

The Journal of Future Scientists

과학영재

제19권 1호 Vol.19 No.1
2023/12

경북대학교 과학영재교육원

Science Education Institute for Gifted Youth

차례

C O N T E N T S

I. 연구논문

1. 펄 방정식의 일반화
..... 최민준(형곡중) / 1

2. 교육용 스텔링 엔진의 PV 다이어그램 측정 및 분석
..... 손은성(동도중), 김태유(월서중) / 20

3. 전기도금에서 용매와 이온의 종류 및 전압에 따른 구리의 환원에 대한
 화학적 고찰
..... 소재훈(매천중), 이근우(팔공중), 이정현(고산중), 장윤서(대륜중) / 33

4. 대구광역시 소재 D중학교 주변의 봄, 여름 토양 미생물 분석
..... 구건형(대륜중), 양우찬(군위중), 이경현(성명여중), 이태준(경신중) / 59

5. 지구 온난화의 원인과 영향에 관한 MBL 탐구 및 기상 데이터 분석
..... 김대훈(오성중) / 70

II. 자유탐구과제 연구보고서

1. 개미의 경로 선택
..... 황보민(영남중), 정서범(영남삼육중) / 87

펠 방정식의 일반화

최민준(형곡중)

지도교수: 김민훈(경북대학교 수학교육과)

초 록

본 연구에서는 기존에 알려진 펠 방정식의 다양한 성질들과 해를 구하는 여러 방법들 그리고 다각수와의 연관성들을 다양한 예시와 함께 정리하고 소개하였다. 펠 방정식과 쌍곡선과의 관계성에 착안하여 펠 방정식을 고차원으로 일반화하는 방법을 제시하였다. 이 일반화된 고차원 펠 방정식의 해를 파이썬을 이용하여 찾는 방법을 다루었다. 이 과정에서 찾은 해들 사이의 규칙을 발견하였고 이를 이용하여 일반화된 고차원 펠 방정식의 무한한 해의 존재성을 증명하였다.

I. 서 론

그림 1과 같이 쌍곡선 $x^2 - 2y^2 = 1$ 위에 있는 모든 정수 격자점을 찾는 문제를 생각해보자.

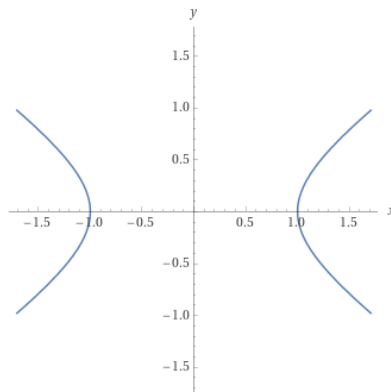


그림 1. 쌍곡선 $x^2 - 2y^2 = 1$ 그래프 개형.

쉽게 찾을 수 있는 격자점은 $(1, 0)$, $(3, 2)$ 등이다. 실제로 이 점들이 쌍곡선 위에 놓이는 사실은 $1^2 - 2 \times 0^2 = 1$, $3^2 - 2 \times 2^2 = 1$ 의 식으로 확인할 수 있다. 이어지는 질문은 이 쌍

곡선이 무한히 많은 자연수 격자점을 포함하는지의 여부이고 이는 자연스럽지만 쉽게 알 수 있는 내용은 아니다. 일반적으로 자연수 d 에 대해 방정식 $x^2 - dy^2 = 1$ 을 펠의 방정식(Pell's equation)이라고 한다. 역사적으로 이 펠의 방정식의 정수해를 찾는 문제가 Archimedes, Bhaskara, Fermat, Lagrange등에 의해 활발히 연구되었고 d 가 완전제곱수인 경우에는 정수해가 유한하지만, d 가 완전제곱수가 아닌 경우에는 무한히 많은 정수해가 존재한다는 사실이 밝혀졌다. 이 과정 속에서 다각수(polygonal numbers), 연분수(continued fraction), 무리수 \sqrt{d} 의 유리수 근사(rational approximation)등과 펠 방정식의 정수해와의 연관성들이 발견되며 정수론의 기초적이면서 중요한 주제가 되었다.

본 연구에서는 펠 방정식이 2차원 유클리드 평면 위의 쌍곡선에 의해서 주어진다는 점에 착안하여, 기하학적으로 고차원 유클리드 공간 안의 쌍곡공간(hyperboloid)에 의해서 주어지는 고차원 펠 방정식을 생각하였다. 이 일반화된 펠 방정식 중 일부가 무한히 많은 정수해를 가진다는 것을 증명하였다.

이 논문은 다음과 같이 구성되어 있다. II절에서는 펠 방정식을 포함하는 일반적인 디오판틴 방정식의 예제들과 흥미로운 사실들을 다룬다. III절에서는 펠 방정식과 다각수와의 연관성을 다룬다. IV절에서는 기존에 알려진 펠 방정식의 해를 찾는 여러 가지 방법들을 다룬다. V절에서는 일반적인 고차원 펠 방정식을 소개하고 주요결과인 특정 일반화된 펠의 방정식이 무한히 많은 정수해를 가진다는 사실의 증명을 다룬다.

II. 이론적 배경

1. 디오판틴 방정식

디오판틴 방정식(Diophantine equation)은 다항방정식의 정수해 또는 유리수해를 찾는 것으로 정의된다. 정리하자면 정수 혹은 유리수 계수를 갖는 다항식 F_1, F_2, \dots, F_k 에 대해 $F_1(x_1, \dots, x_m) = \dots = F_k(x_1, \dots, x_k) = 0, x_i \in \mathbb{Z}$ or \mathbb{Q} 의 해를 찾는 것이다.

(예시) 디오판틴 방정식의 여러 예시들이다.

- (i) 일차 부정방정식 $ax + by = c$ 의 정수해.
- (ii) 피타고라스 삼원쌍(Pythagorean triple) $x^2 + y^2 = z^2$ 의 정수해 또는 유리수해. 중요한 내용이기 때문에 (2. 피타고라스 삼원쌍)에서 자세히 다루겠다.
- (iii) 펠 방정식 $x^2 - dy^2 = 1$ 의 정수해.

- (iv) 페르마의 마지막 정리 $x^n + y^n = z^n$ 의 정수해 또는 유리수해.
- (v) 중국인의 나머지 정리(Chinese Remainder Theorem)

2. 피타고라스 삼원쌍(Pythagorean triple)

직각삼각형의 세 변의 길이를 각각 a, b, c 라고 할 때 피타고라스 정리 $a^2 + b^2 = c^2$ 을 만족하는 순서쌍 $(a, b, c) \in \mathbb{N}$ 을 피타고라스 삼원쌍이라 한다.

(정리) 피타고라스 삼원쌍 $(a, b, c) = (k(2mn), k(m^2 - n^2), k(m^2 + n^2))$ 이다.

(증명) $a^2 + b^2 = c^2$ ($a, b, c \in \mathbb{N}$) 식 변형을 하면, 다음과 같다.

$$a^2 + b^2 = c^2$$

$$\left(\frac{a}{c}\right)^2 + \left(\frac{b}{c}\right)^2 = 1$$

$$\left(\frac{a}{c}\right)^2 + \left(\frac{b}{c}\right)^2 = 1 \quad \blacksquare$$

위 식은 원의 방정식 꼴이고, $\left(\frac{a}{c}\right) = x$, $\left(\frac{b}{c}\right) = y$ 라 하면 $x^2 + y^2 = 1$ 이다.

따라서 $a^2 + b^2 = c^2$ ($a, b, c \in \mathbb{N}$)은 부정방정식의 해를 찾는 문제 즉 정수론적인 문제에서 단위원 위에 존재하는 유리점의 좌표를 찾는 기하학적 문제로 바뀌었다.

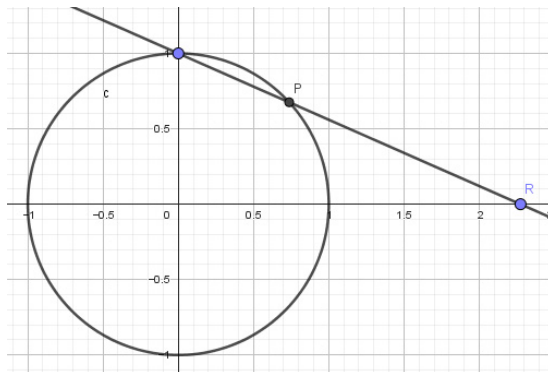


그림 2. 문제의 기하학적 표현

앞서 말한 내용을 기하학적으로 그려보면 그림 2과 같다. 위 그림에서 유리점은 점 P 이고, 문제를 해결하기 위해선 점 P 의 좌표를 구해야 한다. 또한 점 $R(r, 0)$ ($r > 1$)과 $(0, 1)$

을 지나는 직선의 방정식은 $y = -\frac{x}{r} + 1$ 이다. 따라서 점 P 의 좌표는 원의 방정식과 직선의 교점이므로 다음과 같이 쉽게 구할 수 있다.

$$\begin{cases} x^2 + y^2 = 1 \\ y = -\frac{x}{r} + 1 \end{cases}$$

$$x^2 + \left(1 - \frac{x}{r}\right)^2 = 1$$

$$\frac{(r^2 + 1)x^2}{r^2} - \frac{2x}{r} = 0$$

$$\therefore x = \frac{2r}{r^2 + 1}, y = \frac{r^2 - 1}{r^2 + 1}$$

$$\therefore P\left(\frac{2r}{r^2 + 1}, \frac{r^2 - 1}{r^2 + 1}\right)$$

점 P 의 좌표가 r 에 대한 식으로 표현되었다.

(명제) r 은 0이 아닌 유리수이다.

(증명)

$$\Leftrightarrow \frac{2r}{r^2 + 1}, \frac{r^2 - 1}{r^2 + 1} ; 0 \text{이 아닌 유리수}$$

$$\Leftrightarrow \frac{2r}{r^2 + 1}, \frac{r^2 - 1}{r^2 + 1} + 1 ; 0 \text{이 아닌 유리수}$$

$$\Leftrightarrow \frac{2r^2}{r^2 + 1} \times \frac{r^2 + 1}{2r} ; 0 \text{이 아닌 유리수}$$

$$\Leftrightarrow r ; 0 \text{이 아닌 유리수} \quad \blacksquare$$

따라서 r 은 0이 아닌 유리수 이므로 다음과 같이 표현 된다.

$$\therefore r = \frac{m}{n} (\gcd(m, n) = 1, m > n)$$

명제에 의해 점 P 의 좌표는 m, n 에 대해 다시 써진다.

$$P\left(\frac{2r}{r^2 + 1}, \frac{r^2 - 1}{r^2 + 1}\right) = \left(\frac{2mn}{m^2 + n^2}, \frac{m^2 - n^2}{m^2 + n^2}\right) = \left(\frac{a}{c}, \frac{b}{c}\right)$$

이다. 이때 a, b, c 의 값은 다음과 같다.

$$a = k(2mn), \quad b = k(m^2 - n^2), \quad c = k(m^2 + n^2)$$

(k ; 양의 정수)

결론적으로 피타고라스 삼원쌍 (a, b, c) 는 다음과 같다.

$$(a, b, c) = (k(2mn), k(m^2 - n^2), k(m^2 + n^2))$$

■

모든 피타고라스 삼원쌍 (a, b, c) 는 자연수 m, n 의 값으로 구할 수 있게 되었다.¹⁾

3. 펠 방정식(Pell's equation)

자연수 d 에 대해, $x^2 - dy^2 = 1$ 꼴의 방정식을 펠 방정식(Pell's equation)이라 한다.

4. 펠 방정식에 대한 기본적인 이해

(예) $x^2 - 2y^2 = 1$ 의 그래프를 그려보자.

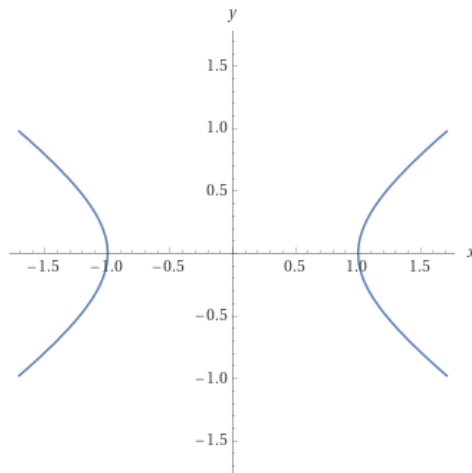


그림 3. 펠 방정식 $x^2 - 2y^2 = 1$ 그래프 개형

(관찰한 점)

(i) 펠 방정식 $x^2 - 2y^2 = 1$ 의 그래프는 쌍곡선(hyperbola)의 형태로 존재한다.

1) 특별한 경우에서 자연수 m, n 이 모두 홀수 이면 세변의 길이가 각각 서로소인 직각삼각형이 아니기 때문에 2로 나누어 주어야 한다.

(ii) 점근선 $x = \sqrt{2}y$, $x = -\sqrt{2}y$ 이 존재 한다.²⁾

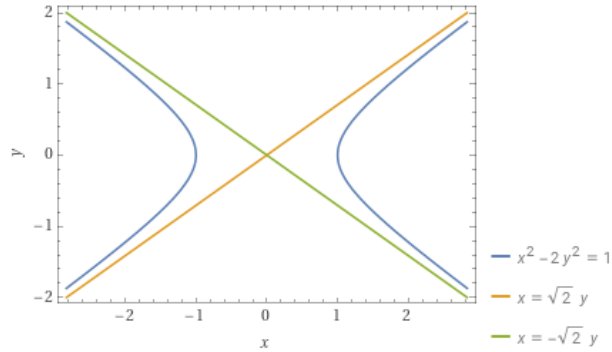


그림 4. $x^2 - 2y^2 = 1$ 의 그래프와 점근선

(iii) (x, y) 가 펠 방정식의 해 이면, $(x, y), (x, -y), (-x, y), (-x, -y)$ 가 모두 해 이다.

(iv) 펠 방정식 $x^2 - 2y^2 = 1$ 는 $(\pm 1, 0)$ 을 해로 가진다.³⁾ 이를 자명해(trivial solution)라 한다.

(v) $x^2 - dy^2 = 1$ 에서 $d = c^2$ ($c > 0$)이면, 방정식의 해는 유일하다.

(증명)

$$\begin{aligned} x^2 - dy^2 &= 1 \\ x^2 - c^2y^2 &= 1 \\ (x - cy)(x + cy) &= 1 \\ x - cy &= x + cy = \pm 1 \\ \therefore x = 1, y = 0 \end{aligned}$$

2) 일반적으로 펠방정식 $x^2 - dy^2 = 1$ 또한 쌍곡선의 형태로 존재하며, 점근선 $x = \sqrt{d}y$, $x = -\sqrt{d}y$ 이 존재한다.

(증명)

$$\begin{aligned} x^2 - dy^2 &= 1 \\ x^2 &= 1 + dy^2 \\ x &= \pm \sqrt{dy^2} \\ \therefore x &= \pm \sqrt{d}y \end{aligned}$$

(주의) $x^2 = 1 + dy^2$ 에서 $\lim_{(x,y) \rightarrow \infty} x^2 - dy^2 - 1 = d(-\infty) + \infty$ 이므로 1은 생략할 수 있다.

3) 일반적인 펠 방정식 $x^2 - dy^2 = 1$ 에서도 성립하는 자명한 해 이다. 만약 d 가 완전제곱수라면 펠 방정식 $x^2 - dy^2 = 1$ 의 해는 $(x, y) = (1, 0)$ 으로 유일하다.

5. 라그랑지 정리(Lagrange 1768)

펠 방정식 $x^2 - dy^2 = 1$ 에서 d 가 완전제곱수가 아닌 자연수일 때, $x^2 - dy^2 = 1$ 은 무수히 많은 해를 가진다. 왜냐하면 주어진 자연수 d 에 대해 $x^2 - dy^2 = 1$ 의 해를 구해내는 것은 $1 + dy^2$ 가 완전제곱수가 되는 y 를 찾는 것과 동치이기 때문이다.
 ($\because x^2 - dy^2 = 1 \Leftrightarrow dy^2 + 1 = x^2$)

(예시)

(i) $x^2 - 2y^2 = 1$ ($0 < y \leq 15$)

표 1. 라그랑지 정리의 시각화

y	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
$2y^2 + 1$	3	9	19	33	51	73	99	129	163	201	243	289	339	393	451
제곱수	X	O	X	X	X	X	X	X	X	X	X	O	X	X	X

(결과) $y = 2, y = 12$ 일 때 $x = 3, x = 17 \Rightarrow (x, y) = (3, 2), (17, 12)$

(주의) 앞서 말한 펠 방정식에서 발견한 성질⁴⁾에 따라, $(x, y), (-x, y), (x, -y), (-x, -y)$ 모두 해 이다. 하지만 이번 예시에서는 $\{(x, y) | x, y \in \mathbb{N}\}$ 만 다루도록 하겠다.

(ii) $x^2 - 3y^2 = 1$ ($0 < y \leq 15$)

표 2. 라그랑지 정리의 시각화

y	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
$3y^2 + 1$	4	13	28	49	76	109	148	193	244	301	364	433	508	589	676
제곱수	O	X	X	O	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	O

(결과) $y = 1, y = 4, y = 15$ 일 때 $x = 2, x = 7, x = 26 \Rightarrow (x, y) = (4, 1), (7, 4), (26, 15)$

(결론) 펠 방정식 $x^2 - dy^2 = 1, d \neq c^2 (c \in \mathbb{Z})$ 에서, y 가 끝없이 커질 때, $dy^2 + 1$ 이 완전제곱수가 되는 경우는 무수히 많이 존재한다. 따라서 해 (x, y) 는 무수히 많이 존재한다.

4) (4. 펠 방정식에 대한 기본적인 이해)-(관찰한 점)-(iii)을 참고하여라.

III. 다각수와 펠 방정식의 관계

1. 다각수(Polygonal number)

다각수는 삼각수와 정사각수를 임의의 정다각형에까지 일반화하여 얻는 평면 도형수이다.

(예시)

표 1. n, k 값의 변화에 따른 k 번째 삼각수 ($n = 3$)





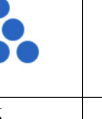
n	k	$k = 1$	$k = 2$	$k = 3$	$k = 4$	$k = 5$
$n = 3$	k 번째 n 각형					
	k 번째 n 각수	1	3	6	10	15
		1	1+2	1+2+3	1+2+3+4	1+2+3+4+5

표 2. n, k 값의 변화에 따른 k 번째 사각수 ($n = 4$)







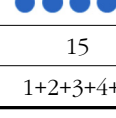
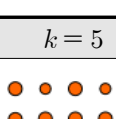
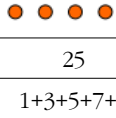
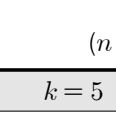
n	k	$k = 1$	$k = 2$	$k = 3$	$k = 4$	$k = 5$
$n = 4$	k 번째 n 각형					
	k 번째 n 각수	1	4	9	16	25
		1	1+3	1+3+5	1+3+5+7	1+3+5+7+9

표 3. n, k 값의 변화에 따른 k 번째 오각수

($n = 5$)

n	k	$k = 1$	$k = 2$	$k = 3$	$k = 4$	$k = 5$
$n = 5$	k 번째 n 각형					
	k 번째 n 각수	1	5	12	22	35
		1	1+4	1+4+7	1+4+7+10	1+4+7+10+13

(정의 3.1) n 번째 삼각수를 T_n , n 번째 사각수를 S_n , n 번째 오각수를 P_n 이라 정의한다.

(관찰한 점) $T_n = 1 + 2 + 3 + 4 + \dots + n$ 이므로 공차가 1인 등차수열의 합과 같다. 따라서 T_n 은 다음과 같이 정의할 수 있다.

$$T_n = \sum_{k=1}^n k = \frac{n(n+1)}{2}$$

$S_n = 1 + 3 + 5 + 7 + \dots + 2n - 1$ 이므로 공차가 2인 등차수열의 합과 같다. 따라서 S_n 은 다음과 같이 정의할 수 있다.

$$S_n = \sum_{k=1}^n (2k-1) = n^2$$

$P_n = 1 + 4 + 7 + 10 + \dots + 3n - 2$ 이므로 이는 공차가 3인 등차수열의 합과 같다. 따라서 P_n 은 다음과 같이 정의할 수 있다.

$$P_n = \sum_{k=1}^n (3k-2) = \frac{n(3n-1)}{2}$$

2. 삼각-사각수(Square triangular number)

삼각수 이면서 사각수인 자연수를 삼각-사각수(Square triangular number) 라고 한다. k 번째 삼각-사각수, N_k 란 $T_n = S_m$ 을 만족하는 수를 말한다.

(정리 3.3) 삼각-사각수들과 펠 방정식 $x^2 - 2y^2 = 1$ 의 자연수 해들 사이에 일대일 대응이 존재한다.⁵⁾

(증명)

$$T_n = S_m$$

5) $x^2 - 2y^2 = 1$ 의 자연수 해는 $x \equiv 1 \pmod{2} \Rightarrow x^2 \equiv 1 \pmod{4}$, $y^2 \equiv 0 \pmod{2} \Rightarrow y \equiv 0 \pmod{2}$ 를 만족한다.

앞선 (정의 3.1)에 의해,

$$\frac{n(n+1)}{2} = m^2$$

이다. 마저 정리 하면,

$$n^2 + n = 2m^2$$

$$4n^2 + 4n = 8m^2$$

$$\therefore (2n+1)^2 - 2(2m)^2 = 1 \quad \blacksquare$$

(결론) 삼각-사각수를 찾는 것과 $x^2 - 2y^2 = 1$ 의 자연수 해를 찾는 것이 동치이다.⁶⁾

IV. 펠 방정식의 해를 찾는 여러 가지 방법

1. 기존의 해를 이용해서 새로운 해 찾기

앞선 연구에서 증명한 라그랑지 정리로 펠 방정식 $x^2 - dy^2 = 1$ 에서 주어진 d 가 완전제곱수가 아닐 때 무수히 많은 해가 존재함을 보였다. 이번에는 이미 알고 있는 기존의 해를 이용하여 새로운 해를 찾고자 한다. 예시를 통해 간단한 관찰로 알아낼 수 있는 성질에서부터 일반적인 펠 방정식에서도 적용되는지 증명하였다.

(관찰 4.1.1) $x^2 - 2y^2 = 1$ 의 해들 중 $(x, y) = (3, 2), (17, 12)$ 가 있음을 알고 있다. 이때, $17 + 12\sqrt{2} = (3 + 2\sqrt{2})^2 = 9 + 8 + 12\sqrt{2}$ 임을 관찰 할 수 있다. 이를 통해 기존의 해 $(3, 2)$ 를 제곱하면 또 다른 해 $(17, 12)$ 를 얻을 수 있다는 것을 발견하였다.

(관찰 4.1.2) 이번에는 $3 + 2\sqrt{2}$ 를 세제곱 해보자,

$$(3 + 2\sqrt{2})^3 = (17 + 12\sqrt{2})(3 + 2\sqrt{2}) = 51 + 48 + 36\sqrt{2} + 34\sqrt{2} = 99 + 70\sqrt{2}$$

이다. (관찰 4.1)에 의해 $(99, 70)$ 은 펠 방정식의 새로운 해가 될 것이다.

6) 같은 방법으로 사각-오각수와 $x^2 - 6y^2 = 1$ 의 자연수 해들 사이에 일대일 대응이 존재함을 보일 수 있다. 증명 방법이 정확히 같기 때문에 본 논문에서는 다루지 않았다.

(관찰 4.1.3) 이번에는 $3+2\sqrt{2}$ 네제곱 해보자.

$$(3+2\sqrt{2})^4 = (17+12\sqrt{2})^2 = 577+408\sqrt{2}$$

이다. (관찰 4.1)에 의해 (577,408)은 펠 방정식의 새로운 해가 될 것이다.

같은 방법으로 다섯제곱을 하면, 같은 방법으로 (3313,2378)은 새로운 해가 될 것이다.

$$(3+2\sqrt{2})^5 = (17+12\sqrt{2})^2(3+2\sqrt{2}) = 3313+2378\sqrt{2}$$

(관찰 4.2.1) 펠 방정식 $x^2-3y^2=1$ 의 해들 중 $(x,y)=(2,1),(7,4),(26,15)$ 가 있음을 알고 있다. 이때, (관찰 4.1.1), (관찰 4.1.2)와 같은 방법으로 새로운 해를 찾으려면, 다음과 같다.

$$(2+\sqrt{3})^2 = 4+3+\sqrt{3} = 7+4\sqrt{3}$$

$$(2+\sqrt{3})^3 = (7+4\sqrt{3})(2+\sqrt{3}) = 14+12+8\sqrt{3}+7\sqrt{3} = 26+15\sqrt{3}$$

위 관찰들로 기존의 해로 새로운 해를 찾는 방법을 알아내었다.

(정리 1) $(x',y'),(x'',y'')$ 이 펠 방정식 $x^2-dy^2=1$ 의 두 해이면,

$(x'+y'\sqrt{d})(x''+y''\sqrt{d})$ 의 계수들이 $x^2-dy^2=1$ 의 새로운 해이다.

(증명) $(x'+y'\sqrt{d})(x''+y''\sqrt{d})$ 의 계수들은 다음과 같다.

$$(x'+y'\sqrt{d})(x''+y''\sqrt{d}) = x'x''+dy'y''+(x'y''+x''y')\sqrt{d}\dots \star$$

따라서 \star 식의 계수들을 펠 방정식 $x^2-dy^2=1$ 에 대입하면,

$$(x'x''+dy'y'')^2-d(x'y''+x''y')^2=1$$

$$x'^2 x''^2 + d^2 y'^2 y''^2 + 2dx'x''y'y'' - dx'^2 y''^2 - dx''^2 y'^2 - 2dx'x''y'y'' = 1$$

$$x'^2 x''^2 + d^2 y'^2 y''^2 - dx'^2 y''^2 - dx''^2 y'^2 = 1$$

$$x''^2 (x'^2 - dy'^2) - dy''^2 (x'^2 - dy'^2) = 1$$

$$(x''^2 - dy''^2)(x'^2 - dy'^2) = 1 \quad \blacksquare$$

(따름정리 1.1) (정리 1)에 의해 (x_1, y_1) 이 $x^2 - dy^2 = 1$ 의 해 이면, 모든 정수 $k (k \in \mathbb{Z})$ 에 대해, $x_k + y_k \sqrt{d} = (x_1 + y_1 \sqrt{d})^k$ 인 정수들 (x_k, y_k) 도 $x^2 - dy^2 = 1$ 의 해 이다. 따라서 $x^2 - dy^2 = 1$ 이 한 개의 자연수 해를 가지면, 무한히 많은 자연수 해가 존재한다.

(증명) (정리 1)에 의해 모든 자연수 k 에 대해 (x_k, y_k) 는 $x^2 - dy^2 = 1$ 의 해이다.

$$(x_1 + y_1 \sqrt{d})^{-k} = \frac{1}{(x_1 + y_1 \sqrt{d})^k}$$

(정리 1)에 의해,

$$= \frac{1}{x_k + y_k \sqrt{d}} = \frac{x_k - y_k \sqrt{d}}{(x_k + y_k \sqrt{d})(x_k - y_k \sqrt{d})}$$

이다.

$$= \frac{x_k - y_k \sqrt{d}}{x_k^2 - dy_k^2} = x_k - y_k \sqrt{d} \quad \blacksquare$$

(주의) (x_k, y_k) 가 해 이므로, $(x_k, -y_k)$ 도 해이다. 또한, $k = 0$ 인 경우, $(x_1 + y_1 \sqrt{d})^0 = 1$ 이다. \blacksquare

(예시)

$$(3 + 2\sqrt{2})^4 = 577 + 408\sqrt{2}$$

$$(3 + 2\sqrt{2})^{-4} = 577 - 408\sqrt{2}$$

(cf.) $(5 + 2\sqrt{2}) = \frac{5 - 2\sqrt{2}}{17}$

2. 모든 해를 찾는 방법.

(보조정리 1) 만약, (x, y) 가 $x^2 - dy^2 = 1$ 의 해 이고, $x + y\sqrt{d} > 1$ 이면, $x \geq 2, y \geq 1$ ⁷⁾ 이다. 이때, d 는 완전제곱수가 아닌 정수이다.

(증명)

$$0 < x - y\sqrt{d} = \frac{1}{x + y\sqrt{d}} < 1$$

이때,

$$0 < x - y\sqrt{d} < 1 < x + y\sqrt{d}$$

이다. 따라서

$$\begin{aligned} 2y\sqrt{d} &> 0 \\ \therefore y &> 0 \text{ 또는 } y \geq 1 \end{aligned} \quad \blacksquare$$

$x - y\sqrt{d} \geq 0$ 이고, y 는 정수 이므로,

$$x - y\sqrt{d} > 0$$

이다.

$$\begin{aligned} x &> y\sqrt{d} \geq \sqrt{d} > 1 \\ \therefore x &\geq 2 \end{aligned} \quad \blacksquare$$

(보조정리 2) $x^2 - dy^2 = 1, a^2 - db^2 = 1$ 을 만족하는 음이 아닌 정수 a, b, x, y 에 대해, 다음과 같은 부등식에서 두 개의 크기조건을 만족한다.

$$a + b\sqrt{d} < x + y\sqrt{d}$$

(1. \leftrightarrow) $a < x$ 이고, $b < y$

(2. \leftrightarrow) $a < x$ 또는 $b < y$

7) (참고) 펠 방정식 $x^2 - 3y^2 = 1$ 은 해 중 (2,1)이 존재 하므로 최적의 부등식이다.

(증명) (1.←)은 자명하다. (1.→)임을 보이자.

• $a \geq 0$ 이기 때문에 $a = 0$ 을 대입하면 다음과 같다.

$$0^2 - db^2 = 1$$

하지만 위 식을 만족하는 정수 b 는 존재하지 않으므로

$$a \geq 1$$

이다. 같은 이유로 $x \geq 1$ 이다.

• $a + b\sqrt{d} < x + y\sqrt{d}$ 의 역수를 취하면,

$$x - y\sqrt{d} < a - b\sqrt{d}$$

이다. 두 개의 부등식을 더하면,

$$\begin{aligned} (a+x) + (b-y)\sqrt{d} &< (a+x) + (y-b)\sqrt{d} \\ 0 &< 2(y-b)\sqrt{d} \end{aligned}$$

이다.

$$\therefore y > b, y^2 > b^2 (\because y \geq 0, b \geq 0)$$

또한,

$$\begin{aligned} a^2 = 1 + db^2 &< 1 + dy^2 = x^2 \\ \therefore a, x \geq 0, a &< x \end{aligned}$$

■

(2.↔)도 같은 방법으로 증명할 수 있기에 증명과정은 생략한다.

(정리 2) $x^2 - dy^2 = 1$ 이 해를 가지고, 자연수 해들 중 (x_1, y_1) 이 y 값이 가장 작은 해라 하면 다음이 성립한다.

(i) $x^2 - dy^2 = 1$ 의 임의의 정수해는 $\pm(x_1 + y_1\sqrt{d})^k (k \in \mathbb{Z})$ 의 계수이다.

