

2022 June | Vol. 8

06



융합연구리뷰

Convergence Research Review

협동로봇의 기술 동향

송재복(고려대학교 기계공학부 교수)

맞춤형 재활 치료를 위한 의료서비스로봇 연구 동향

한창수(㈜핵사휴먼케어 대표이사)

신동빈(한양대학교 박사후연구원)

CONTENTS

- 01 편집자 주
- 03 협동로봇의 기술 동향
- 31 맞춤형 재활 치료를 위한
의료서비스로봇 연구 동향
- 59 국가R&D 현황 분석



융합연구리뷰 | Convergence Research Review
2022 June vol.8 no.6

발행일 2022년 6월 7일

발행인 김현우

발행처 한국과학기술연구원 융합연구정책센터

02792 서울특별시 성북구 화랑로 14길 5

Tel. 02-958-4977 | <http://crpc.kist.re.kr>

펴낸곳 주식회사 동진문화사 Tel. 02-2269-4785



협동로봇의 기술 동향

현대자동차의 전용 전기차 '아이오닉5' 생산 공장의 배터리 팩을 조립하는 공정에서는 독일의 산업용 로봇 제조업체 쿠카(KUKA)의 6축 다관절 로봇이 일사분란하게 움직여 볼트와 너트를 조립한다. 또한 자동차의 기능 작동 여부를 검사하는 과정에서는 덴마크 유니버설 로봇(Universal Robots)의 로봇이 검사를 진행한다. 자동차 제조는 수년간 고도의 자동화가 이루어졌으나 나사 및 부품 조립, 전장 부품(센서, 제어기, 액추에이터 등 전자장치) 점검 등 작업의 일부는 여전히 수작업에 의존해왔다. 그러나 이제는 협동로봇이 기존에 작업자가 수행하던 반복적인 수작업을 대체할 뿐만 아니라 여러 명의 작업자가 한 시간 가량 수행하던 작업을 3분 만에 완료한다. 현대자동차뿐만 아니라 독일 폴크스바겐도 KUKA의 협동로봇 1,700대를 전기차 생산 공장의 차체 조립 공정에 투입했으며 BMW도 Universal Robots의 협동로봇을 연간 100대 가량 도입하여 생산성을 높이고 있다. 이처럼 협동로봇은 최근 제조 산업 분야에서 새로운 바람을 일으키고 있다.

협동로봇은 안전펜스 설치 없이 사람과 함께 같은 공간에서 작업을 수행할 수 있는 형태의 산업용 로봇이다. 작업장 내에서 발생할 수 있는 위험 사고의 빈도를 감소시킬 수 있고, 비용을 낮출 수 있으며 노동력 부족 문제를 해결할 수 있어 최근 활발하게 활용되고 있다.

로봇의 어원은 체코슬로바키아어 '로보타(Robota)'로 이는 '강제적인 노동, 힘들고 단조로운 일'이라는 의미를 내포하고 있다. 협동로봇이 로봇의 어원을 가장 잘 대표한다고 할 수 있다. 인공지능을 비롯한 첨단 기술의 개발로 협동로봇이 더욱 발전될 것으로 기대되는 가운데, 본 호 1부에서는 협동로봇의 기술, 산업 및 정책 동향에 대해 소개한다.

맞춤형 재활 치료를 위한 의료서비스로봇 연구 동향

'치료가 게임처럼 재미있다.' 재활치료를 끝낸 환자의 소감이다. 서울 성동구에서는 2021년 5월 상지기능장애가 있는 지역 내 장애인 치료를 위해 로봇재활치료기기인 '스마트 글로브(Smart Gloves)'를 도입했다. 스마트 글로브는 손과 팔의 재활을 위한 기기로 이를 착용하고 컴퓨터에 설치된 프로그램을 실행하면 다양한 훈련 게임을 통해 손가락, 손목, 팔의 재활훈련이 가능하며 훈련과정을 시각적인 데이터로 제공한다. 이는 환자들에게 반복적인 훈련도 흥미를 갖고 할 수 있도록 동기를 부여하여 환자 스스로 움직일 수 있도록 유도하고 환자의 손 기능에 맞춰서 재활 치료가 가능하도록 한다.

건강보험심사평가원 보고서(2017)에 따르면, 우리나라는 적절한 재활 치료 후 가정과 사회로 복귀하는 뇌졸중 환자 비율이 22.4%로 최대 78%에 달하는 미국에 비해 현저히 낮다. 지금까지의 재활 치료는 대부분 물리 치료사 또는 작업 치료사에 전적으로 의존하여 진행되었으나 한계가 있었다. 그러나 재활의료서비스로봇의 등장으로 환자의 움직임도 도와주는 정도를 수치화해서 환자의 근력 향상과 기능 발달에 가장 적절한 강도의 운동을 제공함으로써 효율적인 재활 치료가 가능해졌다.

재활 치료는 일시적이거나 단기적인 치료로 효과를 보기 어렵다. 본 호 2부에서는 재활의료서비스로봇에 대한 내용을 소개하며, 재활의료서비스로봇의 발전으로 효율적인 재활 치료가 이루어지고 재활의료서비스의 수준이 향상되기를 기대해 본다.



융합연구리뷰

Convergence Research Review 2022 June vol.8 no.6



01

협동로봇의 기술 동향

송재복(고려대학교 기계공학부 교수)

I 개요

1. 협동로봇의 개요

협동로봇(collaborative robot or cobot)은 안전펜스의 설치 없이 작업자와 동일한 공간에서 작업을 수행할 수 있는 새로운 형태의 산업용 로봇을 지칭한다. 이를 위해서 작업자와 로봇의 충돌 시에도 작업자의 안전이 보장되어야 한다. 또한, 기존의 산업용 로봇과는 달리 쉬운 교시(teaching) 기능을 갖추어서, 별도의 복잡한 프로그래밍이 없이도 로봇에게 작업을 교시하는 것이 가능하도록 직접 교시 또는 그래픽 기반의 작업 교시가 가능하여야 한다.

2000년대 초반에 유럽에서 처음 개념이 도입될 때는 중소기업에서 주로 사용할 로봇이므로 SME(Small and Medium Enterprise) robot, 즉 중소기업형 로봇으로 불리었다. 그 후, 영어로 ‘collaborative robot’ 또는 줄여서 ‘cobot’으로 통용되고 있으며, 국내에서는 협업로봇이라고 번역되어 널리 사용되다가, 국가 기술표준에서 협동로봇이라는 용어를 공식적으로 사용하기 시작하면서 지금은 협동로봇으로 불리고 있다.

1.1. 협동로봇의 필요성

최초의 산업용 로봇은 1961년에 미국 Unimation社의 Unimate라는 유압 구동형 로봇이었다. 이후 지난 60년간 더 높은 가반하중, 더 빠른 동작속도, 더 우수한 반복 정밀도를 지향하면서 비약적으로 발전하였지만, 원래 인간 팔의 구조를 모방하여 만들어졌으므로, 매니플레이터(manipulator)의 형태는 거의 동일하게 유지되고 있다. 이러한 산업용 로봇 중 수직 다관절 로봇은 주로 자동차 공장에서 용접 및 도장 목적으로 많이 사용되어 왔으며, 수평 다관절 로봇(일명 SCARA 로봇)은 전자공장에서 조립용으로 많이 사용되고 있다.

이러한 산업용 로봇은 인간 작업자보다 다음 세 가지 면에서 우수하다. 첫째, 물체의 취급 능력이다. 산업용 로봇은 장시간 쉬지 않고, 물체 이송이나 조립하는 등의 작업을 수행할 수 있다. 둘째, 로봇의 우수한 반복 정밀도이다. 반복 정밀도는 로봇이 지정된 위치에 매우 정확하게 반복적으로 도달할 수 있는 능력을 의미하는데, 산업용 로봇은 수만 번을 반복하더라도 지정된 위치에 항상 0.02 - 0.05 mm 오차 이내로 도달할 수 있다.

셋째, 상대적인 저임금이다. 과거에는 로봇의 가격에 비해서 인건비가 저렴하였지만, 최근에는 인건비가 많이 오르고, 업종에 따라서는 인간 작업자를 구하는 것이 매우 어려워졌다. 그러므로 단순한 작업에 대해서는 로봇이 상대적으로 낮은 비용으로 운용하는 것이 가능해졌다.

이러한 세 가지 능력 외에는 인식과 지능을 가진 인간 작업자가 여러 면에서 로봇보다 월등하게 우수하다. 예를 들어, 바닥에 있는 무거운 물체를 집어 올려서 다른 물체에 조립하는 작업을 고려해보자. 이때 무거운 물체를 들어올리는 능력은 로봇이 우수하고, 두 물체를 조립하는 능력은 인식과 판단 능력이 있는 사람이 우수하다. 그러므로 로봇이 물체를 들어올려서 유지하며, 인간은 물체의 무게를 느끼지 않으면서 조립에 집중할 수 있다면, 즉, 인간과 로봇이 각자의 장점을 발휘하여 협동한다면 보다 효율적인 작업이 가능하게 된다.

그러나 기존의 산업용 로봇의 경우에는 이러한 인간-로봇 협업이 불가능한데, 이는 로봇의 위험성으로 인하여 로봇 주변에 반드시 안전펜스를 설치하고, 로봇의 작업 중에는 인간이 이 펜스 안으로 들어갈 수 없기 때문이다. 이를 해결하기 위해서는 인간과 로봇이 안전펜스 없이 동일한 작업공간에서 작업할 수 있으며, 작업 중에 발생할 수 있는 인간-로봇 충돌에도 인간이 안전할 수 있도록 설계된 안전한 로봇이 필요하다. 또한, 대부분 중소기업의 공장은 공간이 좁기 때문에 안전펜스로 인하여 넓은 면적을 요구하는 기존의 수직 다관절 로봇을 도입하기 어려운데, 만약 안전펜스 없이 사용할 수 있다면 설치 면적이 획기적으로 줄어들 수 있다.

기존의 산업용 로봇은 주로 대기업의 생산 공장에서 소품종 대량 생산 작업에 많이 사용되고 있다. 대표적인 예가 자동차 공장에서의 용접 작업이다. 그러나 중소기업은 대량 생산보다는 소량 다품종 생산이 필요한 경우가 많으므로 기존의 산업용 로봇을 사용하면 빈번하게 작업을 위한 프로그램 교체가 필요하며, 이를 위해서는 숙련된 로봇 엔지니어가 필요하지만, 중소기업이 이러한 조건을 갖추기는 어렵다. 그러므로 기존의 산업용 로봇에 비해서 쉬운 교사가 가능한 로봇이 요구되었다.

이와 같은 중소기업의 현실을 해결하기 위해서 협동로봇이 개발되었다. 안전펜스의 설치 없이 작업자와 동일한 공간에서 작업이 가능하므로 공장의 레이아웃을 변경하지 않고도 바로 로봇을 현업에 투입할 수 있으며, 로봇 엔지니어가 없더라도 단순한 작업의 경우에는 몇 분 만에 로봇을 현업에 투입하는 것이 가능할 정도로 사용이 편리하다.

1.2. 협동로봇의 역사

협동로봇의 개념은 2005년부터 2009년까지 수행된 유럽연합 FP6(Framework Program 6, 제6차 프레임워크 프로그램)의 ‘SMErobot’ 프로젝트로 부터 시작되었다. 이 프로젝트에는 유럽의 KUKA, ABB와 같은 로봇업체, DLR(독일 항공우주센터, 영문명: German Aerospace Center)과 같은 연구소 및 여러 유명 대학들이 컨소시엄 형태로 참여하였다. 그 후 FP7에 이의 후속으로 ‘SMErobotics’ 프로젝트가 진행되었다.

2005년에 협동로봇의 선두주자인 Universal Robots社가 덴마크에서 창업하였다. 2009년에 첫 협동로봇인 UR 시리즈를 출시하여 오늘에 이르렀다. 미국에서는 Rethink Robotics가 2012년에 양팔 로봇인 Baxter를 출시하여 많은 관심을 받았으며, 2015년에 성능을 향상시킨 Sawyer를 출시하였다. 독일의 KUKA는 독일 항공우주연구소인 DLR이 개발한 협동로봇인 LWR 시리즈를 기술 이전 받아서 이를 기반으로 자체 LBR iiwa 시리즈를 출시하였다.

국내에서는 고려대에서 국내 처음으로 협동로봇 연구를 수행하였다. 인간-로봇 간의 충돌에 관한 지속적인 연구 결과를 바탕으로 중소기업과의 산학과제를 2007년 7월부터 2년간 수행하면서 협동로봇과 유사한 개념의 로봇 매니플레이터를 개발하였다. 협동로봇과 관련된 최초의 정부 과제는 산업통상자원부의 ‘인간-로봇 협업 매니플레이션 기술’ 과제로 2008년 12월부터 2011년 9월까지 한국기계연구원 주관으로 진행되었다. 이 과제의 후속으로 산업통상자원부의 ‘안전 매니플레이터 기반의 양팔로봇 작업기술’ 과제가 2010년 12월부터 2016년 11월까지 6년에 걸쳐서 한국기계연구원 주관으로 국내 17개 연구기관이 참여하여 진행되었다. 현재도 협동로봇과 관련된 2-3개의 연구 과제가 진행 중이다.

국내에서 연구 차원에서 개발된 협동로봇은 여러 종류가 있지만, 상업적으로 출시된 첫 협동로봇이 어느 제품인지는 다소 불분명하다. 2015년에 푸른기술이 협동로봇 시제품을 전시하였으나, 실제 상업화는 최근에 이루어졌다. 한화테크윈이 2017년 3월에 HCR 시리즈 2종을 출시하였고, 두산로보틱스도 2017년 9월에 M시리즈의 협동로봇 4종을 출시하였다. 그리고 뉴로메카도 2017년부터 여러 종류의 협동로봇을 출시하였으며, 레인보우로보틱스가 2018년부터 협동로봇을 출시하였다. 현대로보틱스도 최근 자체의 협동로봇을 출시하였으며, 현재도 2-3개 기업이 협동로봇 출시를 앞두고 있다.

II 협동로봇 기술

1. 기술 개요

협동로봇은 기본적으로는 수직 다관절형 산업용 로봇의 한 종류이다. 그러므로 일반 산업용 로봇의 기능에 더하여, 충돌 안전성과 쉬운 교시 기능 등이 추가되었다고 볼 수 있다. <그림 1>에서 보듯이, 협동로봇의 외형은 기존의 산업용 로봇과는 다르게 경량화 및 모듈화 설계를 기본으로 한다. 즉, 관절과 링크로 구성된 유사한 모듈이 계속 연결되어 로봇을 구성하고 있다. 일반적으로 많이 사용되는 6자유도 또는 6축 로봇의 경우에는 이러한 모듈 6개가 직렬로 연결되어 있다. 7자유도 로봇의 경우에는 완전히 새로 설계하는 것이 아니라, 모듈이 하나 더 연결되면 구성할 수 있다. 그러나 일본에서 출시되는 협동로봇은 기존의 산업용 로봇과 거의 유사한 외형을 가지고 있다.

그림 1. 모듈화 및 경량화 설계에 기반한 협동로봇

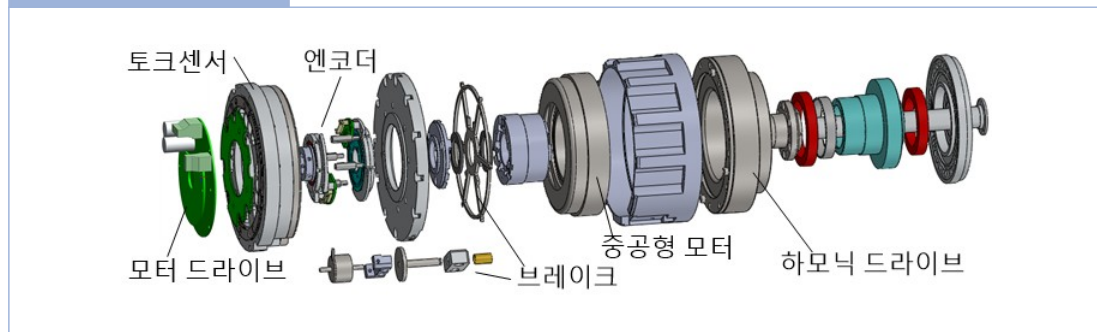


*출처: 고려대학교 지능로봇연구실

1.1. 관절 모듈

협동로봇의 가장 큰 특징은 자동차의 파워트레인(power train, 자동차를 움직일 수 있게 하는 동력을 부여하는데 필요한 모든 부품의 집합체)에 해당하는 관절 모듈이다. 기존의 산업용 로봇에는 증실형 모터와 감속기가 직결되거나 또는 벨트로 오프셋된 채로 연결되어 동력을 전달하는 구조로 되어 있다. 그러나 협동로봇의 경우에는 <그림 2>에서 보듯이 증공형 모터와 증공형 하모닉 드라이브가 직결되는 구조를 가진다. 전기 모터는 고속, 저(low)토크(torque, 물체에 작용하여 물체를 회전시키는 원인이 되는 물리량)의 특성을 갖는 반면에, 로봇의 동작은 저속, 고(high)토크를 필요로 하므로, 하모닉 드라이브와 같은 감속기를 사용하여 토크를 증폭하는 대신에 속도를 낮춘다.

그림 2. 관절 모듈



*출처: 고려대학교 지능로봇연구실

관절 모듈에는 모터의 구동 및 제어를 위한 모터 드라이브와 모터의 회전 위치를 측정하기 위한 엔코더(encoder)가 내장된다. 대부분의 경우 모터 측에 증분형 엔코더, 링크 측에 절대형 엔코더가 설치되는데, 증분형 엔코더는 위치 제어용으로 사용되며, 절대형 엔코더는 전원이 꺼지는 경우에도 링크의 절대적인 위치 정보를 제공하는 데 사용된다. 일부 협동로봇에는 로봇 링크에 전달하는 토크를 측정하기 위한 토크 센서가 장착된다. 이 외에도 정상 동작 시에는 모터의 정지 상태를 유지하고, 비상 시에는 모터로부터의 동력을 차단하기 위해서 브레이크가 필수적으로 설치되어 있다. <그림 2>에서 보듯이 모든 부품은 중앙에 구멍, 즉 증공을 가지는데, 이 증공을 통하여 배선이 지나가게 되므로 산업용 로봇과는 달리 배선이 로봇 밖으로 노출되지 않는다.

1.2. 토크 센서

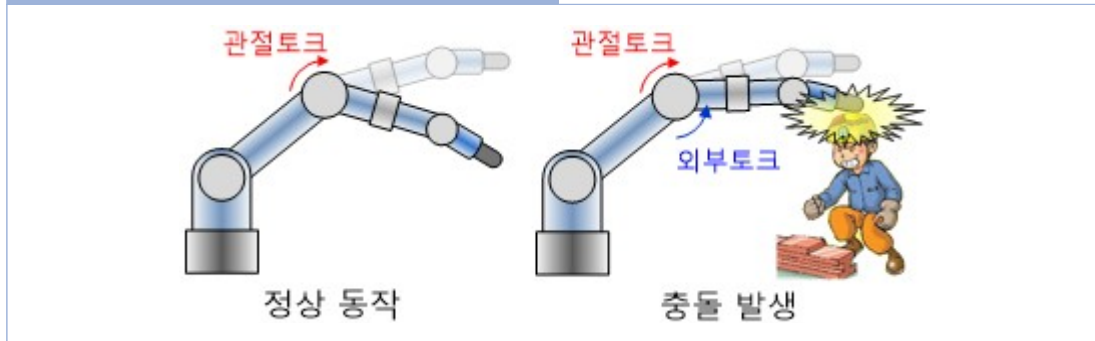
일부 협동로봇은 각 관절마다 감속기 출력단과 링크 사이에 관절 토크 센서를 설치하여 감속기에서 링크로 전달되는 토크를 실시간으로 측정한다. 이를 통하여 힘제어 및 임피던스 제어(impedance control)에 필요한 힘 정보를 얻을 수 있고, 협동로봇의 특징인 충돌 감지 및 직접 교시의 성능을 향상시킬 수 있다. 물론 각 관절에 설치하는 토크 센서 대신에 로봇의 손목부에 힘/토크 센서를 장착하기도 하지만, 대부분 힘을 측정하는 목적으로는 토크 센서를 사용한다.

이러한 토크 센서 자체는 설계가 크게 어렵지 않다. 그러나 하모닉 드라이브가 동력을 전달할 때 플렉스플라인(flexspline)이라는 출력단이 큰 변형을 겪게 되는데, 이러한 변형이 하모닉 드라이브 출력단에 연결되는 토크 센서에 큰 영향을 주게 된다. 또한, 토크 센서는 전달되는 토크에 비례하여 센싱부가 변형되면 이를 스트레인 게이지(strain gauge, 물체의 변형도를 측정하는 측정기)로 측정하거나, 변형 자체에 의한 커패시턴스(capacitance, 전기 용량)의 변화를 측정하는 방식을 취하게 되므로, 전달 토크에 비례하여 적절히 변형이 발생하여야 한다. 이는 로봇의 강성, 즉 큰 토크가 가해지더라도 가능하면 변형이 되지 않아야 정밀도를 유지할 수 있다는 관찰에는 위배된다. 다시 말해서, 로봇의 강성을 크게 하기 위해서 로봇의 링크를 두껍게 설계하는데, 토크 센서는 이러한 증가시킨 강성을 저하시키는 방향으로 악영향을 주게 된다. 결론적으로, 토크 센서의 자체 강성이 커서 토크가 전달되더라도 센서의 변형이 거의 발생하지 않으면서도, 센서 분해능이 커서 토크를 정확히 측정하여야 하는 상충되는 조건을 만족시켜야 하므로, 토크 센서의 설계에는 고도의 기술이 수반되어야 한다. 그러므로 대부분의 협동로봇은 토크 센서를 장착하고 있지 않으며, 토크 센서 기술을 확보한 회사의 협동로봇 중 고급형에만 토크 센서가 장착되고 있다.

1.3. 충돌 감지

협동로봇은 작업자와 동일 공간에서 동작하므로 만일의 충돌에 대비하여야 한다. 이러한 충돌은 로봇과 작업자 간에 발생하기도 하지만, 환경과 발생할 수도 있다. <그림 3>에서 보듯이, 정상 동작 시에는 각 관절에 모터로부터의 관절토크만 인가되지만, 충돌이 발생하는 경우에는 관절토크 외에도 외부토크도 함께 관절에 인가된다. 이러한 외부토크를 로봇의 동역학 모델과 토크 센서에서 측정한 토크 등에 기반하여 추정함으로써 충돌 여부를 판단하게 된다. 이때 예기치 않은 충돌인지 작업을 위한 의도적인 접촉인지를 판단하는 것이 쉽지 않다. 이러한 판단을 위해서, 접촉 시에 발생하는 힘의 주파수 분석을 통하여, 고주파 성분이 많으면 충돌로, 저주파 성분이 많으면 정상적인 접촉으로 판단하기도 하지만, 이에 예외가 되는 경우도 있으므로 주의하여야 한다.

