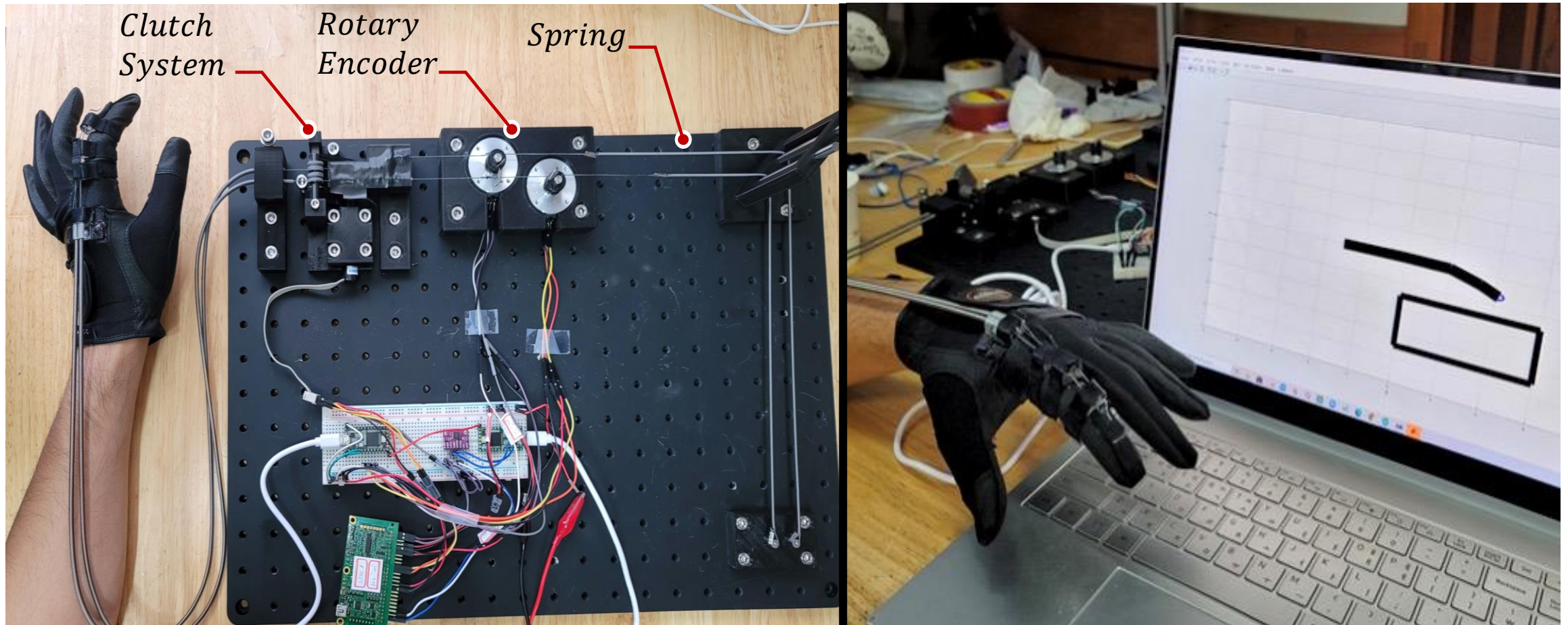


# UROP

Trajectory Tracking-Feedback Control Integrated Robot

김찬교, 황선우



# 목차

---

## 1. Teleoperation Soft Wearable Glove

### 2. 과제 목표

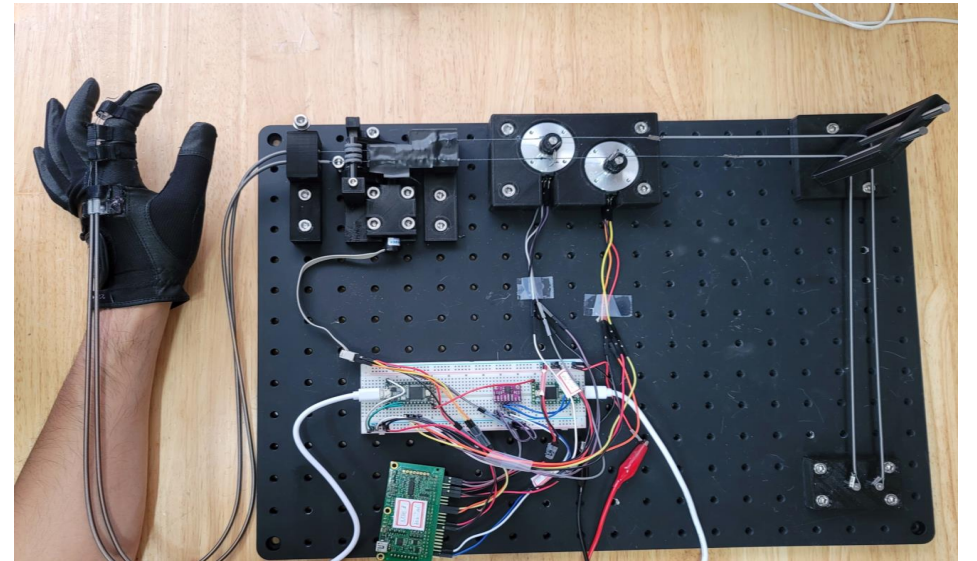
### 3. 과제 수행과정

#### 가. 개요

#### 나. Motion Tracking

#### 다. Force Feedback

### 4. 추후 연구 계획



# 1. Teleoperation Soft Wearable Glove

---

## ⊕ 소프트 로보틱스를 기반으로 하는 Master Hand

: 장갑의 무게는 약 23g 으로 가볍고, compliance가 높음 / compact design으로 제작 과정이 신속함

## ⊕ 사용자 손의 관절 정보를 측정하여 이를 로봇 손에 전달하는

### **Motion Tracking 파트 /**

원격제어를 통해 가상의 물체를 집은 로봇 손의 감각을 사용자에게 전달하는

