

주요국의 지능로봇 정책 추진 현황과 시사점

Status and Implications of Policies on Intelligent Robotics in Major Countries

고순주 (S.J. Koh, kohsj@etri.re.kr)

미래전략연구실 책임연구원

ABSTRACT

As artificial intelligence advances, major countries are actively promoting the use of intelligent robots to improve industrial productivity and enhance the quality of life. As robots become more capable of interacting with humans, they are being increasingly integrated into the human realm. Accordingly, major countries are actively implementing policies to lead intelligent robot technology and secure market leadership. We examine the status of policies related to intelligent robots in five countries: United States, China, Japan, Germany, and South Korea. These countries apply 1) government-led intelligent robot policies, 2) investments to secure core robot technologies and promote the convergence of artificial intelligence and robots, 3) programs for research and development on intelligent robots, 4) strengthened human-centered human-robot interaction and collaboration, and 5) ethics, stability, and reliability in the development and use of robot technologies. For Korea to compete with major countries and promote the intelligent robot industry, high-risk, high-performance innovation projects should be prioritized.

KEYWORDS robotics, R&D, 정책, 지능로봇, 지능형 로봇

1. 서론

지난 1월에 개최된 '2024 CES'에서는 인공지능(AI: Artificial Intelligence)과 로봇이 주목을 받았으며, 2월말 스페인 바르셀로나에서 개최된 'MWC 2024'에서도 다양한 지능로봇이 소개된 바 있다. 중국의 테크노(Tecno)는 세퍼드를 모사한 AI 증강형 4족 보행 로봇 '테크노 다이내믹1(Tecno Dynamic 1)' [1],

샤오미는 '춤추는 로봇 개'로 불리는 4족 보행 로봇 'Cyber Dog 2' [2], 아랍에미리트의 이앤 그룹(e& Group)은 사람과 대화가 가능한 휴머노이드 AI로봇 '아메카' [3], 우리나라 (주)효돌의 독거노인 돌봄 로봇 '효돌' 등이 대표적이다.

이 로봇들의 공통점은 AI 기술이 적용되면서 인간과의 상호작용이 매우 자연스럽게 진화하였다는 점이다. 이제 로봇과 AI의 융합은 기술과 시장 발전

* DOI: <https://doi.org/10.22648/ETRI.2024.J.390303>

* 본 연구는 한국전자통신연구원 연구운영지원사업의 일환으로 수행되었음[23ZR1400, 국가 지능화 기술정책 및 표준화 연구].



에 있어서 큰 트렌드로 자리 잡고 있으며, 로봇을 인간과 더욱 친숙하게 할 뿐만 아니라 산업의 효율성과 생산성 향상에도 크게 기여하고 있다.

이에 따라 지능로봇 관련 기술과 시장의 선점을 위한 국가 간 경쟁도 치열해지고 있다. 잠시 반도체에 가려져 있던 지능로봇에 대한 국가 간 경쟁은 MWC 2024를 계기로 다시 수면 위로 올라온 듯하다.

로봇 시장은 일본이 주도하고 미국과 중국이 추격하는 구조였으나, 지능로봇 시장은 미국이 주도하고 중국과 일본이 추격하는 구조이다.

본 연구에서는 주요 국가의 지능로봇¹⁾ 관련 정책 추진 현황과 특징을 살펴보고[4], 우리나라의 지능로봇 정책의 효율적인 추진을 통한 성과 향상을 위해 정책의 우선순위를 제언하고자 한다. 주요 국가로는 지능로봇 시장 점유율이 높은 4개 국가(미국, 중국, 독일, 일본)와 우리나라를 포함해 5개국이다 [5,6].²⁾

II. 주요국 지능로봇 정책 동향³⁾

1. 시장 선도국의 지능로봇 정책

가. 미국

미국은 지능로봇 관련 기술 및 시장에서의 비교우위를 기반으로 기술과 시장의 선도를 위해 기초

1) 지능로봇은 Intelligent Robotics, Smart Robotics, AI Robotics, Cognitive Robotics 등 다양한 용어로 사용되며, 우리나라에서는 “지능형 로봇”이 일반적으로 사용된다. 본 연구에서는 AI와 로봇이 결합된 특성을 강조하기 위해 ‘지능로봇’으로 부르고자 한다. 지능로봇이란 “외부 환경을 스스로 인식하고 상황을 판단하여 자율적으로 동작하는 기계장치(기계장치의 작동에 필요한 SW 포함)”를 말한다[4].

2) Mordor Intelligence의 자료에 따르면, 2023년 전체 로봇 시장 규모는 459억 달러 규모로 전망되고[5], Statista의 자료에 따르면, 세계 지능로봇(AI Robotics) 시장은 2023년 기준 150억 달러 규모이고, 이 중에서 미국 51.9억 달러, 중국 18.8억 달러, 일본과 독일이 각각 6.3억 달러 규모이다[6].

3) 지능로봇 만을 위한 별도의 정책을 가진 국가도 있지만, 대부분의 국가에서는 로봇 관련 정책에 지능로봇 관련 내용을 포함하고 있다.

연구뿐만 아니라 다양한 분야에서의 로봇 활용을 지향하고 있다.

지능로봇 관련 주요 정책으로는 「미국 로봇 로드맵(A Roadmap for US Robotics-From Internet to Robotics)」과 「국가 로보틱스 이니셔티브(NRI: National Robotics Initiative)」가 있다[7].⁴⁾

로봇 로드맵은 2009년 발표 이후 2013년, 2016년, 2020년에 개정되었으며, COVID-19와 공급망 이슈 등 변화된 환경을 반영하기 위해 2023년 4월 중간 개정판이 발표되었다.

개정된 로봇 로드맵에서 미국은 로봇공학 기초연구에 대한 지원이 지난 10년간 크게 감소함에 따라 상대적으로 적극적으로 투자하고 있는 유럽과 중국에 로봇 기술력과 활용이 뒤처질 위험이 있다고 인지하고 로봇공학에 대한 기초연구를 강화하기 위한 주요 연구과제(표 1)와 활용 분야를 제시하고 있다[8].