그림 3. 협동로봇의 정상 동작과 충돌 발생



*출처: 저자 작성

1.4. 직접 교시

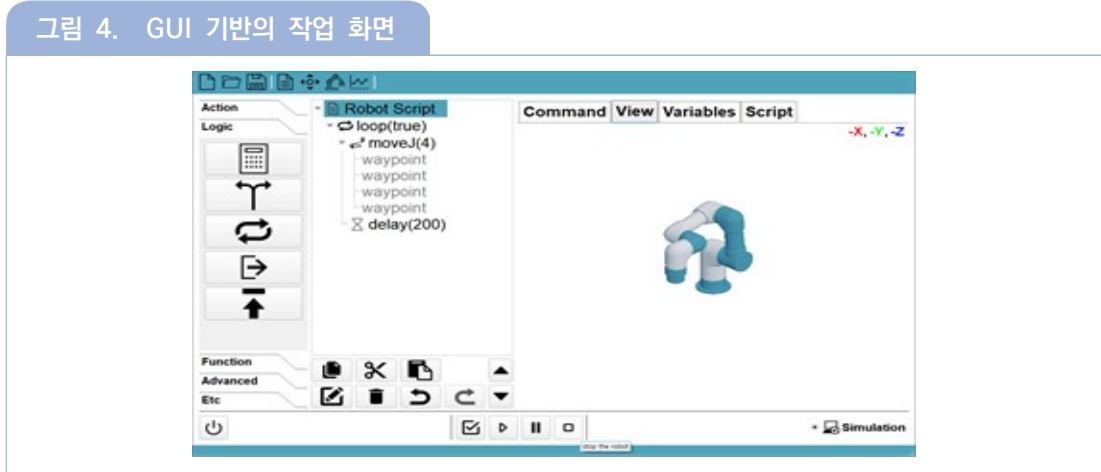
기존의 산업용 로봇은 로봇에게 작업을 교시하기 위해서 주로 텍스트 위주의 프로그래밍에 많이 의존하였다. 이러한 전문적인 프로그래밍을 위해서는 로봇 엔지니어가 필요하며, 일반인이 이러한 프로그래밍을 하는 것은 매우 어려웠다. 자동차 공장과 같은 대기업에서는 다수의 로봇 엔지니어가 이러한 프로그래밍을 수행할 수 있지만, 중소기업의 경우 이를 위한 엔지니어를 항상 채용하고 있기는 어려우며, SI(System Integrator) 업체(기업이 필요로 하는 정보시스템에 관한 기획에서부터 개발과 구축, 운영까지의 모든 서비스를 제공하는 업체)의 도움을 받더라도 소품종 대량생산이 아니라, 다품종 소량생산이 필요한 환경에서는 로봇을 교시할 일이 자주 발생하게 된다. SI의 고비용을 고려한다면, 이 또한 부담스러운 일이다.

이러한 문제를 해결하기 위해서 복잡하지 않은 작업은 로봇에 문의한인 사람도 쉽게 로봇에게 작업을 교시할 수 있다면 편리할 것이다. 가장 쉬운 교시 방법 중의 하나는 로봇의 말단부를 손으로 잡고 로봇이 움직여야 되는 궤적이나 도달하여야 하는 목표점 등을 직접 로봇에게 알려주는 방법인데, 이를 직접 교시(direct teaching)라고 한다.

이를 위해서는 로봇이 작업자의 의도대로 쉽게 움직일 수 있어야 한다. 기존의 산업용 로봇은 로봇의 말단부에 장착한 힘/토크 센서로 작업자가 로봇에 가하는 힘의 크기와 방향을 감지하여 작업자가 원하는 방향으로 힘의 크기에 비례하는 속도로 작동한다. 협동로봇의 경우 이러한 방법 대신에 로봇의 모델에 기반하고, 로봇과 환경 간에 스프링 및 감쇠기 등의 임피던스가 있다고 가정하고, 이를 활용하는 방식으로 직접 교시를 수행한다. 즉, 임피던스 제어에 기반하여 직접 교시를 수행하는 방식이 많이 사용된다.

1.5. GUI 기반의 티치 펜던트(teach pendant, 로봇을 원격으로 제어하는데 사용되는 장치)

협동로봇에는 기존의 텍스트 기반의 프로그래밍을 대체하는 그래픽 사용자 인터페이스(GUI, Graphic User Interface) 기반의 프로그래밍이 일반적으로 사용된다. 물론 기존의 산업용 로봇과 마찬가지로 텍스트 기반의 프로그래밍 기능도 제공된다. GUI 기반의 프로그래밍은 단순한 작업을 교시할 때나 텍스트 프로그래밍에 익숙하지 않는 작업자를 위한 기능이라고 생각하면 된다. <그림 4>에서 보듯이, 흔히 윈도우 화면에서 보는 것과 같은 창에서 다양한 아이콘을 연결하여 작업을 지시하며, 이렇게 구성된 로봇의 동작은 화면 우측의 로봇 시뮬레이터를 통하여 실제 원하는 로봇 동작이 수행되는지를 검토할 수 있다. 이와 같이 시뮬레이션에서 별 문제가 없으면, 실제 로봇에서 구현하게 된다. <그림 5>는 이와 같이 GUI에서 흔히 사용되는 아이콘을 보여준다.



*출처: 고려대학교 지능로봇연구실



*출처: 고려대학교 지능로봇연구실

III 협동로봇 산업 및 기업

1. 협동로봇 산업의 필요성

협동로봇의 특징으로 인간-로봇 간의 협업 및 로봇의 유연성을 들 수 있다. 대기업의 소품종 대량생산 체계에서는 재래식 산업용 로봇이 적합할 수 있지만, 중소기업의 다품종 소량생산 체계에서는 이러한 재래식 산업용 로봇은 효율성이 반감된다. 공장 면적이 좁은 중소기업 현장에서는 반드시 안전펜스를 설치하고, 안전거리를 확보하여야 사용이 가능한 재래식 산업용 로봇은 공간상의 제약으로 원천적으로 사용이 불가능한 경우가 많다.

전 세계적인 인건비의 상승, 위험하고 힘든 산업현장 기피 현상 등의 문제는 이제 자동화, 특히 로봇에 기반한 자동화가 아니면 해결하기 어려운 문제가 되고 있다. 현재 로봇을 도입한 중소기업의 비율은 저조하지만, 향후 로봇의 도입 없이는 공장의 운영이 매우 어려운 시기가 도래하고 있다. 이를 대비하여 협동로봇이 중소기업 현장에 잘 활용될 수 있도록 하는 여러 정책이 필요하다.

국내에서 수직 다관절 로봇을 생산하는 업체는 현대로보틱스가 거의 유일하다고 할 수 있다. 기존에는 삼성, LG, 대우 등 수직 다관절 로봇을 개발하던 여러 대기업이 있었지만, 1997년 외환위기 시에 대부분 로봇 사업을 포기하였다. 현대로보틱스도 세계 시장을 장악한 빅 5(ABB, FANUC, Yaskawa, KUKA, Kawasaki 등)와는 브랜드 인지도나 판매량에 있어서 큰 차이가 있다. 현재 국내의 몇몇 중소 업체가 수직 다관절 로봇의 시제품을 개발하고, 사업을 하려는 의지를 보이고 있지만, 비록 로봇 기술을 확보하고 있더라도 판매망이나 브랜드 측면에서 현실적으로 진입 장벽이 너무 높다.

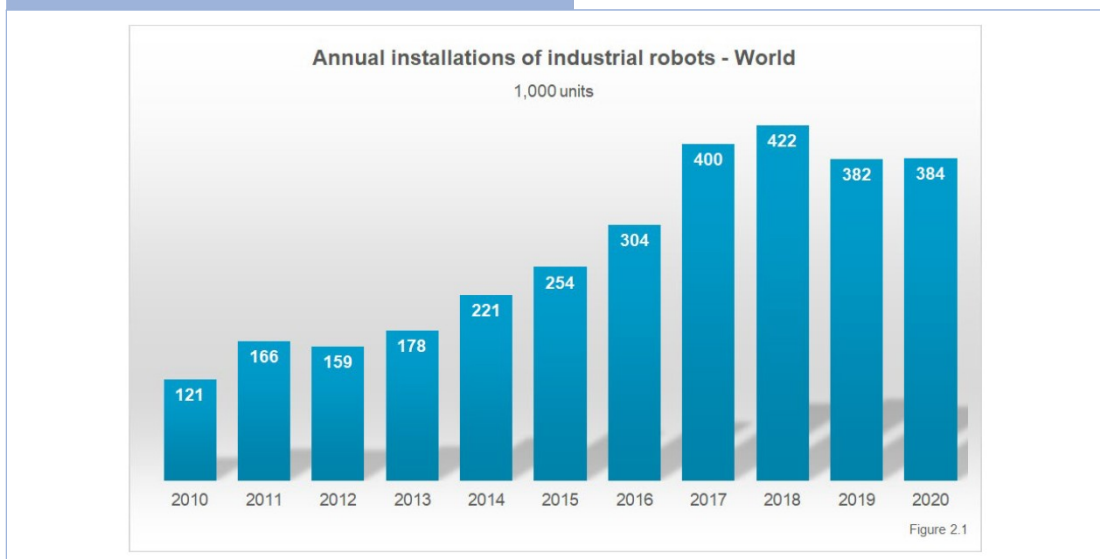
이에 비해서, 협동로봇은 수직 다관절 로봇의 한 종류이기는 하지만, 기존의 수직 다관절 로봇과는 또 다른 새로운 시장을 형성하고 있으며, 시장이 형성된 지도 몇 년 되지 않는다. Universal Robots이라는 시장을 선점한 절대 강자가 있기는 하지만, 향후 시장이 크게 증가할 전망이므로, 후발 업체인 국내 기업들에게도 충분한 기회가 있다.

기업과 정부가 노력하면 협동로봇 시장에서는 한국이 강자로 부상할 수 있는 가능성이 있다. 정부는 협동로봇이 실제 현장에서 활용될 수 있도록 외국에는 없는 규제를 풀어주고, 기업은 선발 주자와는 차별화되는 신뢰성 있는 제품을 생산하는 노력이 필요하다. 협동로봇의 육성은 한국 산업용 로봇 업계에게는 좋은 기회로, 이 기회를 통해서 한국이 단지 로봇을 많이 활용하는 나라에서 로봇을 많이 생산하기도 하는 나라로 거듭날 수 있다.

1.1 협동로봇 시장의 성장

협동로봇은 산업용 로봇, 즉 제조용 로봇의 한 부류이다. 2010년경에 협동로봇이 처음 시장에 출시된 이후에 산업용 로봇과는 다른 수요층을 형성하면서 기존 산업용 로봇과는 다른 시장을 형성하기도 하였지만, 기본적으로는 기존 산업용 로봇을 대체하는 수요도 있다. 협동로봇 시장에 앞서서, 먼저 전체 산업용 로봇 시장을 살펴보자. 매년 산업용 로봇의 설치 대수는 <그림 6>에서 보듯이 꾸준히 증가하고 있다. 2017년과 2018년에 폭발적으로 설치 대수가 증가하다가 2019년도에 성장세가 다소 둔화되었고, 2020년에는 코로나 사태로 인한 전 세계적인 불황으로 설치 대수가 정체되고 있다. 그러나 여전히 최근 평균 40만 대 정도가 전 세계적으로 새로 설치되고 있다. 이는 시장 규모로는 132억 달러(약 15조 원)에 달하며, 매년 8.5%씩 증가하고 있다.

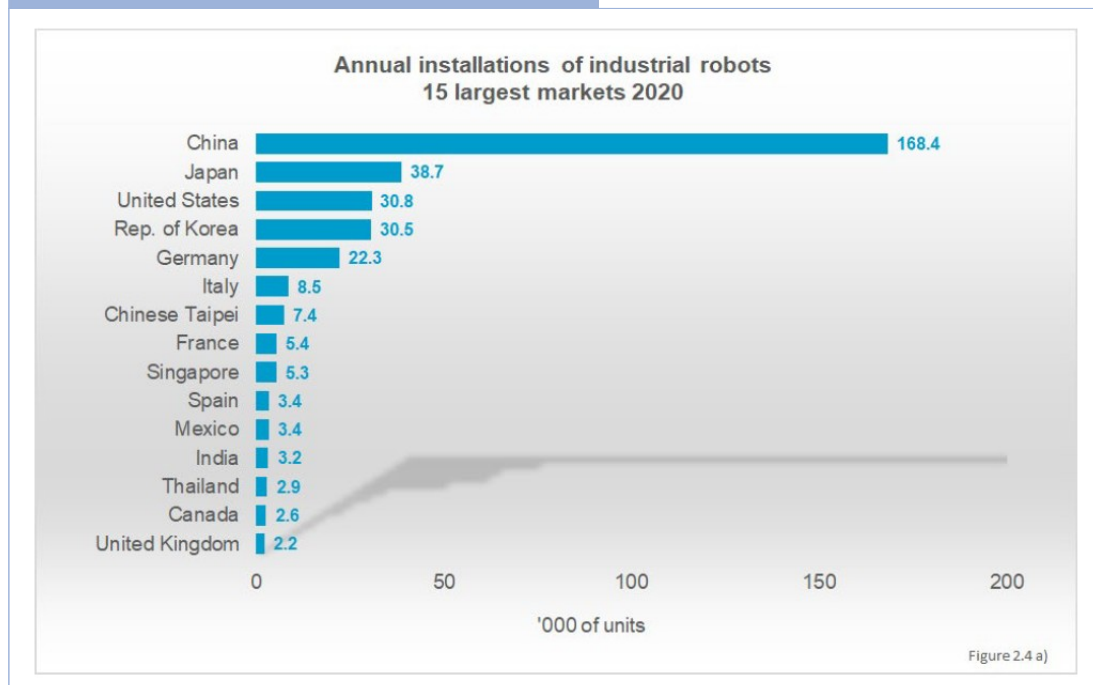
그림 6. 세계 산업용 로봇의 신규 설치 대수



* 출처: International Federation of Robotics(2021)

〈그림 7〉에서 보듯이, 이 중에서 중국 공장에 설치되는 산업용 로봇의 대수가 전체의 44%에 달하며, 이는 유럽과 미국 전체에 설치되는 대수보다도 크다. 한국도 2020년에 30,800대의 산업용 로봇이 새로 설치되었으며, 이는 세계 4위에 해당한다. 2020년에 코로나 충격으로 전 세계적으로 로봇 설치 대수가 줄어들었음에도 불구하고, 중국의 경우 20%가 증가하였다는 점이 특이하다.

그림 7. 국가별 산업용 로봇의 신규 설치 대수



* 출처: International Federation of Robotics(2021)

〈그림 8〉은 최근 협동로봇의 연간 판매 대수 및 향후 전망이다. 산업용 로봇의 통계에 비하면, 시장 규모가 작은 협동로봇에 대해서는 다양한 통계가 제공되지 못하고 있다. 2020년의 통계를 보면 산업용 로봇 384,000대, 협동로봇 25,000대가 생산되었으므로, 협동로봇은 산업용 로봇의 6.5% 정도에 불과하다. 그러나 협동로봇 시장은 매년 20%씩 증가하고 있어서, 매년 8% 정도 성장하는 산업용 로봇에 비해서 가파르게 시장 규모가 증가하고 있으므로, 전체 산업용 로봇에서 차지하는 비중도 크게 증가할 것으로 예상된다.

그림 8. 세계 협동로봇의 판매 대수 및 시장 규모



*출처: 후지경제 보고서(2020.03)

2. 협동로봇 기업

Universal Robots이 2009년에 최초의 협동로봇을 선보인 이후에 협동로봇을 생산하는 많은 벤처기업들이 국내외에서 창업하였다. 이는 기존에는 로봇 기업이 산업용 로봇의 설계, 제작 및 제어 등 모든 부분에 대한 역량을 가져야만 로봇 생산이 가능하였지만, 최근 들어서는 분업화가 진행되어서 일부 로봇 기술만으로도 창업이 가능해졌기 때문이다. 예를 들어, 로봇 몸체는 생산비가 저렴한 중국에서 들여오고, 제어 시스템만을 개발하여 협동로봇 회사를 창업하는 것도 가능하다. 또한, 협동로봇의 핵심에 해당하는 관절 모듈만을 전문으로 생산하는 기업도 있어서, 이 기업들의 관절 모듈을 기반으로 몸체와 제어 시스템 기술만으로 협동로봇을 생산하는 기업도 있다. 다음으로 국내외의 대표적인 협동로봇 기업 몇 개를 소개한다.

2.1. 해외 협동로봇 기업

- **Universal Robots:** 2005년에 덴마크에서 설립되어, 2009년에 첫 협동로봇인 UR 시리즈를 출시하는 등 협동로봇 시장의 태동 및 발전에 크게 기여하였다. 현재 가반하중 3, 5, 10, 16 kg인 UR3, UR5, UR10, UR16의 4종 모델을 출시하고 있다. 그리고 로봇의 말단부에 힘/토크 센서를 장착한 e-시리즈인 UR3e, UR5e, UR10e, UR16e도 출시하였다. 협동로봇의 대표적인 기업으로, 현재도 50% 이상의 가장 큰 시장 점유율을 차지하고 있다. 2015년에 미국의 IT업체인 Teradyne에 인수된 후에 더욱 공격적으로 판매를 하고 있다.

- **KUKA**: 독일의 세계적인 산업용 로봇 회사인 KUKA는 7 kg과 14 kg의 가반하중을 갖는 7자유도 협동로봇인 LBR iiwa 시리즈를 출시하였다. 2000년대 중반에 독일의 항공우주연구소인 DLR에서 개발한 LWR 로봇을 기술 이전 받아서 수년에 걸쳐서 제품의 신뢰성을 높인 후에 2010년대 초반에 출시하였으며, 한국에서는 2015년에 정식으로 판매를 시작하였다. 모든 관절에 관절 토크 센서를 장착하여 매우 민감하게 충격을 감지할 수 있으며, 시스템의 안정성도 매우 높은 세계 최고 수준의 협동로봇이다. 다만 매우 고가여서 특수한 용도로만 사용되고 있으며, 생산현장에 널리 보급되기에는 한계가 있다.
- **Rethink Robotics**: 미국의 Rethink Robotics는 2012년에 7자유도의 로봇 팔 2개를 장착한 양팔 로봇인 Baxter를 출시하여 많은 관심을 받았다. Baxter는 양팔 로봇임에도 불구하고 22,000 달러의 저렴한 가격으로 판매되어 많은 관심을 모았지만, 각 관절마다 장착된 SEA(Series Elastic Actuator, 직렬탄성구동기)의 영향으로 각 관절의 유격이 다소 심하여 정밀도가 높지 못하였고, 판매에 부진을 겪었다. 이를 개량하여 2015년에 후속 모델인 7자유도의 Sawyer를 출시하였는데, 이 모델은 관절 토크 센서를 내장하고, 한 팔임에도 불구하고 Baxter의 2배 가격에 판매되었다. 여전히 SEA를 채택하고 있어서, 산업용 로봇의 정밀도를 보여주는 못하지만, 각 관절에 있어서 이러한 유격이 일부 응용에서는 장점이 되기도 하며, 생산 현장보다는 연구용 플랫폼으로 더 적합한 것으로 판단된다. 그러나 Rethink Robotics는 판매에 부진을 겪다가 결국 사업을 정리하였다.
- **ABB**: 세계적인 수직 다관절 로봇 생산업체인 ABB는 2015년에 양팔로봇 형태의 협동로봇인 Yumi를 출시하였다. Yumi는 자체 카메라와 그리퍼(gripper)를 갖추고 있으며, 소형 부품의 조립용으로 개발되었는데, 작업자의 바로 옆에서 협업하는 용도로 많이 사용되고 있다. 2017년 말에는 Yumi의 한 팔 버전도 발표되었다. 한편, ABB는 2015년에 Gomtec이라는 독일의 협동로봇 회사도 인수하여 본격적으로 협동로봇 시대에 대비하고 있다.
- **TechMan Robot**: 2012년에 설립된 대만의 TM로봇은 가반하중 6 kg, 작업반경 700 mm인 TM5-700과 가반하중 4 kg, 작업반경 900 mm인 TM5-900의 두 종의 6자유도 협동로봇을 출시하였다. 그 후에 가반하중 12 kg, 작업반경 1,300 mm인 TM12와 가반하중 14 kg, 작업반경 1,100 mm인 TM14의 두 종의 6자유도 고가반하중 협동로봇을 출시하였다. 기존 협동로봇의 기능에 더하여 로봇에 내장된 지능형 비전시스템을 통하여 다양한 기능을 수행할 수 있으며, 주로 전자기기 및 부품의 조립 등에 사용되고 있다. 2021년에는 일본의 OMRON이 일부 지분의 인수를 통해서 전략적 파트너십을 강화하였다.

- FANUC: 세계 최고의 CNC(Computer Numerical Control, 컴퓨터 수치 제어) 제작업체이자 산업용 로봇 업체인 일본 FANUC은 비교적 뒤늦게 협동로봇 시장에 뛰어들었지만, 기존 산업용 로봇의 기술력을 바탕으로 CR-4iA, CR-7iA, CR-14iA, CR-15iA, CR-35iA 등의 CR 시리즈를 2015년과 2016년에 출시하였다. 이들 협동로봇은 외양이 기존의 산업용 로봇과 유사하지만, 협동로봇 기능을 가지고 있다. 예를 들어, CR-35iA는 가반하중이 35 kg, 작업반경이 1,813 mm로 타사의 협동로봇에 비해서 상대적으로 크지만, 자중이 990 kg에 달하는 등 기존 산업용 로봇보다 훨씬 무거운 몸체를 가진다.

