

# 한국형 ARPA-H 프로젝트 설명서

분 야	임무 5 (필수의료)	담 당	이창현 PM
프로젝트명	효율적 수술환경 조성을 위한 휴머노이드형 Physical AI 수술보조 로봇 개발 (PAIR-S : Physical AI Interactive Robot-Surgery)		

2025. 5.

한국형 ARPA-H 프로젝트 추진단

# I 프로젝트/과제개요

## 1. 해결하고자 하는 도전적 문제 제시

"수술 보조로봇을 통해 수술실 내 의료인력 부족을 해결할 수 있을까?"

- 수술 중 의료진의 음성·제스처·조작 신호를 정확하게 인식하고, 명령 의도와 의미를 실시간으로 이해할 수 있는 Physical AI 기술 확보
- 수술 유형과 단계에 따라 요구되는 리트랙션, 석션, 세척 등 다양한 보조 작업을 맞춤형으로 수행할 수 있도록 하는 모듈형 수술 보조 기술 구현
- 기존 인간 중심 수술실 인프라와 호환되고 수술실 공간 제약을 고려하여 의료진과 안전하게 협업 및 상호작용할 수 있는 휴머노이드형 물리적 구조

## 2. 프로젝트/과제 핵심 내용 요약

- 수술실 환경에서 의료진의 반복적 작업을 대행하고, 수술 상황에 따라 맞춤형 보조 행위를 자율적으로 수행하며, 의료진의 명령을 지능적으로 이해·반응하는 휴머노이드형 수술 보조 로봇 시스템을 개발을 목표로 함

**모듈형 구조 설계**

- 수술상황별 맞춤형 시스템 변경 가능
- 팔, 손, 비전 등 맞춤형 확장 및 교체 가능
- 유지보수 및 업그레이드 용이

**초정밀 파지·제어 기술**

- 다양한 형태·크기 의료 기구 조작 가능
- 힘·위치 동시 제어로 초정밀 조작 보조
- 조직 손상 최소화 및 수술 정밀도 향상



**Physical AI 적용**

- 능동적 수술 보조 및 자동화 지원
- 음성·시각 정보 기반 수술환경 실시간 인지
- 수술 안정성 및 정확성 극대화

**휴머노이드 디자인**

- 인간형 신체구조 → 직관적 협력협업 가능
- 기존 인간 중심 의료 인프라 활용 가능
- 리트랙션, 무영, 석션 등 다양한 보조 가능

□ 개별 요소기술 별 現 기술적 한계 극복

- 1단계: 수술실 내 다양한 환경 정보를 실시간 수집·분석하여, 의료진 명령 인식과 수술 보조 행위 제공에 필요한 기반 기술 확보
- 2단계: 다양한 수술 보조 행위를 수술 상황 맞춤형·연속적으로 제공할 수 있는 기술 고도화 및 임상 실증

### 3. 해당 분야 기술적 난제

□ 의료진 협업 및 보조 기능 부재

- 수술 로봇은 의료진이 직접 수동 제어해야 하는 구조로, 수술 상황 인지·판단 능력 부재로 인해 의료진과의 원활한 협업이 제한적
- 의료진의 실제 수술 작업을 보조할 수 있는 추가 기능은 부재한 상황

□ 기술 범용성 및 공간 유연성 제약

- 현존 수술 로봇은 특정 수술 절차에 특화된 설계 구조로 인해 다양한 기술에 범용적으로 적용되기 어려운 기술적 제약이 존재
- 다수 수술 로봇은 정적 위치 고정 기반 제어 방식에 머무르고 있어, 수술실 내 공간 활용성이 부족

□ 도입 및 운용 부담 가중

- 수술 로봇의 높은 초기 도입비와 지속적 유지보수 비용은 의료기관·환자에게 재정적 부담을 가중시키고 기술 보급·확산을 저해하는 요인으로 작용
- 폐쇄형 아키텍처로 인해 구성품 호환·교체가 불가능하며, 특정 제조사에 대한 장비 종속성이 심화되고 수술 유형별 맞춤형 기능 확장·조정이 제한

□ 수술 보조 로봇의 한계

- 절개·봉합 등 직접 시술 중심으로 개발되고 있으며, 의료진의 작업부하 경감을 위한 시야확보·석션·세척 등 수술 보조 기능의 기술개발은 미진
- 시야확보·리트랙션·석션 등 개발 단독 형태의 수술 보조 기술은 일부 구현되어 있으나, 이를 통합 수행할 수 있는 일체형 수술 보조 기술은 부재