(ii) $x^2 - dy^2 = 1$ 의 임의의 자연수 해는 $(x_1 + y_1\sqrt{d})^k (k \in \mathbb{N})$ 의 계수이다.

(증명) $(x_1 + y_1\sqrt{d})^k$ 의 계수들이 $x^2 - dy^2 = 1$ 의 해가 되는 것은 이미 (따름정리 1.1)으로 알고 있다. 자연수 쌍 (x, y) 가 $x^2 - dy^2 = 1$ 을 만족한다고 가정하자. $x + y\sqrt{d} > 1$ 이고, $\{(x_1 + y_1\sqrt{d})^n\}_{n=0}^{\infty}$ ⁸⁾은 ∞ 으로 발산하는 증가수열 이므로, 결론은 다음과 같다.

$(x_1 + y_1\sqrt{d})^k \leq x + y\sqrt{d} < (x_1 + y_1\sqrt{d})^{k+1}$ 인 음이 아닌 정수 $k(k \geq 0)$ 가 존재한다.

다음으로, $1 \leq (x + y\sqrt{d})(x_1 - y_1\sqrt{d})^k < x_1 + y_1\sqrt{d} \cdots (*)$ 이 성립하므로, $(x + y\sqrt{d})(x_1 - y_1\sqrt{d})^k = a + b\sqrt{d}$ ($a, b \in \mathbb{Z}$) 라 하면, $a^2 - db^2 = 1$ 이다.

(*)을 정리 하면,

$$\begin{aligned} 1 &\leq a + b\sqrt{d} < x_1 + y_1\sqrt{d} \\ a &> b\sqrt{d} \end{aligned}$$

이면, (보조정리 1), (보조정리 2)에 의해 $a, b > 0$ 이고 $a < x_1, b < y_1$ 이다. 이것은 y_1 선택에 모순이다. 따라서 $a + b\sqrt{d} = 1$ 즉, $x + y\sqrt{d} = (x_1 + y_1\sqrt{d})^k$ 이다. 일반적으로 x, y 가 정수해인 경우도 비슷한 논리로 증명되므로 생략하겠다. ■

(예시) (정리 2)의 예시들을 살펴보자.

(주의) (x_1, y_1) 이 $x^2 - dy^2 = 1$ 의 자연수 해 중 y_1 이 최소라 하면, 이 자연수 해는 x_1 도 최소이다. $(x_1 + y_1\sqrt{d})^k$ 의 두 계수들은 k 에 대한 증가함수이다.

- (i) $x^2 - 2y^2 = 1$ 의 장연수 해 중 y 값이 가장 작은 해는 (3,2) 이다. 따라서 모든 자연수 해는 $(3 + 2\sqrt{2})^n$ ($n > 0$) 의 계수들이다.
- (ii) $x^2 - 3y^2 = 1$ 의 자연수 해 중 y 값이 가장 작은 해는 (2,1) 이다. 따라서 모든 자연수 해는 $(2 + \sqrt{3})^n$ ($n > 0$) 의 계수들이다.
- (iii) $x^2 - 5y^2 = 1$ 의 자연수 해 중 y 값이 가장 작은 해는 (9,4) 이다. 따라서 모든 자연수 해는 $(9 + 4\sqrt{5})^n$ ($n > 0$) 의 계수들이다.

8) $\{(x_1 + y_1\sqrt{d})^n\}_{n=0}^{\infty}$ 는 n 을 0에서 무한대 까지 모든 음이 아닌 정수에 대해서 바꾸면서 해당하는 숫자들을 다 모은 집합을 뜻한다.

V. 고차원의 펠 방정식

펠 방정식 $x^2 - dy^2 = 1$ 은 이차원 평면상의 방정식이다. 하지만 나는 고차원의 펠 방정식은 어떻게 표현할 수 있고, 또 어떠한 성질을 가지는지 궁금했다. 그래서 나는 3차원의 펠 방정식 중 한 가지 경우에서 무한한 해의 존재성을 증명하였다.

1. 그래프의 개형

3차원의 펠 방정식은 쌍곡선의 형태가 아닌 쌍곡면의 형태로 존재한다.

(예시)

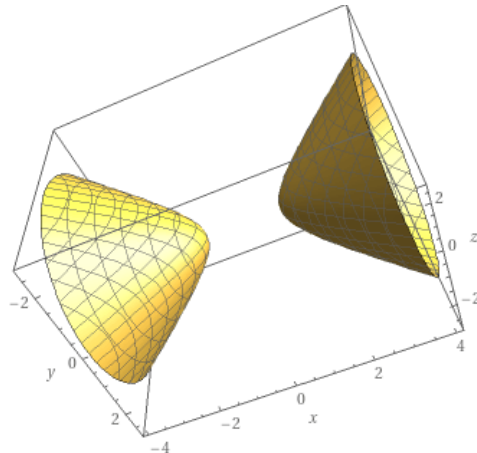


그림 5. $x^2 - 2y^2 - 2z^2 = 1$ 의 그래프 개형

2. 3차원의 펠 방정식의 해

목표는 3차원 공간상의 펠 방정식은 무수히 많은 해가 존재 하는지 증명하는 것이다. 즉, 그래프 상에서 보았을 때, 쌍곡면에서 무수히 많은 격자점을 가진다는 것을 증명해볼 것이다. 먼저 해를 쉽게 구해보기 위해서 *Python*을 통해 코딩하였다.

```

import math
def issquare(n):
    if math.sqrt(n) == int(math.sqrt(n)):
        return 1
    else:
        return -1

N=100
d=2

for i in range(1,N):
    for j in range(i,N):
        if issquare(1+d*i*i+d*j*j)==1:
            print(int(math.sqrt(1+d*i*i+d*j*j)), i, j)

```

그림 6. $x^2 - 2y^2 - 2z^2 = 1$ 의 해를 찾기 위해 작성한 코드포인트

그림 6을 통해 수많은 해를 구해내었다.

```

9 2 6
51 2 36
19 6 12
35 6 24
105 6 74
33 12 20
51 12 34
81 12 56
51 20 30
81 24 52
129 24 88
73 30 42
105 34 66
145 36 96
99 42 56
147 52 90
129 56 72
163 72 90

```

그림 7. $x^2 - 2y^2 - 2z^2 = 1$ 해의 일부

펠 방정식 $x^2 - 2y^2 - 2z^2 = 1$ 의 해 (x, y, z) 몇몇의 특정한 순서쌍에는 특정한 규칙이 있다는 것을 발견하였다. 규칙들은 크게 네 가지 정도 소개하겠다.

몇몇의 순서쌍 (x, y, z) 에 대해 다음 규칙이 성립한다.

(규칙 1) $x = y + z + 1$ 을 만족한다.

(규칙 2) (규칙 1)을 만족하는 순서쌍 (x, y, z) 의 y 값과, 바로 다음으로 (규칙 1)을 만족하는 순서쌍 (x, y, z) 의 z 값이 같다. 연쇄적이다.

(예시) $(x, y, z) = (9, 2, 6) \rightarrow (x, y, z) = (19, 6, 12) \rightarrow (x, y, z) = (33, 12, 20) \dots$

(규칙 3) (x, y, z) 중 y 값만 나열한 수열을 $\{A_n\}$ 이라 정의할 때, 수열 $\{A_n\}$ 은 계차수열이다.

(예시) $\{A_n\} = \{2, 6, 12, 20, 30, 42, 56, \dots\}$

(규칙 4) 순서쌍 (x, y, z) 중 y 만 나열하면 다음과 같다.

$$\begin{aligned} & 2, 6, 12, 20, 30, 42, 56 \dots \\ & = 1 \times 2, 2 \times 3, 3 \times 4, 4 \times 5, \dots \end{aligned}$$

연속한 두 수의 곱으로 이루어져 있음을 알 수 있다.

3. 3차원의 펠 방정식 $x^2 - 2y^2 - 2z^2 = 1$ 무한한 해의 존재성 증명

앞선 연구에서 3차원 펠 방정식 $x^2 - 2y^2 - 2z^2 = 1$ 의 해들을 코딩으로 찾아보고, 규칙들을 발견해 정리해보았다. 이젠 발견한 규칙들을 이용해 일반화 시켜 무한한 해의 존재성을 증명 하겠다.

(중명) 앞서 말한 규칙을 만족하는 n 번째 순서쌍을 $(x, y, z)_n$ 이라 하자.

(규칙 1), (규칙 4)에 의해 $(x, y, z)_n$ 은 다음과 같다.

$$(x, y, z)_n = (n(n-1) + n(n+1) + 1, n(n-1), n(n+1))$$

$x^2 - 2y^2 - 2z^2 = 1$ 에 대입하면,

$$\begin{aligned} & (2n^2 + 1)^2 - 2(n^2 + n)^2 - 2(n^2 - n)^2 \\ &= 4n^4 + 4n^2 + 1 - 2n^4 - 4n^3 - 2n^2 - 2n^4 + 4n^3 - 2n^2 \\ &= 4n^4 + 4n^2 + 1 - 2(2n^4 + 2n^2) = 1 \end{aligned}$$

■

(결론) 3차원 펠 방정식 $x^2 - 2y^2 - 2z^2 = 1$ 의 해는 무수히 많다.

VI. 결론

이번 연구를 통해 펠 방정식과 여러 성질을 소개하고 증명해 보았다. 먼저 펠 방정식과 다각수의 관계를 보이기 위해 다각수와 삼각-사각수를 정의하고, 삼각-사각수와 펠 방정식 사이에 일대일 대응이 존재함을 증명하였다.

펠 방정식의 해를 구하는 방법은 여러 가지가 있다. 그중 가장 유명한 방법은 라그랑지 정리이다. 펠 방정식의 성질과 더불어 라그랑지 정리의 기본적인 이해를 바탕으로 기존에 알고 있는 해를 이용해서 새로운 해를 찾는 방법과 일반적인 펠 방정식에서 모든 해를 찾는 방법을 소개하고 증명하였다.

본 연구에서는 특정 고차원의 펠 방정식의 해에서 규칙들을 발견하여 무한한 해의 존재성을 증명하였다. 덧붙여서, \sqrt{d} 의 새로운 유리수 근사를 고차원의 펠 방정식을 통해 얻을 수 있는지 추가로 연구할 계획이다.

VII. 참고문헌

1. Edward J. Barbeau. (2003). Pell's Equation.
2. Martin Aigner. (2013). Markov's Theorem and 100 Years of the Uniqueness Conjecture
3. Roger B. Nelsen. (2018). Nuggets of Number Theory: A Visual Approach
4. https://en.wikipedia.org/wiki/Pell%27s_equation
5. <https://www.wolframalpha.com/>

교육용 스텔링 엔진의 PV 다이어그램 측정 및 분석

손은성(동도중), 김태유(월서중)

지도교수: 주영구(경북대학교 물리교육학과)

초 록

스텔링 엔진은 환경 친화적이고 활용도가 높으며, 엔진의 효율 역시 높은 편으로 연구가치가 있다. 정상적으로 작동하고 높은 효율을 가지는 스텔링엔진을 분석하기 위해 시중에 널리 장난감으로 판매되고 있는 스텔링 엔진에 압력 센서와 홀 센서를 장치하여 PV 다이어그램을 측정하였다. 사전에 압력 센서의 전압 변화량과 실제 압력 변화 사이의 관계를 측정하고 이를 이용해 스텔링 엔진의 압력을 측정하는 데 이용하였다. 또한 홀 센서를 통해 시간에 따른 피스톤의 위치와 부피 값을 측정하고 PV 다이어그램을 그려 보았다. 측정된 PV 다이어그램에서 엔진 출력을 구해보고, 등적과정이 이상적으로 일어났을 때와 아닐 때의 차이를 이론적으로 알아보았다.

I. 서 론

교육용 스텔링 엔진은 인터넷에서 쉽게 구할 수 있으며, 교육과학 탐구 주제로 스텔링 엔진을 제작하려는 시도를 자주 보았는데 실제로 제작에 있어서 많은 실패 사례를 보았기 때문에 왜 제작이 그렇게 어려운지 관심이 생겼다. 스텔링엔진은 작은 온도차에서도 작동하므로 태양열, 지열, 화석연료, 차가운 대기 등 다양한 조건을 활용할 수 있다. 또, 폐쇄형 사이클로 작동유체를 외부로 배출하지 않고 재사용하므로 친환경적이고, 폭발행정도 없어 내연기관보다 비교적 소음이 적은 편이다. 이러한 장점들로 앞으로의 다양한 활용이 기대되며, 스텔링 엔진의 원리를 이해하고 실제 작동하는 스텔링엔진의 PV 다이어그램을 직접 측정해 보고 분석을 통해 실제 교육용 스텔링 엔진 제작에 있어 개선할 점을 연구하고자 하였다.

II. 이론적 배경

스털링엔진은 밀폐된 공간 내부의 유체의 팽창 및 수축으로 외부의 열에너지를 기계 에너지로 전환하는 기관이다. 외부에서 연소시켜 발생시킨 열을 이용하는 외연기관이며, 알파, 베타, 감마형의 3종류로 분류된다. 이 연구에서는 감마형 스텔링엔진을 사용하였으며, 그 구조와 원리는 다음과 같다[1]. 스텔링 엔진은 그림 1에 나온 것과 같이 크게 A, B, C, D 네 부분으로 나누어지고 각 역할은 다음과 같다.

A 부분은 파워 피스톤(power piston)이고 파워 실린더 내부의 부피를 변화시켜 유체를 압축, 팽창시킬 수 있다. B 부분은 디스플레이서 피스톤(displacer piston) 이고 디스플레이서 실린더 내부의 부피는 변화시키지 않지만 유체를 가열부와 냉각부로 이동시킨다. 이는 또한 열에너지를 일부 저장하여 다음 사이클 때 재사용할 수 있도록 해주는 재생기의 역할을 한다. C부분은 플라이휠(flywheel)이고 회전축에 부착된 바퀴의 관성으로 엔진의 운동을 안정시키고 운동에너지 형태로 남은 에너지를 저장한다. D 부분은 공기 배관(air plumbing) 이고 공기배관으로 A와 B를 연결시켜 유체가 그 사이로 이동할 수 있게 한다.

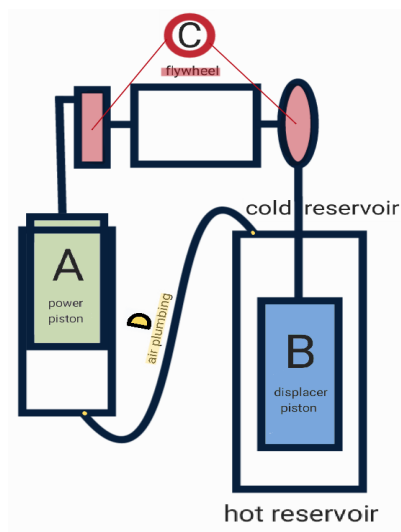


그림 1. 스텔링 엔진 개념도

스털링 엔진은 4개의 행정 또는 4개의 과정으로 진행된다. 첫 번째 과정은 가열부에서 열 에너지를 작동유체가 흡수하면 부피가 일정하므로 압력이 증가해 파워 피스톤이 팽창한다. 이때, 흡수한 열이 모두 부피를 증가시키는 일을 하는 등온 팽창이 일어난다. 이에 동력이

발생해 운동에너지 형태로 회전축에 저장된다. 두 번째 과정은 발생한 동력에 따라 회전축이 회전하며 연결된 디스플레이서 피스톤이 가열부로 이동한다. 그러면, 작동유체는 냉각부로 이동해 열을 방출하면서 일정한 부피에서 온도가 내려가며 등적 냉각하게 된다. 세 번째 과정에서는 냉각부에서 열에너지를 작동유체가 방출하면 부피가 일정하므로 압력이 감소해 파워 피스톤이 수축한다. 이때, 방출한 열에 의해 부피가 감소하고 온도는 일정한 등온 압축한다. 네 번째 과정에서는 파워 피스톤이 압축되며 연결된 디스플레이서 피스톤이 다시 냉각부로 이동하고, 작동유체가 가열부에 인접하게 되며 열을 흡수하면서 일정한 부피에서 온도가 증가하며 등적 가열한다. 이와 같이 기체가 열을 흡수 방출하며 수축, 팽창 할 뿐만 아니라 회전축에 다음 행정을 위한 에너지가 저장되므로 위와 같은 4행정을 반복하며 순환한다.

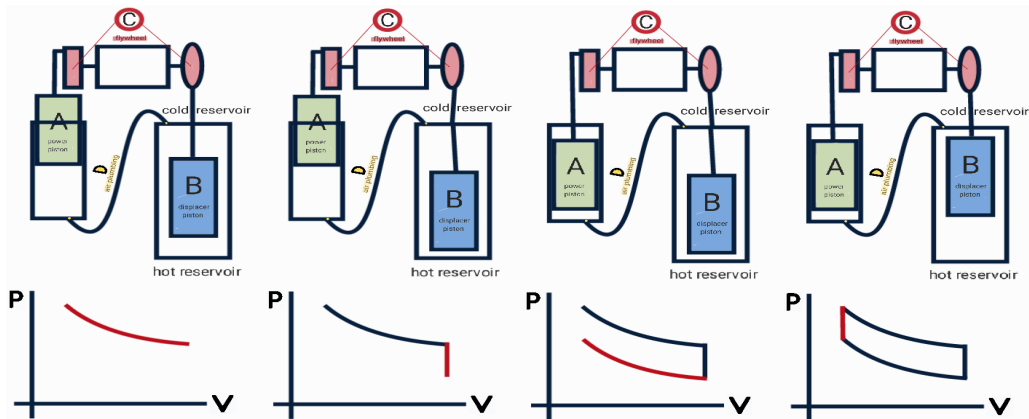
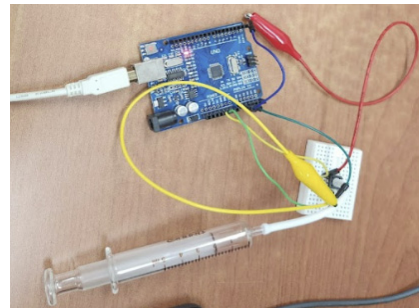
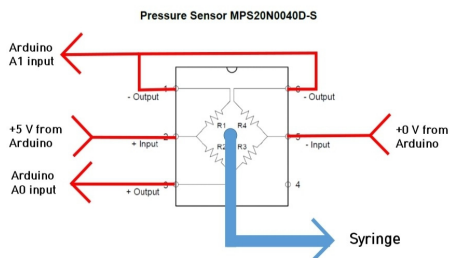


그림 2. 스텔링 엔진 4 행정 설명도[1]

III. 연구방법

1. 압력 센서 캘리브레이션

압력 센서(MPS20N0040D)는 아두이노와 그림 3-(a)와 같이 연결하여 압력을 측정한다[2]. 압력 센서의 전압 변화와 실제 압력 변화 사이의 관계를 알기 위해서 센서의 캘리브레이션을 해야 하는데 이 실험에서는 주사기와 압력 센서를 실리콘 고무 호스로 연결하고 주사기의 부피를 변화시킴으로써 압력 변화를 주고 그때 센서값을 기록하여 수행하였다. 아두이노의 아날로그 입력에 연결하는 신호를 전압계에 병렬연결하여 직접 센서 전압을 재는 방법도 측정값을 확인하는데 사용하였다.



(a)

(b)

그림 3. 압력 센서와 아두이노 연결도 및 주사기를 사용한 캘리브레이션 모습

시리얼 모니터는 아두이노 1.8.10 버전에서 제공하므로 이를 이용해 그림 4와 같이 프로그램한다. delay(T) 함수는 측정 후 T msec만큼 기다림을 뜻하고, i(k에서 이 측정이 k번 만큼 반복한다. 위 사진의 경우 10*400= 4000, 총 약 4초 동안 10msec마다 400번 측정한다는 뜻이다. 시리얼 모니터를 키고, 프로그램을 업로드 한다. 가변저항과 고무호스의 연결이 느슨한 경우 공기의 출입에 의해 값이 영향을 받으므로 빠르게 주사기의 부피를 변화시켜 시리얼 모니터에서 피크를 찾는다. 이때, 엑셀에 값을 옮겨 그래프를 그리면 좀 더 쉽게 찾을 수 있다. 4번 진행하여 각 부피 변화에 따른 전압값의 평균값을 구한다. 아날로그값을 디지털값으로 변환하는 과정에서 5V를 1024단계로 나눴으므로 아두이노 숫자 값 1이 약 5 mV를 의미한다. 이후 이 값을 엑셀에 옮겨 엑셀을 통해 정리하고 계산하였다.

```

ReadAnalogVoltage | 아두이노 1.8.10
파일 편집 스캐치 홀 도움말
ReadAnalogVoltage

int j=0;
// the setup routine runs once when you press reset:
void setup() {
  // initialize serial communication at 9600 bits per second:
  Serial.begin(9600);
}

// the loop routine runs over and over again forever:
void loop() {

  if(j == 0) {
    for(int i=0; i<400; i++)
    {
      // read the input on analog pin 0:
      int sensorValue0 = analogRead(A0);
      int sensorValue1 = analogRead(A1);
      // print out the value you read:
      Serial.println(sensorValue0+sensorValue1);
      delay(10); // delay in between reads for stability
    }
    j=j+1;
  }
}

```

업로드 완료.

스캐치는 프로그램 저장 공간 1970 바이트 (6%) 를 사용, 최대 32256 바이트, 자유 변수는 중적 메모리 190바이트 (9%) 를 사용, 1858바이트의 지역변수가 남음. 최

그림 4. 아두이노 압력 센서 측정 프로그램

ini v (초기 부피)와 fin v (나중 부피)를 기록해 두고, 연결했던 고무 호스의 부피 0.2 mL를 더해 real ini v (실제 초기 부피)와 real fin v (실제 나중 부피)를 구한다. 이후, ini p (초기 압력)을 대기압인 1로 설정하고, $(\text{real ini v}) \cdot (\text{ini p}) = (\text{real fin v}) \cdot (\text{fin p})$ 을 이용하여 fin p(나중 압력)를 구했다. 주사기에서 체적이 변할 때 압력과 체적의 곱이 일정하다는 보일의 법칙을 적용하였다. $\text{fin p} - \text{ini p} = \Delta p$ (압력변화량)을 구했다. 아두이노에서 측정된 전압값 * 5를 하여 fin mv(나중 전압값의 평균) - ini mv (초기 전압) = Δmv (전압변화량)을 구해 각각 y, x축으로 사용하여 전압변화량에 따른 압력변화량의 그래프를 그리고, 추세선을 통해 그 식을 확인한다. 계산을 위한 엑셀 파일을 그림 5에서 보이고 있으며, 압력 센서의 전압과 압력 사이의 관계 그래프는 그림 6에 나타내었다.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1	ini v	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8
2	fin v	1	1.2	1.4	2.4	2.6	2.8	3	3.2
3	real ini v	2	2	2	2	2	2	2	2
4	real fin v	1.2	1.4	1.6	2.6	2.8	3	3.2	3.4
5	ini p	1	1	1	1	1	1	1	1
6	fin p	1.66666666	1.42857142	1.25	0.76923076	0.71428571	0.66666666	0.625	0.58823529
7	Δp	0.66666666	0.42857142	0.25	-0.23076923	-0.28571428	-0.33333333	-0.375	-0.41176470
8	ini mv(voltage)	2.8	2.8	2.8	2.8	2.8	2.8	2.8	2.8
9	fin mv(voltage)	97.6	72.65	44.3	-31	-40	-51.5	-60.1	-64
10	Δmv (oltage)	94.8	69.85	41.5	-33.8	-42.8	-54.3	-62.9	-66.8

그림 5. 압력 센서 캘리브레이션용 엑셀 파일

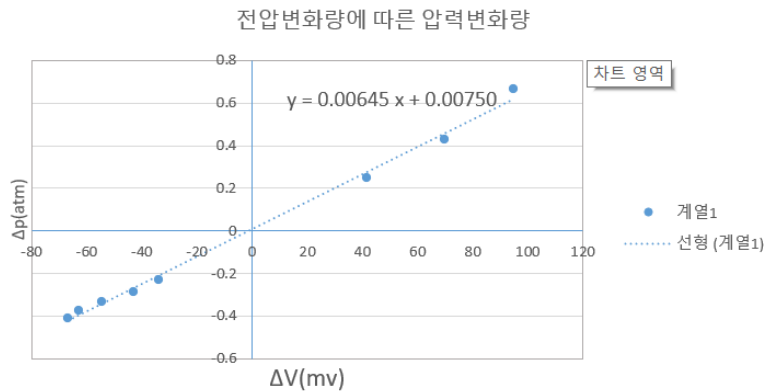
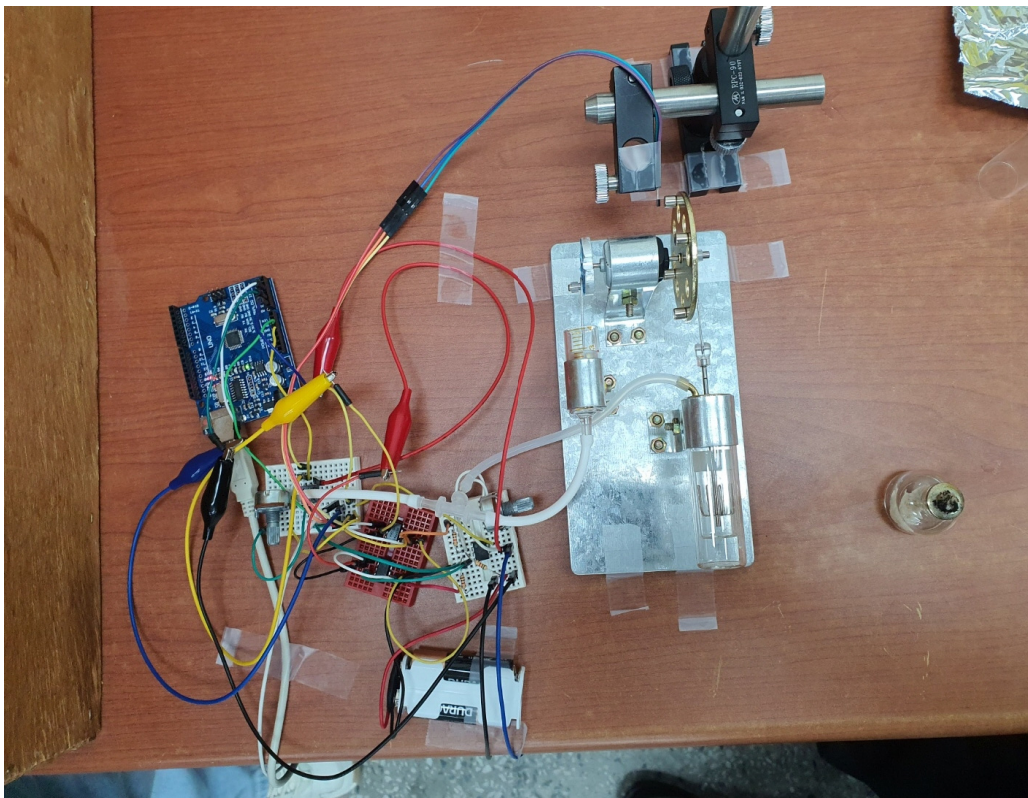


그림 6. 압력 센서 측정 전압과 압력 변화 관계

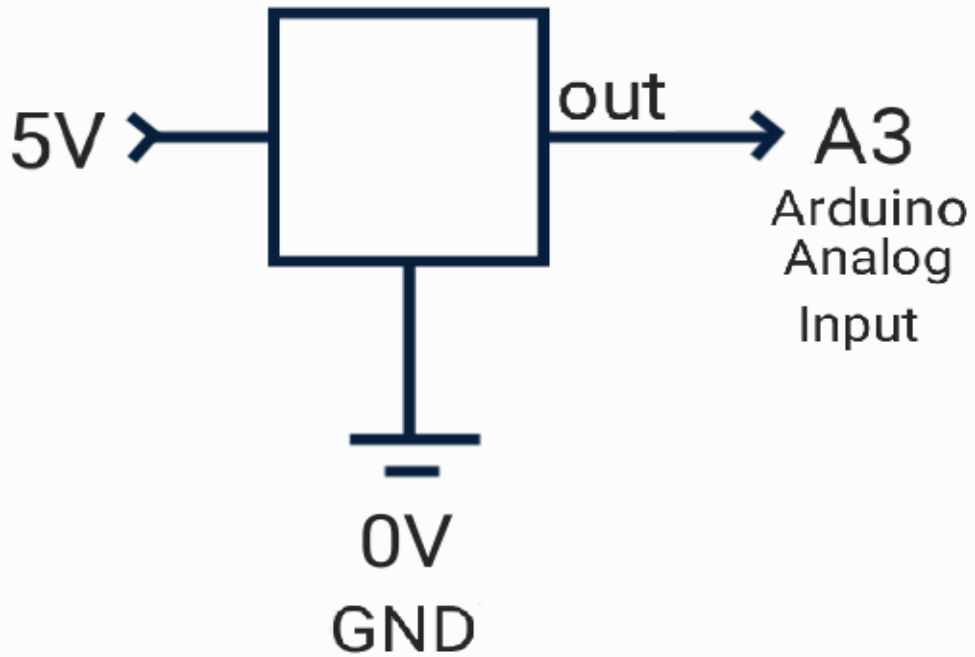
2. 스텔링 엔진의 압력 및 위치 측정

전체적인 실험 장치의 설치는 그림 7-(a)에 나온 것과 같다. 스텔링 엔진의 밀폐된 내부 압력의 측정을 위해 파워 피스톤과 디스플레이서 피스톤을 연결하는 공기배관을 T자형 호스로 바꾸고 호스를 휘스톤 브릿지 압력 감지 센서와 연결한다. 스텔링엔진의 시간에 따른 내부 부피 변화 확인을 위해 플라이 휠에 약 90도를 간격으로 자석 4개의 방향을 번갈아가며 반대로 부착해 자기장의 방향이 번갈아가며 변하고, 플라이 휠 가장자리(원주)로부터 거리를 일부 조정하여 각 자석마다 자기장 값의 차이를 만든다. 플라이 휠 뒤쪽에 거치대에 홀센서(WSH1 3 5) [3]를 테이프로 부착한 후 세워두고, 홀 센서가 자석의 자기장 값을 감지해 아두이노에 보낼 수 있도록 그림 7-(b)처럼 아두이노와 연결한다. 또한 압력 센서와 홀센서 값을 동시에 측정하고, 더 짧은 시간 간격으로 데이터를 측정하기 위해 delay(5)로 그림 7-(c)와 같이 수정했다.