그림 9. 해외의 대표적인 협동로봇

Universal Robots	KUKA	Rethink Robotics
		
ABB Yumi	Techman Robot	FANUC
		

* 출처: 해당 기업 홈페이지

2.2. 국내 협동로봇 기업

- **두산로보틱스**: 2017년 9월에 가반하중 6, 10, 15 kg의 4종의 협동로봇 M0609, M0617, M1013, M1509을 출시하였다. 타 기업과는 달리 동일한 가반하중에 대해서도 작업반경이 900 mm와 1,700 mm의 두 종의 라인업을 갖추어 소비자의 다양한 요구를 충족시켰다. 타 제품과는 달리 관절 토크 센서를 내장하여 매우 민감하게 충동을 감지할 수 있으며, 다양한 작업을 수행할 수 있도록 하였다. 2017년 12월에는 수원에 본사와 공장을 신축하고, 최대 2만 대를 양산할 수 있는 체제를 갖추었다. 2019년에 가반하중 5/9 kg의 저가의 A 시리즈를, 2021년 초에는 중력보상 장치를 내장하여 가반하중을 20/25 kg으로 올린 H 시리즈를 출시하였다. 전 세계 협동로봇 업체 중에서 가장 다양한 라인업을 갖추고 있으며, 현재 국내 협동로봇 기업 중에서 매출이 가장 크다.
- **한화/기계**: 2017년 3월에 가반하중 5 kg, 작업반경 915 mm, 반복정밀도 0.1 mm의 6자유도 수직 다관절형 협동로봇인 HCR-5를 출시하였다. 사용자 친화적인 디자인, 쉬운 프로그래밍, 직접 교시 기능과 직관적인 소프트웨어 GUI를 통해서 쉽게 로봇을 조작할 수 있다. 한화테크윈에서 분할한 한화정밀기계가 협동로봇을 사업을 수행하다가, 지금은 (주)한화/기계에서 사업을 진행하고 있다. 2018년 상반기에 가반하중 3 kg과 12 kg인 HCR-3와 HCR-12를 출시하여 다양한 라인업을 선보였다. 또한, 싱가포르 현지에 합작법인을 설립하여 동남아시아 협동로봇 시장을 공략하고 있다.
- **뉴로메카**: 2016년 10월에 연구용 플랫폼인 Indy-RP, 2017년 3월에 중국산 플랫폼을 기반으로 한 Indy 3/5/10을 발표하였고, 2017년 9월에 자체 플랫폼 기반의 가반하중 7 kg, 무게 24 kg의 Indy 7을 발표하는 등 중저가 협동로봇 시장에서 활발하게 다양한 로봇을 선보이고 있다. 임피던스 제어를 통해서 사람이 의도하는 힘에 민감하게 반응할 수 있으며, 의도하지 않은 충동에 대해서는 센서 없이 알고리즘만으로 충동을 감지하여 안전성을 보장하고 있다. 직접교시, 온라인/오프라인 로봇 프로그래밍 등의 기능을 제공하고 있다. 로봇 제어 기술에 있어서는 세계적인 수준을 보유하고 있다.
- **레인보우로보틱스**: 휴머노이드 로봇 기술을 기반으로 창업된 레인보우로보틱스는 2019년도부터 가반하중이 3, 5, 10 kg인 협동로봇 RB3, RB5, RB10의 RB 시리즈를 출시하였다. 레인보우로보틱스는 모터, 엔코더, 브레이크 등 모든 부품을 내재화하고 직접 생산하여 로봇을 제조한다는 목표를 갖고 노력하고 있다. 향후에는 감속기도 내재화하려고 개발 중이다. 그리고 자가 충동 감지 기능 및 특화된 역기구학 알고리즘을 내장하고 있다.

- **푸른기술**: 금융 자동화 및 역무 자동화 기업인 푸른기술은 15 kg의 가반하중과 1,300 mm의 작업반경을 갖는 고가반하중의 6자유도 협동로봇인 Symphony-15를 2021년 말에 출시하였다. 현대위아와의 협력을 통해서 개발된 이 협동로봇은 내장된 관절 토크 센서를 기반으로 충돌 감지와 직접 교시 기능을 잘 구현하고 있다. 최근에는 가반하중 5 kg의 7자유도 협동로봇인 Symphony-I도 개발하였다.

그림 10. 국내의 대표적인 협동로봇

두산로보틱스	한화/기계	뉴로메카
		
레인보우로보틱스		푸른기술
		

* 출처: 해당 기업 홈페이지

IV 협동로봇 정책

1. 해외 주요국 및 국내 정책 동향

1.1. 해외 주요국 정책 동향

여러 번 언급하였지만, 협동로봇은 재래식 수직 다관절형 산업용 로봇의 한 종류이다. 그러므로 협동로봇만의 정책이 따로 있기보다는, 산업용 로봇의 육성 정책, 더 나아가서는 로봇 육성 정책의 일부로써 협동로봇의 정책이 존재한다. 로봇 선진국 및 국내의 산업용 로봇 정책을 간략히 살펴보기로 한다.

1.1.1. 미국

2011년 제조업 부흥에 로봇을 적극 활용하는 첨단제조 파트너십(AMP, Advanced Manufacturing Partnership)의 일환으로 다부처 협력 ‘국가 로봇계획(National Robotics Initiative)’을 추진하고 있으며, 협동로봇을 포함한 산업용 로봇의 개발과 사용 촉진을 위한 재정 지원을 강화하고 있다. 2017년부터 ‘국가 로봇계획 2.0’을 추진하여 Ubiquitous Co-Robot(어디에나 있는 협동로봇) 실현을 목표로 헬스케어, 물류 등으로 지원을 확대 중이다.

2015년에 미국의 IT업체인 Teradyne이 세계 최대의 협동로봇 회사인 덴마크의 Universal Robots을 인수하는 등 협동로봇의 보급에 있어서 가장 활발한 움직임을 보이고 있다. 그리고 미국 국립과학재단(NSF, National Science Foundation), 미국 에너지부(DOE, Department of Energy) 등 정부, ABB, Amazon 등 업계, Michigan, Yale 등 대학 연구소 등으로 구성된 첨단 로보틱스 컨소시엄에서 개발한 로봇 기술을 로봇 기업에 이전하고, 개발된 제조로봇을 활용하여 제조기업의 스마트 공정화를 지원하고 있다.

1.1.2. 일본

제조용 로봇의 강국인 일본에서는 2020년까지 산업용 로봇 시장 규모를 현재의 2배로 성장시키고, 일본 기업들의 로봇 도입 증가를 통한 제조업의 자동화를 추진 중이다. 산업용 로봇의 강국인 일본은 FANUC, Yaskawa, Kawasaki, Nachi, Daihen 등 세계 최고 수준의 산업용 로봇 제조업체를 보유하고 있다. 이 기업들은 기존의 산업용 로봇뿐만 아니라, 2017년부터는 거의 대부분이 협동로봇을 선보이고 있다. 이 기업들의 협동로봇은 각 회사 본래의 재래식 산업용 로봇과 유사한 형태를 띠면서도 협동로봇의 기능을 포함하고 있다.

일본은 고령화, 재해 등 국가사회 문제 해결을 목표로 2015년 ‘로봇 신전략’에 따라서 규제 개혁, 보급확산, 기술 개발 등을 추진 중이다. 그리고 경제산업성은 2017년 ‘커넥티드 인터스트리(Connected Industries)’를 발표하여 제조 혁신을 위해서 로봇과 IoT의 융합, 스마트팩토리 확대 등을 추진 중이다.

1.1.3. 중국

세계의 최대 로봇 소비국인 중국은 ‘중국 제조 2025’의 10대 핵심 산업 중 하나로 ‘고정밀 수치제어 및 로봇’을 채택하였다. 중국 정부는 공격적인 로봇산업 정책을 펴고 있는데, 로봇산업 발전 5개년 계획에 따르면, 2020년까지 로봇 내수시장 점유율을 2배 수준인 50%까지 높일 계획으로, 2045년까지 세계 1위 제조강국을 목표로 하고 있다.

중국은 2013년도부터 세계 최대의 로봇 소비 국가가 되었으며, 중국 내 인건비 상승 등으로 로봇에 대한 수요가 급격히 증가하고 있으므로, 향후 특별한 일이 없는 한 세계 최대의 로봇 시장을 유지할 전망이다. 중국의 과학기술부는 ‘로봇산업 발전계획(2016-2020, 5개년 계획)’의 구체화를 위한 ‘스마트 로봇 프로젝트 가이드’를 2017년에 발표하였다.

중국의 여러 지역에서는 중국산 로봇을 구입한 기업에게 보조금을 지급하여 중국산 로봇의 구입을 장려하고 있다. 로봇 생산 기업과 로봇을 도입하는 제조기업 모두에게 정책적, 재무적인 혜택을 제공하고 있다. 예를 들어, 광둥성의 불산시에서는 중국산 로봇을 구입한 기업에게 1대당 1만 위안(170만 원)을 지급한다.

2014년 기준으로 로봇 수입 비중이 62%로 주로 독일, 일본, 한국의 로봇을 수입하고 있지만, 중국의 가전업체 메이디 그룹(Midea Group)이 2016년에 독일 KUKA를 인수하고, 중국의 로봇기업들이 질적 및 양적으로 비약적으로 발전하고 있다. 특히, 하모닉 드라이브 생산기업인 Leaderdrive는 몇 년 사이에 높은 품질의 하모닉 드라이브를 출시하여 국내에서도 시장 점유율을 높이고 있다.

1.2. 국내의 정책 동향

정부에서는 로봇산업을 4차 산업혁명 시대의 핵심 산업으로 발전시키고, 제조업 및 서비스업 혁신을 뒷받침하기 위해서 2009년부터 5년마다 지능형로봇 기본계획을 수립하여 시행하고 있다. ‘제1차 지능형로봇 기본계획(2009-2013)’은 2009년 4월에 수립되어 한국로봇산업진흥원이 설립되었으며, 정부 내에 로봇팀이 구성되어 로봇산업 정책을 수립하였다. ‘제2차 지능형로봇 기본계획(2014-2018)’이 수립되었고, 2019년에 ‘제3차 지능형로봇 기본계획(2019-2023)’이 마련되어 시행되고 있다.

정부는 로봇산업의 기술 수준을 조속히 향상시키기 위해서 지난 10년 간 로봇기술 R&D에 6천억 원 이상을 투입하였다. 대규모 투자로 전반적인 기술 수준은 향상되었으나, 사업화가 부진하여 글로벌 시장을 선도할 수 있는 대표기업 및 제품은 부재한 형편이다. 로봇 부품 및 소프트웨어에 대한 연구개발 비중이 높으나, 국산화율은 41.1%에 불과하며, 고부가가치 부품의 국산화율은 특히 저조하다.

정부는 로봇 보급 및 확산을 위한 기술적, 법제도적 기반을 확충하고 있다. 개발된 로봇의 시험 및 인증, 실증, 기업 지원을 위한 전국 7대 거점을 구축하였다. 2018년 6월에 협동로봇의 확산을 위한 협동로봇 인증 기준을 마련하고, 2019년 1월에 산업융합촉진법 개정을 통해서 규제샌드박스 제도를 도입하였다. 협동로봇의 경우 설치 작업장의 위험성 평가 후에 안전펜스 없이 사용할 수 있도록 하고 있다.

2019년부터 시작된 ‘제3차 지능형로봇 기본계획’에서는, 로봇산업 글로벌 4대 강국 도약을 위해서 민간 역할 분담을 통한 정부 지원의 효과성 제고, 제조현장과 유망 서비스 분야에 집중 지원, 규제 개혁 연계 등을 통한 초기 시장 창출 등의 전략을 추진하고 있다. 특히 3대 제조업 중심의 제조로봇 확대 보급을 위해서, 업종별(25개), 공정별(6개)로 최대 가능한 150개 공정 중에서 실제로 로봇 활용이 가능한 공정 108개를 선별하였다. 이적재, 시험/검사 등 2개 공정은 25개 전업종에 활용이 가능하고, 탈착, 용접, 조립분해, 가공 등 4개 공정은 일부 업종에만 적용이 가능하다. 2023년까지 108개 공정에 대해서 로봇 활용 표준모델을 개발하되, 근로환경 개선 및 인력 부족 해소가 시급한 분야를 우선적으로 개발할 계획이다.

또한, 협동로봇의 보급 촉진을 위해서 설치 작업장 안전인증 체계를 검토 개선하여 민간 확산을 유도하고 있다. 현재는 국내 인증기관이 부재하여 해외 인증기관을 통해서만 인증을 받는 상황으로 인증 비용과 시간이 과다하게 소요되고 있다. 단기적으로 설치 인증 업무 체계를 개선하고, 중장기적으로 제품 인증기관 양성 및 제도 개선 등을 통해서 협동로봇 시장 조성을 지원할 예정이다.

2. 협동로봇 발전을 위한 정책 제언

2.1. 안전 관련 규정

현재 협동로봇에 대한 국제 표준은 일반 산업용 로봇에 적용되는 ISO 10218과 협동로봇에 대한 표준인 ISO TS 15066이다. 2016년에 제정된 ISO TS 15066을 통해서 협동 작업 시에 로봇과 인간의 정적 및 동적 접촉 시 허용되는 물리력의 임계값을 제시하였다.

고용노동부가 2016년 7월에 일부 개정된 산업안전보건기준에 관한 규칙 제223조에 따르면 “사업주는 근로자에게 발생할 수 있는 부상 등의 위험을 방지하기 위하여 안전매트 및 높이 1.8m 이상의 방책을 설치하는 등 필요한 조치를 하여야 한다. 다만, 고용노동부 장관이 해당 로봇의 안전기준이 산업표준화법 제12조에 따른 한국산업표준에서 정하고 있는 안전기준 또는 국제적으로 통용되는 안전기준에 부합한다고 인정하는 경우에는 본문에 따른 조치를 하지 아니할 수 있다.”로 되어 있다.

이전에는 안전매트와 방책을 반드시 사용하도록 규정하였으나, 개정 규칙에서는 위험도 분석 및 평가에 따라 이를 선택 및 생략할 수 있도록 완화하였으나, 현실적으로 어떤 절차와 조건에 따라서 고용노동부 장관의 인정을 받을 수 있는지에 대한 구체적인 가이드라인이나 규정이 없어서 현장에서는 펜스 없이 협동로봇을 운영하기 어려운 실정이었다. 안전펜스 없이 사용할 수 있는 것이 최대의 장점인 협동로봇을 펜스를 갖추어야만 사용할 수 있다면, 그 수요는 당연히 반감될 것이다. 또한, 유럽, 미국, 일본 등에서는 펜스 없이 협동로봇을 운영하는 것이 가능하다는 점에 비추어 보면, 이러한 규제는 국내 협동로봇의 활성화에 큰 걸림돌이 되었었다. 비록 뒤늦게 이러한 규정이 일부 완화되었지만, 아직은 경쟁국에 비하면 우리의 규제가 좀더 심한 편이라 볼 수 있다.

2.2. 협동로봇 부품의 국산화

협동로봇에서 가장 큰 단가를 차지하는 부품은 하모닉 드라이브와 같은 감속기이다. 최근까지도 전량 외국에서 수입하여야 했지만, 몇 년 전부터 국내의 일부 업체에서 국산화하여 제품을 판매하고 있다. 그러나 아직은 국내 로봇 완성업체에서 외면을 받고 있다.

로봇 완성업체 측면에서는 소비업체가 외산 감속기의 사용을 원한다는 이유로 국산 제품을 외면하고 있다. 소비업체 입장에서도 만약 생산현장에서 로봇이 고장나면 생산에 큰 차질이 발생하므로 가격이 조금 상승하더라도 신뢰성이 입증된 외산 감속기를 선호하게 된다.

하모닉 드라이브의 국산화 및 저가화 없이는 국내의 협동로봇이 가격 경쟁력을 가지기는 어렵다. 우리와 경쟁 관계인 중국에서는 중국산 하모닉 드라이브 등 로봇 부품의 생산과 소비를 중국 당국에서 보조금 등의 형태로 지원하여, 중국 로봇업체와 소비업체가 모두 중국산 부품을 적극 사용함으로써, 단기간 내에서 중국산 로봇 부품의 성능이 향상되어 궁극적으로 생산업체와 소비업체 모두에게 이익이 되는 선순환 구조를 가지고 있다.

정부에서는 이러한 로봇 부품의 국산화를 위해서 오랫동안 계속 연구개발비의 형태로 기업을 지원하고 있다. 국내 업체들은 연구개발비의 형태보다는 이러한 감속기를 가공할 수 있는 정밀 공작기계 또는 제작한 감속기를 정밀 측정할 수 있는 측정 장비를 갖추는 것이 감속기 국산화 및 상업화에 훨씬 도움이 된다고 말하고 있다.

즉, 정부가 기업이 이러한 정밀 공작기계를 구매할 수 있도록 도와주거나 정밀 측정장비를 정부 산하기관이 갖추어서 여러 회사가 공동으로 사용할 수 있도록 하는 것이 훨씬 더 기업의 제품 경쟁력을 높일 수 있는 방안이지만, 현재까지는 연구개발비 형태로만 지원하고 있다. 따라서 정부의 지원이 유연성을 가지고 기업을 도와줄 수 있도록 다양화하는 노력이 필요하다.

2.3. 중량물 취급용 협동로봇의 개발 필요성

현재 시장에 나와 있는 대부분의 협동로봇은 가반하중 1-10 kg급이며, 일부 기업에서는 15 kg급의 협동로봇도 출시하고 있다. 기존의 산업용 로봇의 가반하중이 1,000 kg이 넘는 것도 많은 것에 비하면, 협동로봇의 가반하중은 상대적으로 매우 작다고 할 수 있다.

이는 협동로봇의 특성상 인간과 같은 공간에서 작업을 수행하므로 안전상의 문제로 로봇 자체가 경량화되어야 하는 점과 무관하지 않다. 그러나 많은 경우에 중량물을 취급하는 작업에서 오히려 인간과 로봇의 협업이 필요한 경우가 많다. 즉, 중량물 취급은 작업자가 장시간 감당하기 힘든 작업일 뿐만 아니라, 장기간 작업 시에 근골격계 질환을 유발할 수 있으므로, 로봇의 보조가 절실하다고 할 수 있다. 그러나 현재 로봇의 기술 수준상 로봇이 중량물을 조립하는 것은 인식과 지능이 없는 로봇에게는 매우 어려우며, 이는 인간이 로봇에 비해서 훨씬 더 잘할 수 있는 작업이다. 따라서 중량물을 조작하고, 조립하는 작업에 있어서 협동로봇은 더욱 필요하게 된다.

예를 들어, 자동차 공장에서 범퍼의 무게가 대략 15 kg 정도 되므로 두 명의 작업자가 범퍼의 양쪽을 잡고 차체에 조립하는 공정을 거쳐서 조립이 수행된다. 그러나 협동로봇을 사용한다면 로봇이 범퍼의 한쪽을

잡으면서 대부분의 무게를 감당하고, 작업자는 거의 무게를 감당하지 않으면서 조립에 필요한 작업만을 수행함으로써 인간과 로봇의 진정한 의미에서의 협업을 수행할 수 있게 된다.

산업용 로봇과 마찬가지로 가반하중이 큰 협동로봇을 개발하기 위해서는 대용량의 모터와 감속기를 사용할 수 있다. 그러나 인간과 동일 공간에서 작업하는 협동로봇의 경우 IEC62386 안전 규격상에 DC 60V 이하의 전기 모터를 사용하는 것이 권장되는데, 대용량의 모터는 이 규격에서 벗어나게 된다. 이는 만약 대용량 모터를 DC 60V 이하로 유지하기 위해서는 매우 큰 전류가 흘러야 되기 때문이다. 그러므로 모터의 용량을 증가시키지 않으면서도 가반하중을 증가시킬 방안이 필요한데, 한 가지 방법은 중력보상 장치를 사용하는 것이다.

중대형 협동로봇의 경우 무거운 로봇의 동작을 위해 대형모터를 사용하므로, 로봇의 오동작 시에 큰 사고 발생 위험이 있다. 따라서 기계식 중력보상 장치를 장착하여 소형모터로도 중대형급 로봇의 운영이 가능하도록 하면 비교적 안전한 중대형 협동로봇의 개발이 가능하게 된다. 이러한 형태의 로봇은 아직 선진국에서도 일반화되지 않은 형태의 협동로봇이므로, 기계식 중력보상 장치를 활용한 중대형 협동로봇을 개발한다면 충분히 세계적인 경쟁력을 가질 수 있을 것으로 예상된다.

2.4. 협동로봇에서 소프트웨어의 중요성

현재는 전 세계적으로 협동로봇의 하드웨어(기능, 가격 등) 경쟁 양상을 보이고 있다. 이는 시장 초기 단계이고, 점차 많은 기업들이 협동로봇 시장에 진출하면서 시장 선점을 위해서 보다 저렴하고 기능이 많은 제품을 선보이고 있기 때문이다.

기존의 산업용 로봇은 주로 대기업의 제조현장에서 대량생산을 목적으로 사용되었으므로, 로봇 판매업체는 단지 로봇만을 판매하면 대기업이나 SI업체가 로봇 사용을 위한 프로그램이나 센서의 설치 등의 시스템 통합(system integration) 역할을 담당하였다. 즉, 산업용 로봇을 생산현장에 투입하기 위해서 복잡한 프로그래밍 작업을 수행하거나 비용이 많이 들더라도 한 번 설치 후 오랫동안 대량생산을 하므로 로봇의 설치 비용이 별로 부담이 되지 않았다.

그러나 협동로봇의 주 대상은 중소기업 및 중견기업으로 로봇을 위한 자체 엔지니어가 부재하고, SI업체에 많은 비용을 지불하기도 어려우며, 대량생산보다는 다품종 소량생산 시스템을 사용하는 경우가 많으므로 빈번하게 로봇의 프로그램 등을 교체하여야 한다. 따라서 기존의 산업용 로봇에 적용되던 시스템 통합 방식으로는 비용이 많이 들어서 협동로봇의 보급에 어려움이 예상된다.

그러므로 협동로봇은 기존의 산업용 로봇과는 달리 단지 로봇 본체만을 판매하는 형태가 아니라, 중소기업이 쉽게 사용할 수 있도록 하는 솔루션을 같이 제공하는 것이 바람직하다. 즉, 로봇 생산자는 적절한 현장 맞춤형 소프트웨어를 탑재한 로봇으로 협동로봇의 판매를 극대화하는 전략이 필요하다. 예를 들어, 스마트폰에 좋은 앱을 많이 탑재하여 스마트폰을 많이 파는 전략과 유사하다. 수익은 협동로봇이라는 하드웨어의 판매를 통해서 창출하지만, 이러한 판매를 증가시키기 위해서는 타 회사와 차별화되는 소프트웨어의 제공을 통해서 하드웨어 판매를 극대화하는 전략이 필요하다.

2.5. 협동로봇 생태계의 구축

협동로봇 산업의 발전을 위해서는 로봇 생산업체와 소비업체 간 협조하는 생태계가 필요하다. 생산업체는 소비업체가 필요로 하는 작업에 적합한 소프트웨어를 로봇 하드웨어와 같이 공급하는 솔루션 공급자의 역할을 하여야 하고, 소비업체는 자신의 공정을 생산업체에 제공하고, 실제 적용을 통한 문제점의 피드백을 통하여 생산업체가 현장 맞춤형 솔루션을 개발하는 데 필요한 도움을 공급하여야 한다.

이러한 생산업체와 소비업체 간의 건전한 생태계를 통하여 여러 생산 공정에 적합한 다양한 솔루션을 로봇 하드웨어와 같이 제공함으로써, 생산업체는 많은 하드웨어의 판매를 통한 수익을 극대화하고, 소비업체도 별도의 비용 없이 생산업체가 제공하는 솔루션을 현장에 그대로 활용함으로써 비용과 시간의 절감을 통하여 생산성을 향상시킬 수 있다.

V 결론

협동로봇의 사용을 결정할 때 참고하여야 할 몇 가지 고려 사항은 다음과 같다. 첫째, 협동로봇의 특성에 대한 이해이다. 협동로봇은 기존의 산업용 로봇에 비해서 안전을 위하여 경량화 설계를 하여야 하므로 정밀도가 다소 저하되며, 동시에 운영 속도도 느리다. 작업자와 진정한 의미의 협동이 필요한 작업이라면 협동로봇이 꼭 필요하겠지만, 현장에서는 아직은 이러한 작업이 많지 않다. 그래서 많은 중소기업이 협동로봇을 기존에 재래식 산업용 로봇이 수행하던 작업에 투입하다 보니, 협동로봇의 정밀도와 속도가 만족스럽지 않게 된 것이다. 그러므로 로봇 자동화 시에 재래식 수직 다관절 로봇과 협동로봇 사이에서 현명한 선택이 필요하다.

