

출품번호

1114

제69회 전국과학전람회

공기놀이의 과학적 원리 탐구 및 최고
성능의 공기 조건 찾기

2023. 8. 21.

출품학생	서 정민, 서 우빈
지도교원	김 성주
구 분	학생부
출품부문	물리

【 차례 】

1. 탐구 동기 및 목적	1
가. 탐구 동기	1
나. 탐구 목적	1
2. 선행연구 고찰	1
3. 탐구 개요	2
가. 탐구 문제 분석	2
나. 탐구 기간	2
4. 탐구 절차 및 방법	3
5. 탐구의 내용	3
가. 공기의 종류	4
나. 공기의 성능 비교	6
다. 공기의 개별적인 성질 비교	8
라. 공기세트의 성질 비교	9
마. 공기의 움직임에 대한 과학적 원리	11
바. 입자의 크기에 따른 마찰열 측정 실험	12
1) 마찰열 측정장치	13
2) 마찰열 측정 실험	13
3) 온도변화 데이터 기록하기	15
4) 온도변화 데이터 분석하기	16
사. 공기 안의 채워진 공간의 크기에 따른 성능 비교 실험	16
아. 외피의 모양에 따른 성능 비교 실험	19
자. 실험 교구 제작 및 실험	22
1) 교구 1: 공기 롤러코스터	22
2) 교구 2: 외피 모양이 다른 공기세트	24
3) 교구 3: 쇠구슬의 크기가 다른 공기세트	25
6. 결론	26

7. 전망 및 활용성28

8. 참고문헌28

【 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 어림하기	6
그림 6: 공기 손등에 얹기 실험(실험1)	6
그림 7: 공기 손등에 얹기 실험(실험1)의 결과 그래프	7
그림 8: 공기를 떨어뜨려 굴러간 거리 비교 (실험 2)	8
그림 9: 공기 떨어뜨려 굴러간 거리 비교 (실험2)의 결과 그래프	9
그림 10: 공기세트 경사면 굴리기 (실험 3)	10
그림 11: 공기세트 경사면 굴리기 (실험 3)의 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 장치들의 결합 된 모습	13
그림 15: 마찰열 측정 (실험 4) 과정	14
그림 16: 마찰열 측정 (실험 4) 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: 공기 속 채워진 공간 크기별 공기	17
그림 21: 공기 속 채워진 공간 크기가 다른 공기 손등에 올려서 잡기 (실험 5)	17
그림 22: 공기 속 채워진 공간 크기가 다른 공기 손등에 올려서 잡기 (실험 5)의 결과 그래프	18
그림 23: 3D 프린터를 사용하여 외피의 모양이 다른 공기를 제작하는 과정	19
그림 24: 외피가 다른 공기를 손등에 얹기(실험 6)의 결과 그래프	21
그림 25: 외피가 다른 공기를 손등에 올려서 잡기(실험 7)의 결과 그래프	22
그림 26: 3D 프린터를 사용하여 교구1 (공기 롤러코스터)을 제작하는 과정	23
그림 27: 공기 롤러코스터에 굴리기 (실험 8)의 결과 그래프	24
그림 28: 3D 프린터를 사용하여 제작된 교구2(외피의 모양이 다른 공기 세트)	25
그림 29: 3D 프린터를 사용하여 교구3(쇠구슬의 크기가 다른 12각 기둥모양 공기 세트)을 제작하는 과정	25

【 표 차례 】

표 1: 선행연구 조사 결과	1
표 2: 탐구 기간	3
표 3: 공기 종류 1 (채워진 알갱이의 크기에 따른 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: 공기 종류 2 (공기 속 채워진 공간의 크기에 따른 종류)	17
표 9: 실험 5(공기 손등에 올려서 잡기)의 결과	19
표 10: 공기 종류 3 (외피의 모양에 따른 종류)	19
표 11: 실험 6(외피가 다른 공기를 손등에 얹기)의 결과	20
표 12: 실험 7(외피가 다른 공기를 손등에 올려서 잡기)의 결과	21
표 13: 공기 롤러코스터 크기	23
표 14: 공기 종류 4 (공기 롤러코스터에 사용된 원기둥 모양 공기)	23
표 15: 실험 8(공기 롤러코스터에 굴리기)의 결과	24
표 16: 공기 종류 5 (쇠구슬의 크기가 다른 12각 기둥 모양의 공기놀이 교구)	26

1. 탐구 동기 및 목적

가. 탐구 동기

학교 교실에서 친구들과 쉬는 시간에 공기놀이를 자주 한다. 예전에는 쉬는 시간에 활동이 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.

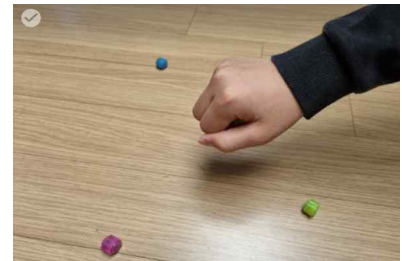


그림 1: 공기놀이

나. 탐구 목적

1. 공기놀이에서의 공기의 움직임에 대한 과학적 원리를 탐구한다.
2. 성능 좋은 공기가 갖춰야 할 조건을 찾아본다.

2. 선행연구 고찰

공기에 관한 학술 자료 검색 결과, 공기놀이가 교육과정에서 아이들에게 미치는 심리적 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

가. 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.

나. 탐구 기간

표 2: 탐구 기간

연구내용 \ 기간		날짜												
		2022년					2023년							
		8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8
계 획	탐구 주제 선정	●												
	선행 연구 조사	●												
실 행	탐구 설계	●	●											
	탐구 수행		●	●										
	심화 탐구				●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
정 리	보완 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
- (실험 4) 마찰열 측정 비교 실험
- (실험 5) 공기 안을 채우는 크기를 다르게 해서 손등에 올려서 잡은 공기의 개수 평균 계산 실험
- (실험 6, 7) 3D 프린터로 공기 외피 모양을 다르게 제작하여 성능을 비교 실험
- (실험 8) ‘공기 롤러코스터’ 교구를 이용하여 마찰열에 의해서 감소하는 운동에너지 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

가. 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).

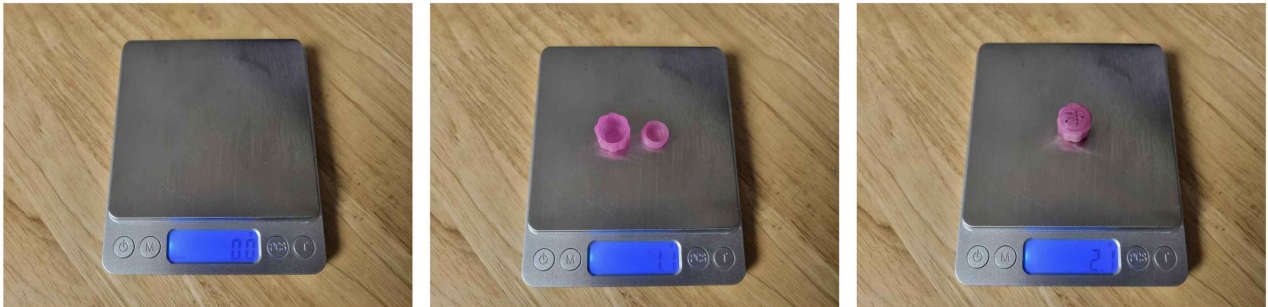


그림 4: 주방용 전자저울을 이용한 공기 무게 측정

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
외피 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 알알이 너무 작고 많아서 알알의 개수를 일일이 세기 어려웠다. 이 경우 어림값으로 대신하였다. 사용된 어림 방법을 정리하면 아래와 같다.

