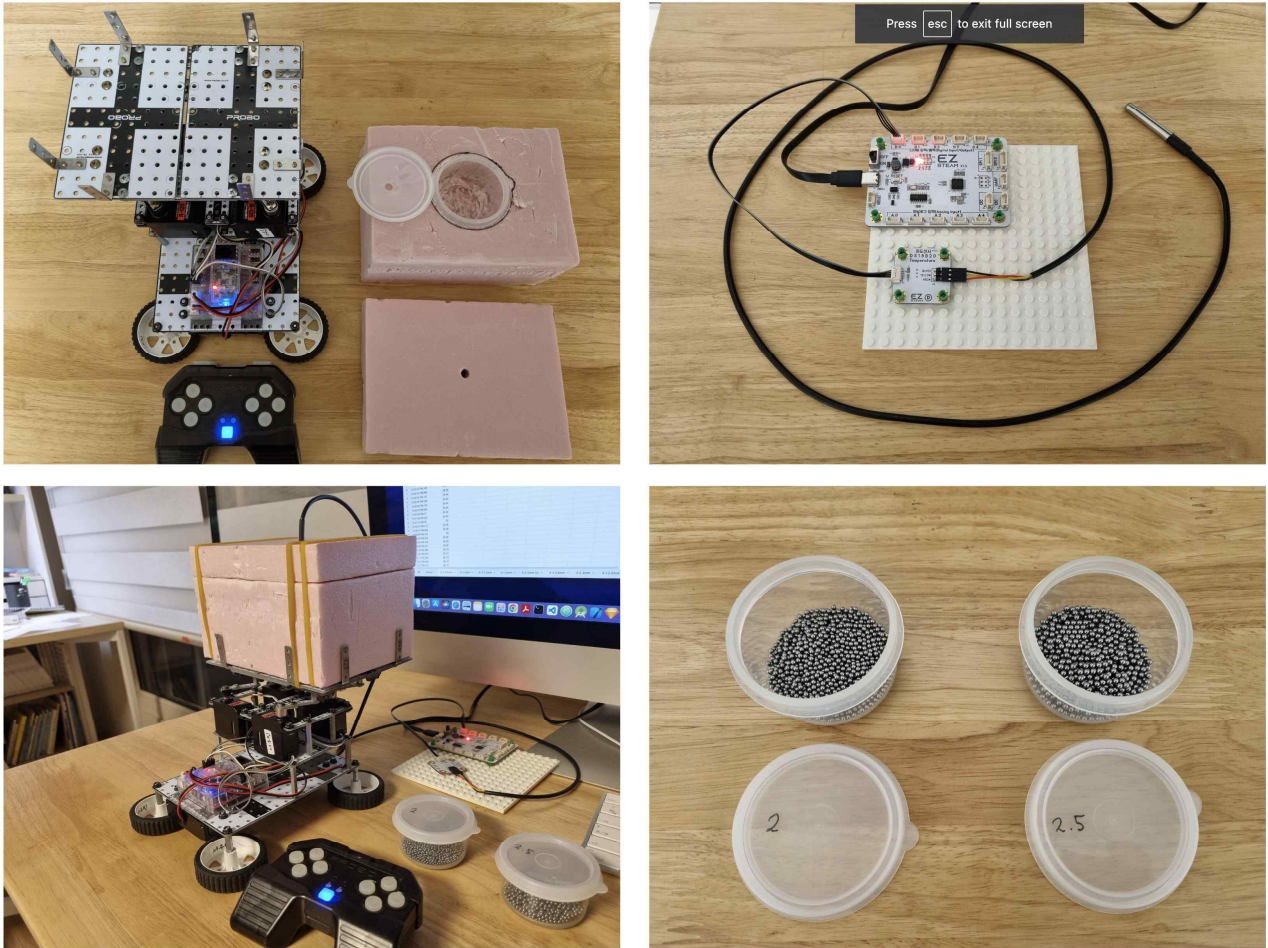


그림 14: 마찰열 측정장치. (좌측 위로부터 시계방향으로) 마찰열 발생장치와 보온 용기, 온도 측정장치, 크기가 다른 쇠구슬, 각 장치들이 결합된 모습

실험을 위해서 직접 제작한 마찰열 측정장치의 제작과정은 다음과 같다(그림 14).