둘째, 협동로봇을 포함한 산업용 로봇의 작업적인 한계이다. 로봇은 가격이 비싸므로 인간이 하기 어려운 작업에 투입되어야 한다고 오해하기 쉽다. 앞서 언급하였듯이, 로봇은 장시간 운영과 높은 반복 정밀도 외에는 인간 작업자에 비해서 작업 능력이 많이 떨어진다. 그러므로 로봇은 인간도 쉽게 할 수 있는 단순 반복적인 일에 투입되는 것이 바람직하다. 인간이 하기 어려운 작업은 로봇도 하기 어렵다는 로봇의 한계를 인식하여야 한다.

셋째, 시스템 통합의 문제이다. 대부분의 경우 단지 로봇만을 구매한다고 바로 사용할 수 있는 것이 아니라, 제조 공정에 투입하기 위해서 로봇 시스템이 구축되어야 한다. 즉, 필요한 센서를 설치하고, 프로그램을 통해서 로봇이 필요한 작업을 수행하며, 주변 시스템과 통신 등을 할 수 있도록 하여야 하는데, 이를 시스템 통합(system integration)이라 한다. 대부분 이를 전문으로 하는 회사가 이를 수행하는데, 많은 경우에 로봇 가격보다 더 비싼 비용을 지불하여야 한다. 대부분의 시스템 통합 업체는 재래식 산업용 로봇에 대한 경험과 노하우를 많이 확보하고 있으므로, 가능하면 생소한 협동로봇보다는 재래식 로봇을 이용하여 로봇 시스템을 구축하려는 경향이 강하며, 이는 협동로봇 시장 확대를 늦추는 원인 중 하나이다.

4차 산업혁명을 맞이하여 로봇에 기반한 자동화는 하나의 추세로 자리잡고 있다. 이는 로봇의 작업 능력이 갑자기 향상되어서가 아니라, 3D 작업에서의 구인난, 그리고 고임금 등으로 인하여 이제는 불편하더라도 로봇을 사용할 수밖에 없는 환경으로 제조현장이 바뀌고 있다. 협동로봇이 인간의 일자리를 빼앗는 것이 아니라, 위험하거나 지루한 작업을 인간 대신에 해주어서 기존의 작업자가 보다 인간적인 일을 할 수 있는 기회를 제공해 준다는 점에 오히려 감사해야 한다.

저자 _ 송재복(Jae-Bok Song)

• 학력

매사추세츠 공과대학교(MIT) 기계공학 박사
서울대학교 기계설계학 석사
서울대학교 기계공학 학사

• 경력

現) 고려대학교 기계공학부 교수
前) 대한기계학회 회장
前) 한국로봇학회 회장

참고문헌

〈국내문헌〉

- 1) 민재경, 김휘수, 송재복. (2016). “토크 오차 감소를 위한 디스크형 커플링을 갖는 토크 센서가 내장된 로봇 관절 모듈”, 대한기계학회논문집A, 40권, 2호, pp. 133-138.
- 2) 산업통상자원부(2014). “제2차 지능형 로봇 기본계획”, 2015년 5월.
- 3) 산업통상자원부(2019). “제3차 지능형 로봇 기본계획”, 2019년 8월.

〈국외문헌〉

- 4) 후지경제 보고서(2020.03).
- 5) International Federation of Robotics. (2021). World Robotics 2021.
- 6) Min, J. K., Ahn, K. H., Park, H. C., Song, J. B. (2019). “A Novel Reactive-Type Joint Torque Sensor with High Torsional Stiffness for Robot Applications”, Mechatronics, Vol. 63, 102265.

〈기타문헌〉

- 7) 두산로보틱스 홈페이지. <http://www.doosanrobotics.com>
- 8) (주)푸른기술 홈페이지. <http://www.puloon.co.kr>
- 9) (주)한화기계 홈페이지. <https://www.hanwharobotics.co.kr/>
- 10) (주)뉴로메카 홈페이지. <http://www.neuromeka.com>
- 11) ABB 홈페이지. <https://global.abb/group/en>
- 12) FANUC(Fuji Automatic NUmerical Control) 홈페이지. <https://www.fanuc.com/product/index.html>
- 13) KUKA 홈페이지. <http://www.kuka.com>
- 14) Rainbow Robotics 홈페이지. <http://www.rainbow-robotics.com>
- 15) Rethink Robotics 홈페이지. <http://www.rethinkrobotics.com>
- 16) Techman Robot 홈페이지. <http://www.tm-robot.com>
- 17) Universal Robots 홈페이지. <http://www.universal-robots.com>



융합연구리뷰

Convergence Research Review 2022 June vol.8 no.6



02

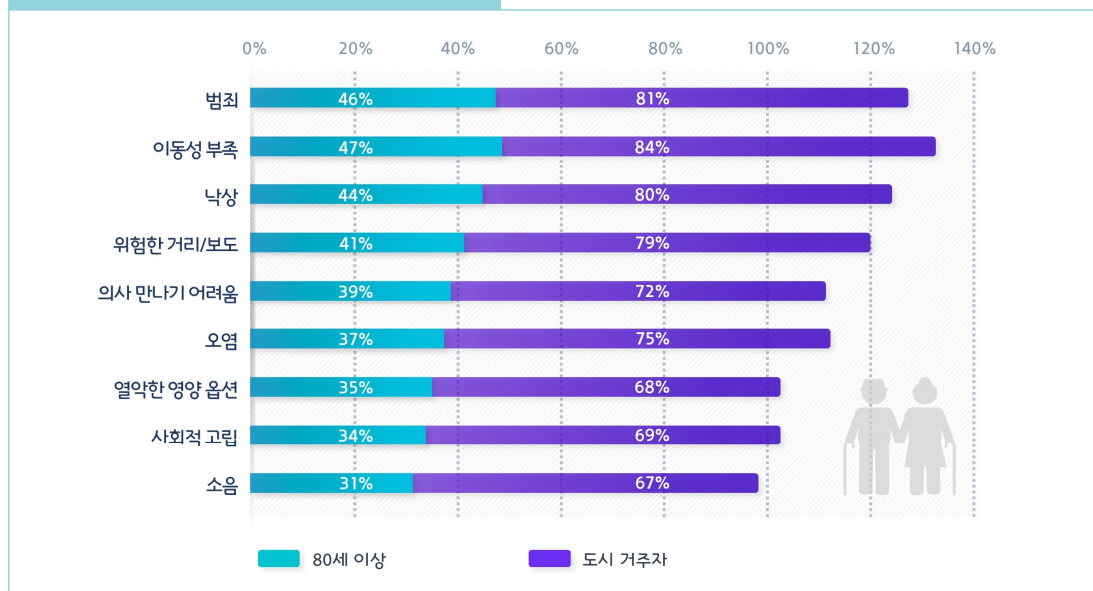
맞춤형 재활 치료를 위한 의료서비스로봇 연구 동향

한창수(㈜핵사휴먼케어 대표이사)
신동빈(한양대학교 박사후연구원)

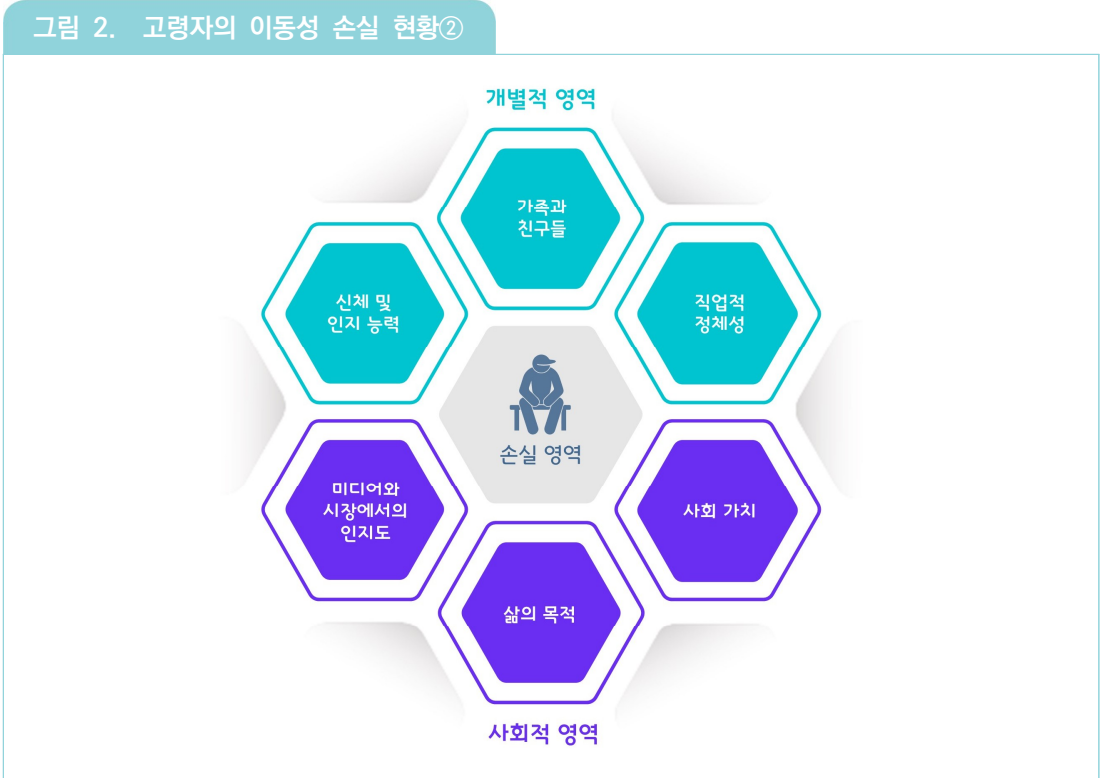
I 서론

오늘날 글로벌 사회는 100세 시대로 기대수명 증가, 출산율 감소에 따른 신생아의 수 감소, 산업현장에서의 생산 인구 감소 등 여러 가지 사회 현상들이 나타나는 고령화 사회를 맞이하고 있다. 고령화 사회로 인한 노인 인구 비율이 증가함에 따라 만성 질환 환자 수는 매년 증가하고 있다. 만성 질환 중 대표적인 질병으로 고혈압, 뇌졸중, 류머티즘관절염 등이 있으며, 활동성 저하 문제도 발생하고 있다. 뿐만 아니라 50세 이상의 성인은 해마다 1~2% 근육이 감소하는 근 감소증 질병을 보이고 있어, 낙상 시 관절이나 척추에 무리가 발생하여 이동성에 제한이 생기게 된다(Welltower, 2017; IBM, 2017). 재활의로서비스로봇은 다양한 범위에서 활용되고 있으며, 이동성을 보조해 줌으로써 고령화와 관련된 사회적인 문제와 노인성 질환에 대한 발병률을 예방해주거나 해결할 수 있다.

그림 1. 고령자의 이동성 손실 현황①



*출처: Welltower(2017)



*출처: IBM(2017)

최근 사람들의 건강에 대한 관심사가 높아짐에 따라 소비 욕구가 증가하면서 의료 패러다임의 변화가 생기게 되었으며, 헬스케어 서비스 산업이 각광받기 시작했다. 또한 코로나-19 팬데믹에 따라 비대면 및 원격 진료에 대한 수요가 증가하면서 재활의료 분야는 헬스케어 서비스 산업인 정보통신기술(ICT, Information and Communication Technology), 로봇기술(RT, Robot Technology)과 의료서비스로봇이 접목되어 환자 맞춤형 정밀의료로 환자들의 건강을 진단하거나 치료하는 방향으로 나아가고 있다.

로봇 연구자 및 정부 관계부처에서는 의료서비스로봇의 정의에 대해 다양하게 해석하고 있으나 의료로봇뿐만 아니라 서비스 측면으로 확대하여 다양한 분야에서 인간을 대신하여 의료 목적의 서비스를 수행하는 것으로 정의할 수 있다(한국과학기술기획평가원, 2019).

표 1. 의료서비스로봇의 다양한 정의 및 기술 범위

구분		개념	
식품의약품안전평가원(2014)		기기와 환자의 상호작용이 있는 로봇	
식품의약품안전처(2015)		로봇기술을 사용하는 의료용 기기 또는 시스템	
지능형로봇표준포럼 의료로봇분과 위원회(2017)		의료기기로 사용하기 위한 로봇 또는 로봇장치	

행위목적	수혜자	운영자	장소	범위	정의
수술	환자	의사	의료시설	수술/수술보조 로봇	침습*/비침습 수술의 전 과정 또는 일부를 의사대신 또는 함께 작업 (영상가이드, 정밀 시술 등)
				신체삽입형 로봇	혈관, 경구 등을 통해 병소에 직접 다가가는 미소 크기의 로봇
재활	노약자, 장애인	간호/간병인/환자	복지시설, 가정	재활치료로봇	상/하지 재활치료(웨어러블 기기)
				재활보조로봇	이동, 파지 등 일상 생활보조용 휠체어로봇, 웨어러블 보행기 등
				간병로봇	간호/간병/돌봄, 의료 목적의 정서적/사회적 기능 및 다양한 피드백 행위를 제공
보조 서비스	사물, 환자, 의사, 약사	의사, 약사, 간호/간병인	의료/복지/연구시설	물류로봇	지능형 배송 및 운반
				약재처리	클린 멸균, 항암약조제 등
				원격진료	원격으로 의사의 진료/상담 및 처방 등 행위를 대신 수행하는 로봇
				연습/평가	가상 그래픽, 햅틱** 장치 등을 활용한 훈련또는 안전/호환성/성능/표준화 평가

※ 위 분류에 개인 맞춤형 진단시스템, 스마트 워치 및 지능형 재활보조기기 등은 로봇으로 분류할 수 없기 때문에 융합연구리뷰에서는 제외함

* 기구가 피부를 뚫고 들어가며 발생하는 생체에 대한 상해

** 가상공간에서 촉감을 느낄 수 있게 하는 것

* 출처: 한국과학기술기획평가원(2019)

융합연구리뷰에서는 재활의료서비스로봇의 시장성, 정책 및 기술 동향에 대해 기술하고자 하며, 미래의 재활의료서비스로봇이 나아가는 방향에 대해 제시하고자 한다.

II 고령화 사회에 따른 의료서비스로봇 시장 변화

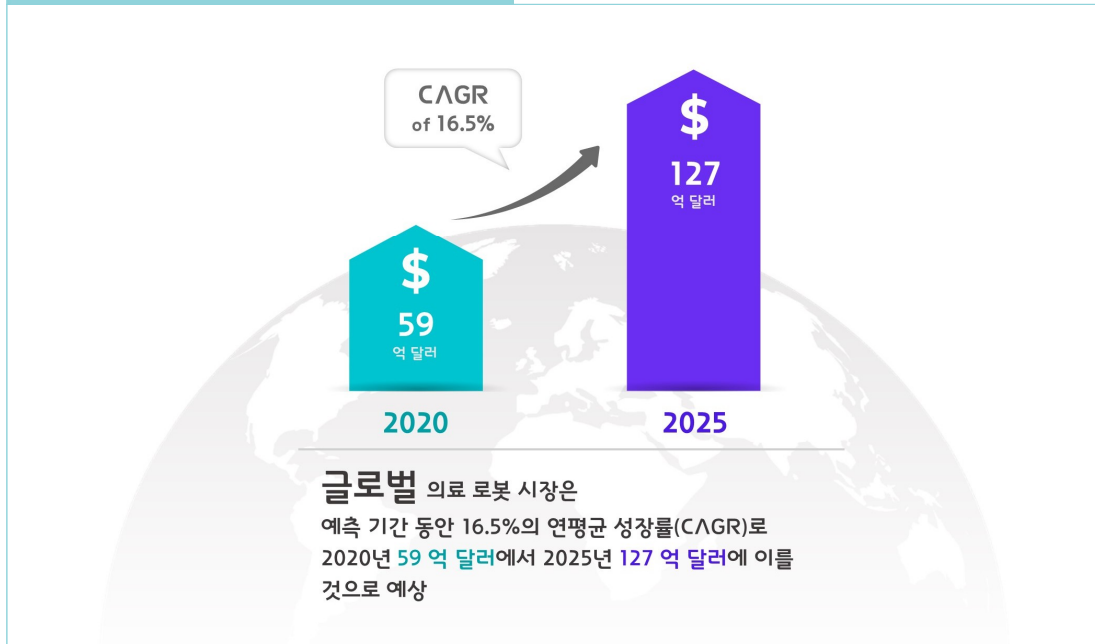
최근 의료용 로봇은 신기술과 융합된 형태로 개발이 이루어지고 있으며, 시장 또한 여러 방면으로 확대되어 나아가고 있다. 본 장에서는 의료용 서비스로봇 시장과 관련하여 다각적인 측면에서 살펴보고자 한다.

1. 의료용 로봇 시장

로봇 산업 시장은 4차 산업혁명 기술인 인공지능, 빅데이터, 사물인터넷 등 요소기술 활용도가 높아지면서 빠르게 확대되고 있다. 코로나-19 팬데믹 이후 비대면 서비스를 선호하는 경향이 뚜렷해지면서 서비스로봇의 활용 영역이 넓어지고 있다. 전문 서비스로봇 중 의료서비스로봇은 고가의 제품으로 판매 대수는 적지만 매년 매출액이 증가하고 있어 시장은 더욱더 활성화될 것으로 전망된다.

글로벌 시장조사 전문기관인 Markets and Markets(2020)에 의하면, 세계 의료용 로봇 시장은 2020년 59억 1,000만 달러에서 연평균 성장률 16.5%로 증가하여, 2025년에는 127억 달러에 이를 것으로 전망하고 있다. 반면 국내 의료서비스로봇 시장 규모는 구체적인 통계자료를 찾기 힘든 실정이다. 정부는 로봇 산업을 4차 산업혁명 시대 핵심 산업으로 육성하기 위해 2019년도에 '로봇산업 육성전략 보고회'를 개최하였다. 2020년부터 총 3,000억 원 규모의 연구개발 사업을 추진하여 4대 서비스로봇 분야의 기술력을 향상시키고자 하며, 국내 의료서비스로봇 시장은 아직 초기 단계이지만 향후 급성장할 것으로 전망된다(산업통상자원부, 2019).

그림 3. 글로벌 의료용 로봇 시장 규모

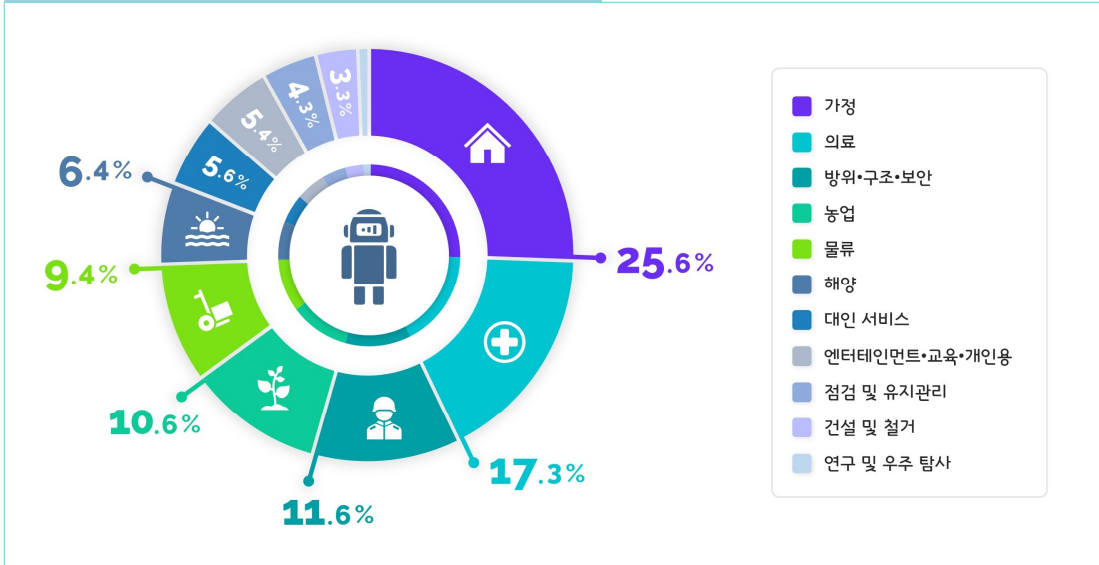


* 출처: Markets and Markets(2020)

2. 응용 분야별 서비스로봇 시장

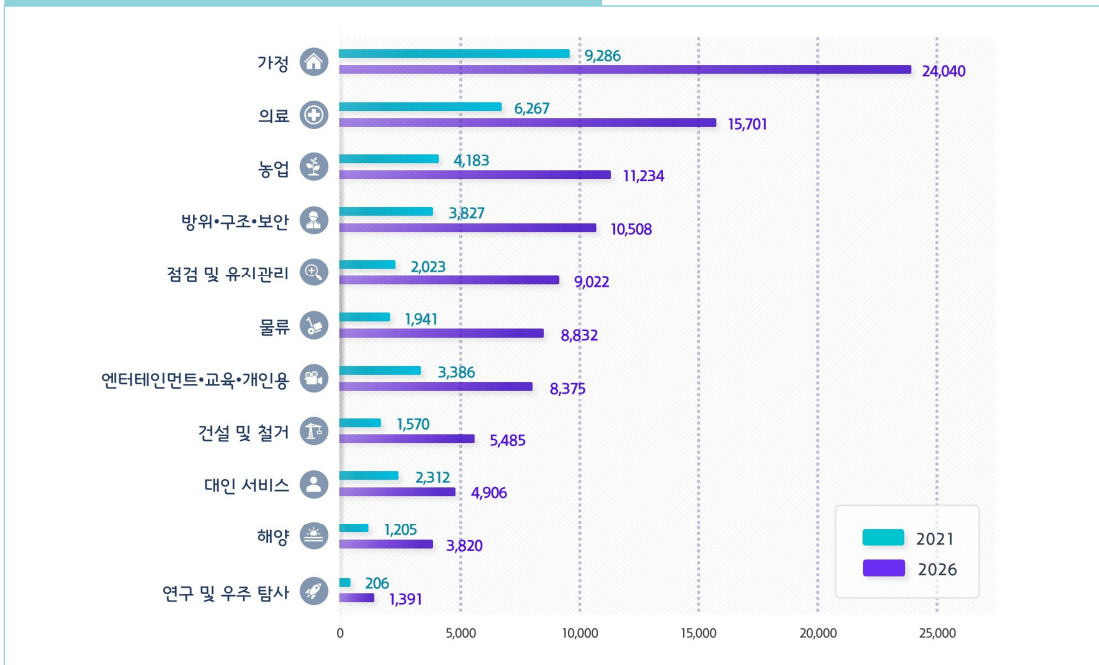
서비스로봇은 다양한 분야(농업, 의료, 개인, 군사 등)에서 활용되고 있으며, 저렴한 가격으로 공급해야 되는 해결 과제가 있지만, 해마다 수요가 증가하고 있다. 세계 서비스로봇 시장 규모는 2020년 301억 달러, 2021년부터 2026년까지 연평균 성장률 23.3%로 성장하여, 2026년 세계 시장 규모는 1,033억 달러에 이를 것으로 전망된다. 국내 시장은 로봇 산업의 밀도가 세계에서 가장 높으며 첨단 기술 도입에 적극적이므로, 지속적으로 성장할 것으로 기대된다. 연평균 24.2%의 성장으로 2026년에는 39억의 시장이 형성될 것으로 전망된다. 2021년에는 가정용 서비스로봇이 가장 큰 시장 비중(25.6%)을 기록했으며, 의료용(17.3%)은 두 번째로 큰 비중을 차지하였다(한국산업기술진흥원, 2021). 이처럼 의료서비스로봇 산업은 급속한 고령화와 소득수준 향상 등으로 인한 국민들의 의료서비스에 대한 수요를 충족시키고, 저출산으로 인한 인력난을 해결함과 동시에 코로나-19 장기화로 인해 발생 가능한 문제를 해결할 수 있는 미래 성장 가능성이 큰 분야이며, 향후 그 영역이 더욱 확대될 것으로 기대된다(김선희·조용진, 2021).

