

A group of researchers in blue scrubs and masks are working with a surgical robot in an operating room. The robot is a complex mechanical device with multiple arms and a camera. The researchers are looking at the robot with interest and focus. The background is a bright, sterile operating room environment.

응용로봇연구실 Advanced Robotics Lab.

부산대학교 기계공학부

진상록 교수

협동로봇을 활용한 수술 보조 로봇

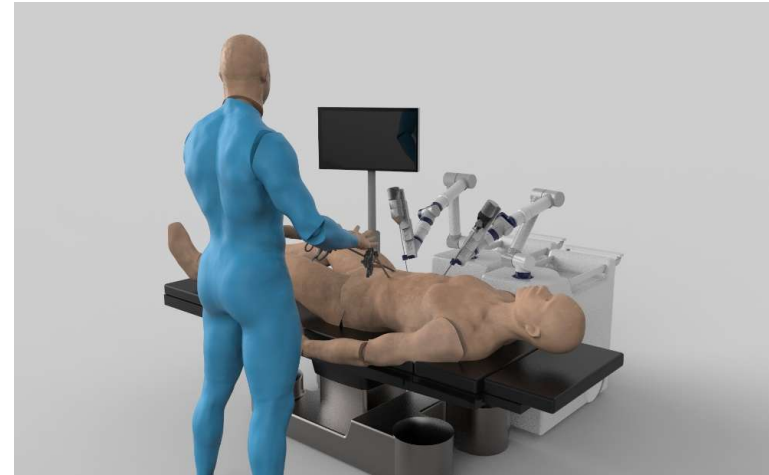
Surgical Assistant Robot using Collaborative Robot

수술 보조 로봇의 개념

- 협동로봇과 인간-로봇 상호작용 기술을 활용한 수술 보조 로봇

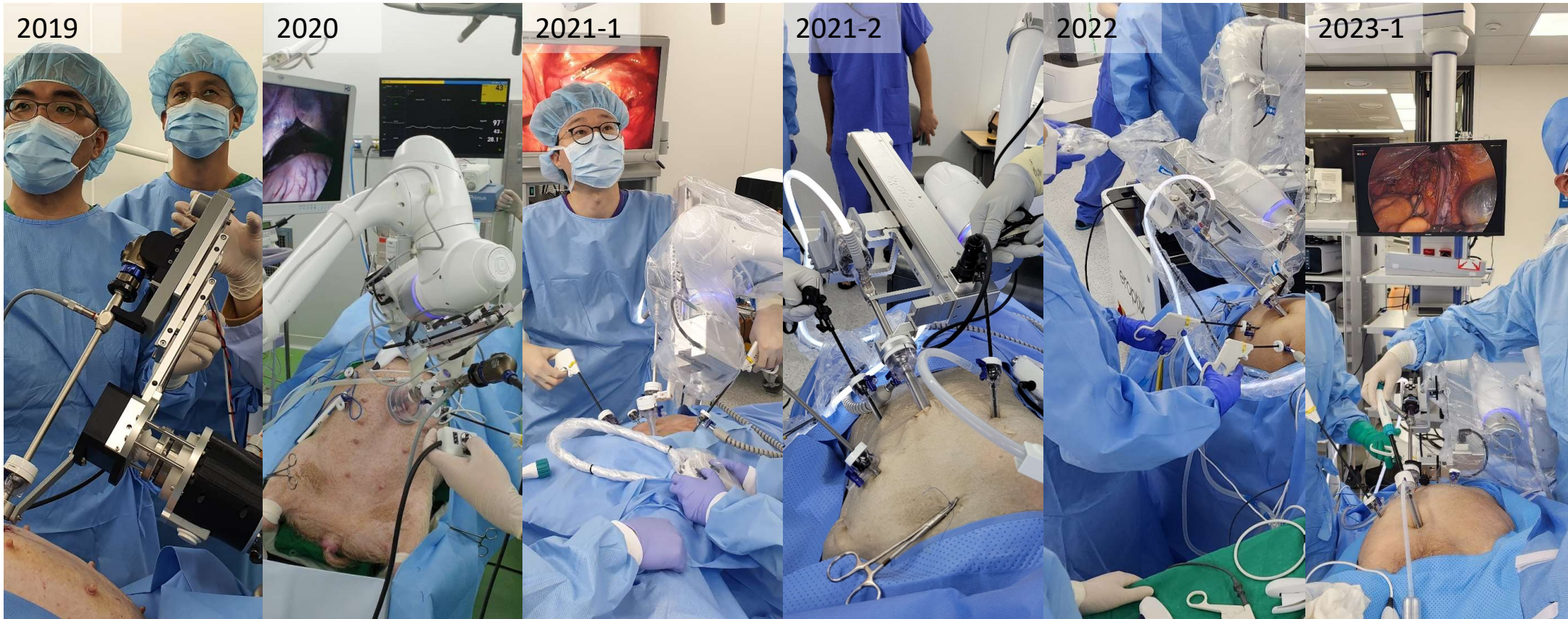


- 고가의 대형 수술로봇 (~20억원 이상)
- 로봇을 원격조작하는 수술자가 환자와 분리됨.
- 로봇 전용 수술도구만 사용 가능
- 수술 로봇 조작에 훈련 시간 필요

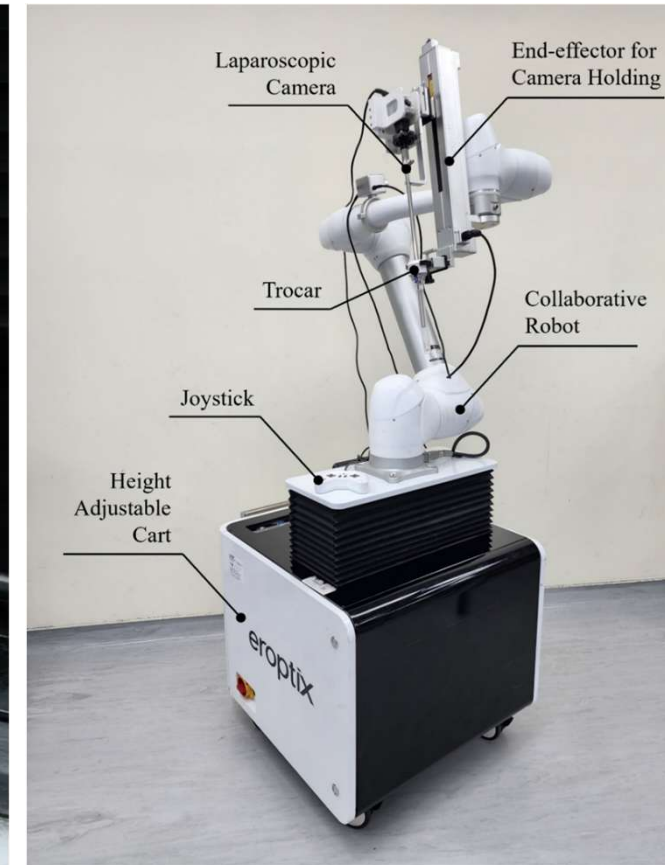


- 보급형 수술 보조 로봇 (~8천만원)
- 수술자가 로봇과 수술대 위에서 협업하면서 모든 상황에 개입할 수 있음.
- 기존의 복강경 수술도구 사용 가능
- 기존의 수술법을 그대로 따르며 직관적으로 로봇 조작 가능

Development History



EROPTIX – 1세대 수술 보조 로봇 (2023)



식약처 인허가를 위한 전자파 시험 및 기계/전기적 안전성 시험 통과

단자 장애전압 시험(CE)

전자파방사 장애 시험(RE)

방사성RF내성시험(RS)

전기적 빠른 과도현상 및 버스트 시험(EFT/Burst)

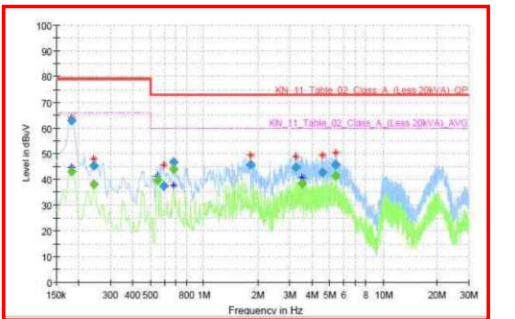
3 시험 결과

3.1 단자 장애전압 시험

별표 1. 5.2.1	별표 1. 의료기기 전자파 장애(간섭) - 허용기준 및 측정방법 5.2.1 단자 장애전압의 허용 기준	판정
방법: 전자파 차폐실에서 측정되어졌으며, EUT는 그라운드 위에 놓여진 의사전원회로망(LSN)에 연결하여야 한다. 또한 EUT는 그라운드 배위 0.1 m(배위거치형) 또는 0.8 m(막상형기)에 위치하고 다른 금속부로부터 적어도 0.4 m 떨어져 시험한다. 시험기기의 전원선이 LSN에 연결되기 위해 필요한 0.8 m 보다 긴 경우, 길이 0.3 m		

