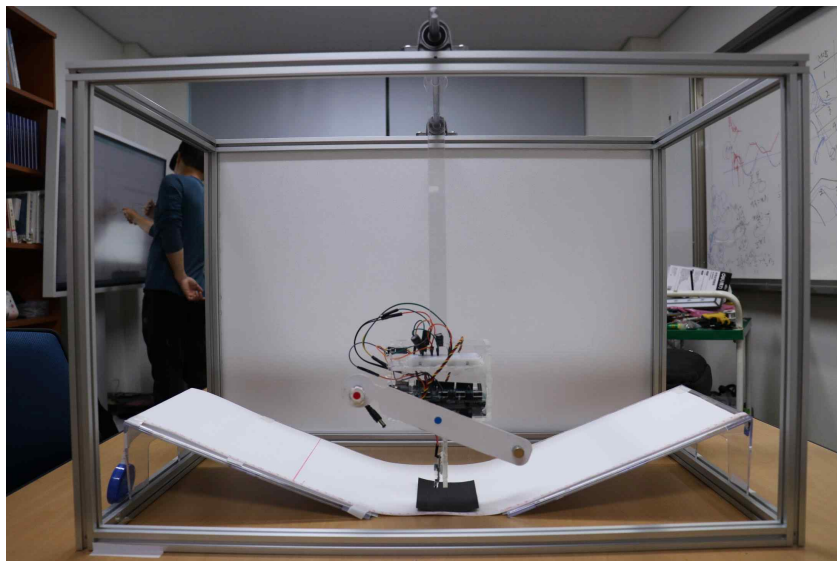


출품번호
1129

## 제67회 전국과학전람회

사람마다 그네를 다르게 타는 이유는?  
**무게중심 위치에 따른 그네타기 전략 차이** 탐구



2021. 9. 6.

출품학생	
지도교사	
구분	학생작
출품부문	물리

# 【 차 례 】

I. 서론 .....	1
1. 탐구 동기 .....	1
2. 탐구 문제 및 가설 설정 .....	2
3. 탐구 기간 .....	3
II. 이론적 배경 및 선행 연구 조사 .....	4
1. 역학적 에너지 보존 .....	4
2. 돌림힘, 관성모멘트 및 각운동량 보존법칙 .....	4
3. 선행 연구 조사 .....	6
III. 탐구 내용 .....	11
1. 탐구 문제 찾기. 사람은 실제로 어떤 방식으로 그네를 탈까? .....	11
가. 다양한 방법의 실제 그네타기 영상 분석 .....	11
나. 새로운 탐구 문제 발견 및 탐구 문제 구체화 .....	16
2. 탐구 준비. 그네 타기 모형(로봇) 만들기 .....	17
가. 그네 타기 모형(로봇)의 필요성 .....	17
나. 그네 타기 모형(로봇) 만들기 .....	17
나. 그네 타기 모형(모형)의 작동 알고리즘 .....	19
3. 메인 탐구. 몸을 접는 위치에 따른 진폭 증가율 비교 .....	21
가. 실험 설계 및 실험 방법 .....	21
나. 실험 결과 .....	23
1) 무게중심이 회전축에 있을 때 진폭 증가율 비교 .....	23
2) 무게중심이 상체에 있을 때 진폭 증가율 비교 .....	24
4. 추가 탐구. 메인 탐구 결과의 역도 성립할까? .....	24
가. 메인 탐구 결과를 역으로 실제 그네 타기에 적용 .....	24
나. 실제 사람의 무게중심 및 회전축의 위치 측정 .....	25
IV. 결론 및 향후 탐구 계획 .....	27
V. 참고 문헌 .....	28

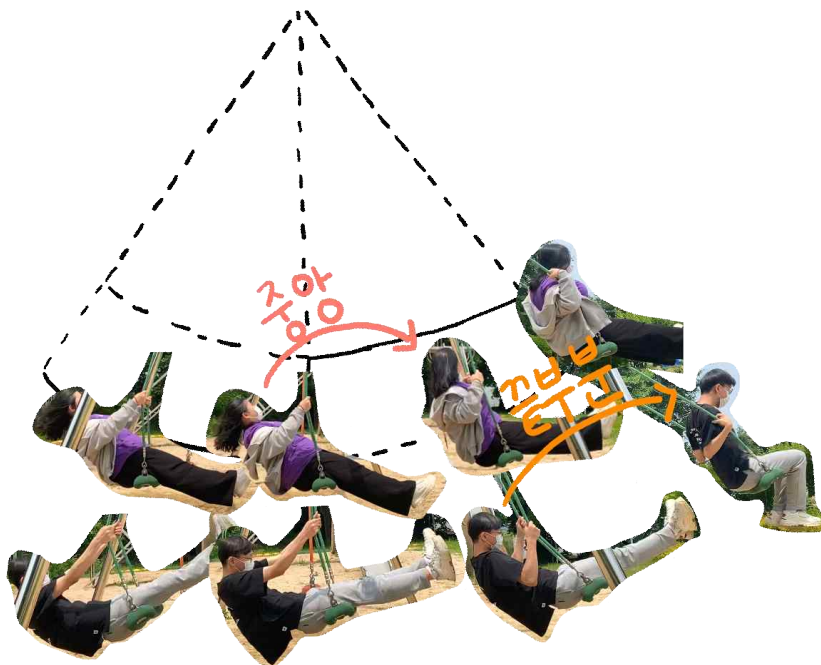
<그림 차례>

[그림 1]	앉아서 그네타기에서 몸을 접는 시점이 다른 두 사람 .....	1
[그림 2]	역학적 에너지 보존 법칙 .....	4
[그림 3]	회전운동과 병진운동에서의 식의 비교 .....	5
[그림 4]	병진운동과 회전운동의 변수 관계 .....	5
[그림 5]	그네 운동 분석을 위한 궤도 모델 .....	6
[그림 6]	서서 타는 그네의 자유물체도 .....	7
[그림 7]	서서 타는 그네의 모식도 .....	8
[그림 8]	서서 타는 그네의 각속도-각변위 그래프 .....	8
[그림 9]	앉아 타는 그네의 단순 모형 .....	9
[그림 10]	앉아 타는 그네의 모식도 .....	9
[그림 11]	앉아 타는 그네의 각속도-각변위 그래프 .....	10
[그림 12]	앉아 타는 그네의 돌림힘(1) .....	10
[그림 13]	앉아 타는 그네의 돌림힘(2) .....	10
[그림 14]	유전적 알고리즘 실행 장면 .....	10
[그림 15]	실제 앉아서 그네타기에서 무게 중심의 이동 .....	11
[그림 16]	변수를 제한하지 않고 마음대로 그네 타기 .....	12
[그림 17]	다리를 움직이지 않고 상체만 움직인 그네 타기 .....	13
[그림 18]	상체를 움직이지 않고 다리만 움직인 그네 타기 .....	13
[그림 19]	3번 경우에서 반대로 다리를 움직여 감속을 시킨 그네 타기 .....	13
[그림 20]	그네 타기 Tracker 분석 장면 .....	14
[그림 21]	시간에 따른 그네 각도 그래프 .....	15
[그림 22]	시간에 따른 그네의 각속도 그래프 .....	15
[그림 23]	그네 운동의 위상 공간 궤적 그래프 .....	15
[그림 24]	그네 각도, 각속도, 사람 각도 .....	15
[그림 25]	앉아서 그네타기에서 몸을 접는 시점이 다른 두 사람 .....	16
[그림 26]	처음 제작한 앉아서 그네 타기 로봇(근근이 1호) .....	17
[그림 27]	근근이 4호 정면 모습 .....	18
[그림 28]	근근이 4호 위에서 본 모습 .....	18
[그림 29]	회전축에 파란색 스티커, 머리부분에 빨간색 스티커 .....	18
[그림 30]	4개의 9V 건전지를 병렬 연결 .....	19
[그림 31]	검은색 판의 길이를 달리하여 근근이가 몸을 접는 위치를 조작한다. ....	19
[그림 32]	길이가 다른 4개의 검은색 판 .....	19
[그림 33]	근근이가 몸을 접고 펴는 위치를 나타내는 개념도 .....	20
[그림 34]	두 가지 조작 변인의 설정 .....	21
[그림 35]	트래커로 그네의 운동을 추적하는 장면 .....	22
[그림 36]	엑셀 함수와 최소자승법을 이용해 1차 함수 형태의 추세선을 구함 .....	22
[그림 37]	그네를 놓는 위치 통제 .....	23
[그림 38]	그네를 놓는 방법 통제 .....	23
[그림 39]	그네타기 전략별 진폭 증가율 비교(무게중심이 회전축에 있는 경우) .....	23
[그림 40]	그네타기 전략별 진폭 증가율 비교(무게중심이 상체에 있는 경우) .....	24
[그림 41]	실제 사람의 무게 중심 위치 측정을 위한 자유물체도 .....	25
[그림 42]	Tracker 프로그램에서 회전축 위치를 찾는 과정 사진1 .....	26
[그림 43]	Tracker 프로그램에서 회전축 위치를 찾는 과정 사진1 .....	26
[그림 44]	학생 A의 무게중심과 회전축의 위치 차이 분석 .....	26
[그림 45]	학생 B의 무게중심과 회전축의 위치 차이 분석 .....	26

## 1. 탐구 동기

학교 근처 초등학교에서 어린 동생과 같이 그네를 타러 갔었다. 그네 타기에 어려움을 겪고 있던 동생에게 그네 타는 방법을 가르쳐 주려는 데, 그네 타는 방법을 명확하게 설명할 수 없었다. 평소 너무도 쉽게 그네를 타고 있었기에 당연히 알고 있다고 생각했던 그네 타기의 역학적 원리를 모르고 있었음을 깨닫고, 이후 학교 물리 동아리에서 ‘어떻게 하면 그네를 잘 탈 수 있을까?’라는 주제로 토론을 진행하게 되었다. 토론을 해보니 사람마다 그네를 타는 방법이 다양했고, 무엇보다도 자신이 어떻게 그네를 타는지 명확하게 설명할 수 있는 사람이 거의 없었다.

이런 궁금증으로 그네 타기를 주제로 탐구를 시작하였는데, 인터넷 조사를 통해 그네 타기의 역학적 원리에 대해 알아보니 기본 원리가 잘 설명되어 있어서 막상 우리가 탐구 해야할 문제를 찾기가 어려웠다. 그래서 처음에는 탐구 문제를 찾기 위해 다양한 방법으로 그네를 타기도 하고, 그네 타기를 표현할 수 있는 그네 타기 로봇 모형을 만들어 실험을 해 보기도 하였다.



[그림 1] 앉아서 그네타기에서 몸을 접는 시점이 다른 두 사람

그러다가 앉아서 그네 타기에서 몸을 일으키는 시점이 이론과 다름에도 그네를 잘 타는 사례를 발견하고 탐구 문제로 구체화 하였다.

## 2. 탐구 문제 및 가설 설정

선행 연구와 이론에 따르면 앉아서 그네 타기는 오른쪽 끝(최고점)에서 몸을 접을 때 가장 효과적으로 진폭이 증가한다고 하였다. 그런데 우리가 직접 그네를 타면서 발견한 사례 중 하나는 그네가 중앙(최저점)을 지날 때 몸을 접으면서도 그네를 잘 타는 사례였다.

우리는 이것을 탐구 문제로 삼고 다음과 같이 구체화 하였다.

### 탐구 문제

1. 이론과 다르게 그네가 중앙을 지날 때 몸을 접는 사람도 그네를 잘 타는 역학적 원리는 무엇일까?
2. 그네가 중앙을 지날 때 몸을 접는 사람과 오른쪽 끝에서 몸을 접는 사람 중 누가 더 효과적으로 진폭이 증가할까?