그림 4. 응용 분야별 서비스로봇 시장 점유율①



* 출처: 한국산업기술진흥원(2021)

그림 5. 응용 분야별 서비스로봇 시장 점유율②



* 출처: 한국산업기술진흥원(2021)

3. 디지털 헬스케어 서비스 산업

고령화 및 만성질환자 증가로 건강관리 서비스에 대한 관심이 높아진 가운데, 코로나-19 이후 유망 신산업으로 디지털 헬스케어 서비스 산업이 각광 받고 있다. 신산업의 비중은 1위 헬스케어(31.9%), 2위 교육(19.4%), 3위 AI(8.3%)로 구성된다(전경련, 2020). 디지털 헬스케어 산업은 대형 IT기업들과 스타트업의 결합으로 지속적으로 성장하고 있으며, 유니콘 기업도 등장하게 되었다. 유니콘 기업은 비상장기업이지만 기업가치가 1조 원 이상인 스타트업을 의미하며, 전 세계 디지털 헬스케어 유니콘 기업은 총 37개로 집계되고 있다.

국내 디지털 헬스케어 시장 규모는 글로벌 디지털 헬스케어 시장 대비 0.7% 규모로 아직 영세한 수준에 이른다. 해당 시장은 대기업들의 진출 등 투자가 본격화 되고 있는 단계로 지속적으로 성장할 것으로 전망된다. 반면 해외시장은 2014년도부터 2020년도까지 6년간 연평균 약 39%의 높은 성장세를 보였으며, 2020년도에는 1,525억 달러의 규모로 추정된다. 앞으로도 2020년부터 2027년까지 연평균 19%의 성장이 기대되며 2027년 시장 규모는 5,089억 달러로 전망된다(관계부처 합동, 2022).

CES 2022(Consumer Electronics Show, 미국소비자기술협회가 매년 주관하는 소비자 가전 전시회)에 서는 미국소비자기술협회(CTA, Consumer Technology Association) 부회장이 디지털 헬스케어 서비스 산업을 '2022년 4대 기술트렌드' 중 하나로 발표함으로써, 미래의 성장이 유망한 시장으로 손꼽았다.

III 성장 잠재력을 갖춘 의료서비스로봇의 정책 동향

전 세계 각국에서는 의료서비스로봇 산업을 성장 잠재력을 갖춘 유망 분야로 고려하여 정부 차원의 재정 지원을 위해 각종 정책을 발표하였다.

미국은 2021년도부터 바이든 행정부가 들어서면서 헬스케어 분야에 10년간 1.5조 달러 규모의 재정을 지출하겠다는 정책안을 발표하였다(국회입법조사처, 2021). 코로나-19로 인한 경기침체 속에서 출범한 바이든 정부는 대규모 재정 투입을 통해 경기부양에 나설 것으로 보이며, 트럼프 정부 때 폐지되었던 오바마 케어를 다시 부활시켜 확대시키는 방향으로 추진하고 있다(메디칼업저버, 2021).

유럽은 유럽연합의 8차 프레임워크 프로그램(Framework Program 8, FP8)인 '호라이즌 2020(Horizon 2020)'을 통해 로봇 개발 프로젝트를 지원하고 있다. 7년간 7억 8,000만 달러를 투자하고 있으며, 2018년부터 2020년까지 진행된 '워크 프로그램(Work Program)'은 인공지능, 인지 메카트로닉스, 사회적 인간-로봇 상호작용 등 핵심 분야에 총 1억 7,300만 달러를 투자하였다(로봇신문, 2020). 독일은 2019년 12월에 '디지털 헬스케어법'을 통해 디지털 건강앱(DiGA)을 제공하여 의료서비스를 개선하는 방향으로 나아가고 있다(김기영·김봉철, 2022).

일본은 2015년도에 '로봇新전략'을 발표하여 4대 중점 분야(서비스, 농업, 제조, 재해)에 대한 로봇 보급 확대를 위해 2020년까지 1,000억 엔을 투자하는 정책을 발표하였다(산업통상자원부, 2019). 최근에는 코로나-19를 계기로 사회 경제 구조 개혁 계획인 '위드(With)·애프터(After) 코로나 시대'를 통해, 5대 투자 유망 사업의 하나로 로봇 산업을 다시 한 번 선정하였으며, 재정 지원을 하기로 공표하였다(아주경제, 2021).

중국은 2015년 4차 산업혁명 기초를 담은 '중국 인더스트리 4.0'을 통해, 의료기기 혁신과 산업화 수준의 제고를 장려하였다. 2016년에는 '국가 표준화체계 건설 발전 계획(2016~2020)'을 발표해 의료용 로봇의 진로체계를 표준화할 것이라고 밝혔다. 또한 중국 국가공업정보화부에서 '로봇 산업 발전 계획'을 통해 올해까지 재활 보조 영역의 로봇 응용기술 수준을 국제적 수준까지 도약시키겠다고 공언했다(대한무역투자진흥공사,

2019; 이데일리, 2021).

우리나라는 2023년까지 로봇산업 글로벌 4대 강국으로 발돋움한다는 비전 아래 2019년 8월에 ‘제3차 지능형로봇 기본계획’을 발표하였다(산업통상자원부, 2019). 정부는 제조업과 서비스 분야에서 전략적인 분야를 선정해 육성한다는 방침을 정했다. 뿌리, 섬유, 식음료 산업 등 3대 제조업 중심으로 제조로봇 보급을 확대하고, 돌봄, 웨어러블(wearable), 의료, 물류 등 4대 서비스로봇 분야를 집중적으로 육성하기로 했다. 2020년에는 총 6억 원 규모의 국비를 투입하여 6개 컨소시엄 선정, 수요처 중심의 재활로봇 실증사업을 추진하고 있다(로봇신문, 2020).

표 2. 국내외 주요국의 로봇 산업 정책 동향

국가	정책 동향
미국	<ul style="list-style-type: none"> • 바이든 실행정부 정책(2021) : 헬스케어 분야 재정 지원 - 오바마 케어 부활 및 확대 적용
유럽	<ul style="list-style-type: none"> • 호라이즌 2020(2020) : 로봇 개발 프로젝트 지원 • 워크 프로그램(2018) : 인공지능 등 핵심분야에 재정 지원 • 독일 - 디지털 헬스케어법(2019) - 디지털 건강앱(DiGA) 제공을 통한 의료 서비스 개선
일본	<ul style="list-style-type: none"> • 로봇新전략(2015) : 4대 중점 분야(서비스, 농업, 제조, 재해) 로봇 보급 확대 • 위드 애프터 코로나 시대(2020) : 투자 유망 사업으로 로봇 산업을 지정
중국	<ul style="list-style-type: none"> • 중국 인더스트리 4.0(2015) : 의료기기 혁신과 산업화 수준 제고 장려 • 국가 표준화체계 건설발전 계획(2016) : 의료용 로봇 진료체계 표준화 • 로봇 산업 발전 계획(2016) : 재활 보조 영역의 로봇 응용기술 수준 도약 가속화
한국	<ul style="list-style-type: none"> • 제3차 지능형 로봇 기본계획(2019) : 제조업과 서비스 분야의 전략적 육성 - 재활로봇 실증사업 추진(2020)

* 출처: 산업통상자원부(2019), 대한무역투자진흥공사(2019), 로봇신문(2020), 국회입법조사처(2021) 자료 참고하여 정리


IV 재활치료단계 및 기능손상정도에 따른 재활의료서비스로봇 기술 현황

1. 재활의료서비스로봇을 이용한 재활 치료 현황

현재 상용화된 재활의료서비스로봇은 뇌·척추손상 환자 등에게 환자 맞춤형 재활 치료를 제공하여 장애를 최소화하고 사회 복귀를 빠르게 유도하고자 한다. 뇌졸중 발병 후 초기 6개월 이내에 가장 빠른 회복이 이루어지기 때문에 환자의 상태와 회복 가능성을 정확히 파악하여 체계적인 단계로 접근해야 최적의 재활 치료가 가능하다(헬스코리아뉴스, 2021). 하지 외골격인 경우, 재활 치료를 보통 3단계로 나누어 각 치료 단계에 따라 로봇 재활치료를 체계적으로 적용하고 있다(세브란스 재활병원, 2020). 1단계에서는 균형 재활로 기립 및 걸음마 훈련이 이루어지며, 2단계에서는 반복적 보행 재활로 보행패턴을 익히기 위해 보행 훈련을 한다. 3단계는 독립적 보행 재활 단계로 어느 정도 보행이 가능한 환자들에게 다양한 보행 훈련을 시키게 된다.

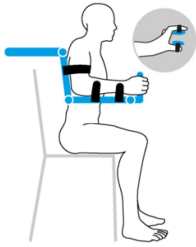
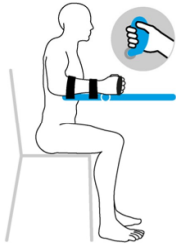
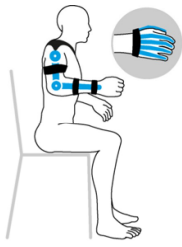
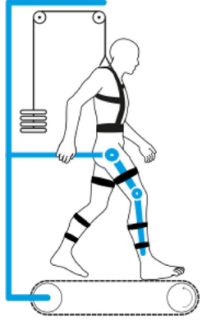
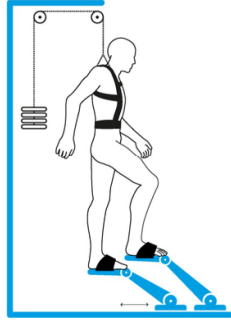
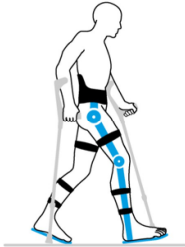
환자의 기능 손상정도에 따라 상하지 외골격 로봇을 이용하여 재활 치료가 이루어지고 있다. 상지 외골격 로봇의 경우, 접지형(grounded type), 접지형 말단장치(grounded end-effector type), 착용형(wearable exoskeleton type)으로 세분화되어 분류된다. 경량화 소재와 다자유도의 상지 외골격 로봇을 재활 치료에 활용하고 있으며, 최근에는 치료 효과를 극대화하기 위해 전기자극치료(FES, Functional Electrical Stimulation)를 상지 외골격 로봇에 접목하는 기술을 개발하여 뇌가소성의 촉진을 극대화 시키는 연구가 진행되고 있다. 하지 외골격 로봇은 고정형(fixed type), 말단장치형(end-effector type), 착용형(wearable exoskeleton type)으로 세분화되어 분류된다. 다양한 환경(평지, 계단, 경사)에서의 보행 재활 훈련을 제공함으로써 손상된 움직임을 회복시키는 웨어러블 타입의 하지 외골격 로봇 개발 연구가 활발히 진행되고 있다(김연희·이황재, 2021; Tu, X., et al, 2017).

표 3. 재활치료단계 및 기능손상정도에 따른 상하지 외골격 로봇 분류

외골격 로봇 형태	재활 치료 단계	기능 손상 정도	실외/실내
 상지 외골격 로봇	반복적 재활	접지형 외골격 로봇 (Grounded Exoskeleton)	실내
		접지형 말단장치 로봇 (Grounded End-effector)	
		착용형 로봇 (Wearable Exoskeleton)	
 하지 외골격 로봇	균형 재활	-	실내
	반복적 보행 재활	고정형 외골격 로봇 (Fixed Exoskeleton)	
		말단 장치형 (Foot-plate)	
독립적 보행 재활	착용형 로봇 (Wearable Exoskeleton)	실내/외	

* 출처: 세브란스 재활병원(2020), 한국로봇학회(2021) 자료 등 참고하여 저자 작성

그림 6. 기능 손상 정도에 따른 상하지 외골격 로봇의 분류 및 개략도

	접지형 외골격 로봇 (Grounded Exoskeleton)	접지형 말단장치 로봇 (Grounded End-Effector)	착용형 로봇 (Wearable Exoskeleton)
상지 (Upper Extremity)			
개발 현황 (Development Status)	개발 (Established)	개발 (Established)	개발 (Established)
기술적 검토 (Technology Reviews)	<ul style="list-style-type: none"> • Upper Limb: Loureiro 2011, Maciejasz 2014, Sheng 2016 (bilateral) • Hand: Lum 2012, Bos 2016 		
임상시험 (Clinical Evidence)	<ul style="list-style-type: none"> • Grounded: Klamroth, 2014 • End-Effector: Lo 2010 • Both: Kwakkel 2008, Mehrholz 2015, Veerbeek 2017 • Hand: Balasubramanian 2010, Lamberdy 2011 		
하지 (Lower Extremity)			
개발 현황 (Development Status)	개발 (Established)	개발 (Established)	개발 (Established)
기술적 검토 (Technology Reviews)	<ul style="list-style-type: none"> • Grounded and Wearable: Diaz 2011 		
임상시험 (Clinical Evidence)	<ul style="list-style-type: none"> • Grounded: Tefertiller 2011, Benito-Lenalva 2012, Nam 2017 • Wearable: Louie 2016 • Both: Mehrholz 2017 		

* 출처: Roger Gassert(2018)



2. 재활 외골격 로봇 기술 현황

2.1. 상지 외골격 로봇

2.1.1. 접지형 외골격 로봇(Grounded Exoskeleton)

접지형 외골격 로봇은 환자의 기능 손상정도가 초기 단계이지만 심한 경우 사용하게 되며, 환자의 상지 부근을 로봇 링크와 연결하여 미리 입력된 상지 패턴에 따라 움직임을 가이드 해준다. 환자는 로봇의 움직임에 따라 수동적으로 움직이기 때문에 직접적으로 근육을 사용하지 않는다. 상지를 반복적으로 움직이게 도와줌으로써 경직된 근육을 자극하게 되어 재활의 효과를 볼 수 있다. 현재 가장 많이 상용화된 제품으로는 스위스 Hocoma社의 Armeo Power 및 Armeo Spring 제품이 있다. 해당 제품은 로봇을 사용하는 대상자(성인, 소아)에 따라 분류하게 되며, 어깨, 팔꿈치, 손목 부근의 움직임을 지원해준다. 움직임은 필요에 따라 가이드 해주며, 게임과 연동된 과제에 따라 손상된 상지 근육의 재활을 돕는다. 이탈리아에는 Kinetek社에서 개발한 ALEx가 있으며, VR(Virtual Reality, 가상현실) 시스템과 연동하여 상지의 재활을 도와준다. 중국에는 Guangzhou Yiking Medical Equipment Industrial Co.에서 개발한 NX-A2가 있으며, 게임과 연동되어 5가지 훈련 모드를 지원해준다. 한국에는 핵사휴먼케어社에서 개발하는 RESILION U30A가 있다. 4가지 모드(CPM(Continuous Passive Motion, 지속적 수동 운동)/등속성/등장성/등척성) 지원을 통해 맞춤형 재활 프로토콜을 제공해주며, 좌/우 변환 기능을 통해 상지의 마비 위치를 고려하여 사용이 가능하다.

그림 7. 접지형 외골격 로봇 종류(Grounded Exoskeleton Types)


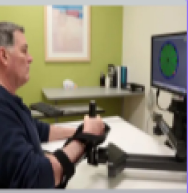
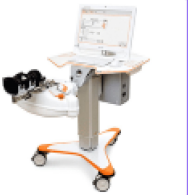

	<ul style="list-style-type: none"> • 국가 : 스위스 • 기업명 : Hocoma • 제품명 : Armeo Power • 제품 특징 <ul style="list-style-type: none"> - 6 자유도 - 어깨, 팔꿈치, 손목 움직임 지원 - 필요에 따른 움직임(Assist-as-needed movement) 안내
	<ul style="list-style-type: none"> • 국가 : 스위스 • 기업명 : Hocoma • 제품명 : Armeo Spring(Pediatric) • 제품 특징 <ul style="list-style-type: none"> - 7 자유도 - 어깨, 팔꿈치, 손목, 손가락 움직임 지원 - 자기 주도 운동 요법
	<ul style="list-style-type: none"> • 국가 : 이탈리아 • 기업명 : Kinetek • 제품명 : ALEx • 제품 특징 <ul style="list-style-type: none"> - 6 자유도 - 필요에 따른 움직임 안내 - VR 시스템과 연동 가능
	<ul style="list-style-type: none"> • 국가 : 중국 • 기업명 : Guangzhou YiKing Medical Equipment Industrial CO. LTD • 제품명 : NX-A2 • 제품 특징 <ul style="list-style-type: none"> - 5가지 훈련 모드 지원(게임 연동 가능) - 어깨, 팔꿈치, 손목 움직임 지원
	<ul style="list-style-type: none"> • 국가 : 한국 • 기업명 : (주)핵사휴먼케어 • 제품명 : RESILION U30A • 제품 특징 <ul style="list-style-type: none"> - 4가지 모드 지원(CPM/등속성/등장성/등척성) - 좌/우 변환 가능 - 맞춤형 재활 프로토콜 제공 가능

* 출처: 해당 기업 홈페이지

2.1.2. 접지형 말단장치 로봇(Grounded End-effector)

접지형 말단장치 로봇은 기능 손상정도가 중간 단계인 환자가 사용하는 로봇으로 손상된 상지를 부분적으로 움직일 수 있게 도와주어 기능 회복을 돕는다. 해당 로봇은 환자와 원활한 상호 작용을 위해 환자 협동 제어가 사용되며, 햅틱(사용자에게 힘, 진동, 모션을 적용함으로써 터치의 느낌을 구현하는 기술) 기능이 구현되어 있다. 미국 Motorika社에서는 ReoGo 제품을 출시하였으며, 5가지 모드 지원과 반복적인 신경근 훈련을 제공하여 상지 재활을 돕는다. 매사추세츠 공과대학(MIT, Massachusetts Institute of Technology)에서 개발하여 Interactive Motion, Inc를 통해 판매되고 있는 MIT-MANUS InMotion Robot 제품은 병원에서 가장 많이 사용되고 있는 제품으로, 환자의 손상된 기능에 따라 훈련 프로그램을 제공하여 맞춤형 감각치료를 제공한다. 오스트리아 Tyromotion社에서 개발한 AMADEO는 손가락의 개별적인 움직임을 지원해주며, 시각 및 청각적 피드백과 EMG(ElectroMyoGraphy, 근전도) 센서를 활용하여 훈련 모드를 지원해준다. 홍콩 Rehab Robotics社에서는 Hand of Hope 제품을 개발하였으며, 자기 주도 운동이 가능한 전완근에 EMG 센서를 부착하여 신호 인식을 통해 손가락의 재활 운동을 돕는다.

그림 8. 접지형 말단장치 로봇 종류(Grounded End-effector Types)

	<ul style="list-style-type: none"> • 국가 : 미국 • 기업명 : Motorika • 제품명 : ReoGo • 제품 특징 <ul style="list-style-type: none"> - 5가지 모드 지원 - 반복적이고 유도된 신경근 훈련 제공
	<ul style="list-style-type: none"> • 국가 : 미국 • 기업명 : Interactive Motion, Inc • 제품명 : MIT-MANUS InMotion Robot • 제품 특징 <ul style="list-style-type: none"> - 조정 가능한 수준의 안내 및 지원 가능 - 환자 수준에 따라 프로그램 선택 가능
	<ul style="list-style-type: none"> • 국가 : 오스트리아 • 기업명 : Tyromotion • 제품명 : AMADEO • 제품 특징 <ul style="list-style-type: none"> - EMG-based 훈련 지원 - 시각 및 청각적 피드백 제공
	<ul style="list-style-type: none"> • 국가 : 홍콩 • 기업명 : Rehab Robotics • 제품명 : Hand of Hope • 제품 특징 <ul style="list-style-type: none"> - 자기 주도 운동 가능 - 전완근에 부착된 EMG 신호 인식을 통해 작동

* 출처: 해당 기업 홈페이지

2.1.3. 착용형 로봇(Wearable Robot)

착용형 로봇은 일상생활 환경에서 착용자의 손가락 움직임을 보조하고자 부드러운 장갑(soft glove) 형태로 개발된다. 해당 로봇은 공간 제약이 없어 일상생활 환경에서 자유롭게 사용할 수 있다. 환자의 손가락을 개별적으로 움직일 수 있게 돕고자 힘줄 구동 구조를 이용하며, 구동부로는 공압식 또는 전기식을 사용한다. 미국 하버드대학(Harvard University)에서 개발한 Soft robotic glove는 가정환경에 재활 훈련이 가능할 수 있도록 제작되었으며, 반복적인 스트레칭 운동을 제공한다. 싱가포르 Roceso社에서는 EsoGLOVE Pro를 개발하였으며, 공압식 소프트 외골격 로봇을 사용하여 기능적 과제를 통해 재활 훈련을 제공한다. 이탈리아 Gloreha社에서는 Gloreha Sinfonia를 개발하였으며, 5가지 모드로 다양한 재활 훈련을 지원해준다. 또한 양방향 미러 훈련(Bimanual Mirror Training)을 통해 환측 상지의 사용빈도와 움직임의 질을 높여준다. 중국 Siyi Intelligent社에서 개발한 Syrebo hand는 수동 및 능동 통합 훈련을 통해 손가락의 재활 운동을 돕는다. 한국에서는 서울대에서 Exo-Glove Poly를 개발하였다. 해당 제품은 폴리머(Polymer) 재질로 방수 기능을 갖추고 있으며, 검지, 중지 손가락에는 텐던(Tendon, 힘줄) 구동방식을 통해 환자의 손가락 기능을 지원한다.