- 마찰열 발생 장치는 학교 방과 후 로봇 창의 수업 시간에 사용했었던 프로보 로봇 제작 키트를 사용하여 만들었다. 이때 사용된 모터는 R120모터(1분에 120회 회전) 4개이고 모터에 연결된 회전날개의 반지름은 3cm였다.
- 보온 용기는 압축 스티로폼 내에 홈을 파고 플라스틱 용기를 넣어 만들었다. 용기의 뚜껑에 구멍을 뚫어 온도센서를 꽂을 수 있도록 했다.
- 온도 측정장치는 이지스팀 과학실험 키트를 사용하여 만들었다. 이 키트를 사용하면 소수점 둘째 자리까지 정밀한 온도 측정이 가능하고 원하는 시간마다 온도를 측정하여 그 값을 구글 스프레드시트에 기록할 수 있다.
- 공기의 내용물로는 인터넷에서 구입할 수 있는 베어링강 재질의 지름이 각각 2mm, 2.5mm 인 쇠구슬을 사용하였다. 실험에 사용된 쇠구슬의 무게는 60g으로 같게 하였다.

## 2) 마찰열 측정 실험

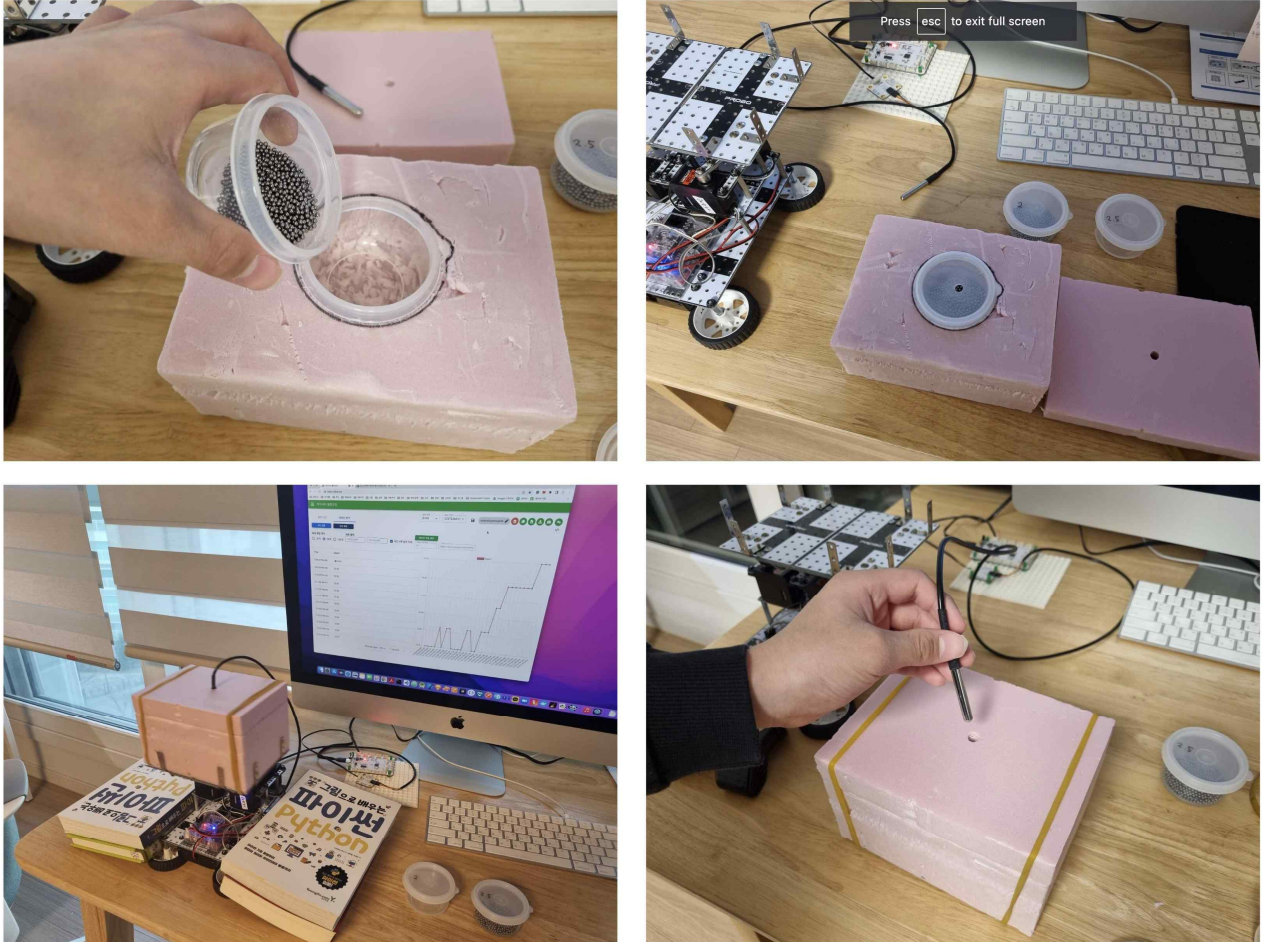


그림 15: 마찰열 측정 실험 과정

마찰열 측정 실험 과정은 다음과 같다(그림 15).

- 스티로폼 보온 용기 속의 플라스틱 용기에 60g의 쇳구슬을 넣고 뚜껑을 닫은 뒤 온도센서를 꽂는다.