적합

3.1.2 시험 그래프 및 결과 테이블



Final Result

Frequency (MHz)	QuasiPeak (dBV)	C Average (dBV)	Margin (dB)	Meas. Time (ms)	Bandwidth (kHz)	Line	Corr. (dB)
0.182000	62.77	---	16.23	1000.0	9.000	N	9.9
0.182000	---	43.03	22.97	1000.0	9.000	L1	9.9
0.242000	38.11	---	27.89	1000.0	9.000	L1	9.7
0.242000	45.46	---	33.54	1000.0	9.000	L1	9.7
0.550000	---	39.79	20.21	1000.0	9.000	L1	10.0
0.594000	37.57	---	35.43	1000.0	9.000	N	9.9
0.678000	---	43.93	16.07	1000.0	9.000	N	9.9
0.678000	46.60	---	26.40	1000.0	9.000	N	9.9
1.814000	45.86	---	27.14	1000.0	9.000	L1	9.8
3.228000	44.67	---	28.33	1000.0	9.000	N	9.8
3.542000	---	38.34	21.66	1000.0	9.000	L1	9.8
4.582000	42.61	---	30.39	1000.0	9.000	L1	9.8
5.438000	---	41.32	18.68	1000.0	9.000	N	9.8
5.438000	45.81	---	27.19	1000.0	9.000	L1	9.8

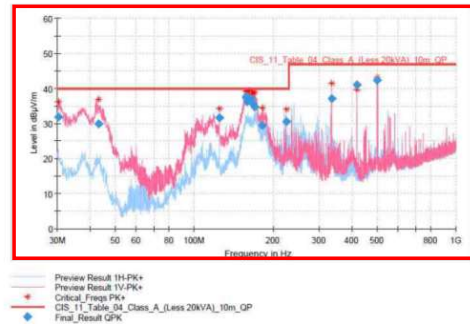
시험 결과: 적합 부적합 해당무

3.2 전자파방사 장애 시험

별표 1. 5.2.2	별표 1. 의료기기 전자파 장애(간섭) - 허용기준 및 측정방법 5.2.2 전자파방사 장애의 허용 기준	판정
방법: 전자파 방벽의 10 m 거리에서 측정되어졌으며, EUT는 그라운드 텐테이블 위 0.1 m(배위거치형) 또는 0.8 m(막상형기)의 비공속 테이블 위에 놓여 지어 한다. 가장 높은 전계강도 값을 측정하기 위하여 텐테이블은 360° 회전시키며, 측정 텐테이블의 높이는 1 m에서 4m까지 단계 조절하여 시험한다. 모든 주파수에 대해		

적합

3.2.2 시험 그래프 및 결과 테이블



Final Result

Frequency (MHz)	QuasiPeak (dBV/m)	Limit (dBV/m)	Margin (dB)	Meas. Time (ms)	Bandwidth (kHz)	Height (cm)	Pol	Azimuth (deg)
30.120000	31.84	40.00	8.16	1000.0	120.000	118.0	V	158.0
42.989000	29.92	40.00	10.08	1000.0	120.000	107.0	V	160.0
125.001000	31.89	40.00	8.11	1000.0	120.000	128.0	V	149.0
157.521000	37.68	40.00	2.32	1000.0	120.000	114.0	V	98.0
157.962000	37.30	40.00	2.70	1000.0	120.000	100.0	V	0.0
159.168000	36.18	40.00	3.82	1000.0	120.000	100.0	V	104.0
160.889000	37.09	40.00	2.91	1000.0	120.000	107.0	V	358.0
164.789000	37.14	40.00	2.86	1000.0	120.000	133.0	V	0.0
168.027000	35.81	40.00	4.19	1000.0	120.000	142.0	V	0.0
170.085000	34.60	40.00	5.40	1000.0	120.000	112.0	V	356.0
181.324000	29.49	40.00	10.51	1000.0	120.000	150.0	V	174.0
225.010000	36.86	40.00	3.14	1000.0	120.000	217.0	H	347.0
334.289000	37.16	47.00	9.84	1000.0	120.000	298.0	V	278.0
417.848000	41.01	47.00	5.99	1000.0	120.000	100.0	V	184.0
501.420000	42.36	47.00	4.64	1000.0	120.000	287.0	V	79.0

결과 설명:

- Pol : V(수직), H(수평)
- Corr.(dB) : 안테나 보정계수 + 케이ابل손실 + 링크비대칭 보정계수
- QuasiPeak[dB(μV/m)] = Reading Level[dB(μV/m)] + Corr.[dB(1/m)]
- Margin(dB) = Limit[dB(μV/m)] - QuasiPeak[dB(μV/m)]

시험 결과: 적합 부적합 해당무

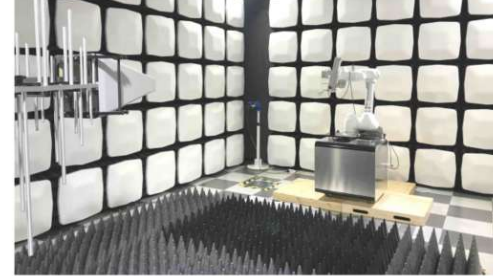
* 해당 시험항목의 측정불확도 = 4.08 dB (신뢰수준 약 95 %, k = 2)

3.3 전자파 내성 : 방사성 RF 전자기장 시험

별표 2. 6.2.3	별표 2. 의료기기 전자파 보호(내성) - 허용기준 및 측정방법 6.2.3 방사성 RF 전자기장	판정
방법: 본 시험을 통해 80 MHz ~ 1 GHz 주파수 대역의 의도된 무선 주파수를 사용하는 기기에 의해 발생하는 전자기장 장애에 대한 방사성 내성을 예측할 수 있도록 한다. 방해 전자기장은 송신용 안테나를 통해 시험품 외곽에 인가된다. 사용된 전자파 EMS 챔버는 기준 접지면으로부터 0.8 m 이상 높이에 정해진 1.5 m x 1.5 m의 가상 수직면에 대한 전자장의 강도가 규정 값의 0 dB ~ +6 dB 이내의 균일 전자장(UFA)이 형성되었다. 탁상용 시험품은 0.8 m 높이의		

적합

3.3.1 시험 구성 사진



방사성 RF 전자기장 시험

3.3.2 시험 결과 테이블

방사성 RF 전자기장 내성시험 결과 테이블				
시험 노출 면	시험 레벨(V/m)	안테나 편파 (수평/수직)	체제 시간	결과
전면	3	수평	1 초	1
		수직	1 초	1
후면	3	수평	1 초	1
		수직	1 초	1
좌측면	3	수평	1 초	1
		수직	1 초	1
우측면	3	수평	1 초	1
		수직	1 초	1

결과 설명:

- X - 해당사항 없음
- 1 - 적합 - 시험품 오동작 없이 동작상태 유지함
- N/A - 미적용

시험 결과: 적합 부적합 해당무

3.5 전자파 내성 : 전기적 빠른 과도현상 및 버스트 시험

별표 2. 6.2.4	별표 2. 의료기기 전자파 보호(내성) - 허용기준 및 측정방법 6.2.4 전기적 빠른 과도현상 및 버스트	판정
방법: 기준 접지면은 시험품의 각 경계로부터 0.1 m 이상 떨어져 하며, 최소 가로 2 m x 세로 2 m 이상의 크기로서 보호접지에 연결되어야 한다. 시험품은 시험품 하단부의 위치에 기준 접지면을 제외한 모든 다른 금속 구조물로부터 최소 0.5 m 이상 떨어져야 한다. 시험품은 취급설명서에 따라 접지 시스템에 연결시키고, 추가적인 접지는 연결하지 않는다. 결합 클램프(CDN)의 결합판은 결합 클램프 하단부에 위치한 기준 접지면을 제외한 모든 다른 금속 구조물로부터 최소 0.5 m 이상 떨어져야 한다. 시험품과 결합 소자 사이의 신호선 및		