그림 9. 착용형 로봇 종류(Wearable Robot Types)

	<ul style="list-style-type: none"> • 국가 : 미국 • 기업명 : Harvard • 제품명 : Soft robotics glove • 제품 특징 <ul style="list-style-type: none"> - Home-based 재활이 가능하도록 도움 - 반복적인 스트레칭 운동 제공
	<ul style="list-style-type: none"> • 국가 : 싱가포르 • 기업명 : RocoS • 제품명 : EsoGLOVE Pro • 제품 특징 <ul style="list-style-type: none"> - 공압식 소프트 외골격 로봇 기술 - 무게 : 200g 이내 - 기능적 과제 훈련 제공
	<ul style="list-style-type: none"> • 국가 : 이탈리아 • 기업명 : Gloreha • 제품명 : Gloreha Sinfonia • 제품 특징 <ul style="list-style-type: none"> - 5가지 모드 지원 - 양방향 미러 훈련(Bimanual Mirror Training)을 통한 운동 가이드 제공
	<ul style="list-style-type: none"> • 국가 : 중국 • 기업명 : Siyi Intelligent • 제품명 : Syrebo hand • 제품 특징 <ul style="list-style-type: none"> - 수동 및 능동 통합 훈련 가능
	<ul style="list-style-type: none"> • 국가 : 한국 • 기업명 : 서울대 • 제품명 : Exo-Glove Poly • 제품 특징 <ul style="list-style-type: none"> - Tendon-driven and Polymer based Soft Wearable Robot - 일상 생활 보조용

* 출처: 해당 기업 홈페이지

2.2. 하지 외골격 로봇

2.2.1. 고정형 외골격 로봇(Fixed Exoskeleton)

고정형 외골격 로봇은 치료사의 보조를 통해 기립과 보행이 가능하게 되면 사용하는 단계로 트레드밀(Treadmill) 보행 훈련 기반으로 부분적 체중지지가 가능하다. 최소한의 치료 인력으로 보행 훈련이 이루어지며, 환자의 보행 상태에 따라 재활 훈련의 강도를 조절하여 진행하게 된다. 또한 단순 반복적인 로봇재활치료 방식의 문제점인 지루함을 해결하기 위해 시각적인 피드백을 활용한다. 국내에서 고정형 외골격 로봇으로 가장 많이 사용하고 있는 제품으로는 스위스 Hocoma社의 Lokomat과 우리나라 P&S Mechanics社의 Walkbot이 있다. Lokomat은 성인/소아용으로 2가지 버전이 있으며, 골반(pelvis)의 움직임을 보조해주는 장치가 있다. Walkbot은 3가지 모델이 출시되었으며, 가상현실 환경을 통해 상호 작용 훈련(interactive training)을 진행한다. 또 다른 제품으로는 미국 Motorika社의 ReoAmbulator, 터키 Bama Technology社의 RoboGait, 중국 Guangzhou YiKing Medical Equipment Industrial Co.의 NX-A3, 한국 핵사휴먼케어社의 RESILION G10이 있다.

그림 10. 고정형 외골격 로봇 종류(Fixed Exoskeleton Types)



	<ul style="list-style-type: none"> • 국가 : 스위스 • 기업명 : Hocoma • 제품명 : Lokomat • 제품 특징 <ul style="list-style-type: none"> - 2가지 버전(LokomatPro, LokomatNanos) 존재 - Pelvis의 움직임(translation, rotation) 지원
	<ul style="list-style-type: none"> • 국가 : 미국 • 기업명 : Motorika • 제품명 : ReoAmbulator • 제품 특징 <ul style="list-style-type: none"> - 동기화된 보행 패턴 제공 - 로봇 보조 보행 치료기
	<ul style="list-style-type: none"> • 국가 : 터키 • 기업명 : Bama Technology • 제품명 : RoboGait • 제품 특징 <ul style="list-style-type: none"> - 성인 및 소아 이용 가능 - 로봇 보조 보행 치료기
	<ul style="list-style-type: none"> • 국가 : 중국 • 기업명 : Guangzhou YiKing Medical Equipment Industrial CO. LTD • 제품명 : NX-A3 • 제품 특징 <ul style="list-style-type: none"> - 로봇 보조 보행 치료기
	<ul style="list-style-type: none"> • 국가 : 한국 • 기업명 : P&S Mechanics • 제품명 : Walkbot • 제품 특징 <ul style="list-style-type: none"> - 3가지 모델(Standard, pediatric, next gen) 존재 - Interactive training을 위한 가상현실 장치 고려
	<ul style="list-style-type: none"> • 국가 : 한국 • 기업명 : ㈜헥사휴먼케어 • 제품명 : RESILION G10 • 제품 특징 <ul style="list-style-type: none"> - 무게 보상을 통한 재활훈련 강도 조절 - 인체 무게 중심의 상하 및 좌우 구현을 통한 정상보행 경험 제공

* 출처: 해당 기업 홈페이지

2.2.2. 말단 장치형 외골격 로봇(Foot-plate)

말단 장치형 외골격 로봇은 고정형 외골격 로봇과 달리 보행 속도를 향상시키는 효과가 임상실험에서 입증되어 재활 현장에서 많이 사용되고 있다. 발목 부근만 부분적으로 연결하기 때문에 고정형 외골격 로봇을 연결하는 시간보다 상대적으로 짧다. 해당 로봇 장치에 입력된 발목 궤적에 보조하여 보행이 이루어진다. 대표적으로 상용화된 제품으로는 스위스 Rehab Technology社의 G-EO System이며, 일상생활의 다양한 상황에 대비하기 위해 평지뿐만 아니라 계단 오르막 훈련이 가능하도록 개발되었다. 우리나라에서는 큐렉소社에서 개발한 Morning Walk S200이 있다. 기존 제품들과는 달리 착석형 체중지지 방식을 이용하였으며, 자유로운 보행 패턴 설정을 통해 복합적인 치료 프로그램을 제공한다.

그림 11. 말단 장치형 외골격 로봇 종류(Foot-plate Exoskeleton Types)

	<ul style="list-style-type: none"> • 국가 : 스위스 • 기업명 : Reha Technology • 제품명 : G-EO System • 제품 특징 <ul style="list-style-type: none"> - 로봇 보조 보행 치료기
	<ul style="list-style-type: none"> • 국가 : 한국 • 기업명 : 큐렉소 • 제품명 : Morning Walk S200 • 제품 특징 <ul style="list-style-type: none"> - 착석형 체중지지 방식 이용 - 자유로운 보행 패턴 설정을 통해 복합적 치료 프로그램 제공

* 출처: 해당 기업 홈페이지

2.2.3. 착용형 로봇(Wearable Robot)

착용형 로봇은 보행 장애를 가지고 있는 환자들이 일상생활에서 사용할 수 있게 관절별(고관절, 슬관절, 족관절)로 착용하여 보행을 보조해준다. 하지 보행재활로봇으로 가장 보편화된 형태이며, 최근에는 IMU(Inertial Measurement Unit, 관성 측정 장치), EMG 센서 등 추가적인 센서를 활용하여 데이터 중심 접근 방식(data driven approach)으로 착용자의 보행 의도나 다양한 환경(평지, 경사도, 계단형, 앉기/서기)을 예측 및 판단하는 연구가 활발히 진행되고 있다. 대표적으로 가장 많이 상용화된 제품으로는 이스라엘 ReWalk社에서 개발한 ReWalk가 있으며, 목발을 짚고 일상생활을 독립적으로 할 수 있게 보행 보조를 해준다. 현재 6세대 버전까지 출시되었으며, 사용자 무게 중심의 변화에 따라 제어가 가능하다. 뉴질랜드 REX Bionics社에서 개발한 REX는 환자가 로봇에 올라타는 형태로 착용자의 무게를 전반적으로 지지해주며, 최근에는 착용자의 마비 상태에 따라 착용할 수 있게 2가지 버전으로 출시되었다. 미국 SuitX社에서 개발한 PheoniX는 보철 분야의 세계 시장 리더 기업인 Ottobock社와 같이 협업하여 외골격 로봇 제품을 출시하였다. Indego社에서 개발한 Indego 제품은 다른 제품과 달리 무게가 상대적으로 가벼우며 재활/자가용 2가지 모델로 출시되었다. Ekso Bionics社에서 개발한 EksoNR은 다양한 장애 수준에 따라 모터 지원이 가능하며, 걷기 전에 환자의 균형, 체중 이동, 스퀴트 및 제자리걸음을 돕는 PreGait 프로그램을 제공한다. 일본 CYBERDYNE社는 HAL Lower Limb를 개발하였으며, 일본 및 독일에서 렌트 서비스(약 96,000 달러)를 진행하고 있다. 해당 제품은 임상실험 또는 자가용에 따라 2가지 모델로 출시되었다. 우리나라에서는 핵사휴먼케어社에서 P30A를 개발하였으며, 보폭에 따른 사용자 보행 패턴 제공 및 사용자 보행 의도에 따른 관절 제어 기술을 제공한다. Angel Robotics社에서는 Angel Legs를 개발하였으며, 6가지 훈련 모드 및 보행 의도 감지에 따른 보조력 제어 기술을 제공한다.

그림 12. 착용형 로봇 종류(Wearable Robot Types)



- 국가 : 이스라엘
- 기업명 : ReWalk
- 제품명 : ReWalk
- 제품 특징
 - Home-based 재활이 가능하도록 도움
 - 반복적인 스트레칭 운동 제공



- 국가 : 뉴질랜드
- 기업명 : REX Bionics
- 제품명 : REX
- 제품 특징
 - 사용자 무게를 전반적으로 지지
 - 두 가지 버전 출시(REX, REX P)



- 국가 : 미국
- 기업명 : SuitX
- 제품명 : Phoenix
- 제품 특징
 - 무게가 가벼운 제품
 - 보조기 형태의 체결부



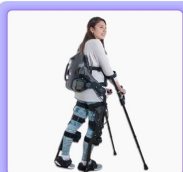
- 국가 : 미국
- 기업명 : Indego
- 제품명 : Indego
- 제품 특징
 - 수동 및 능동 통합 훈련 가능



- 국가 : 미국
- 기업명 : Ekso Bionics
- 제품명 : EksoNR
- 제품 특징
 - 다양한 장애 수준에 대한 모터 지원 가능
 - 걷기 전 환자의 균형, 체중 이동, 스퀴드 및 제자리걸음을 돕는 프로그램인 PreGait 포함



- 국가 : 한국
- 기업명 : ㈜헝샤휴먼케어
- 제품명 : RESILION P30A
- 제품 특징
 - 보폭에 따른 사용자 보행 패턴 제공 가능
 - 사용자 보행 의도에 따른 관절 제어 기술 보유



- 국가 : 한국
- 기업명 : Angel Robotics
- 제품명 : Angel Legs
- 제품 특징
 - 6가지 훈련 모드로 어플리케이션 제어 가능
 - 보행 의도 감지에 따른 보조력 제어 기술 보유

* 출처: 해당 기업 홈페이지

V 결론

앞으로 미래의 재활 치료는 인간을 대신하여 의료서비스로봇이 중점적인 역할을 하게 될 것이다. 고령화 사회는 심화되어 초고령화 사회로 접어들게 될 것이며, 이로 인해 발생하는 인력난 증가, 출생률 감소 등 사회적 문제는 더욱더 가속화 될 것이다. 헬스케어 분야의 의료서비스로봇은 이러한 사회적 문제점들을 예방 및 해결할 수 있게 도와줄 수 있을 것이며, 환자에게 체계적이고 맞춤형 재활 서비스를 제공할 것이다. 이를 위해 최근에 빅데이터 및 딥러닝 기술과 로봇 기술을 융합화하는 연구가 활발히 진행되고 있다. 하지만 배터리 수명 문제, 외골격 로봇의 무게와 에너지 효율에 따른 최적화된 구동부 선정 등 원천 기술 고도화가 해결되지 않는 이상 당분간 기술력은 정체될 것으로 보인다. 또한 사람과 밀접한 환경에서 인공지능(AI, Artificial Intelligence) 기술 같은 신기술을 활용한 로봇을 사용하기 위해서는 기술과 정책 간 간극을 줄일 수 있는 방안이 필요하다. 이처럼 해결해 나가야할 과제들이 많이 쌓여있지만 먼 미래에는 로봇을 친밀하게 사용될 날이 머지않아 찾아올 것으로 기대된다.

저자_ 한창수(Chang soo Han)

• 학력

텍사스대학교(Univ Texas-Austin) 기계공학 박사
텍사스대학교(Univ Texas-Austin) 기계공학 석사
한양대학교 기계공학 학사

• 경력

現) ㈜핵사후먼케어 대표이사
現) 한양대학교 로봇공학과 명예교수
現) 재단법인 제조혁신기술원(KIMI) 원장
前) 한국재활로봇학회 회장

저자_ 신동빈(Dong Bin Shin)

• 학력

한양대학교 메카트로닉스공학 박사
한양대학교 융합시스템학 석사
중원대학교 의료공학 학사

• 경력

現) 한양대학교 박사후연구원

참고문헌

〈국내문헌: 가나다순〉

- 1) 김기영·김봉철. (2022). 독일 디지털 헬스케어법의 주요 내용과 정책적 시사점. 법제처.
- 2) 김선희·조용진. (2021). 의료서비스 로봇의 개발 동향 및 활용 사례: 물류, 안내, 약제처리 로봇을 중심으로. Journal of Digital Convergence. 19(2). 523-529.
- 3) 김연희·이황재. (2021). 미래 재활로봇의 발전 방향. 한국로봇학회 칼럼.
- 4) 관계부처합동. (2022). BIG3 산업별 중점 추진과제.
- 5) 국회입법조사처. (2021). 바이든 행정부의 주요 정책 전망과 시사점.
- 6) 대한무역투자진흥공사. (2019). 中, 미국·유럽이 주도하는 의료용 로봇시장 진입에 박차.
- 7) 유형정·도지훈. (2019). 의료서비스 로봇. 한국과학기술기획평가원.
- 8) 한국산업기술진흥원. (2021). 서비스 로봇 시장 및 기술 동향.

〈국외문헌: 알파벳순〉

- 9) Aging in cities survey. (2017). Welltower.
- 10) Gassert, R., & Dietz, V. (2018). Rehabilitation robots for the treatment of sensorimotor deficits: a neurophysiological perspective. Journal of neuroengineering and rehabilitation, 15(1), 1-15.
- 11) Medical Robots Market. (2020). Markets and Markets.
- 12) Tu, X., Han, H., Huang, J., Li, J., Su, C., Jiang, X., & He, J. (2017). Upper limb rehabilitation robot powered by PAMs cooperates with FES arrays to realize reach-to-grasp trainings. Journal of healthcare engineering, 2017.

〈기타문헌: 마지막순서(홈페이지주소 등)〉

- 13) 김나현. (2021.01.28). 바이든 정부 출범과 오바마 케어...헬스케어 방향은?. MEDICAL Observer. <http://www.monews.co.kr/news/articleView.html?idxno=300883>
- 14) 서울대 Biorobotics Laboratory. <https://www.biorobotics.snu.ac.kr/lympathic>
- 15) 세브란스 재활병원. (2020.11.24). 로봇재활치료센터. <https://medicine.yonsei.ac.kr/sev-rehabil/patient-carer/guide/facility/laboratory.do?mode=view&articleNo=70297&title=%EB%A1%9C%EB%B4%87%EC%9E%AC%ED%99%9C%EC%B9%98%EB%A3%8C%EC%84%BC%ED%84%B0>
- 16) 왕해나. (2021.02.08). [갈길 먼 K의료로봇] 미국·유럽 위협하는 중국 의료로봇, 어떻게 성장했다. 이데일리. <https://www.edaily.co.kr/news/read?newsId=01354646628948552&mediaCodeNo=257>
- 17) 장길수. (2020.06.08). 국제로봇연맹, 주요국 로봇 R&D 정책 진단. 로봇신문. <https://www.irobotnews.com/news/articleView.html?idxno=21002>

- 18) 장길수. (2020.10.29). [2020 로보월드] 4대 서비스 로봇 정책 및 육성 방향. 로봇신문. <https://www.irobotnews.com/news/articleView.html?idxno=22771>
- 19) 최여름. 2021.10.28). 뇌졸중 재활치료 바를수록 좋다. 헬스코리아뉴스. <https://www.hkn24.com/news/articleView.html?idxno=322491>
- 20) 최지현. (2021.04.08). [로봇강국 일본] 日 ‘로봇의 시대’ 온다... 어리숙한 ‘약한 로봇’부터 ‘우주 개척 로봇’까지. 아주경제. <https://www.ajunews.com/view/20210407143401672>
- 21) 큐렉소 홈페이지. <http://www.curexo.com/medical/sub02.php>
- 22) 헥사휴먼케어 홈페이지. https://hexarhc.com/?page_id=2440
- 23) Angel Robotics 홈페이지. <http://angel-robotics.com/en/>
- 24) Bama Technology 홈페이지. <http://www.bamateknoloji.com/?lang=en>
- 25) CYBERDYNE 홈페이지. https://www.cyberdyne.jp/english/products/LowerLimb_medical.html?
- 26) Ekso Bionics 홈페이지. <https://eksobionics.com/eksonr/>
- 27) Guangzhou Yikang Medical Equipment Industry CO., Ltd. 홈페이지. <http://www.yikangshiye.com/upper/a2.html>
- 28) Gloreha 홈페이지. <https://www.gloreha.com/sinfonia/>
- 29) Hocoma 홈페이지. <https://www.hocoma.com/>
- 30) IBM. (2017). Loneliness and aging: Navigating and enduring crissis. <https://www.ibm.com/thought-leadership/institute-business-value/report/loneliness>
- 31) Indego 홈페이지. <https://www.indego.com/indego/us/en/home?>
- 32) Kinetek 홈페이지. <http://www.wearable-robotics.com/kinetek/products/alex/?>
- 33) Motorika 홈페이지. <https://motorika.com/reogo/?>
- 34) Mecharithm. (2021). Upper-limb Rehabilitation Robotics. <https://www.mecharithm.com/upper-limb-rehabilitation-robotics/>
- 35) REHA Technology 홈페이지. <https://www.rehatechnology.com/en/?>
- 36) Rehab-Robotics. (2018). Hand of Hope Experience Programme. <http://www.rehab-robotics.com.hk/>
- 37) ReWalk 홈페이지. <https://rewalk.com/rewalk-personal-3/>
- 38) REX Bionics 홈페이지. <https://www.rexbionics.com/>
- 39) Roceso Technologies 홈페이지. <https://www.roceso.com/esoglove-pro/>
- 40) SuitX 홈페이지. <https://www.suitx.com/phoenix-medical-exoskeleton>
- 41) Syrebo 홈페이지. <https://www.syrebo.com/rehabilitation-system-for-clinic/?>
- 42) Tyromotion 홈페이지. <https://tyromotion.com/en/products/amadeo/?>
- 43) Walkbot 홈페이지. <http://walkbot.co.kr/>
- 44) Wyss Institute. Soft Robotic Glove for Neuromuscular Rehabilitation. <https://wyss.harvard.edu/technology/soft-robotic-glove/>



융합연구리뷰

Convergence Research Review 2022 June vol.8 no.6



03

국가R&D 현황 분석

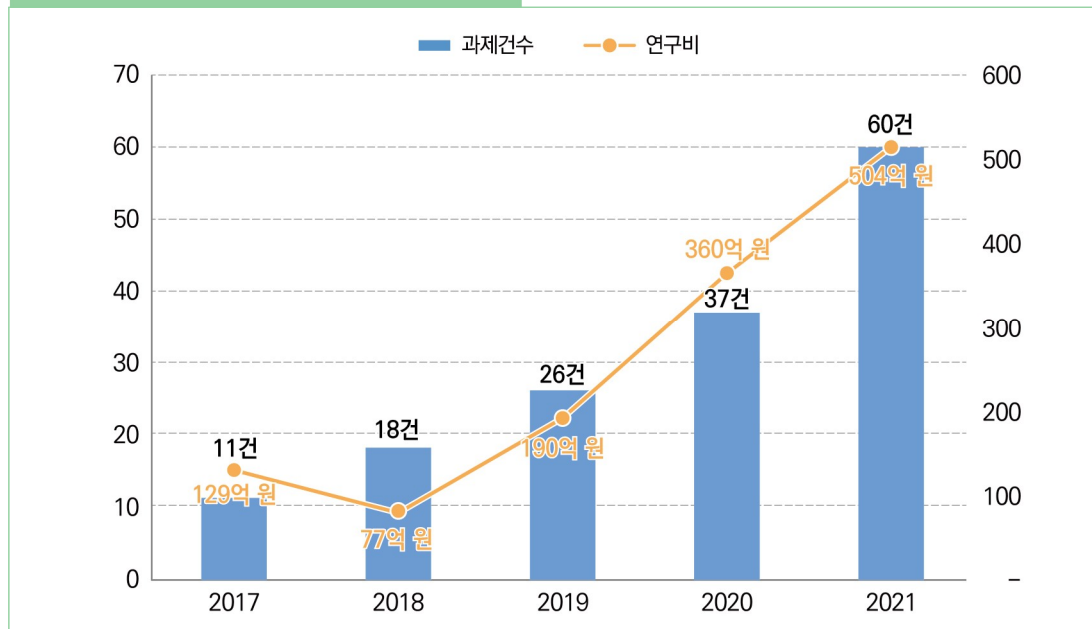
융합연구리뷰 6월호에서 다룬 2개의 주제(협동로봇 및 의료서비스로봇)에 대한 각각의 국가R&D 현황을 살펴보기 위해 국가연구개발 과제 분석을 수행하였다. 연구비를 기준으로 연구비 규모별 과제수, 연구수행주체, 연구수준, 연구분야(국가과학기술표준분류, 미래유망산기술분류) 등 여러 측면에서의 분석 결과를 제시한다.

