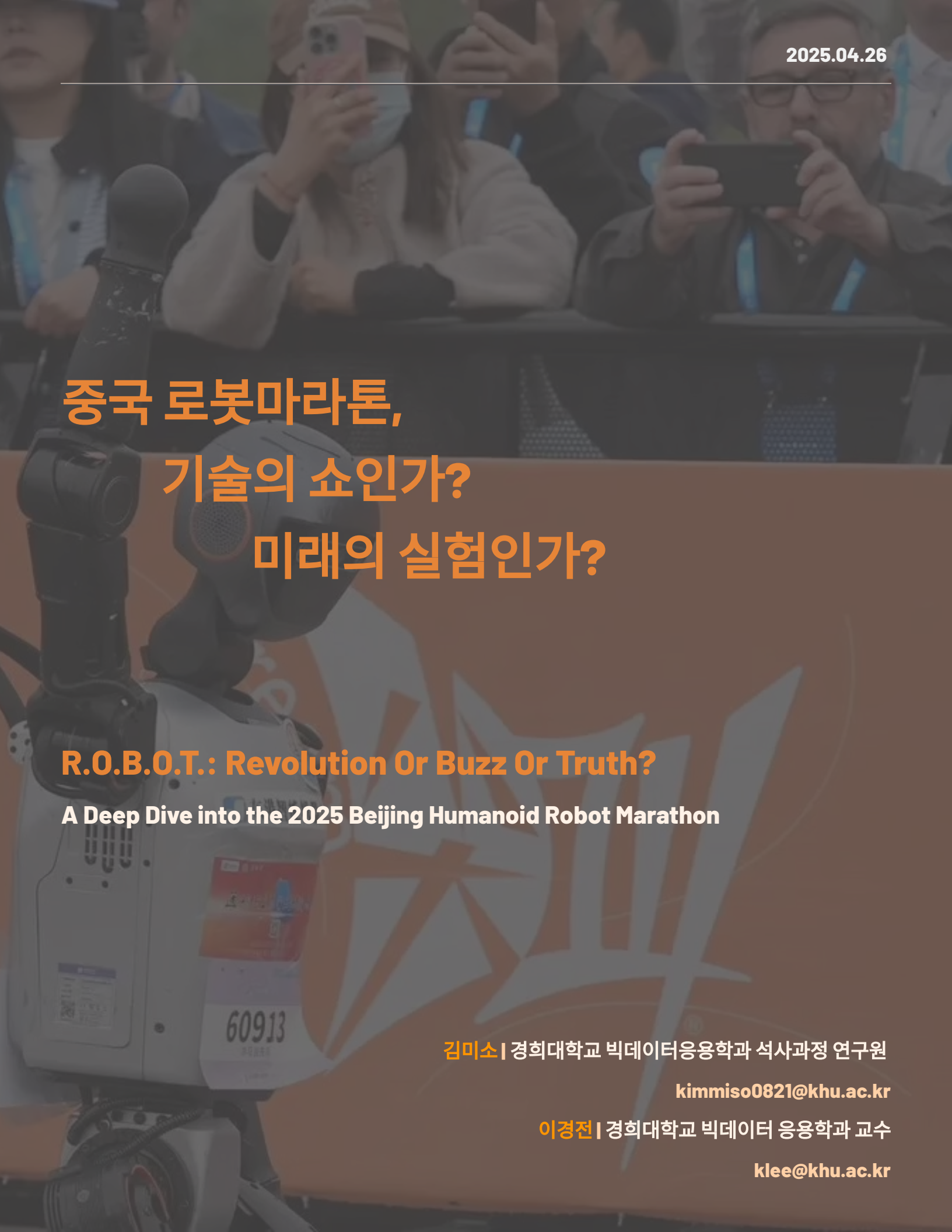
2025.04.26



중국 로봇마라톤, 기술의 쇼인가? 미래의 실험인가?

R.O.B.O.T.: Revolution Or Buzz Or Truth?