- 열평형이 될 때까지 약 10분동안 기다린다.
- 마찰열 발생장치를 작동시키고 약 20분 동안 30초마다 온도를 측정하고 측정된 값을 구글 스프레드시트에 기록한다.
- 실험은 지름이 2mm, 2.5mm인 쇳구슬 60g을 사용하여 각각 5회씩 총 10회 진행되었다.





이지스팀 과학실험 키트를 위해서 제공되는 *하이스터 데이터 분석 사이트* (<https://haict.onthe.live/>)를 이용하면 실험 중에 전송된 데이터를 구글 스프레드시트에 자동으로 기록할 수 있었다(그림 18).

#### 4) 온도변화 데이터 분석하기

위 실험에서 얻어진 데이터를 이용하여 시간의 흐름에 따른 온도의 변화를 비교 분석하였다. 이를 위해서 지름 2mm, 2.5mm 각각 5회의 실험 결과에서 온도의 평균값을 계산하였다.

마찰열에 의한 온도변화

2mm vs. 2.5mm

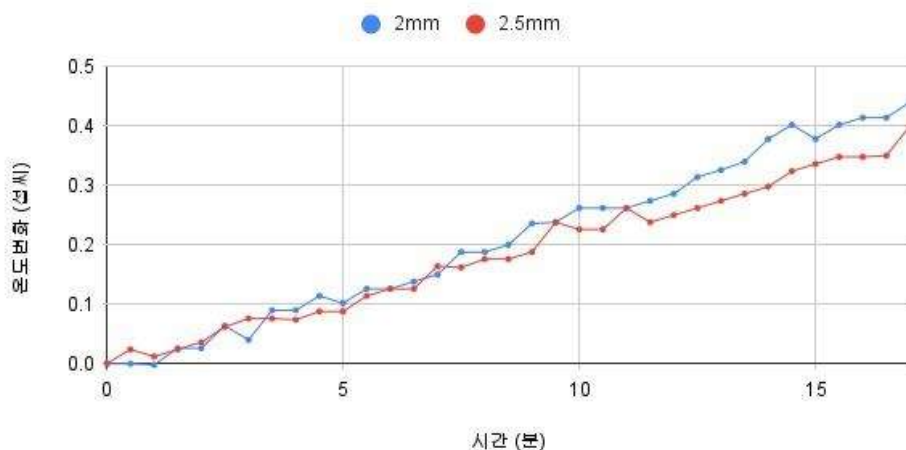


그림 19: 마찰열에 의한 평균 온도변화 그래프

그림 19는 평균 온도변화의 그래프를 보여준다. 그래프에서 미세한 기울기의 차이를 확인할 수 있다.

