



1154

줄다리기, 정말 누우면 이길까? 로봇 개발을 통한 줄다리기 핵심 메커니즘 탐구

작품요약설명

- 줄다리기 승패를 가르는 핵심 메커니즘 3가지를 최초로 밝혀냄.
<최적의 각도 유지, 발을 움직여 각도 유지, 반동을 주어 상대방을 끌어옴>
- 우리가 밝혀낸 줄다리기의 핵심 메커니즘을 반영하여 **줄다리기 로봇(줄줄이)**을 개발함.
- **반동의 물리적 모델** 개발하고 **반동 전략**에 따른 효과를 비교함.

- **출품자:** 노수빈, 이원호, 안연수
 (충북과학고등학교)
- **지도교사:** 정도일 (충북과학고등학교)



연구내용

I. 탐구 동기 및 목적

“일단 누워! 그럼 이겨”

줄다리기와 관련된 민간 속설! 과연 타당할까?
어떻게 하면 줄다리기를 이길 수 있을까?

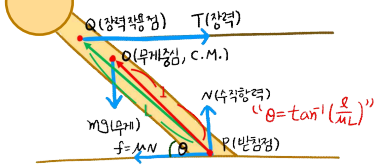
- 1 ⇒ **줄다리기 로봇을 만들어 알아보자!**
 줄다리기의 메커니즘을 설명하는 연구가 없다!
승패를 가르는 핵심 메커니즘을 찾아내고, 이를 표현할 수 있는 물리적 모델을 개발하자! ▲ 오일남 할아버지



II. 탐구 내용

기초 탐구(정역학) 일단 누우면 이기는 게 맞을까?

힘의 평형과 돌림힘 평형을 적용하여 **최대로 누울 수 있는 한계 각도**를 구하였다.



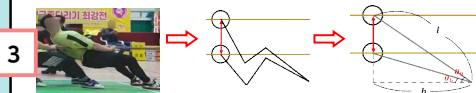
▲ 줄을 잡고 누워 있는 상황

⇒ 실제 줄다리기에서는 **발을 움직여** 최적의 각도를 유지한다.

양쪽이 **같은 조건**(질량, 마찰계수, 근력 등)을 가지고 똑같이 **최적의 각도**로 누는다면 **영원히 승부가 나지 않고 비기는 것일까?**

기초 탐구(동역학) 미끄러지지 않고 상대방을 끌어오려면?

줄다리기 선수는 줄다리기할 때 **수직 반동**을 준다!



▲ 반동 모델을 단순화하는 과정

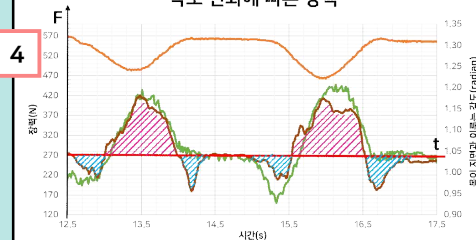
최적의 각도에서 더 누워서 **장력을 크게 하면서도, 순간적인 수직항력**을 키움으로써 미끄러지지 않고 상대를 끌고 올 수 있다.

$$\Sigma \tau = \frac{d}{dt}(I\omega) = I \frac{d\omega}{dt} + \omega \frac{dI}{dt}$$

$$(\Sigma \tau = Tl \sin \theta - mgl \cos \theta, I = ml^2, l \cos \theta = b)$$

$$T = msc \theta (b \sec \theta \frac{d^2 \theta}{dt^2} + 2b \tan \theta \sec \theta \frac{d\theta}{dt} + g \cos \theta)$$

▲ 우리가 만든 반동의 물리적 모델
 각도 변화에 따른 장력



장력의 예측값과 측정값의 모습이 거의 일치하여
 우리가 제안한 **반동의 동역학적 모델이 타당함을 검증**하였다.
 또한, 반동을 줌으로써 **장력의 평균값이 증가**하였다.

<우리가 알아낸 줄다리기의 핵심 메커니즘>

1. 미끄러지지 않으면서 가장 큰 장력을 내기 위해 **최적의 각도를 유지**한다.
2. 몸이 **돌리면 앞으로 가고 누우면 뒤로 가서** 각도를 유지한다.
3. 더 큰 장력을 만들어 상대방을 **끌고 오기 위해 반동**을 준다.

응용 탐구 (로봇 개발)

줄다리기의 핵심 메커니즘을 반영한 로봇 개발

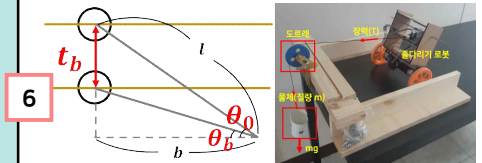
- 발 대신 바퀴가 움직여 각도를 유지하도록 하였다.

- 목표 각도 값을 변화함으로써 반동을 구현하였다.



- 줄줄이가 줄다리기의 핵심 메커니즘을 반영하고 있는지 각도를 유지하는 상황과 반동을 주는 상황에 대해 실험하여 확인하였다.

심화 탐구 어떻게 반동을 주면 이길 수 있을까?



▲ 반동의 변수 설명 그림(좌), 도르레 실험 장치(우)

유지하는 각도를 θ_0 , 반동을 주는 각도를 $\theta_0 - \theta_b$, 반동을 주는 시간
 을 t_b 라 할 때, $\theta_0 = 42^\circ$ 로 고정하고 t_b 와 θ_b 를 바꾸어 가며
반동을 줄 때 끌어오는 평균 속도를 구하였다.

반동 전략에 따른 끌어오는 속도 비교



- 반동을 주는 각도가 같을 때, **반동을 주는 시간이 길수록 끌어오는 속도가 크지만, 시간이 너무 길면 미끄러져서 끌고 올 수 없다.**
 - 반동을 주는 시간이 같을 때, **속도가 가장 큰 각도가 존재**한다.

III. 탐구 결론 및 활용 방안

<탐구 결론>

1. 줄다리기의 승패를 결정하는 **핵심 메커니즘을 최초로 밝혀내었다.**
2. 밝혀낸 핵심 메커니즘을 반영하는 **줄다리기 로봇을 개발**하였다.
3. 줄다리기 로봇을 이용하여 **반동 전략에 따른 효과**를 비교하였다.

<활용 방안>

- 우리가 알아낸 줄다리기의 핵심 메커니즘 및 반동 모델을 활용하면 더 다양하고 심도 있는 줄다리기 연구가 시작될 것이다.
- 재난 구조 로봇, 행성 탐사 로봇 등이 **자신의 한계를 초과하는 물체를 끌어당기는 알고리즘으로 활용**될 수 있다.