적합

3.5.1 시험 구성 사진



전기적 빠른 과도현상 및 버스트 시험

3.5.2 시험 그래프 및 결과 테이블

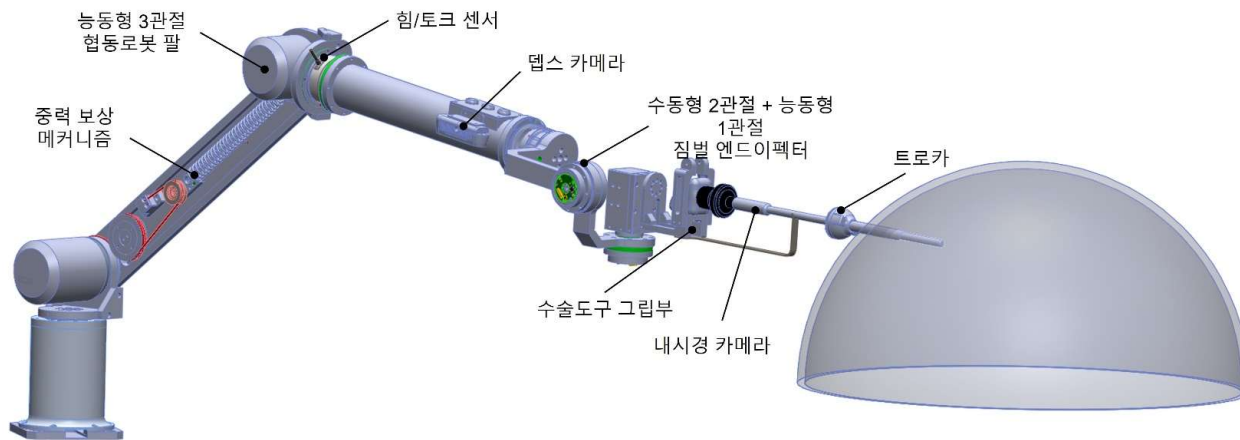
전기적 빠른 과도현상 및 버스트 내성시험 결과 테이블	
적용 부분(Point of application)	결과
주전원 - 본체	1
신호선 - 터치 펜던트 신호선	1
신호선 - End-Effector 신호선	1

결과 설명:
X - 해당사항 없음
1 - 적합 - 시험품 오동작 없이 동작상태 유지함

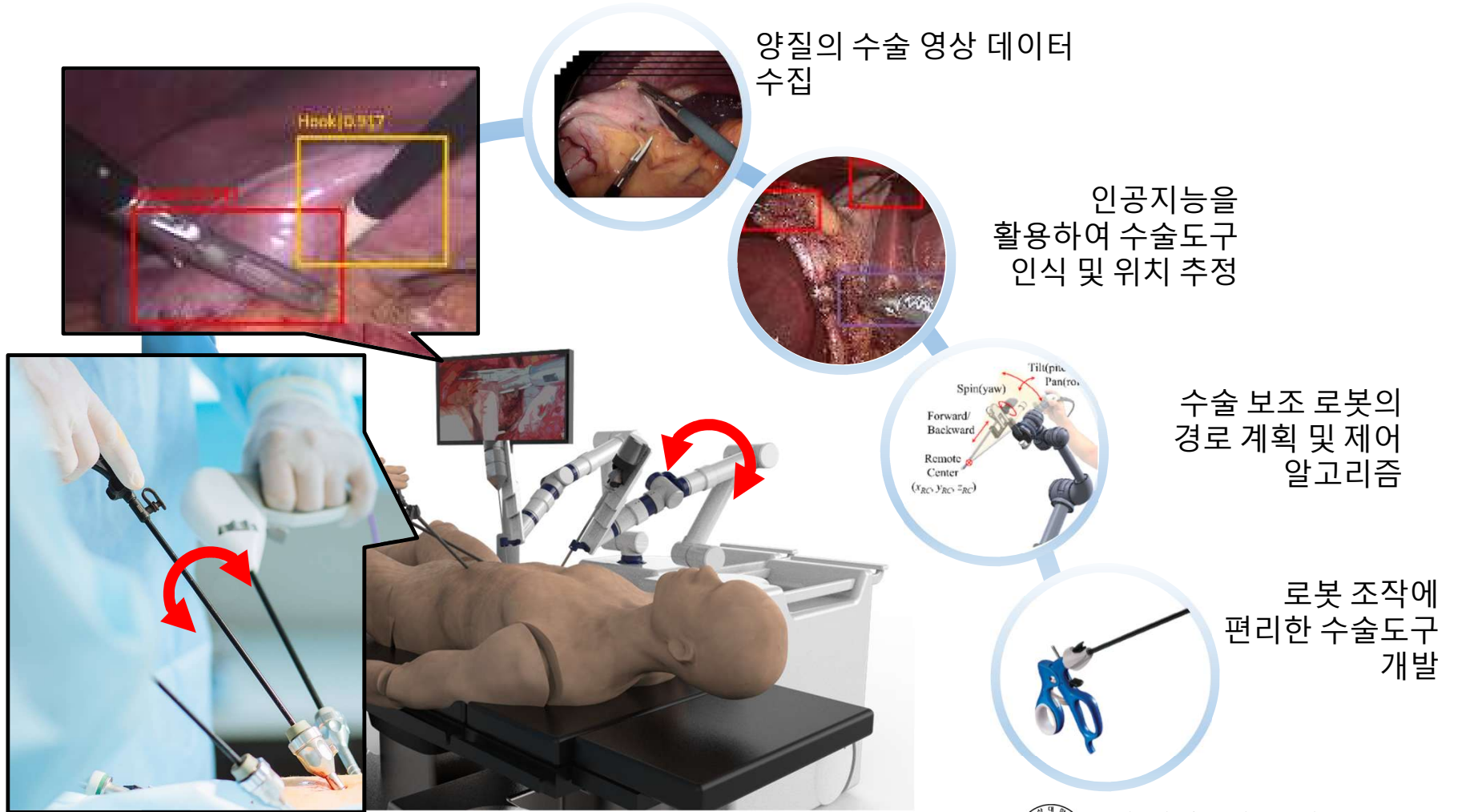
시험 결과: 적합 부적합 해당무

2세대 수술 보조 로봇

- 수동 관절을 지닌 엔드이펙터로 시스템 단순화
- 중력보상 메커니즘이 있는 가늘고 컴팩한 설계로 수술자와의 간섭 최소화
- 영상인식을 통한 비접촉 원격중심점 정의

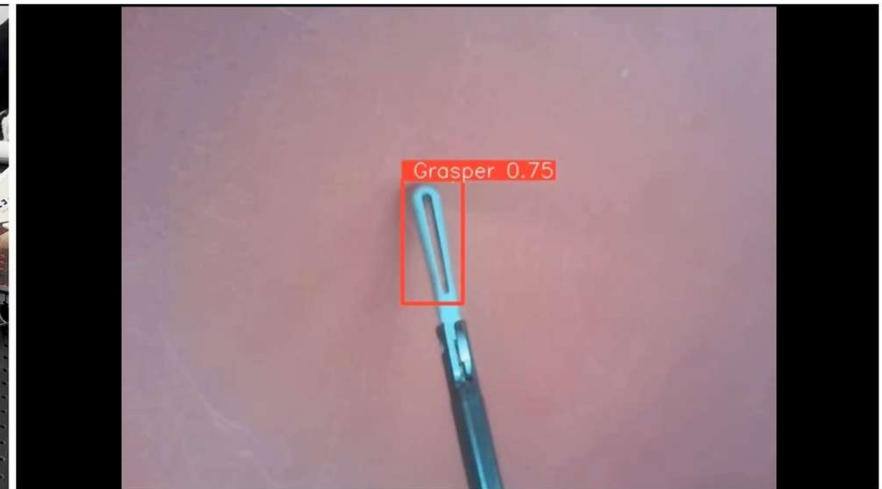
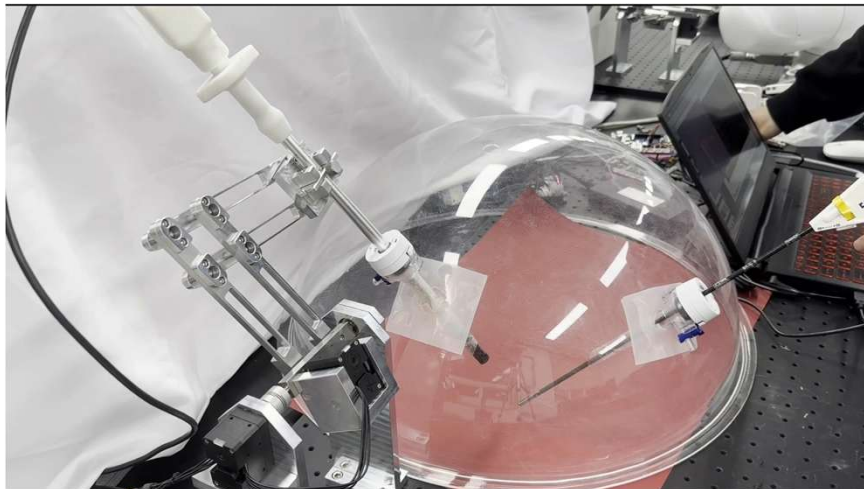
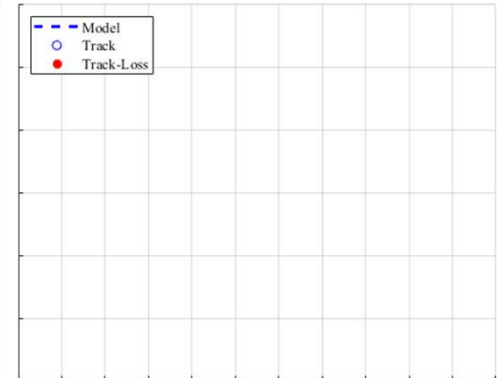
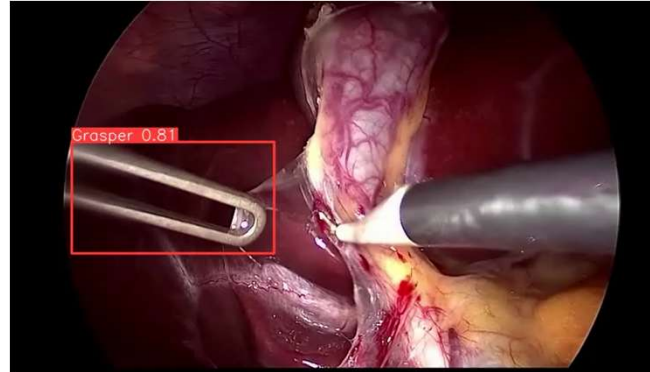