두 그래프의 기울기 차이를 보다 더 정확하게 비교하기 위해 *회귀분석*을 진행하였다. 회귀분석은 변수들 사이의 관계를 찾아내는 통계적 방법인데 *선형회귀분석*은 변수들의 관계를 직선 그래프로 설명하는 방법이다. 이 실험에서는 시간과 온도의 관계를 분석하게 되는데 시간이 지날수록 온도가 어떤 속도로 올라가는지 분석하게 된다. 무료 온라인 회귀분석 사이트에 데이터를 입력하면 쉽게 결과를 얻을 수 있다. 이 연구에서 사용한 온라인 회귀분석 사이트 (<https://planetcalc.com/5992/>)는 다음의 2가지 분석 결과를 보여준다.

- **직선 그래프 수식:** 주어진 데이터를 가장 잘 설명하는 직선 그래프의 수식
- **결과 그래프:** 주어진 데이터와 찾아낸 직선 그래프를 평면에 함께 표시한 것

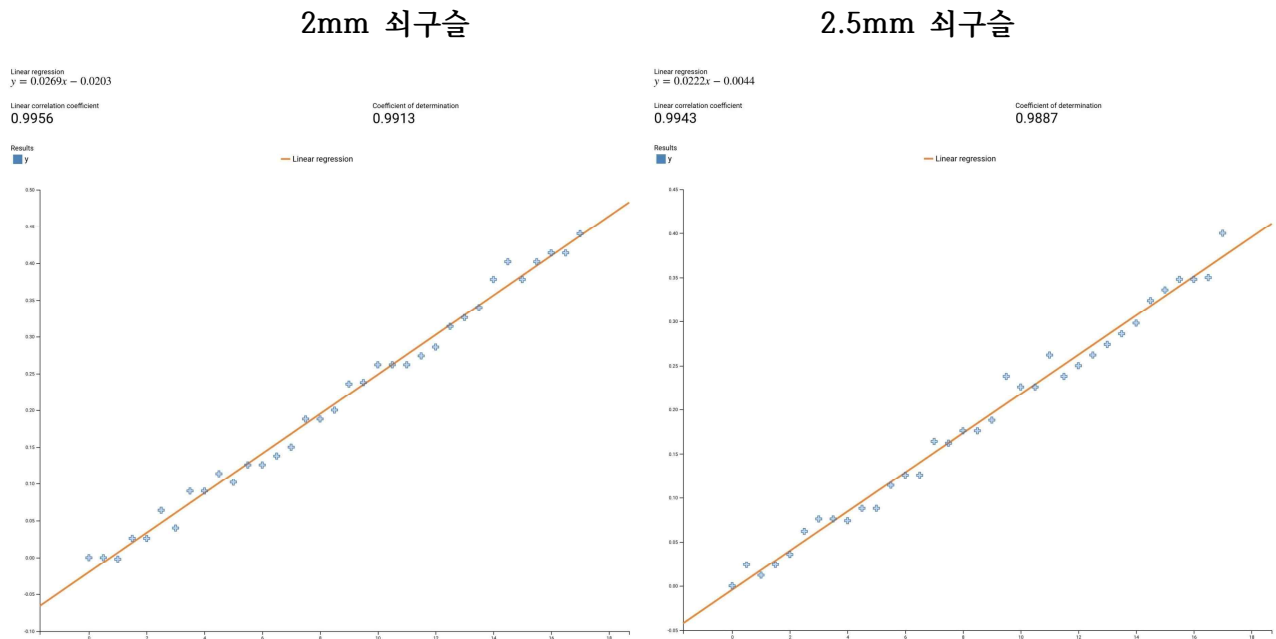


그림 20: 온도변화 데이터에 대한 선형회귀분석 결과

표 8: 온도변화에 대한 선형회귀분석 결과

쇠구슬 종류	직선 그래프 수식
2mm	$y = 0.0269x - 0.0203$
2.5mm	$y = 0.0222x - 0.0044$

그림 20은 분석 결과화면을 캡처한 것이며 표 8은 분석 결과의 주요 값들을 표로 정리한 것이다. 2mm의 직선 그래프의 기울기는 0.0269였고 2.5mm의 직선 그래프의 기울기는 0.0222였다.

분석 결과를 요약하면 아래와 같다.