A Deep Dive into the 2025 Beijing Humanoid Robot Marathon

김미소 | 경희대학교 빅데이터응용학과 석사과정 연구원

kimmiso0821@khu.ac.kr

이경전 | 경희대학교 빅데이터 응용학과 교수

klee@khu.ac.kr

Table of Contents

프롤로그

Prologue

Part 1. 도입: 바이럴과 현실 사이

Introduction: Between Viral Sensation and Reality

Part 2. 대회 개요

Event Overview

Part 3. 휴머노이드 로봇 기술 원리 및 한계

Technology Principles & Limitations

Part 4. 휴머노이드 로봇의 신체 구조

Robot Physical Structure

Part 5. 2025 베이징 이좡 하프 마라톤 결과

Marathon Results

Part 6. 상위 입상팀 기술 분석

Top Teams Technology Analysis

Part 7. 미완주 17 팀 실패 원인 분석

Analysis of the Failure Factors Among the 17 Incomplete Teams

Part 8. 사회적 반향과 논란

Social Impact & Controversies

Part 9. 로봇 산업 정책 비교

Robot Industry Policy Comparison

프롤로그

2025년 4월, 베이징 이좡(亦庄)에서 세계 최초로 인간과 인간형 로봇이 나란히 하프마라톤을 달리는 전례 없는 사건이 펼쳐졌다. 많은 이들에게 이 대회는 단순한 신기한 볼거리, 바이럴 영상의 한 장면으로 소비되기 쉽지만, 실상은 첨단기술, 산업, 그리고 사회 전반에 걸쳐 지금 우리가 마주한 시대적 변화의 본질을 집요하게 묻는 도발적 실험이자 거대한 사회 심리 테스트였다. 기술이 인간의 무대로 진입하는 바로 그 순간, 우리는 무엇을 기대하고, 무엇을 두려워해야 하는가. 그리고 과연 기술이란 것이 현실을 어디까지 대체할 수 있으며, 혁신과 과장, 진실과 환상, 인간과 기계의 경계는 어디쯤에 그어져야 하는가.

이 보고서를 쓰는 이유는 명확하다. 단순한 대중적 화제성이나 일회성 이벤트로 이 사건을 치부하기에는, 중국이 '로봇'이라는 상징적 존재에 부여한 국가적 의미와, 마라톤이라는 극한의 공개 실험장에 투입된 기술의 현실적 한계가 결코 가볍지 않기 때문이다. 중국은 이미 춘절, 올림픽, 대규모 퍼레이드 등 전통적 국가행사를 인공지능, 로봇, 드론, 스마트시티 같은 신기술의 실전 무대로 전환하며, '기술 쇼케이스' 국가라는 이미지를 대내외에 확립해 왔다. 특히 "중국제조2025", "AI 강국", "스마트 시티" 등 굵직한 국가 전략과 긴밀하게 연동되는 로봇 산업은 중앙정부와 지방정부, 그리고 주요 도시(베이징, 상하이, 심천 등)가 모두 합심해 자본과 인재, 규제 완화까지 총동원하는 핵심 성장동력으로 자리 잡았다. 이처럼 중국의 로봇 집착은 단순한 생산성 향상이나 효율성 제고의 문제가 아니라, 국가적 자존심이 걸린 미래 사회 실험이자, 글로벌 사회를 향한 '국가 브랜드' 전략의 정수라 할 수 있다.

그렇다면 왜 '마라톤'이고, 왜 '이좡'인가. 이좡은 베이징 동남부에 위치한 대표적인 국가경제기술개발구로, 화웨이, 샤오미, 바이두, 유비테크 등 첨단 로봇·AI·스마트시티 기업과 연구기관이 대거 모여 있는, 이른바 '로봇 수도'라 불리는 곳이다. 이런 이좡에서 열린 마라톤은 단순한 경연이 아니라, 인간에게도 결코 만만치 않은 '장거리·실외·불규칙 환경·예측불가 변수'가 가득한 코스에서, 로봇이 실제로 어디까지 인간과 어깨를 나란히 할 수 있는지 공개적으로 시험한 첫 사례였다. 이 자체가 로봇 기술의 현실적 한계와 잠재력을 모두 드러내는, 이른바 '테크노 스트레스 테스트'이자 전 세계가 함께 지켜본 공개 실험이었다. 이 보고서는 바로 이러한 맥락에서 출발한다. 중국이 이 국가 차원에서 이례적인 '로봇 마라톤'을 공식 이벤트로 추진한 것은 단순한 기술 과시나 흥밋거리를 넘어, 로봇 산업이 실제로 어느 수준까지 도달했는지, 그리고 극한 상황에서 어떤 기술적 가능성과 한계가 나타나는지를 직접 검증하려는 시도였다. 이 과정에서 드러난 현장의 사실과 각종 논란, 대회가 던진 의미를 차분하게 분석하는 것이 이 보고서의 목적이다.