인공지능을 활용하여 수술도구의 움직임을 인식하고 로봇을 조작하는 인터페이스



인식 및 추적 성능 실험

- YOLO(You Only Look Once) v5 + Deep SORT(Simple Online and Realtime Tracking) 알고리즘
- 수술 도구 추적
 - Labeling: 375 Frame / 15 sec
 - FPS: 50.25 FPS
 - Loss : 4 Frame

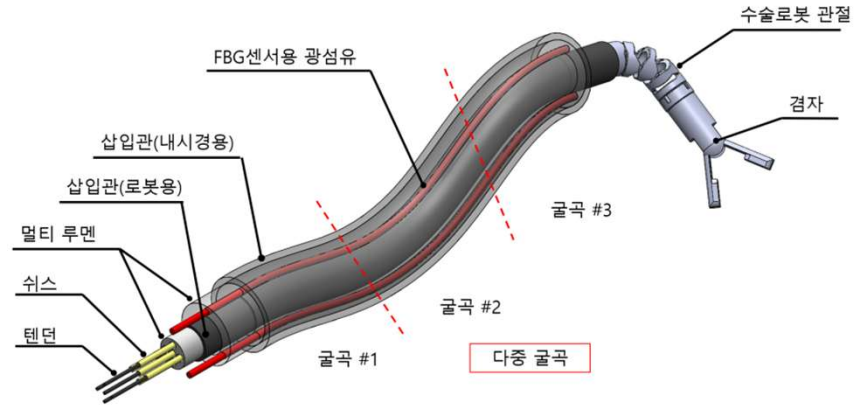


유연 수술 로봇을 위한 텐던-쉬스

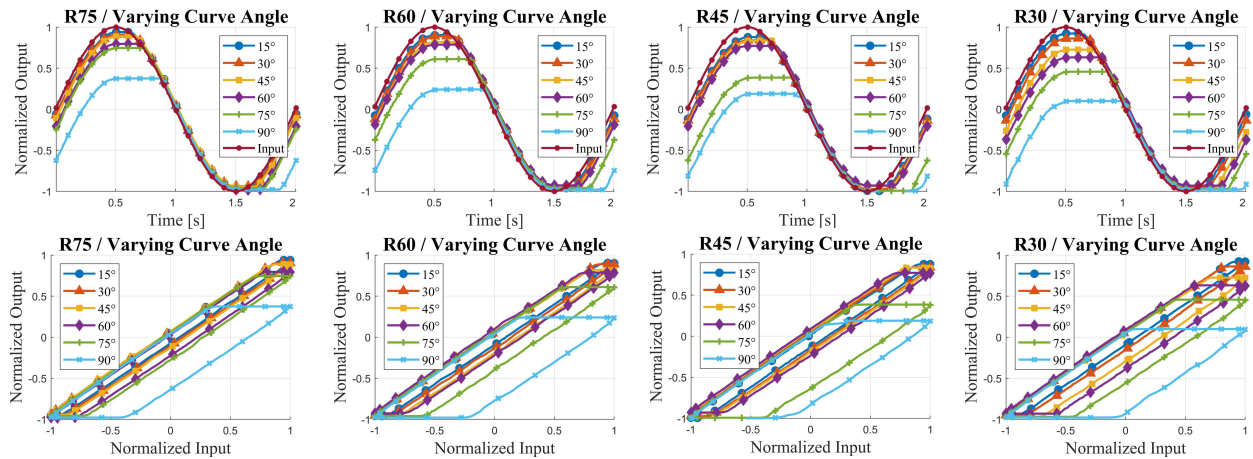
메커니즘의 히스테리시스 연구

Study on Hysteresis of Tendon-Sheath Mechanism for Flexible
Surgical Robots

유연 수술 로봇의 히스테리시스 문제

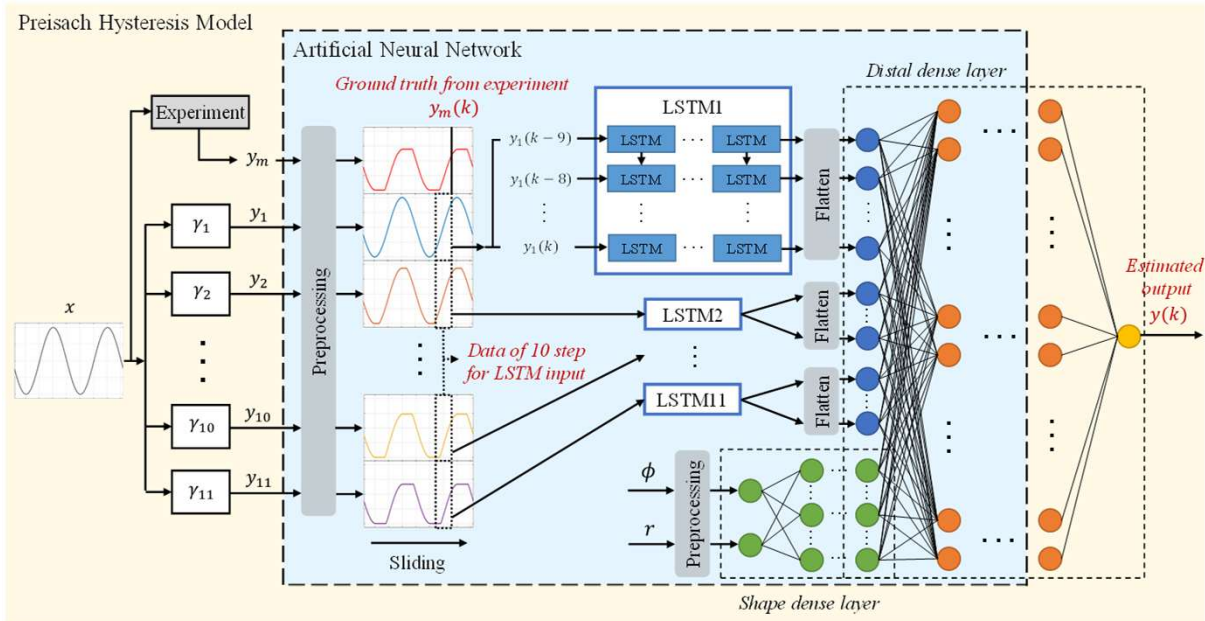
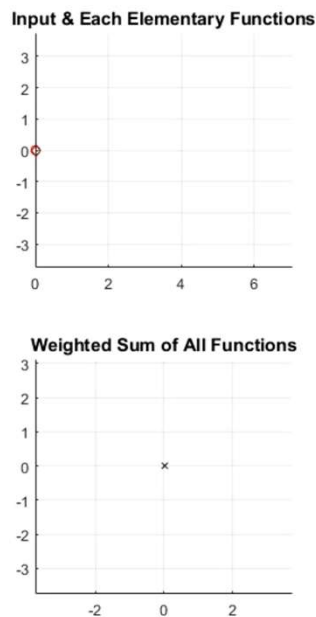
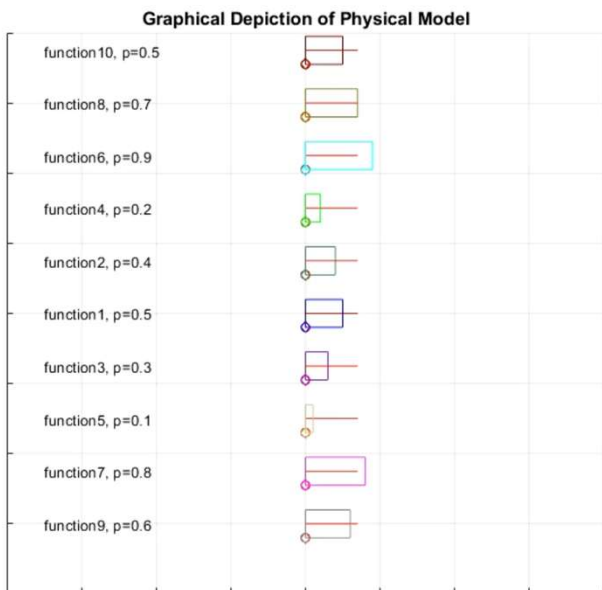
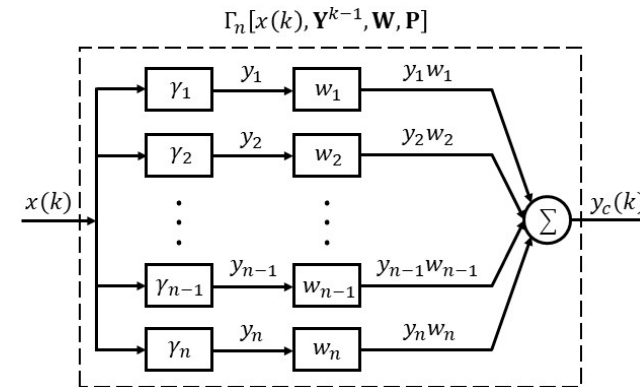