(a)

Hall Sensor WSH135



(b)

ReadAnalogVoltage2 | 아두이노 1.8.19 (Windows Store 1.8.57.0)

파일 편집 스케치 툴 도움말



```

ReadAnalogVoltage2
Attach the center pin of a potentiometer to pin A0, and the ou

This example code is in the public domain.

http://www.arduino.cc/en/Tutorial/ReadAnalogVoltage
*/

int j=0;

// the setup routine runs once when you press reset:
void setup() {
  // initialize serial communication at 9600 bits per second:
  Serial.begin(9600);
}

// the loop routine runs over and over again forever:
void loop() {

  if(j == 0) {
    for(int i=0; i<400; i++)
    {
      // read the input on analog pin 0:
      int sensorValue0 = analogRead(A0);
      int sensorValue1 = analogRead(A1);
      int sensorValue3 = analogRead(A3);
      // print out the value you read:
      Serial.print(sensorValue0-sensorValue1);
      Serial.print(" ");
      Serial.println(sensorValue3);
      delay(5);          // delay in between reads for stability
    }
    j=j+1;
  }
}

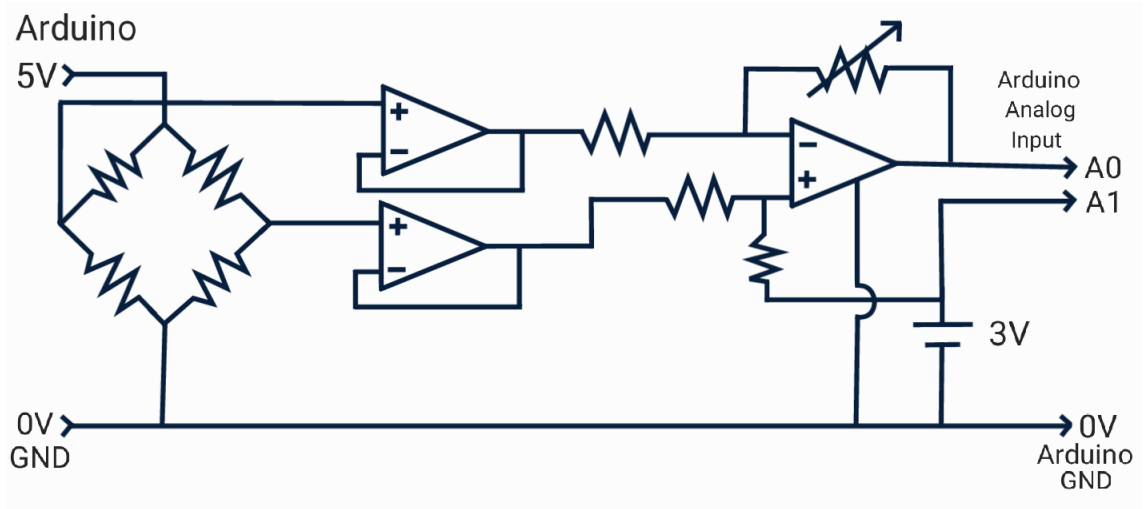
```

(c)

Hall sensor value

- 1) 900 : P_max V_min
- 2) 660:
- 3) 335: P_min, V_max
- 4) 535:

(d)



(e)

그림 7. 실험에 사용된 (a) 장치 셋업, (b) 홀 센서 회로도, (c) 아두이노 프로그램, (d) 위치에 따른 홀 센서 측정 값 및 (e) 전체 회로도

반지름과 길이를 측정해 호스의 부피를 계산하고 (1.0 mL), 디스플레이서 실린더는 부피 값에 변화가 없으므로 전체 실린더에서 디스플레이서 피스톤의 부피를 빼 계산하면 7.4 mL 이고, 파워 피스톤은 부피가 최소일 때와 최대일 때 각각의 길이와 반지름을 측정해 부피를 구하면 최대 2.5 mL이고, 최소 0.5 mL이다. 그리고, 각 자석이 홀센서를 지나는 시점마다 피스톤 지지대에 가려져 길이를 제대로 알 수 없는 상태의 부피를 구하기 위해 파워 피스톤 실린더의 끝을 기준으로 피스톤 끝까지를 mm단위로 측정해 바깥으로 나가면 +, 안쪽으로 들어오면 -라 표기한다. 회전 방향 순으로 +7.6 mm, +3.3 mm, -9.0 mm, -1.7 mm 이고, 파워 실린더의 눈금을 측정해보면 길이로 8.1 mm당 1 mL이므로, 최대 부피일 때 10.9 mL(=2.5 mL+8.4 mL) 이므로, 이를 기준으로 다음 위치까지의 mm 단위의 위치 변화량을 8.1로 나눈만큼 더해준다. 그러면 각 부피는 회전 방향 순으로 10.9 mL, 10.4 mL, 9.8 mL, 8.9 mL로 최소 부피일 때 $((-9.0-7.6=-16,6)/8.1 = -2.04)$ (10.9 - 2.0 = 8.9)의 값이 (0.5+ 8.4=8.9 mL) 동일해지므로 어느 정도 정확함을 알 수 있다. 그리고 아두이노 프로그램을 업로드하고, 플라이휠을 부피가 최대일 때부터 천천히 회전시켜 그림 7-(d)와 같이 각 부피 값일 때의 홀센서 값을 확인한다.

압력 센서 측정값이 너무 작아서 잡음에 묻히기 쉽기 때문에 휘스톤 브릿지 압력 센서 바로 다음에 증폭기를 설치했다. 증폭기는 LM741 OP AMP(Operational Amplifier) 사용하여 차동 증폭기[4]를 구성했다. 이때, 센서 출력 전압을 차동 증폭기 입력에 그대로 전달

해주기 위해 버퍼 회로(buffer 또는 voltage follower)[5]를 설치하며 아두이노 아날로그 입력 포트의 측정값 1이 약 5 mV를 의미하므로 실제 전압과 아두이노의 숫자 값이 동일해졌고 노이즈도 감쇄시켜준다.

장치 셋업이 완성되면 알코올램프를 이용하여 스텔링 엔진을 작동시키고, 아두이노의 시리얼 모니터를 켜둔 상태로 프로그램을 업로드한다. 마지막으로, 시리얼 모니터의 값을 Ctrl A, Ctrl C 하여 메모장에 Ctrl V 하고 이를 저장한다. 이후, 엑셀>파일>열기>저장한 메모장 파일>다음(N)>위의 구분기호 - 공백(S) > 마침(F)을 통해 값을 엑셀에 불러온다. 불러온 값 앞에 1씩 증가하는 수평축을 추가해 다음과 같이 각각의 그래프를 그린다. 이때 수평축은 시간 스텝을 나타내는 것으로 1 스텝은 프로그램에서 시간 증가량인 5 ms 에 해당한다.

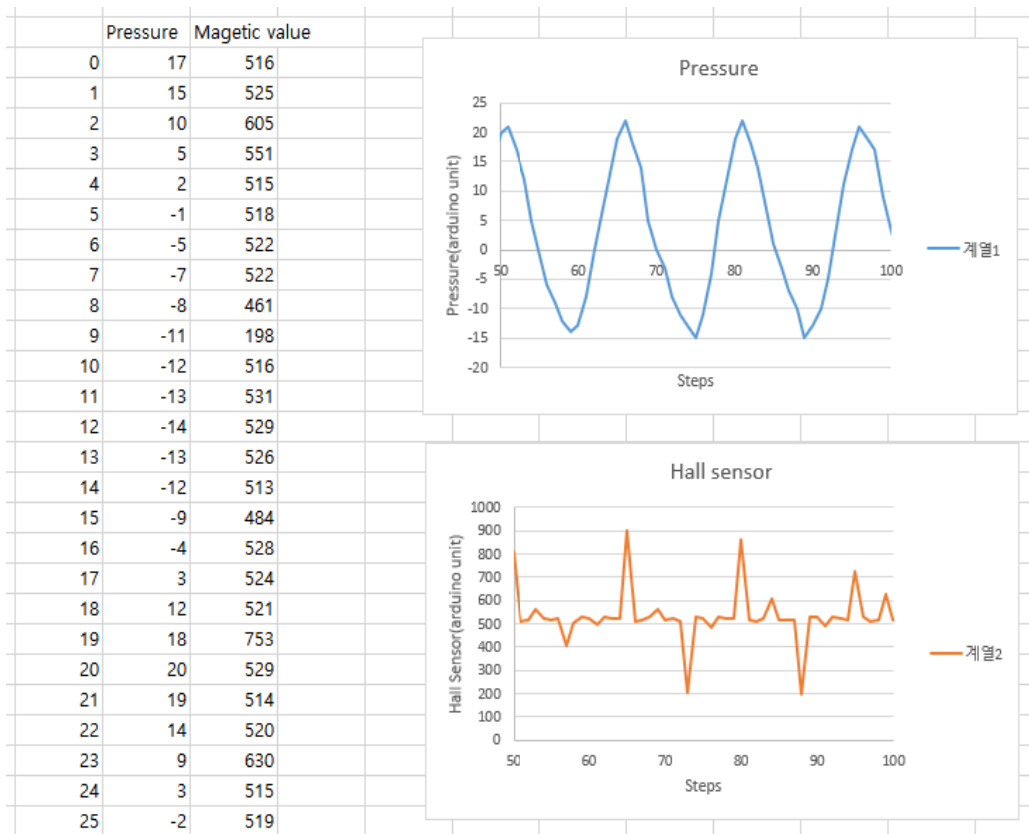


그림 8. 일정 시간 간격(5 ms)으로 아두이노가 측정한 측정된 압력 센서 값과 홀 센서 측정 값

IV. 연구결과

그림 8에서 최솟값과 최댓값 사이 부분만 자세히 확인해보며 홀 센서의 한 주기, 즉 스텔링엔진의 한 주기 동안의 전압값을 (0일 때를 대기압 기준으로 하며, 측정값이 변화량 값과 같게 함) 그림 6에서 구한 캘리브레이션의 추세선 식을 사용하여 실제 압력 값으로 변환시키고, 그때의 홀 센서값을 통해 실제 부피 값으로 변환시킨다. 홀 센서는 그림 8에서와 같이 홀 센서 그래프의 피크 위치를 통해 파워 피스톤의 4 개 위치를 추정할 수 있고 그 사이 위치는 직선 그래프를 사용하여 홀 센서값에서 추정한다. 4개 위치 사이에서는 피스톤의 위치와 체적이 시간에 따라 일정하게 변화한다고 가정하여 값을 채운 후, 이를 이용해 그림 9와 같은 PV 다이어그램을 얻어낸다.

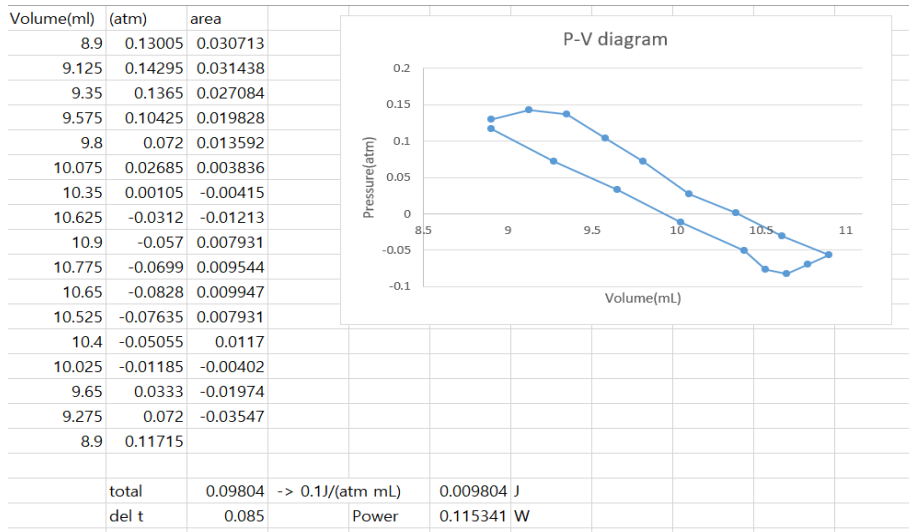


그림 9. 측정된 스텔링 엔진의 PV 다이어그램

PV 다이어그램에서 사이클을 이루는 폐곡선 사이의 면적은 스텔링 엔진이 해준 일의 양이 된다. 그래프 면적은 그림 10과 같이 엑셀에서 미분 사각형이나 사다리꼴의 면적을 더하는 적분 방식을 이용해 계산할 수 있다. 측정된 PV 다이어그램으로 둘러싸인 면적을 구하면 0.098 이고, 단위가 atm mL이고 1 atm mL은 0.1 J이므로 결국 한 주기 동안 약 0.0098 J의 일을 하였고, 총 17개의 시간 스텝이고 한 스텝 당 0.0050 s(아두이노 기준)이라 생각해보면 총 시간은 0.0050*17 = 0.085 s이므로 스텔링 엔진은 0.0098 J/0.085 s = 0.115 W의 일률(Power)을 보이고 있다.

E5					= (D5+D6)/2*(C6-C5)
	A	B	C	D	E
4			Volume(ml)	(atm)	area
5			8.9	0.13005	0.030713
6			9.125	0.14295	0.031438

그림 10. 엑셀에서 PV 다이어그램의 면적을 계산하는 공식

V. 결론 및 제언

이상적으로 등적 냉각과 등적 가열이 일어나나 실제 스텔링엔진에서 그 일부만 일어난다. 위 실험에서 홀 센서를 90도 기준으로 설치했으므로 등적작용이 언제 일어나는지 반영할 수 없었다. 이에 재 실험 시 홀 센서를 90도기준이 아니라 4 행정의 부피 기준, 즉 최대, 등적, 최소, 등적의 순서로 부착해야 할 것이다. 만약, 등적작용이 일어난다고 가정하고 부피만 바꾸었을 때 그림 11과 같은 그래프가 나온다. 이는 효율이 0.0111 J으로 원래 실험결과보다 약 13.4 % 더 높은 효율을 가진다. 이처럼 등적 작용을 더 가능하게 하기 위한 스텔링엔진 구조가 필요해 보인다. 더 높은 효율을 위해서는 가열부와 냉각부의 온도차를 증가시키거나 재생기의 소재를 변형시키는 방법이 있을 것이다.

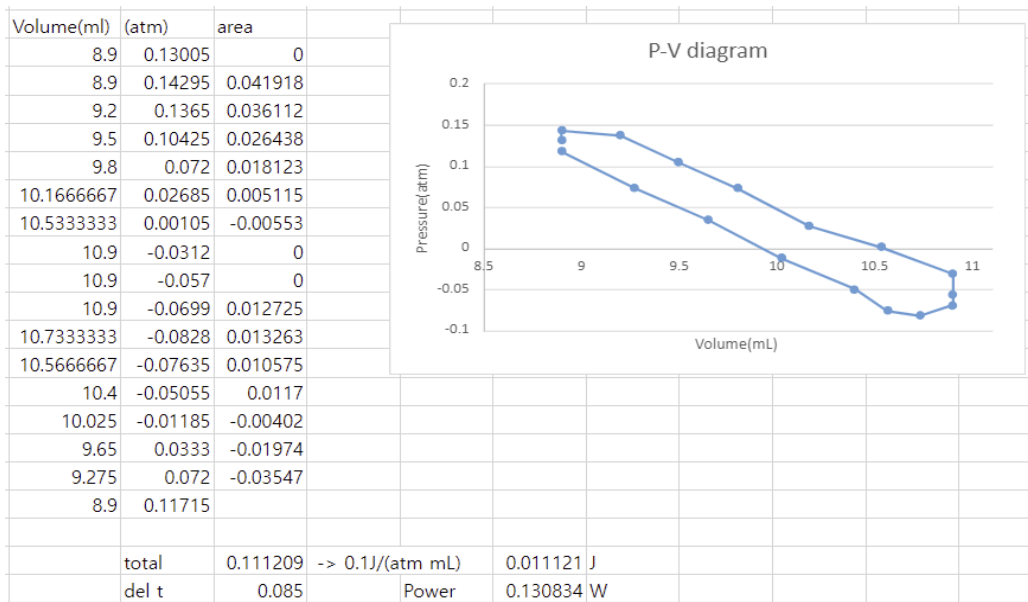


그림 11. 등적 팽창과 압축을 가정한 PV 다이어그램과 일률 계산

VI. 참고문헌

1. https://a1384-240719.cluster8.canvas-user-content.com/courses/1384~1159/files/1384~240719/course%20files/apb11o/labs/L209/L28_stirling.htm
2. https://softroboticstoolkit.com/files/sorotoolkit/files/mps20n0040d-s_datasheet.pdf
3. http://diwellshop.cafe24.com/web/DATASHEET/01_subtitle/1_Sensor/2_HallSensor/4_LinearIC/WSH135.pdf
4. https://www.electronics-tutorials.ws/opamp/opamp_5.html
5. <https://ultimateelectronicsbook.com/op-amp-voltage-buffer/>

전기도금에서 용매와 이온의 종류 및 전압에 따른 구리의 환원에 대한 화학적 고찰

소재훈(매천중), 이근우(팔공중), 이정현(고산중), 장윤서(대륜중)

지도교수: 민길식(경북대학교 화학교육과)

초 록

산화-환원 반응은 일상생활에서 발생하는 에너지 생산, 물질 변화, 화학적 반응 등과 깊은 관련이 있어 우리 삶의 거의 모든 측면에 영향을 미치고 있다고 해도 과언이 아니다. 이 산화-환원 반응에 대하여 자세히 탐구해보기 위하여 본 연구를 진행하게 되었다. 산화-환원 반응에서 용질과 용매의 종류 및 전압은 반응 정도에 큰 영향을 미친다. 따라서 본 연구에서는 용질과 용매의 종류 및 전압의 세기를 바꿔가며 전기도금 실험을 수행함으로써 최적의 도금 조건을 찾는다. 또한, 도금 과정 중 예상치 못한 실험 결과인 황산구리 용액에서의 도금 중 관찰된 줄무늬에 대해 수상치환 실험과 실제현미경 관찰로 그 원인을 규명하고, 외부 전극으로 인한 금속판의 전위차가 전기도금에 미치는 영향에 관해 탐구한다.

I. 서 론

1. 탐구 동기

화학의 산화-환원 반응 실험에 관한 책을 읽어보던 중, 산화-환원이 화학반응에 매우 많이 사용되는 것을 알 수 있었다. 이 중에서 도금이 산화-환원을 이용하는 예 중의 하나였다. 도금은 장신구와 액세서리 등의 광택을 높이는 것부터 전자기기 제조 과정, 의료 기기와 치과 용품에서까지 여러 분야에서 사용되고 있었다. 이처럼 전기도금은 실생활에서 많이 쓰이고 있으며, 도금시키는 반응에서 변수에 따라 여러 가지 결과를 얻을 수 있다는 것을 알게 되었다. 그리하여 실제 산화-환원을 통한 도금이 어떻게 일어나는지 궁금하게 되었다. 예를 들어 도금을 잘 되게 하는 방법으로 무엇이 있는지 알아보고 싶었다. 따라서, 산화-환원 반응과 관련된 여러 가지 변수를 적용하면 도금이 어떻게 이루어지는지 탐구하고자 하였다.

2. 탐구의 필요성

이 탐구의 필요성으로는 총 3가지가 있다. 첫째, 전기도금 실험의 결과를 통해서 여러 금속의 부식, 마모, 마찰 등을 개선하는 데 활용할 수 있기 때문이다. 둘째, 이 탐구의 주제인 전기도금은 산화-환원 반응의 일종으로서 다양한 화학 반응들과 밀접한 연계성을 지니기 때문이다. 셋째, 전기도금 실험을 직접 수행하면서 최적의 전압과 몰 농도를 찾기 위함이다.

3. 탐구의 목적

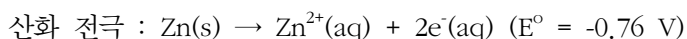
전기도금은 전기에너지를 이용하여 금속이나 비금속에 다른 금속의 피막을 입혀 주는 것인데 이때, 도금에서 입자의 배열이 고르고 흡착을 잘 되게 하려면 도금할 때의 전압과 용질 및 용액의 종류가 매우 큰 영향을 끼친다. 하지만, 실제로 여러 자료에서는 전압이나 전해질의 용질 및 용액의 종류에 대해 자세한 내용이 없다. 본 사사 연구에서는 이 탐구를 통해서 전압(1.6 V, 0 V, -1.6 V), 용질(질산구리, 황산구리, 염화구리), 용매(물, 메탄올)에 따라서 어느 조건에서 도금이 가장 잘 되는지를 찾고, 도금 실험 중에 발생한 줄무늬의 원인에 대하여 찾고자 한다.

II. 이론적 배경

1. 산화-환원 반응

산화-환원 반응을 식으로 표현하기 위해서는 산화수 외에 반쪽 반응식도 활용할 수 있지만, 두 방법 모두 공통으로 전자의 이동을 전제 조건으로 한다. 산화-환원 반응을 이용해서 만든 전지의 예로는 갈바니 전지가 있으며, 이는 구리와 아연의 산화-환원 반응을 이용해서 기전력을 만든다. 즉, 아연은 구리보다 전자를 잃기 쉬우므로 산화되기 쉽다. 따라서, 전자는 아연에서 구리로 이동하게 되고 아연금속은 음극(-)이 되며 산화 전극이 된다. 이 반응은 이온화 경향에 기인하여 자발적인 반응으로 일어난다.

갈바니 전지의 반쪽 반응식은 다음과 같다.



환원 전극 : $\text{Cu}^{2+}(\text{aq}) + 2\text{e}^{-}(\text{aq}) \rightarrow \text{Cu}(\text{s})$ ($E^{\circ} = +0.34 \text{ V}$)

전체반응식은 $\text{Zn}(\text{s}) + \text{Cu}^{2+}(\text{aq}) \rightarrow \text{Zn}^{2+}(\text{aq}) + \text{Cu}(\text{s})$ ($E^{\circ} = +1.1 \text{ V}$)이다.

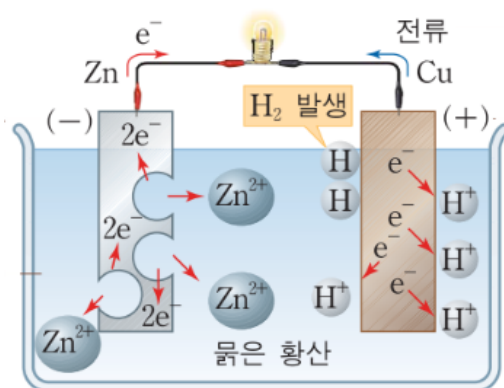


그림 1. 갈바니 전지(또는 볼타 전지)의 도식화 (출처: ZUM 학습백과)

어떤 물질이 산화되었다는 것은 전자를 빼앗겼다는 이야기이다. 그러면 전자를 빼앗아 간 물질이 있을 것이다. 전자를 내놓는 물질이 있으면 반드시 전자를 얻는 물질이 동시에 그 주변에서 일어나게 된다. 이를 산화 환원 반응의 동시성이라고 한다.

소듐 고체와 염소 기체가 만나면 NaCl 고체인, 소금이 생기는데, 이때, 엄청난 양의 빛을 내면서 소금이 생긴다. 이 과정에서, Na는 전자를 잃고, Cl은 전자를 얻어서, Na는 산화되고 Cl은 환원된다. 산화되는 반응을 산화 반쪽 반응, 환원되는 반응을 환원 반쪽 반응이라고 한다. 이 반응에서 Na를 환원제(reducing reagent)라고 한다. Cl₂는 Na에서 전자를 빼앗아 와서 환원되었지만, 반개로 Na를 산화시켰으므로 산화제가 된다.

주기율표에서 왼쪽 아래쪽에 있는 금속일수록 전자를 잃기 쉬운 금속이고, 오른쪽 위로 갈수록 전자를 얻으려는 경향이 강한 비금속 물질이다. 오른쪽 위로 갈수록 산화제로 작용하기가 쉽고 왼쪽 아래로 갈수록 환원제로 작용하기가 쉽다.

2. 표준 환원 전위와 금속의 반응성

금속의 반응성은 금속 원자가 산화되어 양이온이 되려는 성질이다. 금속의 반응성이 커질수록 전자를 잃고 양이온이 되기 쉬우며 부식되거나 변색되기 쉽다. 다른 물질로부터 분리하는데 많은 에너지가 소모되고 환원성이 크다. 아래의 그림 2는 금속의 반응성이 큰 원소부터 나열한 표이다.

표준 환원 전위(standard reduction potential)는 표준 수소 전극과 환원이 일어나는 반쪽

전지를 결합시켜 만든 전지에서 측정한 전위를 말한다. 기호는 E° 로 나타낸다. 표준 환원 전위 값이 클수록(양의 값) 표준 상태에서 수소 이온 보다 환원이 잘 되는 것을 의미하며, 이 값이 작을수록(음의 값) 표준 상태에서 수소 이온 보다 환원이 어렵다는 것을 의미한다. 그러므로, 표준 환원 전위 값이 큰 것을 양극에 연결하고 그 값이 작은 것을 음극에 연결하면 자발적으로 작동하는 전지를 구성할 수 있으며, 이때 전지의 기전력은 표준 환원 전위 값의 차가 클수록 커진다.

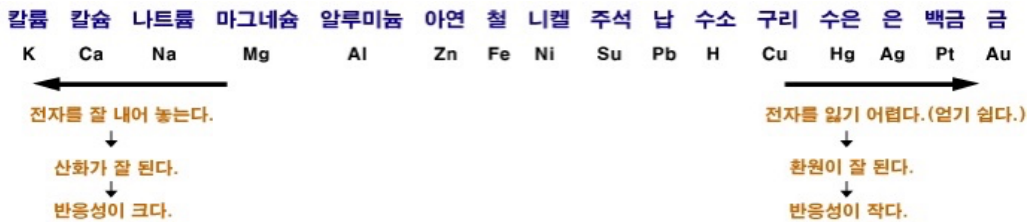


그림 2. 금속의 반응성을 나타낸 표

(출처: Science ORC, <http://scienceorc.net/science/study/hwahak/h08-18.html>)

이 표준 환원전위 중 본 연구에서는 구리와 아연의 표준 환원 전위를 이해하면 된다(구리의 표준 환원 전위: $\text{Cu}^{2+} + 2e^- \rightarrow \text{Cu}(s)$ (표준 환원전위 : $E^\circ = +0.34 \text{ V}$), 아연의 표준 환원전위: $\text{Zn} \rightarrow \text{Zn}^{2+} + 2e^-$ (표준 환원전위 : $E^\circ = -0.76 \text{ V}$)). 표준 환원전위 표는 환원이 잘 되는 순서대로 표시한 것으로 상대적으로 구리는 전자를 얻기 쉽고 아연을 전자를 잃기 쉽다는 것을 알 수 있다. 그리고 아연이 전자를 주고 구리가 받는 정도를 종합적으로 $+1.1 \text{ V}$ (= $+0.34 \text{ V} - (-0.76)$)라고 나타낼 수 있다.

화학종의 표준 환원전위(E°)를 이용하여 둘 이상의 산화제와 환원제를 환원되는 정도의 순서에 따라 나열할 수 있고, 많은 산화 환원 반응이 자발적인지 혹은 비자발적인지를 예상할 수 있게 된다.

표준 환원전위를 통하여 자유에너지(Free energy)를 구할 수 있다. 깁스 자유 에너지(Gibbs free energy), 즉 자유에너지는 일정한 온도와 압력에서 시스템(계)에 의해 가역적 또는 최대한으로 뽑아낼 수 있는 에너지(포텐셜)의 척도이다. $\Delta G^\circ = -RT \ln K^\circ = -nFE^\circ$ (ΔG° = 표준 자유에너지, R = 기체상수, T = 절대온도, n = 이동한 전자의 몰 수, K° = 평형상수, F = 페러데이 상수). 이 식을 통해 평형상수와 표준전압의 식을 유도할 수 있다. $E^\circ < 0$ 인 경우에는 $\Delta G^\circ < 0$, $K^\circ > 1$ 이므로 정반응이 우세하게 일어나고, $E^\circ > 0$ 인 경우에는 $\Delta G^\circ > 0$, $K^\circ < 1$ 이므로 역반응이 우세하게 일어난다.

3. 전기도금

전기도금(Electroplating)은 전기에너지를 이용하여 금속 소재에 다른 금속의 피막을 만들어주는 방법이다. 일반적으로 도금으로 입힐 금속을 양극(+)으로, 피도금체를 음극(-)으로 하여 양극의 금속 이온을 가진 전해질을 통해서 전기를 흘려주어 양극의 금속 이온을 음극에서의 금속 표면에 전착 및 석출하게 한다. 전기도금은 전해질에서 금속 이온의 자유로운 이동을 전제로 하며, 금속의 이온화 및 석출 여부에 따라 도금 현상 발생의 여부가 결정된다. 또한, 사용하는 전지 전위의 크기, 금속의 이온화 경향, 전해질의 농도 및 종류, 용매의 종류 등의 요인에 따라 도금의 결과가 달라질 수 있다. 전기도금은 전기분해를 이용하는 것이므로 금속의 이온화 경향의 영향이 상대적으로 적다. 이것은 전기분해는 비자발적이고 이온화 경향은 자발적으로 일어나는 것과 연관이 있다. 예를 들면, 특정 금속을 음극으로 하고 구리 금속을 양극으로 하여 전위를 걸어주면 구리 금속은 이온화가 일어나고 이 구리 이온은 음극의 금속 표면에서 석출되면서 도금이 되는 것이다. 이때, 금속 간의 전위차가 도금에 영향을 주게 되고 용액 속에 도금하려는 금속 이온 용액을 사용하면 효과적으로 도금을 할 수 있게 될 것이다. 본 연구에서는 아연판과 구리판을 사용하여 도금하였으며 그 원리는 다음과 같다.

1) 자발적인 도금

- 두 금속판을 전선으로 연결한 경우, 걸어준 전압 : 0 V

이 경우에는(그림 3) 원래 아연판의 아연 이온과 구리 수용액의 구리 이온 간의 표준 환원전위인 1.1 V로만 전자가 이동하게 되는 것이다. 이에 따라 아연판은 산화되고, 구리 이온은 환원되어서 아연판 위에 구리 금속의 형태로 도금되는 것이다. 두 금속판을 연결하면 아연판이 산화되었을 때 전자가 전선을 타고 구리판 쪽에서의 구리 이온을 환원시키는 데와 아연판 쪽의 구리 이온을 산화시키는 데 모두 사용되므로 양쪽으로 이동하게 되고, 아연판에 구리 금속의 형태로 도금되는 구리 이온의 양이 줄어들게 되는 것이다. 이에 따라 아연판 표면이 고르게 도금된다. 이런 상황에서 전자가 나누어져 이동하므로 가장 도금량이 적다. 또, 이와 같은 도금의 경우 구리판의 질량 변화보다 아연판의 질량 변화량이 더 큰데, 이는 표면에서 바로 도금이 일어나는 아연판과 달리, 구리판에서는 바로 도금이 일어나지 않고 전선을 지난 전자가 도금을 일으키고, 아연판은 이온화가 되는 데 반해 구리판은 이온화가 되지 않고 도금만 되기 때문이다.

- 두 금속판을 전선으로 연결하지 않은 경우, 걸어준 전압 : 0 V

이 경우도(그림 4) 원래 아연판의 아연 이온과 구리 수용액의 구리 이온 간의 표준 환원전위인 1.1 V로만 전자가 이동하게 되는 것이다. 이로 인해 아연판은 산화되고, 구리 이온은 환원되어 아연판과 구리판 구리 금속의 형태로 도금되는 것이다. 다만, 이 경우에는 아연판에서 구리판으로의 전자 이동이 없어서 상대적으로 ‘두 금속판을 전선으로 연결한 경우’보다는 도금량이 많을 것이다. 따라서 이 경우에는 구리판이 실험 결과에 큰 영향을 주지 않는다.