## II

## 추진 배경 및 필요성

### □ 추진 배경

- 숙련된 수술 의료인력의 유입감소·이탈이 심화되며 국내 수술 의료시스템의 구조적 한계가 누적되고 있는 상황
- 수도권 중심 수술체계가 고착화되면서 지역 내 수술 수행 능력이 저하되고 있으며, 응급 수술 시 이송 대기·지연 사례 증가 추세
- 수술 영역은 고위험·고정밀 특성으로 인해 기술 수용이 보수적으로 진행되어왔으며, AI·로봇 등 첨단기술의 통합적 활용이 미진
- 수술실 내 집도의·간호사 등 의료진의 피로도 경감과 수술 과정의 작업 효율성 향상을 위해, 반복적 보조 업무를 수행할 수 있는 기술 도입 필요

### □ 기획의 주안점

- 수술실 내 보조 행위의 정밀성과 작업 효율 향상을 위해, 既 성숙된 센서·로봇팔 등의 요소기술을 휴머노이드형 수술 보조 로봇 기술로 통합·최적화
- 수술실 환경과 의료진 협업 기반에 적합한 국산 수술 보조 로봇 실증 기반 조성 및 글로벌 기술격차 해소를 위한 기술자립 체계 구축
- 수술실 내에서의 명령 인식·상황 대응·정밀 보조행위 수행 등 수술 보조 로봇 고유의 기술 난제를 중심으로 실체적 해결 방안을 제시하고, 해당 난제 해결 여부를 기준으로 과제 마일스톤 기획