<텐던-스위스 메커니즘을 지닌 유연한 굴곡형 수술로봇 개념도>



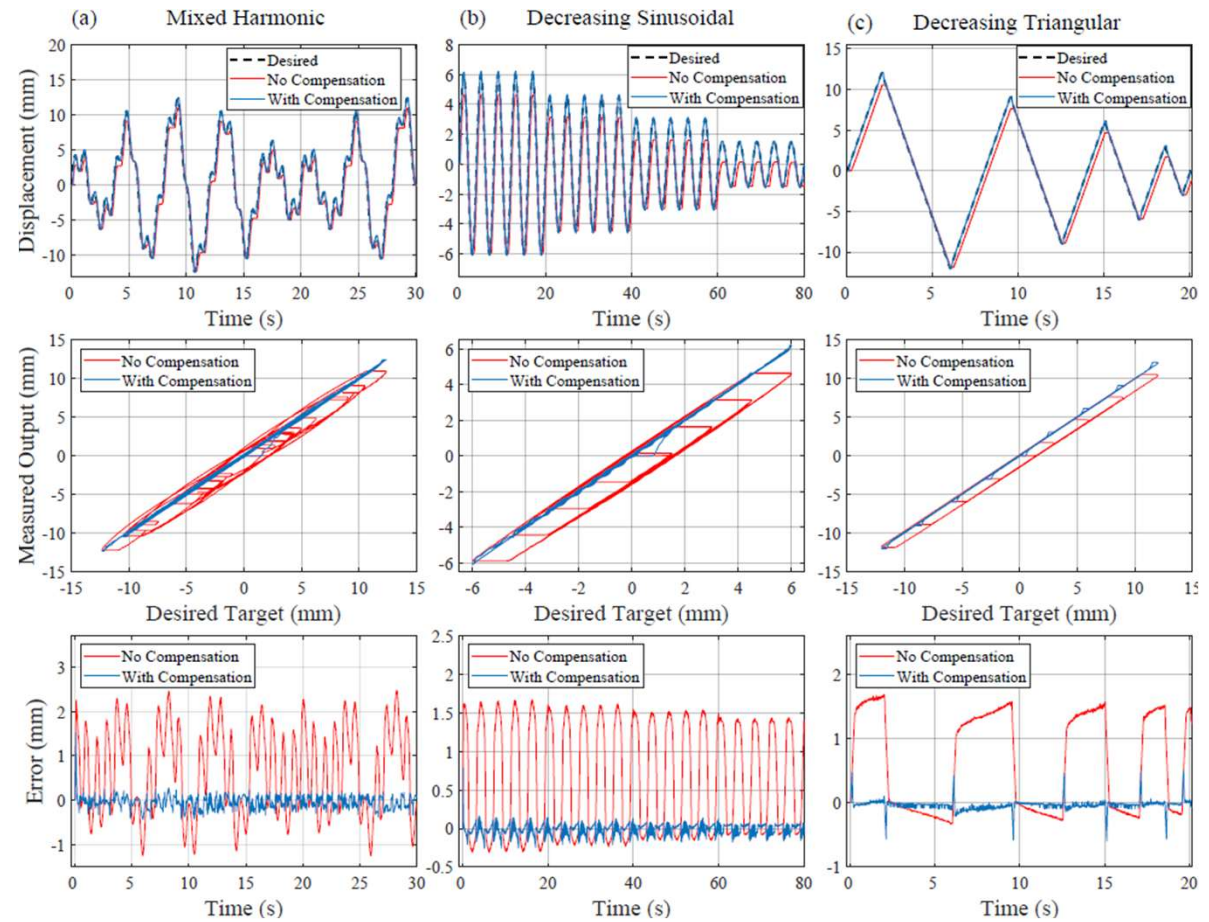
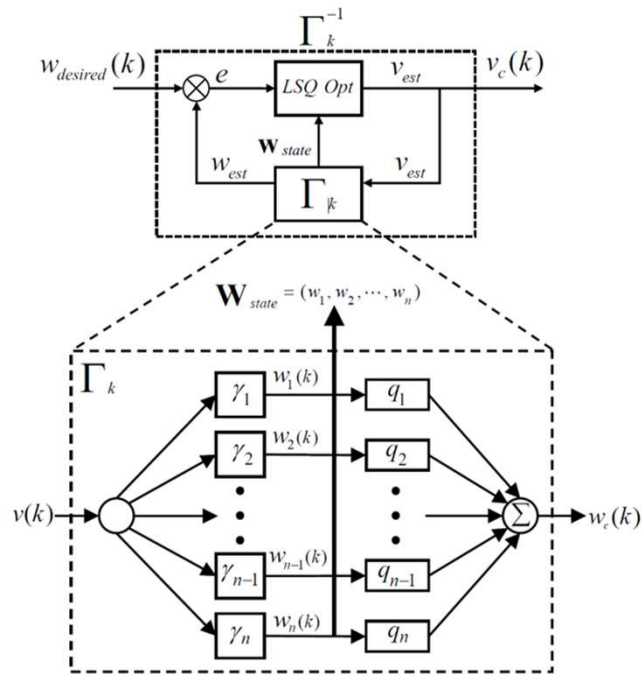
Preisach 모델과 순환 신경망(Recurrent Neural Network)