I 협동로봇

□ (총괄) 최근 5년간('17~'21) 총 152건의 과제에 대해 1,260억 원의 연구비가 투자됨

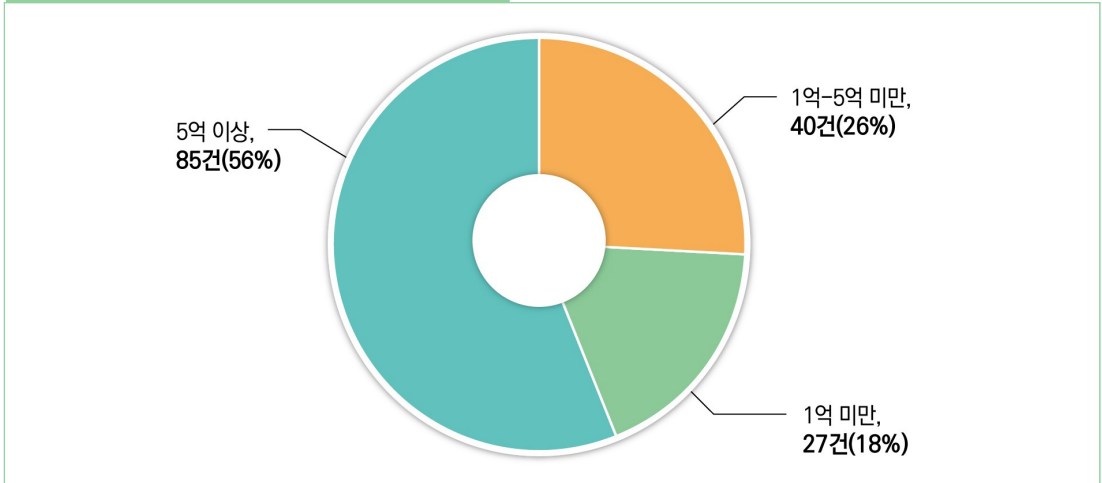
- ※ 국가과학기술지식정보서비스(NTIS) 플랫폼을 기반으로 관련 국가 연구개발 과제를 분석하기 위해 원고의 핵심 키워드를 고려하여 검색 실시
- * (협동 or 협업) and (제조 or 안전) and 로봇

그림 1. 연도별 연구과제 건수 및 연구비



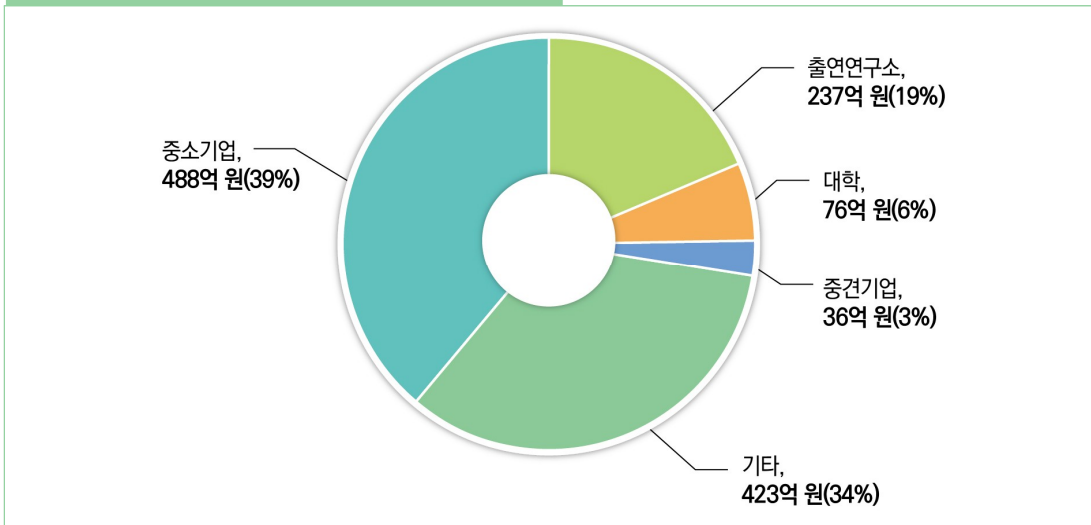
□ (연구비 규모별 과제 수) 연구비가 5억 원 이상인 과제가 56%(85건)로 가장 큰 비중을 차지했으며 1억 원 이상 5억 원 미만의 과제가 26%(40건), 1억 원 미만의 과제가 18%(27건)의 비중을 차지함

그림 2. 연구비 규모별 과제 수 및 비율



□ (연구수행주체) 중소기업이 지원받는 연구비 비중이 39%(488억 원)로 가장 큰 것으로 드러났고 출연연구소 (19%, 237억 원), 대학(6%, 76억 원) 순으로 연구비 비중이 큰 것으로 확인됨

그림 3. 연구수행주체별 연구비 규모 및 비율



- (연구수준) 연구수준을 분석한 결과, 협동로봇 기술은 도입기이며 개발 단계인 것으로 나타남
 - (연구개발단계 분석 결과) 개발연구에 투자되는 연구비 비중이 협동로봇 관련 전체 연구비의 절반 이상(56%, 706억 원)을 차지하며, 응용연구가 15%(189억 원), 기초연구가 7%(86억 원)의 비중을 차지하는 것으로 드러남
 - (연구개발성격 분석 결과) 아이디어 개발 연구에 투자되는 연구비의 비중은 1%(15억 원)에 불과한 반면 제품 또는 공정개발 및 시작품 개발의 연구비 비중은 각각 29%(362억 원), 15%(191억 원)인 것으로 확인됨
 - (기술수명주기 분석 결과) 도입기(35%, 442억 원)와 성장기(20%, 250억 원) 연구에 투자되는 연구비 비중이 성숙기(6%, 74억 원) 연구에 비해 월등히 큰 것으로 나타남

그림 4. 연구개발단계별 연구비 규모 및 비율

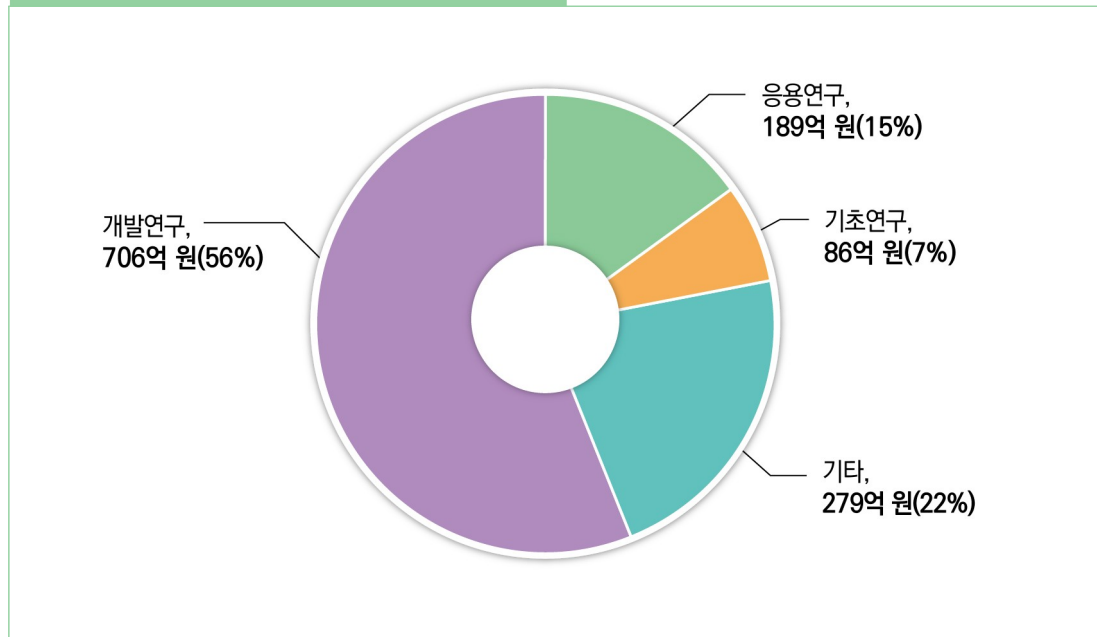


그림 5. 연구개발성격별 연구비 규모 및 비율

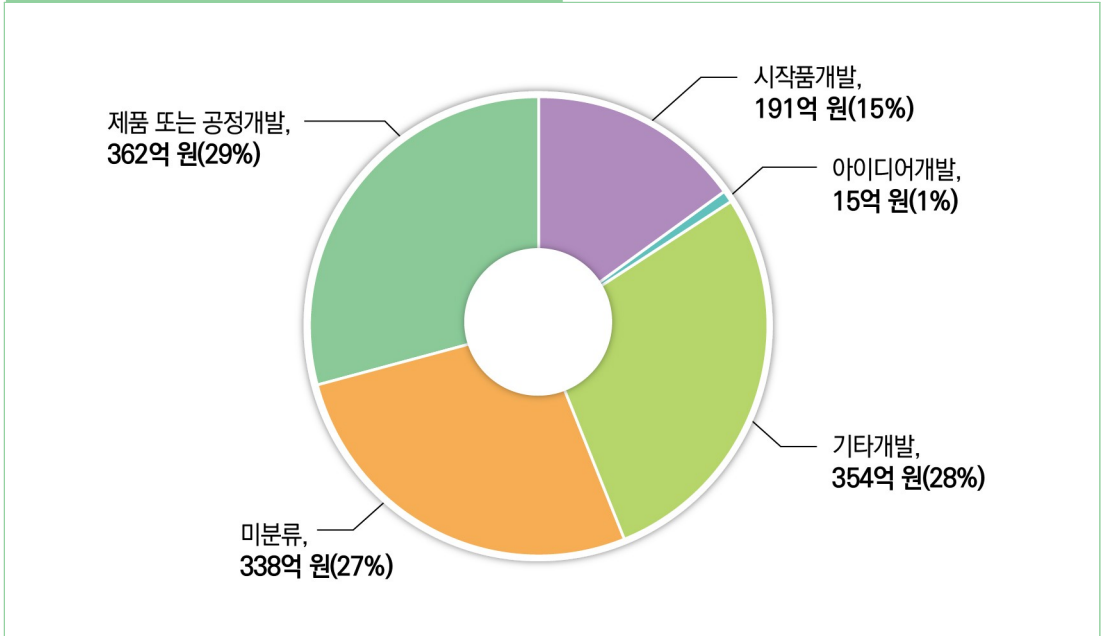
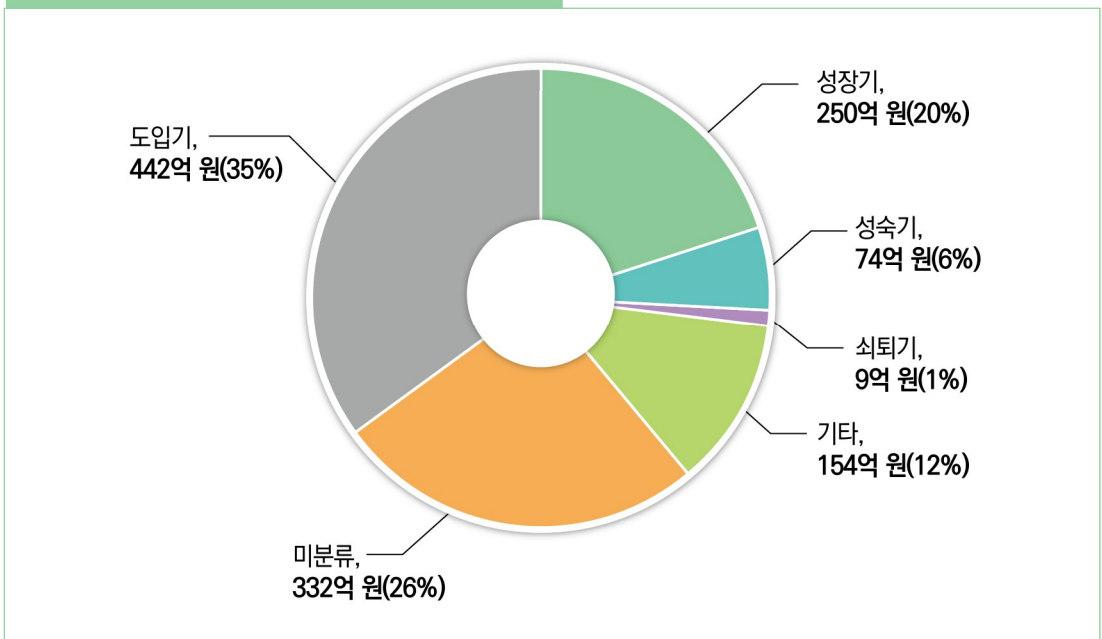


그림 6. 기술수명주기별 연구비 규모 및 비율



□ **(연구분야)** 국가과학기술표준분류와 미래유망신기술분류(6T) 분석 결과, 기계 분야 및 IT 분야 위주로 협동로봇 연구가 이루어짐

- **(국가과학기술표준분류 분석 결과)** 기계 분야의 연구비 비중이 70%(880억 원)로 연구비의 대부분을 차지하고, 과학기술과 인문사회 15%(191억 원), 정보/통신 6%(74억 원) 순으로 연구비 비중이 높은 것으로 나타남
 - 과학기술과 인문사회 분야에 지원되는 연구비 비중이 15%인 것으로 드러났는데, 이는 사람과 동일한 공간에서 작업할 수 있는 협동로봇의 특징에 따라 첨단 제조 산업 환경에서의 작업자와 로봇 간 협업을 위한 기술 관련 연구가 수행되기 때문인 것으로 판단됨
 - ※ 연구책임자가 최대 3개까지 지정한 국가과학기술표준분류의 대분류에 대한 각 가중치를 고려한 결과임
 - 융합과제에 지원된 연구비 비중은 협동로봇 관련 전체 연구에 투자된 연구비의 6%를 차지하며 약 88억 원이 지원됨
 - ※ 융합과제란 연구책임자가 지정한 국가과학기술표준분류의 대분류가 두 개 이상의 분류에 해당하는 과제를 의미함
- **(미래유망신기술분류(6T) 결과)** 정보통신 기술(IT) 관련 연구에 대한 연구비 비중이 31%(391억 원)으로 가장 큰 것으로 확인됨

그림 7. 국가과학기술표준분류별 연구비 규모 및 비율

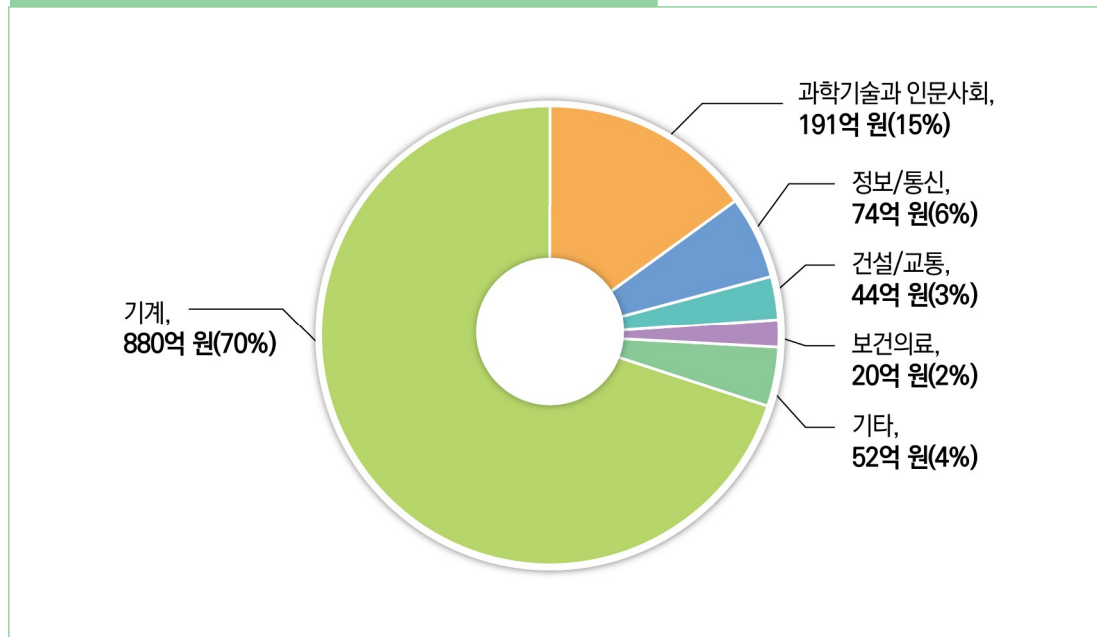


그림 8. 융합 R&D 과제 연구비 규모 및 비율

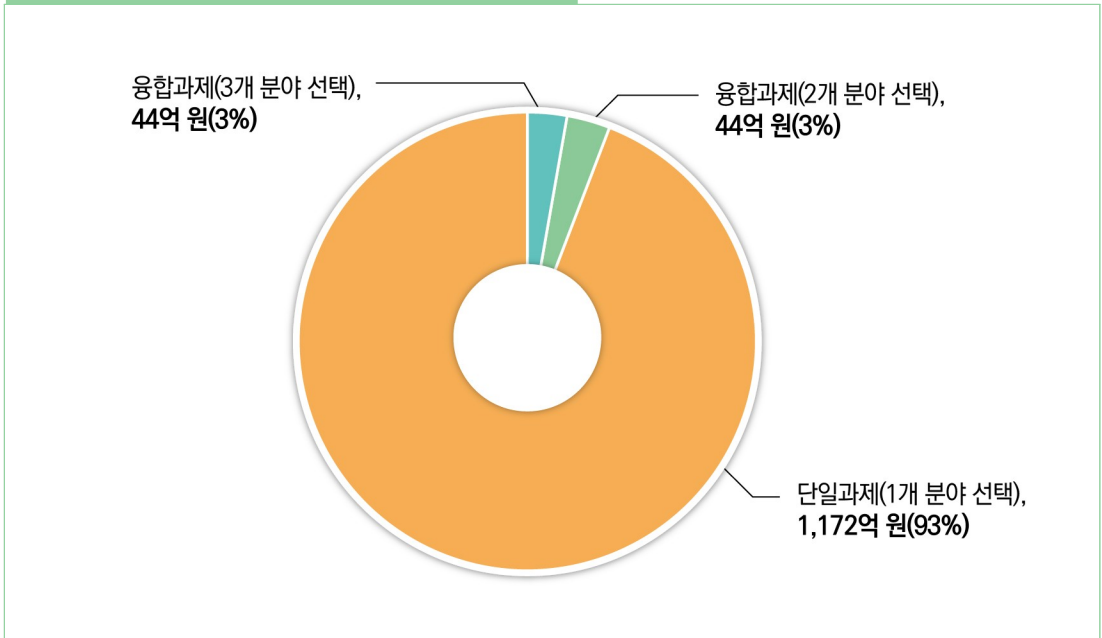
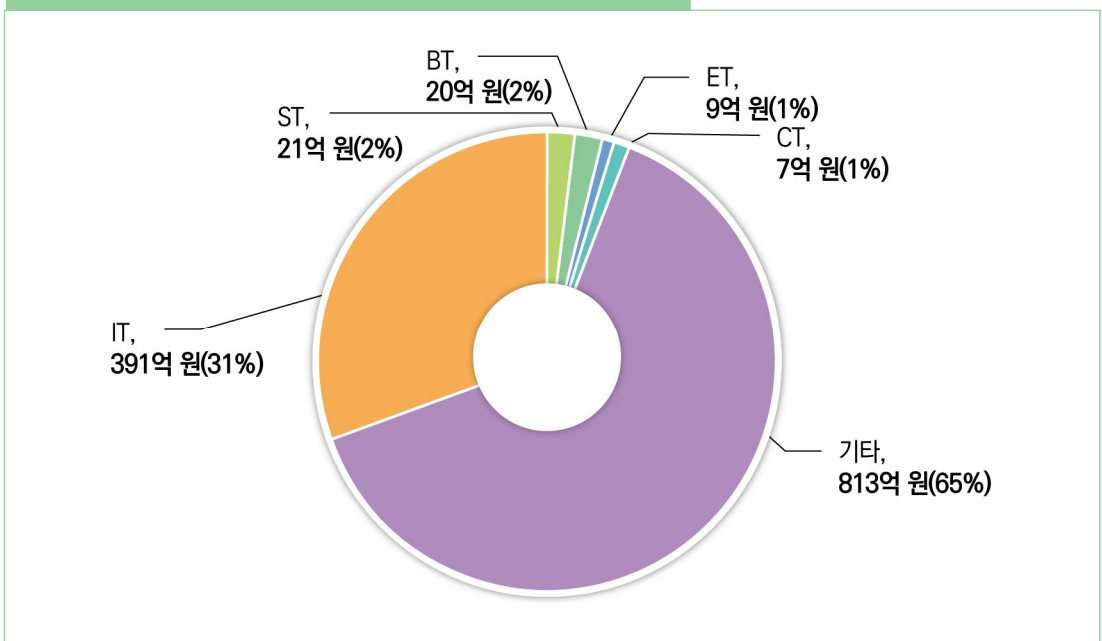


그림 9. 미래유망 신기술분류(6T)별 연구비 규모 및 비율



□ (주요 과제) 원고의 주요 내용 및 키워드 등을 기준으로 선정함

과제명 (사업명, 부처명)	수행기관, 총 연구기간, 연구비 규모	과제 주요 내용
제조업 구인난과 생산성 향상에 대응하는 일천만원대 6자유도 협동로봇 및 시장확산을 위한 비즈니스 모델의 개발 (사업화연계기술개발, 산업통상자원부)	주식회사 뉴로메카, 2018-2019년, 5억 원('18)	감속기, 모터, 브레이크, 엔코더, 드라이버 및 이더넷슬레이브 통신모듈로 구성된 스마트액추에이터 모듈 개발을 통해 일천만원대 기반하중 7kg, 6자유도 협동로봇 개발
금형 조립을 위한 스마트 작업자-로봇 협업 시스템 설계 및 개발 (개인기초연구, 과학기술정보통신부)	부산대학교, 2021-2025년, 2억 원('21)	금형과 작업자의 특성에 따라 작업 상황을 인지하고, 변화하는 작업 상황에 대처할 수 있는 협동로봇을 활용한 스마트 작업자- 로봇 협업 시스템(S-HRC: Smart-Human Robot Collaboration System) 설계 및 개발
작업자 동작추적을 통한 사람-로봇간 충돌위험도 로봇자가인지 및 안전모션제어 시스템 개발 (산학연CollaboR&D, 중소벤처기업부)	세이프티스, 2021-2022년, 0.5억 원('21)	사람과 로봇 간 협동작업 시 안전제어를 위한 충돌발생 힘과 압력을 예측하는 시뮬레이터, 비전기반 속도 산출 시스템 및 제어 프레임워크 개발