보고서는 이러한 맥락에서, '로봇 마라톤'이라는 구체적인 사건을 출발점으로 삼아 현장의 실제 상황과 다양한 층위의 쟁점을 차분하게 해부한다. 단순한 기술 과시를 넘어, 각 참가 로봇의 구조와 성능, 팀별 전략과 준비 과정, 그리고 운영상의 실제 문제와 돌발 변수까지 세밀하게 추적한다. 또한, 마라톤이 진행되는 동안 나타난 현장 관계자들의 대응과 조직, 예기치 못한 기술적 장애와 그에 대한 대처 등, 실질적인 기술의 현주소를 구체적으로 기록한다. 나아가, 대회를 둘러싼 미디어와 커뮤니티의 반응, 논란이 된 이슈들—예를 들어 상업용 로봇 활용의 적절성, 모델별 성능 격차, 실용성에 대한 평가, 정책적 배경에서 비롯된 다양한 해석—까지 객관적으로 분석한다.

특히 이번 대회를 둘러싼 논쟁은 단순히 중국만의 특수한 상황이 아니라, 첨단 기술의 실험이 산업적·사회적 맥락에서 어떤 함의를 갖는지, 그리고 현대 기술사회가 마주한 보편적 쟁점이 무엇인지를 드러낸다는 점에서 의미가 있다. 이 보고서는 현장 기록과 데이터, 그리고 비판적 해석을 통해 '로봇 마라톤'이 단순한 이벤트가 아니라 동시대 기술과 사회, 그리고 국가전략의 교차점에서 어떤 현실적 질문을 제기했는지 구체적으로 밝혀나간다. 이를 통해 독자가 이번 사건을 단순한 신기술 쇼로 넘기지 않고, 오늘날 기술사회가 마주한 현실과 질문을 더 명확하게 이해하는 데 실질적인 도움을 얻을 수 있기를 바란다.

part 1. 도입: 바이럴과 현실 사이

Unitree宇树의 유연성을 보여줌

출처: **Unitree Introducing | Unitree G1 Humanoid Agent | AI Avatar | Price from $16K**

자갈길을 걷는 g1

출처: **Unitree G1 Bionic: Agile Upgrade**

계단을 내려가는 g1

출처: **Unitree G1 Bionic: Agile Upgrade**

반동 준비: 엎드린 자세에서 힘을 모으는 G1

출처: **Movement creates intelligence - Unitree's G1 humanoid robot nails the world's first kip-up!**

공중 반동: 상체와 다리를 힘차게 튕겨 올리는 순간

완벽 착지: 스스로 일어서며 균형을 잡는 G1

Unitree G1의 공식 홍보 영상은, 국내외 로봇에 관심 있는 사람이라면 누구나 한 번쯤은 보았을 정도로 폭발적인 반향을 불러일으켰다. 특히 영상 속에서 보여준 유연성, 자연스러운 보행, 넘어짐 복원, 인간과 유사한 동작 등은 '중국이 인간형 로봇의 새 역사를 썼다'는 평가를 낳았다. 실제로 유튜브, Bilibili, 트위터, Zhihu 등 각종 커뮤니티에는 'AI와 하드웨어가 이만큼 발전했을 줄은 몰랐다', '진짜 미래가 왔다'는 감탄과, '이 정도면 조만간 가정용 로봇 시대가 열릴 듯하다'는 기대가 쏟아졌다. 동시에, 많은 전문가들은 '가격 대비 성능의 혁신', '중국식 산업화 전략'이라는 점을 언급하며, 향후 글로벌 로봇 시장의 판도를 바꿀 최대 변수로 G1을 주목했다.

Unitree G1의 광고 영상이 전 세계 로봇 마니아와 일반 대중 모두에게 센세이션을 일으킨 직후, **중국 로봇 업계 곳곳의 신흥 기업들도 잇달아 자사 휴머노이드 로봇의 '극한 테스트'와 '실전 훈련' 영상을 SNS 및 유튜브에 공개**하며, 대회에 대한 관심과 기대를 더욱 끌어올렸다.