- 임의의 곡선 형태에서의 히스테리시스 추정
- 형상 변수인 굽힘각과 곡률반경을 인공 신경망에 입력



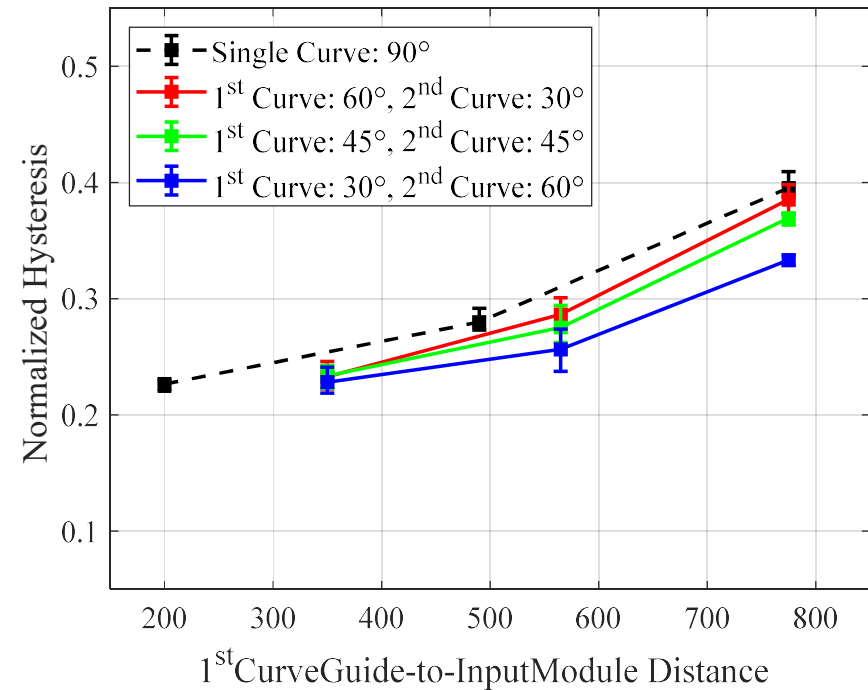
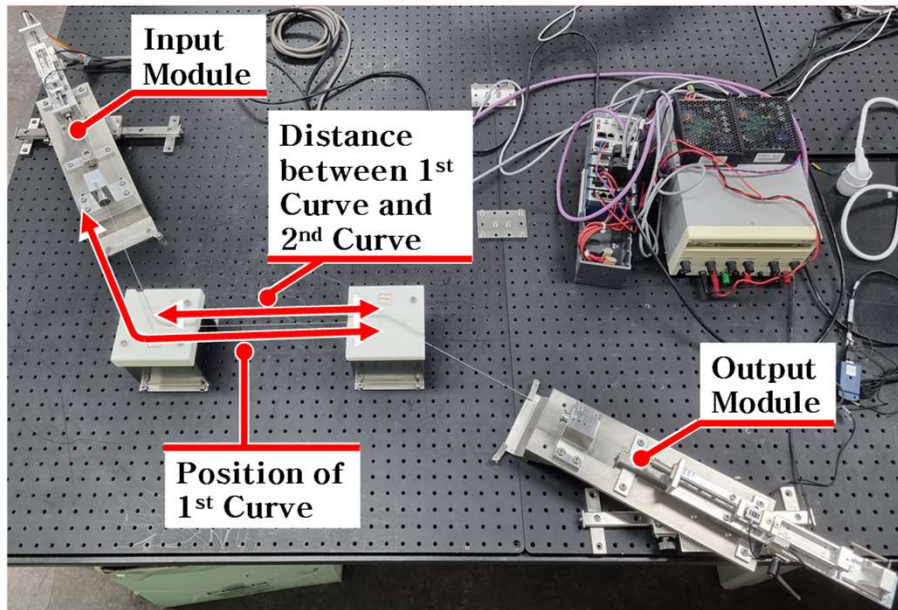
모델 기반 히스테리시스 보상 알고리즘

- 비선형 최적화(Successive Parabolic Interpolation Method)를 이용하여 모델 기반 보상 알고리즘 개발
- 연산시간이 1 ms 미만이기 때문에 실시간 보상 가능



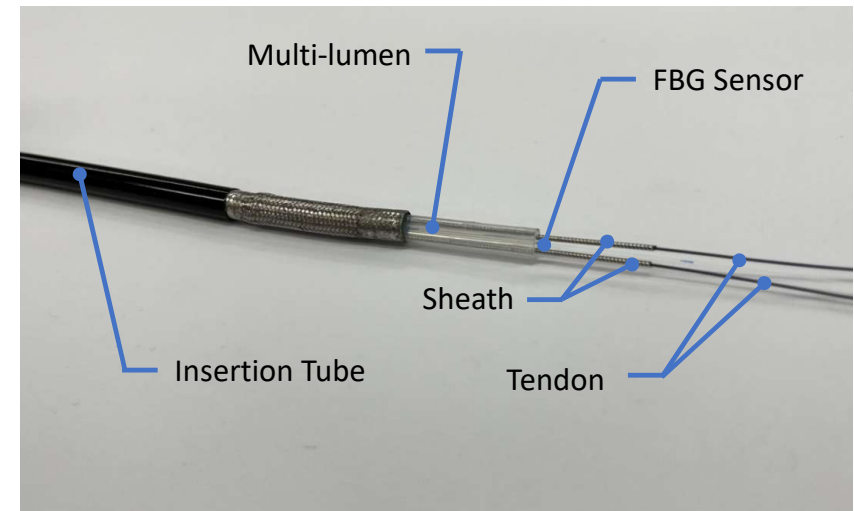
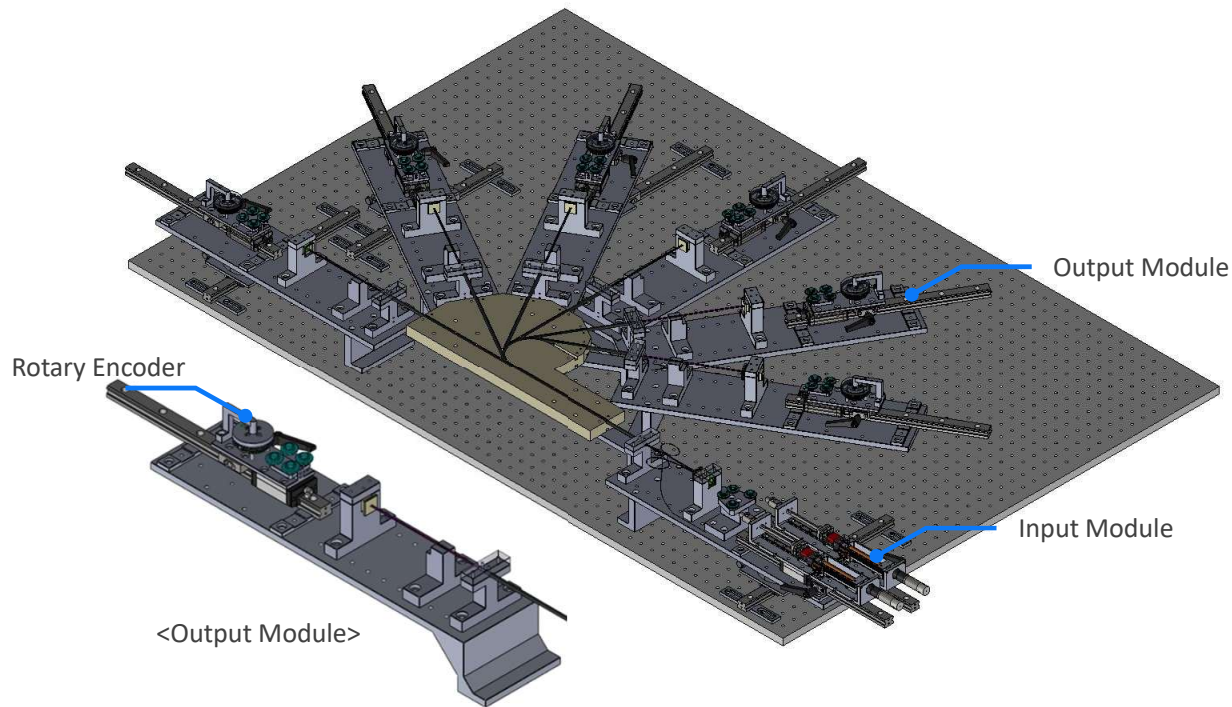
다중 곡선 경로에서 TSM의 히스테리시스 모델링

- 곡선 경로의 위치 및 순서에 따라 히스테리시스 변화
 - 출력 모듈에 가까운 위치에 있는 곡선 경로 형상에 따른 영향이 지배적
 - 입력 모듈에서의 거리에 대한 지수 함수와 비선형 중합으로 다중 곡선 경로에서의 히스테리시스 크기 추정