### **Force Feedback 파트로 나누어 개발**

## ⊕ Wire와 One-way bearing을 이용하여 두 기능이 원활한 작동을 가능하게 하는 장갑을 개발하였음

## 2. 과제의 목표

### 선행연구 조사

⊕ Pinhas Ben-Tzvi and Zhou Ma (2015)

: 손끝에 부착된 angular position encoder와 손 등에 부착된 DC motor를 이용하여 sensing과 force feedback 기능을 구현한 외골격 형태 장갑

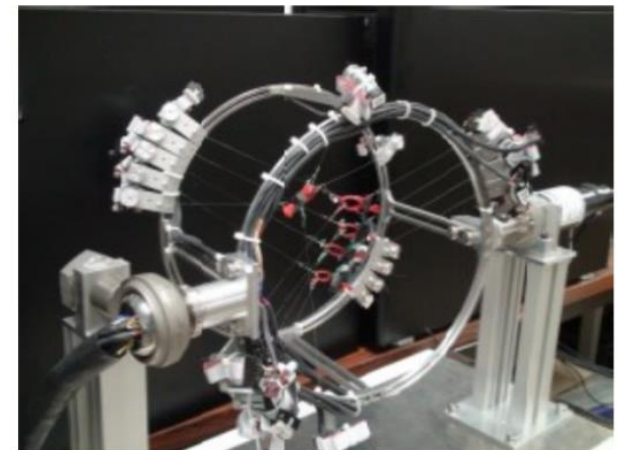
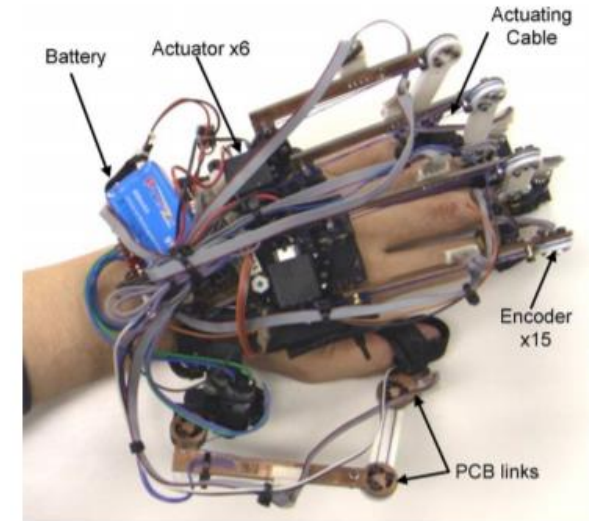
⊕ Lanhai Liu et al (2015)

: string을 통해 손끝의 spatial string-bposition을 측정하고 3 DOF spatial force feedback을 하는 multi-finger haptic interface를 재현

-> 센서와 모터가 각 손가락 관절마다 장착돼 높은 가격 형성.