로봇 분야의 기초연구 과제는 지능적이고 다재다능하며 광범위한 환경과 상황에서 효과적으로 작동할 수 있는 로봇을 개발하기 위한 것으로 직업을 가진 로봇(제조부문의 협동로봇과 외골격 시스템, 건축 현

표 1 로드맵에서의 로봇 분야 주요 연구 과제

| 구분 | 주요 연구 과제 |
|------------|---|
| 인식 | 주변 세계를 정확하고 효율적으로 인식할 수 있는 로봇시스템 개발 |
| 조작 | 인간과 동일한 손재주와 정밀도로 물체를 조작할 수 있는 로봇시스템 개발 |
| 이동성 | 복잡하거나 역동적인 환경에서 빠르고 안전하며 효율적으로 움직일 수 있는 로봇 개발 |
| 학습 및 적응 | 환경에서 학습하고 새로운 상황에 적응할 수 있는 로봇 개발 |
| 인간-로봇 상호작용 | 인간과 효과적이고 안전하게 상호작용할 수 있는 로봇 개발 |

출처 Reproduced from [8].

4) 2009년 컴퓨팅 커뮤니티 컨소시엄(CCC: Computing Community Consortium)은 미국의 로봇개발을 위한 로드맵을 만들었으며, 이것이 NRI가 나오는데 핵심적인 역할을 했다 [7].

장에 활용되는 로봇 등), 환경 로봇(수중로봇, 드론, 생태관리 로봇, 농업용 로봇 등), 교육, 안전과 윤리, 자율성과 인간-로봇 상호작용, 인공지능 및 기계학습 등의 활용과 적용을 위해 필요한 전략과 지원 방안 등이 포함되어 있다.

NRI는 국립과학재단(NSF), 항공우주국(NASA), 국립보건원(NIH), 농무부(USDA)가 참여하는 범 기관 프로그램으로 2011년 창설되어, NRI 1.0(2011), NRI 2.0(2016), NRI 3.0(2021)으로 발전하였으며, 2011년부터 2021년까지 300개 이상의 프로젝트에 2.5억 달러 이상이 지원되었다[9]. NRI는 현재 종료된 상태이며, 대신에 각 기관들이 별도로 R&D를 추진하고 있는데, NSF는 로봇공학 기초연구 프로그램인 FRR(Foundation Research in Robotics), DoD는 임무형 프로그램인 ARL(Army Research Lab)⁵⁾과 ONR(Office of Naval Research)⁶⁾ 등이다[10,11].

CISE와 ENG 이사회가 공동으로 주관하는 FRR 프로그램은 상당한 수준의 계산 능력과 물리적 복잡성을 모두 보여주는 지능로봇시스템에 대한 연구를 지원한다. 지능에는 로봇이 문제를 해결하거나 상황에 맞게 적절한 결정을 내리고 이에 따라 조치를 내리도록 하는 광범위한 방법이 포함된다[12]. 바이든 정부는 FRR 프로그램을 통해 로봇시스템 전반의 R&D를 지원하고 있으며, 2023년에 13억 달러가 투입되었다[9].

또한 국가안보와 공급망 안정을 위해 정부가 확보해야 할 10대 핵심기술 분야에 로봇을 포함하여 지원하고 있는 「반도체와 과학법(CHIPS and Science Act of 2022)」이 있으며, 2022년 5월에는 미국의 3

대 로봇 클러스터인 보스톤의 매스 로보틱스(Mass Robotics), 피츠버그의 피츠버그 로보틱스 네트워크(Pittsburgh Robotics Network), 캘리포니아주의 실리콘 밸리 로보틱스(Silicon Valley Robotics)가 연합해 미국 로보틱스 클러스터 연맹(URARC)을 설립하고, 클러스터 간 협업, 로봇-AI 투자, 스타트업 지원 등을 강화하기로 하였다[13].

이 외에도 인공지능의 발전과 활용 방향성을 제시한 「미국 AI 이니셔티브」(American AI Initiative, 행정명령 13859, 2019.2.11.)와 AI의 포괄적인 발전계획과 실행방안인 「국가 AI 이니셔티브법」(National AI Initiative Act of 2020, 2020.1.3.), AI의 윤리와 안전성 관련 「AI윤리법」(AI Ethics Act, 2020), 「책임있는 AI 개발 및 활용을 위한 미국 AI 전략」(Ensuring the Future of American AI by Advancing Responsible Development, Use, and Innovation, 행정명령 14067, 2023.2.22.), 「AI 안전법」(AI Safety Act, 2023) 등도 지능로봇시스템 개발·활용의 안전성·윤리성 등과 연결되어 있다.

나. 중국

중국의 지능로봇 정책은 중앙정부 차원의 중장기 지원·육성 계획에 의해 추진되고 있는데, 초기 산업용 로봇 중심에서 서비스용 로봇 개발 및 활용으로 확대하고 있다.

기반이 되는 정책은 2015년 5월에 발표한 「중국 제조 2025(中國製造 2025)」⁷⁾이다[14]. 본 정책에서는 로봇산업을 10대 전략적 육성 산업의 하나로 선정하였으며, 이를 구체화하기 위해 2016년 4월 「로봇 산업발전계획(2016~2020)」⁸⁾을 발표하였다. 본 계획은 ① 주요 로봇 제품의 고도화, ② 로봇 핵심 부품

5) 미국 육군전투능력개발사령부(DEVCOM)의 육군연구소로 군사부문의 과제 해결을 위한 과학적 기초연구를 수행하고 있다[10].

6) 미국 해군과 해병대의 과학기술 프로그램을 협력·수행·촉진하는 기관으로 정부와 학계, 산업계가 파트너십을 통해 기초 과학 연구와 기술개발을 추진하고 있다[11].

7) 중국이 제조업 강국으로 도약하기 위해 10년 단위로 총 30년에 걸쳐 추진하는 국가전략이다[14].

8) 机器人产业发展规划(2016~2020)

표 2 로봇산업발전규획(2016~2020) 주요 내용

| 구분 | 주요 내용 |
|------------------|--|
| 주요 로봇 제품의 고도화 | <ul style="list-style-type: none"> 산업용 로봇 고도화: 아크 용접로봇, 진공로봇, 완전 자율 프로그래밍된 지능형 산업용 로봇, 인간-기계 협동로봇, 양팔로봇, 견고한 AGV 등 서비스 로봇: 소방구조 로봇, 수술용 로봇, 지능형 공공서비스 로봇, 지능형 간호로봇 등 |
| 로봇 핵심 부품의 개발 본격화 | <ul style="list-style-type: none"> 고정밀 감속기, 고성능 로봇을 위한 특수 서보 모터 및 드라이브, 고속 및 고성능 컨트롤러, 엔드 이펙터 등 |
| 산업 혁신 역량 강화 | <ul style="list-style-type: none"> 공동핵심기술 연구 강화, 로봇 혁신 플랫폼 구축(로봇 혁신센터 등), 로봇표준체계 구축 강화, 로봇 시험 및 인증시스템 구축(국립 로봇시험평가센터 등) 등 |
| 로봇 응용/시연 강화 | <ul style="list-style-type: none"> 산업응용 시범 프로젝트 실행 서비스 분야에의 로봇 진흥 및 적용 산업용 로봇, 서비스 로봇 등의 모델 개발 등 |
| 선도기업 육성 | <ul style="list-style-type: none"> 산업 밸류체인인 수평/수직 통합 인터넷 기업과 기존 로봇 기업의 통합 지원 등 시장 경쟁력을 갖춘 선도 기업 육성 |

출처 Reproduced from [15].