## III

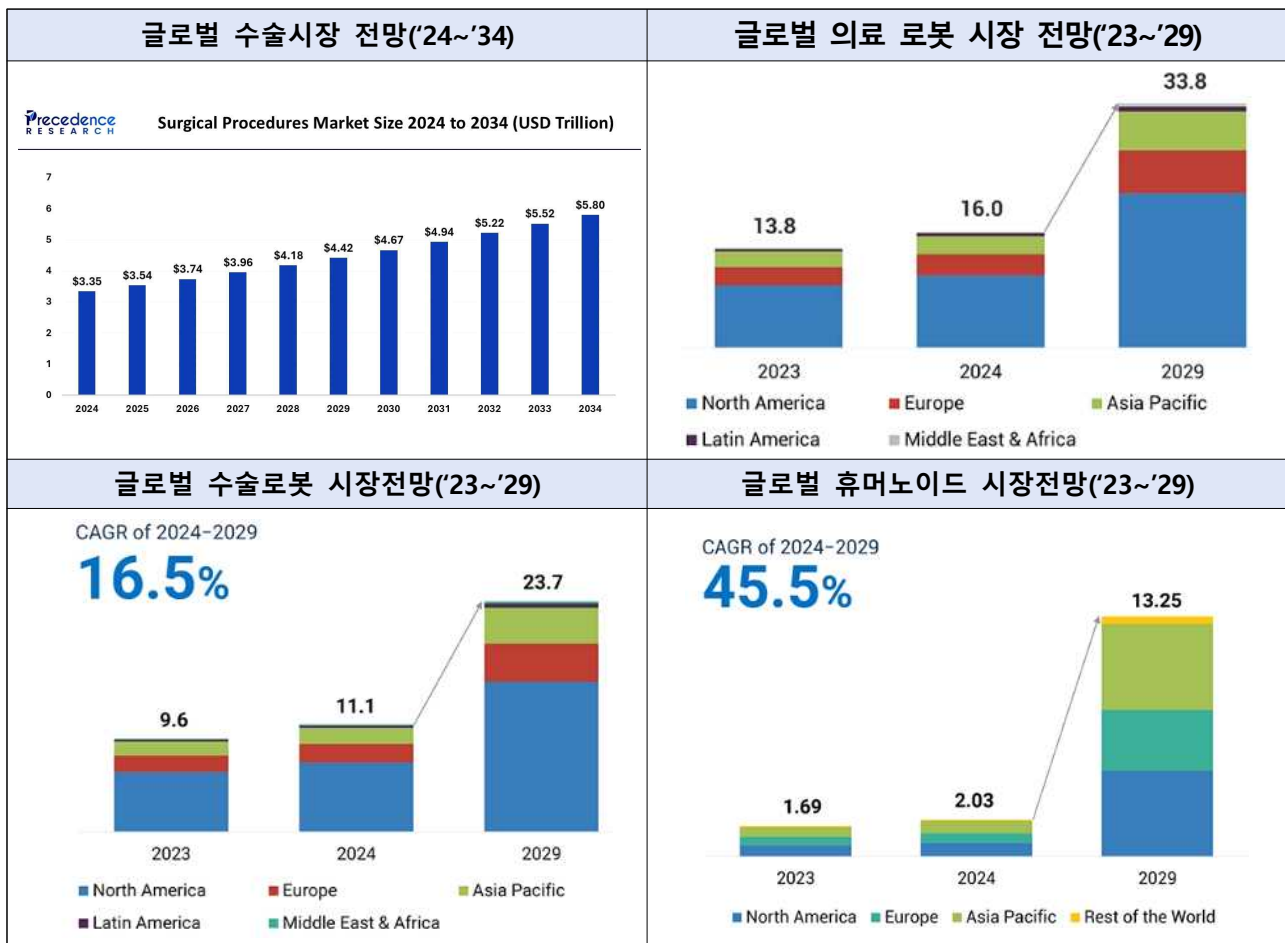
## 환경 분석

### □ 국내외 시장현황 및 전망

- (수술시장) 세계 수술 시장은 2025년 기준 3조 5,400억 달러에서 연평균 5.64% 성장하여, 2034년 5조 8,000억 달러 규모로 확대 전망

- (수술로봇 시장) 세계 수술로봇 시장은 2023년 기준 약 96억 달러 규모로 형성, 연평균 16.5% 성장하여 2029년에는 237억 달러에 도달할 것으로 예상
- (의료로봇 시장) 세계 의료로봇 시장은 2023년 138억 달러에서 2029년 338억 달러로 성장 전망되며, 연평균 16.1%의 고성장을 보일 것으로 예측
- (휴머노이드 시장) 세계 휴머노이드 로봇 시장은 2024년 20억 달러에서 연평균 45.5% 증가한 2029년 132억 달러 규모로 확대될 것으로 기대

[ 세계 수술 로봇 관련 시장 현황 및 전망 ]



□ 글로벌 기술 동향

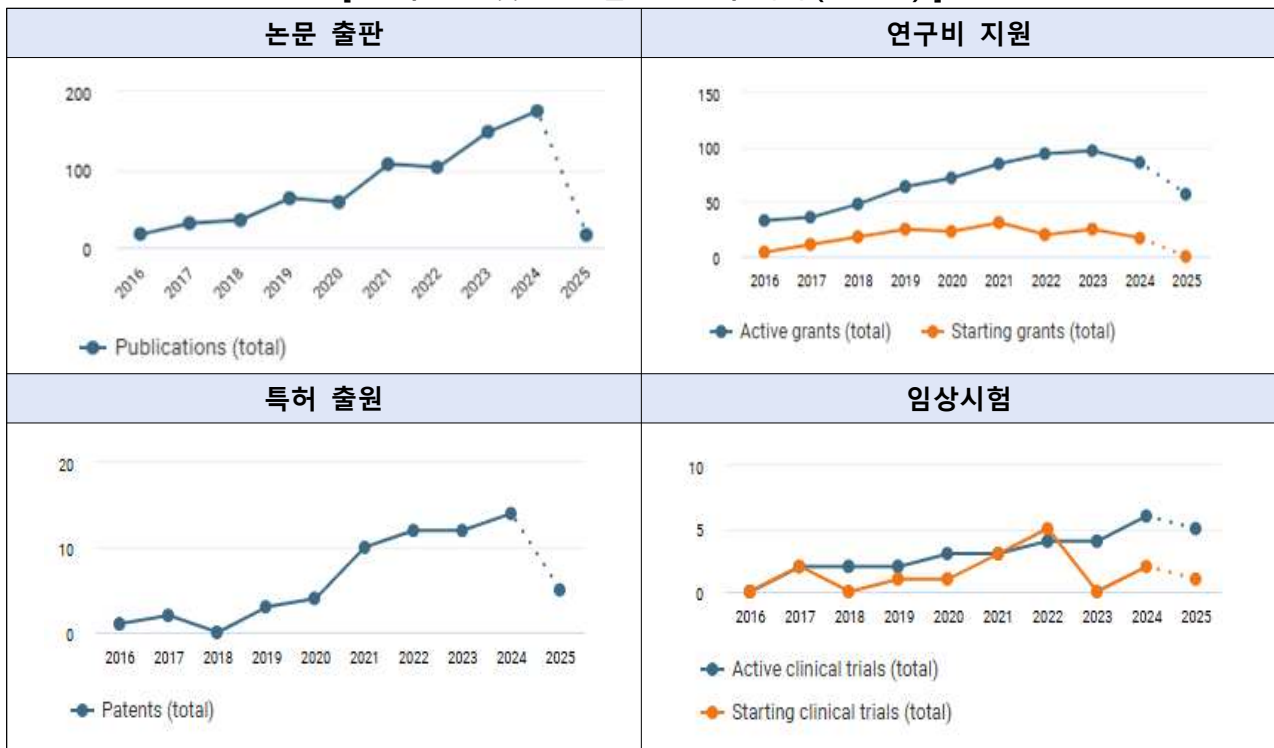
- 국내·외 수술(보조)로봇 기술은 다관절 정밀 제어, 자동화 제어, 내시경 호환성, 개방형 플랫폼 등 기술요소 융합 및 의료현장 수요에 맞춘 기술 고도화 진행 중
- 해외는 고정형 구조 중심의 하드웨어 수술 로봇 개발에서 영상·음성 데이터를 연계한 인공지능 기반 융합 기술로 발전 중