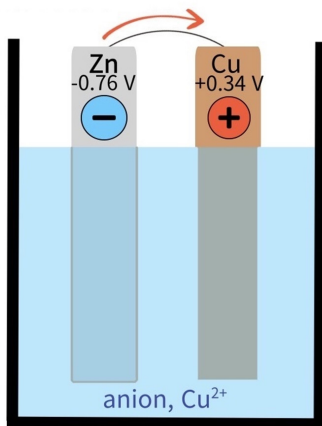


그림 3. 전선으로 연결한 경우(전자는 음극인 아연판에서 양극인 구리판으로 이동하므로 아연판이 보유한 전자의 양이 줄어들며, 즉 도금 반응 덜 활발하게 일어남)

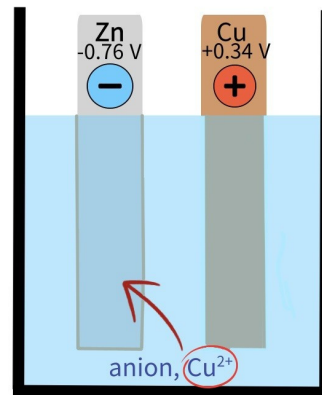


그림 4. 전선으로 연결하지 않은 경우(아연판과 구리 이온 간의 표준 환원전위 1.1V 로만 도금 반응이 일어남)

2) 비자발적인 도금

- 정방향(구리 쪽을 +극, 아연 쪽을 -극에 연결하여 두 금속판을 전선으로 연결한 경우, 걸어준 전압: 1.6 V)

전지의 영향으로 아연판 쪽으로 음전하(전자)가 이동하게 되고, 아연판이 음전하를 띠게 된다. 이후 아연판에 구리 이온이 환원되어서 구리 이온은 구리 금속의 형태로 아연판 위에 도금된다(그림 5).

- 역방향(구리 쪽을 -극, 아연 쪽을 +극에 연결하여 두 금속판을 전선으로 연결한 경우, 걸어준 전압: -1.6 V)

전지의 영향으로 인해 구리판 쪽으로 음전하(전자)가 이동하게 되고, 구리판이 음전하를

떨게 된다. 이후 구리판에 구리 이온이 환원되어서 구리 이온은 구리 금속의 형태로 도금되게 된다. 이와 동시에, 아연판과 구리 전해질이 원래 아연판의 아연 이온과 구리 수용액의 구리 이온 간의 표준 환원전위인 1.1 V로 인해 추가적 산화 환원 반응을 하게 된다. 갈바니 전지에 서와 마찬가지로 아연판은 산화되어 아연 이온의 형태로 용액에 녹아 들어가게 되고, 이때 생긴 전자로 인해 구리 이온이 환원되면서 아연판에서도 도금이 일어나게 된다(그림 6).

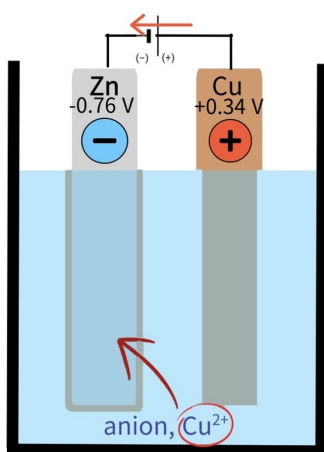


그림 5. 총 전위차 2.7 V, 정방향추가적인 1.6 V의 전위차에 의해 구리판에서 아연판으로 다량의 전자가 이동하고 도금 반응이 활발히 진행됨)

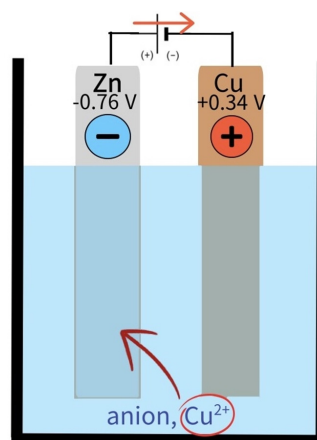


그림 6. 총 전위차 -0.5 V, 역방향역전압이 걸리기 때문에 이동하는 전자의 양은 감소하고 전자의 이동방향이 반전되므로 도금량이 적음)

4. 용매의 특성

1) 극성 용매

분자에서 원자의 배열과 관련된 구조가 비대칭적일 때 극성이 생긴다. 극성은 분자의 전자적 분포가 균등하지 않기 때문에 나타나며, 극성 물질은 중성의 분자에서 부분적인 양전하(δ^+)와 부분적인 음전하(δ^-)를 띠게 된다. 이것으로 인해 분자에 쌍극자 모멘트가 생긴다. 대칭성과 원자의 종류에 따라서 극성의 크기는 다양하게 나타난다. 극성 용매는 다른 극성 용매와의 상호작용이 매우 크며, 이온성 물질과도 상호작용이 크다. 이는 이온성 물질의 극성 용매에 대한 용해도에 영향을 주며, 산화-환원 반응의 활성화 정도에도 영향을 준다.

주로 사용하는 극성을 가진 용매로는 물, DMSO, MeCN, DMF, 메탄올, 에탄올, 아세톤, CH_2Cl_2 , THF, CHCl_3 등이 있다. 물에서 시작하여 오른쪽으로 갈수록 유전 상수가 낮아지므로 극성이 낮아진다고 할 수 있다. 이때 유전 상수는 어떤 물질의 유전율과 진공 상태의

유전을 사이의 비율이다. 이는 전기장을 걸어 측정할 수 있고, 전기장에 영향을 많이 받으면 유전 편극이 크게 나타날수록 유전 상수의 값이 크다. 따라서, 유전 상수가 크다는 것은 유전 편극이 크다는 의미이며 이는 극성이 크다는 것을 뜻하게 된다.

2) 무극성 용매

분자의 구조가 완전 대칭성을 가지고 있어서 쌍극자 모멘트가 0이 되는 용매이다. 따라서 반응성이 작은 편이고, 산화-환원이 잘 일어나지 않는다. 무극성 용매는 극성이 작은 물질 또는 용매와 잘 혼합된다. 또한, 무극성 용질을 녹이는 데 사용된다. 예로는 벤젠, CCl_4 가 있다. 극성의 차이가 클수록 용매는 잘 혼합되지 않고 분리되는 층을 형성한다. 예로는 벤젠과 물, CCl_4 와 물, 클로로폼과 물, 에테르와 물 등이 있다.

5. 유효숫자 및 데이터 처리

1) 유효숫자

측정값에 유효한 데이터를 지니는 숫자를 칭하는 말로, 실험 데이터를 처리할 때 유효숫자를 몇 자리까지 인정하느냐에 따라 연구 결과의 정확성이 달라진다. 사용하는 측정 도구의 눈금 간격, 측정 단위의 SI 접두어를 고려하여 유효숫자를 정한다. 본 실험을 수행할 때 처음에는 g 단위로 측정되는 전자저울을 사용했으나, 도금 실험의 특성상 질량 변화가 매우 적은 점을 고려하여 mg 단위로 측정되는 정밀 저울을 사용했기 때문에 측정 유효숫자를 4자리로 정했다. 또한, 전압계의 눈금이 갖는 유효숫자도 측정값의 최대 자릿수인 3자리로 정했다.

2) 유효숫자 확인의 예

- 모든 자리의 숫자가 0이 아닌 경우 모두 유효숫자로 간주한다. 예를 들면 123.45는 다섯 개(1, 2, 3, 4, 5)의 유효숫자를 가진다.
- 0이 아닌 숫자로 둘러싸인 자리의 0은 유효숫자이다. 예를 들면 101.12는 다섯 개(1, 0, 1, 1, 2)의 유효숫자를 가진다.
- 소수점 아래의 끝자리에 있는 0은 유효숫자이다. 예를 들면 12.2300은 여섯 개(1, 2, 2, 3, 0, 0)의 유효숫자를 가진다. 120.00은 다섯 개(1, 2, 0, 0, 0)의 유효숫자를 가진다.

6. 수상치환

수상치환은 물속에서 기체를 포집하는 방법이다. 물을 가득 채운 용기의 입구를 아래로 향하게 하여 물에 넣고 용기 안으로 기체를 모은다. 비교적 순수한 기체를 포집할 수 있고 포집되는 기체의 양을 알 수 있다는 장점이 있지만, 수용성을 띠는 기체에는 사용할 수 없다는 단점이 있다. 수상치환을 이용하여 수소, 산소, 질소 등을 포집할 수 있다.

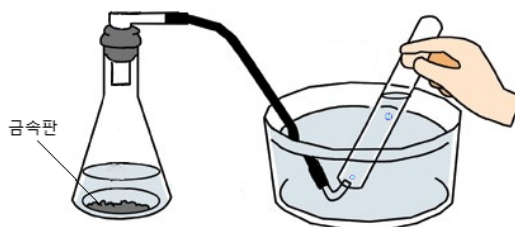


그림 7. 수상치환 장치의 일반적인 예

Ⅲ. 연구방법

1. 실험 준비

- 실험 시 온도

별도로 온도를 일정하게 유지할 방법은 없었기에 상온을 기준으로 삼아 실험이 진행되었다.

- 도금판 고정을 위한 장치 제작

박스 조각을 비커 위에 올리기 적절한 정도(약 6 cm × 8 cm)로 자른다. 박스 조각에 구리판과 아연판을 끼울 수 있도록 커터 칼로 금속판 1개의 폭에 해당하면 약 2 cm 정도의 두 개의 틈을 낸다. 이때, 두 개의 틈은 실험의 종류에 따라 서로 마주 보거나 수직으로 만든다.

- 도금 실험에 사용한 금속

용매의 성질과 용질의 성질, 그 금속의 성질을 고려해 본 결과 구리판과 아연판이 가장 적절하다고 판단해 그 두 가지 종류의 금속판을 실험에 사용하기로 결정했다. 금속판의 대략적 크기 (구리판, 아연판: 약 2 cm × 10 cm)

• 도금 실험에 사용한 용매

극성이 높은 용매가 이온결합 물질을 용해하는 데 유리하므로 상대적으로 극성이 높은 용매 중 이용하기에 물리적 성질(끓는점 등)을 고려해 물(H₂O)과 메탄올(CH₃OH)를 선택하여 사용했다. 물을 용매로 사용할 때는 용해도가 충분해서 용질이 모두 용해되었으나 메탄올의 경우 상온에서 질산구리 3수화물(Cu(NO₃)₂ · 3H₂O)을 모두 녹이기 충분하지 않은 경우 물과 에탄올을 1:1로 희석해 사용하였다.

• 도금 실험에 사용한 용질

다른 금속보다 반응성이 작고, 색 변화가 선명하게 나타나 실험 과정을 관찰하기 유용한 구리 수화물을 용질로 선택했다. ①질산구리 3수화물(Cu(NO₃)₂ · 3H₂O), ②염화구리 2수화물(CuCl₂ · 2H₂O), ③황산구리 5수화물(CuSO₄ · 5H₂O)을 실험에 사용하였다.

• 용액에 금속판을 담가서 도금시킬 때 담그는 정도

여러 예비 실험의 결과를 토대로 2 cm 정도가 질량 측정과 도금 정도 확인에 적절하다고 판단하여 2 cm 정도를 용액에 담그도록 정했다.

• 금속판을 사용할 때의 표시

금속판의 2 cm를 용액에 담가서 실험해야 하므로 2 cm를 표시해야 했다. 따라서 유성 네임펜을 이용하여 자로 측정한 2 cm를 표시하였다. 그런데 유성 네임펜으로 표시한 금속을 메탄올 용액으로 실험할 때, 유성 네임펜이 용액에 녹아 확산하였다. 정확한 실험을 하기 위해 네임펜으로 표시하던 것을 연필이나 샤프의 흑연으로 표시했다. 또, 그 금속판을 어떤 용액에 담가 실험했는지 쉽게 알아볼 수 있도록 그 금속판의 윗부분(담그지 않는 부분)에 표시했다. 또한, mg 단위로 질량 변화를 확인하는 도금 실험에서는 금속에 표시하는데 필요한 네임펜 잉크(또는 흑연)의 질량이 오차의 원인으로 작용할 수 있다는 점을 인지하여, 필요한 표시를 완료한 후 초기 질량을 측정했다.

• 도금 시 사용한 전압

도금할 때 3가지 경우로 나누어 전압을 걸었다. 구리판에 (+) 극, 아연판에 (-) 극을 연결하였을 때가 정방향 도금이고, 그 반대로 연결하였을 때를 역방향이므로 이를 각각 1.6 V, -1.6 V로 표시하였다. 또, 아무런 전압을 걸지 않았을 때는 0 V로 표시하였다.

• 실험할 때 기본 준비 사항

1. 흘린 용액이나 떨어진 용질 등 여러 화학물질을 흡수하거나 닦는 데 킴테크 와이퍼를 사용했다.
2. 실험하기 전 손을 보호하기 위해 보호장갑(ARsoft Nitrile Examination Gloves)을 착용했다.
3. 사용하고 남은 용액은 바이알 병에 담아 보관하거나 삼각플라스크에 파라 필름을 씌워 보관했다.
4. 용액 제조 과정에서 용질의 용해도 때문에 용질을 모두 용해시키기 어려운 경우, 초음파 세척기를 이용해 모두 용해시켰다.
5. 건전지는 배터리 홀더에 끼워서 사용하였다. 또, 하나의 전지를 여러 번 사용하는 경우에는 사용할 때마다 전압계로 전압을 측정해 약 1.6 V(오차범위 ± 0.1 V)의 일정한 전압을 사용하였다.

• 실험 데이터 측정 시 주의사항

1. 금속관의 질량을 정밀 저울을 사용하여 측정할 때, 영점 조절 및 수평 조절을 필수적으로 시행해야 한다. 또한, 측정할 물체를 넣은 뒤 덮개를 꼭 닫은 채로 액정에 표시되는 질량 값이 일정하게 유지될 때까지 기다려야 한다.
2. 물과 메탄올을 섞어 만든 용액의 몰 농도를 계산해야 할 때, 물의 부피와 메탄올의 부피를 합친 값보다 물과 메탄올의 혼합물의 부피가 더 작다.
3. 측정 시 유효숫자 범위를 감안해서 정밀하게 측정해야 한다.
4. 플라스틱 약 접시나 스포이트 등을 실험에 활용할 때 메탄올이 플라스틱을 녹여 실험 결과에 영향을 줄 수 있으므로 메탄올과 플라스틱 기구가 직접 닿지 않도록 한다.

2. 사전 실험 (반응 시간, 적정 전압, 적정 용매 농도 설정)

산화-환원 반응을 확인하는 실험에 필요한 통제 변인의 적정 범위 확인 및 설정을 위해서 실험 조건을 정하기 위해 수행한다.

1) 반응시키는 시간 설정 실험

- (1) 준비물: 건전지, 금속관(Cu, Zn), 증류수, 100 mL 비커, 약포지, 약순가락, 용질 (질산구리 3수화물), 전자저울, 전선과 스위치, 네임펜, 커터 칼, 유리 막대, 전압계, 박스 조각, 증류수

(2) 가설설정: 전기도금을 10분 하고, 1 M로 용질 농도를 설정했을 때가 반응속도를 측정하기가 가장 적절할 것이다.

(3) 변인통제

- 통제변인: 도금이 일어나는 주변의 환경, 전지의 전압(1.6 V, 3.2 V), 사용하는 용액의 농도(0.1 M, 0.25 M), 용질의 종류(질산구리 3수화물)
- 조작변인: 전기도금을 하는 시간(1 분, 3 분, 5 분, 10 분)
- 종속변인: 도금 시 아연판에 석출된 구리 금속의 흡착성, 도금된 구리 금속의 양

(4) 실험방법

- ① 부피 플라스크와 증류수를 활용하여 100 mL 1 M 수용액을 만든다.
- ② 100 mL 비커에 질산구리 3수화물 1 M 수용액을 100 mL 부은 뒤 금속판과 전지를 연결하여 전류를 흘려 도금한다.
- ③ 시간에 따라 금속이 도금되는 정도를 관찰하고 기록한다.
- ④ 도금된 금속판을 건조시킨 뒤 씻기병을 이용하여 증류수를 가해 금속 입자가 쓸러나가는 정도를 확인한다. 또한 도금된 부분을 굽어 냄으로써 도금된 금속의 두께 및 양을 비교한다.
- ⑤ 반응이 일어나는 시간을 달리해 실험을 반복한다.

(5) 사전실험 결과:

가설과는 반대로 10 분을 도금하니 구리 금속이 불필요하게 많이 도금되어, 용질 별로 1, 3, 5 분으로 반응시간을 달리해 최적의 시간을 찾고자 했다. 그 결과 3 분 동안 도금했을 때 금속 입자가 고르게 붙고 흡착력이 제일 우수하였다.

2) 적정 전압 설정

- (1) 준비물: 건전지 2 개, 금속판(Cu, Zn), 증류수, 비커, 약포지, 약순가락, 용질(질산구리 3수화물), 전자저울, 전선과 스위치, 네임펜, 커터칼, 유리막대, 전압계, 박스 조각
- (2) 가설설정: 3.2 V의 전압을 가했을 때 석출되는 구리 금속 입자가 더 많을 것이고, 1.6 V의 전압을 가했을 때 석출되는 구리 금속 입자의 양은 더 적지만 표면

은 더 고르게 도금될 것이다.

(3) 변인통제

- 통제변인: 도금이 일어나는 주변의 환경(온습도, 바람 등), 용질의 종류(질산구리 3수화물), 용매의 종류(물), 용액의 양(각 100 mL씩 제조, 50 mL씩 계량)
- 조작변인: 사용하는 전지의 전압(1.6 V, 3.2 V)
- 종속변인: 도금 시 아연판에 석출된 구리 금속의 흡착성, 도금된 구리 금속의 양

(4) 실험과정

- ① 질산구리($\text{Cu}(\text{NO}_3)_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$) 수용액 0.1 M, 0.25 M를 각각 100 mL씩 제조하고, 금속 판 4 쌍(구리판, 아연판 1 개씩을 한 쌍으로 간주함)의 초기 질량을 측정한다.
- ② 질산구리 수용액 50 mL 씩을 계량하여 50 mL 비커에 2 개에 각각 넣는다.
- ③ 구리판에 양극 전선, 아연판에 음극 전선을 연결해서 1.6 V의 추가적인 전위차를 관찰한다.
- ④ 도금된 아연판을 완전히 건조시킨 뒤 질량을 재어 질량 변화를 확인한다.
- ⑤ 회로에 건전지를 하나 더 직렬로 연결한 뒤 ②번부터 ③번까지의 과정을 반복한다.

(5) 사전 실험결과

3.2 V보다 1.6 V에서 구리 입자가 더 적게 달라붙었지만, 입자가 더 고르게 배열되었다. 3.2 V를 사용하여 도금 실험을 했을 때 도금층이 매우 두껍게 생겼지만 약간의 자극에도 쉽게 떨어졌다. 따라서 실험할 때 사용할 최적 전극 전압은 1.6 V를 기준으로 설정하였다.

3) 농도 실험

- (1) 준비물: 증류수, 질산구리, 약순가락, 비커, 스포이트, 약포지, 전자저울, 건전지 2 개, 종이 박스, 구리판, 아연판
 - ※ 비커: 유리이므로 깨짐에 유의하고, 비커를 옮겨서 사용할 때 한 손으로 비커를 받친 채 다른 손으로 비커를 잡고 이동한다.
- (2) 가설설정: 전해질의 농도가 높을수록 도금되는 금속의 양이 많아져 질량 변화가 클 것이다.

(3) 변인통제

- 통제변인: 도금이 일어나는 주변의 환경(온습도, 바람 등), 용질의 종류(질산구리 3수화물), 용매의 종류(물), 용액의 양(각 100 mL씩 제조, 50 mL씩 계량)
- 조작변인: 사용하는 용질의 농도(질산구리 0.1 M, 0.25 M)
- 종속변인: 도금 시 아연판에 석출된 구리 금속의 흡착성, 도금된 구리 금속의 양

(4) 탐구과정

가. 1.6 V로 도금 실험하기

- ① 도금 전 아연판의 무게를 측정한다.
- ② 구리판에 (+) 선을 연결하고, 아연판에 (-) 선을 연결한다.
- ③ 0.1 M 수용액 100 mL에 구리판과 아연판을 2 cm 깊이로 3 분간 담근다.
- ④ 0.25 M 수용액 100 mL에 구리판과 아연판을 2 cm 깊이로 3 분간 담근다.
- ⑤ 도금한 아연판을 상온에서 건조시킨 후 아연판 2 개의 무게를 측정하고 늘어난 질량을 구한다.

나. 3.2 V로 도금 실험하기

- ① 도금전 아연판의 무게를 측정한다.
- ② 구리판에 (+) 선을 연결하고, 아연판에 (-) 선을 연결한다.
- ③ 0.1 M 수용액 100 mL에 구리판과 아연판을 2 cm 깊이로 3 분간 담근다.
- ④ 0.25 M 수용액 250 mL에 구리판과 아연판을 2 cm 깊이로 3 분간 담근다.
- ⑤ 도금한 아연판을 상온에서 건조시킨 후 아연판 2 개의 무게를 측정하고 늘어난 질량을 구한다.

도금 3분 후	0.1 M	0.25 M	도금 전	0.1 M	0.25 M
1.6 V	4266.4 mg (3.4 mg 증가)	4534.6 mg (11.3 mg 증가)	1.6 V	4263.0 mg	4523.3 mg
3.2 V	4514.5 mg (7.2 mg 증가)	4189.9 mg (35.9 mg 증가)	3.2 V	4507.3 mg	4154.0 mg

0.1 M 수용액에 1.6 V로 실험했을 때는 3.4 mg이 늘어났고, 0.1 M 수용액에 3.2 V로 실험했을 때는 11.3 mg이 늘어났다. 그리고 0.25 M 수용액에 1.6 V로 실험했을 때는 7.2 mg이 늘어났다. 마지막으로 0.25 M 수용액에 3.2 V로 실험했을 때는 35.9 mg이 늘어났다. 이를 통해서 도금 시 금속에 담그는 용액의 몰농도가 진하면 도금된 양은 늘어난다.

다는 사실을 알게 되었다.

본실험 1. 용질 종류, 전압을 달리한 도금 실험-용매가 물일 때

- (1) 준비물: 저울, 약포지, 약순가락, 질산구리 3수화물, 염화구리 2수화물, 황산구리 5수화물, 50 mL 비커 9개, 네임펜, 커터칼, 유리막대, 증류수, 씻기병, 구리판과 아연판 9 쌍, 전선, 건전지 1개, 전압계, 박스 조각
- (2) 가설설정: 황산구리 5수화물, 염화구리 2수화물, 질산구리 3수화물 순으로 구리 금속 석출량이 많을 것이다. 도금이 잘되는 것은 이온의 개수와 크기에 관련 있을 것이다. 황산구리는 이온화 되었을 때 음이온의 개수가 1개이고, 나머지는 2 개이므로 속도가 황산구리가 가장 빠를 것이며, 염화구리와 질산구리는 음이온의 크기에 따라서 달라질 것이다.
- (3) 변인통제
 - 통제변인: 도금이 일어나는 주변의 환경(온습도, 바람 등), 용질의 종류(질산구리 3수화물), 용매의 종류(물), 용액의 양(각 100 mL씩 제조, 50 mL씩 계량)
 - 조작변인: 사용하는 용질의 종류(질산구리 3수화물, 염화구리 2수화물, 황산구리 5수화물), 전압(1.6 V, 0 V, -1.6 V)
 - 종속변인: 도금 시 아연판에 석출된 구리 금속의 흡착성, 도금된 구리 금속의 양
- (4) 실험과정
 - ① 질산구리 3수화물, 염화구리 2수화물, 황산구리 5수화물 용액 0.1 M을 각각 150 mL씩 제조한다.
 - ② 종이박스 조각을 사용하여 구리판, 아연판을 모두 용액에 2 cm가 잠기도록 한 뒤 60 초 후 도금 결과를 관찰한다. 각각의 용액마다 1.6 V는 구리판에 양극 전선, 아연판에 음극 전선을 연결해 실험한다. 0 V는 전선을 따로 연결하지 않고, -1.6 V는 전극을 반대로 연결해 60 초동안 도금을 진행한다.
 - ③ 도금된 아연판을 완전히 건조시킨 뒤 질량을 재어 질량 변화를 확인한다.
 - ④ 건조가 종료되면 씻기병을 사용하여 금속판 위에 물을 뿌림으로서 도금 성공 여부를 확인한다.

본실험 2. 용질 종류, 전압을 달리한 도금 실험-용매가 메탄올일 때

- (1) 준비물: 저울, 약포지, 약순가락, 질산구리 3수화물, 염화구리 2수화물, 황산구리 5수화물, 50 mL 비커 9 개, 네임펜, 커터칼, 유리막대, 증류수, 메탄올, 씻기병, 부피플라스틱, 구리판과 아연판 9 쌍, 전선, 건전지 1 개, 전압계, 종이박스 조각, 증류수
- (2) 가설설정: 이온 전하량의 곱에 의거하여 황산구리 5수화물, 염화구리 2수화물, 질산구리 3수화물 순으로 구리 금속 석출량이 많을 것이다. 예상할 수 있는 부분에서 더 첨가(극성 관련 등)하고 메탄올이 물보다 극성이 더 작아서 도금되는 정도(속도)가 느릴 것이고, 더 느리게 도금됨에 따라서 표면이 더 고르게 도금될 것이다.
- (3) 변인통제
 - 통제변인: 도금이 일어나는 주변의 환경(온습도, 바람 등), 용질의 종류(질산구리 3수화물), 용매의 종류(물), 용액의 양(각 100 mL씩 제조, 50 mL씩 계량)
 - 조작변인: 사용하는 용질의 종류(질산구리 3수화물, 염화구리 2수화물, 황산구리 5수화물), 전압(1.6 V, 0 V, -1.6 V)
 - 종속변인: 도금 시 아연판에 석출된 구리 금속의 흡착성, 도금된 구리 금속의 양
- (4) 실험과정
 - ① 질산구리 3수화물, 염화구리 2수화물 메탄올 용액 0.1 M과 황산구리 5수화물 메탄올 용액 0.05 M을 150 mL 제조한다. 황산구리 5수화물의 경우 용해도를 고려하여 불가피하게 0.05 M로 제조한다.
 - ② 50 mL 비커 각각에 각 용액 50 mL씩을 넣고 금속판의 초기 질량을 측정한다.
 - ③ 각 비커에 종이박스 조각을 사용하여 구리판, 아연판을 모두 용액에 2 cm가 잠기도록 한 뒤 60 초 후 도금 결과를 관찰한다. 각각의 용액마다 1.6 V는 구리판에 양극 전선, 아연판에 음극 전선을 연결해 실험한다. 0 V는 전선을 따로 연결하지 않고, -1.6 V는 전극을 반대로 연결해 60 초 동안 도금을 진행한다.
 - ④ 도금된 아연판을 완전히 건조시킨 뒤 질량을 재어 질량 변화를 확인한다.
 - ⑤ 건조가 종료되면 씻기병을 사용하여 금속판 위에 물을 뿌림으로서 도금 성공 여부를 확인한다.

2. 추가실험

1) 줄무늬 확인 실험 (I)

- 실험목적: 줄무늬의 원인이 수소기체의 발생이라는 가설을 확인하는 것이다.
- 가설설정: 줄무늬는 산화-환원 반응으로 인해 음극에서 발생한 수소기체와 금속판의 화학반응 때문에 나타났을 것이다.
- 준비물: septum 11호, 항온조, 가지달린 삼각플라스크 300 mL, 구리판, 아연판, 황산구리 5수화물 0.1 M 수용액, 호스, 시험관, 증류수
- 실험과정
 - ① 가지달린 삼각 플라스크에 황산구리 5수화물 수용액 100 mL와 구리판과 아연판 각각 3장을 잘라 넣는다.
 - ② 가지달린 삼각 플라스크에 호스를 연결하고 삼각 플라스크 입구를 septum 11호로 막는다.
 - ③ 항온조 안에 물을 채우고 호스와 시험관 안에 물이 들어가도록 수상치환 장치를 구성한다.
 - ④ 가지달린 삼각 플라스크를 회전시켜 내용물이 잘 섞이도록 하고 septum 11호에 공기를 모은다.
 - ⑤ 모은 공기를 가스점화기에 가져다 대었을 때 퍽 소리를 내며 타는지를 확인한다.

* 주의사항: 처음 모아지는 공기들은 새로 생성된 공기가 아닌 가지달린 삼각 플라스크에 원래 들어있던 공기일 확률이 높으므로 처음 모은 공기는 버린 뒤 모은다.

2) 줄무늬 확인 실험 (II)

- 실험목적: 두 금속판에 추가적인 전위차를 발생시키지 않고 전자의 이동만 자유롭게 만들어주었을 때 줄무늬 생성 여부를 확인하는 것이다.
- 준비물: 100 mL 비커, 50 mL 비커, 100 mL 눈금실린더, 부피플라스크 100 mL, 씻기병, 메탄올, 박스조각, 금속판 5 쌍, 집게전선 1 개, 증류수, 황산구리 5수화물, 염화구리 2수화물, 질산구리 3수화물
- 가설설정: 아연판이 잠긴 부분의 표면에 검고 어두운 색의 세로 줄무늬가 나란하게 맨눈으로 잘 보이도록 나타날 것이다.
- 실험과정
 - ① 황산구리 5수화물, 메탄올 용액 0.05 M를 100 mL 제조하고, 50 mL의 용액을

50 mL 비커에 따로 취한다.

- ② 50 mL 비커 위에 박스 조각을 사용해서 구리판과 아연판이 각각 2 cm 잠기도록 고정한다.
- ③ 두 개의 금속판을 집게전선으로 연결한다.
- ④ 금속판을 용액에 담근 뒤 1 분 동안 도금 과정을 관찰한다.
- ⑤ 도금된 아연판을 건조시키고 질량 변화를 측정 한 뒤 아연판의 무늬를 관찰한다.
- ⑥ 위 과정을 용질을 염화구리 2수화물, 질산구리 3수화물로 바꿔가며 실행한다.
(이 때, 염화구리와, 질산구리는 농도가 낮은 경우 줄무늬가 관찰되는 지 여부를 알기 위해 0.01 M 메탄올 용액도 제조하여 위 실험을 진행함.)