외골격 형태의 장갑은 강체로 구성되어 있어 무겁고, 사용자와 장갑 관절의 alignment가 완벽하지 않으면 사용하기에 안전하지 않음

-> 가볍고 부드러운 소재인 wire를 이용하여 motion tracking과 force feedback 을 원활하게 수행하는 장갑을 개발하는 것이 본 과제의 목적





### 3. 과제 수행 과정

---

#### 가. 개요

- ⊕ 하나의 wire를 이용해서 motion tracking과 force feedback을 동시에 할 수 있는 컴팩트한 soft glove를 제작  
: 이를 위해 새로운 형태의 wire clutch system을 설계하였음
- ⊕ 장갑은 두 메커니즘 (motion tracking, force feedback)으로 나뉘어 작동이 이루어짐  
: 사용자 손과 MATLAB 상의 가상 robot hand를 동기화하였음
- ⊕ 솔리드웍스로 설계 / 3D 프린터를 사용해 설계한 부품을 제작
- ⊕ 검지에 대해 실험을 진행하였으며, 손 전체로 확장을 위해 기존 규격 광학기판에 맞게 설계 및 제작하였음

### 3. 과제 수행 과정

#### 나. Motion Tracking

- ⊕ DIP의 각도는 PIP 각도의 약 0.76배인 상관관계  
-> MCP, PIP 관절만을 측정하여 손의 움직임 추정 가능함

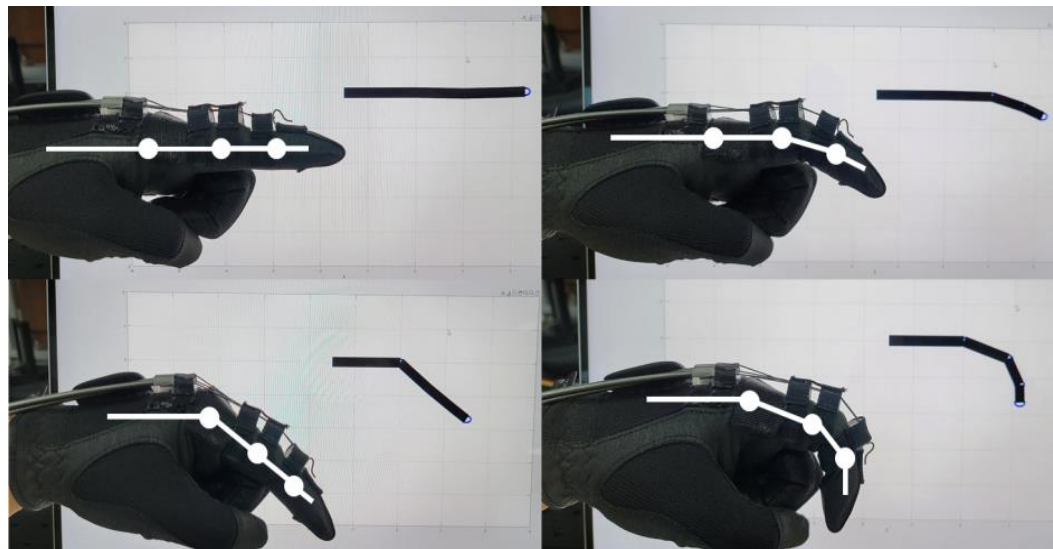
- ⊕ 손 등에 최소한의 'Additional Frame'을 부착하고

이 frame 사이를 wire가 통과하게 설계하였음

-> Wire의 양끝은 측정할 각 관절(MCP, PIP)과 spring에 각각 연결되어 있어 항상 장력이 존재

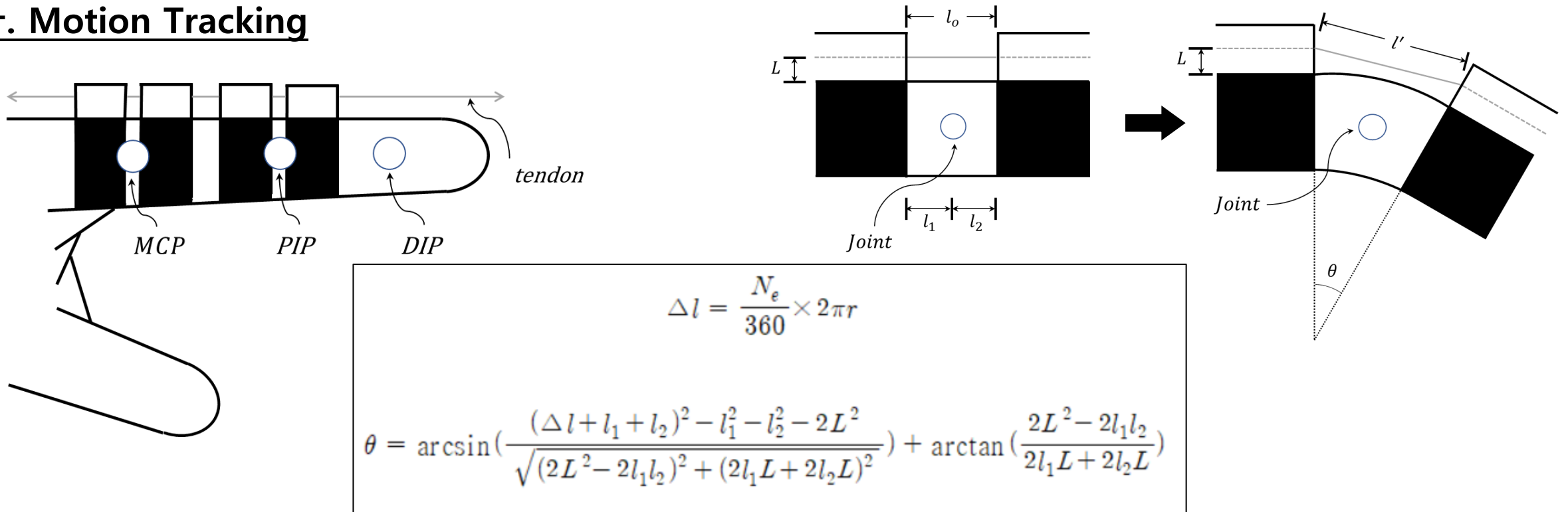
-> 기존의 wire를 이용한 관절 측정 메커니즘은 정확한 측정을 위해 각 관절 위를 지나는 wire의 이동 경로를 강체 소재를 이용하여 고정