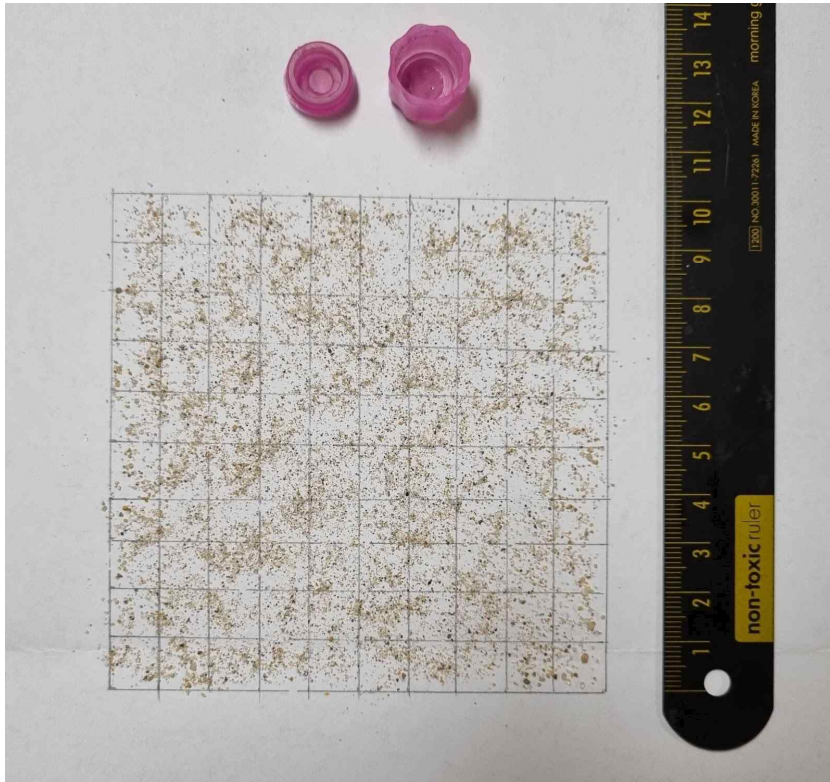


그림 5: 고운 모래알 개수 어림하기

고운 모래알 개수 어림하기 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 어림값을 구한다.

나. 공기의 성능 비교 (실험 1)

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

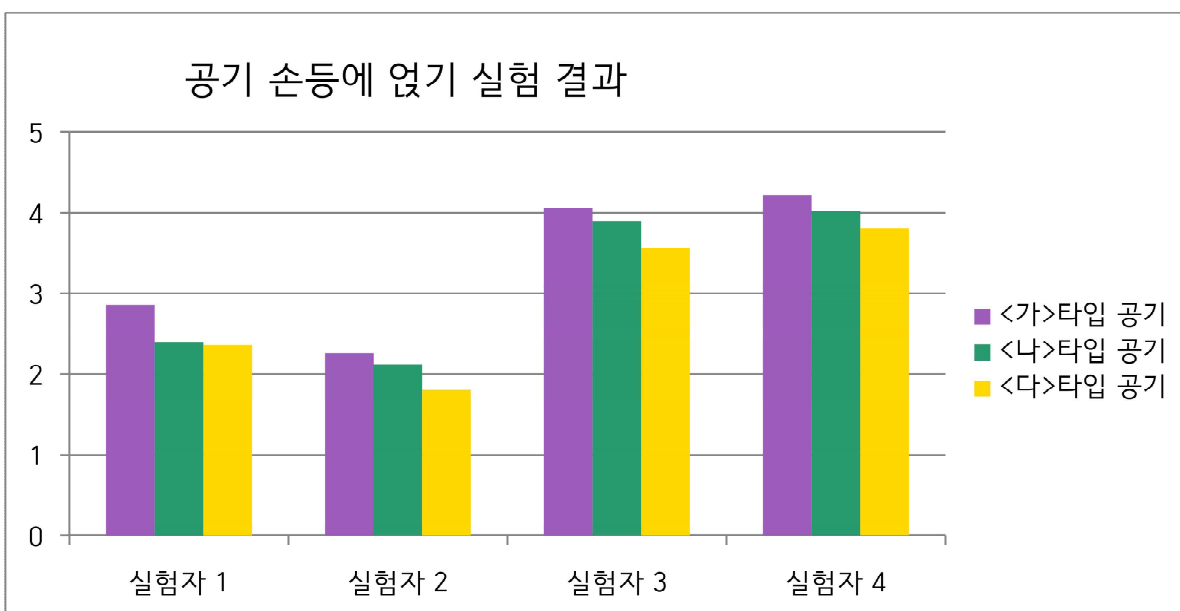


그림 7: 실험 1(공기 손등에 엮기)의 결과 그래프

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 함께 관찰되었다.

다. 공기의 개별적인 성질 비교 (실험 2)

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.

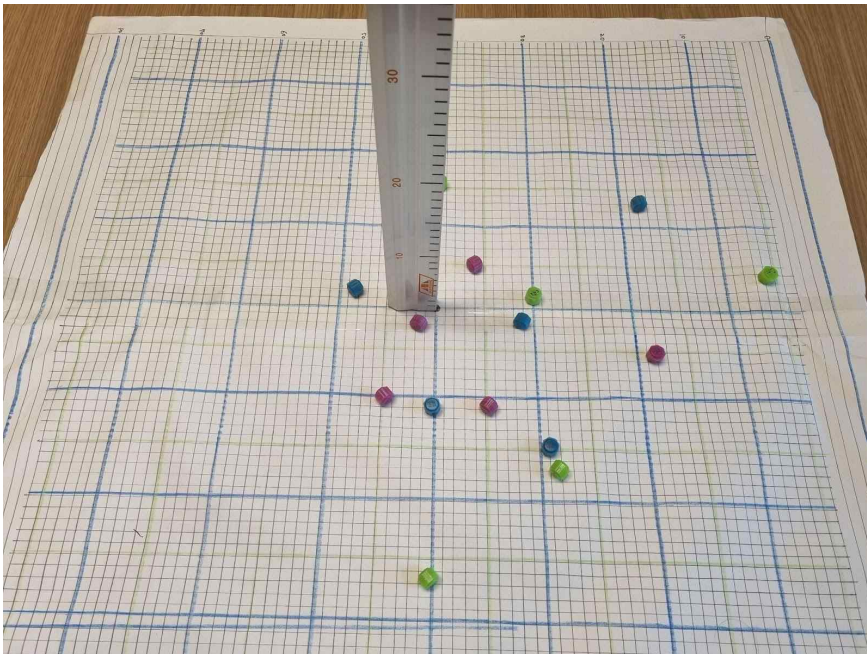


그림 8: 공기를 떨어뜨려 굴러간 거리 비교 실험

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 정리*를 사용했으며 직각 삼각형에 적용되는 피타고라스 정리는 아래와 같다.

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

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.

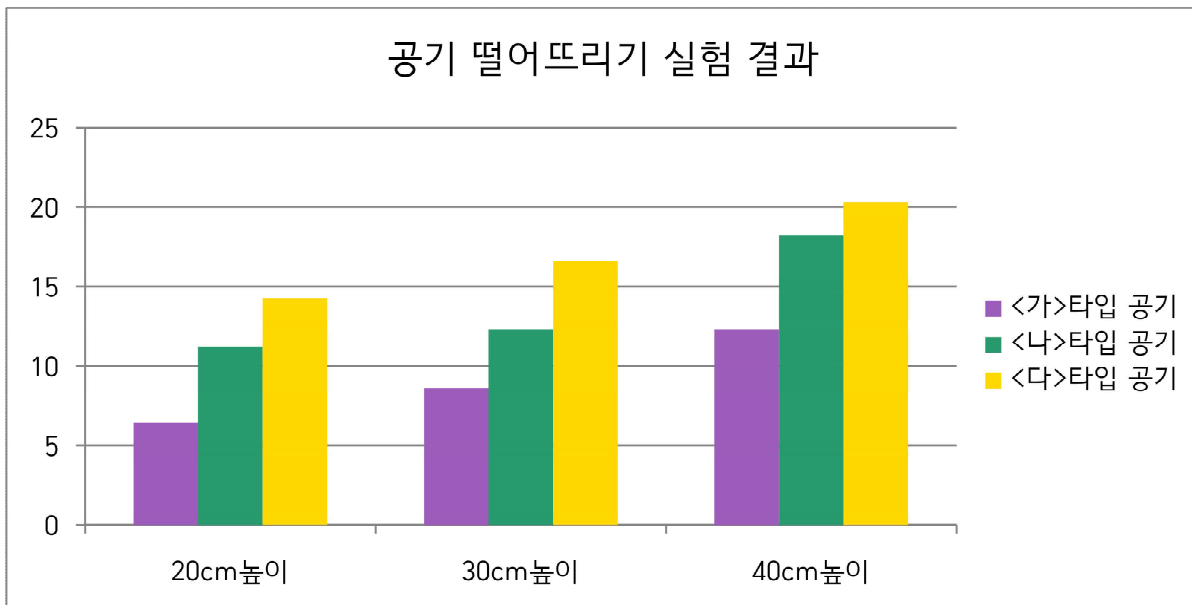


그림 9: 실험 2 (공기를 떨어뜨려 굴러간 거리 비교)의 결과 그래프

실험 결과에서 아래의 내용을 확인할 수 있었다.

- 사용된 모래알이 작을수록 이동한 거리가 짧다.