3) 줄무늬 확인 실험 (III)

- 실험목적: 두 금속판에 전지를 역방향으로 연결해 도금을 하였을 때 줄무늬 생성 여부를 확인하는 것이다.
- 준비물: 황산구리 5수화물, 염화구리 2수화물, 질산구리 3수화물, 100 mL 비커, 100 mL 눈금실린더, 50 mL 비커, 100 mL 부피 플라스크, 씻기병, 메탄올, 박스 조각, 금속판 4쌍, 건전지 1 개, 건전지 홀더 1개, 여분의 전선, 집게전선 1 개, 증류수
- 가설설정: 황산구리 5수화물 메탄올 용액을 사용했을 때가 질산구리 3수화물과 염화구리 2수화물 메탄올 용액을 사용했을 때보다 줄무늬가 더 길고 선명하게 생겼을 것이다. 또한, 세 용액 모두 농도를 낮추어 실험했을 때 생성되는 줄무늬의 개수와 길이, 두께가 줄어들 것이다. 특히 질산구리는 극성 용매인 물에 용해되었을 때 다른 전해질보다 아연판 도금량이 적었기 때문에 줄무늬 역시 거의 생성되지 않을 것이다.
- 실험과정
 - ① 황산구리 5수화물 메탄올 용액 0.05 M 50 mL, 염화구리 2수화물 메탄올 용액 0.05 M을 100 mL, 질산구리 3수화물 메탄올 용액 0.05 M을 100 mL을 제조한다.
 - ② 제조한 용액 각각을 50 mL씩 취해서 50 mL 비커에 넣고 금속판의 초기 질량을 측정한다.
 - ③ 1.6 V 전지 회로를 구성하고, 아연판에 양극 전선, 구리판에 음극 전선을 연결해 역방향 회로를 구성한다.
 - ④ 50 mL 비커에 종이 박스 조각을 사용하여 금속판 2 cm가 잠기도록 한 뒤 60

초 후 도금 결과를 확인한다.

- ⑤ 도금된 아연판을 건조시키고 질량 변화를 측정된 뒤 아연판의 무늬를 확인한다.
- ⑥ 질산구리 3수화물과 염화구리 2수화물 메탄올 용액을 0.01 M로 제조하고 ②번부터 ⑤번까지의 과정을 실험한다.

IV. 연구결과

1. 용매가 물일 때, 용질 종류에 따른 전위 실험

1) 질산구리 3수화물 수용액 0.1 M

	전	후	차이
정방향 1.6 V	4337.2 mg	4339.0 mg	1.8 mg
0 V	4394.0 mg	4395.1 mg	1.1 mg
(역방향) -1.6 V	4408.6 mg	4409.0 mg	0.4 mg

- 1.6 V, 0 V, -1.6 V 모두 천천히 도금되었다. 도금된 표면이 검정색이고 열었다. 표면은 고르게 도금되었다.
- 1.6 V, 0 V, -1.6 V 순으로 도금이 많이 되었다.
- 건조를 마친 후 도금된 아연판 위에 물을 뿌리면 세 경우 모두 금속 입자가 흘러 나간다.

2) 염화구리 2수화물 수용액 0.1 M

	전	후	차이
정방향 1.6 V	4624.5 mg	4626.3 mg	1.8 mg
0 V	4270.8 mg	4272.7 mg	1.9 mg
(역방향) -1.6 V	4246.0 mg	4246.6 mg	0.6 mg

- 1.6 V, 0 V, -1.6 V 모두 천천히 도금되었고, 도금된 표면이 검정색이고 열었다. 표면은 고르게 도금되었고 석출은 되지 않았다.
- 0 V의 경우에는 용액에 담그자마자 도금되었고, 1.6 V의 경우 서서히 도금되었다. 반면에, -1.6 V의 경우에는 중간 정도의 속도로 도금되었으나 다른 경우와 달리 건조 후 물을 뿌려도 금속 입자가 쓸려나가지 않았다. 또한, 도금 결과 비커 바닥에 검은색 침전이 관찰되었다.
- 0 V 도금, 정방향 도금, 역방향 도금 순으로 도금이 많이 되었다.

3) 황산구리 5수화물 수용액 0.1 M

	전	후	차이
정방향 1.6 V	4590.7 mg	4592.4 mg	1.7 mg
0 V	4261.3 mg	4262.8 mg	1.5 mg
(역방향) -1.6 V	4401.8 mg	4402.9 mg	1.1 mg

- 1.6 V, 0 V, -1.6 V 모두 검정색으로 진하게 도금되었고 표면이 고르게 도금되었다. 또한, 세 경우 모두 금속판을 수용액에 넣었을 때 곧바로 도금되었다.
- 1.6 V, 0 V, -1.6 V 순으로 도금이 많이 되었다.

2. 용매가 메탄올일 때, 용질 종류에 따른 전위 실험

1) 질산구리 3수화물 메탄올 용액 0.1 M

	전	후	차이
정방향 1.6 V	4297.0 mg	4297.8 mg	0.8 mg
0 V	4411.7 mg	4412.0 mg	0.3 mg
(역방향) -1.6 V	구리 5229.2 mg 아연 4453.8 mg	구리 5228.9 mg 아연 4454.2mg	-0.3 mg +0.4 mg

메탄올 용매에서 질산구리 3수화물을 용질로 했을 때 1.6 V에서는 0.8 mg이 증가했다. 0 V에서는 0.3 mg이 증가했고, -1.6 V에서는 0.4 mg이 증가했다.

2) 염화구리 2수화물 메탄올 용액 0.1 M

	전	후	차이
정방향 1.6 V	4332.2 mg	4333.5 mg	1.3 mg
0 V	4430.8 mg	4432.1 mg	1.3 mg
(역방향) -1.6 V	4519.1 mg	4521.1 mg	2.0 mg

메탄올 용매에서 염화구리 2수화물을 용질로 했을 때 1.6 V에서는 1.3 mg이 증가했다. 0 V에서는 0.3 mg이 증가했고, -1.6 V에서는 2.0 mg이 증가했다. 이 실험에서는 정방향과 0 V 도금의 도금량 차이보다 역방향 도금량 차이가 더 큰 현상이 일어났다.

3) 황산구리 5수화물 메탄올 용액 0.05 M

	전	후	차이
정방향 1.6 V	4461.6 mg	4462.5 mg	0.9 mg
0 V	4316.3 mg	4316.0 mg	-0.3 mg
(역방향) -1.6 V	4330.0 mg	4329.2mg	-0.8 mg

메탄올 용매에서 황산구리 5수화물을 용질로 했을 때, 1.6 V에서는 아연판은 0.9 mg만큼 질량이 증가했다. 0 V에서는 아연판 질량이 0.3 mg만큼 감소했고, -1.6 V에서는 0.8 mg이 감소했다.

3. 용매가 메탄올일 때 용질 종류에 따른 전위 실험

추가실험 1. 줄무늬의 원인 규명 실험

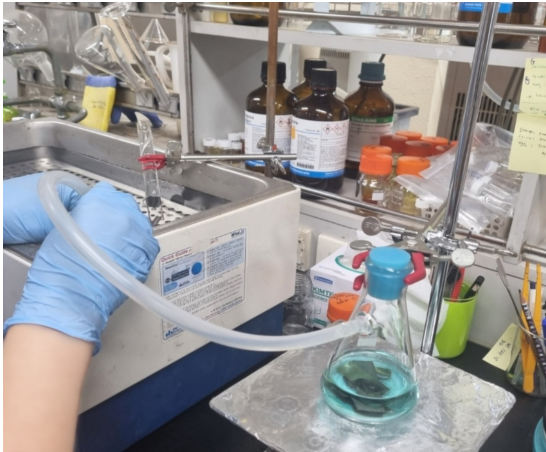


그림 8. 실험에서 사용한 수상치환 장치

호스와 시험관 끝으로 미세한 기포가 발생해 이동했으며, 시험관 끝에 모인 기체가 차지하는 공간이 많아졌다. 그러나 점화기를 가져다 대었을 때 퍽 소리가 나지는 않았다. 삼각플라스크 안에 있는 금속판은 수평으로 놓인 상태였고, 금속판 표면에는 기포가 다량 발생했다. 또한, 아연판에 검은 줄무늬 대신 검은 점 모양이 생겼다. 즉 기체의 발생과 이동이 줄무늬 생성에 기여한다는 것을 추론하였다.

추가실험 2. -1.6 V에서의 염화구리, 질산구리, 황산구리 수용액의 도금 표면 관찰

1) 염화구리 2수화물($\text{CuCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$)

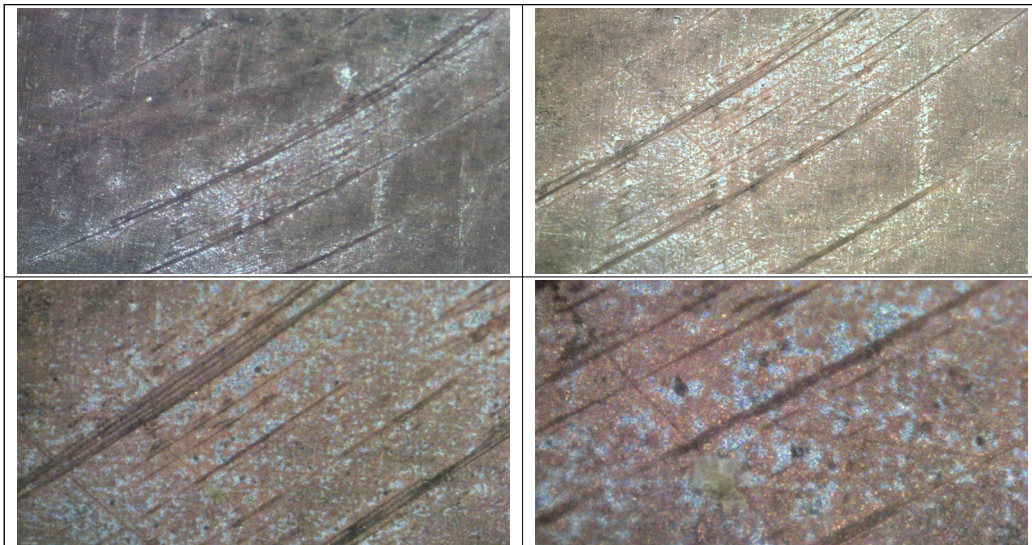


그림 9. 줄무늬의 현미경 사진

(왼쪽 상단 50배, 오른쪽 상단 100배, 왼쪽 하단 400배, 오른쪽 하단 1200배 확대함)

실험을 총 2 번(0.05 M, 0.01 M, 각 -1.6 V), 시행한 결과 첫 번째 실험에서 아연판이 전반적으로 붉게 변했으며, 황산구리에 비해 어두운색 줄무늬가 잘 관찰되지는 않았다. 그러나 실제현미경으로 도금된 표면을 관찰한 결과 검붉은색의 세로로 나란한 줄무늬가 관찰

되었다. 염화구리 용액으로 도금을 진행할 경우 도금되는 구리 이온은 황산구리, 질산구리 용액과 달리 1가이프로 위와 같이 검붉은색을 띤다고 할 수 있다.

2) 질산구리 3수화물($\text{Cu}(\text{NO}_3)_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$)

실험을 총 2번(0.05 M, 0.01 M, 각 -1.6 V) 시행한 결과 용액에 잠긴 부분이 살짝 어두워졌을 뿐 두드러지는 색 변화는 나타나지 않았다. 육안으로 관찰했을 때 줄무늬가 잘 보이지 않았지만, 실체현미경으로 도금된 표면을 관찰한 결과 어둡고 짧고 얇은 세로방향의 나란한 줄무늬가 관찰되었다.

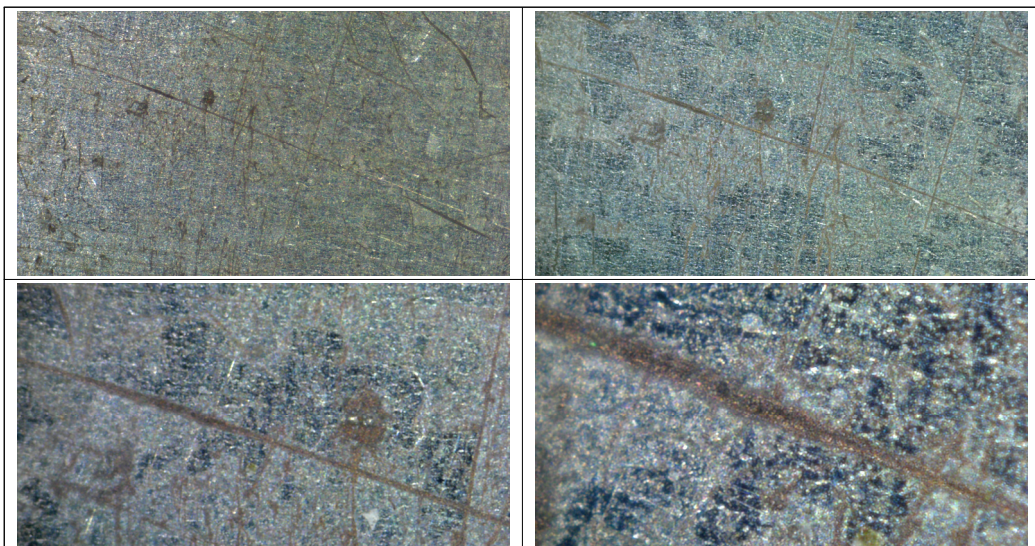
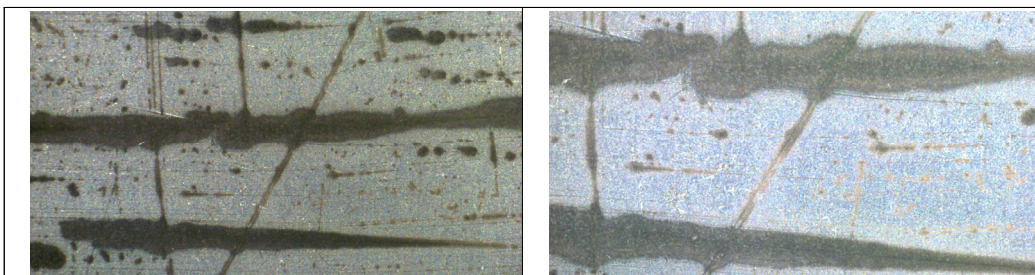


그림 10. 줄무늬의 현미경 사진

(왼쪽 상단 50배, 오른쪽 상단 100배, 왼쪽 하단 400배, 오른쪽 하단 1200배 확대함)

3) 황산구리 5수화물($\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$)



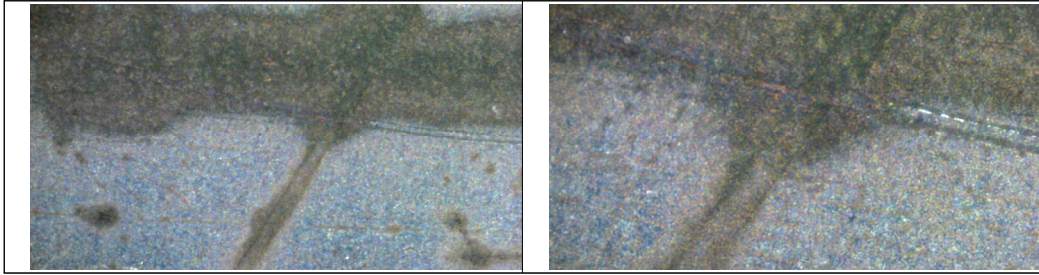


그림 11. 줄무늬의 현미경 사진
(왼쪽 상단 50배, 오른쪽 상단 100배, 왼쪽 하단 400배, 오른쪽 하단 1200배 확대함)

실험을 총 2번(0.05 M, -1.6 V, 0.01 M, -1.6 V) 시행한 결과 염화구리나 질산구리에 비해 선명하게 줄무늬 모양 도금이 나타나 맨눈으로 줄무늬를 확인할 수 있었으며, 이는 이전의 같은 조건에서 실험한 경우와 결과가 같았음을 알 수 있다. 실체현미경으로 도금된 표면을 관찰한 결과 어두운색, 길고 두꺼운 세로방향의 나란한 줄무늬가 관찰되었다.

V. 결론 및 제언

1. 도금이 가장 잘 되는 조건에 관한 결론

전기도금을 진행할 때 사용한 전해질의 농도가 진할수록, 추가로 가한 순방향 전기 퍼텐셜 에너지의 값이 클수록, 아연판 위에 환원된 구리 금속의 양이 늘어났다. 그러나 석출되는 금속 입자 표면이 고르지 않고 입자 간 흡착력이 크지 않다. 따라서, 도금을 통해 고르고 잘 벗겨지지 않는 금속 표면을 얻기 위해서는 적절한 중간값의 전해질 농도와 전위차를 가져야 함을 알 수 있다.

전기도금 실험에서 극성 용매와 비극성 용매를 모두 사용해 본 결과, 극성 용매는 이온결합 물질(가용성 염 및 전해질)을 쉽게 해리시키고, 비극성 용매를 사용했을 때보다 이온과 전자의 이동을 촉진시켜 화학반응을 더 빨리 일으킨다는 이론과 부합하는 결론을 얻었다. 따라서 효율적인 전기도금을 위해서는 물과 같은 극성 용매를 활용하는 것이 합리적임을 알 수 있다.

그리고, 도금 실험을 진행할 때 전위차를 외부에서 추가적으로 가하지 않아도 1.6 V의 전압을 걸었을 때와 도금된 구리의 질량이 상당히 유사한 것은 구리판과 아연판을 전해질 용액에 함께 담갔을 때 약 1.1 V의 전위차가 발생하기 때문에 자유전자의 이동은 원래부터

존재했다는 것을 증명할 수 있다.

2. 메탄올 용액을 활용한 도금 실험에서 아연판의 줄무늬에 대한 결론

메탄올 용액을 활용한 도금 실험을 진행하던 중 도금한 아연판 표면에 육안 또는 실체현미경(최대 배율 1200배)으로 확인할 수 있는 줄무늬를 관찰하였다. 수상치환 장치를 이용한 기체 포집 실험과 금속판이 놓인 방향에 따라 줄무늬가 세로로 길게 나타나거나 점처럼 나타난 현상을 통해 줄무늬가 생기는 데 기체가 관여한 것을 알 수 있었고, 사용한 용매의 화학적 성상을 기반으로 수소기체가 영향을 주었다는 결론을 도출하였다.

메탄올(CH_3OH)이 메톡사이드(CH_3O^-)와 수소 이온(H^+)으로 분리될 수 있는데 이때, 구리 수용액에 넣으면 분리 정도가 극대화(약 100배)되어 H^+ 가 아연판에서 나온 자유전자와 반응해 수소 기체를 생성한다($2\text{H}^+ + 2\text{e}^- \rightarrow \text{H}_2(\text{g})$). 이 수소 기체가 아연판을 따라 상승하면서 아연판 표면을 산화시키고, 전자와 구리 이온이 결합해 환원된 구리 이온이 수소 기체와 접촉한 부분에 구리 금속으로 도금되는 것이다. 물의 경우에는 도금이 빠르게 되고 생성된 피막이 너무 두꺼워 줄무늬를 관찰하는 데 어려움이 있었다.

3. 역방향 전압을 걸었을 때 도금이 더 많이 된 것에 대한 결론

실험 결과 데이터에 따르면 역방향 도금을 했을 때 아연판에 도금된 구리의 질량과 정방향 도금을 했을 때 도금된 구리의 질량을 비교했을 때 극적인 차이가 없었다. 이는 아연판 표면에서 갈바니 전지와 같은 자발적인 환원 반응이 일어났기 때문에 상당한 양의 구리 이온이 환원되어 도금되었다고 규명할 수 있다. 특히, 염화구리 2수화물 메탄올 용액으로 도금 실험을 진행했을 때 역방향 전압을 걸었을 때의 도금량이 정방향 전압과 0 V 전압을 걸었을 때보다 상당히(0.7 mg) 많았다. 하지만, 동일한 용질의 수용액을 활용했을 때는 역방향 전압을 걸었을 때의 도금량이 현저히 적었다. 염화구리 용액에서 아연판을 도금할 경우, 도금되는 구리의 이온은 2가(Cu^{2+})이다. 산화 환원 반응이 성립해 아연판에 구리 이온이 도금되기 위해서는 산화되는 물질이 잃은 전자의 전하량과 환원되는 전자가 얻은 전하량이 같아야 하므로 도금량이 많았던 것으로 측정된 것이다. 또한, 메탄올 용액은 극성이 낮아서 용액에 용해된 물질들의 이동이 쉽지 않다. 극성 용매인 물을 이용한 경우, 수용액에서 자유전자가 자유롭게 이동하여 2가 구리 이온을 환원시켰을 가능성이 높고, 실제로 실험 과정에서 검은색 가루형의 침전을 관찰하기도 했다.

VI. 참고문헌

1. 금속과 전자의 이동: 금속의 이온화 경향
(<http://scienceorc.net/science/study/hwahak/h08-18.html> (scienceorc.net)).
2. 영재수업자료 - 어떻게 하면 깨끗하게 도금할 수 있을까?
(http://new.kcsnet.or.kr/main/k_chemedu/pdf/37_01/3701038.pdf (kcsnet.or.kr, 2010)).
3. 기본 일반화학, J. Overby, R. Chang, 14판, 사이플러스.
4. 네이버 화학백과 (대한화학회) (화학 : 네이버 지식백과 (naver.com)).
5. 물질별 유전율 표 - 주식회사 마쓰시마 메저 테크
(<https://www.matsushima-m-tech.com/korean/technical-information/entry-1314.html>).
6. 유전상수 - 해시넷
(<http://wiki.hash.kr/index.php/%EC%9C%A0%EC%A0%84%EC%83%81%EC%88%9>).
7. 박다정, 박채민, 강남현, 이규환(2016). 도금전해액의 종류에 따른 수지상 구리 분말의 형상 및 표면적 특성. 한국표면공학회지: Vol. 49, No. 5, Pages 416-422.

대구광역시 소재 D중학교 주변의 봄, 여름 토양 미생물 분석

구건형(대륜중), 양우찬(군위중), 이경현(성명여중), 이태준(경신중)

지도교수: 장정호(경북대학교 생물교육과)

초 록

본 연구에서는 학생들이 가장 많은 시간을 보내는 학교의 토양생물군을 조사하기 위해 대구시내 학교 가운데 D중학교를 채택하여 5개월 동안 토양을 채집하여 분석을 진행하였다. 이때 학교 내 공사를 진행한 장소를 포함해 샘플을 채집하여, 학교 내의 계절 변화와 공사에 따른 미생물 개체 수 변화를 알아보았다. 이 연구는 미생물 군집을 파악하기 위해 채취한 토양 샘플을 R2A 배지를 이용해 배양 후 콜로니 형태와 수, 유전자의 유무를 관찰하는 방식으로 진행되었으며 연구 결과를 채취 장소, 날짜, 날씨, 계절 등의 조건에 따라 분류 후 비교, 분석하였다. 이 연구 결과를 통해 학교 내 야외시설의 위생에 대한 미생물학적인 관점에 대해 정보를 제공할 수 있을 것으로 예상된다.

I. 서 론

토양 미생물은 지표면 또는 토양 입자 간극이나 입자 표면에 생존하는 미생물을 가리키는 말로 세균류, 방선균류, 자낭균류, 담자균류, 효모균류, 조류, 원생동물 등 많은 종류가 있다. 토양 미생물의 대표적인 역할로는 토양의 물질 순환에 관여하는 것과 토양의 비옥도에 영향을 주는 것이 있다. 이런 토양 미생물은 계절과 환경 변화에 따라 그 분포가 변하게 된다. 우리는 대구지역 D중학교내의 토양에서 학교의 공사로 인하여 소실된 숲 지역과 그렇지 않고 숲이 유지된 지역에 토양 미생물 분포에 차이가 있을지 않을까, 또 학교주변인 점을 고려해 학생들의 안전에 위협이 되는 유해한 균이 있지는 않을까 생각하여 이 실험을 진행하였다. 이러한 의문점들을 해결하기 위해 대구시내 D중학교 내 공사로 인해 숲이 소실된 지역과 그렇지 않은 지역을 각각 채택하여 토양 샘플을 5개월 간 채집하여 샘플 내 미생물을 배양 후 연구하였다.

II. 이론적 배경

1. 토양 미생물의 종류

토양에 서식하는 모든 미생물을 가리키며 세균(bacteria), 고균(archaea), 진핵생물(eukaryotes) 등을 포함한다. 토양에는 모든 종류의 세균들이 발견되며, 특히 액티노마이세스(Actinomyces)는 넓은 의미로 세균에 포함된다. 대부분의 고균은 극한환경에 속한 토양에 서식하는데, 많은 극한미생물(extremophile)이 고균에 포함된다. 토양에서 발견되는 대표적인 진핵생물은 사상성진균(filamentous fungi), 조류(algae), 원생동물(protozoa) 등이 있다.

2. 토양 미생물의 계절적 변화

토양 미생물들은 계절에 따라 분포 밀도가 다른데 종류에 따라서 2.4배-4.4배의 변동이 있다.

또 종류에 따라 분포가 많은 시기와 적은 시기가 다르다.

3. 실험 원리 및 이론

1) 중합효소 연쇄반응(Polymerase Chain Reaction)

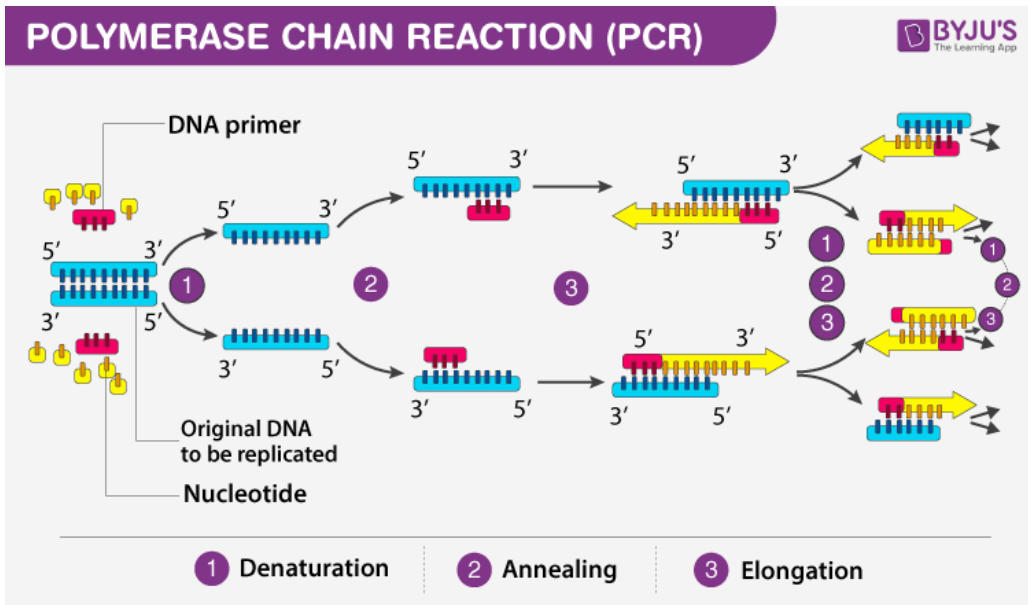


그림 1

시험관 내에서 특정 DNA 서열을 증폭하는 방법으로 DNA의 이중나선을 연속적으로 분리시켜 생긴 단일가닥을 새로운 이중나선을 만드는 원본으로 사용하기 위해 열에 안정적인 DNA 중합효소로 가열 및 냉각을 반복하는 것이다. 즉, DNA 중합효소를 이용해 DNA 단편의 여러 복제본을 한꺼번에 만드는 방법으로, 아주 적은 양의 DNA만으로도 단시간에 특정 부위의 유전자를 기하급수적으로 증폭할 수 있다. PCR을 위해서는 우선 증폭할 DNA와 다량의 Taq 중합효소, 다량의 뉴클레오티드, 그리고 다량의 프라이머(primer, 짧은 DNA)를 PCR 기계에 함께 넣어준다.

PCR은 3단계로 이루어지게 되는데 ①변성(denaturation), ②결합(annealing), ③ 신장(elongation)이다. 이 3단계는 DNA가 온도 변화에 따라 변성된다는 점을 이용하는데, 변성 단계에서는 최고 약 94℃까지 온도를 올리게 된다. 1단계에서는 온도를 높여 DNA에 열을 가하여 이중나선을 풀어주고, 2단계에서는 변성된 DNA의 각 가닥은 다시 결합하지 못하지만 프라이머가 결합할 수 있을 정도의 온도를 맞춰 프라이머와 변성된 각각의 DNA 조각이 결합하도록 한다. 마지막 3단계에서는 Taq 중합효소가 동작 가능한 온도를 만들어 DNA 합성을 실시한다. 이론적으로 이 3단계가 끝나면 DNA의 양은 2배로 늘어나고 10번만 반복해도 원래 양의 1,000배가 넘는 양의 DNA가 생성되게 된다. 보통은 20~30번 정도 반복하는데, 가열과 냉각을 자율적으로 하는 장치가 개발돼 있기 때문에 매우 간단히 짧은 시간 내에 DNA를 증폭할 수 있다.

2. 아가로스 젤 전기영동

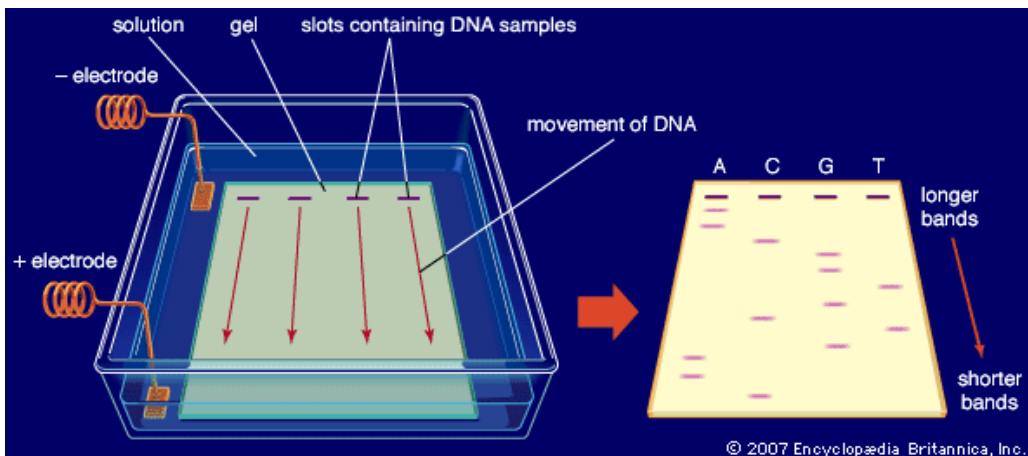


그림 2

DNA나 RNA, 단백질과 같은 큰 분자들을 전기적인 힘을 이용하여 겔에서 이동시켜 크기에 따라 서로 분석, 동정하며 분리하는 기술이다. 하전된 분자들을 전기장 속에 놓으면 전하에 따라 양극 또는 음극으로 이동한다. 보통 아가로스겔은 DNA 단편을 50 bp에서 30 kb까지 분리하는데 사용된다. 아가로스겔은 해상도는 낮으나 사용이 간편하고 다루기 쉬워 가장 많이 사용되는 형태의 전기영동이다. 아가로는 한천(agar)에서 정제한 물질로 이 한천의 주요 구성성분은 아가로스(agarose)와 아가로펙틴(agaropectin)이며 약 7:3비율로 함유하고 있다. 이 겔은 아가로스 분말을 완충액 용액 (TAE, TBE) 과 함께 가열해 녹이고 겔을 부어 굳혀 만들 수 있다. 이 때 이빨모양의 빗이 우물을 만들어 아가로스 널빤지는 완충액에 잠기고 전류가 겔을 통하여 흘러서 음으로 하전된다. 분자들 사이의 구멍들은 분자들을 크기에 따라 분류하는 체처럼 작용하게 된다. 큰 분자는 작은 분자보다 겔의 구멍을 통과하기 어렵기 때문에 크기가 큰 분자는 더 천천히 이동하게 된다. DNA 단편은 아가로의 농도에 따라 다르게 이동하기 때문에 분리하고자 하는 DNA 단편의 크기에 따라 아가로의 농도를 다르게 사용하기도 한다. 같은 분자량의 DNA라도 DNA의 형태에 따라 아가로스겔에서 다른 속도로 이동한다. 일반적으로 초나선형 DNA (supercoiled DNA)가 가장 빨리 이동하고, 선형 DNA(linear DNA), 열린 원형 DNA(open circular DNA)의 순으로 이동한다. 또한 전압이 높아질수록 DNA 단편은 빠르게 이동한다. 이외에도 전기영동 완충액의 이온강도나 조성은 DNA 단편의 이동속도에 영향을 미친다. 이동강도가 낮을 경우 DNA의 이동속도가 느리며, 이온강도가 높을 경우 열이 발생해서 겔이 녹거나 DNA의 구조가 변하기도 한다.