2021년 12월에는 2016년에 발표한 로봇산업발전규획(2016~2020)이 목표를 달성하였고, 새로운 시대에 맞는 로봇산업 혁신 전략이 필요하다는 판단하에 「“14.5” 로봇산업발전규획⁹⁾」을 발표하였다. 동 규획은 2025년 중국의 글로벌 로봇기술 혁신과 첨단 제조업의 발전을 목표로 표 3과 같은 정책을 추진하고 있다. 핵심기술 개발(공통기술, 프론티어 기술 등)과 첨단제품 공급 확대를 통해 지능로봇 관련 기술 향상과 산업 및 사회에의 활용 확대를 도모하고 있다(표 3)[16].

2022년에는 「14차 5개년 계획 국가 핵심 R&D 계획 ‘지능형 로봇’ 핵심 특별프로젝트 2022」를 통해 표 4와 같은 R&D를 개시하였으며[17], 이에 대해 총 4,350만 달러를 투입하였다[9].

2023년 2월에는 공업정보화부 등 17개 부처가 2025년까지 제조업 로봇 밀도를 2020년(246대)보다

9) “十四五”机器人产业发展规划(2021~2035)

표 3 14.5 로봇산업발전규획 주요 내용

| 구분 | 주요 내용 |
|-------------------------|--|
| 산업 혁신 역량 강화를 위한 핵심 기술개발 | <ul style="list-style-type: none"> 핵심공통기술 개발: 로봇시스템, 로봇 모듈화 및 재구성, 로봇 운영체제, 로봇 경량 설계, 정보인식 및 항법, 다중 작업 계획 및 지능형 제어, 인간-기계 대화형 및 자율 프로그래밍, 로봇 클라우드 엣지 엔드, 로봇 안전 및 신뢰성, 빠른 속도 보정 및 정밀 유지관리, 다중 로봇 협동 운전, 로봇 자가진단 관련 기술 등 프론티어 기술: 로봇 생체인식 및 인지, 전자 피부, 로봇 생체역학 융합, 인간-기계 상호작용, 감정인식, 스킬 학습·개발·진화, 소재 구조 및 기능 집적, 마이크로 나노 운용, 소프트 로봇, 로봇 클러스터 관련 기술 등 |
| 산업 발전기반 마련 | <ul style="list-style-type: none"> 로봇 핵심 부품의 기능, 성능, 신뢰성 향상을 위한 산학연 공동연구 추진 표준체계 구축 강화: 국가기술표준혁신거점 활용 국가로봇표준화기구 신설 테스트 및 인증기능 향상: 기업의 테스트 및 검증 기능 강화로 제품의 품질 및 신뢰성 향상, 국가 로봇 인증시스템 구축 추진 |
| 첨단 제품 공급 확대 | <ul style="list-style-type: none"> 산업용 로봇: 용접로봇, 진공로봇, 토목 폭발물 생산로봇, 물류로봇, 협동로봇, 이동형 조작 로봇 등 서비스 로봇: 농업용 로봇, 채굴 로봇, 건설로봇, 의료 재활로봇, 노인 돌봄 및 장애 보조로봇, 가정용 서비스 로봇, 공공서비스 로봇 등 특수로봇: 수중로봇, 보안로봇, 환경작업로봇, 건강 및 전염병 예방 로봇 등 |
| 응용 범위 확대 | <ul style="list-style-type: none"> 공공 기술 서비스 플랫폼의 테스트 및 검증 역량 강화 로봇 응용 홍보플랫폼 구축·지원 로봇 응용 시나리오 개발, 제품 시연 및 홍보 촉진 의료, 노인 간호, 전력, 광업, 건설 등의 분야에서 로봇 접근 표준 제정, 제품 인증과 등록 가속화 기업의 제품시험센터 설립 장려 새로운 임대서비스 플랫폼 구축 등 |
| 산업 조직 구조의 최적화 | <ul style="list-style-type: none"> 우수 기업 육성·확대 강력하고 안정적인 연계 촉진: 핵심 부품과 완성품의 취약한 연결고리 강화 국제 산업안전 협력 강화 및 로봇 산업망과 공급망 다각화: 로봇 우수 클러스터 조성 및 차별화된 클러스터 브랜드 육성 등 |

출처 Reproduced from [16].

2배 늘리는 것을 목표로 하는 「로봇+활용방안¹⁰⁾」을 발표하였다. 동 방안에서는 제조업 부문은 용접, 조립, 도장, 운송, 연마 관련 로봇 제품의 연구개발과 활용을, 비즈니스와 물류 부문은 로봇 기업이 배송 토탈솔루션을 개발하도록 독려하고 로봇 배송의 보급을 촉진할 것을 강조했으며, 특히 5G, 머신비전,

10) “机器人+”应用行动实施方案

표 4 14.5 국가 핵심 R&D 계획 ‘지능형 로봇’