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

라. 공기세트의 성질 비교 (실험 3)

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

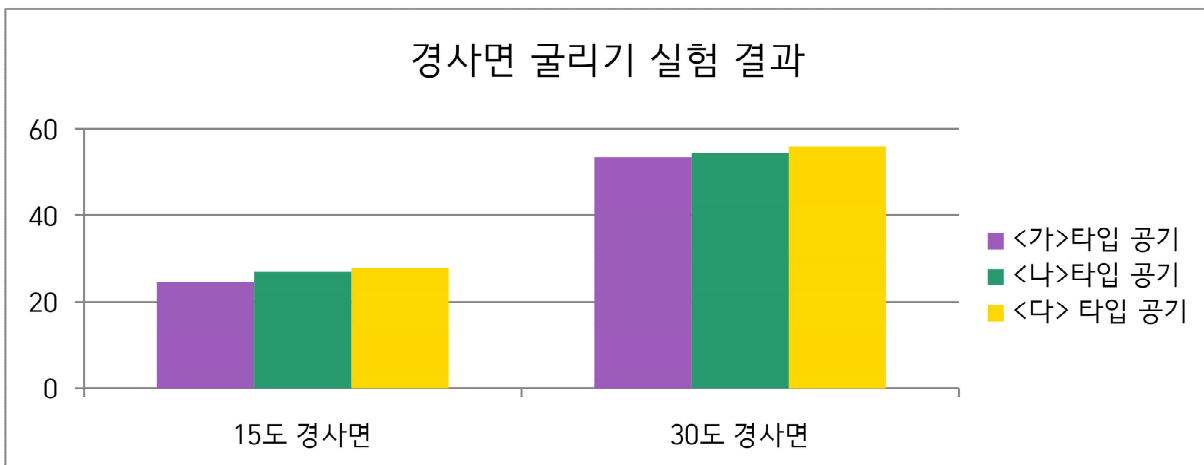


그림 11: 실험 3(공기세트 경사면 굴리기)의 결과 그래프

실험 결과 아래의 내용을 확인할 수 있었다(그림 11).

- 사용된 모래알이 고을수록 굴러간 거리가 짧다.

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

마. 공기의 움직임에 대한 과학적 원리

공기가 공중으로 던져졌다가 손등이나 바닥에 떨어지거나 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

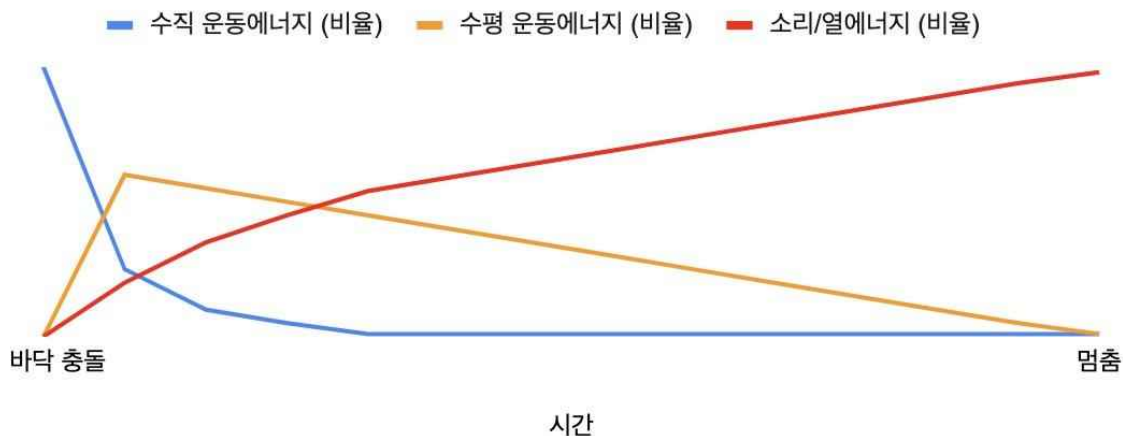


그림 12: 던져진 공기의 에너지 변환 과정 (예시)

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.

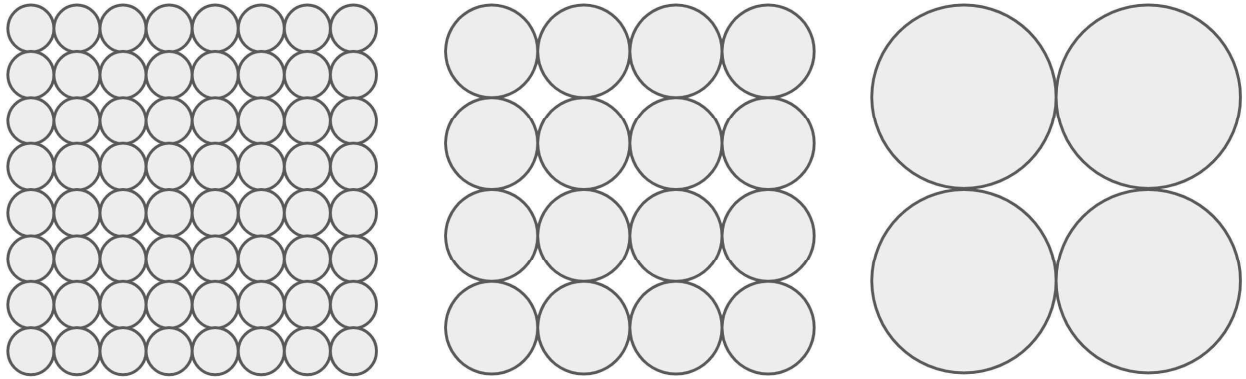


그림 13: 입자의 크기에 따른 접촉면 크기 비교 (2차원인 경우).

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.

바. 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 로봇 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 하였다. 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

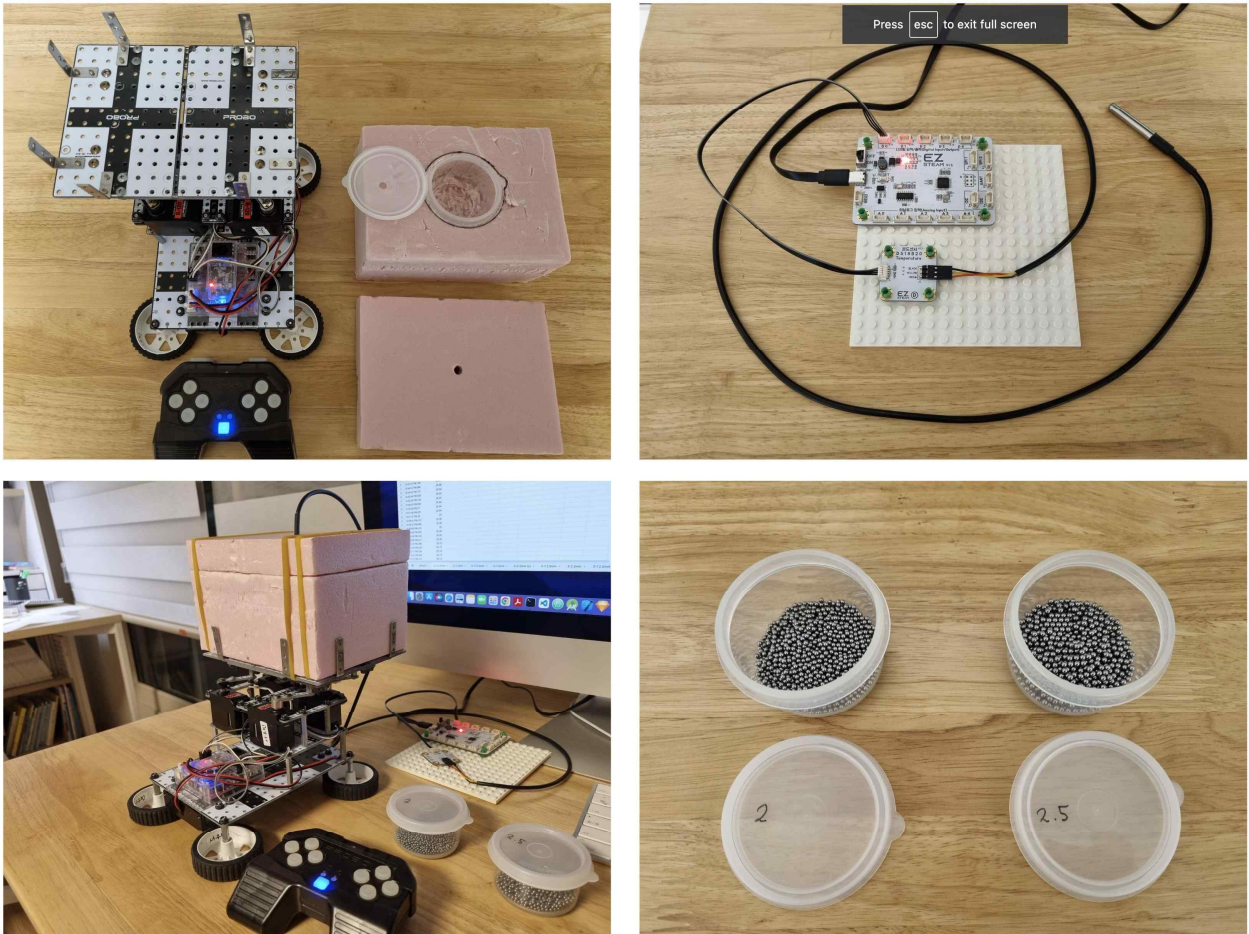


그림 14: 마찰열 측정장치. (좌측 위로부터 시계방향으로) 마찰열 발생장치와 보온 용기, 온도 측정장치, 크기가 다른 쇠구슬, 각 장치들이 결합된 모습

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 재료의 지름이 각각 2mm, 2.5mm 인 쇠구슬을 사용하였다. 실험에 사용된 쇠구슬의 무게는 60g으로 같게 하였다.