이러한 탐구 문제에 대한 우리의 예상 답변은 다음과 같다.

### 예상 답변

1. 중앙에서 몸을 접는 사람은 서서 그네를 탈 때와 비슷한 원리(무게 중심 상승 효과)를 이용하는 것이다.
2. 무게 중심 상승 효과는 중앙에서 가장 크고 몸을 접을 때 생기는 작용 반작용에 의한 효과는 오른쪽 끝부분에서 가장 크므로 두 효과의 상대적 크기에 따라 누가 더 효과적인지 결정될 것이다.(효과가 최대가 되는 특정 위치가 있을 수도 있다.)

이러한 예상 답변을 검증 가능한 내용으로 정리한 우리의 가설은 다음과 같다.

### 가설 설정

1. 그네를 타는 사람의 무게 중심이 사람 몸의 회전축에 있을 때는 몸을 접을 때 무게 중심 상승 효과가 없으므로 이론과 같이 오른쪽 끝에서 몸을 접는 전략이 가장 효과적으로 그네의 진폭을 증가시킬 것이다.
2. 그네를 타는 사람의 무게 중심이 상체 쪽에 있을 때는 무게 중심이 회전축에 있는 경우에 비해 중앙에서 몸을 접는 전략의 진폭 증가 효과가 더 커질 것이다.

### 3. 탐구 기간

<표 1> 탐구 기간 및 절차

연구내용	추진 시기(월)														
	4월			5월			6월			7월			8월		
	초	중	말	초	중	말	초	중	말	초	중	말	초	중	말
탐구 주제 선정	▶	▶					▶	▶	▶						
선행 연구 조사 및 분석		▶	▶	▶	▶	▶	▶	▶	▶						
이론적 배경 파악		▶	▶	▶	▶	▶	▶								
탐구설계				▶	▶	▶	▶	▶	▶	▶	▶	▶			
탐구 수행					▶	▶	▶	▶	▶	▶	▶	▶	▶	▶	▶
그네 모형 제작						▶	▶	▶			▶	▶	▶	▶	
결과 정리 및 보고서 작성						▶	▶	▶				▶	▶	▶	▶

4월에 탐구를 시작할 때는 막연하게 그네 타기의 역학적 원리에 대한 궁금증에서 시작하였다. 선행 연구와 인터넷 자료 조사를 통해 기본적인 원리를 파악할 수 있었지만 우리가 탐구 해야 할 주제를 구체화 하는데 어려움이 있었다. 그래서 구체적인 탐구 문제를 발견하기 위해 직접 그네를 타기도 하고, 로봇을 만들어 실험을 해 보기도 하던 중 탐구 문제를 발견하여 구체화하고 그에 따른 새로운 실험 설계와 로봇 제작을 통해 탐구를 진행하였다. 이러한 탐구 과정을 위 <표 1>에 나타내었다.

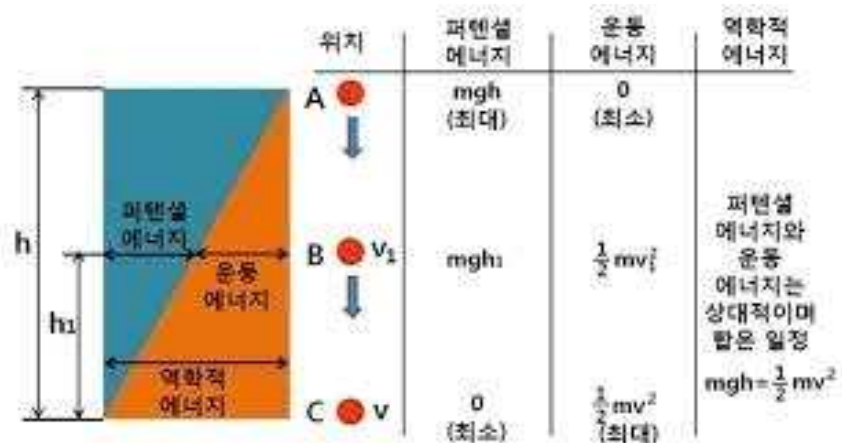
## II 이론적 배경 및 선행 연구 조사

### 1. 역학적 에너지 보존

역학적 에너지 보존은 외력이 없고, 공기저항과 마찰을 무시했을 때, 운동에너지( $E_k$ )와 위치에너지(중력 퍼텐셜에너지)( $E_p$ )의 총합은 일정하게 유지된다는 법칙이다.

이를 수식으로 나타내면  $m_1gh_1 + \frac{1}{2}m_1v_1^2 = m_2gh_2 + \frac{1}{2}m_2v_2^2$ , 즉  $E_{p.1} + E_{k.1} = E_{p.2} + E_{k.2}$

로 나타낼 수 있다. 강제로 이루어진 그네와 같은 단진자 운동에서는 양 끝 최고점에 도달했을 때, 진자는 정지하므로  $E_k = 0$ 으로 최소이고  $E_p$ 는 최대가 된다. 또한, 속도가 가장 빠른, 즉  $E_k$ 가 최대인 위치는  $E_p = 0$ 인 지점으로 진자의 중간(최저점)이다.



[그림 2] 역학적 에너지 보존 법칙

### 2. 돌림힘, 관성모멘트 및 각운동량 보존법칙

이 내용은 회전 역학에 해당하는 내용이다. 먼저 선운동과 각운동의 차이를 알면 쉽게 이해할 수 있는데, 선운동에서의 물리량인  $F$ (힘),  $m$ (질량),  $x$ (변위),  $v$ (속도),  $a$ (가속도),  $p$ (운동량),  $E_k$ (운동에너지)는 각운동에서의 현상을 설명하기 위해 각각  $\tau$ (토크, 돌림힘),  $I$ (관성모멘트, 회전관성),  $\theta$ (각변위),  $\omega$ (각속도),  $\alpha$ (각가속도),  $L$ (각운동량),  $E_r$ (회전 운동에너지)의 물리량을 도입하였다. 이 중 호도법을 통해  $s = r\theta$ 의 관계식을 알 수 있다.

관성모멘트는 정의에 따라  $I = \int_0^r r^2 dm$ 를 이용하여 유도할 수 있다.

나머지 관계식은  $s=r\theta$ 을 통해  $\frac{ds}{dt}=\frac{d\theta}{dt}r$ ,  $v=r\omega$ 의 관계가 유도되고,

또  $\frac{dv}{dt}=\frac{d\omega}{dt}r$ ,  $a=r\alpha$ 의 관계를 얻을 수 있다.

이를 이용해 선운동에서 쓰이는 물리량과 수식들을 각운동 물리량으로 대응하여 사용할 수 있다.

	고정축에 대한 회전 운동	병진 운동
운동 에너지	$K_R = \frac{1}{2}I\omega^2$	$K = \frac{1}{2}mv^2$
평 형	$\Sigma \vec{\tau}_{\text{ext}} = 0$	$\Sigma \vec{F}_{\text{ext}} = 0$
뉴턴의 제2법칙	$\Sigma \vec{\tau}_{\text{ext}} = I\alpha$	$\Sigma \vec{F}_{\text{ext}} = m\vec{a}$
비고립계	$\vec{\tau}_{\text{ext}} = \frac{d\vec{L}_{\text{tot}}}{dt}$	$\vec{F}_{\text{ext}} = \frac{d\vec{p}_{\text{tot}}}{dt}$
운동량	$L = I\omega$	$\vec{p} = m\vec{v}$
고립계	$\vec{L}_i = \vec{L}_f$	$\vec{p}_i = \vec{p}_f$
일률	$P = \tau\omega$	$P = Fv$

[그림 3] 회전운동과 병진운동에서의 식의 비교

병진운동	회전운동
위치 $x$	각 $\theta$
속도 $v$	각속도 $\omega$
가속도 $a$	각가속도 $\alpha$
질량 $m$	관성모멘트 $I$
힘 $F$	토크 $\tau$
운동에너지 $\frac{1}{2}mv^2$	운동에너지 $\frac{1}{2}I\omega^2$

[그림 4] 병진운동과 회전운동의 변수 관계

예를 들어 운동방정식  $F=ma$ 는  $\tau=I\alpha$ 로 표현할 수 있고 선운동량이 보존되는 것과 마찬가지로 각운동량도 보존된다. 여기서 각운동량 보존 법칙이란 돌림힘이 0 일 때( $\tau=0$ ), 회전하는 물체 A에 대하여  $L_A=L_A'$ 가 성립된다는 것이다. 그래서 피겨 스케이팅 선수가 스핀을 돌기 전에 팔과 다리를 넓게 편 후 스핀을 돌면서 팔과 다리를 모아 스핀을 더 빠르게 하는 것이다.

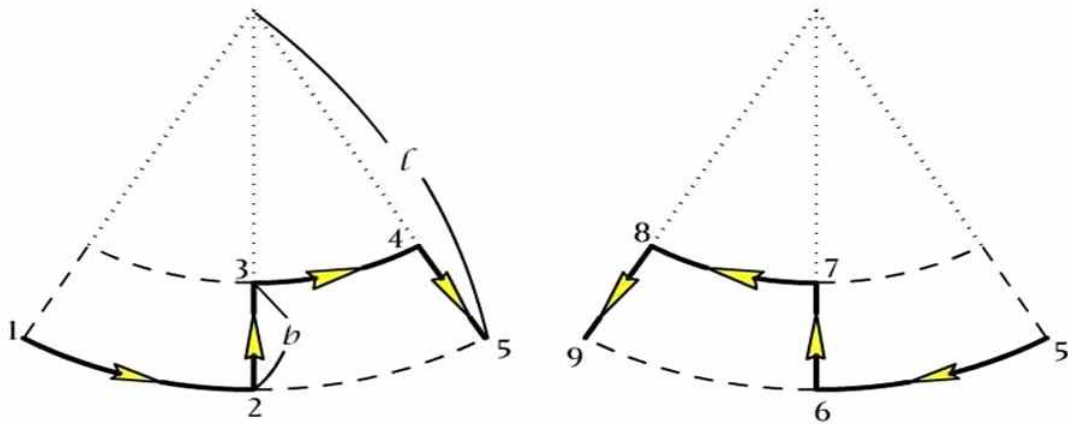
참고로 토크( $\tau$ )는  $\vec{\tau} = \vec{F} \times \vec{r}$ , 즉 벡터의 외적이므로  $\vec{F}$ 와  $\vec{r}$ 의 방향이 같거나 반대이면  $\vec{\tau} = 0$ 이 된다.



### 3. 선행 연구 조사

가. 그네 타기의 역학적 원리를 알아내어 가장 그네를 잘 타는 로봇 제작하기, 경남과학고 이기훈 외 4인 (2013)

내용 요약	본 탐구와 다른 점
서서 그네 타기의 원리를 설명한 후, 컴퓨터 시뮬레이션을 통해 원리를 확인하였다. 그리고 이후 실제 로봇 모형을 제작하여 가장 그네를 잘 타는 로봇을 개발하려 하였다.	본 연구는 앞서서 그네타기를 연구한 것으로서 서서 그네 타기의 역학적 원리와 다르다. 로봇 제작하였으나 그네를 잘 타게 하는 것에 집중하였을 뿐, 본 연구처럼 로봇을 이용해 조작 변인과 종속변인을 설정하여 탐구를 진행하지 않았다.