핵심 프로젝트 2022 주요 내용

| 구분 | 주요 내용 |
|----------------------|--|
| 첨단 기반 기술 분야 | <ul style="list-style-type: none"> 로봇 구조-기능-성능 통합 설계 이론 제어 가능한 크로스미디어 활력 융합 로봇 생체역학적 및 전기적 시스템의 상호작용 제어 및 행동 융합 연구 다중 로봇 협업 글로벌 센싱 기술 로봇 기술 학습 및 지능 개발 복잡한 환경에서 이동성이 뛰어난 바퀴달린 생체 공학 로봇 신개념 로봇시스템 창출 등 |
| 공통 핵심 기술 분야 | <ul style="list-style-type: none"> 로봇 핵심 부품 성능 개선 및 적용 다관절 산업용 로봇의 성능 최적화 및 적용 산업용 로봇 공정 응용통합개발 플랫폼 산업용 로봇을 위한 지능형 운영체제 등 |
| 산업용 로봇 | <ul style="list-style-type: none"> 고속철도 차체 도장 전공정 로봇 자동화 생산라인 및 응용 실증 파워 배터리 팩 멀티 로봇 유연 통합제조시스템 및 응용 시연 등 |
| 서비스 로봇 | <ul style="list-style-type: none"> 척추, 폐 등 연조직, 뇌신경 등 관련 수술로봇시스템 개발 한의학 지능형 침술로봇 기술 및 시스템 개발 중증 후천성 허약 환자 재활을 위한 로봇 기술 및 시스템 개발 거동이 불편한 노인의 배변능력 향상 훈련 및 청소관리 로봇 시스템 개발 단일 포트 심장 수술 로봇 기술 및 시스템 개발 등 |
| 특수 로봇 | <ul style="list-style-type: none"> 대형 수력발전소 댐 수중 지능형 결함탐지 로봇시스템 개발 Mini LED 대량 이송을 위한 고속로봇 핵심기술 및 응용 시연 등 |

출처 Reproduced from [17].

내비게이션, 센서, 모션제어, 머신러닝, 빅데이터 기술의 융합과 활용을 촉구했다. 이 외에도 농업, 에너지, 의료와 보건 분야에의 로봇 활용을 적극적으로 추진하도록 하였다[18].

다. 일본

일찍부터 로봇의 가능성에 주목해 온 일본은 로봇 대국으로 자리매김해 왔었다. 일본의 로봇 관련 경쟁력은 산업용 로봇을 시작으로 서비스 로봇과 로봇을 구성하는 주요 부품(감속기, 서보 모터, 힘센서 등)에 이르렀다.

그러나 일본은 저출산 고령화, 생산 연령인구의

감소, 빈번한 자연재해, 사회인프라의 노후화 등 해결해야 하는 과제가 산적해 있는 가운데, 미국과 유럽에서는 지능로봇에 대한 기초연구와 활용을 강화하고 있고, 중국은 산업용 로봇 보급을 적극적으로 추진하면서 성장률과 시장 규모에 있어 일본을 추월하는 상황에 직면했다.

한편 로봇은 기술혁신과 비즈니스 모델의 발전에 힘입어, 스스로 학습하고 행동하는 로봇(자율성 향상), 데이터에 의한 제어 중심에서 새로운 정보단말로의 활용, 로봇의 네트워크화 등으로 진화하게 되었다. 이에 일본은 로봇을 둘러싼 세계적인 흐름과 일본이 가진 과제를 해결하는데 로봇 기술과 로봇 활용 시스템의 혁신이 필요하다고 판단하고, 2015년 2월 「로봇 신전략: 비전·전략·액션 플랜」(일본 경제재생본부)을 수립해 2020년까지 로봇혁명¹¹⁾을 이루고자 하였으며(표 5)[20], 이를 위해 2020년까지 1,000억 엔 이상을 투자하였다[9].

이 외에도 2019년 7월 내각부, 후생노동성, 문부 과학성, 경제산업성이 합동으로 ‘로봇에 의한 사회변혁추진회의’를 개최해 「로봇을 둘러싼 환경변화와 향후의 시책 방향성~로봇에 의한 사회변혁 추진 계획」을 발표하였다. 본 계획은 로봇의 사회적 활용 확대를 기본 방향으로 정하고, ① 로봇의 공통기능을 추출, 공통기능과 협조영역에 대한 규격화와 연구개발, ② 안정성의 검토와 이용자 리터러시 향상, ③ 중장기적인 연구개발과 인재육성 등을 추진전략으로 제시하였으며, 중장기적인 지능로봇 관련 연구개발 주제로는 ① 지능화에 의한 기계의 가치 향상과 무인화, ② 일본의 강점 영역인 공작기계 등에 데이터 수집·분석과 AI 기술 활용 등을 언급하고

11) 로봇혁명의 3가지 방향성은 일본을 ① 세계의 로봇이니셔티브 거점으로, ② 세계 제일의 로봇 활용 사회, ③ IoT 시대의 로봇으로 세계를 선도(IT와 융합해 빅데이터, 네트워크, 인공지능을 잘 다루는 로봇으로)하는 것이다[19].

표 5 로봇 신전략의 로봇혁명 실현 전략

| 전략 | 주요 내용 |
|-------------------|---|
| 로봇혁명 이니셔티브 협의회 설립 | <ul style="list-style-type: none"> • 니즈(Needs)와 시즈(Seeds)의 매칭, Best Practice의 공유와 보급, 국제 프로젝트, 정부 연구개발기관 등의 활용, 시니어 인재의 활용, 국제표준, 데이터 보안 등 대응 |
| 차세대를 위한 기술 개발 | <ul style="list-style-type: none"> • 산업과 사회에 크게 영향을 미칠 주요 요소기술(인공지능, 센서, 인식 시스템, 기구·구동(액추에이터) 및 제어시스템 등의 핵심 기술과 기반기술) 연구개발 • 기술 간 협력 및 정보공유, 기술 간 경쟁 촉진, 오픈 이노베이션 등 도입 |
| 표준화, 실증 필드 정비 등 | <ul style="list-style-type: none"> • 글로벌 활용을 위한 국제표준화 대응 • 로봇의 개발·활용을 위한 실증실험 필드 정비 • 로봇 관련 인재의 육성 • 2020년 로봇 올림픽 개최 |
| 로봇 관련 규제개혁 추진 | <ul style="list-style-type: none"> • 로봇 활용을 지원하는 새로운 전파이용시스템 정비 • 신규 의료기기의 승인심사 신속화 • 介護 관련자 제도 개선: 개호보혜대상기기 추가 절차 관련 • 탑승형 이동지원 로봇의 공도 주행 • 무인비행 로봇을 위한 규칙 제정 등 |

출처 Reproduced from [19].

있다[20].

2022년 5월 제정된 「경제안전보장추진법」에서는 일본 정부의 안전보장 추진을 위한 특정중요물자의 안정적인 확보를 위해 선정한 ‘특정중요물자’에 “공작기계 및 산업용 로봇”이 포함되어 있으며, ① 제어 관련 기기의 국내 생산능력 강화(공장 신설, 생산라인 확대)를 통해 2030년까지 공작기계 연 11만 대, 산업용 로봇 연 35만대 생산 달성, ② 제어 관련 기기의 연구개발을 지원하고 있다[21].