길항적(Antagonistic) 구조에서 TSM의 히스테리시스 모델링

- 실제 수술 로봇과 같이 2개의 TSM이 하나의 동작부에 연결되어 있을 때 히스테리시스 모델 및 보상



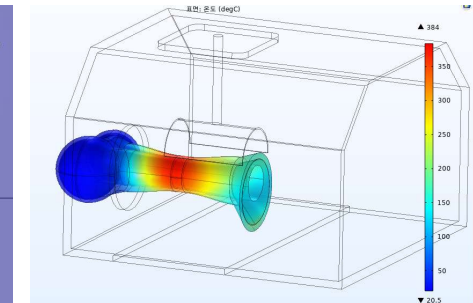
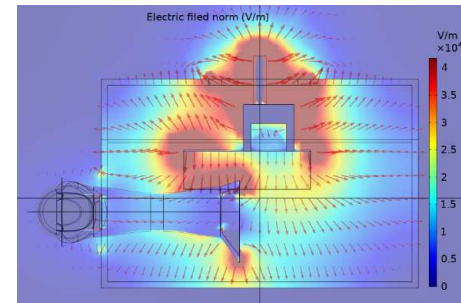
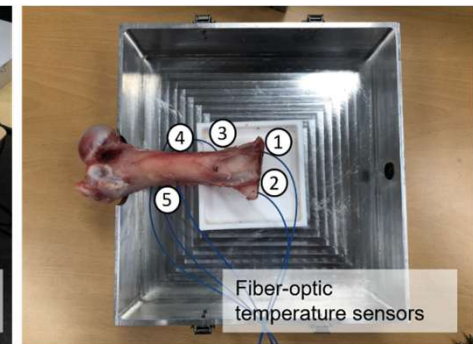
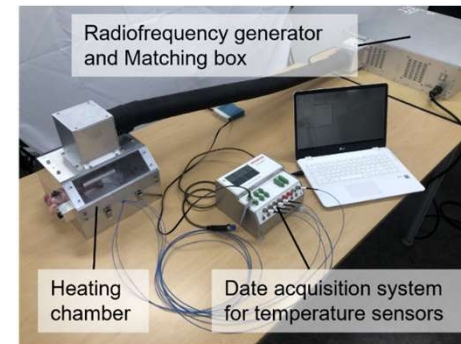
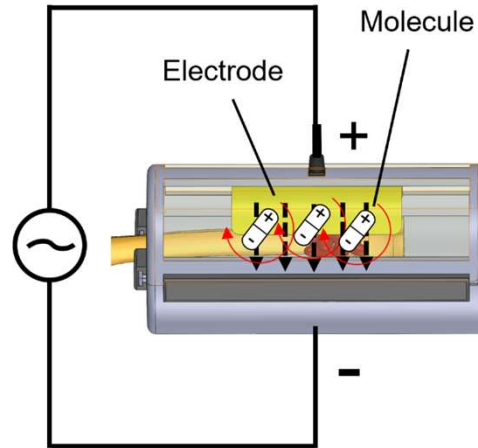
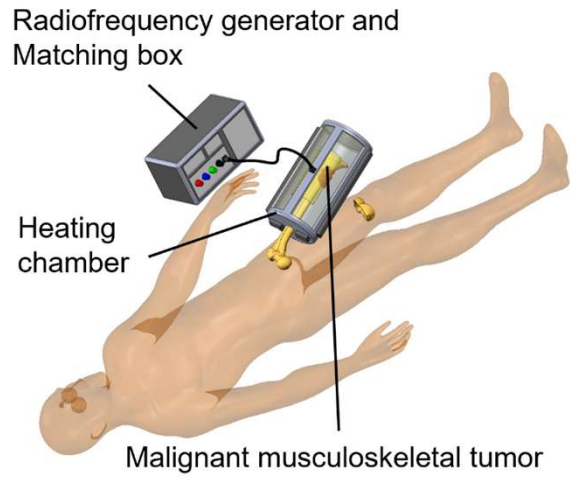
Insertion tube	Multi-lumen
Inner Diameter: 4.0 mm	Outer Diameter: 3.8 mm
Outer Diameter: 4.9 mm	Material: Pebax
Length: 610mm (mesh 30 mm included)	Sheath hole: 1.0 mm
Used at BF-P60(Fiber Bronchoscope) by Olympus	FBGs hole: 0.44 mm
	Length: 600 mm

RF 유전 가열을 통한 골종양 사멸 장치의 최적 설계

Optimal Design of Local Tumor Ablation and Recycling Machine
Using Radiofrequency Dielectric Heating

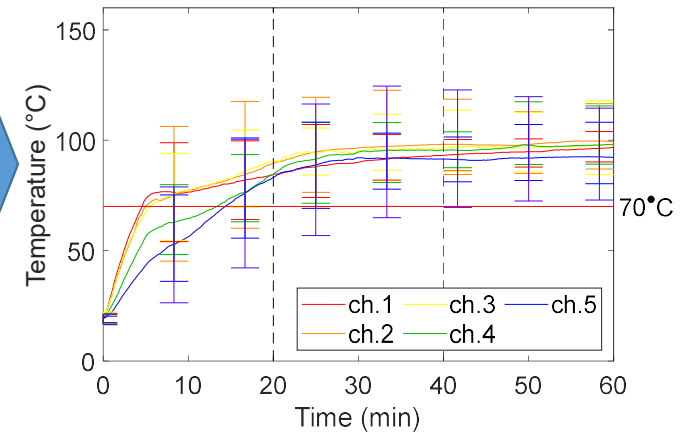
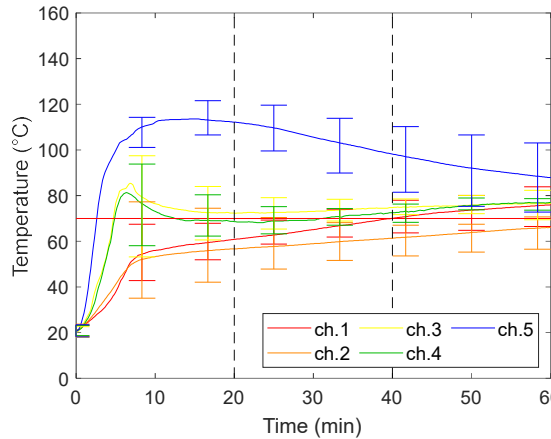
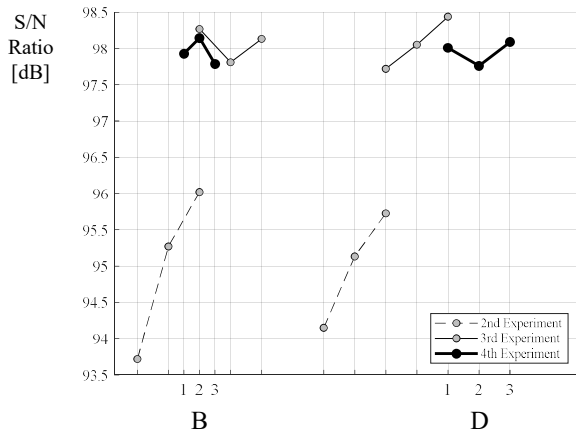
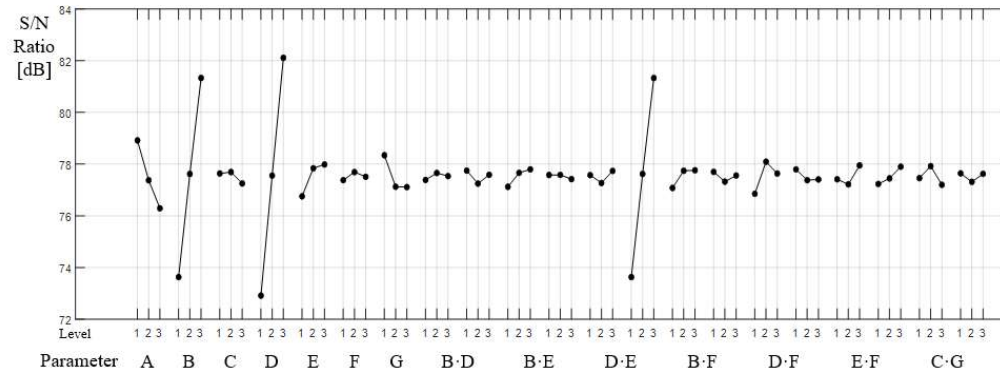
RF 가열을 통한 골종양 사멸 장치

- 수술대 위에서 대퇴골의 한쪽 끝만 절제하고 바로 가열 가능한 장치
→ RF 유전 가열을 통해 광범위한 부위에 균일한 가열



다구치 방법론을 통한 최적 설계

- 7개의 설계 변수를 최적화하여 열전달율 및 온도균일도를 향상
 - 열전달률은 44% 증가하고 온도분포의 표준편차는 59% 감소



인체 능력 증강을 위한 능동형 무릎 인공관절 개발

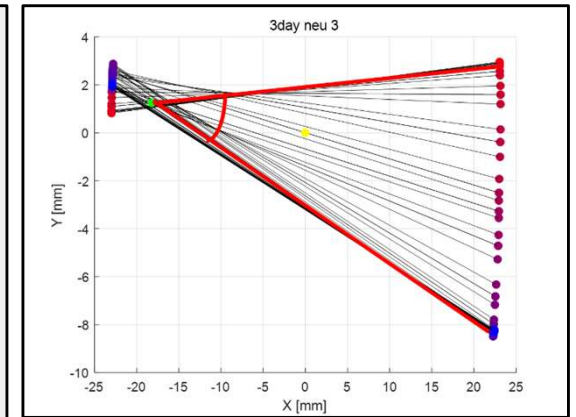
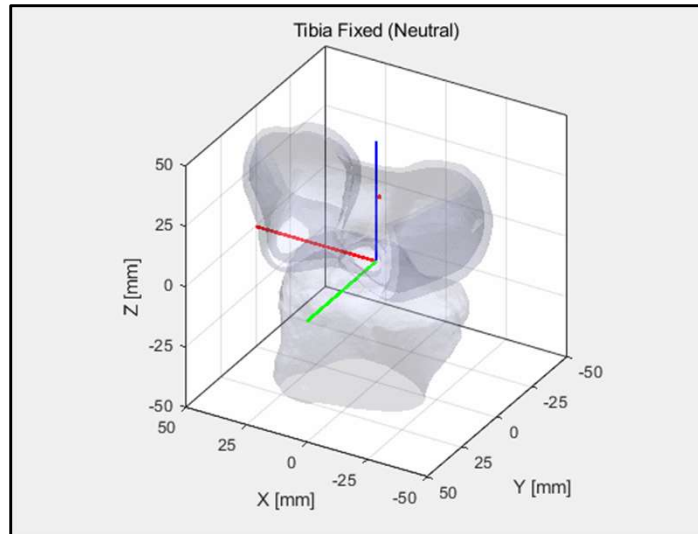
Development of Active Endoskeleton System for Human Ability
Augmentation