2) 마찰열 측정 실험

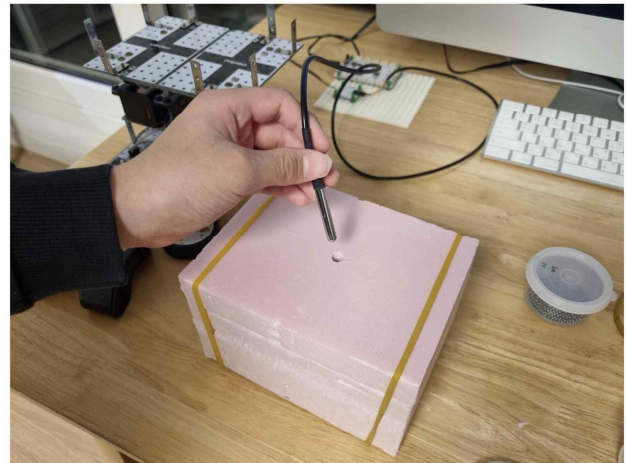
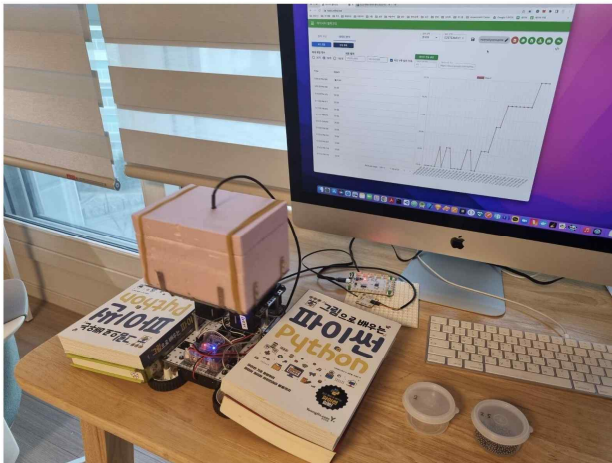
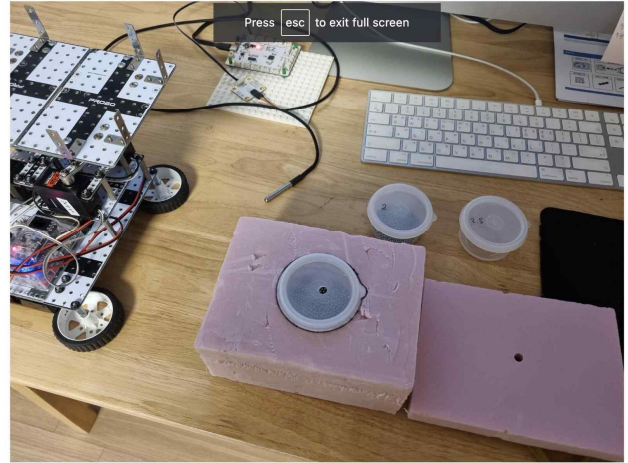


그림 15: 마찰열 측정 실험 과정

마찰열 측정 실험 과정은 다음과 같다(그림 15).

- 스티로폼 보온 용기 속의 플라스틱 용기에 60g의 쇳구슬을 넣고 뚜껑을 닫은 뒤 온도센서를 쫓는다.
- 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.



그림 16: 마찰열 측정 과정 동영상 QR Code

그림 16의 QR Code를 통해서 마찰열 측정장치의 작동 모습을 담은 동영상을 확인할 수 있다.

3) 온도변화 데이터 기록하기

마찰열에 의한 온도변화 데이터를 기록하기 위해서는 온도 측정장치로부터 데이터를 전송하는 과정과 전송된 데이터를 컴퓨터로 받아서 기록하는 과정이 필요하다.

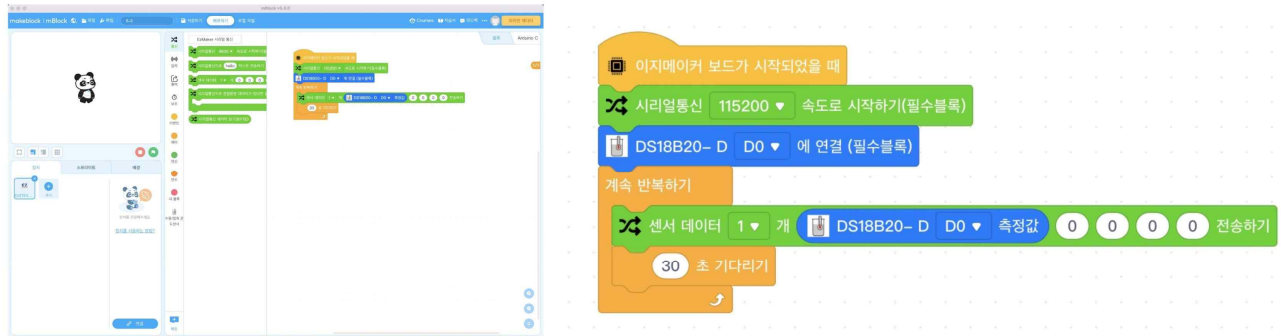


그림 17: 온도변화 데이터 기록을 위한 블록코딩 프로그램

온도변화 데이터를 전송하기 위해서 블록 코딩 프로그램을 사용하였다(그림 17). 전송 프로그램은 mblock을 사용하여 작성하였고 온도 측정장치에서 작동하게 하였다. 이 프로그램에 의해서 장치는 30초마다 온도를 측정하여 컴퓨터로 전송하게 된다.

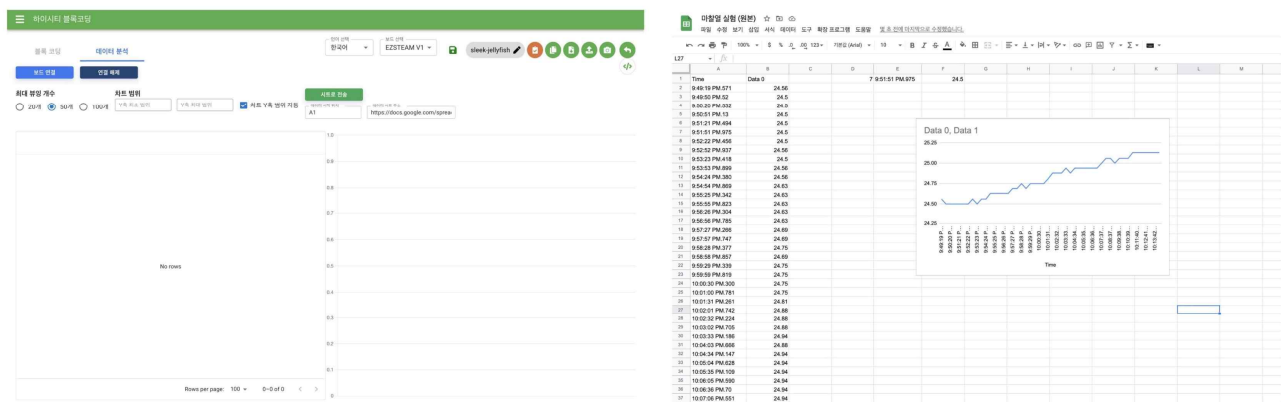


그림 18: 온도변화 데이터 기록 과정

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

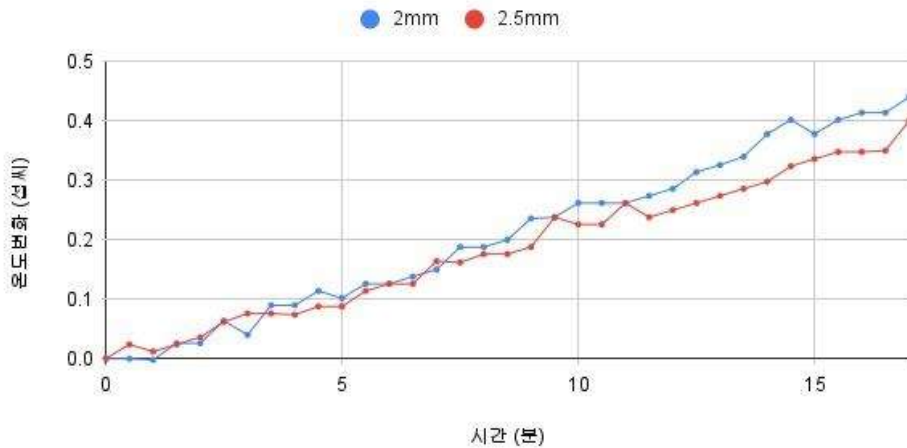


그림 19: 마찰열에 의한 평균 온도변화 그래프

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

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, 발생 된 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.