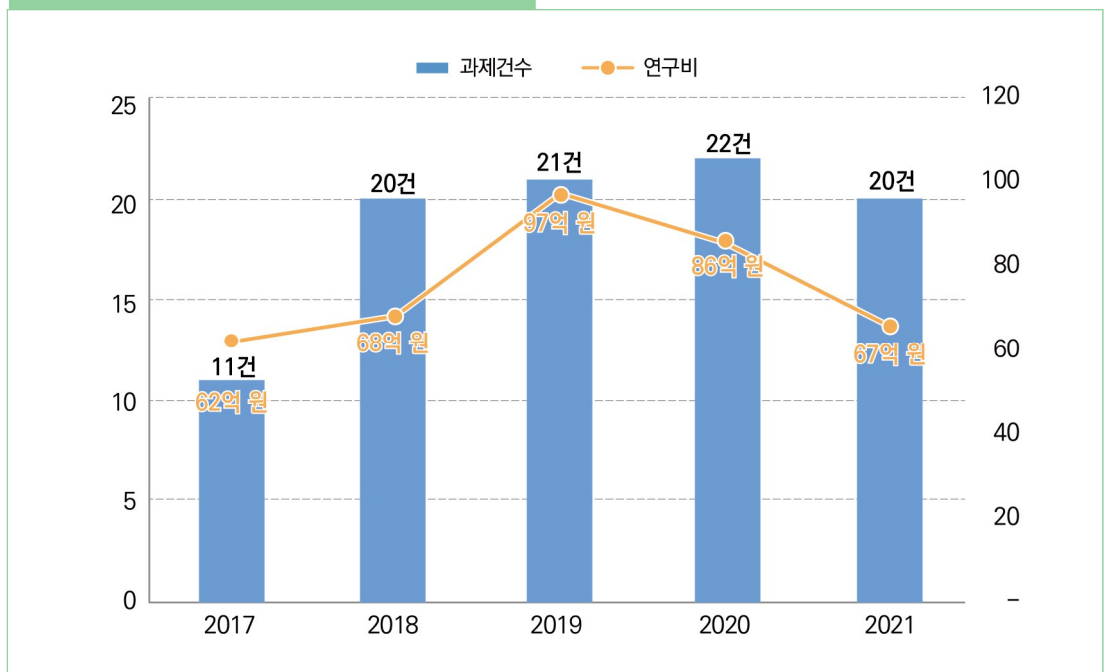
II 의료서비스로봇

□ (총괄) 최근 5년간('17~'21) 총 94건의 과제에 대해 380억 원의 연구비가 투자됨

※ 국가과학기술지식정보서비스(NTIS) 플랫폼을 기반으로 관련 국가 연구개발 과제 분석을 수행하기 위해 원고의 핵심 키워드를 고려하여 검색 실시

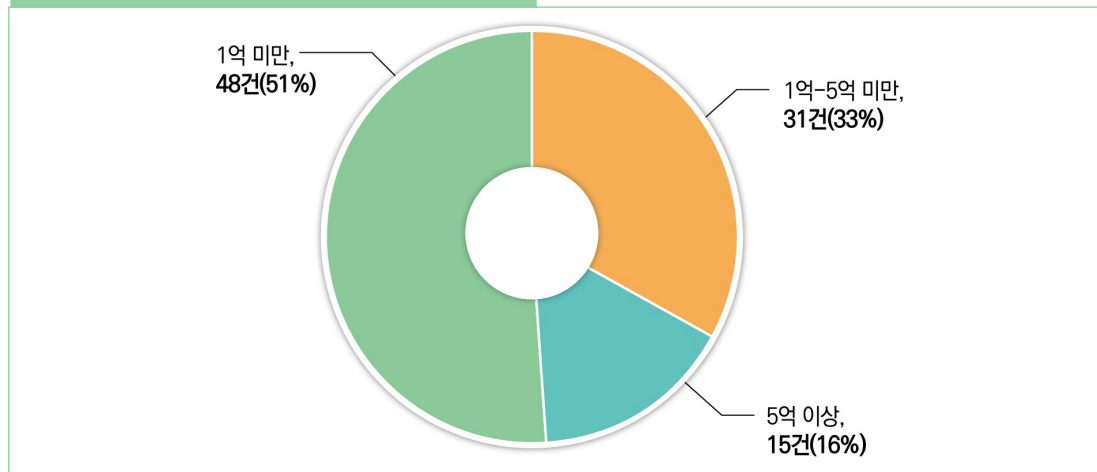
* (외골격 or 착용형 or 웨어러블) and (재활 or 의료) and 로봇

그림 10. 연도별 연구과제 건수 및 연구비



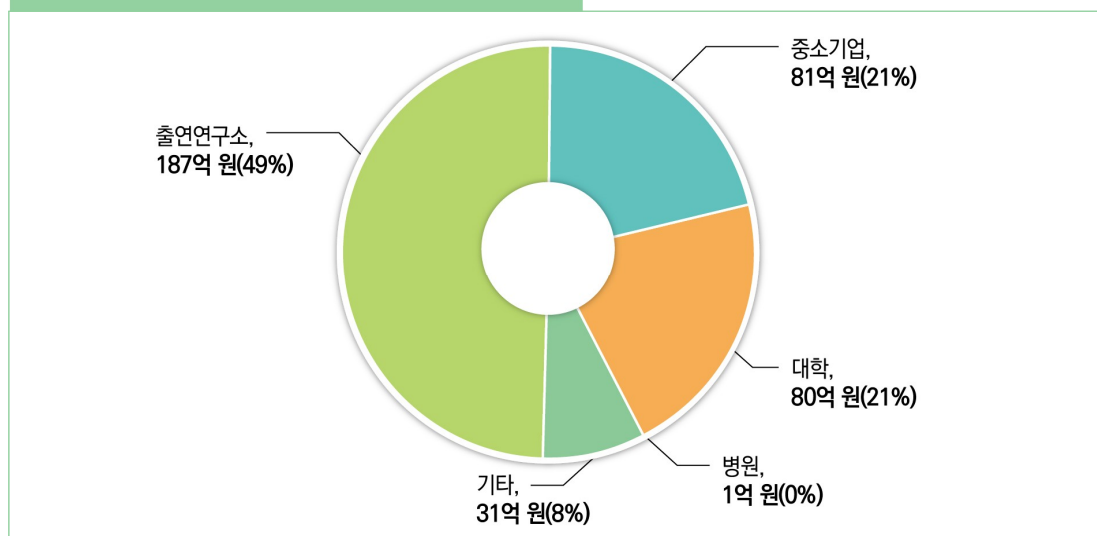
□ (연구비 규모별 과제 수) 1억 미만인 과제의 비중이 51%(48건)로 소규모 과제에 대한 연구비의 비중이 절반 이상을 차지하는 것으로 드러났고, 1억 원 이상 5억 원 미만인 과제와 5억 원 이상인 과제는 각각 33%(31건), 16%(15건)을 차지하는 것으로 확인됨

그림 11. 연구비 규모별 과제 수 및 비율



□ (연구수행주체) 출연연구소가 지원받는 연구비의 비중은 49%(187억 원)이며, 중소기업(21%, 81억 원)과 대학(21%, 80억 원)이 지원받는 연구비 비중은 동일한 것으로 확인됨

그림 12. 연구수행주체별 연구비 규모 및 비율



□ (연구수준) 연구수준을 분석한 결과, 의료서비스로봇 관련 연구는 성장기이며 기초연구 단계인 것으로 나타남

- (연구개발단계 분석 결과) 의료서비스로봇 관련 연구는 기초연구(26%, 98억 원), 개발연구(19%, 73억 원), 응용연구(13%, 48억 원) 순으로 연구비 비중이 큰 것으로 확인됨
- (연구개발성격 분석 결과) 제품 또는 공정개발 관련 연구의 연구비 비중은 17%(66억 원)이고, 시작품개발 연구에 12%(45억 원), 아이디어 개발 연구에 4%(16억 원)의 연구비가 투자되고 있음
- (기술수명주기 분석 결과) 성장기 연구에 대한 연구비가 의료서비스로봇 전체 연구비의 절반(50%, 188억 원)을 차지하고 있으며, 도입기 연구비 비중은 15%(57억 원)인 것으로 확인됨

그림 13. 연구개발단계별 연구비 규모 및 비율

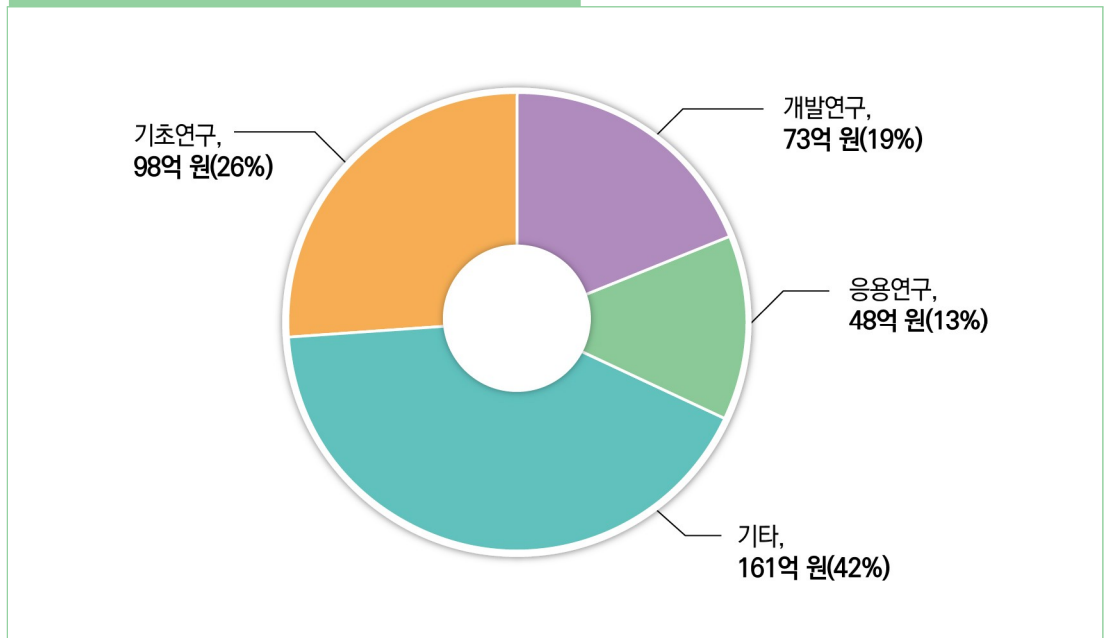


그림 14. 연구개발성격별 연구비 규모 및 비율

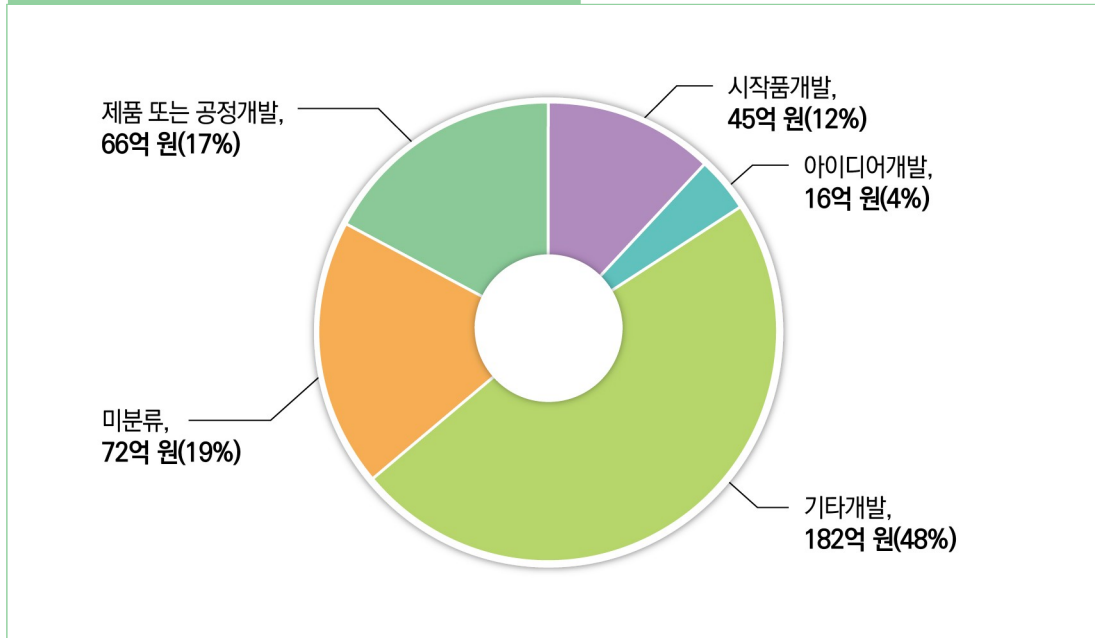
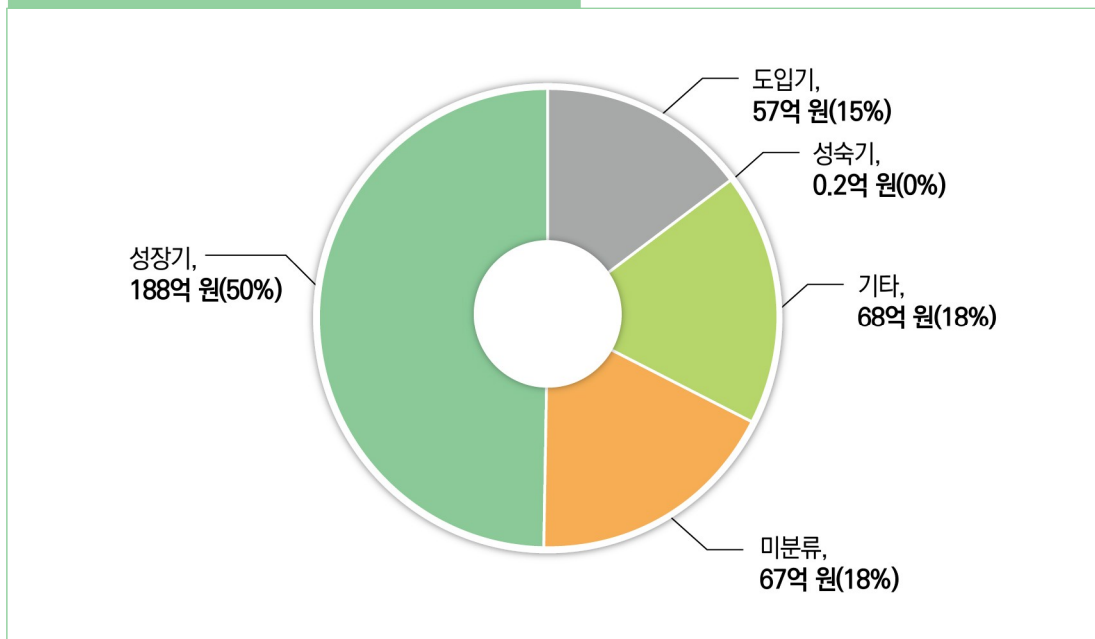


그림 15. 기술수명주기별 연구비 규모 및 비율



□ **(연구분야)** 국가과학기술표준분류와 미래유망신기술분류(6T) 분석 결과, 의료서비스로봇 연구는 바이오 기술(BT) 및 보건의료 분야를 바탕으로 연구비 투자가 이루어짐

- **(국가과학기술표준분류 분석 결과)** 국가과학기술표준분류 중 보건의료(30%, 116억 원) 분야에 대한 연구비 비중이 가장 큰 것으로 나타났으며 기계(25%, 94억 원) 분야의 연구비가 그 다음으로 큰 것으로 확인됨
 - ※ 연구책임자가 최대 3개까지 지정한 국가과학기술표준분류의 대분류에 대한 각 가중치를 고려한 결과임
- 의료서비스로봇 연구 중 융합과제의 연구비 비중은 약 19%이며 약 73억 원의 연구비가 지원됨
 - ※ 융합과제란 연구책임자가 지정한 국가과학기술표준분류의 대분류가 두 개 이상의 분류에 해당하는 과제를 의미함
- **(미래유망신기술분류(6T) 결과)** 바이오 기술(BT) 관련 연구에 대한 투자 비중이 71%(269억 원)로 의료서비스로봇 전체 연구비의 절반 이상을 차지하고 있으며, 정보통신 기술(IT)에 대한 연구비는 20%(74억 원)의 비중을 차지함

그림 16. 국가과학기술표준분류별 연구비 규모 및 비율

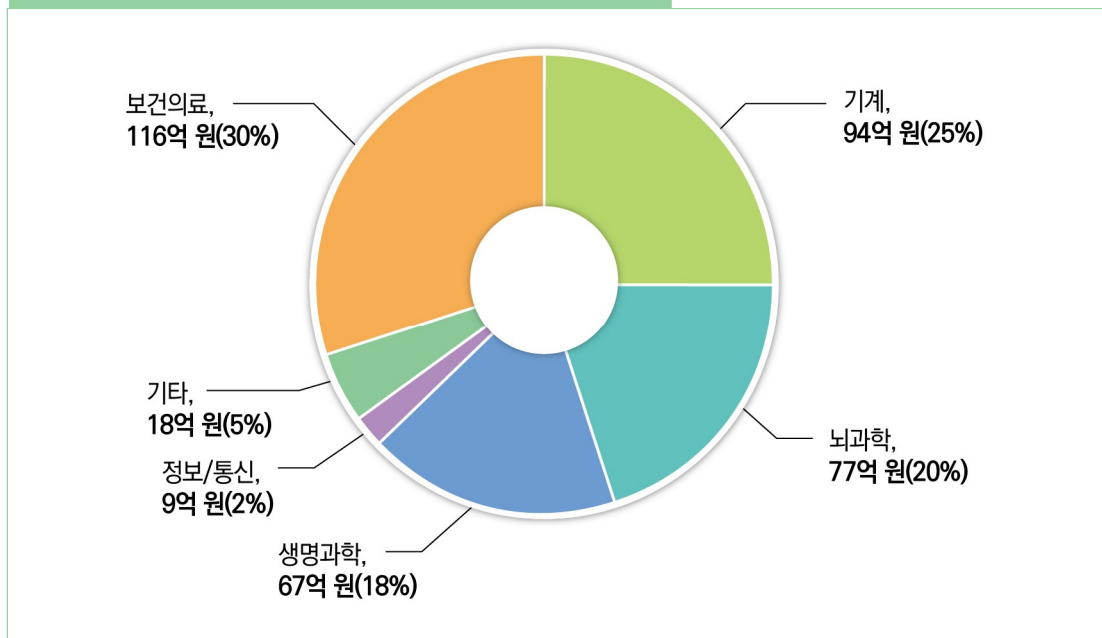


그림 17. 융합 R&D 과제 연구비 규모 및 비율

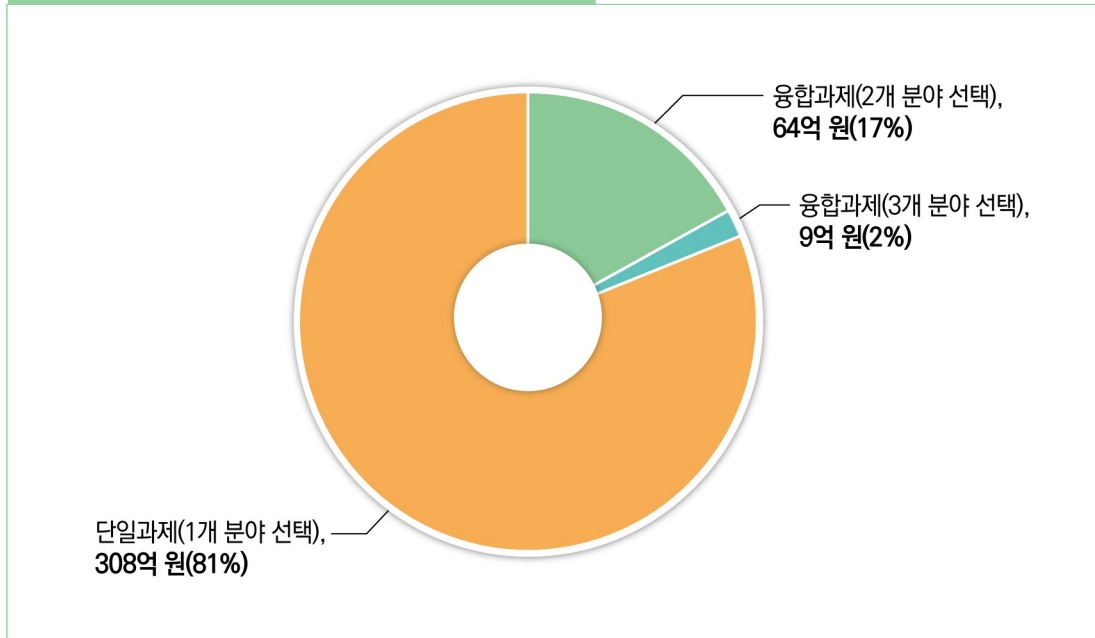
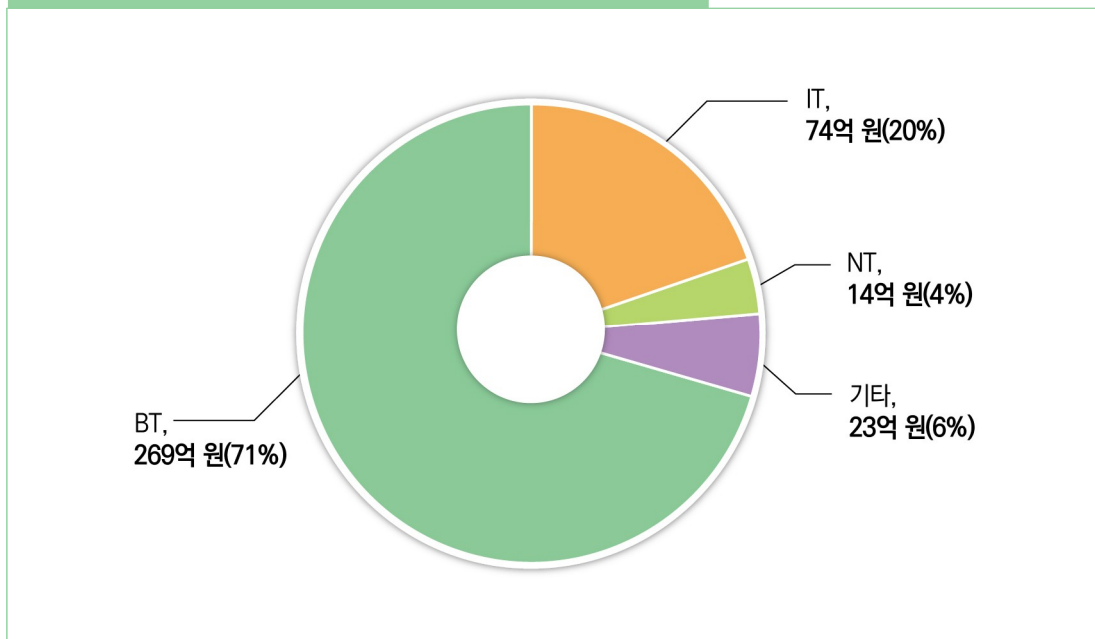


그림 18. 미래유망 신기술분류(6T)별 연구비 규모 및 비율



□ (주요 과제) 원고의 주요 내용 및 키워드 등을 기준으로 선정함

과제명 (사업명, 부처명)	수행기관, 총 연구기간, 연구비 규모	과제 주요 내용
하반신 완전마비 장애인의 일상생활 운동 보조를 위한 전동형 외골격로봇 개발 및 제품화 (로봇산업기술개발, 산업통상자원부)	주식회사 엔젤로보틱스, 2019-2021년, 14억 원('21)	하반신 마비 장애인이 착용하는 전동형 외골격 로봇 및 자체 균형유지 방법을 개발하고 보행제어 알고리즘을 최적화
줄 꼬임 기반 모션 구동 상지 재활치료 로봇 (연구개발특구육성, 과학기술정보통신부)	(주)바이오롬, 2016-2018년, 2억 원('17)	장비의 무게 대비 큰 하중을 들어올릴 수 있는 메커니즘의 줄 꼬임 액추에이터를 활용한 재활로봇 개발
액티브 3자유도의 허리 구조를 포함하는 외골격 로봇에 관한 연구 (개인기초연구, 교육부)	영남대학교, 2017-2020년, 0.5억 원('18)	굴신운동(flexion/extension), 측면 굽힘(lateral bending), 회전(transverse rotation)의 방향으로 액티브한 움직임이 가능한 허리 구조를 포함하는 외골격 로봇 개발을 통해 착용자의 자연스러운 동작을 유도

융합연구리뷰

Convergence Research Review 2022 June vol.8 no.6

이 보고서는 2022년도 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 사업임

(No. NRF-2012M3C1A1050726)