-> 무겁고 손의 움직임이 자유롭지 못한 기존 제품의 문제를 개선하고 사용자의 편리성을 극대화한 설계



### 3. 과제 수행 과정

#### 나. Motion Tracking

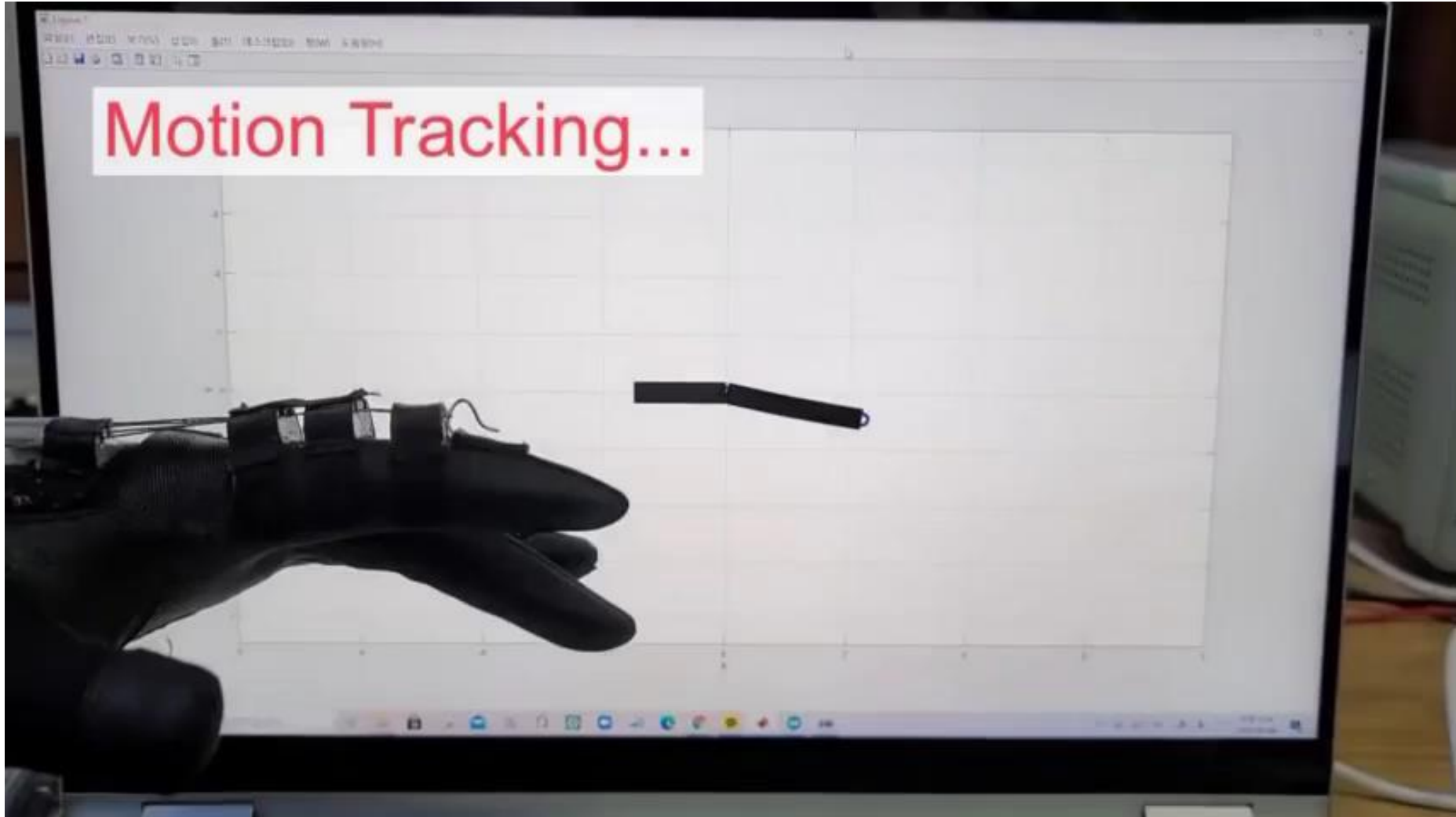


- ⊕ Wire가 로터리 엔코더와 도르래를 감고 지나가며, wire의 인장에 따른 회전량을 측정
- ⊕ Additional frame은 wire의 경로를 일정하게 지정해줌과 동시에 wire의 길이 변화량을 증폭
- ⊕ 엔코더 측정값과 회전반경을 통해 wire의 늘어난 길이  $\Delta$  과 각 관절의 각도  $\theta$ 를 추정