- 두 경우 모두 시간이 흐름에 따라 일정한 속도로 온도가 올라갔다.
- 작은 쇠구슬을 사용했을 때가 큰 쇠구슬을 사용했을 때보다 온도가 올라가는 속도가 더 빨랐다.

온도의 변화가 마찰열 때문에 발생한 것이 맞다면 같은 조건일 때 시간당 발생하는 마찰열이 일정할 것이고, 발생한 열이 밖으로 새어 나가지 않는다면 일정한 속도로 온도가 올라갈 것이라는 예상과 일치하는 결과이다. 그리고 사용된 쇠구슬의 크기가 작을수록 쇠구슬들 사이의 접촉면이 많아져서 더 큰 마찰열이 발생하고 따라서 온도가 올라가는 속도가 더 빠를 것이라는 예측과도 일치하는 결과이다.

## 5-7 공기 안의 채워진 공간의 크기에 따른 성능 비교 실험 (실험 5)

공기 안의 채워진 공간의 크기가 공기의 성능에 어떤 영향을 주는지 알아보기 위해서 추가 실험을 해 보기로 했다. 공기 안에 넣을 알갱이는 실험 1~3에서 가장 좋은 성능을 보여주었던 고운 모래를 사용하기로 했다. 대신 여유공간의 차이를 두기 위해서 사용하는 모래의 양을 다르게 해서 공기를 만들었다.



그림 21: 공기 속 공간 크기별 공기

표 9: 공기 종류 2 (채워진 공간의 크기에 따른 종류)

(단위: g)

	<A>타입	<B>타입	<C>타입
공기 무게 (g)	1.6	2.1	2.6
용기 무게 (g)	1.1	1.1	1.1
모래 무게 (g)	0.5	1.0	1.5

표 9는 이번 실험에서 사용된 세 가지 종류의 공기와 관련된 측정 결과들을 표로 정리한 것이다. 0.5g의 모래를 사용한 <A>타입의 경우 공기 안의 공간을 1/4 정도 채우게 되고 1.0g을 사용한 <B>타입과 1.5g을 사용한 <C>타입의 경우 공기 안의 공간을 각각 1/2과 3/4 정도 채우게 된다.

공기의 성능을 비교하기 위해서 준비된 3종류의 공기에 대해서 실제 공기놀이를 할 때와 비슷한 다음의 실험을 해 보았다.



그림 22: 공기 손등에 올려서 잡기 실험

실험 1(공기 손등에 올려서 잡기)의 실험 절차는 다음과 같다(그림 21).

1. 같은 종류의 공기 5개를 던져서 최대한 많은 공기를 손등 올린 후 손으로 잡기를 시도한다.
2. 1회 시도에서 실제로 손등에 올려서 잡힌 공기의 수를 기록한다.
3. 1~2의 과정을 한 실험자에 대해서 50회 반복한다.
4. 3종류의 공기로 서로 다른 4명의 실험자에 대해서 1~3의 과정을 각각 반복한다.
5. 실험 횟수가 거듭될수록 실험 참여자의 숙련도가 높아져서 유리한 결과를 얻을 가능성이 있으므로, 실험에 사용되는 공기의 종류를 번갈아 가면서 실험을 진행하였다. 예를 들어 <A> 타입 50회 -> <B> 타입 50회 -> <C> 타입 50회와 같은 진행 순서를 피하여  
 <A> 타입 10회 -> <B> 타입 10회 -> <C> 타입 10회 ->  
 <B> 타입 10회 -> <C> 타입 10회 -> <A> 타입 10회 ->  
 <C> 타입 10회 -> <A> 타입 10회 -> <B> 타입 10회 ->  
 ...  
 와 같은 진행 순서를 적용하여 숙련도에 따른 오차가 최소가 되도록 하였다.