[그림 5] 그네 운동 분석을 위한 궤도 모델

그네의 운동을 무게중심의 변화로 설명하였다. 1의 과정에서 5의 과정으로 또 5의 과정에서 9의 과정으로 무게중심이 이동할 것이며 역학적 에너지 보존 법칙과, 각운동량 보존 법칙을 적용하여 그네의 속력이 어떻게 빨라지는지 설명하였다. 2⇒3의 과정에서 사람이 자신의 무게중심을 b만큼 올릴 때, 매우 짧은 시간 동안 수직 상승하면 각운동량이 보존된다. 이를 수직으로 나타내면 다음과 같다.

$$L_2 = L_3 \Rightarrow mlv_2 = m(l-b)v_3 = \frac{l}{l-b}v_2 \quad (\because \vec{r} = \vec{r} \times \vec{F}_{ext} = \vec{r} \times (-mg + T)\hat{r} = 0)$$

과정 4⇒5에서 사람은 자신의 무게중심을 b만큼 낮추는데, 매우 짧은 시간 동안 수직으로 하강한다고 가정하면  $\Delta L = \int_{t_1}^{t_2} \tau dt \simeq 0$  ( $\because \Delta t = t_2 - t_1 \simeq 0$ )이므로 각운동량이 보존된다. 4의 위치(최고점)에서  $v_4 = 0$ 이므로,  $\therefore L_4 = L_5 \Rightarrow m(l-b)v_4 = mlv_5 = 0$   $\therefore v_5 = 0$ 이다. 과정 4⇒5의 에너지 관계는 다음과 같다.

$$E_4 - mg \cos \theta_1 = E_5$$

$$\therefore E_5 = mg(l-b)(1 - \cos \theta_1) + mgb(1 - \cos \theta_1) = mgl(1 - \cos \theta_1)$$

그런데 다음 과정 5에서 과정 9까지는 앞의 과정 1에서 과정 5까지와 동일하다. 지금까지 계산한 반주기(1~4과정) 동안 에너지 변화를 계산하면 다음과 같다.

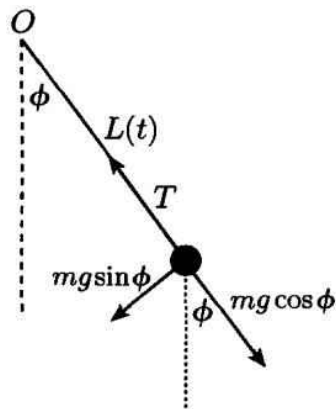
$$E_5 - E_1 = mgl(\cos \theta_0 - \cos \theta_1) > 0 \quad (\because \text{①식에 의해 } \theta_1 > \theta_0)$$

이를 통해 사람의 무게중심의 상하 이동 효과가 그네의 진폭을 증가시키는데 에너지를 공급한다는 사실을 알 수 있다. 위 탐구는 서서 타는 그네의 역학적 원리를 설명하고 시뮬레이션 및 로봇 제작을 통해 탐구하고자 하였다.

우리의 탐구는 앉아 타기 방법에 대한 탐구이므로 이 연구와는 다르지만, 전반적인 그네타기의 역학적 원리와 각운동량 보존 법칙을 이해하는데 도움이 되었다.

#### 나. How to Pump a Swing, Stephen Wirkus 외 2인 (1998)

내용 요약	본 탐구와 다른 점
서서 타는 그네와 앉아서 타는 그네의 역학적 운동을 각각 수식적으로 분석·비교를 하며 다양한 그래프로 해석하고, 두 모델을 합친 모델을 예상하여 위상공간 그래프로써 제시하였다.	그네 타기의 기본 원리 두 가지를 잘 설명하였으나 순간적인 움직임으로 가정하여 실제 그네타기에 적용하기에 부족한 부분이 있고, 본 연구처럼 어떤 조작변인을 가지고 가설을 세워 탐구를 진행하지 않았다.



**Figure 1.** Geometry and free-body diagram of a swing pumped from the standing position.

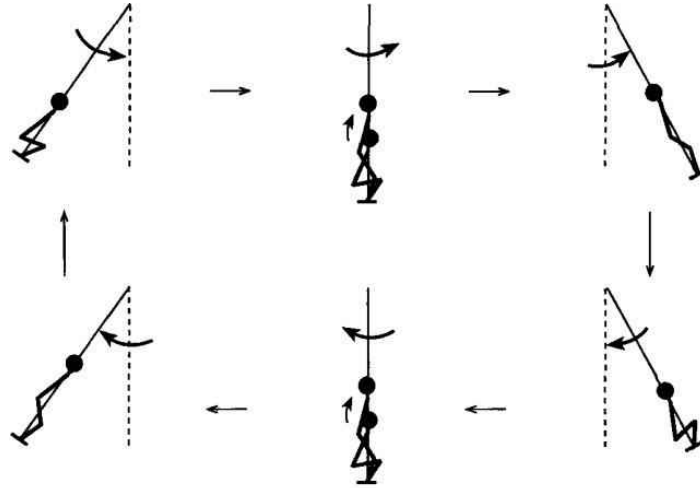
[그림 6] 서서 타는 그네의 자유물체도

먼저 분석 전, [그림 6]에서 길이  $L$ 의 줄을 절대 꺾이지 않는 강체이고, 사람 또한 일정한 위치에 질점을 가지고 있다. 또한 [그림 8]에서 자유물체도를 통해 장력  $T$ 와  $mg \cos \phi$ 는 힘의 평형을 이루고, 오직 외력을  $mg \sin \phi$ 만이 작용한다고 가정한다.

이때 각운동에서 힘에 대응하는 돌림힘은  $\vec{\tau} = \frac{dH}{dt} = \frac{I \times \omega}{dt} = \frac{d(mL^2 \times \dot{\phi})}{dt}$  ( $H$ 는 각운동량,  $I$ 는 관성모멘트,  $\omega$ 는 각속도,  $L$ 은 줄의 길이)이고, 다시 돌림힘  $\vec{\tau} = \vec{L} \times \vec{F} =$

$\vec{L} \times (-mg \sin \phi) = -mgL \sin \phi$ 이다. 이때, 위 두 식을 정리하면  $\frac{d(mL^2 \times \dot{\phi})}{dt} = -mgL \sin \phi$ 이

므로  $m$ 을 양변에서 제거하면  $\frac{d(L^2 \times \dot{\phi})}{dt} = -gL \sin \phi$ 라는 식이 나온다.

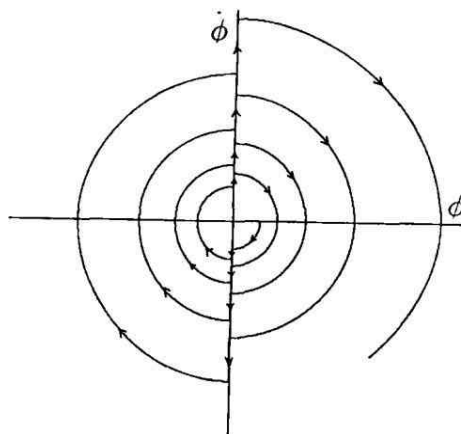


[그림 7] 서서 타는 그네의 모식도

이를 [그림 7]의 상황에 적용하면  $L_{stand}^2 \dot{\phi}_{stand} - L_{squat}^2 \dot{\phi}_{squat} = - \int_{t_0}^{t_0 + \Delta t} gL \sin \phi dt$ 와 같

은 식을 얻을 수 있고, 이때  $L_{stand}^2 \dot{\phi}^+ - L_{squat}^2 \dot{\phi}^- \rightarrow 0$ 이므로  $\dot{\phi}^+ = \left(\frac{L_{squat}}{L_{stand}}\right)^2 \dot{\phi}^-$ 이다. 즉

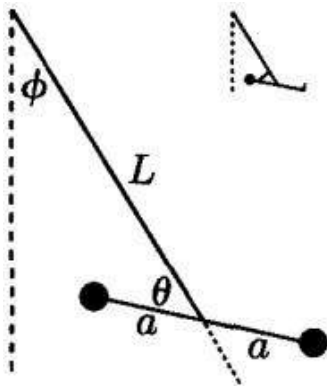
그네의 최저점 또는  $|\dot{\phi}|$ 이 최대인 곳에서 순간적으로 그네에서 일어나 속도를 증가 시킴으로써 역학적 에너지를 증가시켜 그네를 타는 것이다. 이를 위상 공간에 나타 내면 [그림 8]과 같다.



**Figure 3.** Phase trajectory for standing pumping.  $L_{stand} = 2.3$ ,  $L_{squat} = 2.7$ ,  $g = 9.8$ .

[그림 8] 서서 타는 그네의 각속도-각변위 그래프

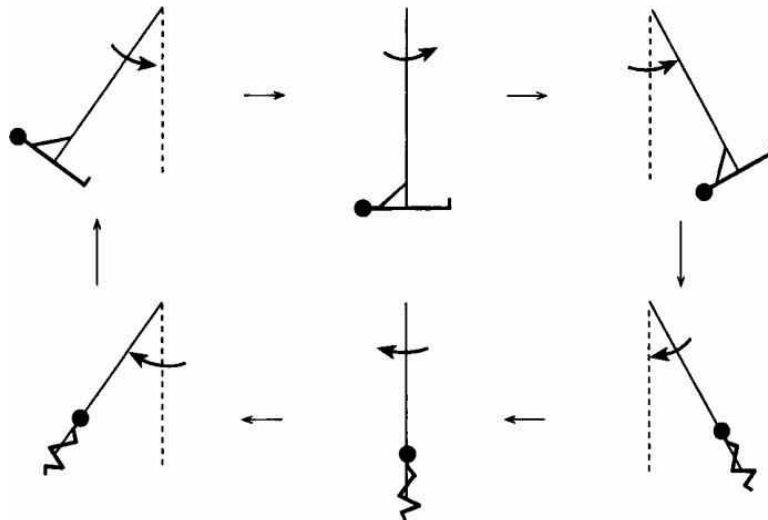
다음은 앉아서 타는 그네이다. 우리 탐구의 주제도 앉아 타는 그네인 만큼 더 중 요하게 선행 연구 조사를 하였다.



**Figure 4.** Model of a swing pumped from the seated position.

[그림 9] 앉아 타는 그네의 단순 모형

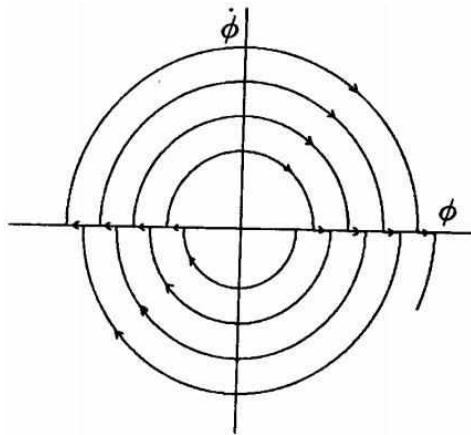
[그림 9]은 사람이 그네를 탈 때를 좌우에 각각 1:1 질량비의 바벨(barbell)을 달아 표현하였고, 강체의 줄과 두 바벨 사이의 강체가 이루는 각  $\theta$ 을 설정하여 변수를 하나 더 늘렸다. 앉아 타는 그네는 [그림 9]처럼 간단한 모식도를 통해 나타낼 수 있다. 이를 서서 타는 그네와 같은 방법으로 중력과 돌림힘의 관계를 수식을 정리하면  $\frac{d}{dt}[(L^2 + a^2)\dot{\phi} + a^2\dot{\theta}] = -gL\sin\phi$ 으로 나타낼 수 있다.



**Figure 5.** Strategy for pumping while seated.

[그림 10] 앉아 타는 그네의 모식도

이 식을 [그림 10]의 상황에 적용하면 최고점 또는  $|\dot{\phi}|$ 이 0인 아주 짧은 시간에  $\theta$ 를 변화시킴으로써 그 반작용으로 반대 방향의  $\phi$ 의 변화를 만들어 내는 방법으로 그네를 타는 것을 알 수 있다. 이를 위상 공간에 나타내면 [그림 11]과 같은 각속도-각변위 그래프를 얻을 수 있다.  $\dot{\phi}=0$ 인 지점, 즉 그네 타기에서의 최고점에서  $\phi$ 가 증가하는 모습을 볼 수 있다.