R&D 측면에서는 2020년부터 경제산업성 산하 NEDO를 통해 로봇 분야의 기초 및 활용연구인 「혁신적 로봇연구개발 기반구축사업」이 추진되고 있다. 동 사업은 ① 범용동작계획기술, ② 핸들링 관련 기술, ③ 원격제어기술, ④ 로봇신소재기술, ⑤ 자동배송로봇에 의한 배송서비스 실현을 목표로 하고 있으며, 궁극적으로는 로봇의 소형화·경량화·저전력화를 통해 다품종 소량생산 현장과 배송사업을 시작으로 로봇의 미활용 영역에도 대응 가능한 로

봇을 실현하는 데 있다. 동 사업을 위해 2020년부터 2024년까지 총 26.7억 엔이 투입된다[22].

또한 2019년부터 「문샷형 연구개발제도(Moon-Shot Research & Development Program)」가 추진되고 있다. 이 제도는 일본을 기점으로 한 파괴적 혁신 창출을 목적으로 담대한 발상에 근거한 도전적인 R&D를 추진하기 위한 일본 정부의 대형 연구프로그램으로[23],¹²⁾ 저출산·고령화, 대규모 자연재해, 지구온난화 등 다양한 과제의 해결에 과학기술을 활용하고자 하는 것이다. 2024년 3월 현재까지 선정한 총 10가지 목표 중 로봇 분야는 ‘목표 3’에 해당하며, 2020년 1월 ‘종합과학기술이노베이션회의’에서 결정되었다. “2050년까지 AI와 로봇의 공진화에 의해 스스로 학습·행동해 인간과 공생하는 AI로봇을 실현”하는 것을 목표로 하고 있으며, 현재까지 결정된 R&D는 표 6과 같다[24]. 문샷 연구개발사업을 위한 기금은 2018년부터 2023년까지 총 2,090억 엔 규모가 조성되었으며, 로봇분야를 담당하고 있는 문부과학성 산하 JST에서 관리하는 기금은 1,587억 엔 규모이다[25].

라. 독일

독일은 2006년부터 범정부 차원에서 첨단하이테크전략(HTS: High-Tech Strategy)을 준비해 왔으며, 연방교육연구부(BMBF) 주도하에 2010년 「HTS 2020」을 발표한 바 있다.¹³⁾ 2018년 9월에는 2025년까지 연간 GDP의 3.5%를 R&D에 투자하는 것을 목표로

12) 내각부와 수상관저 주관으로 문부과학성, 경제산업성, 농림수산성, 후생노동성 등이 참여하고 있으며, 각 부처의 산하 연구추진기구(JST, NEDO, BRAIN, AMED)에서 사업을 관리하고 있다. 로봇 분야인 “목표 3”은 문부과학성 산하 JST에서 담당하고 있다[24].

13) 이 전략은 전 지구적으로 대응할 필요가 있는 기후보호 및 에너지, 보건 및 영향, 이동성, 커뮤니케이션, 보안 등 5개 영역에서 총 11개의 과학기술 개발, 우선 추진 과제를 설정하였다[19].

표 6 로봇 관련 MoonShot R&D 추진 현황

| 구분 | 프로젝트 명 |
|----------|---|
| 2020년 채택 | <ul style="list-style-type: none"> 1인 1대, 일생을 함께하는 스마트 로봇 다양한 환경에 적응해 인프라 구축을 혁신하는 협동 시로봇 인간과 시로봇의 창조적 공진화에 의한 과학개척 활력있는 사회를 만드는 適應自在 시로봇群 |
| 2022년 채택 | <ul style="list-style-type: none"> 시로봇에 의해 개척하는 새로운 (우주) 생명권 인간과 융화해 지식을 창조·초월하는 시로봇 앞으로의 미래를 함께 생각하고 행동을 촉진하는 시로봇 미지의 답이 없는 영역에서의 거점 건축을 위한 집단공유지능을 가진 진화형 로봇群 주체적인 행동변화를 촉진하는 Awareness 시로봇 시스템 개발 인간·시로봇·생물 사이보그의 공진화에 의한 새로운 영감의 세계 달표면 탐사/거점 구축을 위한 자기재생형 시로봇 |

출처 Reproduced from [26].

하는 제4차 하이테크 전략(HTS 2025)이 발표되었으며, 주요 내용은 표 7과 같다[27].

2020년에는 HTS 2025 미션의 일환으로 ‘인간을 위한 기술 형성’을 모토로 로보틱스 기술의 혁신을 위한 R&D 프로그램을 시작하였다.

주요 R&D 프로그램 중 간호용 로봇시스템, 인간-기계 상호작용 기술, 중소기업 혁신 등의 주요 내용은 표 8과 같으며, 이를 위해 약 3,000만 달러 이상의 예산을 투입하고 있다[27,28].

이 외에도 BMBF는 2023년 11월에 「로봇 R&D를 위한 실행계획(Aktionsplan Robotikforschung)」을 수립하였다. 본 실행계획에서는 시급한 조치가 필요한 4대 실행 분야로 ① 기반기술 혁신 활용, ② 연구 네트워크, ③ 전문인력 육성, ④ 응용 분야 개발을 제시하고 있으며, 독일의 로봇 연구 역량 네트워크화 및 인재양성 등을 위해 연간 4,000만 유로를 출연할 계획이라고 밝혔다[9,29].

2. 우리나라의 지능로봇 정책

우리나라는 첨단기술의 융합체인 지능형 로봇에

표 7 HTS 2025의 로봇 관련 전략

| 구분 | 주요 내용 |
|-------------|--|
| 핵심 목표 | <ul style="list-style-type: none"> 인공지능 기반 로봇 기술 개발 및 상용화 인간-로봇 협업 환경 구축 로봇 산업 생태계 강화 |
| 주요 전략 | <ul style="list-style-type: none"> 로봇 R&D 투자 확대: 2025년까지 연간 10억 유로 목표 로봇 관련 규제 완화 및 표준화 추진 인간-로봇 협업을 위한 안전 및 윤리 가이드라인 개발 로봇 인력 양성 및 교육 프로그램 강화 |
| 주요 기술 개발 분야 | <ul style="list-style-type: none"> 인공지능 기반 로봇제어 기술: 로봇의 자율성, 지능, 적응성 향상을 위한 딥러닝, 컴퓨터 비전, 강화학습 등 인간-로봇 협업 기술: 인간과 로봇의 효율적인 협업을 위한 안전 인터페이스, 작업공간 공유, 협업 알고리즘 로봇 응용 기술 분야: 스마트 제조, 의료로봇, 농업로봇, 서비스 로봇 등 |

출처 Reproduced from [27].