사. 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 20: 공기 속 공간 크기별 공기

표 8: 공기 종류 2 (채워진 공간의 크기에 따른 종류)

(단위: g)

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

표 8는 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 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 21: 공기 손등에 올려서 잡기 실험

실험 5(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 실력이 늘어나서 유리한 결과를 얻을 가능성이 있으므로, 실험에 사용되는 공기의 종류를 번갈아 가면서 실험을 진행하였다. 예를 들어 <A> 타입 50회 -> 타입 50회 -> <C> 타입 50회와 같은 진행 순서를 피하여
 <A> 타입 10회 -> 타입 10회 -> <C> 타입 10회 ->
 타입 10회 -> <C> 타입 10회 -> <A> 타입 10회 ->
 <C> 타입 10회 -> <A> 타입 10회 -> 타입 10회 ->
 ...
 와 같은 진행 순서를 적용하여 숙련도에 따른 오차가 최소가 되도록 하였다.

표 9: 실험 5(공기 손등에 올려서 잡기)의 결과

(단위: 개)

	<A> 타입 공기	 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

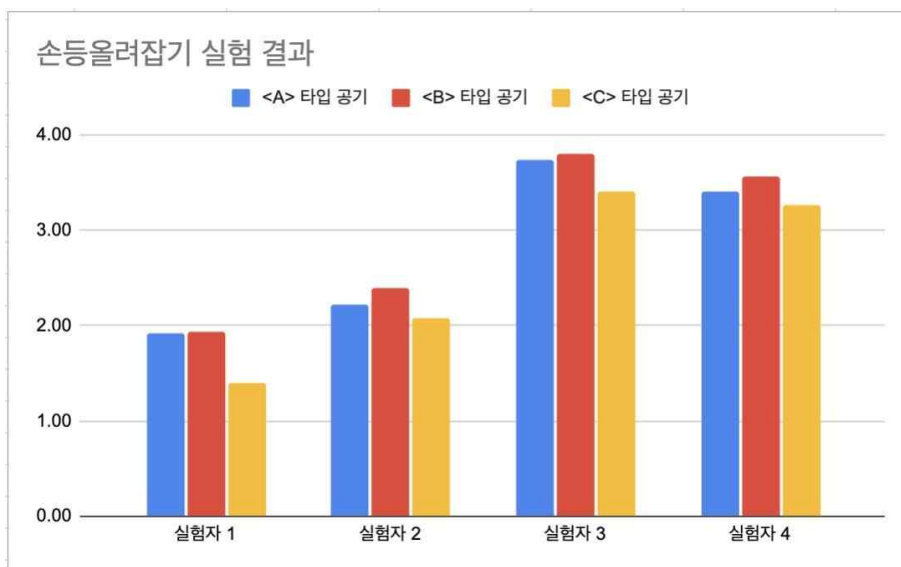


그림 22: 실험 5(다른 공간 크기의 공기를 손등에 올려서 잡기)의 결과 그래프

실험 결과 아래의 내용을 확인할 수 있었다(그림 22).

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

이러한 내용은 서로 다른 4명의 실험자에 대해서 같게 관찰되었다.

아. 외피의 모양에 따른 성능 비교 실험 (실험 6, 7)

공기 외피의 모양과 공기 성능과의 관계를 알아보기 위해서 다양한 모양의 공기 외피를 직접 제작하여 성능 비교 실험을 해 보기로 하였다.

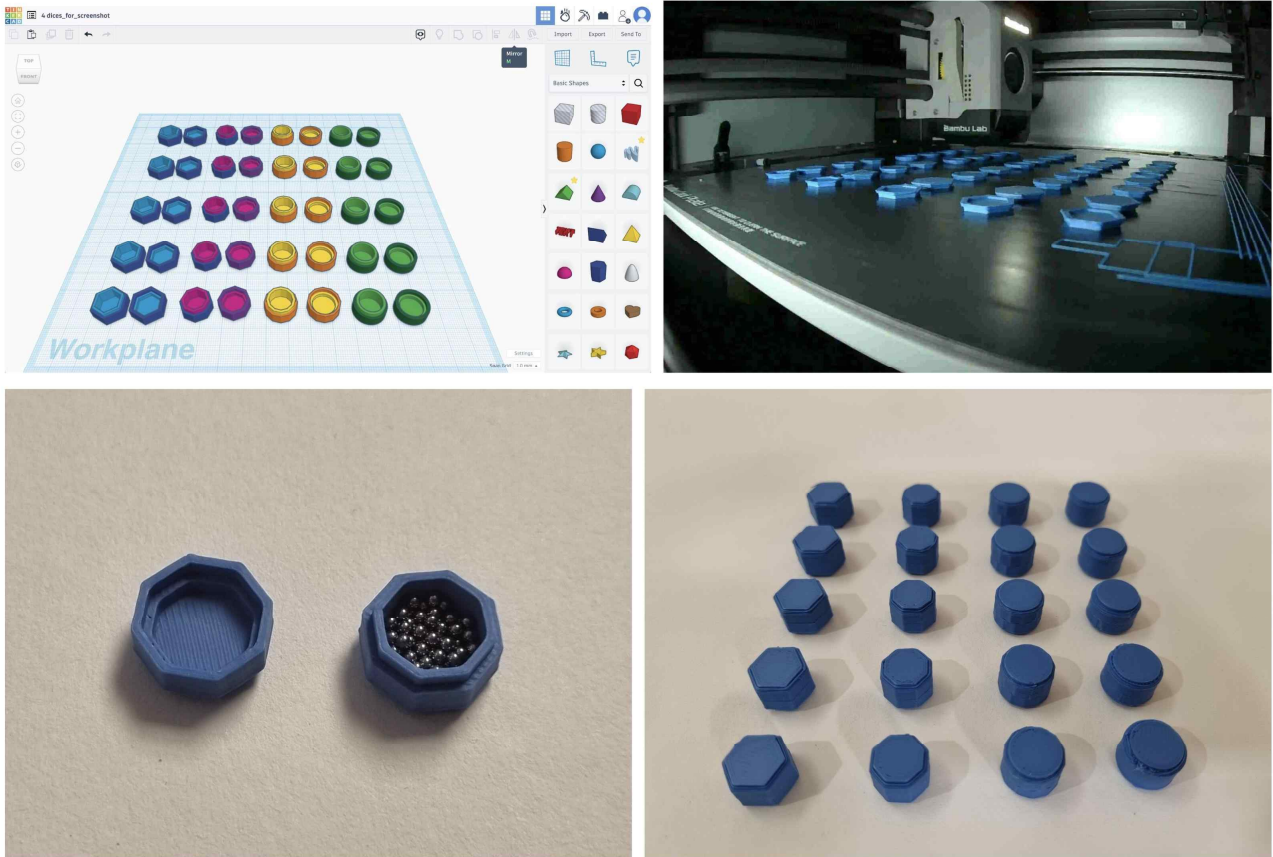


그림 23: 3D 프린터를 사용하여 외피의 모양이 다른 공기를 제작하는 과정

그림 23는 다양한 모양의 외피를 가지는 공기의 제작과정을 나타낸다. 공기의 외피는 3D프린터를 이용하여 제작하기로 하고 우선 외피의 모양을 디자인하였다. 가장 많이 쓰이는 무료 온라인 3D 모델링 사이트 Tinkercad를 사용하였다. 모두 4종류의 외피를 디자인하였는데 모두 기둥 모양으로 통일하고 대신 평면 모양을 정6각형, 정8각형, 정12각형, 그리고 원모양으로 다르게 디자인하였다. 이때 내용물의 마찰열을 같게 하기 위해서 내부 공간의 크기를 같게 만들었다. 공기의 제작에 사용된 3D프린터 모델은 Bambu Lab X1-CC이다.

이렇게 제작된 공기의 외피에 1.5mm의 쇠구슬 1g씩을 넣었다. 이 방법으로 같은 모양의 공기 5개를 한 세트로 하는 4세트의 공기를 제작하였다.