III. 연구방법

1. 토양 샘플 채집

실험에 사용되는 토양 샘플은 각각 D중학교 내 2곳에서 3월에서 8월간 채취하였다. 토양은 각 채집 장소에서 멸균된 튜브와 숟가락을 이용해 채집하였다. 이후 채집한 표본은 -20℃에서 냉동보관 하였다.

2. 미생물 배양

1) R2A 배지에 미생물 배양

냉동 보관해둔 토양 샘플 중 일부를 선정하여 3차 증류수에 넣어 섞은 후 원심분리기를 이용하여 상층액만 분리하였다. 이를 각각 R2A 배지에 100 μ l 씩 도말하여 37 $^{\circ}$ C에 48시간 동안 배양하였다.

2) 배양된 콜로니 관찰 및 계수

배양된 콜로니의 형태와 개수를 관찰하였다. 콜로니의 수는 플레이트의 밑넓이가 약 57cm²이므로 플레이트의 내부에 1cm² 넓이의 정사각형 격자를 무작위 배치해 격자 내의 콜로니 수를 세어 57을 곱하는 방법으로 콜로니의 수를 세었다. 이후 육안으로 관찰할 수 있는 범위 내에서 콜로니의 형태를 분석하였다.

3). Colony PCR

표 1

구분	콜로니				
채집 위치, 날짜	site1 (3/30)	site1 (7/29)	site3 (3/30)	site3(4/8)	site3(7/29)

배양된 토양 미생물 동정과 유전정보 확인을 위해 Colony PCR을 진행하여 DNA를 증폭 시켰다. PCR에 사용된 콜로니는 2개의 장소에서 채집한 토양에서 배양된 미생물 중 각각 5곳을 선정하였다.

DW : 78 λ

10xTaq buffer 10 λ

dNTP(10mM) 2 λ

primer : 27F,1492R 각각 4 λ

Taq polymerase : 2 λ

총 volume 100 λ 를 pcr 튜브 20 λ 씩 분주하고각 pcr튜브에 하나의 콜로니를 픽해서 넣는다.

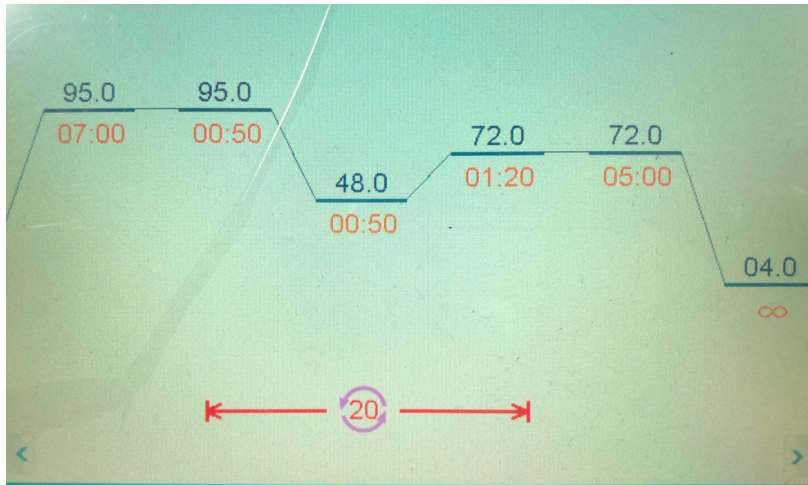


그림 3

〈그림 3〉과 같이 PCR condition 설정 후 PCR tube를 PCR machine(BIOER Tech, Thermal Cycler)에 넣고 PCR을 진행한다.

4) 전기영동

1. 0.4g agarose, 40ml 1x TAE buffer를 삼각플라스크에 넣고 1분간 가열하고 식힌 뒤 DNA 염색하는 역할을 하는 eco-dye를 첨가한다.
2. 액체상태인 겔을 tray에 넣고 comb를 꽂은 후 굳힌다.
3. 겔이 굳은 것을 확인한 다음 comb를 빼고 electrophoresis 탱크에 1x TAE buffer를 채운 후 굳은 agarose 겔을 넣는다.
4. 첫 번째 칸에 1kb ladder 3μl를 로딩한다.
5. PCR이 끝난 튜브에 6X loading dye를 4μl 첨가한다.
6. pipette으로 각 칸에 4μl씩 넣는다.
7. 110V에서 17분간 전류를 흘려서 전기영동을 진행한다.
8. 겔을 electrophoresis 탱크에서 꺼낸 후 NaBI(blue light illuminator)를 이용해서 DNA 밴드를 관찰한다.

5) gel extraction

1. 겔에서 band가 있는 부분인 0.2g을 잘라내서 E-tube 에 넣고 GM buffer 600μl를 첨가한다.
2. E-tube를 50°C인 오븐에 넣어 10분간 두고 2분마다 tapping을 해서 겔을 녹여준다.

3. 완전히 겔이 녹은 것을 확인한 뒤 spin-column과 vinding-column을 결합시키고 E-tube 안의 용액을 spin-column 으로 옮겨 담는다.
4. spin-column을 13000rpm, 30s 동안 원심분리를 진행하고 vinding-column에 있는 용액을 버린다.
5. WB buffer를 spin-column에 750 μ 넣고 13000rpm, 1m동안 원심분리를 진행한다.
6. spin-column을 통과해 vinding-column에 있는 용액을 버리고 13000rpm 3m으로 공회전을 한다.
7. vinding-column을 버리고 새로운 E-tube를 spin-column에 결합시키고 EB 30 μ 를 spin-column에 첨가한다.
8. 상온에서 1분간 대기하고 13000rpm으로 1분동안 원심분리를 진행한다.
9. 원심분리가 끝난 후 E-tube에 있는 DNA solution을 DNA nano drop으로 농도를 측정한다.

5) 토양 채집 환경 변화 관찰

두 번째 채집 장소의 별채 전 후 사진과 3월에서 8월까지 토양을 채집한 두 장소의 모습을 사진을 통해 비교하였다.

IV. 연구결과

1. 미생물 배양 결과 및 형태 확인

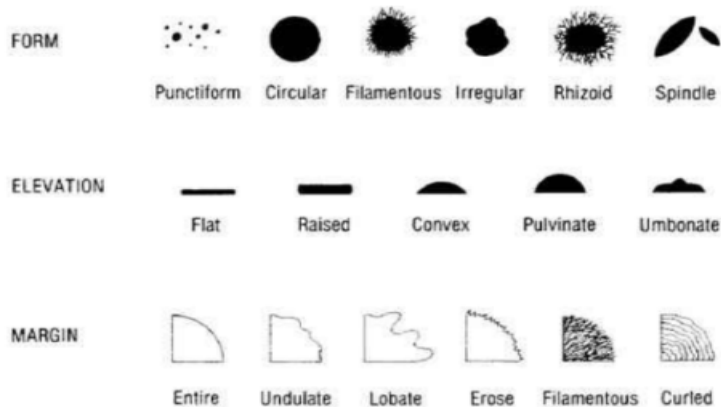


그림 4

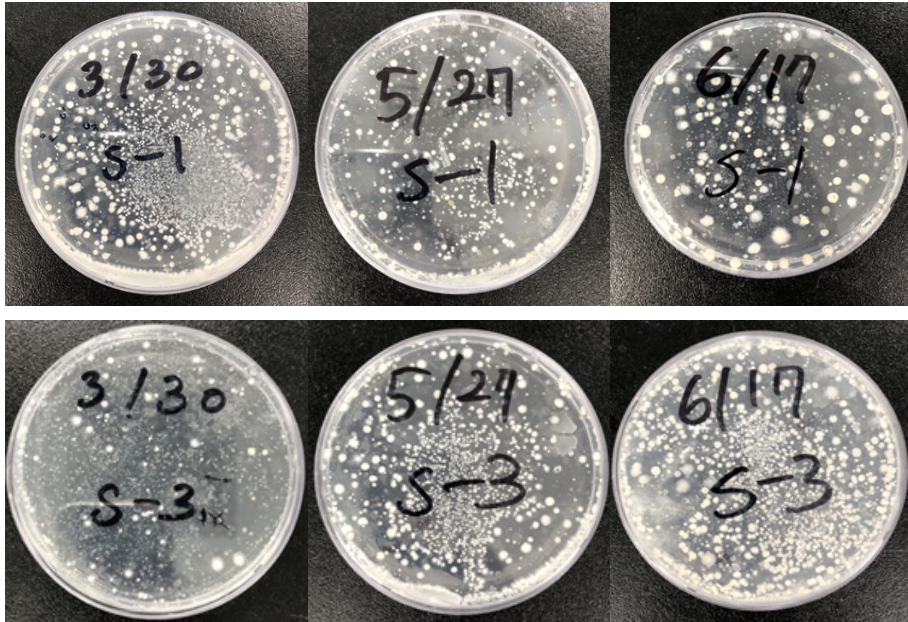


그림 5. 미생물 배양 결과 일부

고체배지에는 주로 원형의 콜로니가 많이 형성되었고 이를 통해 채취한 토양 속 미생물이 풍부하다는 것을 확인하였다.

2) 배양된 콜로니 계수

콜로니의 수는 플레이트의 밑넓이가 약 57cm^2 이므로 플레이트의 내부에 1cm^2 넓이의 정사각형 격자를 무작위 배치해 격자 내의 콜로니 수를 세어 57을 곱하는 방법으로 콜로니의 수를 세었다.

(단, 콜로니의 수는 소수점 첫째자리에서 반올림 하였다)

표 2

구분	3/30	4/8	5/13	5/27	6/17	7/29	8/5
site-1	2822	2758	912	1311	741	1910	1482
site-3	1824	2423	1995	4446	6185	2109	2508

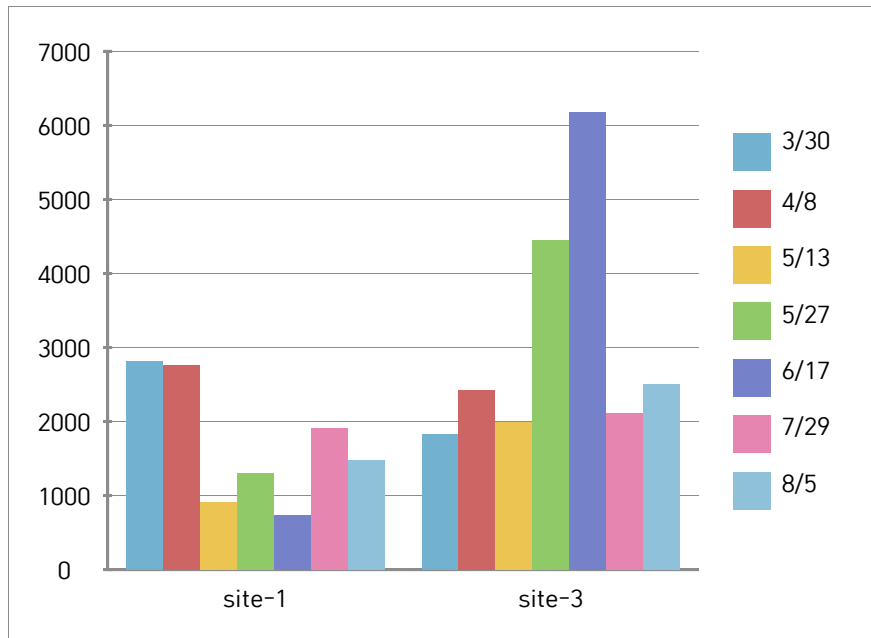


차트 1

3-4월 기간에는 site1의 미생물 수가 site3에 비해 많았으며, 그 이후부터는 site3의 콜로니 개수가 더 많음을 알 수 있다. 이때 site1에서는 3-4월 봄철에 가장 많은 미생물이 있었고 5-6월 사이 감소하였다가 7-8월에는 조금 증가하였다. site3의 경우에는 3-4월 봄철에 가장 적은 미생물이 분포해 있었으며 5-6월 사이 급증하여서 최고치를 기록하였다. 그 뒤 7-8월에는 다시 4-5월 수준으로 감소하였다.

3) 채집한 지역의 환경 변화 관찰



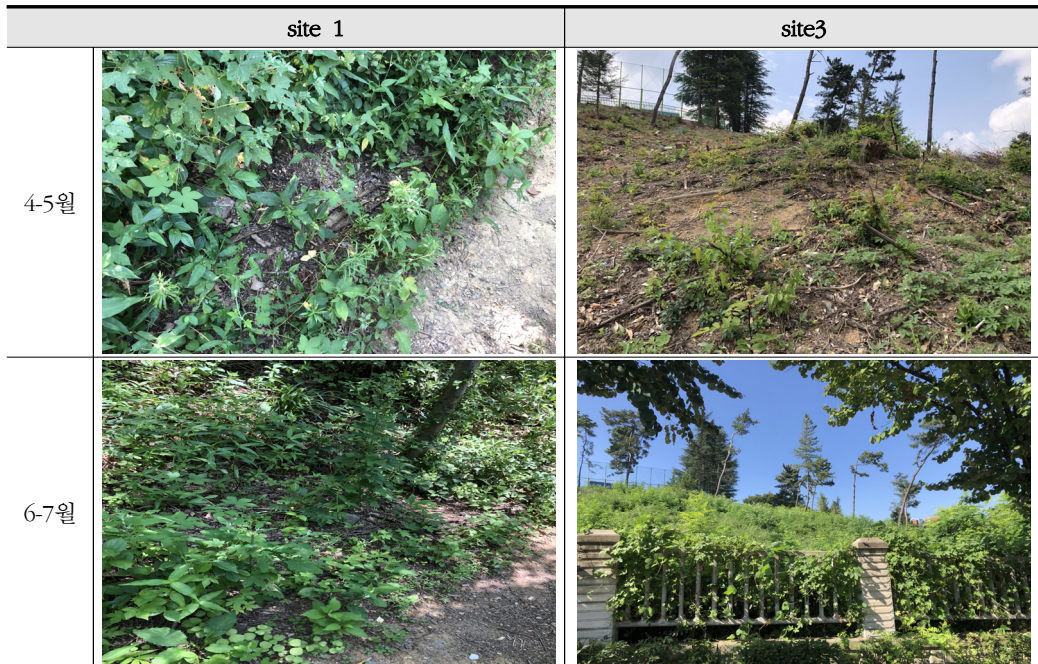


표 3, 그림 4

site 1은 원래부터 풀과 나무가 무성한 지역이었다. 그리고 site3는 공사 뒤 황폐해 졌다가 다시 식물이 자라기 시작한 곳이다. site1은 주변에 나무가 많고 site3는 나무 보다는 풀이 많이 분포한다. site1과 site3 모두 봄에서 여름으로 갈수록 서식하는 식물의 개수가 많아졌는데, site1은 식물의 개체수가 완만하게 증가하였으나 site3의 경우는 3월 말, 5월 말에 비해 여름이 되며 개체수가 급증하였음을 알 수 있다.

V. 결론 및 제언

본 실험으로써 우리는 토양 미생물이 계절과 채집 위치, 식물 존재 여부에 따라 달라진다는 것을 알았다. 처음에는 site3에는 식물이 자라지 않았지만 4-5월이 되며 처음부터 식물이 자라고 있었던 site1보다 더 많은 식물이 자라게 되었고, 이로 인해 처음에 site1 보다 적었던 미생물이 5-6월 급증하였다. 7-8월에 미생물이 감소한 이유는 7월부터 시작된 장마로 미생물이 소실되어 이러한 결과가 나왔을 것으로 예상된다. 더 이상의 미생물의 동정이나 유해성의 여부는 실험하지 못 하였지만 콜로니와 아가로즈겔 전기영동에서의 밴드의 존재

로 미생물의 존재 여부는 확실해 졌다.

해당 미생물들의 유해성과 병원성 여부를 알 수는 없지만 인체에 무해한 비병원성 미생물도 때로는 형질 변화를 거쳐 유해한 균으로 변화할 수 있기 때문에 감염의 가능성을 인지해야 한다. 특히 이번에 조사한 토양은 대구의 D중학교 주변으로 많은 학생과 어린이들이 토양과 접촉할 수 있는 상황이 많기 때문에 상처로 인한 감염에 주의를 기울여야 한다.

이번 연구에서 토양에 있는 미생물이 계절에 따라 수가 달라지고 토양환경에 따라서도 달라진다는 것을 알 수 있었고, 이로 인해 학교주변 토양 미생물로 인한 감염의 위험까지 알 수 있었다. 하지만 콜로니 PCR을 했음에도 전기영동에서 밴드가 나타나지 않은 샘플이 많아 동정을 진행하지 못한 점이 굉장히 아쉽다. 이후의 연구에서 미생물의 동정을 진행시킨다면 토양 내 미생물의 종류와 유해성까지 조사할 수 있을 듯하다.

VI. 참고문헌

1. 곽동현 외 5명(2017), 과학영재 Vol.13 No.1
2. 구형진 외 4명(), 과학영재
3. (naver.com)<https://terms.naver.com/entry.naver?docId=6212204&cid=61232&categoryId=61232>
3. Korean journal of microbiology = 미생물학회지 v.34 no.3 , 1998년, pp.144 - 148
4. 박동진 (외2인) <https://terms.naver.com/entry.naver?docId=5894293&cid=61232&categoryId=61232>

지구 온난화의 원인과 영향에 관한 MBL 탐구 및 기상 데이터 분석

김대훈(오성중)

지도교수: 이효녕(경북대학교 지구과학교육과)

초 록

최근 들어 지구 온난화가 점점 심각해지고 있으며, 그 영향이 지구시스템의 다양한 권역에서 나타나고 있다. 전세계적으로 과거에 경험하지 못한 다양한 기상 이변, 자연 재해, 해수면 상승 등이 발생하고 있으며 인간 활동은 물론 생태계에 많은 악영향을 주고 있다. 이러한 심각성에도 불구하고 지구온난화에 대해 절박한 경각심을 느끼는 사람들은 드물고 특히 학생들의 경우 지구 온난화의 심각성과 중요성에 대해 잘 인식하고 있지 못하고 있어서 지구온난화의 영향이 어느 정도인지 분석하기 위해 이 연구를 수행하였다. 이 연구는 크게 두 부분으로 구분할 수 있는데, 첫째, MBL을 활용한 온실기체의 영향 분석 실험을 수행하였다. 둘째, 기상청 데이터 자료 분석을 통해 대구 지역에 대한 영향 분석을 실시하였다. 온실기체의 영향 분석 실험은 MBL(Microcomputer-Based Laboratory)을 활용하여 실험을 설계하고 자료를 수집하여 분석하였다. 다음으로 지구온난화의 영향 분석은 기상청의 자료와 엑셀 프로그램 활용해서 수행하였다. 이 연구에 따르면 온실기체(이산화탄소)의 양이 많아질수록 온도가 더 급격하게 상승한다는 것을 알 수 있었고, 기온과 강수량 분석을 통해 대구 지역의 과거 100년간 기온과 강수량이 꾸준히 상승했다는 것을 알 수 있었는데, 강수량이 꾸준히 상승했던 이유는 지구온난화로 인한 온도 상승으로 대기의 온도가 높아지고 더 많은 수분을 함유했기 때문이다. 이러한 경향이 지속된다면 지구온난화를 더 이상 통제할 수 없는 단계에 도달할 수 있고 지구온난화는 지구시스템 전반적으로 큰 재앙이 될 수 있다.

I. 서론

최근 들어 지구온난화가 지속적으로 진행되고 있으며, 그 결과 지구시스템 내에 다양한 기상 현상, 자연 재해, 빙하의 녹음, 해수면 상승 등이 발생하고 있다. 이러한 지구의 온도가 지속적으로 상승하는 원인은 인간 활동으로 인해 발생한다는 것이 과학적으로 확인되었다(Shao et al., 2016). 특히 IPCC 5차 보고서나 선행 연구를 살펴보면, 과거 50년 동안 지

지구온난화는 화석 연료를 사용하는 인간 활동(예, 생산 활동, 소비 활동, 여가 활동 등)에 기인한다고 보고하였다(IPCC, 2013, 2014; National Research Council, 2010). 정리하면 현재 기후 변화는 인간 활동에 의해 유발되고 있으며, 인간 활동에 필요한 화석 연료의 사용과 산림 파괴로 인한 이산화탄소의 증가가 가장 중요한 요인이다.

지구온난화의 영향은 지구시스템 내에서 다양하게 나타나고 있다. 대표적인 영향은 전 세계의 평균 기온과 해수면이 지속적으로 상승하는 것이다. WMO(World Meteorological Organization, 세계기상기구)의 '2021년 전지구 기후 현황 보고서'를 보면, 산업화 이후 지구 대기의 평균 기온이 1.11℃ 상승했다는 것을 알 수 있다(WMO, 2021). 그리고 WMO의 2023년 보고서에서는 전지구적인 평균 해수면이 지난 30년 동안 1년에 대략 3.4 mm씩 상승했다는 것이 제시하였다(WMO, 2023).

지구온난화는 생물종의 수도 꾸준히 감소시키고 있어서 생물권에 대해서도 전지구적으로 심각한 문제가 되고 있다. WWF(World Wildlife Fund, 세계자연기금)의 2022년 보고서는 1970년 이래로 현재까지 수많은 생물종을 대표하는 개체군의 상대적 규모가 평균 69% 감소했다고 발표하였다(WWF, 2022).

이처럼 지구온난화의 영향은 점점 심각해지고 그 원인이 인간 활동에 기인한다고 밝혀졌지만, 대부분의 대중들은 지구온난화의 심각성이나 중요성에 대해 잘 인식하지 못하고 있다. 지구온난화의 직접적인 영향을 겪은 사람들이 극소수이기 때문에 그 위협에 대한 경각심을 느끼는 사람들이 적은 것으로 판단된다.

우리나라 학생들 또한 기후 변화나 지구 온난화의 심각성에 대해 어느 정도의 영향이나 위협을 인식하고 있다. 그것은 우리나라의 2009 개정 초등학교 교육과정 및 2015 개정 초등학교 교육과정에서 기후변화와 관련된 내용을 다양한 교과에서 다루고 있기 때문일 것이다. 특히 초등학교 과학과 5-6학년 '생물과 환경' 단원에서 환경오염의 원인과 그로 인한 생태계 파괴 사례를 통해 사람들의 생활이 생태계에 미치는 영향을 다루고 있다. 또한 '여러 가지 기체' 단원의 과학 이야기에서 지구 온난화의 정의, 이산화탄소를 포함한 온실가스의 소개 및 이산화탄소가 대기 중에 많이 존재하게 된 이유, 그리고 지구온난화로 나타나는 피해를 다루고 있으므로(교육부, 2015a, 2015b), 학생들의 경우 지구온난화에 대해 어느 수준까지는 알고 있다. 선행 연구에 따르면 지구온난화의 원인에 대해 초등학생의 72%와 중학생의 66% 정도가 과학적으로 이해하고 있는 것으로 나타났다(이지숙 외, 2011). 또한 일반 학생과 영재 학생들 모두 이산화탄소, 배기가스 등이 지구온난화의 주요 원인으로 인식하고 있었지만 비과학적 개념도 가지고 있었다(여상인, 2017).

일반 대중이나 학생 모두 지구온난화의 원인은 파악하고 있지만 그 심각성이나 악영향에 대해서 구체적으로 인식하는 사람이 많지 않다. 현재 상태로 지구온난화가 지속적으로 이

어진다면 나중에 파국적인 결과를 가져올 수 있기 때문에 사람들의 지구온난화에 대한 인식을 변화에 기여하고 경각심을 주기 위해서 본 연구를 수행하였다. 또한 지구온난화의 원인이라고 불리는 온실 기체의 영향이 어느 정도인지 알고 싶었고 현재 내가 살고 있는 대구광역시나 다른 도시에 어떤 영향을 주고 있는지 궁금했다. 그래서 탐구 실험을 통해 온실 기체의 영향을 알아보았다. 또한 지구온난화의 심각성에 대해 자세히 알아보기 위해 우리나라의 주요 광역시의 평균 기온을 조사하여 상세하게 분석하였다. 선행 연구를 찾아본 결과, 학생 수준에서 온실 기체의 영향을 실험을 통해 상세하게 분석한 자료가 없었고 특히 MBL(Microcomputer Based Laboratory)를 활용하여 수행한 지구온난화 관련 연구 수행은 미비하였다. 이 탐구에서는 MBL의 이산화탄소센서와 온도센서 등을 활용한 온실 기체의 영향을 과학적이고 체계적으로 분석하였다는 데 그 의의가 있다.

이 연구의 목적은 지구온난화의 원인과 영향을 파악하기 위해 지구온난화를 유발하는 온실 기체의 영향에 대해 MBL을 활용한 탐구를 수행하고 기상 데이터를 분석을 통해 그 영향을 분석하는 것이다. 이에 따른 구체적인 연구 내용은 다음과 같다.

첫째, MBL의 이산화탄소센서와 온도센서를 활용하여 온실 기체로 인한 온도 변화를 분석한다.

둘째, 우리나라 주요 도시의 100년간 온도 변화와 강수량을 연도별, 월별(강수량은 제외)로 구분하여 분석한다.

II. 이론적 배경

1. 지구온난화와 온실 기체

지구온난화는 인간의 활동(주로 화석 연료 연소)으로 인해 1850년과 1900년 사이 산업화 이전 시대부터 현재까지 관측된 지구 표면의 장기간 온도 상승이다. 기온의 상승은 어느 정도 변동폭은 존재하지만 지속적으로 지구 대기의 기온이 상승하고 있는 것을 나타내고 있다. IPCC 보고서에 따르면 지구 온난화의 주요 원인은 인간 활동으로 유발되었다는 것을 분명하게 제시하고 있다(IPCC, 2013).

이러한 지구온난화가 발생하는 주원인은 온실 기체이다. 온실 기체(溫室氣體, greenhouse gases)는 지구의 지표면에서 우주로 발산하는 지구 복사열(적외선 영역)을 흡수 또는 반사하여 지구 표면의 온도를 상승시키는 역할을 하는 특정 기체를 말하는데 이산화탄소, 메테인, 아산화질소, 수증기 등을 포함한다(위키백과, 2023). 현재 화석 연료의

사용 등으로 온실기체의 농도가 빠르게 상승하는 상태이고 온실기체의 농도가 높아질수록 온실효과가 더 심하게 일어나기 때문에 지구의 평균 온도가 더 많이 올라가고 지구온난화가 가속된다. IPCC의 최근 보고서에서는 이들 온실 기체의 농도가 지속적으로 상승하고 있다는 것을 제시하였다. 특히 이산화탄소의 농도는 인간 활동에 필요한 화석 연료 사용의 증가에 따라 크게 상승하고 있다(IPCC, 2014). 그림 1을 보면 이산화탄소의 농도가 1750년부터 현재까지 지속적으로 상승하고 있는 것을 볼 수 있고, 메탄이나 이산화질소 또한 대기 중의 농도가 증가하고 있는 추세이다.

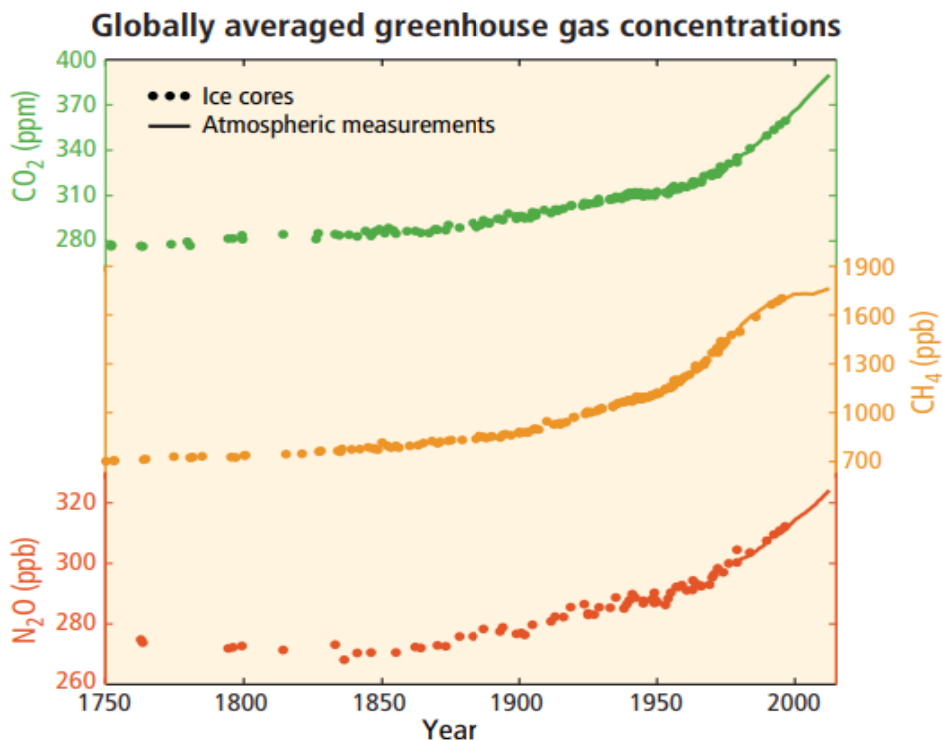


그림 1. 전지구적인 온실 기체의 평균 농도 변화(IPCC, 2014, p. 44).

2. 지구온난화로 인한 영향과 피해

지구온난화는 지구의 대기와 해양의 기온이 상승하는 현상으로 이 때문에 육지 위에 있는 빙하가 녹게 되어 해수면이 상승하고, 기온 상승으로 인해 생물종이 감소하기도 한다. 해수면 변화에 대해서 조사해 본 결과 우리나라의 해수면은 국립해양조사원의 2021년 조사에 따르면 1991년부터 30년 동안 해수면이 매년 약 3.03 mm씩 증가했다(김태형, 2023).