Booster T1의 극한 상황 버티기

▼ 출처

> : Booster Robotics, “Extreme test. Do not imitate. Amazing! Booster T1 can do Kung Fu!” YouTube, 2023. https://youtu.be/8GDjUEC8axE

각종 충격·밀치기·고의적 낙하 등 인간이 상상할 수 있는 '극한 상황'을 버티는 로봇들의 모습이 압도적으로 연출됨. 이 영상은 "중국 기술력의 진정한 근육" "미국 보스턴다이내믹스 못지않다"는 평을 받음.

밤에도 쉬지 않는 로봇 – 실전 '마라톤' 연습 영상

▼ 출처

> : Booster Robotics, “Booster T1 in action 🚀”, YouTube, 2023. (https://youtu.be/m0rD_NCUAjI)

어둠 속 트랙 위를 달리는 여러 대의 중국 로봇들, 실제 마라톤을 앞둔 '야간 집중 훈련' 장면이 대중의 궁금증과 설렘을 한층 자극.

그러나, 실제는 기대와 달랐다.

시작하자마자 사고가 남

小红书(샤오홍슈) @牛掰先生

출발조차 못하고 퇴장

中国青年网(China Youth Net), 小红书

시작하자마자 경련이 남

中国青年网(China Youth Net), 小红书

몇 걸음 못가고 퇴장함

中国青年网(China Youth Net), 小红书

가는둥 마는둥

中国青年网(China Youth Net), 小红书

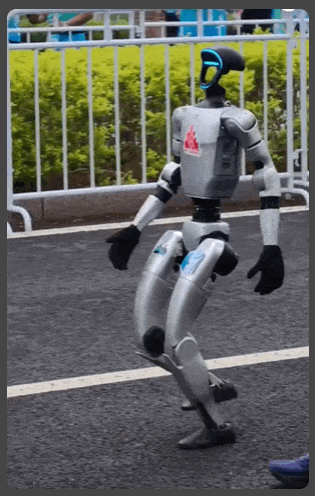
넘어지자 머리가 떨어짐

小红书(샤오홍슈) @高胜咨询何波老师

1등의 굴욕

: 小红书(샤오홍슈) @如此

술 취한 것 같은 g1



: 小红书(샤오홍슈) @莎哥大厉害

광고 영상이 그려낸 '완전자율 로봇'의 미래상은, 실제 2025년 베이징 이좡 하프마라톤 현장에서 단번에 한계에 부딪혔다. 출발선에 선 수많은 로봇 중 일부는 아예 한 발짝도 떼지 못한 채 멈춰 섰고, 몇몇은 시작과 동시에 방향을 잃거나, 엔지니어의 손에 이끌려 겨우 경기장을 빠져나갔다.

심지어 높은 기대를 받았던 유니트리(Unitree) G1조차, 광고에서 보여준 '자율기립'이나 '유연한 복원력'과 달리 실제로는 보조 인력이 따라붙어야만 움직임을 이어갈 수 있었다.

특히, 로봇들이 연이어 중심을 잃고 넘어지는 모습은 현장 곳곳에서 목격됐다.
우승을 차지한 로봇조차 결승점에 도달하기까지 여러 차례의 넘어짐과 멈춤을 반복했고, 일부 참가 로봇은 경기 도중 아예 작동을 멈춰 퇴장했다.
관객과 SNS 실시간 피드백에서는 "**로봇 하프 마라톤이 아니라 고장 난 기계들의 경연**"이라는 반응이 쏟아졌다.

사회적 반향: "감동인가, 조롱인가"

2025년 4월 베이징에서 열린 세계 최초의 휴머노이드 로봇 하프 마라톤 대회는 중국 내에서만 아니라 전 세계적으로도 뜨거운 주목을 받았다. 특히 로봇의 기술적 한계와 도전적 시도를 바라보는 시선은 각국마다 달랐다. 중국 내부에서는 웨이보, 샤오홍슈 등 SNS를 중심으로 **"완전자율은 아직 요원하다", "광고 속 미래와 현실의 차이가 너무 크다", "엔지니어가 더 많이 뛰는 마라톤이었다"** 등 비판과 자조가 이어졌다. 반면, **"고장과 넘어짐 속에서도 완주를 향한 집념이 감동적이었다", "초기 증기기관차도 마차보다 느렸지만 결국 미래가 되었다"**와 같은 긍정적 해석도 존재했다. 대회 당일 SNS에는 #天工Ultra夺冠("3회 충전하고도 우승"), #宇树G1起跑翻车("유니트리 G1, 출발 직후 '자빠짐'"), #赛博铁人无头完赛("머리 없는 로봇도 완주!")와 같은 해시태그가 실시간 검색어 상위에 오르며, "로봇 마라톤은 감동과 밈, 기술 이상과 현실 쇼가 혼재된 중국식 이벤트로 남았다"는 평이 등장했다[8][9][10].