### 3. 과제 수행 과정

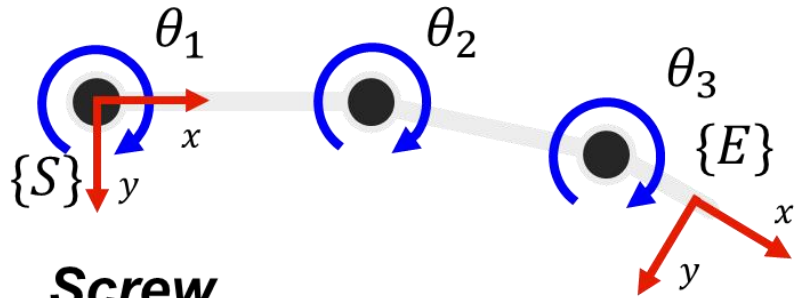
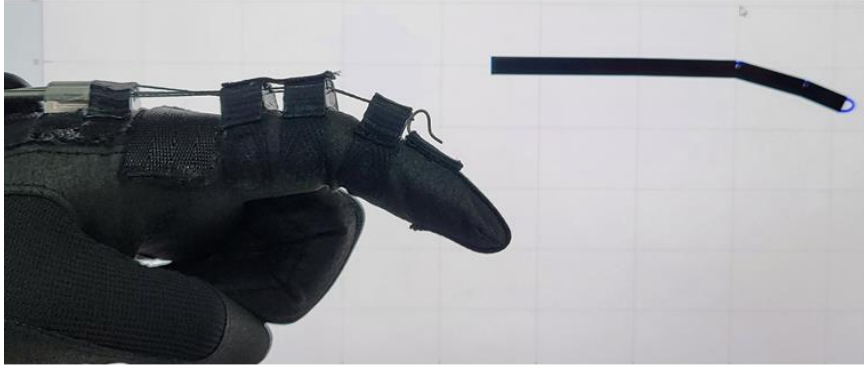
---

#### 나. Motion Tracking





# 4. Motion Tracking



## Screw

Rotation Axis

$$\omega_1 = [0 \ 0 \ 1]^T$$

$$\omega_2 = [0 \ 0 \ 1]^T$$

$$\omega_3 = [0 \ 0 \ 1]^T$$

Angular Velocity

$$v_1 = [0 \ 0 \ 0]^T$$

$$v_2 = [0 \ -L_1 \ 0]^T$$

$$v_3 = [0 \ -(L_1 + L_2) \ 0]^T$$

## Exponential Coordinate Representation

Screw Axis

$$S_1 = [0 \ 0 \ 1 \ 0 \ 0]^T$$

$$\omega_2 = [0 \ 0 \ 1 \ 0 \ -L_1 \ 0]^T$$

$$\omega_3 = [0 \ 0 \ 1 \ 0 \ -(L_1 + L_2) \ 0]^T$$

$$e^{[S]\theta} = \begin{bmatrix} e^{[\omega]\theta} & G(\theta)v \\ 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$[S]\theta = \begin{bmatrix} [\omega]\theta & v\theta \\ 0 & 0 \end{bmatrix}$$

## Forward Kinematics

Using 'Product of Exponentials' to calculate end-effector position with joint angles

$$T_{se} = e^{[S_1]\theta_1} e^{[S_2]\theta_2} e^{[S_3]\theta_3} M$$

$$T_{se} = \begin{bmatrix} c_{123} & -s_{123} & 0 & L_1 c_1 + L_2 c_{12} + L_3 c_{123} \\ s_{123} & c_{123} & 0 & L_1 s_1 + L_2 s_{12} + L_3 s_{123} \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

where  $c_1$  is  $\cos \theta_1$  and  $s_{12}$  is  $\sin(\theta_1 + \theta_2)$