WMO의 2023년 보고서에서도 1993년부터 30년 동안 해수면이 매년 약 3.4 mm(오차 범위 ± 0.3 mm)씩 증가했다는 것을 알 수 있다(그림 2). 하지만 심각한 점은 1993년부터 10년 동안은 해수면이 매년 약 2.27 mm씩 증가했지만 2003년부터 10년 동안은 매년 약 3.3 mm, 2013년부터 10년 동안은 매년 약 4.62 mm씩 증가했던 것이고 이는 지구온난화가 점점 가속화되고 있다는 중요한 근거가 된다.

In 2022, global mean sea level continued to rise.

The sea has risen approximately **3.4 \pm 0.3 mm per year** over the past 30 years of the satellite altimeter record.

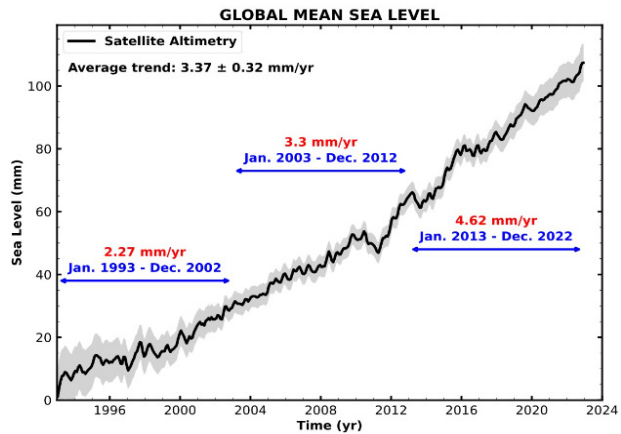


그림 2. 전지구적인 평균 해수면 상승(WMO, 2023)

다음으로 WWF의 2022년 보고서를 보면, 1970년 이래로 현재까지 생물종이 약 69%(오차 범위 $\pm 6\%$) 감소한 것을 알 수 있다. 지구온난화로 인해 지역별로 분포하는 식물의 종류가 달라지고 개화 시기가 앞당겨지는 등 생태계에 변화가 생기고 식물의 성장 기간이 길어져서 식물은 더 많은 질소를 필요로 하게 되는데 질소를 발생시키는 미생물의 양은 한정적이어서 식물이 약해진다. 동물계의 변화도 매우 심각한데, 브라질 아마조나스주에 있는 마미라우아 지속가능발전 보호구역에 서식하는 아마존강돌고래는 1994년부터 2016년까지 개체군 규모가 65% 감소했다. 콩고민주공화국(DRC)의 카후지-비에가 국립공원에 서식하는 동부저지대고릴라는 1994년부터 2019년까지 개체 수가 80% 줄어든 것으로 추정되며, 호주 바다사자 새끼의 개체 수는 1977년부터 2019년까지 64% 감소한 것으로 나타났다(WWF, 2022).

이처럼 지구온난화는 해수면 상승, 생물종 감소 등 지구환경에 심각한 영향을 미치고 있다. 이 탐구에서는 대표적인 온실기체인 이산화탄소에 대해 실험을 통해 분석하고 대구광역시를 포함하여 주요 도시에 어떤 영향을 미치고 있는지 살펴보고자 한다.

Ⅲ. 연구방법

1. 온실 기체가 기온 상승에 미치는 영향 분석 실험

온실 기체가 기온 상승에 미치는 영향을 분석하기 위해 탄산수를 이용해 이산화탄소의 농도에 따른 온도 변화를 알아보는 실험을 진행하였다. 이 실험에 대한 사전 선행연구 또는 출판된 보고서가 미비했기 때문에 이 실험을 체계적으로 설계하고 데이터를 수집하기 위해 3단계(실험 1, 2, 3)로 진행하였다. 즉 단계별로 알게 되거나 시행착오를 거친 실험 결과를 다음 단계에 적용하였다. 단계별 실험 1, 2, 3에 대한 연구 방법과 절차는 다음과 같다.

[실험 1]

실험 1은 적절한 양의 탄산수를 찾기 위해 수행하였다. 실험 과정은 다음과 같다.

1. 탄산수 1병(350 ml)을 다 담을 수 있고 이산화탄소센서가 들어갈 수 있는 크기의 수조를 준비한다.
2. 그 수조 안에 MBL의 이산화탄소센서를 설치한다.
3. 우드락과 무거운 물체로 공기가 수조 밖으로 새어나오지 않도록 한다.
4. 우드락을 살짝 들어낸 뒤 탄산수 1병(350ml)을 다 넣는다.
5. 이산화탄소센서(MBL)로 시간이 지나고 나서 평형 상태에서의 이산화탄소의 농도를 측정한다.
6. 탄산수 1병에 대한 이산화탄소 농도 측정을 마친 후, 정리된 수조에 탄산수 반 병(175 ml)을 넣은 뒤 과정 5를 반복한다.
7. 실험 결과를 그래프로 제작한다.
8. 과정 1-3을 반복한다. 소량의 탄산수로 다시 실험을 수행한다.
9. 탄산수 10 ml를 넣고 과정 5를 반복한다.
10. 수조를 깨끗이 비우고 탄산수 5 ml를 넣은 뒤 과정 5를 반복한다.
11. 실험 결과를 그래프로 제작한다.

[실험 2]

실험 2는 일반 공기와 탄산수 10ml를 비교하여 온도 상승에 어떤 영향을 미치는 지 알아보기 위해 수행하였다. 그 실험 과정은 다음과 같다.

1. 페트병 뚜껑을 열고 구멍을 뚫어서 그 구멍으로 온도센서(MBL)를 넣는다.
2. 글루건으로 공기가 새어나가지 않도록 구멍을 막고, 온도센서가 부착된 뚜껑을 닫는다.

3. 과정 1-2를 한 번 더 반복한다.
4. 전등을 2개 준비하고 페트병 2개 다 각각 전등 1개로부터 10 cm 떨어진 자리에 테이프로 고정시킨다.
5. 한 페트병에는 아무것도 넣지 않고 다른 페트병에는 탄산수 10 ml를 넣는다.
6. 뚜껑을 닫고 전등을 켜 뒤 평형을 이룰 때까지 MBL 온도센서로 온도를 측정한다.
7. 빈 수조를 하나 준비한 뒤 MBL 이산화탄소센서를 부착하고, 비닐로 위를 덮어씌운 뒤 구멍을 2개 뚫어 온도센서와 탄산수 10 ml를 주사기를 사용하여 넣는다.
8. 수조를 전등 1개로부터 10 cm 떨어진 자리에 놓는다.
9. 전등을 켜고, 탄산수 5 ml를 넣은 뒤 온도가 평형을 이루면 남은 5 ml를 넣고 평형을 이룰 때까지 이산화탄소 농도와 온도를 동시에 측정한다.
10. 실험 결과를 그래프로 제작한다.

[실험 3]

실험 3은 이산화탄소의 농도 변화에 따른 변화를 분석하기 위해 진행하였다.

1. 실험 2에서 사용한 페트병과 똑같은 페트병을 하나 더 만든다.
2. 전등을 3개 준비하고 페트병 3개 다 각각 전등 1개로부터 20 cm 떨어진 자리에 테이프로 고정시킨다.
3. 한 페트병에는 아무것도 넣지 않고 다른 두 페트병에는 각각 탄산수 20 ml, 40 ml를 넣는다.
4. 뚜껑을 닫고 전등을 켜 뒤 평형을 이룰 때까지 온도센서로 온도를 측정한다.
5. 이산화탄소를 비운 뒤 이번에는 세 페트병에 각각 탄산수 10 ml, 30 ml, 50 ml를 넣어서 같은 실험을 한다.
6. 실험 결과를 그래프로 제작한다.

실험의 장면을 찍은 사진은 다음과 같다.



측정 기기 및 분석 방법

이산화탄소의 농도, 온도 변화를 정확하게 측정하기 위해 컴퓨터기반과학실험 기구인 MBL(Microcomputer Based Laboratory)을 사용하였다. MBL 인터페이스에 노트북을 연결하고, 이 인터페이스에 이산화탄소센서, 온도센서를 연결하여 데이터를 수집하였다. 수집된 데이터는 엑셀 파일로 저장되었고 자료 분석은 엑셀을 활용하였다.

이 실험에서 사용한 MBL 장치는 Korea Digital에서 제작한 사이언스큐브 MBL이다. 이 실험에서는 2가지 센서를 사용하였다. 첫째, PT온도센서(KDS-1031)는 사용 범위가 -50°C 에서 $+180^{\circ}\text{C}$ 까지 측정이 가능하고, 분해 능력은 0.06°C 이다. 둘째, 이산화탄소센서(KDS-1020)는 측정 범위가 $0 \sim 5,000$ ppm이고 분해 능력은 20 ppm이다. 이산화탄소센서는 대기 중, 식물원, 동물 사육장 등과 같은 밀폐된 공간의 이산화탄소를 측정할 수 있다. 이 실험에서는 밀폐된 페트병과 수조에 탄산수의 양을 다르게 하여 이산화탄소센서와 온도센서를 활용해 이산화탄소의 농도에 따른 온도 변화를 분석하였다(사이언스큐브, 2023).

2. 기상 데이터를 활용한 지구온난화의 영향 분석

1) 연구 대상

지구온난화로 인한 영향 중 지구의 평균 기온 상승을 분석하기 위해 기상청에서 직접 자료를 받아 1923년부터 2022년까지 100년 동안 4개 도시의 기온 자료를 지역별, 연도별, 월별로 구분하여 분석한다. 4개 도시를 선택한 이유는 내가 살고 있는 대구광역시를 기준으로 인구, 면적 등 큰 규모의 3개 도시(서울, 부산, 인천)를 비교하기 위해 선정하였다.

2) 분석 방법

기상청에서 다운로드 받은 100년 동안의 연도별, 월별 평균 기온 자료와 강수량 자료를 다운로드 받아서 엑셀을 이용해서 산점도와 추세선을 그려서 분석하였다.

IV. 결 과

1. 온실 기체가 기온 상승에 미치는 영향 분석 실험

[실험 1의 결과]

기온 상승에 대한 영향을 분석하기 위해 적절한 양의 탄산수를 찾기 위해 탄산수 1병

(350 ml)을 밀폐시킨 수조에 넣고 이산화탄소 농도를 측정했다. 실험 결과는 약 90초 만에 약 5800 ppm까지 올라간 후 평형을 유지했다. 다음으로 탄산수 반 병(175 ml)을 수조에 넣고 이산화탄소 농도를 측정해보았는데 여전히 약 90초 만에 약 5800 ppm까지 올라간 후 평형을 유지했다(그림 3).

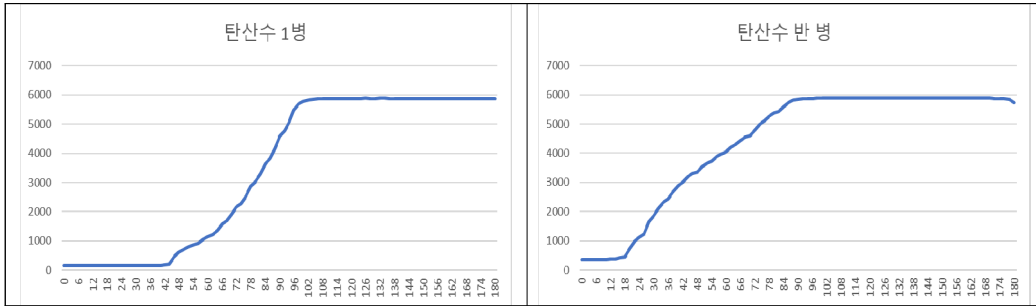


그림 3. 탄산수 1병(350 ml)과 반병(175 ml) 일 때 이산화탄소의 농도 그래프

급하게 평형에 도달하는 점이 이상하다고 판단하고 이산화탄소센서의 측정 범위를 확인해보니 최대로 측정할 수 있는 농도가 5000 ppm 정도이었다. 측정 범위는 5000ppm까지라고 되어 있지만 6000 ppm 정도까지 측정이 가능하였다. 그래서 이산화탄소센서가 정확하게 작동하는지 다시 한번 확인 후 탄산수를 소량으로 변경하여 실험을 수행하였다. 즉 탄산수를 한 병과 반 병 모두 이산화탄소센서의 측정 범위를 벗어났기 때문에 탄산수를 소량으로 수정하여 다시 실험을 진행했다.

탄산수 10 ml를 넣고 실험을 다시 해 보니 약 300초 후 농도가 약 2300 ppm까지 올라간 후 평형을 유지했다. 탄산수 5 ml의 경우는 약 300초 후 농도가 약 1460 ppm까지 올라간 후 평형을 유지했다(그림 4). 이 실험 1을 통해 탄산수의 양 10 ml의 이산화탄소 농도는 약 2300 ppm이라는 것을 파악하였다. 다음 실험부터는 실험에 앞서 필요한 모든 센서들이 정상적으로 작동하는지 그 측정 범위를 확인하였다. 다음 그래프는 탄산수 10 ml와 5 ml 일 때 이산화탄소의 농도 그래프를 나타낸 것이다. 이 실험을 위해서는 탄산수 10 ml 정도가 주어진 시간 동안 농도 변화를 잘 관찰할 수 있는 양이라는 것을 알게 되었다.

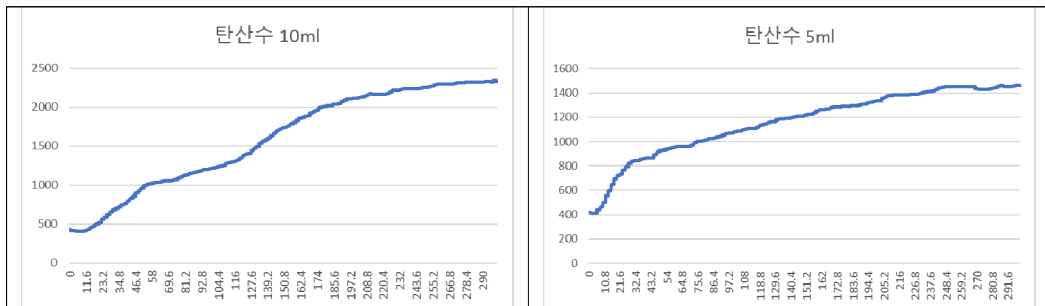


그림 4. 탄산수 10ml와 5ml 일 때 이산화탄소의 농도 그래프

[실험 2의 결과]

일반 공기와 탄산수 10 ml를 넣은 페트병을 전등으로부터 10 cm 떨어뜨려놓고 온도를 측정해 보았는데 약 20분 후에 온도가 평형을 이루었고 일반 공기를 넣은 페트병은 초기 온도가 22.52 °C, 평형 온도가 31.68 °C 이었으며 탄산수 10 ml를 넣은 페트병은 초기 온도가 21.18 °C, 평형 온도가 33.02 °C였다(그림 5). 그리고 또 탄산수 10 ml를 넣고 실험했는데 이때는 이산화탄소센서도 부착하여 실험했으며 페트병이 아닌 수조에 넣고 실험했다. 이 실험의 결과는 페트병에 탄산수 10 ml를 넣고 실험했을 때의 결과와는 약간 차이가 있는데 초기 온도가 22.58 °C, 평형 온도는 36.94 °C였으며 평형에 걸리는 시간도 약 40분 정도로 길었다. 또한 이산화탄소의 농도가 약 10분 정도까지는 올라가다가 그 뒤로는 조금씩 감소했는데 이는 수조가 완벽하게 밀폐되지 않은 영향인 것으로 판단하였다. 평형 온도가 높은 이유는 이미 이산화탄소 기체가 어느 정도 있는 수조에서 실험을 했기 때문에 온실 효과가 더 심하게 일어난 것으로 추정된다. 그래서 실험 3에서는 밀폐하기 쉬운 페트병을 사용하고 전등의 거리도 10 cm가 다소 가깝기 때문에 전구에서 발생하는 열로 인해 온도 상승이 유발될 수 있다는 것을 파악하고 전구와 페트병 사이의 거리를 20 cm정도로 유지하기로 결정하였다.

탄산수 10 ml를 넣은 페트병과 일반 공기를 넣은 페트병을 전등으로부터 10 cm 떨어뜨려 놓고 온도를 측정한 그래프는 다음과 같다. 탄산수 10 ml가 더 높게 온도가 상승했지만 일반 공기도 예상보다 많이 상승하였다. 그래서 전구와 페트병 사이의 거리에 대한 효과를 줄이기 위해 실험 3에서는 20 cm 정도 떨어뜨리고 실험을 진행하였다.

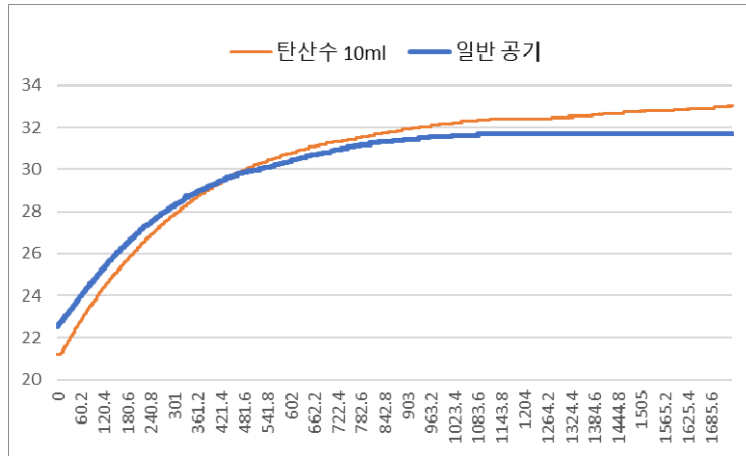


그림 5. 탄산수 10ml와 일반 공기 일 때 온도 변화 그래프

[실험 3의 결과]

실험 3에서는 탄산수의 양(이산화탄소의 농도)에 따른 온도 변화를 비교하기 위해 탄산수를 넣지 않은 페트병과 탄산수 20 ml를 넣은 페트병, 탄산수 40 ml를 넣은 페트병 3개를 비교하여 1차 실험을 수행하였다. 1차 실험 결과를 보면, 탄산수를 넣지 않은 페트병의 온도가 가장 낮게 나와서 온실기체의 영향을 확인할 수 있었지만 탄산수 20 ml를 넣은 페트병이 탄산수 40 ml를 넣은 페트병보다 온도가 높게 나왔다(그림 6). 이는 탄산수 20 ml를 넣은 페트병에 미쳐 빠지 못한 수증기가 들어 있어서 추가적인 온실 효과가 일어난 것으로 추정된다.

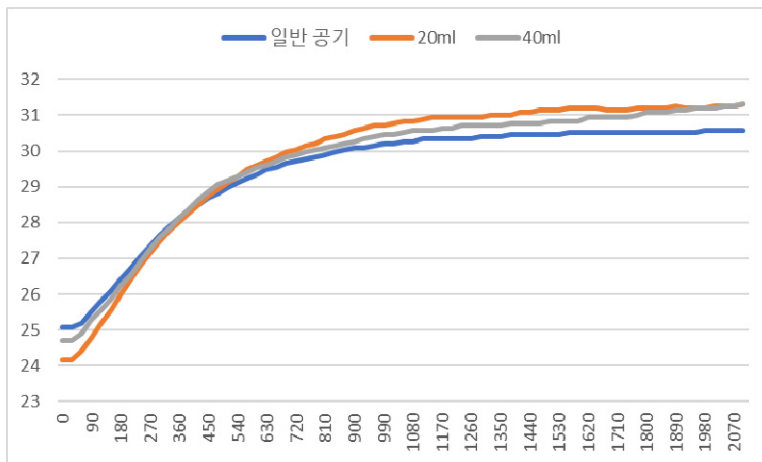


그림 6. 실험 3의 1차 실험 결과: 일반 공기, 탄산수 20 ml, 40 ml의 온도 변화 그래프

1차 실험을 실패한 후 새로운 병으로 탄산수 10 ml, 30 ml, 50 ml를 넣은 페트병 3개의 온도를 비교하는 2차 실험을 수행하였다. 2차 실험에서는 중간에 온도가 갑자기 확 바뀌는 부분이 있었고 심지어 결과도 30 ml, 50 ml, 10 ml 순으로 나왔고 탄산수 50 ml를 넣은 페트병과 탄산수 10 ml를 넣은 페트병의 온도가 비슷했다(그림 7). 왜 이런 결과가 나왔을까 체계적으로 분석하였더니 세 페트병 전부에서 탄산수 내에 기포가 그대로 있는 것을 발견하였다. 즉 이산화탄소기체가 탄산수에 여전히 녹아 있고 대부분은 탄산수로부터 빠져나오지 않았다는 것이다.

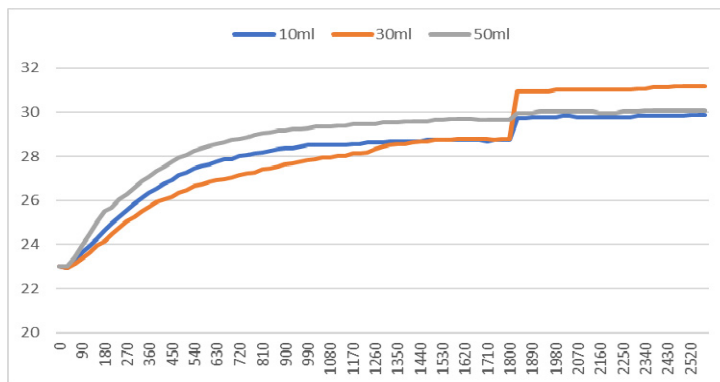


그림 7. 실험 3의 2차 실험 결과 : 탄산수 10 ml, 30 ml, 50 ml 일 때 온도 변화 그래프

2차 실험 후 페트병을 흔들어서 이산화탄소 기체가 모두 탄산수에서 빠져나오게 한 뒤 이번에는 탄산수를 넣지 않은 페트병과 탄산수 30 ml, 탄산수 50 ml를 넣은 페트병 3개를 비교하는 3차 실험을 진행하였다. 즉 탄산수 10 ml, 탄산수 20 ml, 탄산수 40 ml를 넣은 페트병 3개를 비교해 보았다. 그랬더니 예상했던 대로 탄산수를 많이 넣은 페트병일수록 평형 온도가 높게 나왔다(그림 8).

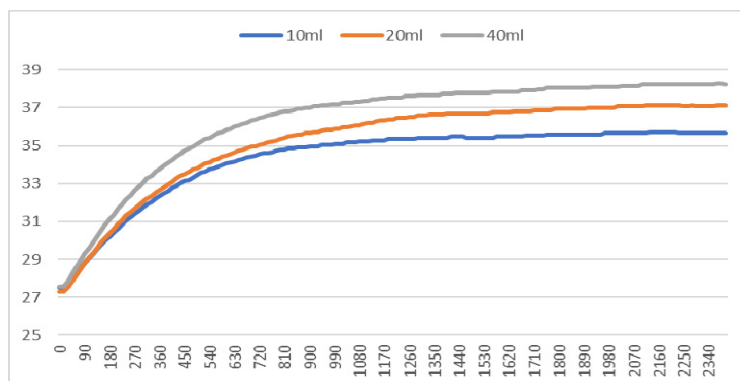


그림 8. 실험 3의 3차 실험 결과 : 탄산수 10 ml, 20 ml, 40 ml 일 때 온도 변화 그래프

2. 기상 데이터를 활용한 지구온난화의 영향 분석 결과

우리나라 주요 도시 4곳(서울, 부산, 대구, 인천)의 기온을 분석하였다. 100년간 평균을 분석하기에 앞서 30년간 평균 온도를 먼저 분석하였는데 대구는 30년 전이나 현재나 추세가 비슷했지만 나머지 3개 도시는 30년 전보다 평균 최고 기온이 조금씩 올라가는 추세가 보였다. 30년을 분석하였을 때 특이한 점은 지구온난화로 인해 겨울철 평균 최저 기온이 상승하였다. 지구온난화가 발생하면 평균 최저 기온이 내려가야 한다고 예상되었는데 반대로 겨울철 평균 최저 기온이 상승하였다. 30년간 예비분석을 마친 후 100년 데이터를 가지고 분석하여 다음과 같은 결과를 도출하였다.

1) 100년 동안 평균 기온 분석 결과(1923 ~ 2022, 100년)

대구 4개의 도시 중에서 평균 기온이 가장 가파르게 상승하였다. 100년 동안 평균 기온이 약 2.8℃ 정도 상승한 것을 알 수 있다. 부산은 4개의 도시들 중에서는 평균 기온이 가장 완만하게 상승하였지만 그래도 평균 기온이 100년 동안 약 2℃ 정도 상승하였다. 서울은 내륙 도시라서 그런지 해양과 접하는 도시보다는 기온이 가파르게 상승하였으며 100년 동안 약 2.7℃ 정도 상승하였다. 인천은 해양과 접하는 도시이기는 하지만 부산보다는 상승폭이 조금 높았으며 100년 동안 약 2.1℃ 정도 상승하였다. 4개 도시 간 차이는 있지만 대구와 서울의 기온 상승률이 가장 높게 나타났고, 부산과 인천의 경우 약간 낮은 상승률을 나타내었다(그림 9).

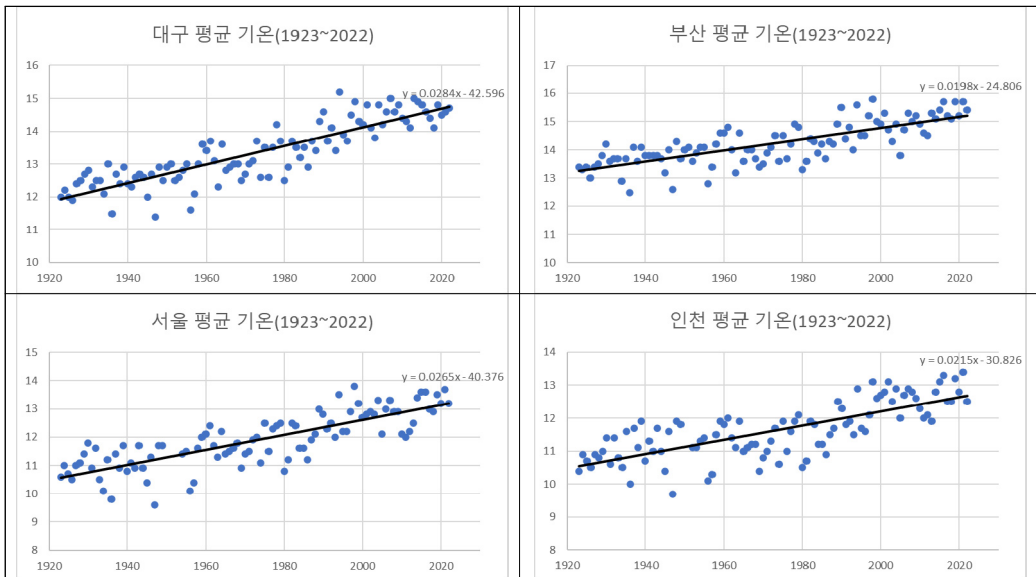


그림 9. 4개 도시의 100년(1923 ~ 2022) 동안 기온 변화 그래프와 추세선

다음으로 1년 중 평균 기온이 가장 높은 달인 8월, 평균 기온이 가장 낮은 달인 1월을 기준으로 평균 기온을 분석하였다. 그림 10, 11에 제시된 것처럼, 100년을 기준으로 두고 보면 8월 평균 기온은 약 0.5 ~ 1.8 °C 정도 상승했고, 1월 평균 기온은 약 2.5 ~ 3.8 °C 정도 상승했다.

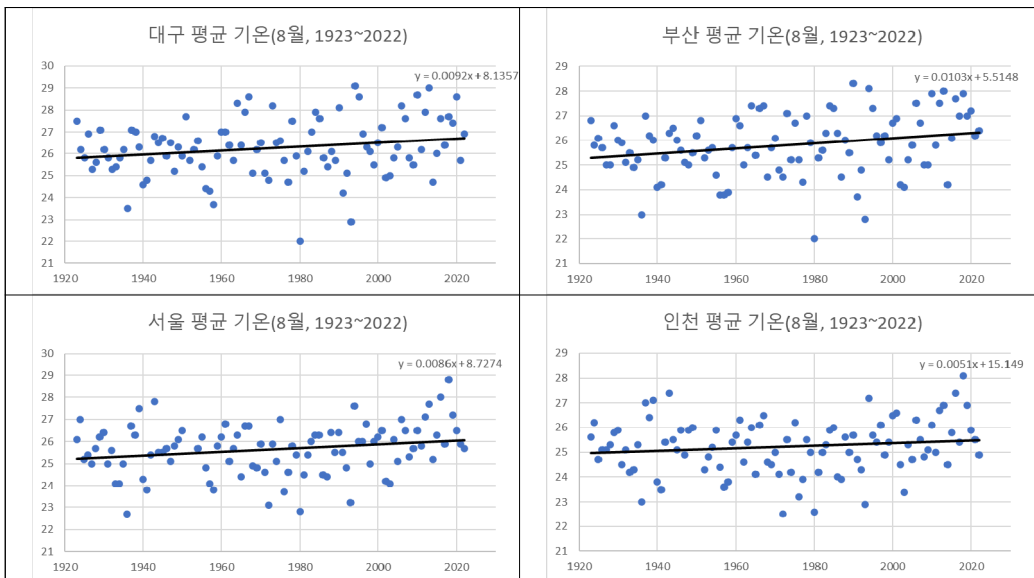


그림 10. 4개 도시의 100년(1923~2022) 동안 여름(8월)의 기온 변화 그래프와 추세선

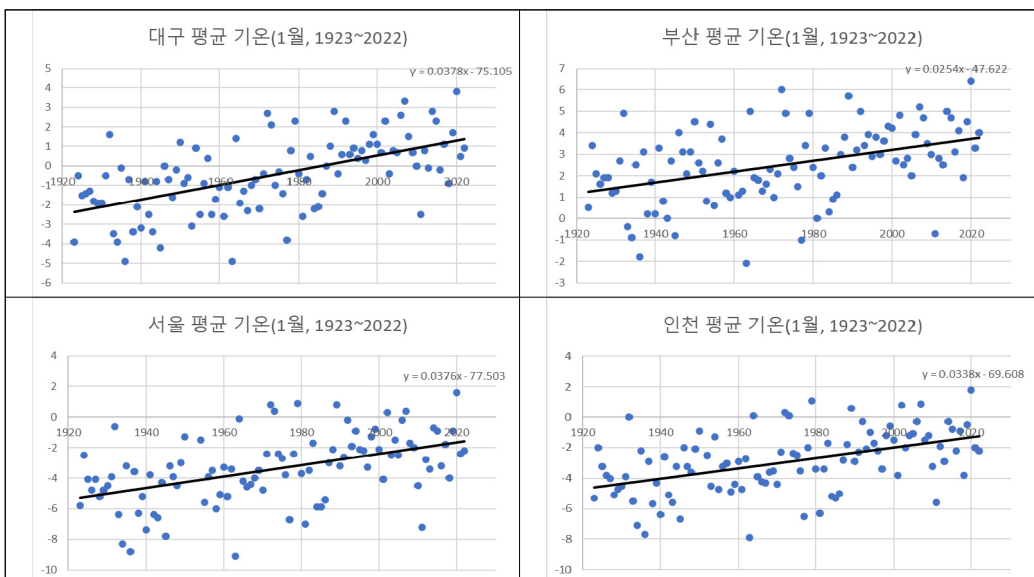


그림 11. 4개 도시의 100년(1923 ~ 2022) 동안 겨울(1월)의 기온 변화 그래프와 추세선

2) 100년 동안 평균 강수량 분석 결과(1923 ~ 2022, 100년)

100년 동안 강수량의 변화를 분석한 결과, 기온 상승과 다르게 대구의 강수량 증가가 가장 적은 111 mm 정도로 나타났고, 부산이 210 mm 정도로 가장 높은 증가율을 나타내었다(그림 12). 부산의 경우 평균적인 증가율은 2.3 mm/년으로 나타났고 대구는 상대적으로 적은 1.1 mm/년으로 분석되었다. 지구온난화로 인해 평균 기온이 1℃ 상승할 때마다 극단적 폭우로 인한 강수량이 15% 증가한다는 분석이 나왔는데 극단적 폭우로 인한 강수량 증가로 인해 100년 기준으로 4개 도시의 강수량은 약 111 ~ 210 mm 정도 증가하였다. 대기는 기온이 높을수록 더 많은 수분을 포함하게 되는데 지구온난화로 인해 대기의 온도가 올라가고 대기가 함유하는 수분의 양이 많아지면서 포화 상태가 된 후 수분을 쏟아낼 때 많은 양의 비가 내리게 되므로 지구온난화로 인해 강수가 증가하고, 폭우 같은 악기상이 발생하고 있다(기상청, 2023b).