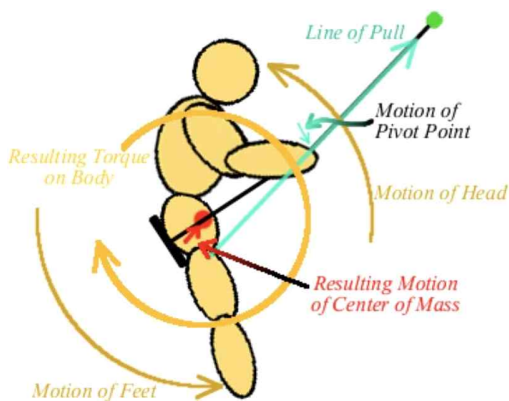


**Figure 6.** Phase trajectory for seated pumping.  $L = 2.5$ ,  $a = 0.5$ ,  $g = 9.8$ .

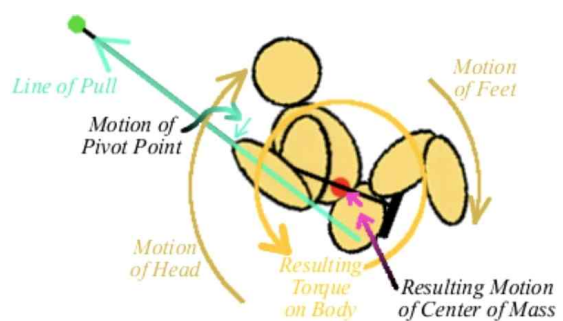
[그림 11] 앉아 타는 그네의 각속도-각변위 그래프

다. 나! 그네, KOSMOS (KAIST부설 한국과학영재학교 온라인 과학매거진 코스모스) 이준민 (2020)

내용 요약	본 탐구와 다른 점
서서 타는 그네와 앉아서 타는 그네의 물리적 원리를 각운동량 보존법칙과 역학적 에너지 보존법칙, 그리고 돌림힘을 통해 설명하고, 두 그네 타기 모델에 대하여	앞에서 소개한 선행 연구들의 내용을 재해석하여 정리한 문헌으로서 탐구를 진행한 내용은 아니다.



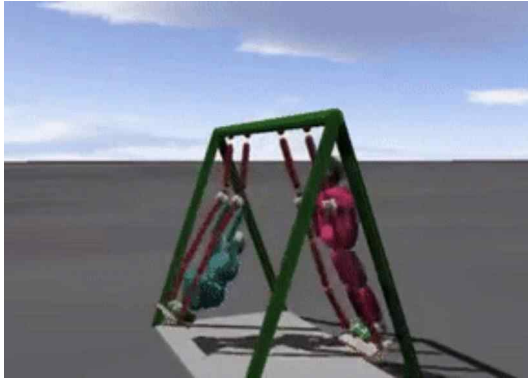
[그림 12] 앉아 타는 그네의 돌림힘(1)



[그림 13] 앉아 타는 그네의 돌림힘(2)

서서 그네 타기의 물리적 원리와 앉아서 그네 타기의 원리에 대해 설명한다. 위에서 소개한 선행 연구의 내용과 거의 같으나 앉아서 타는 모델에서 그네의 줄을 강체로 설정하지 않고 꺾이는 것으로 설명하는 점이 다르다.

또한 그네 타는 동작을 세분화해서 학습시킨 후, 그 동작들 중에 가장 높이 올라가는 것을 다시 골라내 마치 다윈의 자연선택설처럼 반복하면 나오는 모델이 그네

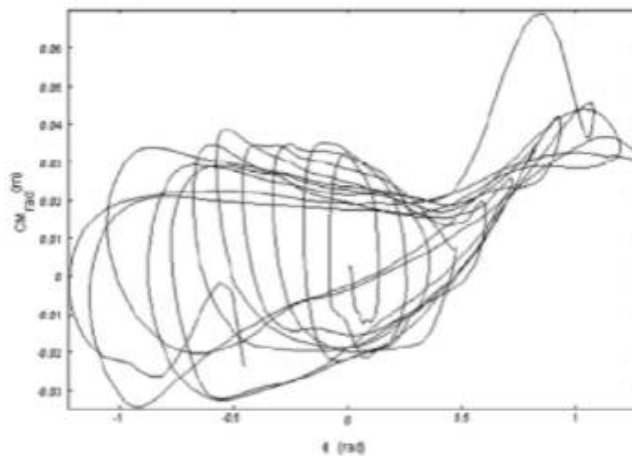


[그림 14] 유전적 알고리즘 실행 장면

를 잘 탄다는 유전 알고리즘을 소개하고 있다. 이 연구는 이론적인 설명과 연구 사례를 소개하였을 뿐 실제 실험을 통해 진행한 부분은 없다. 우리는 실제 사람의 그네타는 영상을 분석하고, 그네 타는 로봇을 만들어 선행연구에서 설명하는 그네 타기 원리가 실제 상황에 어떻게 적용되는지 알아보고자 하며 나아가서는 유전 알고리즘 등을 활용하여 최적의 그네 타는 방법에 대해 알아내고자 한다.

#### 라. Pumping a playground swing, Auke A. Post 외 3인 (2007)

내용 요약	본 탐구와 다른 점
30명의 사람들을 표본 집단으로 하여 그네를 태우고, 그네 회전축과 사람 사이 각도에 따른 무게중심 위치 그래프 등을 통해 실제 사람들이 그네를 어떻게 타는지 설명하였다.	실제 그네 타는 사람의 모습을 정량적으로 분석하였으나, 본 연구처럼 사람의 무게중심이나 체형에 따른 연구는 아니다.



[그림 15] 실제 앉아서 그네타기에서 무게 중심의 이동

#### 마. The pumping of a swing from the seated position, William B. Case 외 1인 (1999)

앉아서 그네 타기의 원리를 요약 정리한 교육 논문.

# IV 탐구 내용

## 1. 탐구 문제 찾기. 사람은 실제로 어떤 방식으로 그네를 탈까?

### 가. 다양한 방법의 실제 그네타기 영상 분석

1) 다양한 방법의 실제 그네 타기 영상 촬영  
실제 그네 타기를 분석하여 기존 연구와 어떻게 다른지 알아보기로 하였다. 이를 위해 인근 초등학교에 직접 가서 여러 가지 상황을 설정하여 그네타기 영상을 촬영하였다.

표 6 다양한 그네 타기 방안

상황	상체	다리	감속/가속
1. 변수를 제한하지 않고 마음대로 그네 타기	○	○	가속
2. 다리를 움직이지 않고 상체만 움직인 그네 타기	○	×	가속
3. 상체를 움직이지 않고 다리만 움직인 그네 타기	×	○	가속
4. 3번 경우에서 반대로 다리를 움직여 감속을 시킨 그네 타기	×	○	감속

#### 상황 1. 변수를 제한하지 않고 마음대로 그네 타기



[그림 16] 변수를 제한하지 않고 마음대로 그네 타기



## 상황 2. 다리를 움직이지 않고 상체만 움직인 그네 타기



[그림 17] 다리를 움직이지 않고 상체만 움직인 그네 타기

## 상황 3. 상체를 움직이지 않고 다리만 움직인 그네 타기



[그림 18] 상체를 움직이지 않고 다리만 움직인 그네 타기

## 상황 4. 3번 경우에서 반대로 다리를 움직여 감속을 시킨 그네 타기



[그림 19] 3번 경우에서 반대로 다리를 움직여 감속을 시킨 그네 타기



이와 같이 다양한 방법으로 그네를 타는 영상을 촬영해 관찰해 본 결과 선행 연구에서 설명한 내용과 어느 정도 비슷한 경향을 보인다. 그네가 오른쪽 끝에 왔을 때 몸을 당기고 다리를 굽히며, 그네가 왼쪽 끝에 왔을 때 몸을 눕히고 다리를 펴는 행동을 할 때 그네가 잘 가속되는 모습을 보였고 반대로 그네가 오른쪽 끝에 왔을 때 다리를 펴고 왼쪽 끝에 왔을 때 다리를 굽히는 방법으로 그네를 탔을 때 진폭이 점점 줄어드는 모습을 관찰할 수 있었다.

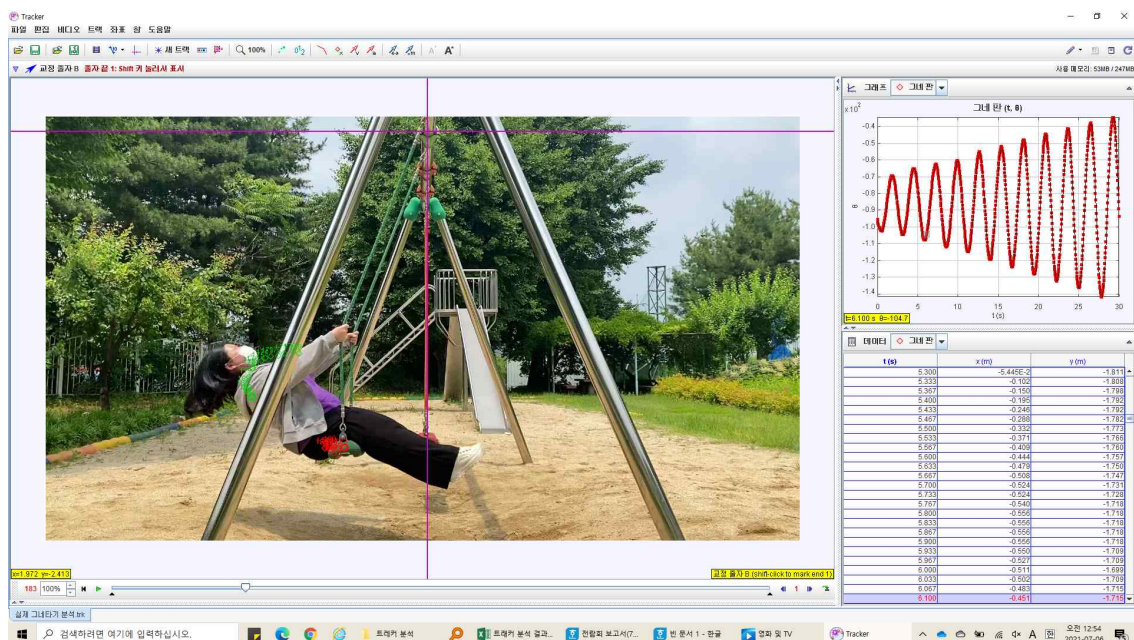
그러나 선행 연구에서는 아주 짧은 시간에 순간적으로 몸을 눕히거나 다리를 펴는 행동 등을 하는 것으로 설정하여 계산하였는데 실제 그네타기에서는 순간적으로 움직이려면 무한대에 가까운 가속도와 힘이 필요하므로 그럴 수 없다. 즉, 어느 정도 시간을 가지고 천천히 몸을 눕히거나 다리를 접는 행동을 하는 것이다. 이에 대해 정확히 알아볼 필요를 느꼈다.

## 2) Tracker를 이용한 실제 그네 타기 영상 분석

위에서 설정한 상황 1과 같이 몸과 다리를 모두 사용한 그네 타기 영상을 Tracker로 분석하였다.