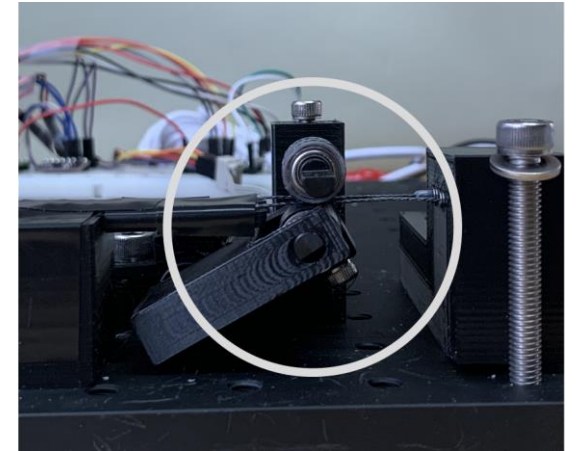
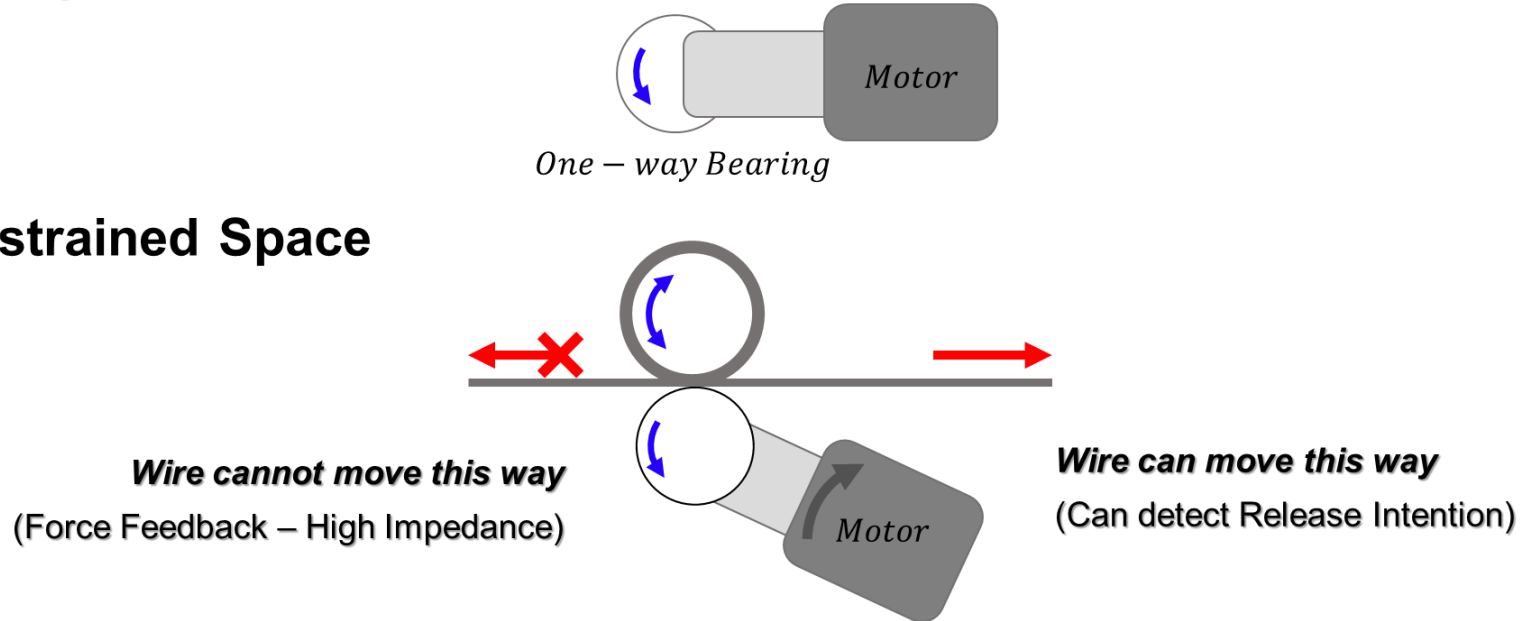
### 3. 과제 수행 과정