표 8 HTS 2025 로봇 관련 주요 R&D 추진 현황

| 구분 | 주요 내용 |
|---------------|--|
| 간호용 로봇 분야 | <ul style="list-style-type: none"> AdaMekoR: 무릎 질환 진단 예방 및 재활을 위한 적응형 로봇 개발 ArNe: 신경근 질환자를 위한 치료용 보조 로봇 개발 HoLLiECares: 전문적인 의료행위를 지원하는 다기능 서비스 로봇 개발 MobiStaR: 중환자 이동 지원 MORPHIA: 홈케어 돌봄 및 보안용 이동보조 로봇 개발 PeTRA: 환자 이송 시스템을 위한 다기능 로봇 기반 지원 솔루션 개발 RUBY: 치매 환자의 재택 간호 지원을 위한 인간-로봇 상호작용 기술 개발 |
| 인간-기계 상호작용 분야 | <ul style="list-style-type: none"> DOF adaptive: 심층 신경망을 사용한 보조 양팔 로봇 개발 MINIMAKI: 최소 침습 심장 판막 수술용 AI 기반 시뮬레이터 개발 Ophthalmol-AI: 지능형 협력 진단 및 치료를 위한 안과 지원 로봇 개발 KIPos: 심장 수술 환자를 위한 AI 제어 수술 후 관리 로봇 개발 |
| 중소기업 혁신 분야 | <ul style="list-style-type: none"> Dynamic HIPS: VR 햅틱 피드백을 적용한 기반 수술 훈련 시뮬레이터 개발 RobDIP: 무릎 질환의 진단 예방 및 재활을 위한 적응형 로봇 시스템 개발 MRiLS: 혼합현실 기술을 이용한 양방향 훈련용 시뮬레이션 모델 개발 VRnano: 인간의 감각과 근골격계의 상호작용 가능성을 이용한 VR 기반 시스템 개발 SAMMIE: 무인 항공기의 효과적인 충돌 예방을 위한 인간-기계 인터페이스 개발 Textile Muscle: 직물 액추에이터로 손가락 힘을 지원하는 근골격계 시스템 개발 |

출처 Reproduced from [27,28].

대해 국가가 체계적으로 연구·개발하고, 초기 시장의 창출과 보급을 확대하기 위해 2008년 3월 28일 「지능형 로봇 개발 및 보급 촉진법」을 제정해 시행하고 있으며, 이에 근거해 2009년 4월 「제1차 지능형 로봇 기본계획」과 연도별 실행계획을 수립해 왔다.

지능로봇 R&D 관련해서는 「제3차 지능형 로봇 기본계획」에서 인공지능·5G 기술과 융합된 차세대 로봇 핵심기술 개발·실증 및 상용화가 강조된 바 있으며, ① 일반 기계장비의 지능화 구현을 위한 실증 테스트베드 구축 및 기술지원('20~'24), ② 5G 기반 로봇의 제조현장 활용 지원을 위한 개방형 실증기반 구축 및 시험·인증 지원('20~'23), ③ 3대 분야(금속가공, 자동차 부품, 전기·전자) 중심 빅데이터 기반 마이스터 로봇화 기반구축('21~'25) 등이 추진되었다[30].

현재는 2024년 1월에 관계부처 합동으로 「제4차 지능형 로봇 기본계획」이 발표된 상태이다.

본 계획에서는 로봇은 산업혁신과 노동시장의 변화에 대응하는 1石3鳥의 미래산업으로 우리나라는 제조업의 로봇밀도는 세계 1위이나 핵심부품 등의 해외의존도가 높고(부품국산화율 44%), 서비스 로봇의 보급은 기대보다 낮은 상황이라고 진단하고, 2030년에 K-Robot 산업 규모를 현재보다 4배('21년 5.6조 원→'30년 20조 원+α)로 확대하는 것을 목표로 표 9와 같은 정책을 추진할 계획이다.

특히 기술 측면에서는 국내 로봇 공급망 강화를 위해 핵심부품과 SW 기술경쟁력을 확보하는 한편, 수요-공급 기업 간 기술 협업 활성화를 도모한다. 이를 위해 향후 10년간 첨단로봇 기술개발 세부과제와 일정을 담은 R&D 로드맵을 2024년 4월 중에 마련하고, 범부처 공동으로 로봇 R&D를 확대 추진할 계획이다. 이 외에도 수요-공급 기업 간 개방과 협력기반의 기술생태계 조성을 위해 산학연 등으로

표 9 지능형 로봇 추진과제와 전략

| 과제 | 추진 전략 |
|-----------------------|--|
| 로봇 3대 핵심 경쟁력 강화 | <ul style="list-style-type: none"> 8대 핵심기술 확보 <ul style="list-style-type: none"> -HW: 감속기, 서보모터, 그리퍼, 센서, 제어기 -SW: 자율이용 SW, 자율조작 SW, HRI AI·SW 등 핵심인력 15,000명 양성 로봇 전문기업 150개 육성(Robot Speciality) |
| K-Robot 시장의 글로벌 진출 확대 | <ul style="list-style-type: none"> 국내시장 창출을 위해 제조·서비스업에 '30년까지 총 100만 대 보급 해외 시장 창출을 위해 해외인증지원, ODA 연계, 국제 R&D 지원 |
| 로봇산업 친화적 인프라 구축 | <ul style="list-style-type: none"> 지능형 로봇법 전면 개편, 시장진입 규제 혁신 로봇 특화형 보험제 신설 등 안전망 체계 강화 시장진입을 위한 실증테스트 설비 신설 로봇 확산에 따른 사회적 공감대 형성 |

출처 Reproduced with permission from [9].

“첨단로봇 얼라이언스”를 구성, 업계 수요가 높은 공용·부품의 모듈화 개발과 공동구매·물류 등을 추진하고, 로봇 기술 분야 선도국과 구체적인 공동 기술 수요에 기반한 공동 R&D 프로젝트를 발굴 추진하기로 하였다.