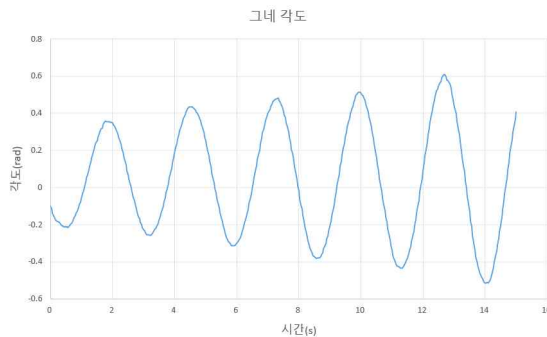
### 가) 탐구 방법

1초에 30프레임인 동영상을 15초간 각각 그네와 어깨에 질점을 찍는다.  $30(1\text{초에 } 30\text{프레임}) \times 15(\text{최대 } 20\text{초간}) \times 2(\text{그네와 줄에 질점을 찍어}) = 1200\text{개의 질점을 찍어}$  시간에 따른 두 질점의 위치 데이터를 얻고 Excel 프로그램을 이용하여 그네 각도( $\phi$ )와 그네 각속도( $\dot{\phi}$ ), 사람 각도( $\theta$ )를 구하여 그래프로 나타내었다.

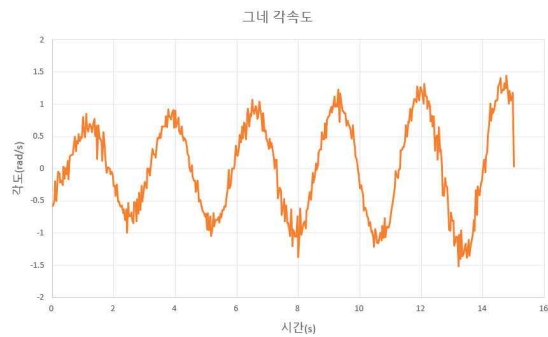


[그림 20] 그네 타기 Tracker 분석 장면

## 나) 탐구 결과 분석



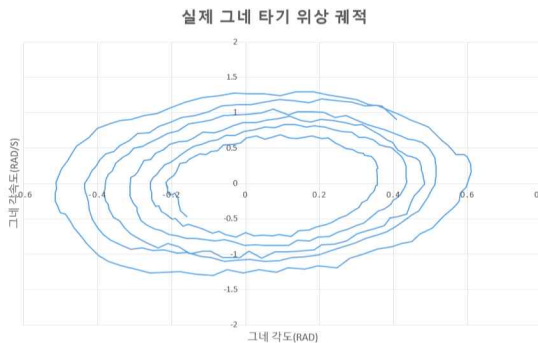
[그림 21] 시간에 따른 그네 각도 그래프



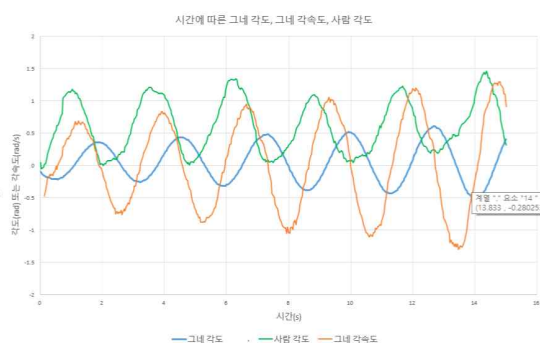
[그림 22] 시간에 따른 그네의 각속도 그래프

시간에 따른 그네 각도와 각속도는 [그림 21, 22]와 같이 점점 진폭이 커지는 모습을 보였다.

그네의 움직임을 위상 공간에 나타내면 위 [그림 23]과 같이 나선형으로 점점 진폭이 커지는 모습을 볼 수 있다. 그러나 선행 연구에서와 같이 한순간에 속도나 변위가 커지는 모습은 볼 수 없으며 연속적으로 증가하는 모습을 볼 수 있다.



[그림 23] 그네 운동의 위상 공간 궤적 그래프



[그림 24] 그네 각도, 각속도, 사람 각도

시간에 따른 그네 각도, 각속도, 사람 각도를 함께 나타내면 [그림 24]와 같다. 그네 각속도 변화가 거칠어서 알아보기 쉽도록 Excel의 추세선으로 대체하였다.

그네가 오른쪽으로 갈 때와 왼쪽으로 갈 때 모두 그네가 중앙(각도가 0인 위치)을 지난 후 사람 각도의 변화가 커지고 그에 따라 속도가 커지는 모습을 볼 수 있다. (자세히 보면 그네 속도 그래프의 봉우리가 오른쪽이 조금 더 두껍다.)

## 다) 이론과 실제 그네 타기 비교

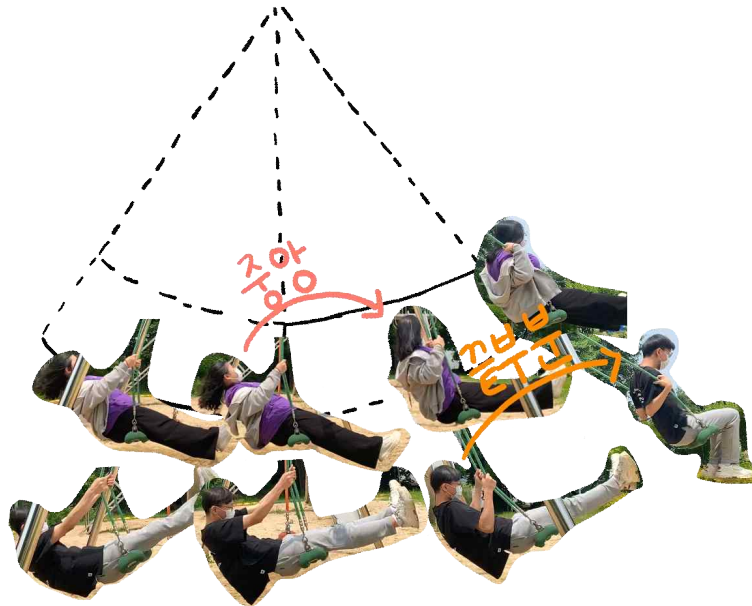
선행 연구에서는 그네가 중앙을 지날 때 순간적으로 일어섬으로써 무게중심이 순간적으로 올라가면서 그네의 속도가 빨라지는 방법과 그네가 양 끝에 있을 때 사람의 각도 변화를 순간적으로 줌으로써 그네의 각변위가 증가하는 방법에 의해 그네를 탄다고 설명하고 있다.

또한 실제로 우리가 그네를 타고 촬영하여 분석한 결과로는 앉아서 그네를 탈 때

도 서서 그네 타기의 주된 방식인 ‘무게 중심 상승에 의한 속도 증가 효과’를 이용하는 사람도 있는 것으로 보였지만, 그네의 진폭 증가 과정이 연속적이고 복합적으로 작용했다는 것을 제외하면 선행 연구에서 언급한 두 가지 원리가 잘 적용되는 듯 보였다.

## 나. 새로운 탐구 문제 발견 및 탐구 문제 구체화

이론과 실제의 비교 결과, 실제 그네 타기도 선행 연구에서 설명한 그네 타기와 별반 다르지 않아서 구체적인 탐구 문제를 정하기 못하고 계속 실제 그네 타기 영상을 분석하고 있었다. 그러던 어느날 그네를 타는 우리들의 모습을 보던 중, ‘어? 우리들 각자 그네 타는 방법이 조금씩 다르네..!’라는 생각이 들었고, 좀 더 자세히 관찰하자 사람마다 몸을 접는 위치가 조금씩 다르다는 점을 발견할 수 있었다.



[그림 25] 앉아서 그네타기에서 몸을 접는 시점이 다른 두 사람

그네가 중앙(최하점)을 지날 때 몸을 접기 시작하는 사람이 있었고, 그네가 오른쪽 끝(최고점)에 거의 도달했을 때 몸을 접는 사람도 있었다.

여기서 우리는 이 두 사람이 ‘무게 중심 상승 효과’와 ‘돌림힘의 작용 반작용 효과’ 중 어떤 것을 주로 사용할지 궁금증이 생겼고, ‘이 둘 중 어느 전략이 더 효과적으로 빠르게 진폭을 증가시키는 전략일지 궁금해졌다.’

그래서 우리는 이 두 가지 궁금증을 새로운 탐구 문제로 정하고 이후의 탐구를 진행하였다.

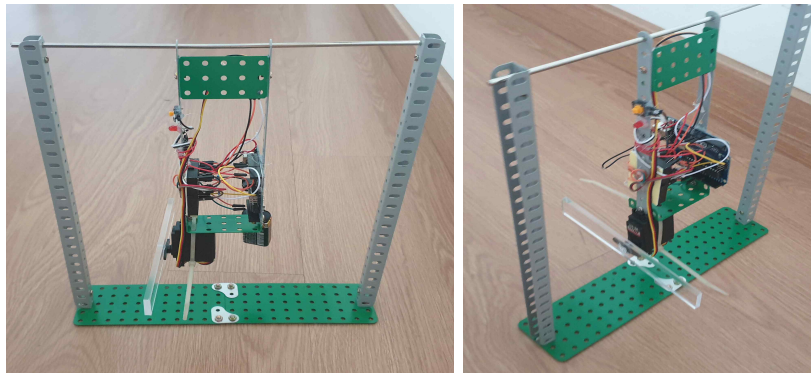
## 2. 탐구 준비. 그네 타기 모형(로봇) 만들기

### 가. 그네 타기 모형(로봇)의 필요성

구체적인 탐구 문제를 발견한 후, 처음에는 사람이 직접 그네를 타면서 몸을 접는 시점을 달리하면서 그네의 진폭이 커지는 속도를 측정하고자 했다. 그러나 매번 일정한 위치에서 몸을 접는 것도 불가능했고, 다리를 접거나 팔을 당기는 등의 행동을 통제하기가 어려워서 우리가 조작할 변인인 ‘몸을 접는 위치(시점)’를 조작할 수 있으면서도 다른 변인은 통제가 되는 로봇을 만들 필요가 있었다.

### 나. 그네 타기 모형(로봇)의 만들기

#### 1) 근근이 탄생



[그림 26] 처음 제작한 앉아서 그네 타기 로봇(근근이 1호)

과학상자를 이용해 그네를 만들고 ]아크릴판으로 사람의 몸을 나타내었다. 서보모터와 아두이노로 아크릴판을 움직이는데, 센서 없이 미리 입력해 놓은 주기와 각도로 아크릴판이 시계 방향과 반시계 방향으로 반복적으로 움직이도록 하였다. 사람의 몸을 나타내는 아크릴판을 이후의 설명에서는 ‘근근이’로 부르겠다.

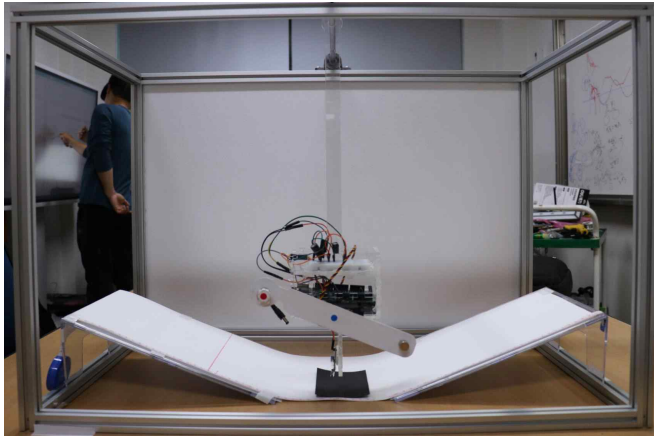
그네의 고유 주기(약 0.84초)와 근근이가 움직이는 주기를 정확하게 맞추자 그네의 진폭이 점점 커지는 모습을 관찰할 수 있었다. 그러나 주기가 조금만 달라져도(0.01초) 그네의 진폭이 커지지 않았다.