#### 다. Force Feedback

##### Free Space



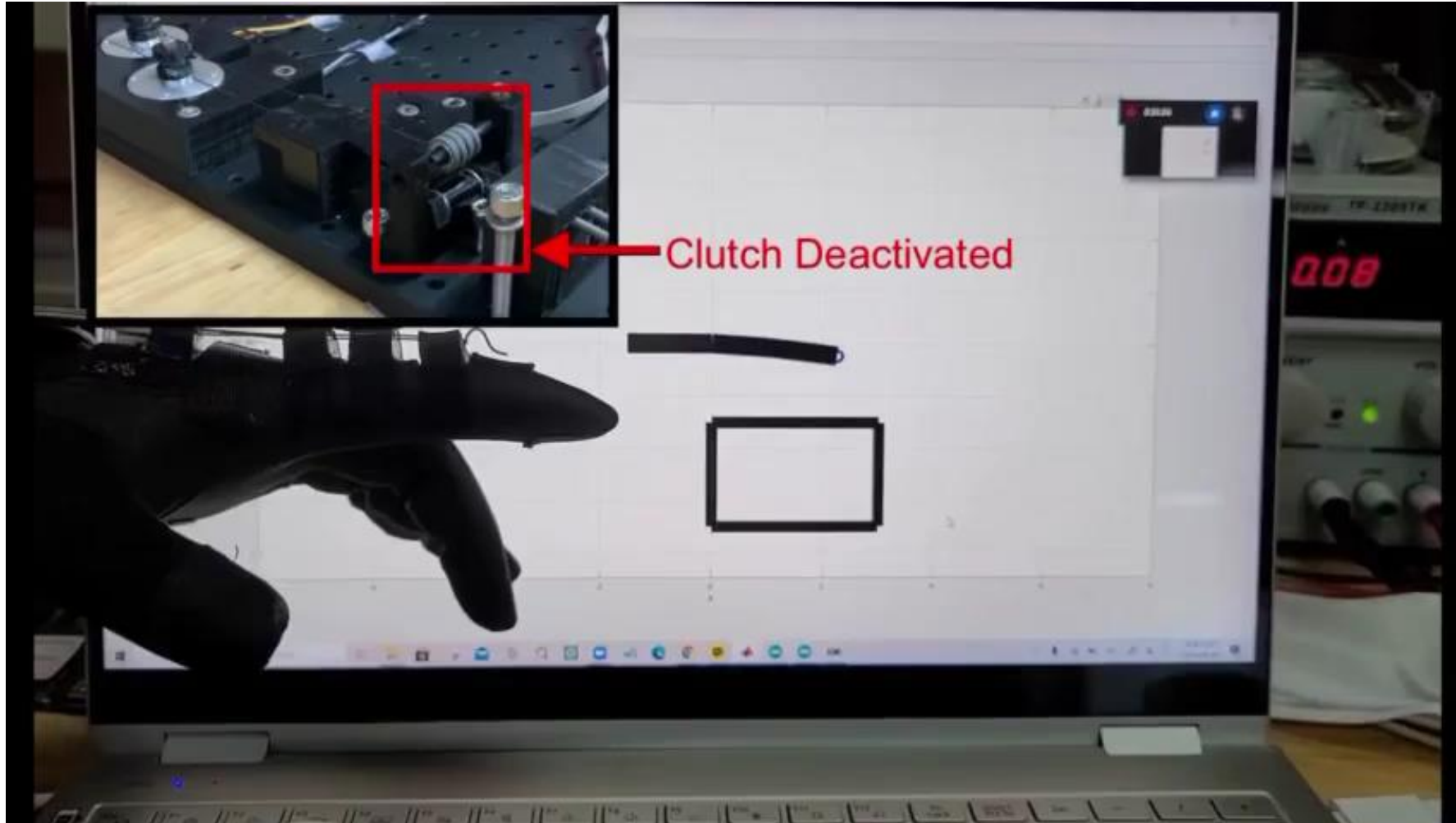
##### Constrained Space



- ⊕ 물체를 접촉한 Constrained Space 상황에서도 Force Feedback을 통해 사용자에게 역감을 주어야 함
- ⊕ 이러한 Force Feedback을 위해 one-way bearing을 이용한 clutch system을 설계하였음

### 3. 과제 수행 과정

#### 다. Force Feedback



## 4. 추후 연구 계획

---

- ⊕ VICON을 이용한 관절 정보 측정값과 비교하여 motion tracking 시스템의 관절 측정 정확도를 확인
- ⊕ Clutch system의 bearing 반경을 줄이고 동시에 다양한 손 크기의 사람에 대해서 착용 가능한 compact하고 calibration 가능한 형태의 디자인 설계
- ⊕ 사용자의 삼지(엄지, 검지, 중지)에 대해서 착용가능한 master hand 개발
- ⊕ 가상의 Robot 핸드를 대체하여 실제 robot hand와의 teleoperation 실험을 통한 결과를 획득
- ⊕ Breaking force를 유지하면서 동시에 wire에 작용하는 장력을 감소하는 설계를 제안하여, 사용자 손에 느껴지는 저항(장력)을 줄임

# UROP

## 진행사항 발표

Teleoperation Soft Wearable Glove

UROP 학부생  
김찬교, 황선우

천상희 박사과정

# 감사합니다