정부는 지능로봇 R&D를 위해 2023년에 약 1,800억 원의 예산을 투입하였으며, 2024년에는 클라우드-엣지-디바이스 구조를 기반으로 복합작업 수행을 위한 SW플랫폼, AI 등 기술개발을 위해 「복합지능 자율행동체 SW핵심기술개발(2024~2027)」 사업에 약 30억 원, 글로벌 R&D를 위해 약 70억 원의 예산을 투입할 계획이다[9].

이 외에도 2022년 10월에 발표한 「국가전략기술 육성방안」의 12대 국가전략기술 필수기반 영역에 첨단로봇·제조(지능로봇 포함)이 포함되어 있다. 이에 따르면, 첨단로봇·제조분야는 단기(5년 이내)적으로는 ① 센서·구동 모듈 등 핵심부품과 SW의 자립도 향상, ② 고성장 분야(물류와 제조)의 생태계 확충 및 규제개선을 추진하고, 장기(5~10년)적으로는 ① 인간 수준 로봇핸드 등 고난도 자율조작·이동난제 도전, ② 인간 상호작용·협업 등 AI-로봇 융합기술 고도화를 추진하고 있다[31]. 정부는 국가전

략기술 육성을 지원하기 위해 2023년 3월에 「국가 전략기술 육성에 관한 특별법」도 제정하였다.

3. 주요국 지능로봇 정책의 특징

지금까지 살펴본 주요 국가의 지능로봇 정책 추진에서 나타나는 공통적인 특징은 다음과 같다.

첫째, 정부 주도적으로 산업진흥 정책을 수립하고 추진한다. 미국의 ‘로봇 로드맵’, 중국의 ‘로봇산업발전규칙’, 일본의 ‘로봇 신전략’, 독일의 ‘하이테크전략’, 한국의 ‘지능로봇 기본계획’ 등은 정부가 지능로봇을 포함한 로봇산업의 발전, 기술력 확보, 다양한 분야에의 로봇의 활용을 위해 추진하는 기본 정책이다.

둘째, R&D에 있어서는 핵심기술의 확보를 공통적으로 추진하고 있으며, AI, 센서, 빅데이터 등을 통해 로봇제품의 고도화를 모색하고 있다. 최근에는 “AI로봇”이라는 용어가 주요 정책에 자주 등장하고 있으며, R&D에 있어서도 큰 축이 되고 있다.

셋째, 지능로봇을 위한 독립된 R&D 프로그램이 등장하고 있으며, 이에 대해 많은 정부 예산이 투입되고 있다.

넷째, 로봇의 개발에서는 ‘인간 중심적 로봇’을 지향한다. 주요국은 인간을 대체하는 로봇이 아닌, 인간과 협업하고 상호작용하며 인간의 삶에 도움을 주는 방향으로 로봇을 개발하고 있다. 이에 따라 산업용 로봇에서는 협동로봇, 서비스용 로봇에서는 수술로봇과 간호·돌봄로봇 등에 대한 지능시스템의 개발뿐만 아니라 활용도 확대하고 있다.

다섯째, 로봇의 안전한 활용을 위해 윤리성, 신뢰성, 안정성을 확보하기 위한 법률과 제도를 준비해 가고 있다. 이는 인공지능 기술의 진보와 활용이 확대되면서 주목을 받는 영역으로서 로봇의 활용에도 적용되고 있다. 향후 지능로봇의 발전과 함께 로봇

기술 개발 및 활용에 있어서의 안전성과 윤리성, 신뢰성 문제는 지속적으로 논의될 것으로 보인다.

III. 결론 및 시사점

우리나라 지능로봇 정책은 시장을 선도하고 있는 주요국과 같은 맥락에서 추진되고 있다. 다만 조사·분석한 5개국 중에서 ‘지능로봇’에 대한 독자적인 기본계획을 수립하고 있는 것은 5개국 중 우리나라가 유일하다.

따라서 새로운 정책을 추가로 만들기보다는 현재 만들어져 있는 정책의 우선순위를 정해 효율적으로 집행하고 기존의 제도를 보완·개선해 나가는 노력이 필요할 것으로 생각한다.

이에 ETRI에서는 전문가를 대상으로 한 AHP 설문 설계를 하여¹⁴⁾ 우리나라 지능로봇 정책의 우선순위를 표 10과 같이 도출해 보았다.

조사 결과에 따르면, 대분류(1계층)에서는 로봇산업 진흥 정책 시행이 안전 및 피해 방지, 규제완화와 법제화보다 우선순위가 높았으며, 로봇산업진흥정책(중분류, 2계층) 중에서는 연구개발이, 연구개발 중에서는 고위험·고성과 혁신 프로젝트 지원이 우선순위가 높았다.

또한, 2순위로 도출된 안전 및 피해방지 분야에서는 ‘안정성 및 안정성 검사 도입’이, 3순위로 도출된 규제완화 및 법제화에서는 ‘서비스 로봇 활용 관련 규제 완화’가 우선순위가 높았다.

이러한 정책의 우선순위를 기초로 체계적이고 효율적으로 지능로봇 정책을 집행한다면, 우리나라 지능로봇 기술의 경쟁력 향상과 산업 발전을 도모할 것으로 생각한다.

14) 본 조사는 2023년 10월 ETRI ICT전략연구소와 한양대학교 BIS Lab이 실시하였으며, 본 연구에서는 조사 결과만 소개하고자 한다.