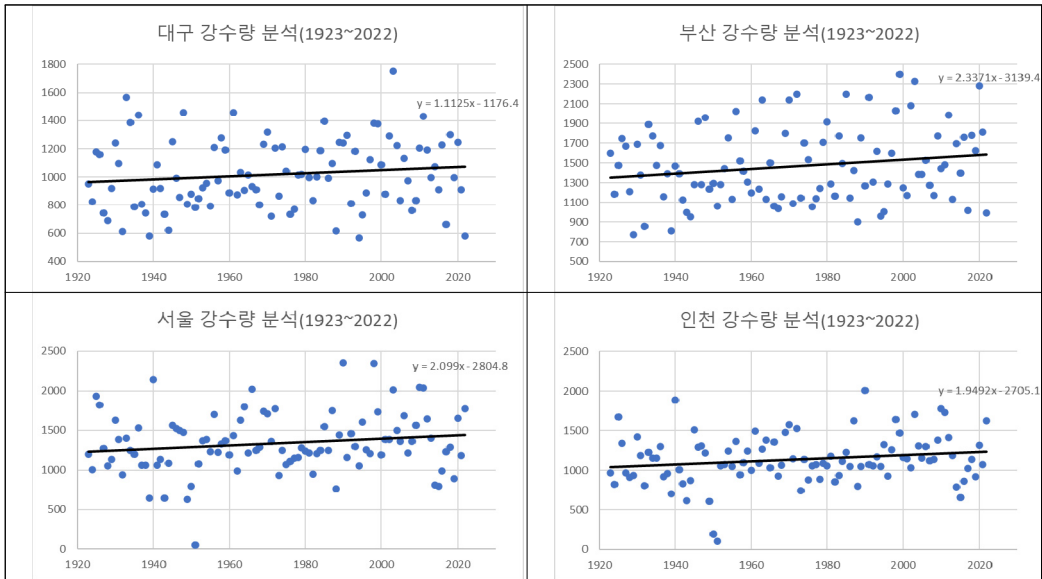


그림 12. 4개 도시의 100년(1923 ~ 2022) 동안 강수량 변화 그래프와 추세선

V. 결론 및 제언

이 연구의 목적은 지구온난화의 원인과 영향을 분석하기 위해 지구온난화를 유발하는 이산화탄소 기체의 영향에 대해 MBL을 활용한 탐구를 수행하고 기상 데이터 분석을 통해

그 영향을 분석하는 것이다. 이 연구의 결과를 요약하면 다음과 같다.

첫째, 온실기체의 영향을 분석한 실험의 결과, 이산화탄소 기체를 발생시키는 탄산수의 양이 많으면 많을수록 온도가 더 크게 증가하였다. 실험 설계를 하는 데 참고할 수 있는 선행 연구 결과가 미비하였다. 그래서 여러 단계의 실험을 통해 탄산수의 양(10 ml), 밀폐된 페트병의 사용의 필요성, 전구와 페트병 사이의 거리(20 cm) 등 실험에 필요한 정보를 알게 되었고 실험을 수행할 수 있었다. 예상하지 못한 오차로 인해 여러 단계 실험을 진행하였지만 최종적으로 탄산수의 양이 많을수록 기온 상승이 크다는 것을 알게 되었다. 이 결과는 기존의 보고서에서 언급한 것처럼, 화석 연료의 사용 증가, 산림 파괴 등으로 인해 이산화탄소의 농도가 대기 중에 계속 증가하면 그 온도 상승도 지속되어 지구환경에 심각한 피해와 영향을 미칠 것을 예상할 수 있다(기상청, 2023a, 2023b; IPCC, 2013, 2014). 또한 유사한 실험을 설계하는 학생들에게 유익한 정보를 제공할 것이다.

둘째, 우리나라에서 찾아볼 수 있는 지구온난화의 영향을 조사하기 위해, 100년(1923 ~ 2022) 동안 4개 도시(대구, 부산, 서울, 인천)의 평균적인 기온 상승을 분석한 결과 4개 도시 모두 평균 온도가 꾸준히 상승했고 강수량 역시 상승했음을 알 수 있었다. 특히 대구의 경우 다른 도시와 비교하여 온도 상승이 더 크게 나타났으며, 해양과 접해있는 부산, 인천의 경우 기온 상승 정도가 내륙보다 낮게 분석되었다. 이는 해양과 접해있는 부산, 인천의 쿠로시오 등 해류의 영향으로 인해 온도 상승이 다소 낮은 것으로 판단된다(이상룡 외, 2021).

아울러 지역별 평균 온도를 연도별, 월별(8월과 1월)로 나누어서 분석해 보았는데, 8월과 1월 모두 평균 기온이 상승했지만 1월의 평균 기온이 8월보다 상대적으로 더 높게 상승하였다. 그 이유는 지구온난화로 인해 북극의 기온이 상승하면서 중위도와외의 대기 온도 차이가 줄어들어서 제트 기류와 극소용돌이가 남하해서 차가운 시베리아의 공기가 중위도로 유입되기 때문이다. 하지만, 지구온난화로 인해 시베리아에서도 이상 고온 현상이 일어나서 찬 기단이 제대로 형성되지 못하였고, 그래서 오히려 겨울이 더 따뜻해진 모습을 볼 수 있었다(기상청, 2023a).

이번 연구에서 지구온난화의 영향과 온실기체의 영향을 알아보기 위해 기상청의 자료를 받아 직접 분석하고 MBL을 활용한 실험을 수행하였다. 이번 연구에서는 지구온난화의 영향 중 대표적인 기온 상승과 강수량 증가, 그리고 실험도 이산화탄소 기체만을 사용하여 했는데 후속 연구에서는 지구온난화의 다른 영향 조사 및 다른 온실 기체의 영향 조사도 필요할 것이다.

VI. 참고문헌

1. 교육부(2015a). 과학과 교육과정, 교육부 고시 제2015-74호 [별책9].
2. 교육부(2015b). 초등학교 5~6학년군 과학 6-1 교과서, 미래엔.
3. 기상청(2023a). 이상기후보고서 2022. 기상청.
4. 기상청(2023b). 2022년 지구대기감시보고서. 기상청.
5. 김태형(2023). 신(新)기후변화 시나리오 적용 우리나라 주변 해역 해수면, 2100년까지 최대 82cm 상승 전망. 국립해양조사원(<http://khoa.go.kr/>).
6. 사이언스큐브(2023). 개정교육과정을 위한 MBL 과학실험기기. 서울: 코리아 디지털.
7. 여상인(2017). 초등 과학영재와 일반학생의 지구온난화의 원인과 영향에 대한인식 및 자료해석 능력 비교 분석. 에너지기후변화교육 7(2), 203-211.
8. 위키백과(2023). 온실 기체. <https://ko.wikipedia.org/wiki/온실기체>.
9. 이상룡, 강효진, 김대철, 이동섭, 이재철[역서](2021). 해양학(7판). 북스힐.
10. 이지숙, 박혜경, 정철(2011). 초중학생의 지구온난화와 기후변화에 대한 인식, 과학교육 연구지, 35(2), 274-282.
11. IPCC. (2013). Climate Change 2013: The Physical Science Base, A Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.
12. IPCC (2014). Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, R.K. Pachauri and L.A. Meyer (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, 151 pp.
13. National Research Council. (2010). Advancing the Science of Climate Change, Washington, DC: National Academies Press.
14. Shao, W., Garand, J. C., Keim, B. D., & Hamilton, L. C. (2016). Science, scientists, and local weather: Understanding mass perceptions of global warming, Social Science Quarterly, 97(5), 1023-1057.
15. World Meteorological Organization[WMO]. (2021). 전 지구 기후현황 보고서.
16. World Meteorological Organization[WMO]. (2023). 전 지구 기후현황 보고서.
17. World Wildlife Fund[WWF]. (2022). 2022 지구생명 보고서.

개미의 경로 선택

중학심화사사과정 과학전공(생명과학)

황보민(영남중), 정서범(영남삼육중)

I. 서론

지능이 높은 동물이라 하면 많은 사람들은 흔히 원숭이, 침팬지, 인간과 같은 영장류와 돌고래 등의 동물을 떠올린다. 하지만, 지능의 기준을 단독 개체의 능력뿐만 아니라 개체가 속한 군집 전체의 집단 지능을 고려한다면 개미도 지능이 매우 높은 생물에 속한다. 개미는 단독 생활을 하거나 수 마리가 가족 단위로 생활하는 보통의 다른 동물들과 다르게 수백, 수천 마리 이상이 체계적인 사회 시스템을 구성해 군집 생활을 하는 동물로, 곤충 중에서도 지능과 문제 해결 능력 등이 뛰어나다고 알려져 있다. 우리는 실험을 통해 이를 직접 확인하여 보고, 개미가 어떤 방식으로 주어진 문제를 해결하는지 탐구해 보기로 하였다. 또한, 개미는 단체 생활을 하는 특성상 다른 동물과 매우 다른 생태와 특징을 가지는데, 먹이를 놓고 관찰하는 과정을 통해 일반적인 동물의 방법과 개미가 먹이를 찾아가는 과정을 비교해 보기로 하였다. 이를 바탕으로 개미의 생태가 갖는 독특한 특징을 알아보는 데 도움이 될 것이라 생각했고, 따라서 '개미의 먹이를 찾는 경로와 문제 해결 과정'이라는 주제를 정하게 되었다.

II. 이론적 배경

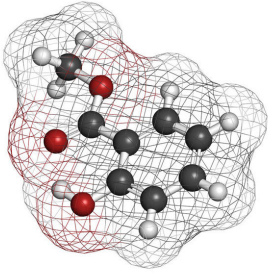
1. 개미



개미는 벌목 개미과에 속하는 곤충을 이르는 명칭으로, 집 개미, 불개미, 한국홍가슴개미 등 한국에는 132종 이상이 서식하고 있다. 개미는 벌과 같이 여왕개미, 수개미, 일개미로 구분되는 사회 체계를 가지고 군집 생활을 하는 곤충이며, 일개미는 식량을 모으거나 사냥, 양육을 담당하고, 여왕개미

는 산란을 담당한다. 어떤 개미는 곰팡이 재배장을 가지고 복잡한 농업을 영위하기도 하는 등 다른 곤충과는 확연히 다른 생태를 가진 곤충이다.

2. 페로몬



개미는 ‘페로몬’이라 불리는 화학물질을 이용해 다른 개체와 소통하는데. 이는 먹이의 존재를 알리거나 장애물, 위험 요소에 관한 정보 전달 등 다양한 용도로 사용된다. 그중 한 예로 먹이의 존재와 위치를 알리는 방법이 있는데, 먹이를 발견해서 가지고 돌아가는 개미는 이동하며 배의 끝부분을 땅에 끌며 ‘냄새길’을 만든다. 이는 개미의 배 끝에 있는 분비샘에서 만들어지는 페로몬을 이용해 만들어진 것으로, 여러 가지 화학물질을 이용해 먹이를 찾았을 때 사용하는 페로몬뿐만 아니라 위험 요소를 알리기 위한 경보 페로몬 등 다양한 종류의 페로몬이 이용된다. 또, 냄새길을 이루는 페로몬은 휘발성이 높아 더 이상 먹이가 없으면 마지막 개미가 오고 난 뒤 페로몬이 자연스레 없어져 다른 개미가 오지 않도록 하는 등 매우 효율적인 시스템이라 할 수 있다.

Ⅲ. 가설 설정

먼저, 개미는 먹이로 향하는 길을 알리기 위해 페로몬을 사용하는데, 이 페로몬은 휘발성이 높아 단시간 내에 증발해버린다. 따라서, 개미가 먹이를 찾아가고 페로몬을 남기는 과정에서 먹이에 도달하는 시간이 가장 짧은 경로 위에 있는 페로몬이 가장 많이 남게 된다. 일정 시간이 지난 후에는 먹이를 찾아가는 개미들이 개미굴과 먹이를 잇는 최단 경로를 따라 움직일 것이다. 또한, 먹이가 곡선 경로를 따라 위치에 있는 등의 이유로 개미들이 곡선 경로를 형성하게 된 이후에도 같은 이유로 시간이 흐른 뒤에는 직선 경로로 바뀔 것이다. 따라서, 다음과 같은 가설을 설정하게 되었다.

〈가설〉

- ① 개미는 먹이를 찾아가는 때 가장 짧은 직선 경로를 따라갈 것이다.
- ② 개미의 곡선 경로가 형성된 이후에도 점차 직선으로 바뀔 것이다.

IV. 실험 설계

먼저, 개미가 직선 경로를 형성하는지 알아보기 위한 실험을 설계하였다. 우선 개미굴의 위치를 파악하기 위해 일정 간격을 두고 과자와 같은 먹이를 놓고, 개미굴에서 나온 개미가 어떻게 먹이를 찾아가는지 일반적인 움직임을 관찰한다. 또 개미굴과 과자의 방향에 따라 다른 결과가 나올 수 있으므로 개미굴을 중심으로 일정한 반지름의 원을 따라 먹이를 놓아 관찰한다.



<실험1>

- ① 개미굴을 찾아 그 지점을 중심으로 반지름이 1m인 원을 따라 일정한 간격으로 과자를 놓는다.
- ② 개미가 먹이를 찾아가는 경로가 형성되는 과정을 관찰한다.

다음으로, 개미의 곡선 경로가 형성된 이후에도 직선 경로로 바뀌는지 알아보기 위한 실험을 설계하였다. 이를 위해서는 먼저 개미의 곡선 경로를 형성한 뒤 직선 경로로 바꾸는 과정이 필요하다. 개미의 곡선 경로를 만들기 위해 개미굴로부터 일정 거리 떨어진 지점을 시작으로 곡선을 그리며 먹이를 놓아 개미의 경로를 관찰하는 실험을 설계하였고, 경로가 형성된 이후에는 가운데의 과자를 모두 치워 경로의 변화과정을 관찰하도록 하였다.

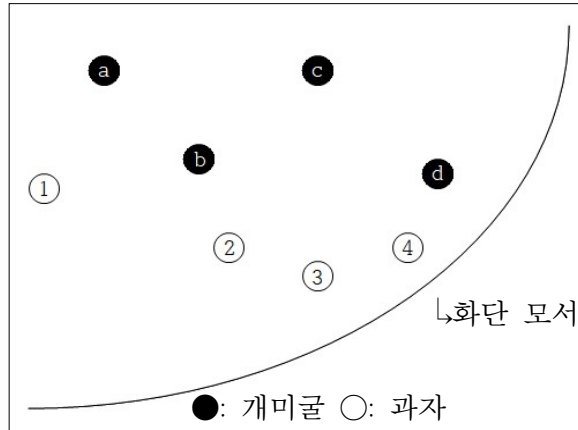
<실험2>

- ① 개미굴로부터 30cm 정도 떨어진 지점을 시작으로 곡선을 따라 일정한 간격으로 과자를 놓는다.
- ② 개미가 곡선 경로를 형성하면, 중간의 과자를 모두 치운다.
- ③ 개미가 어떤 경로를 따라가는지 관찰한다.

V. 실험 결과

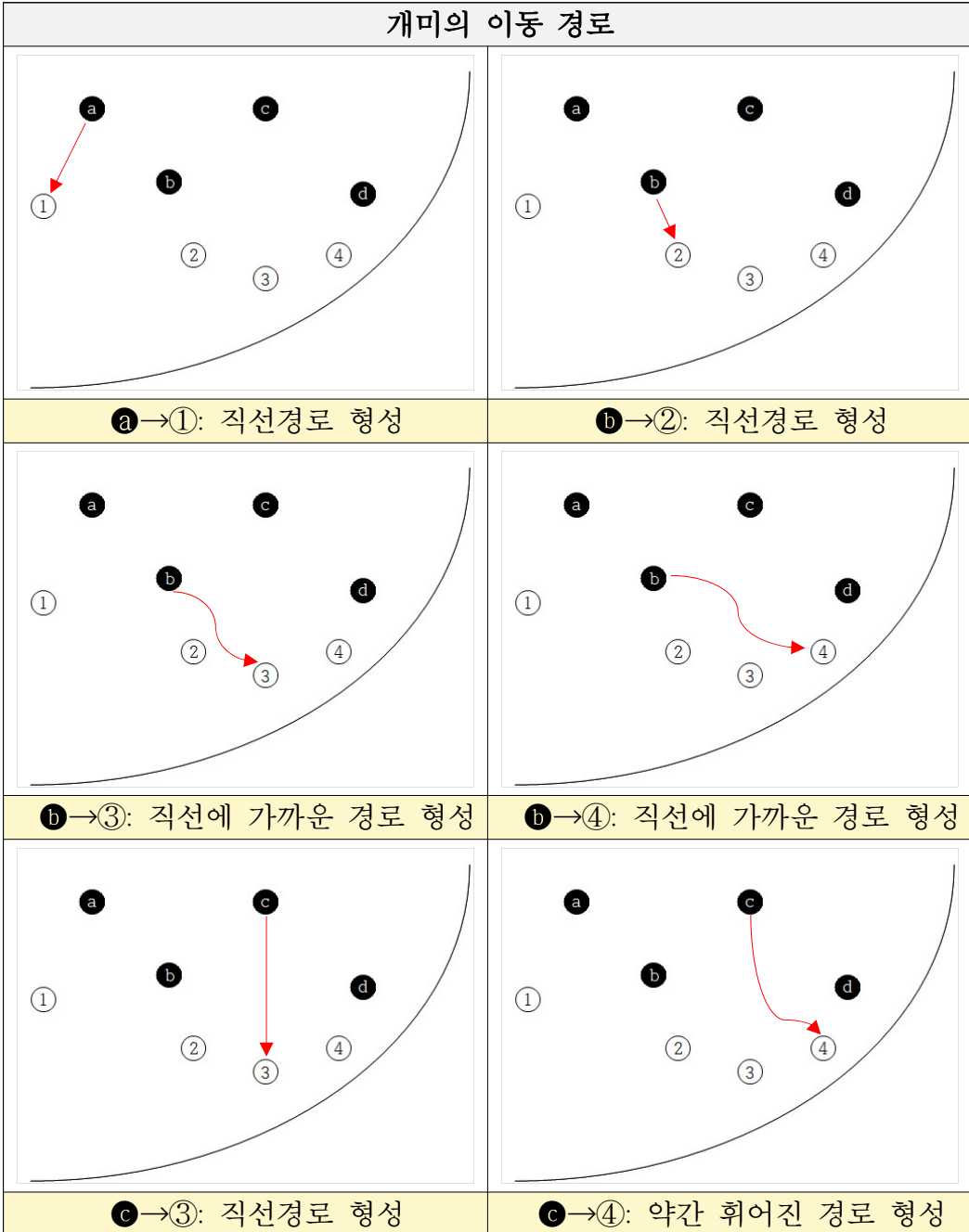
먼저, 개미가 직선 경로를 형성하는지 알아보기 위해 <실험1>을 8월 19일, 8월 26일 이틀

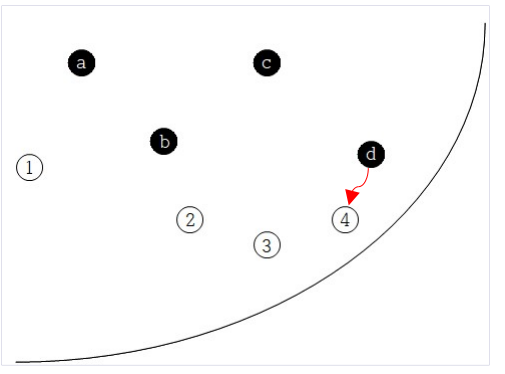
동안 진행하였다. 실험은 경북대학교 생물관 앞 화단에서 진행하였으며, 한 번 실험할 때마다 1시간 동안 관찰하였다. 다음은 화단의 개미굴과 과자를 놓은 위치가 표시된 지도이다.



실험 결과, 주로 밑드리개미속에 속하는 검정꼬리치레개미 (*Crematogaster brunnea teranishil*)로 추정되는 개미들이 관찰되었다. ●, ●, ●, ● 각 개미굴에서 나온 개미의 이동 경로는 아래 표와 같다.

개미의 이동 경로



개미의 이동 경로	
	-
d → ④: 약간 휘어진 경로 형성	-

다음으로 곡선 경로가 형성된 이후에도 직선 경로로 바뀌는지 확인하기 위해서 <실험 2>을 진행하였다. 장소는 <실험 1>과 동일한 생물관 앞 화단에서 진행했으며, 두 가지 방법으로 진행하였다.

<방법 1>: 개미굴에서 30cm 떨어진 지점을 시작으로 일정 간격으로 곡선을 따라 과자를 놓고 관찰한다.

위 방법으로 20분 동안 관찰하였지만, 첫 번째 지점에서 두 번째 지점으로 이동하는 개미가 관찰되지 않아 실험을 종료하였다. 따라서 방법을 변경하여 진행하였다.

<방법 2>: <방법1>과 동일하지만, 간격과 곡률을 줄여 실험한다.

<방법 2>로 관찰하였으나 두 번째 지점으로 이동하는 개미는 있었지만, 그 뒤로 이동하는 개미가 없어 실험을 종료하였다.

VI. 결과 분석

<실험 1>을 수행한 결과, 먹이 간의 거리가 너무 멀거나 꺾여있는 곡률이 너무 크지 않은 이상, 일반적으로 개미는 개미굴에서 먹이로, 그리고 먹이에서 또 다른 먹이로 향하기 위한 최단 경로를 형성하는 것을 관찰할 수 있었다. 하지만, <실험 2>를 진행하는 과정에서 개미

의 곡선 경로가 형성된 이후에도 직선 경로로 바뀌는지는 관찰에 어려움이 있었다. 곡선 경로가 형성되지 않은 이유는 두 가지 정도로 추정되는데, 첫 번째로 개미굴로부터 먹이의 거리가 너무 멀었고, 두 번째로 먹이와 다른 먹이 사이의 거리가 너무 멀었던 것으로 추정된다. <실험2>를 첫 번째로 실험했을 때, 곡선 경로가 형성되지 않아 먹이 간의 간격과 곡률을 줄여 다시 관찰했지만, 첫 번째나 두 번째 지점까지 도달하는 개미밖에 관찰되지 않았다. 이를 통해 멀리 떨어져 있는 지점의 먹이를 개미가 찾아가는 데 어려움이 있었다는 점을 알 수 있다. 또한, 두 번째 지점에서 세 번째 지점으로 넘어가는 개미가 관찰되지 않은 것을 통해서도 먹이 간의 간격이 넓으면 개미가 이동하는 데 어려움이 있었다는 것을 알 수 있다. 따라서 원활한 관찰을 위해서는 먹이 간 간격 문제를 없애기 위해 과자를 일정한 간격으로 놓는 것이 아니라 과자 부스러기로 길을 만들어 곡선 경로가 형성될 수 있게 해야 할 것이다.

VII. 결론 및 제언

<실험1>을 통해 개미는 먹이를 향한 직선 경로를 형성할 것이라는 첫 번째 가설을 검증할 수 있었지만, 곡선 경로가 형성된 이후에 직선 경로로 바뀔 것이라는 두 번째 가설을 검증하는 실험에는 실패하였다. 이는 실험 설계 과정에서 생길 수 있는 다양한 변수를 고려하지 못하였고, 따라서 먹이 간의 거리와 같은 변수를 생각하지 못한 것 때문으로 추정된다. 따라서 추가적인 연구의 기회가 주어진다면 이러한 부분을 보완해서 다시 실험을 진행해 볼 것이다. 또한, 주제 중 하나인 개미의 문제해결력 관찰을 하지 못하였고, 따라서 추가적인 실험을 하게 된다면 미로, 갈림길 등의 장치를 이용한 다양한 형태의 개미의 문제해결력을 관찰할 수 있는 실험을 설계해 수행해볼 것이다.

‘과학 영재’ 투고 규정

1. 취지 및 목적

과학영재교육원에서 교육을 받는 과학영재의 연구 수행 결과를 본 학회지에 발표함으로써 과학영재 교육을 활성화함을 목적으로 한다.

2. 투고 내용

가. 연구 논문 : 연구 논문은 창의적인 실험연구, 조사연구, 이론연구 등을 포함한다. 어느 경우에도 주장을 객관화할 수 있는 자료가 제시되어야 한다. 연구 논문은 다음 사항이 포함되어야 한다.

- 1) 제목, 연구자명, 연구자의 소속
- 2) 국문 초록(해당 논문의 요약 10줄 내외)
- 3) 연구목적, 연구방법, 연구결과 및 결론
- 4) 참고문헌 목록
- 5) 감사의 글(Acknowledgement): 필요한 경우 기술한다.

나. 논평 : 논평은 본 학회지에 발표한 연구 논문에 관한 비평을 말하며 연구방법, 논리상의 문제점, 의문점 등이 포함된다. 제출된 논평은 해당 논문 저자에게 전달하여 가능한 한 응답하도록 한다.

3. 투고 규정

- 1) 발표하고자 하는 내용은 타 학술지에 발표하지 않은 것이어야 한다.
- 2) 원고는 한글 또는 영어로 작성함을 원칙으로 한다. 다만, 용어 진술의 의미에 혼동의 우려가 있는 경우에는 괄호 내에 한문, 영문 또는 기타의 방법으로 보충할 수 있다.
- 3) 원고는 한글 또는 Microsoft Word로 작성하되, 글자체는 신명조, 글자크기는 10.5포인트로 한다. 페이지 여백은 위쪽 38mm, 아래쪽 32mm, 왼쪽 36mm, 오른쪽 36mm, 머리말 15mm, 꼬리말 15mm로 한다.
- 4) 논문제목, 저자명, 저자의 소속은 국문으로 작성한다.
- 5) 저자의 소속은 각주를 사용하여 페이지 아래에 학교명과 소속(해당자)을 표기한다.
- 6) 본문 내의 문헌 인용은 저자 이름과 발표 년도를 다음과 같이 표기한다.

예) 홍길동(1980) 또는 (홍길동, 1980)

오슈벨(Ausubel, 1985), Ausubel(1985), 또는 (Ausubel, 1985)

김영수와 박수철(1992) 또는 (김영수와 박수철, 1992)

(홍길동, 1980; Ausubel, 1985; 김영수와 박수철, 1990)

저자가 3인 이상인 문헌의 인용은 다음과 같이 표기한다.

예) 홍길동 등(1980) 또는 (홍길동 등, 1980)

Ausubel et al.(1985) 또는 (Ausubel et al., 1985)

7) 참고 문헌은 한국어, 동양어(일본어, 중국어 등), 서양어 순위로 하되 각 언어별 알파벳 순위로 나열한다. 인터넷 사이트의 내용은 가능한 인용하지 않도록 한다.

예) 조정래(2000). 천연염료와 염색. 형설출판사

오미영, 차선희, 김석(2003). 나우리의 비만탈출기. 현문미디어.

David Hunter(2005). Beginning XML 3판. 사이텍 미디어.

8) 본문 내용을 보충 설명하고자 하는 경우에는 각주를 사용하여 원고 하단에 내용을 첨가한다.

9) 표

가) 표 작성 시 가로선만 나타나게 작성한다.

나) 제목과 필요한 서술은 표 위에 위치하며, 들여쓰기 하지 않는다.

다) 제목 번호는 아라비아 숫자로 한다.(예: 표 2)

라) 표는 축소 또는 그대로 조판할 수 있도록 선명 완벽해야 한다.

10) 그림

가) 그래프, 그림, 사진은 모두 그림으로 명명한다.

나) 제목과 필요한 서술은 그림의 하단 가운데에 위치한다.

다) 그림 번호는 아라비아 숫자로 한다.(예: <그림 2>)

라) 그림은 축소 또는 그대로 조판할 수 있도록 선명 완벽해야 한다.

4. 투고상의 유의 사항

1) 투고 자격 : 연구 논문 및 논평의 투고 자격은 경북대학교 과학영재교육원에서 교육을 받는 학생 및 지도 교수로 한다.

2) 원고 제출 : 원고는 투고 규정에 지정한 한글 또는 Microsoft Word 로 작성된 파일로 투고한다. 제출된 원고는 반환하지 않는다.

3) 주의사항

- 가. 논문의 내용은 꼭 필요한 사항만을 포함하는 매우 압축된 형태이어야 한다. 연구 목적, 연구 문제, 연구의 제한점, 용어의 정의 등을 별도의 항목으로 나열하지 말고 꼭 필요한 내용만 서론에서 간략하게 진술한다.
- 나. 체제는 I, 1, 1) 등으로 하되 가급적 I 과 1 수준만 제목을 붙이고 너무 세분화하지 않도록 한다. 특히, 서론에서의 세부 항목 설정은 하지 않도록 한다.
- 다. 표나 그림은 본문 내용의 보조적 역할을 하는 것이므로 본문에 설명이 없는 표나 그림이 제시되어서는 안 된다. 표나 그림은 가급적 간략해야 하며, 복잡한 도표는 제시하지 않는다.
- 라. 분량은 A4 10면을 넘지 않도록 한다.
- 마. 부록은 원칙적으로 인정하지 않는다.

※ 논문투고안내 ※

논문투고: 논문은 한글 또는 Microsoft Word 로 작성한 파일로 제출한다.

메일주소 : seigy@knu.ac.kr

문 의 : 053-950-6423, 6425

과학영재 19권 1호

- 발행일 : 2023년 12월 31일
- 발행처 : 경북대학교 과학영재교육원
- 발행인 : 권 덕 기
- 편집인 : 김 성 아
- 인쇄처 : 한솔기획인쇄

- 연락처 : 대구광역시 북구 대학로 80 교육대학원 102호
경북대학교 과학영재교육원
Tel. 053-950-6423, 5 / Fax. 053-950-6424
e-mail : seigy@knu.ac.kr
homepage : <http://seigy.knu.ac.kr>