표 10: 실험 5(공기 손등에 올려서 잡기)의 결과

(단위: 개)

	<A> 타입 공기	<B> 타입 공기	<C> 타입 공기
실험자 1	1.92	1.94	1.40
실험자 2	2.22	2.40	2.08
실험자 3	3.74	3.80	3.40
실험자 4	3.40	3.56	3.26

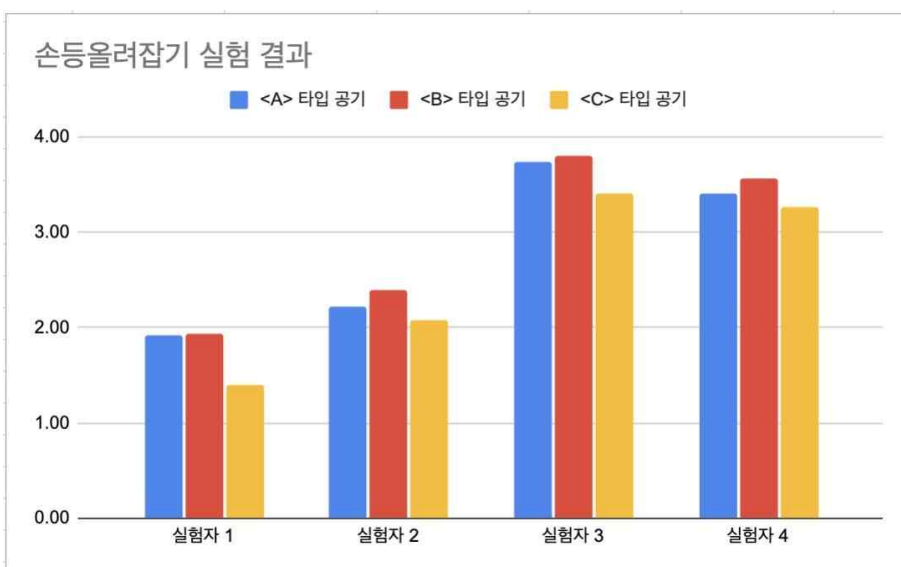


그림 23: 실험 5(공기 손등에 올려서 잡기)의 결과 그래프

실험 결과 아래의 내용을 확인할 수 있었다(그림 22).

- 공기에 들어있는 알갱이가 공기 안의 공간을 너무 적게 차지하거나 너무 많이 차지하는 경우 보다 적당히 차지하게 될 때 가장 좋은 성능을 나타내었다.

이러한 내용은 서로 다른 4명의 실험자에 대해서 일관되게 관찰되었다.

## 6. 결론

공기 속에 채워진 입자의 크기가 공기 성능에 중요한 영향을 미친다는 사실을 발견하였다. 다시 말해 공기 속에 채워진 입자의 크기가 작을수록 좋은 결과를 나타낸다는 것을 실험적으로 확인하였다(실험 1). 더욱 정밀한 비교를 위해서 공기를 개별적으로 모눈종이 위에 떨어뜨려서 굴러가는 거리를 측정하는 실험(실험 2)과 공기 여러 개를 플라스틱병에 담아 경사면을 굴려서 굴러가는 거리를 측정하는 실험(실험 3)을 진행하였고, 두 실험에서 모두 고운 입자의 모래를 사용할수록 굴러가는 거리가 짧아진다는 것을 관찰할 수 있었다. 실험 결과를 정리해보면 성능 좋은 공기를 만들기 위해서는 입자가 고운 알갱이를 사용해서 공기를 만들면 된다는 것을 알 수 있다.

이러한 현상을 설명하기 위해서 물리학의 에너지 보존법칙과 에너지 변환과 관련된 이론들을 찾아보았다. 던져진 공기의 운동에너지는 소리/열에너지로 바뀌게 되면서 멈추게 되는데 이때 변환 속도가 빠를수록 굴러가는 거리가 짧아지게 된다. 고운 입자를 사용할수록 소리/열에너지 변환 속도가 빨라지는 이유는 입자들이 서로 접하는 접촉 면적이 넓어져 마찰이 커지기 때문이라고 설명할 수 있다.

입자의 크기와 입자들이 서로 부딪힐 때 발생하는 마찰열의 크기의 관계를 확인하기 위해서 마찰열을 측정할 수 있는 실험 장치를 직접 제작하여 추가 실험(실험 4)을 진행하였다. 실험에서 보온용기에 담은 쇠구슬을 일정하게 흔들어주어서 마찰열을 발생시키고 이때 변하는 보온용기 내부의 온도를 관찰하였다. 실험에서 얻어진 데이터를 회귀분석을 통해서 분석한 결과 시간이 흐름에 따라 일정한 속도로 온도가 올라간다는 것을 관찰할 수 있었는데 이것은 시간당 발생하는 마찰열이 일정하다는 것을 의미한다. 또한 쇠구슬의 크기가 작을수록 마찰력이 커서 온도가 더 빨리 올라간다는 것을 관찰할 수 있었다.