표 10 지능로봇 정책의 우선순위

| 1 계층 | 순위 | 2 계층 | 순위 | 3 계층 | 순위 | |
|----------------------|-----|------------------|----|-------------------------|--------------------------------|----------------------|
| 로봇 산업 진흥 정책 시행 | 1 | 로봇산업 로드맵 수립 | 4 | 로봇틱스 기술 연구 로드맵 수립 | 1 | |
| | | | | 인프라 확충을 위한 중장기 계획 수립 | 3 | |
| | | | | 생태계 강화를 위한 중장기 계획 수립 | 2 | |
| | | 연구 개발 지원 | 1 | 제조 및 서비스 분야별 로봇 개발 지원 | 제조 및 서비스 분야별 로봇 개발 지원 | 3 |
| | | | | | 기반 기술 연구 및 개발 지원 | 2 |
| | | | | | 로봇 부품 개선 및 개발 지원 | 4 |
| | | | | | 고위험·고성과 혁신 프로젝트 지원 | 1 |
| | | 인프라 확충 | 3 | 지역 로봇산업 클러스터 조성 | 지역 로봇산업 클러스터 조성 | 3 |
| | | | | | 로봇 시스템 통합 및 표준화 | 1 |
| | | | | | 로봇 기술 테스트베드 구축 | 2 |
| | | 생태계 강화 | 2 | 학연산파트너십 체결 및 교류 지원 | 학연산파트너십 체결 및 교류 지원 | 3 |
| | | | | | 로봇 운용 관련 훈련 및 교육 프로그램 도입 | 2 |
| | | | | | 지적재산권 보호 강화 | 4 |
| | | | | | 규제 개혁을 통한 친산업적 환경 조성 | 1 |
| | | 안전 및 피해 방지 규정 수립 | 2 | 안전규정 신설 | 1 | 로봇산업 표준 규정 및 인증체계 수립 |
| 안전성 및 안정성 검사 도입 | 1 | | | | | |
| 로봇 등록제 실시 | 4 | | | | | |
| 데이터 보호 및 처리 관련 규정 도입 | 2 | | | | | |
| 피해방지 및 복구 규정 신설 | 2 | | 2 | 로봇 관련 손해보상사업 규정 신설 | 1 | |
| | | | | 로봇 관련 의무 및 책임 규정 신설 | 3 | |
| | | | | 비상시를 위한 킬스위치 탑재 규정 신설 | 2 | |
| 규제 완화 및 법제화 | 3 | 규제 완화 | 1 | 산업용 로봇 설치 및 운용 관련 규제 완화 | 2 | |
| | | | | 서비스 로봇 활용 관련 규제 완화 | 1 | |
| | | | | 드론비행 규제 완화 | 3 | |
| | 법제화 | 2 | 2 | 2 | 자율주행차량의 도로 주행 관련 근거조항 마련 | 2 |
| | | | | | 실외이동로봇의 보도 이용 관련 근거조항 마련 | 1 |
| | | | | | 국방 등 특수 분야 로봇 도입 및 운용의 근거조항 마련 | 3 |

약어 정리

| | |
|------|---|
| CISE | Computer and Information Science and Engineering |
| ENG | Directorate for Engineering |
| JST | Japan Science and Technology Agency |
| NASA | National Aeronautics and Space Administration |
| NEDO | New Energy and Industrial Technology Development Organization |
| NIH | National Institute of Health |
| NSF | National Science Foundation |
| USDA | United States Department of Agriculture |

참고문헌

- [1] 로봇신문, “中 테크노, MWC 2024에서 4족 보행 로봇 ‘다이나믹1’ 공개,” 2024. 2. 28.
- [2] 한국경제, “투명 노트북·춤추는 로봇 개…中, MWC ‘신기술 폭격,’” 2024. 2. 27.
- [3] 파이낸셜 뉴스, “기본 대화에 윈크까지 휴모노이드 AI 로봇 등장,” 2024. 3. 4.
- [4] 국가법령정보센터, 지능형 로봇 개발 및 보급 촉진법 제2조 (정의) 제1항.
- [5] KIAT, “글로벌 로봇산업 지향 변화 및 국내 정책 대응 방향,” 글로벌 이슈 특집, 2023-01, 2023. 10, p. 6.
- [6] <https://www.statista.com/outline/tmo/artificial-intelligence/ai-robotics/worldwide>
- [7] <https://cra.org/cra/visioning/robotics-roadmap/>
- [8] H.I. Christensen et al., Mid-cycle Update to the US National Robotics Roadmap, 2023. 4. 2.
- [9] 관계부처합동, “제4차 지능형로봇 기본계획,” 2024. 1.
- [10] <https://arl.devcom.army.mil/what-we-do/>
- [11] <https://www.nre.navy.mil/>
- [12] <https://new.nsf.gov/funding/opportunities/foundational-research-robotics-frr>
- [13] 로봇신문, “세계 최강 미 로봇 3개 클러스터 연방 ‘USARC’ 창설,” 2022. 5. 6.
- [14] 대외경제정책연구원 신흥지역정보종합지식포탈(EMERiCs), “중국 로봇산업,” 2019. 10. 16.
- [15] 产业协调司, 机器人产业发展规划(2016~2020) 发布, https://www.ndrc.gov.cn/fgsj/tjsj/cy/fz/zzyfz/201604/t20160427_1149839.html
- [16] “十四五” 机器人产业发展规划(2021~2035), 2021. 12. <https://www.gov.cn/zhengce/zhengceku/2021-12/28/5664988/files/7cee5d915efa463ab9e7be82228759fb.pdf>

- [17] “十四五”国家重点研发计划“智能机器人”重点专项2022年度项目申报指南. https://kjc.just.edu.cn/_upload/article/files/7a/9c/b11a7a1945c3a2471b8c80ed0340/8483f177-503d-4fe1-b3f9-07875c05dbc0.pdf
- [18] 대외경제정책연구원, 중국전문가포럼(CSF), “中 로봇산업 발전을 위한 ‘로봇 플러스’ 정책 내놔,” 2023. 2. 2.
- [19] 日本經濟再生本部, “ロボット新戦略,” 2015. 2. 10.
- [20] 로봇에 의한 사회변혁추진회의, “로봇을 둘러싼 환경변화와 향후의 시책 방향성: 로봇에 의한 사회변혁추진계획,” 2019. 7.
- [21] 최정환, “일본의 경제안전보장추진법을 통한 특정중요물자 선정 현황 및 시사점,” KIET 월간 산업경제, 2023. 1. 31.
- [22] NEDO, “혁신적 로봇연구개발 기반구축 사업 2024년도 실시 방침,” 2024.
- [23] 위키백과, <https://ko.wikipedia.org/>
- [24] <https://www8.cao.go.jp/cstp/moonshot/index.html>
- [25] 내각부 정책총괄관, “문샷형연구개발제도 및 전략추진회의, 전략추진회의 회의자료,” 2023. 11. 9.
- [26] <https://www.jst.go.jp/moonshot/program/goal3/index.html#pm-list>
- [27] The Federal Government, “Federal government report on the high-tech strategy 2025,” 2021. 6.
- [28] <https://robotik.dfki-bremen.de/en/research/projects>
- [29] KIAT, “독일 로봇연구 실행계획 발표,” 산업기술 동향 위치, 2023-23호, 2023. 12.
- [30] 산업통상자원부, “2022 지능형 로봇 실행계획,” 2022. 3. 7.
- [31] 과학기술정보통신부 보도자료, “12대 국가전략기술, 대한민국 기술주권 책임진다,” 2022. 10. 28.