우리가 실제 그네를 탈 때는 고정된 주기로 움직이는 것이 아니라 그네의 움직임에 맞추어 우리의 몸을 움직이므로 근근이에게도 그네의 위치를 알 수 있는 센서가 필요하다고 생각하였다.

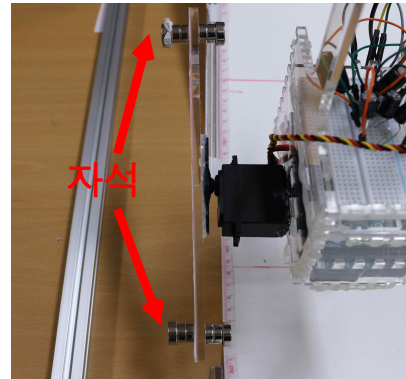
또한 그네의 크기가 작아서 주기가 짧아서 눈으로 그네의 정확한 움직임을 관찰하기 어려웠고, 서보모터의 힘이 약해 근근이의 무게를 늘렸을 때 제대로 움직이지 못하는 문제도 있었다.



## 2) 근근이 진화



[그림 27] 근근이 4호 정면 모습



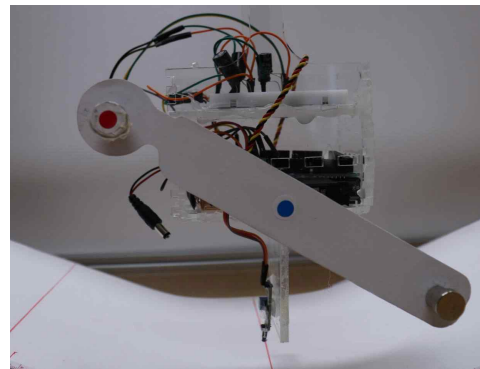
[그림 28]  
근근이 4호 위에서 본 모습

알루미늄 프로파일을 이용해 그네의 프레임을 크게 만들고 베어링과 연마봉을 이용해 그네의 축을 만들었으며, 레이저 커팅기를 이용해 아크릴을 제단하여 그네의 줄 역할을 하는 부분을 만들었다. 아크릴판을 제단해 서보모터와 아두이노 보드, 건전지를 넣을 수 있는 그네 본체를 만들었다.

그림 28처럼 근근이의 머리와 발 부분에는 자석을 부착하여 근근이의 무게를 늘려주었고, 머리와 발 부분의 자석의 갯수를 달리함으로써 근근이의 무게중심의 위치를 조작할 수 있도록 하였다.

그네의 아랫부분에는 바닥을 바라보는 IR 센서가 있어서 바닥이 흰색인지 검은색인지 인식할 수 있다. 처음에는 레이저 거리 센서, 초음파 거리 센서, 6축 가속도 센서 등을 사용하여 그네의 위치를 인식하려 하였으나 센서로부터 얻어지는 데이터의 잡음이 커서 정확한 그네의 위치를 인식하는데 어려움이 있어 최종적으로 라인 트레이서에 많이 이용되는 IR 센서를 이용하는 것으로 결정하였다.

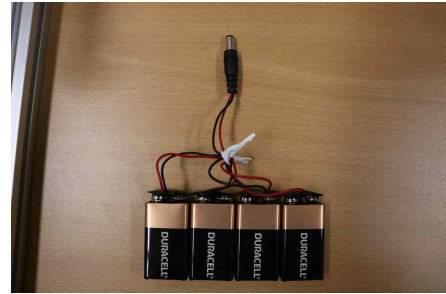
그림 29처럼 근근이의 회전축과 머리 부분에는 각각 파란색 스티커와 빨간색 스티커를 붙여 나중에 영상 분석을 할 때  $\phi$ (연직 방향에 대한 그네의 각도)와  $\theta$ (그네 줄에 대한 근근이의 각도)를 측정할 수 있도록 하였다.



[그림 29] 회전축에 파란색 스티커, 머리 부분에 빨간색 스티커

또 근근이 1호에 비해 토크가 강한(약 11kgf · cm) 서보 모터를 사용하였는데, 자석을 이용해 근근이의 무게를 늘렸을 경우 모터가 움직이는데 매우 큰 전류를 필요로 하였다. 그래서 9V 건전지 하나로 작동시켰을 때는 모터가 움직일 때마다 전압이

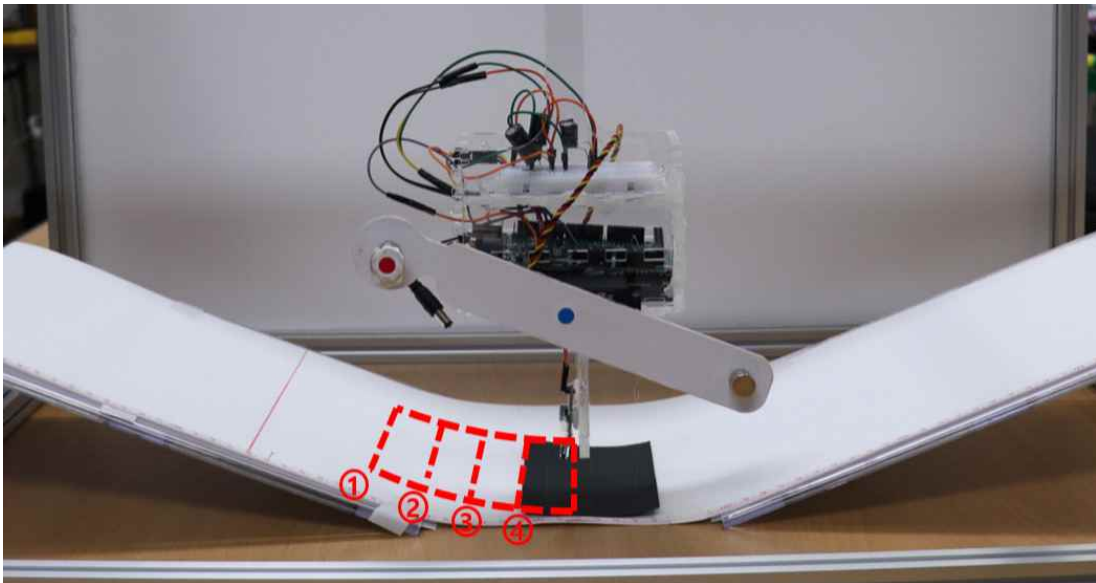
떨어져 아두이노 보드가 초기화되어 제대로 작동하지 않는 문제가 있었다. 그래서 그림 30처럼 9V 건전지 4개를 병렬로 연결하여 전류 공급량을 늘리고, 아두이노에서 모터로 공급하는 전원부에도 대용량 축전기(470 $\mu$ F)를 병렬로 부착하여 순간적으로 많은 전류가 흘러도 전압이 떨어지지 않도록 하였다.



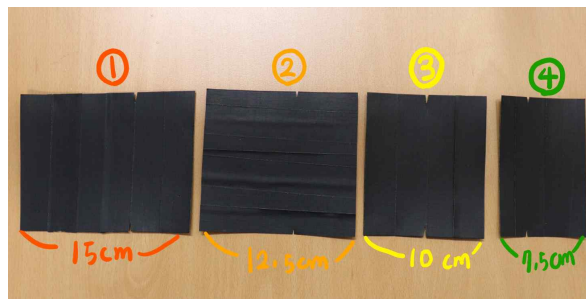
[그림 30] 4개의 9V 건전지를 병렬 연결

## 다. 그네 타기 모형(로봇)의 작동 알고리즘

근근이는 IR 센서에 검은색이 인식될 때마다 움직이는데 시계방향으로 60도, 반시계방향으로 60도 움직이는 것을 반복함으로써 사람이 몸을 접고 펴는 것을 나타낸다.



[그림 31] 검은색 판의 길이를 달리하여 근근이가 몸을 접는 위치를 조작한다.



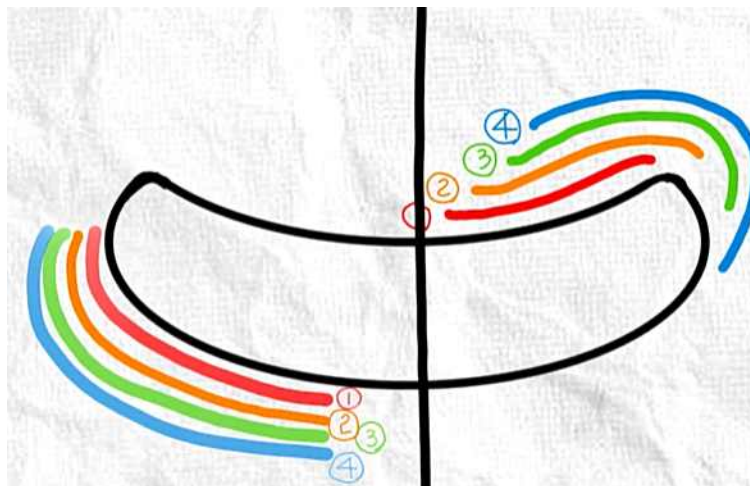
[그림 32] 길이가 다른 4개의 검은색 판

근근이가 움직이는 아래쪽 바닥에는 [그림 32]의 길이가 다른 검은색 판을 [그림 31]처럼 놓아서 근근이의 움직임을 조작한다.

근근이가 바닥에 있는 검은색 판을 인식하면 그 즉시 시계 방향으로 60도 움직이도록 코딩하였는데, 아두이노 시스템과 서모모터의 성능 문제로 검은색을 인식한 후 약 0.1초 후에야 모터가 움직이기 시작하는 문제가 있었다. 그래서 길이가 가장 긴 ①번 판을 놓고 근근이를 왼쪽에서 놓을 경우, 근근이가 ①번 판을 인식한 후 약 0.1초 후 움직이므로 실제로는 근근이가 중앙(최하점)을 지나면서 몸을 접기 시작한다. 길이가 2.5cm 짧은 ②번 판을 놓을 경우에는 ①번 판을 놓았을 때보다 약간 더 늦게 근근이가 움직이기 시작하므로 근근이가 중앙을 약간 지나가서 몸을 접기 시작한다. 이런 방법으로 검은색 판의 길이를 달리하여 근근이가 몸을 접기 시작하는 위치를 조작하였다.

우리의 조작 변인은 근근이가 몸을 접는 위치이므로 검은색 판의 왼쪽 부분 길이를 조작하여 4가지 그네타기 전략을 구현하였고, 근근이가 몸을 펴는 위치를 결정하는 검은색 판의 오른쪽 길이는 일정하게(5cm) 유지하였다.

이런 방식으로 우리가 설정한 그네타기 전략 4가지를 개념도로 나타내면 그림 34와 같다. 여기서 검은색 궤적은 근근이가 그네를 타고 있는 것을 나타낸 것이고 색깔로 표시된 궤적은 그 위치를 지나는 동안 근근이가 몸을 접거나 펴는 동작을 한다는 것을 의미한다. 다시 말해서 ①번 전략이 가장 몸을 일찍 접고 ④번 전략이 가장 몸을 늦게 접는 것을 의미하며, 위치로 생각하면 ①번 전략이 가장 중앙에 가까운 위치에서 몸을 접고 ④번 전략이 가장 오른쪽 끝에서 몸을 접는다고 할 수 있다. 왼쪽 부분에서 몸을 펴는 것은 모두 같은 시간과 위치에서 펴도록 통제 하였다.