해외의 시각도 다양했다. 미국과 유럽의 전문가들은 이 마라톤을 매우 실험적이고 대담한 이벤트로 평가했다. MIT, 워싱턴대, IEEE Spectrum 소속 연구자들은 "21대 인간형 로봇을 실제 도시 환경에 투입해 장거리 테스트를 한 것은 매우 이례적"이라고 평가했으며, 미국 오리건주립대가 개발한 이족로봇 카시(Cassie)가 2021년 5km 완전자율 주행에 성공했던 기록과 비교해 "중국의 천공 (天工) 로봇은 21km를 더 빠른 속도로 달렸다"는 점에 놀라움을 표시했다. 다만, 중국 로봇이 인간의 도움과 배터리 교체 등 '완전자율'이 아닌 부분에 대해서는 비판적 견해도 함께 제기되었다[3][1]. 유럽 전문가들은 "중국은 혁신적 실험과 대담한 쇼케이스에 강점이 있다. 반면 유럽은 안전성, 책임성, 실용성에 더 방점을 둔다"고 평가했고, 독일, 프랑스, 영국 등에서는 이번 이벤트를 "혁신과 위험 감수의 균형"으로 해석하며, 유럽의 로봇 산업 역시 경쟁력을 유지하기 위해 더욱 실험적일 필요가 있다는 반성적 논평을 내놓았다[3].

일본 주요 언론들은 중국의 기술력과 '로봇 굴기'에 주목했다. 니혼게이자이신문과 NHK 등은 "중국이 세계 로봇 패권을 노리고 있다"는 경계의 시각을 보였다. 한때 장난감 취급받던 로봇 하프 마라톤이 이제 사람 속도를 따라잡은 셈이라는 평가와 함께, 일본 역시 연구개발 투자를 확대해야 한다는 주장이 힘을 얻었다[4][6].

한국 및 아시아권에서도 관심과 경계가 동시에 나타났다. 한국 언론과 전문가들은 “중국이 정부 지원을 기반으로 상용화와 기술 굴기에서 한발 앞서고 있다”고 진단하며, 공장, 가사, 물류, 그리고 마라톤까지 중국 로봇이 다양한 일상영역에 진입하는 속도가 매우 빠르다는 점에 위기감과 자극을 동시에 표했다. 국내 전문가들은 “한국 역시 실증 및 사업화 경쟁에서 뒤처지지 않도록 속도를 높여야 한다”고 강조했다. 한국경제, 동아사이언스, 한겨레 등 주요 언론은 “중국이 올해 1만 대 이상의 인간형 로봇을 양산하며 글로벌 시장을 선점하려 한다”는 분석도 내놓았다[5][6][7].

글로벌 미디어 역시 베이징 현장을 실시간으로 비추었다. CNN, 로이터, AP통신 등은 “수십 대의 인간형 로봇이 인간 마라토너와 함께 달리는 진풍경”을 주요 사진과 함께 전하며, “중국이 로봇·AI 발전상을 전 세계에 과시했다”고 보도했다. 일부 로봇이 코스를 이탈하거나 기술적 한계를 드러낸 점도 함께 지적됐다. 영국 인디펜던트, BBC 등도 “인간과 로봇이 공식 레이스를 함께 뛴 최초의 역사적 장면”으로 의미를 부여하며 상징성을 강조했다. 타임스 오브 인디아 등 인도·영미권 매체 역시 주요 기록과 대회 취지를 요약해 보도했다[1][2][3].

국제 전문가들은 한결같이 “중국의 추진력, 현장 실험, 빠른 프로토타이핑 능력”을 높이 평가하면서도, “실용화까지는 기술·윤리적 장벽이 높다”는 점을 분명히 했다. 각국의 로봇학회, 산업계, 정책자문그룹 등도 “이런 대담한 시도가 미래 산업 발전의 촉매제가 될 수 있다”고 평가했다.