표 10: 공기 종류 3 (외피의 모양에 따른 종류)

	6각기둥 타입	8각기둥 타입	12각기둥 타입	원기둥 타입
공기 무게 (g)	2.4	2.4	2.4	2.4
외피 무게 (g)	1.4	1.4	1.4	1.4
내부 공간 단면적 (mm ²)	130	130	130	130
내부 공간 높이 (mm)	10.0	10.0	10.0	10.0
쇠구슬 무게 (g)	1.0	1.0	1.0	1.0
쇠구슬 지름 (mm)	1.5	1.5	1.5	1.5

표 10은 제작된 공기의 중요한 수치들을 나타낸다. 공기 외피의 무게는 1.4g으로 같게 만들고 공기 하나의 무게는 2.4g으로 같게 만들었다. 공기 내부 공간의 단면적은 130mm², 높이는 10.0mm로 같게 만들었다. 따라서 내부 공간의 부피는 1,300mm³가 되도록 하였다.

실험 6(각각 다른 모양의 외피 모양이 다른 공기를 손등에 얹기)의 실험 절차는 실험 1과 같은 절차를 공기의 종류만 다르게 바꾸어서 진행하였다.

표 11: 실험 6(외피가 다른 공기를 손등에 얹기)의 결과

(단위: 개)

	6각기둥 타입 공기	8각기둥 타입 공기	12각기둥 타입 공기	원기둥 타입 공기
실험자 1	2.58	2.62	2.70	2.60
실험자 2	2.86	3.56	3.68	3.16
실험자 3	4.06	4.30	4.42	4.14
실험자 4	2.86	3.56	3.68	3.16

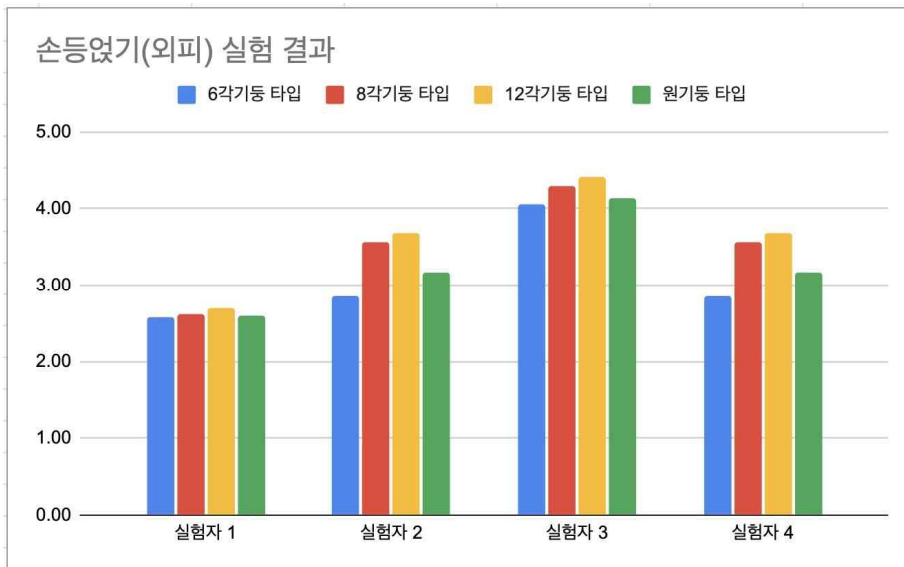


그림 24: 실험 6(외피 모양이 다른 공기를 손등에 엮기)의 결과 그래프

표 11는 실험 6의 결과를 표로 정리한 것이고 그림 24는 그래프로 표현한 것이다. 실험 결과 아래의 내용을 확인할 수 있었다.

- 공기 모양의 단면이 6각형에서 12각형으로 늘어날수록 평균적으로 더 많은 공기를 손등에 올려놓을 수 있었지만 원기동이 되면 오히려 손등에 올려진 공기의 개수가 줄어드는 결과를 나타내었다.

이러한 내용은 서로 다른 4명의 실험자에 대해서 같게 관찰되었다.

실험 7(외피가 다른 공기를 손등에 올려서 잡기)의 실험 절차는 실험 5과 같은 절차를 공기의 종류만 다르게 바꾸어서 진행하였다.

표 12: 실험 7(외피가 다른 공기를 손등에 올려서 잡기)의 결과

(단위: 개)

	6각기동 타입 공기	8각기동 타입 공기	12각기동 타입 공기	원기동 타입 공기
실험자 1	2.10	2.18	2.26	2.08
실험자 2	2.46	2.96	3.20	2.76
실험자 3	3.80	3.98	4.04	3.80
실험자 4	2.46	2.96	3.20	2.76

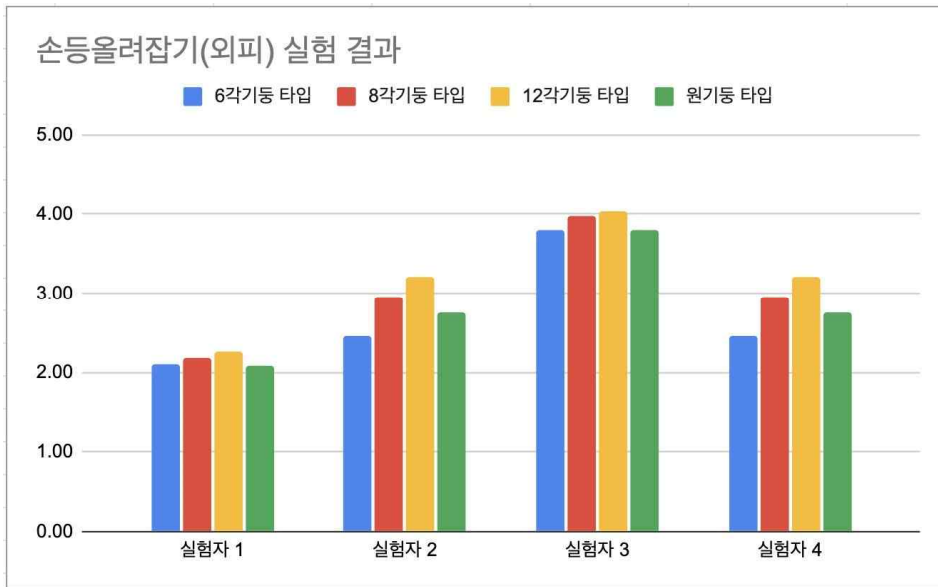


그림 25: 실험 7(외피가 다른 공기를 손등에 올려서 잡기)의 결과 그래프

표 12은 실험 7의 결과를 표로 정리한 것이고 그림 25는 그래프로 표현한 것이다. 실험 결과 아래의 내용을 확인할 수 있었다.

- 공기의 단면이 6각형에서 12각형으로 늘어날수록 더 많은 공기를 손등에 올려 잡을 수 있었지만 원기둥이 되면 오히려 잡을 수 있는 공기의 개수가 줄어드는 결과를 나타내었다.

이러한 내용은 서로 다른 4명의 실험자에 대해서 같게 관찰되었다.

실험 6과 실험 7의 결과에 대해서 다음과 같은 설명이 가능하다.

- 각진 모양의 공기를 사용할수록 공기들이 서로 부딪혀서 튕겨져 나갈 가능성이 높아 진다. 따라서 둥근 모양의 외피를 가지는 공기를 사용할수록 공기의 성능이 좋은 결과를 내는 것으로 설명할 수 있다.
- 그런데 원기둥 모양의 외피를 가지는 공기의 성능이 오히려 떨어진다. 원기둥의 경우 잘 구르는 성질이 있기 때문에 공기가 손등밖으로 벗어날 가능성이 높아져 성능이 떨어지는 결과가 나오는 것을 설명할 수 있다.

자. 실험 교구 제작 및 실험

1) 교구1: 공기 롤러코스터

공기 롤러코스터는 공기 속의 쇠구슬의 크기에 따라 공기 내부의 마찰열이 달라지는 것을 눈으로 확인할 수 있도록 제작된 실험 교구이다. 이 교구는 3D 모델링 사이트 Tinkercad에서 양쪽 45도 각도의 직선 경사와 가운데 원의 곡선 경사면이 이어지게 하고, 경사면에 홈을 파서 공기가 경사면을 따라 이동할수 있도록 모델링 하였다. 공기 속의 쇠구슬의 크기를 다르게 하여 원기둥 모양의 공기를 이 교구에 굴러 보면, 물체의 위치에너지가 운동에너지로 바뀌었다가 다시 위치에너지로 바뀌는 과정을 눈으로 확인할 수 있고 공기 내부의 마찰열의 차이를 공기가 반대편 경사면을 굴러 올라간 높이의 차이로 확인할 수 있다.