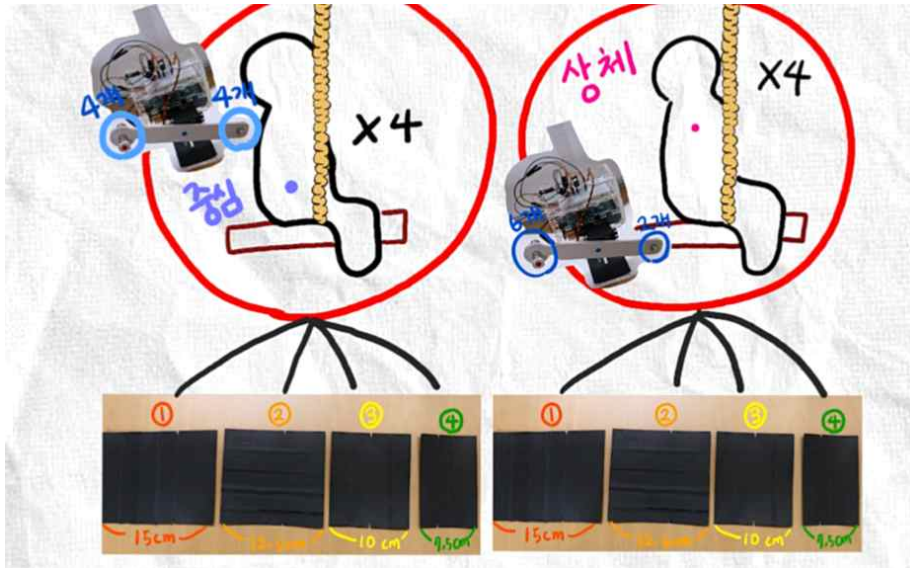


[그림 33] 근근이가 몸을 접고 펴는 위치를 나타내는 개념도

## 메인 탐구. 몸을 접는 위치에 따른 진폭 증가율 비교

### 가. 실험 설계 및 실험 방법

#### 1) 조작 변인



[그림 34] 두 가지 조작 변인의 설정

근근이의 무게 중심의 위치를 첫 번째 조작 변인으로 설정하였다. 그 이유는 그 네 중앙에서 몸을 접는 사람이 무게 중심 상승 효과를 이용하는 것으로 보였기 때문에 이를 확인하기 위해서이다. 즉, 근근이의 무게중심이 근근이의 회전축에 있으면 몸을 접어도 무게 중심 상승 효과가 일어나지 않고, 무게중심이 상체 쪽에 있으면 몸을 접을 때 무게중심 상승 효과가 있을 것이기 때문에 그 차이를 알아보려고 하였다. 근근이의 무게 중심 위치는 앞에서 언급한 대로 머리와 발에 부착하는 자석의 개수로 조작하였다.

두 번째 조작 변인은 근근이가 몸을 접는 위치인데, 역시 앞에서 설명한 대로 그 네 밑에 놓는 검은색 판의 길이를 조작함으로써 근근이가 몸을 접는 위치를 조작하였다.

어처럼 8가지 경우의 실험을 설정하였고, 8가지 실험을 총 3번 반복하여 모두 24번의 실험을 실시하였다.

#### 2) 종속 변인

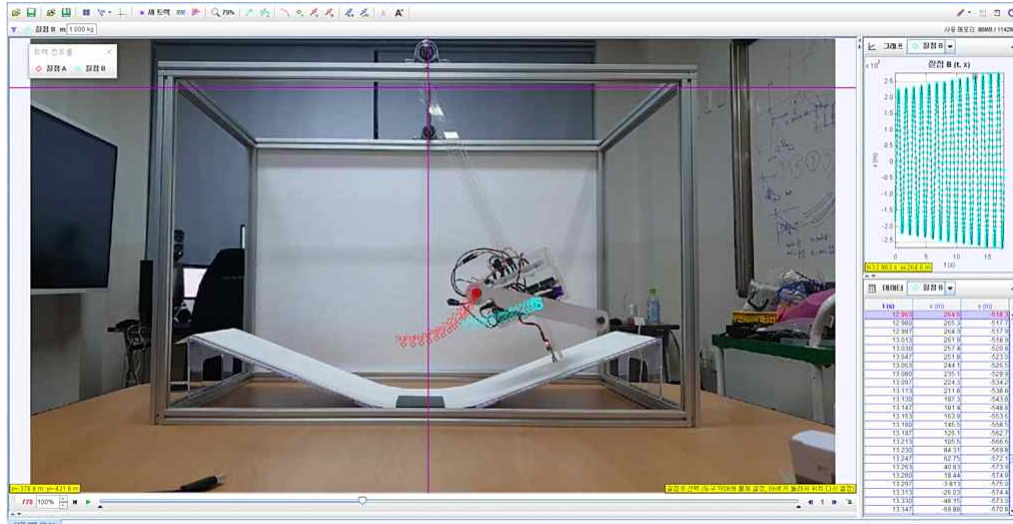
그네의 진폭이 얼마나 빨리 커지는지, 즉 진폭 증가율을 종속 변인으로 설정하였다. 진폭 증가율을 측정하는 과정은 다음과 같다.

가) 근근이가 그네 타는 모습을 영상으로 촬영한다.

나) 촬영된 영상속의 파란 스티커(근근이의 회전축)를 Tracker로 추적하여 시



간에 따른 x, y 좌표값을 얻는다.



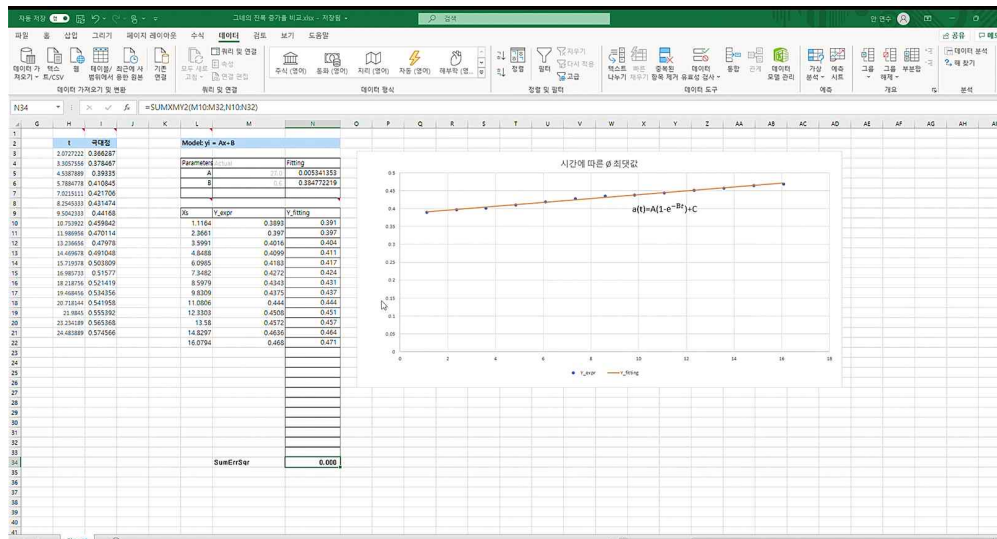
[그림 35] 트래커로 그네의 운동을 추적하는 장면

다) Excel을 이용하여 x, y 좌표값으로부터 그네의 각변위  $\phi$  값을 얻는다.

라) Excel의 Filter 함수와, Vlookup 함수를 이용해 각변위의 극댓값들만 골라낸다.

마) 최소 자승법(Least Square Method)을 이용해 1차 함수 형태의 추세선 식을 구한다.

바) 추세선의 기울기 값을 진폭 증가율로 사용한다.

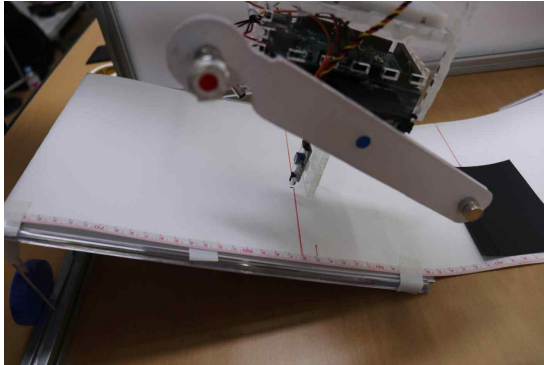


[그림 36] 엑셀 함수와 최소자승법을 이용해 1차 함수 형태의 추세선을 구함

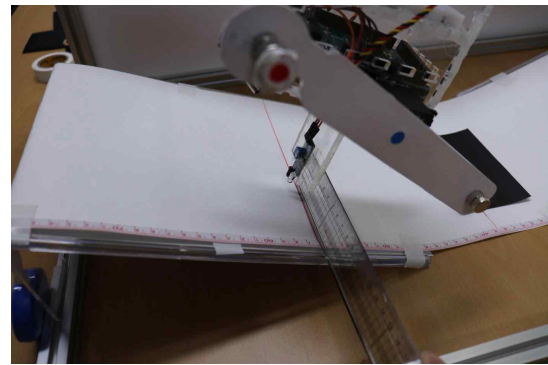
### 3) 통계 변인

근근이가 그네 타는 장면을 영상으로 촬영하여 tracker 프로그램, excel 프로그램으로 분석하기 위해서는 카메라의 촬영 각도, 그네의 운동 시작 위치, 그네를 놓는

방식, 검은색 판의 위치, 무게 중심을 조작하는 자석의 위치, 스티커의 위치, IR 센서의 위치와 바라보는 방향, 건전지의 전압 등을 통제 해야 했다. 특히 서보모터의 전력 소모가 커서 건전지의 전압이 금방 떨어지는데 이에 따라 근근이가 검은색을 인식하지 못하거나 모터가 돌지 않는 문제가 발생하여 매 실험 때마다 건전지를 새 것으로 교체하면서 실험을 실시하였다. 또한 처음 그네를 놓는 위치와 방법도 정교하게 통제하기 위해 노력하였다.



[그림 37] 그네를 놓는 위치 통제

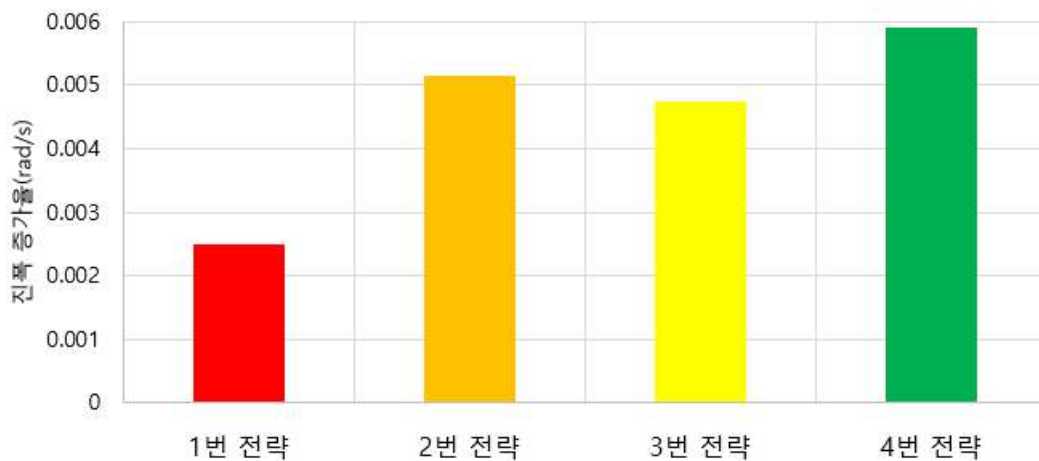


[그림 38] 그네를 놓는 방법 통제

## 나. 실험 결과

### 1) 무게중심이 회전축에 있을 때 진폭 증가율 비교

그네타기의 전략별 진폭 증가율 비교  
(무게중심이 **회전축**에 있는 경우)



[그림 39]

1번 전략이 중앙에 가까운 위치에서 몸을 접는 전략이고, 2번 전략은 조금 더 오른쪽에서, 4번 전략이 가장 오른쪽 끝에서 몸을 접는 전략이다.