생체 신호 기반 의도 인식을 통한 능동형 Endoskeleton 시스템 개발



인체 무릎 관절의 거동 분석

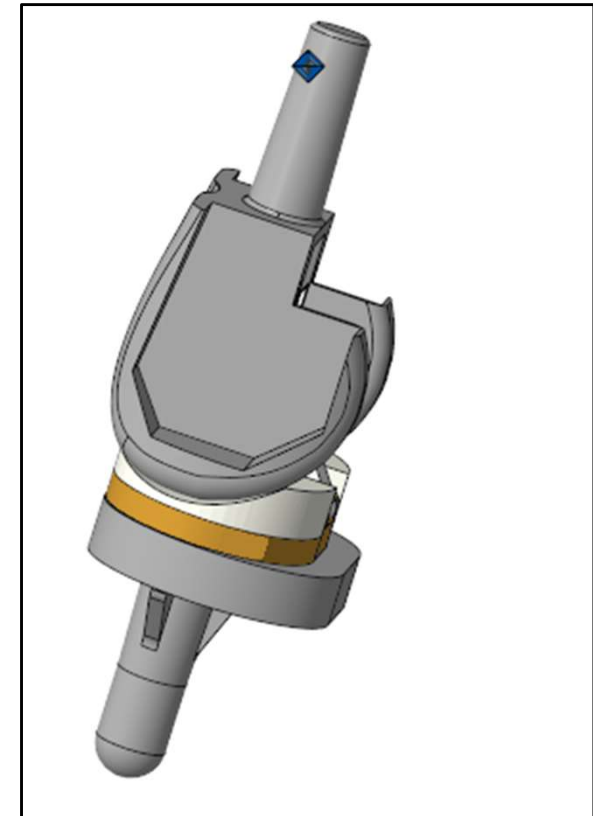
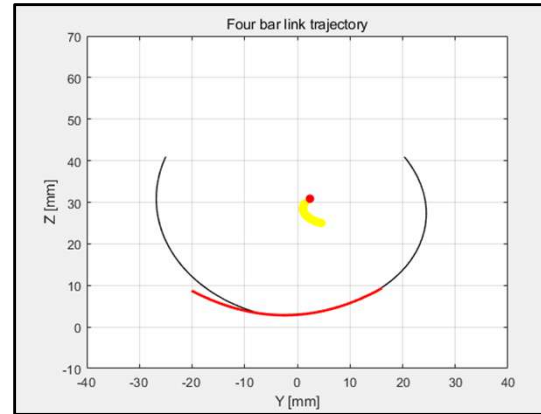
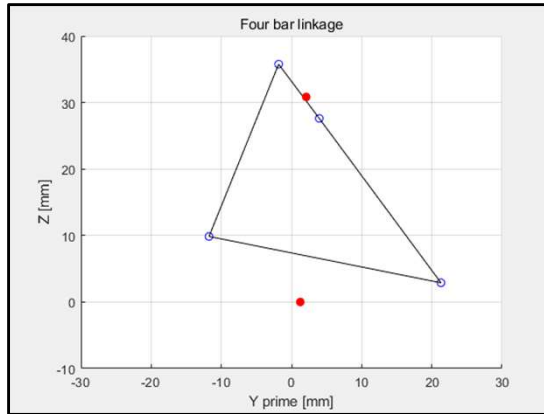
- 사체 실험을 통해 무릎 관절이 굽혀질 때 대퇴골과 경골의 상대운동 분석
 - 단순 핀 조인트가 아니라 대퇴골 관절구의 중심이 ψ 형태로 미끄러지는 거동 관찰
 - 무릎이 굽혀짐에 따라 대퇴골과 경골이 상대적으로 비틀어지는 Medial Pivot 관찰



<대퇴골 좌우 관절구 중심의 비틀어짐>

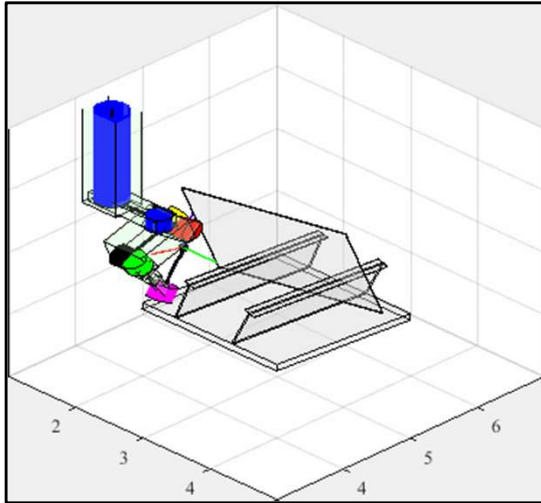
4절 링크 기반 무릎 인공관절

- 무릎 관절의 거동을 모사하면서 동력을 전달할 수 있는 4절 링크 기반 인공관절 설계
 - 4절 링크로 대퇴골 관절구의 중심 운동을 모사
 - 4절 링크에 연결된 슬라이드-피스톤을 이용하여 Medial Pivot 구현

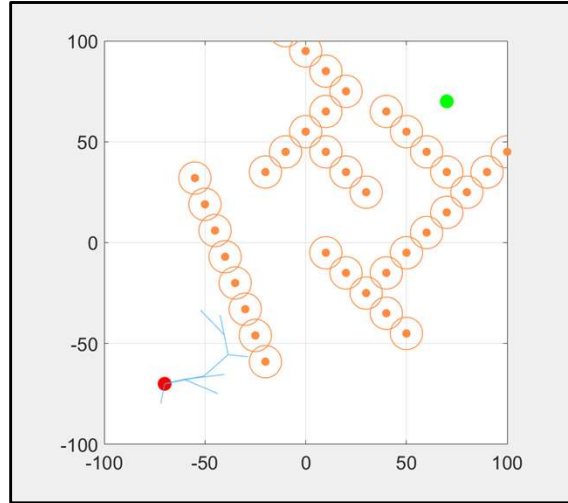


산학 프로젝트

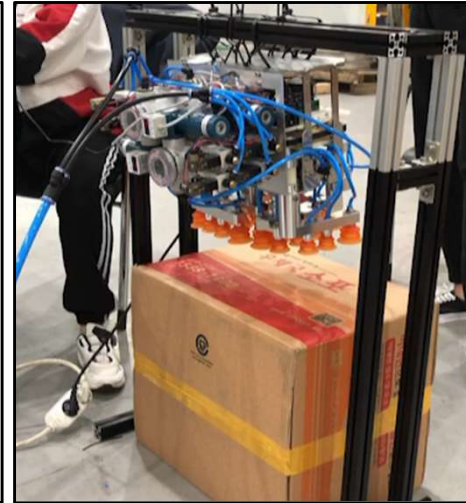
산학협력 프로젝트



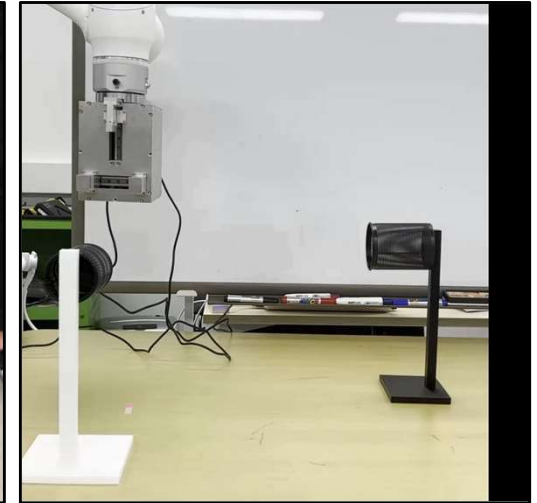
- 용접로봇의 최적 경로 생성 알고리즘 개발



- RRT* 기반 안전한 장애물 회피 경로 생성



- 다양한 상자 파지를 위한 가변형 진공 그리퍼 개발



- 조리용 집게 조작이 가능한 다기능 그리퍼 개발



Thank you

[https://sites.google.com/view/advrobot/
rokjin17@pusan.ac.kr](https://sites.google.com/view/advrobot/rokjin17@pusan.ac.kr)