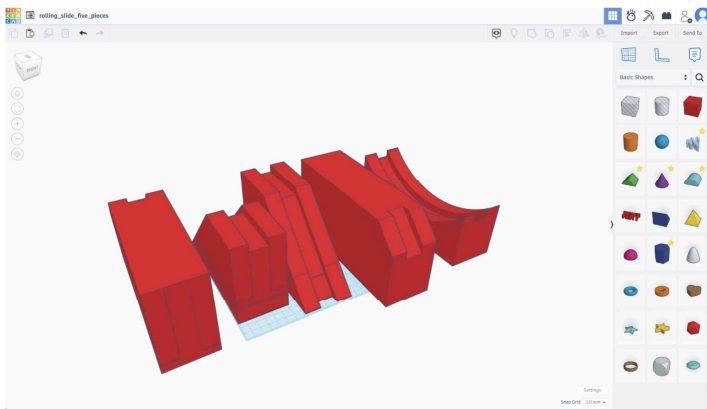
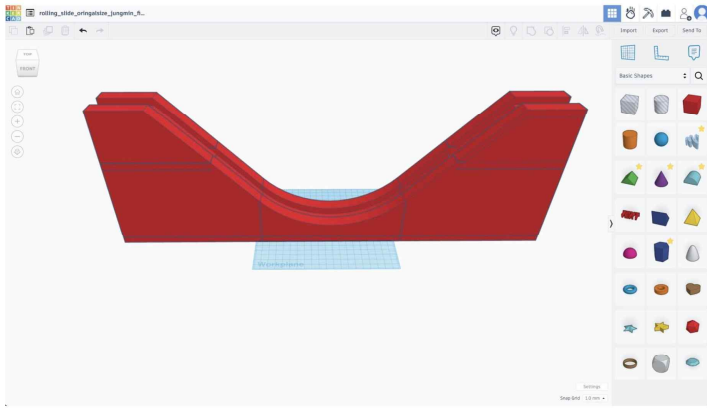


그림 26: 3D 프린터를 사용하여 교구1 (공기 롤러코스터)을 제작하

그림 26은 3D 프린터를 사용하여 공기 롤러코스터의 제작하는 과정을 보여준다.

표 13: 공기 롤러코스터 크기

가로 (mm)	360
최대 높이 (mm)	120
최소 높이 (mm)	20
폭 (mm)	36

표 14: 공기 종류 4 (공기 롤러코스터에 사용된 원기둥 모양 공기)

	1mm 쇠구슬 원기둥 타입	2mm 쇠구슬 원기둥 타입
쇠구슬 무게 (g)	1.0	1.0
쇠구슬 지름 (mm)	1.0	2.0

표 13는 제작된 롤러코스터의 크기를 표로 나타낸 것이고, 표 14는 공기 속의 쇠구슬의 크기를 다르게 하여 공기 롤러코스터에 굴리기 위해서 제작된 공기의 무게와 크기를 표로 정리한 것이다. 이때 사용된 외피의 모양과 크기는 앞서 실험 6과 실험 7에서 사용된 원기둥 모양의 공기와 같다.

실험 8(공기 롤러코스터에 굴리기)의 실험 절차는 다음과 같다.

1. 공기를 공기 롤러코스터의 한쪽 언덕에서 굴린다.
2. 굴러진 공기가 경사면을 따라 내려갔다가 반대편 경사면으로 굴러 올라가는 것을 관찰하여 가장 높이 도달한 위치를 기록한다.
3. 1~2의 과정을 공기 종류에 따라 각각 50회 반복한다.
4. 2종류의 공기로 1~3의 과정을 각각 반복한다.
5. 실험 횟수가 많아질수록 실험 참여자의 실력이 좋아져 유리한 결과를 얻을 가능성이 있으므로, 실험에 사용되는 공기의 종류를 번갈아 가면서 실험을 진행한다.

표 15: 실험 8(공기 롤러코스터에 굴리기)의 결과

(단위: mm)

	1mm 쇠구슬 원기둥 타입	2mm 쇠구슬 원기둥 타입
올라간 평균 높이	75.74	76.18

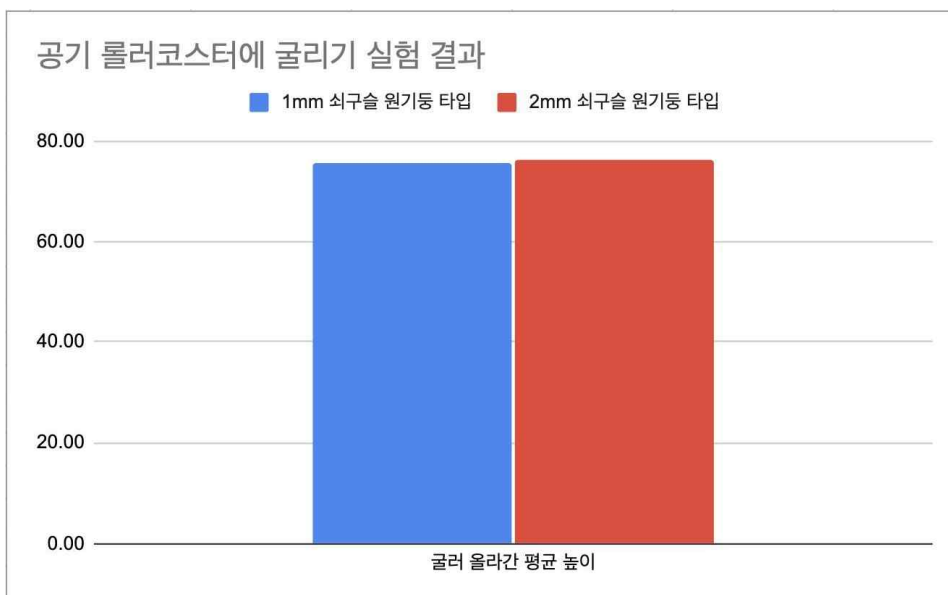


그림 27: 실험 8(공기 롤러코스터에 굴리기)의 결과 그래프

표 15은 실험 8(공기 롤러코스터에 굴리기)의 결과를 표로 요약한 것이고 그림 27은 이것을 그래프로 나타낸 것이다. 실험 결과는 큰 쇠구슬을 사용한 공기가 더 높이 올라가는 것으로 나왔다. 이것은 큰 쇠구슬이 작은 쇠구슬보다 마찰열로 빠져나가는 에너지가 더 적기 때문이라고 설명할 수 있다. 공기가 굴러 올라간 높이의 차이는 그리 크지 않았는데, 공기가 구르는 시간이 평균 1초 정도로 아주 짧기 때문이다. 따라서 공기가 구르는 거리를 더 늘릴 수 있도록 공기 롤러코스터를 디자인하면 더 큰 차이를 확인할 수 있을 것으로 예상된다.

2) 교구2: 외피의 모양이 다른 공기 세트

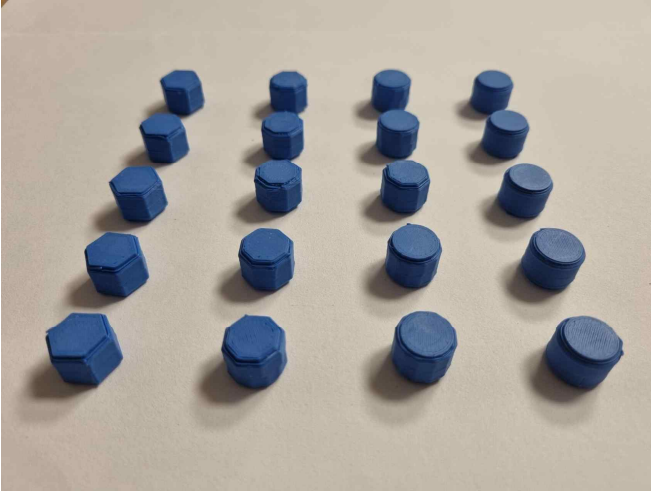


그림 28: 3D 프린터를 사용하여 제작된 교구2(외피의 모양이 다른 공기 세트)

그림 28는 앞의 실험 6과 실험 7에서 사용된 외피의 모양을 다르게 한 공기 교구 세트이다. 이 교구를 이용하여 실험 6과 실험 7을 진행할 수 있다.

3) 교구3: 쇠구슬의 크기가 다른 공기 세트

앞서 실험 6과 실험 7의 결과 다양한 외피의 모양 중 12각 기둥 모양의 공기가 가장 좋은 성능을 보여주었다. 이 12각 기둥 모양의 외피에 서로 다른 크기의 쇠구슬을 넣어서 앞의 실험 1, 2, 3 또는 실험 5를 해 볼 수 있도록 교구를 제작하였다.