## 2) 무게중심이 상체에 있을 때 진폭 증가율 비교

그네타기의 전략별 진폭 증가율 비교  
(무게중심이 **상체**에 있는 경우)



[그림 40]

1번 전략이 중앙에 가까운 위치에서 몸을 접는 전략이고, 2번 전략은 조금 더 오른쪽에서, 4번 전략이 가장 오른쪽 끝에서 몸을 접는 전략이다.

## 3) 실험 결과 해석

- 무게 중심이 회전축에 있을 때는 몸을 접을 때 무게 중심 상승 효과가 없으므로 돌림힘의 작용 반작용 효과가 가장 크게 나타나는 **오른쪽 끝에서 몸을 접는 4번 전략**이 가장 진폭 증가율이 큰 것으로 해석할 수 있다.
- 무게 중심이 상체에 있는 경우에는 몸을 접을 때 돌림힘의 작용 반작용 효과 뿐만 아니라 무게 중심의 상승 효과도 있기 때문에 무게 중심의 상승 효과가 가장 크게 나타나는 **중앙부에서 몸을 접는 1번 전략**이 가장 진폭 증가율이 큰 것으로 해석할 수 있다.

추가 탐구. 메인 탐구 결과의 역도 성립할까?

가. 메인 탐구 결과를 역으로 실제 그네 타기에 적용

우리는 직접 만든 그네 타기 로봇 근근이를 이용한 실험을 통해 무게중심이 상체

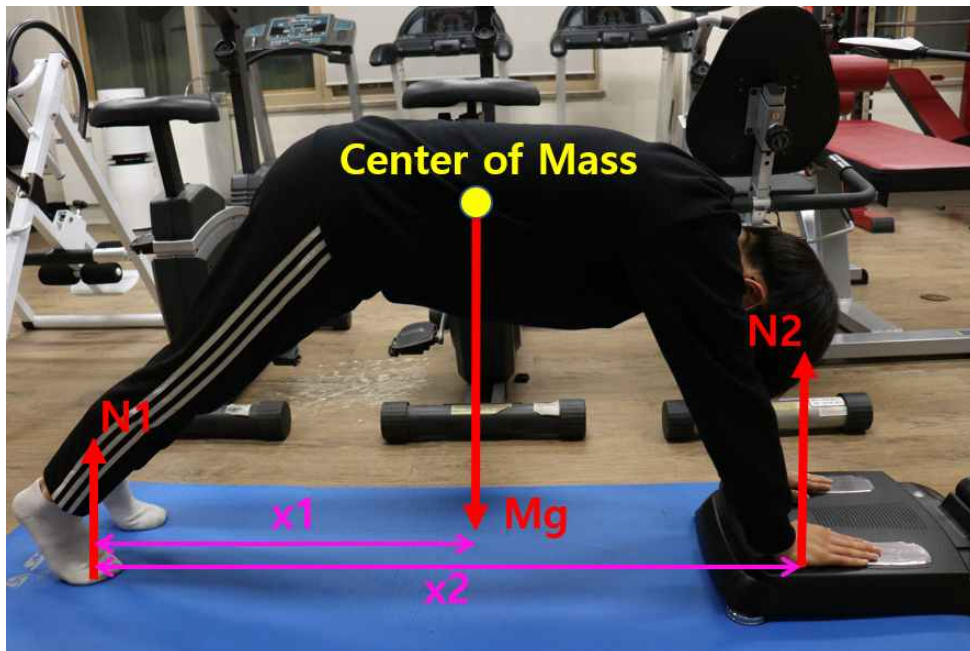
에 있는 경우 그네가 중앙부를 지날 때 몸을 접는 것이 유리하다는 결과를 얻었다. 우리는 이 결과를 우리 탐구의 동기가 되었던 처음 문제 상황에 역으로 대입해 보면서 깜작 놀랄 새로운 질문을 떠올렸다.

혹시 중앙에서 몸을 접었던 사람은 무게중심이 상체에 있고, 끝에서 몸을 접었던 사람은 무게중심이 회전축에 있는 건 아닐까?

## 나. 실제 사람의 무게중심 및 회전축의 위치 측정

우리는 이 질문에 대한 답을 얻기 위해 실제 그네를 탔던 두 사람의 무게중심과 회전축의 위치를 구해 보았다.

### 1) 실제 사람의 무게중심 위치 측정



[그림 41] 실제 사람의 무게 중심 위치 측정을 위한 자유물체도

무게중심의 위치를 측정하는 방법은 [그림 41]의 자유물체도를 보면 알 수 있다. 사람의 무게를  $m$ , 중력가속도를  $g$ , 무게중심(C.M.)으로부터 상체쪽, 하체쪽의 수직 항력을 각각  $N_1, N_2$ 로 하였다. 또한 발끝부터 무게중심까지의  $x$ 축 방향 거리를  $x_1$ , 발끝부터 손끝까지  $x$ 축 방향 거리를  $x_2$ 라고 하였고, 시계반대방향을 (+)의 회전 방향으로 잡았다. 이때 발끝점을 회전축으로 삼고 돌림힘의 평형 식을 쓰면  $N_2x_2 - mgx_1 = 0 \cdots \textcircled{1}$ 의 식을 얻을 수 있고, 연직 방향 힘의 평형 식을 쓰면

$mg = N_1 + N_2 \cdots \textcircled{2}$ 의 식을 구할 수 있다.  $\textcircled{1}, \textcircled{2}$ 식을 연립하면  $\therefore \frac{x_1}{x_2} = \frac{N_2}{mg}$ 의 식을

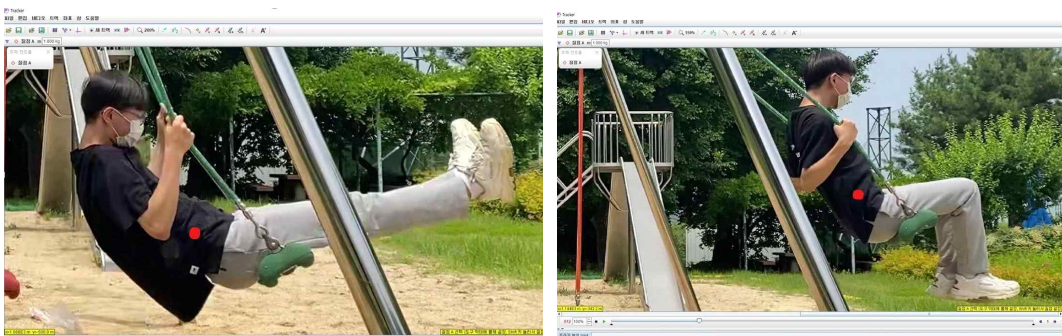


언을 수 있으므로  $N_2$ 와  $mg$ 와  $x_2$ 를 측정하면  $x_1$ 을 구할 수 있다.

직접 두 사람이 그림 41처럼 엮드려서 무게를 측정해 보니 중앙에서 몸을 접었던 사람은  $\frac{x_1}{x_2}$ 의 값이 약 0.57, 끝에서 몸을 접었던 사람은 약 0.66로 측정 되었다.

## 나) 회전축 위치 측정

회전축의 위치는 [그림 42]와 [그림 43]과 같이 당시 직접 실제 그네 타기를 하며 촬영하였던 영상을 tracker 프로그램으로 한 프레임씩 돌려보며 몸을 접는 동안 가장 움직이지 않는 점을 찾았다.



[그림 42] Tracker 프로그램에서 회전축 위치를 찾는 과정 사진1 [그림 43] Tracker 프로그램에서 회전축 위치를 찾는 과정 사진1

이렇게 찾은 무게중심과 회전축의 위치를 몸 위에 나타내면 그림 42, 43과 같다.



[그림 44] 학생 A의 무게중심과 회전축의 위치 차이 분석 [그림 45] 학생 B의 무게중심과 회전축의 위치 차이 분석

## 다. 추가 탐구 결과 및 해석

그네를 탈 때 중앙에서 몸을 접었던 학생 A의 무게중심과 회전축 사이의 거리는 약 10cm, 끝에서 몸을 접었던 학생 B의 무게중심과 회전축 사이의 거리는 약 5cm로 측정되었다.

이 결과를 바탕으로 우리는 학생 A의 무게중심이 회전축으로부터 더 멀리 있기 때문에 몸을 접었을 때 무게중심 상승 효과가 상대적으로 더 크기 때문에 본능적으로 중앙에서 몸을 접는 전략을 사용했을 것으로 추측한다.

비록 표본이 두 개 밖에 되지 않아 일반화 할 수는 없지만, 더 많은 사람들을 대

상으로 이와 같은 실험을 실시하여 몸을 접는 위치와 무게중심 위치와의 상관관계가 있음을 알아낸다면 사람들이 경험을 통해 본능적으로 학습한 그네타기의 방법이 역학적으로도 자신의 체형에 맞는 최적의 방법일 것이라는 아주 재미있는 결론을 얻을 수 있을 것이다.

## V 결론 및 향후 탐구 계획

### 1. 결론

가) 앉아서 그네 타기에서

- 무게 중심의 위치가 상체에 위치한 사람은 그네가 중앙(최저점)을 지날 때 몸을 접는 것이 가장 효과적인 진폭 증가 방법이고,
- 무게 중심의 위치가 회전축에 위치한 사람은 그네가 끝점(최고점)을 지날 때 몸을 접는 것이 가장 효과적인 진폭 증가 방법임을 직접 만든 그네 타기 로봇을 이용한 실험을 통해 알아내었다.

나) 우리가 어려서부터 경험을 통해 본능적으로 익혀서 타고 있는 그네 타기의 방법이 역학적으로도 자신의 체형에 맞는 최적의 방법일 가능성을 발견하였고 간단한 측정을 통해 확인하였다.

### 2. 향후 탐구 계획

- 가) 우리가 만들어 사용한 그네 타기 로봇의 단점을 보완하여 더 정교한 실험을 해 보고 싶다.
- 나) 더 많은 사람들을 대상으로 앉아서 그네 타기에서 몸을 접는 위치와 무게중심 위치와의 상관관계를 측정하는 실험을 실시해서 사람들이 경험을 통해 본능적으로 학습한 그네타기의 방법이 역학적으로도 자신의 체형에 맞는 최적의 방법일 것이라는 가설을 검증해 보고 싶다.
- 다) 시행 착오를 통해 최적의 알고리즘을 찾아가는 유전 알고리즘과 같은 인공지능에 대해 공부해서 최적의 그네타기 전략을 구사하는 로봇을 만들고 싶다.

## VI 참고문헌

1. 그네 타기의 역학적 원리를 알아내어 가장 그네를 잘 타는 로봇 제작하기- 경남 과학고 STEAM R&E 결과보고서 (2013.5~2013.12)
2. How to Pump a Swing, Stephen Wirkus 외 2인 (1998)
3. 나! 그네, KOSMOS (KAIST부설 한국과학영재학교 온라인 과학매거진 코스모스) 이준민 (2020)  
[https://www.ksakosmos.com/post/\\_%EB%82%98-%EA%B7%B8%EB%84%A4](https://www.ksakosmos.com/post/_%EB%82%98-%EA%B7%B8%EB%84%A4)
4. How Do You Go Up in a Swing?  
[http://www.physicsinsights.org/up\\_in\\_a\\_swing.html](http://www.physicsinsights.org/up_in_a_swing.html)
5. Pumping a playground swing, Auke A. Post 외 3인 (2007)
6. The pumping of a swing from the seated position, William B. Case 외 1인 (1999)
7. Time-optimal control of a swing, Jayant E. Kulkarni (2003)