- 국내는 주요 선진국의 수술로봇 기술을 국산화한 상용 수준의 수술 로봇 기술 일부를 확보하였으나, 수술 보조기능과 AI 기반 협업 기술은 여전히 부족한 상황

## □ 글로벌 연구 동향

- 최근 수술 리트랙터, 수술기구 AR 보조 등 다양한 관점에서 로봇 자동화 및 의사결정·협력 능력 향상을 위한 요소기술이 연구 중에 있으나, 실제 상용화 단계의 성과는 여전히 미흡한 상황
- (논문) 수술(실)에 사용되는 AI 기반 수술 로봇 관련 논문 출판은 최근 10년('16~'25) 간 지속적으로 증가하는 추세
- (연구비 지원) AI 기반 수술 로봇 연구에 대한 연구비 지원은 꾸준히 확대되고 있으며, 의료 기술 혁신 분야에서 주요 투자 영역으로 부상
- (특허) 수술 로봇 관련 특허 출원 건수는 지속적으로 증가하고 있으나, 전체 규모는 연간 20개 미만으로, 여전히 제한적인 수준으로 판단됨
- (임상시험) AI 기반 수술 로봇의 임상시험 사례는 극히 제한적이며, 실질적인 임상시험 추진이 활발하게 이루어지고 있지 않은 상황으로 추정됨

[ AI 수술 로봇 관련 글로벌 연구 동향('16~'25) ]



자료 : Dimension AI, 2025.

### □ 사회경제적 기대효과

- 수술 보조 로봇 개발 및 도입을 통해 수술실 의료진의 신체적·정신적 피로 최소화 및 글로벌 의료기기 시장경쟁력 확보 가능
  - 장시간 수술 시 의료진의 피로도를 줄이고, 수술 집중도 향상 가능 전망
  - 국내 의료기기·바이오헬스 산업의 기술 경쟁력 제고 및 해외시장 진출 기회 확대

### □ 연구결과 최종 수혜자

- (1차 수혜자) 동 프로젝트의 직접적 수혜자는 외과 및 필수의료 분야의 의사를 포함한 간호사 등 의료진
  - 전문적 판단 및 집중도가 높은 수술활동에 집중이 가능해져 수술 정확성 및 효율성이 향상되고 수술 완결성 제고 가능
  - 수술 환경이 의료진 맞춤형으로 최적화되고, 수술장 내 최소 인력이 투입됨에 따라 수술장 내부의 환경 개선과 보조인력의 업무 부담 경감
- (2차 수혜자) 간접적 수혜자는 필수의료 대상 환자(국민)로, 수술시간의 단축과 정확성 향상으로 치료효과가 증대가 기대
  - 수술 보조 로봇의 도입으로 의료기관을 통한 고품질 수술 서비스 접근성 향상
  - 재진료·재방문 등이 해소되어 궁극적으로 의료비용 절감 효과 기대 가능
- (3차 수혜자) 수술 보조 로봇과 관련한 기업 및 산업 생태계 플레이어
  - 수술 보조 로봇 시장 성장에 따른 신규 비즈니스 기회 확대가 예상되며, 기술의 고도화에 따른 관련 분야 산업의 활성화 촉진이 예상
  - 로봇 및 의료기기 분야 전문 인력 수요 증가 및 일자리 창출 효과 발생