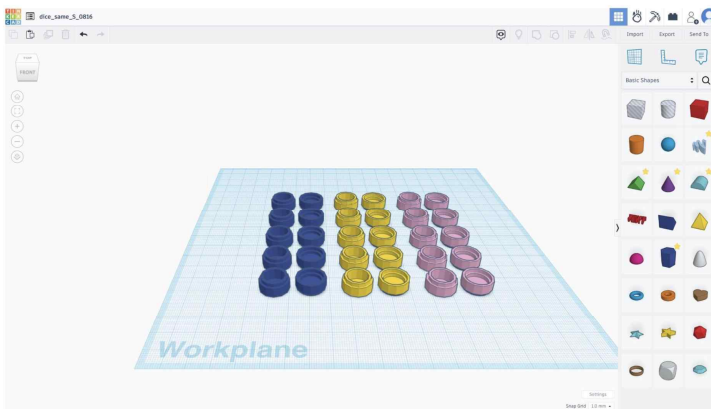


그림 29: 3D 프린터를 사용하여 교구3(쇠구슬의 크기가 다른 12각 기둥모양 공기 세트)의 제작 과정

그림 29은 교구3의 외피를 제작하는 과정을 보여준다.

표 16: 공기 종류 5 (쇠구슬의 크기가 다른 12각 기둥 모양의 공기 놀이 교구)

	1.5mm 쇠구슬 12각 기 동 타입 (파란색)	2mm 쇠구슬 12각 기동 타입 (노란색)	2.5mm 쇠구슬 12각기 동 타입 (분홍색)
쇠구슬 무게 (g)	1.0	1.0	1.0
쇠구슬 지름 (mm)	1.5	2.0	2.5

표 16은 교구 3의 공기에 사용된 쇠구슬의 무게와 크기를 표로 정리한 것이다. 이때 사용된 외피의 모양과 크기는 실험 6과 실험 7의 12각 기동 모양의 공기와 같다.

6. 결론

공기 속에 채워진 입자의 크기, 입자의 양, 공기 외피의 모양이 공기 성능에 중요한 영향을 미친다는 사실을 발견하였다. 먼저, 실험 1을 통해 공기 속에 채워진 입자의 크기가 작을수록 좋은 결과를 나타낸다는 것을 실험으로 확인하였다. 더욱 정밀한 비교를 위해서 공기를 개별적으로 모눈종이 위에 떨어뜨려서 굴러가는 거리를 측정하는 실험(실험 2)과 공기 여러 개를 플라스크병에 담아 경사면을 굴러서 굴러간 거리를 측정하는 실험(실험 3)을 진행하였고, 두 실험에서 모두 고운 입자의 모래를 사용할수록 굴러가는 거리가 짧아진다는 것을 관찰할 수 있었다. 이 실험 결과 성능 좋은 공기의 조건은 입자가 고운 내용물로 채워야 한다는 것을 알 수 있다.

이러한 현상을 설명하기 위해서 물리학의 에너지 보존법칙과 에너지 변환과 관련된 이론들을 탐구 해 보았다. 던져진 공기의 운동에너지는 소리/열에너지로 바뀌게 되면서 멈추게 되는데 이때 변환 속도가 빠를수록 굴러가는 거리가 짧아지게 된다. 즉 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 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 올라가는 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 손

등에 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 영향이 있는지 알아보기 위해서 추가 실험(실험 5)을 진행하였다. 앞의 실험에서 가장 좋은 성능을 보여주었던 고운 모래를 사용하였고 공기 안의 모래의 양을 다르게 해서 서로 다른 3가지 종류의 공기를 만들어서 사용하였다. 공기의 성능은 실제 공기놀이처럼 손등에 올려서 잡는 과정을 통해서 측정하였다. 이 실험 결과 모래 알갱이들이 공기 안의 공간을 너무 적게 차지하거나 너무 많이 차지할 때보다 반(1/2) 정도 차지할 때 가장 좋은 성능을 보여주었다. 실험 4 (입자의 크기에 따른 마찰열 측정 실험)의 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.

공기의 외피 모양이 공기의 성능에 어떤 영향을 주는지 알아보기 위해 모양이 다른 공기 외피를 3D프린터를 사용하여 직접 제작하였다. 모두 4종류의 외피를 디자인하였는데 모두 기둥 모양으로 통일하고 대신 평면 모양을 정6각형, 정8각형, 정12각형, 그리고 원모양으로 다르게 디자인하였다. 이때 내용물의 마찰열을 같게 하기 위해 내부 공간의 크기를 같게 하고 같은 크기와 같은 무게의 쇠구슬을 내용물로 사용하였다. 실험 결과 외피의 단면이 6각형에서 12각형으로 늘어날수록 더 많은 공기를 손등에 얹거나 올려 잡을 수 있었지만 원기둥이 되면 오히려 잡을 수 있는 공기의 개수가 줄어드는 결과를 나타내었다. 이 실험을 통해 공기 외피 모양은, 외피 단면 각의 개수가 작은 각진 모양의 외피 일수록 공기들이 서로 부딪혀서 멀리 튕겨 나갈 가능성이 높고 단면 각의 개수가 많은 둥근 모양이 더 좋은 성능을 나타내는 것을 알 수 있다. 하지만 각이 전혀 없는 원기둥 모양의 경우는 손등에서 굴러갈 가능성이 높아져서 오히려 공기 성능이 낮다는 것을 알 수 있다.

이번 탐구에서 알게된 내용들을 학교 과학 수업에 활용하기 위해서 공기놀이 실험 교구들을 제작해보았다. ‘공기 롤러코스터(교구1)’, ‘외피 모양이 다른 공기 세트(교구2)’, 그리고 ‘쇠구슬의 크기가 다른 공기 세트(교구3)’의 3가지 종류이다. 교구1을 이용하여 공기 롤러코스터 한쪽 끝에서 공기를 굴려서 반대쪽 경사면을 오르는 높이의 차이를 비교하는 실험(실험 8)을 하였다. 실험 결과 공기에 사용된 쇠구슬의 크기가 작을수록 높이가 낮아지는 결과를 얻을 수 있었다. 이것은 앞의 실험 5와 같이 쇠구슬의 크기가 작을수록 굴러가는 과정에서 열에너지로 손실되는 에너지의 양이 커져서 최종적으로 위치에너지로 변환될 수 있는 운동에너지의 크기가 줄어들기 때문이다. 교구2를 이용하여 본 연구의 실험 6과 실험 7을 진행할 수 있고 교구3을 이용하여 실험 1~3, 실험 5를 진행할 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. 또한 실험 8에서 경사면을 굴러 올라간 높이의 차이가 그리 크지 않았는데 이 차

이를 더 크게 만들 수 있는 공기 롤러코스터의 디자인 찾기를 더 탐구해 볼수 있을 것 같다.

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 계속 나빠지게 된다. 그리고 혼자 오랫동안 게임에 더 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 이번 실험을 통해 성능 좋은 공기의 과학적 의미를 알게 되어 친구들과 성능 좋은 공기 만들기를 같이 하면 더 재미있을 것 같다.

직접 제작 해 본 공기놀이 실험 교구들은 학생을 위한 과학 교육 교구 자료로 활용해 볼 수도 있을 것 같다. 공기 외피 모양의 차이, 공기 내부 공간의 차이, 쇠구슬 크기의 차이에 따른 실험을 해 보고 공기놀이에 숨어 있는 에너지 보존 법칙과 에너지 변환 이론도 익힐 수 있게 교육 자료를 제작하면 공기놀이 속에 숨은 과학적 원리를 재미있게 배울 수 있게 도와 줄 수 있을 것 같다.

요즈음에는 중국에서 제조된 품질이 좋지 않은 공기가 많이 유통되고 있다. 이런 제품들은 종종 공기 놀이 도중 공기 속 내부 금속들이 흘러나오기도 한다. 좋은 공기의 무게, 입자의 크기, 내용물 등의 특징을 더 탐구 해 보면, 성능 좋은 공기를 제작하는 데 도움이 될 것 같다. 또한 국내 공기 제조 업체에 본 탐구 내용을 공유해서 더 좋은 공기 제조에 참조가 될 수도 있을 것 같다.

8. 참고문헌

가. 참고 문헌

- 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
- 운동에너지 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
- 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/>
- 참고 도서:
 상상 아카데미 출판사 <과학 탐구보고서 소논문 쓰기>
 와이즈만 Books <자유 탐구 과학전람회 탐구 토론 발명품 대회>
 어스본 코리아 <초등학생이 알아야 할 참 쉬운 물리>
 일진사 <틴커캐드 Tinkercad & 3D 프린팅>

나. 실험 결과 데이터 저장소

- 공기의 성질 실험 데이터
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>