이 결과를 공기놀이에 적용하면, 공기의 내용물의 크기가 작을수록 공기가 흔들릴 때 더 많은 마찰열이 발생하게 되고 에너지 보존 법칙에 따라 운동에너지가 줄어드는 속도가 더 빠르게 된다. 따라서 내용물의 크기를 작게 할수록 공기는 더 빨리 멈추게 된다. 예를 들어 공기를 손등에 얹는 놀이를 생각해 보면 공기의 흔들림이 적을수록(즉, 공기가 빨리 멈출수록) 손등 위에 올려놓기가 쉬워지기 때문에 더 좋은 결과를 얻을 수 있게 된다는 것을 알 수 있다.

공기 안의 채워진 공간의 크기가 공기의 성능에 어떤 영향을 주는지 알아보기 위해서 추가 실험



험(실험 5)을 진행하였다. 앞의 실험에서 가장 좋은 성능을 보여주었던 고운 모래를 사용하되 공기 안의 채워진 공간의 크기를 다르게 만들기 위해서 사용하는 모래의 양을 다르게 해서 서로 다른 3가지 종류의 공기를 만들어서 사용하였다. 공기의 성능은 실제 공기놀이와 비슷한 손등에 올려서 잡기는 과정을 통해서 측정하였다. 실험 결과 모래 알갱이들이 공기 안의 공간을 너무 적게 차지하거나 너무 많이 차지할 때보다 적당히 차지할 때 가장 좋은 성능을 보여주었다. 실험 4의 결과와 함께 생각해 보면 공기 안의 공간을 너무 적게 차지하는 경우는 사용되는 모래 알갱이가 너무 적어서 모래 알갱이들 사이의 마찰이 적게 일어나고, 반대로 공기 안의 공간을 너무 많이 차지하게 되는 경우는 모래 알갱이들이 잘 움직일 수가 없게 되어서 이 경우도 마찬가지로 마찰이 적게 일어난다고 설명할 수 있다. 따라서 공기 안의 공간을 대략 1/2 정도 채워야 마찰이 가장 커지게 되어서 공기의 성능을 최고로 만들어주게 된다고 설명할 수 있다.

본 연구 다음으로 액체 상태의 내용물을 사용하거나 비중이 서로 다른 내용물을 사용해본다든지 하는 더 넓은 범위에서 적용될 수 있는 '좋은 공기의 조건'을 찾는 연구를 진행할 필요가 있다고 본다.

## 7. 전망 및 활용성

요즈음에는 친구들이 활동 놀이 보다는 컴퓨터나 휴대전화 게임을 많이 하는 것 같다. 이런 게임을 시작하면 자꾸 빠져들어 그만 내려놓기가 어렵고, 눈도 나빠지게 된다. 그리고 혼자 오랫동안 게임에 빠지게 되는 것 같다. 그런데 공기놀이는 공기를 던져 올려 하나씩 잡을 때마다 공기 속 내용물이 흔들려 찰랑거리는 느낌이 경쾌하고 즐거워서 친구들과 어울려 같이 하기 재미있는 놀이인 것 같다. 특히 번 실험을 통해 성능 좋은 공기의 과학적 의미를 이 알게 되어 친구들과 성능 좋은 공기 만들기를 같이 해 보면 더 재미있을 것 같다.

초등학생을 위한 공기놀이 실험 교구를 만들어 교육 자료로 활용해 볼 수도 있을 것 같다. 예를 들어, 교구에 공기 외피, 일정한 재질의 다양한 크기의 쇠구슬과 쇠구슬을 돌려서 마찰열을 생기게 해주는 장치, 온도 측정장치, 표를 넣어서 실험 결과를 정리하고 어떤 쇠구슬의 마찰열이 더 큰지 쉽게 알아볼 수 있게 할 수 있다. 또한 공기놀이에 숨어 있는 에너지 보존 법칙과 에너지 변환 이론도 익힐 수 있게 교육 자료를 제작하면 초등학생이 과학적 원리를 더 재미있게 배울 수 있게 도와 줄 수 있을 것 같다.

또 요즈음에는 중국에서 제조된 품질이 좋지 않은 공기가 많이 유통되고 있다. 이런 제품은 품질이 좋지 않아서 몇 번 공기놀이하다 보면 공기 속 내부 금속들이 흘러나오기도 한다. 좋은 공기의 무게, 입자의 크기, 내용물 등의 특징을 더 연구해서 성능 좋은 공기를 제작하는 데 도움이 될 것 같다. 또한 국내 공기 제조 업체에 공기의 내용물의 입자가 작으면 공기의 성능이 좋아진다는 것을 실험한 본 내용을 공유해서 더 좋은 공기를 만드는 것을 제안해 볼 수도 있을 것 같다.

## 8. 참고문헌

- 피타고라스 정리  
[https://ko.wikipedia.org/wiki/%ED%94%BC%ED%83%80%EA%B3%A0%EB%9D%BC%EC%8A%A4\\_%EC%A0%95%EB%A6%AC](https://ko.wikipedia.org/wiki/%ED%94%BC%ED%83%80%EA%B3%A0%EB%9D%BC%EC%8A%A4_%EC%A0%95%EB%A6%AC)
- 운동에너지  
[https://ko.wikipedia.org/wiki/%EC%9A%B4%EB%8F%99\\_%EC%97%90%EB%84%88%EC%A7%80](https://ko.wikipedia.org/wiki/%EC%9A%B4%EB%8F%99_%EC%97%90%EB%84%88%EC%A7%80)
- 열에너지  
<https://ko.wikipedia.org/wiki/%EC%97%B4%EC%97%90%EB%84%88%EC%A7%80>
- 마찰열 <https://ko.wikipedia.org/wiki/%EB%A7%88%EC%B0%B0%EC%97%B4>
- 에너지 보존 법칙  
[https://ko.wikipedia.org/wiki/%EC%97%90%EB%84%88%EC%A7%80\\_%EB%B3%B4%EC%A1%B4\\_%EB%B2%95%EC%B9%99](https://ko.wikipedia.org/wiki/%EC%97%90%EB%84%88%EC%A7%80_%EB%B3%B4%EC%A1%B4_%EB%B2%95%EC%B9%99)
- 프로보(Probo) 로봇제작 키트 <https://namu.wiki/w/%ED%94%84%EB%A1%9C%EB%B3%B4>
- 이지스팀(EZSTEAM) 과학실험 키트 <https://haict.kr/>
- 하이시티 데이터 분석 사이트 <https://haict.onthe.live/>
- 선형회귀분석 [https://ko.wikipedia.org/wiki/%EC%84%A0%ED%98%95\\_%ED%9A%8C%EA%B7%80](https://ko.wikipedia.org/wiki/%EC%84%A0%ED%98%95_%ED%9A%8C%EA%B7%80)
- 무료 온라인 회귀분석 사이트 <https://planetcalc.com/5992/>
- 보고서 쓰기 참고 도서:  
상상 아카데미 출판사 <과학 탐구보고서 소논문 쓰기>  
와이즈만 Books <자유 탐구 과학전람회 탐구 토론 발명품 대회>

### 실험 결과 데이터 아카이브

- 공기의 성질 실험 데이터  
[https://docs.google.com/spreadsheets/d/1tpJT4uSKxLdZ\\_rllrX\\_UU048mZ\\_iOwZCTtWd83n8W3o/edit?usp=sharing](https://docs.google.com/spreadsheets/d/1tpJT4uSKxLdZ_rllrX_UU048mZ_iOwZCTtWd83n8W3o/edit?usp=sharing)
- 마찰열 실험 데이터  
<https://docs.google.com/spreadsheets/d/1oaEiHe6WlwsrnyxlkhqRY3bVN7aLfHCqtIjwhI4Snk/edit?usp=sharing>

### 실험 결과 데이터 회귀분석

- 2mm <https://bit.ly/41Zu6I7>
- 2.5mm <https://bit.ly/3F6pxlu>