다양한 논쟁과 평가가 이어졌지만, 이번 대회가 던진 메시지는 단순하지 않았다. 감탄과 조롱, 기대와 회의가 교차하는 반응 속에서도 분명한 사실 하나는, 인간형 로봇이 실제 도시 환경에서 장거리 완주를 시도했다는 점이 기술 발전의 새로운 이정표가 되었다는 것이다. 그러나 이 대회를 진정으로 이해하려면, 감정적 반응을 넘어 보다 구조적이고 정책적인 맥락에서 접근해야 한다. 단순한 이벤트가 아니라, 어떤 의도로 설계되고, 어떤 목표를 품고 운영됐는지를 먼저 살펴봐야 한다. 다음 장에서는 이 하프 마라톤을 가능하게 만든 정책적 배경과 고 대회의 전체적인 운영 구조를 차례로 정리해본다.

▼ 참고문헌/출처

[1] The Times of India
https://timesofindia.indiatimes.com/world/china/chinas-half-marathon-makes-history-with-the-first-humanoid-robot-race-in-a-21-kilometre-racetrack/articleshow/109421842.cms
[2] CNN
https://edition.cnn.com/2025/04/19/china/beijing-marathon-humanoid-robots-intl-hnk/index.html
[3] Independent
https://www.independent.co.uk/tech/china-robot-marathon-beijing-humanoid-b2539932.html
[4] Nikkei Asia
https://www.nikkei.com/article/DGXZQOGM187OA0Y5A410C2000000/
[5] 한겨레
https://www.hani.co.kr/arti/international/china/1143709.html
[6] 동아사이언스
https://www.dongascience.com/news.php?idx=66144
[7] 한국경제
https://www.hankyung.com/international/article/2025042387891
[8] 新浪财经

Part 2. 대회 개요

국민적 지지를 바탕으로..

2025년 4월 19일, 베이징 이좡 (亦庄) 개발구에서는 인간과 휴머노이드 로봇이 동일 코스에서 겨루는 사상 첫 하프마라톤이 열렸다[1]. 이날 남해자공원 남문에서 국가신창원까지 21.0975km, 인간 선수 1만 2천 명과 21대의 이족보행 로봇이 “완주와 기록”을 두고 경쟁했다. 이 대회는 단순한 스포츠 이벤트가 아니었다. 베이징시체육국, 경제정보화국, 개발구 관리위원회, CCTV 등 국가급 기관이 공동 주최하며, 중국 최초이자 세계 최초의 공식 로봇 하프마라톤으로 전 세계의 이목을 집중시켰다[2][3].

참가팀은 대학 연구진(청화대, 베이징대 등), 로봇 기업(천공 Ultra 등), 신생 스타트업 등으로 매우 다양하게 구성됐다. 특히 청화대 학생팀은 로봇의 균형과 에너지 효율을 한 단계 끌어올리기 위해 밤을 새워 개발에 몰두했고, 현지 기업 '천공 Ultra' 팀은 “로봇 기술도 결국 현장에서 증명해야 진짜”라는 자부심을 드러냈다. 그 결과, 천공 Ultra는 2시간 40분 42초 만에 결승선을 통과하며 우승을 차지했다. 참가 로봇들의 각 연구기관과 팀마다 자신만의 기술을 실전에 내놓으며 치열한 기술경쟁의 장이 펼쳐졌다[3][4].

그러나 이날의 레이스는 단순히 누가 더 빨리 달리는가의 문제가 아니었다. 마라톤 코스는 평지뿐 아니라 최대 경사 9도에 달하는 언덕, 곡선, 자갈과 요철 등 도시의 복합지형으로 설계되어 있었다. 주최 측은 “실제 도시 환경에서 로봇이 얼마나 안정적으로 움직일 수 있는지, 균형과 에너지 관리, 경량화 기술이 진짜 현장에서 통하는지를 검증하고 싶었다”고 설명한다[2][5]. 참가팀들은 각자의 로봇이 예기치 못한 장애물이나 변화에 얼마나 잘 적응하는지, 어떻게 균형을 잡는지 현장에서 실전 테스트를 받았다. 특히 톈공 Ultra는 가벼운 몸체, 정교한 제어 시스템, 효율적인 냉각 기술로 극한 난코스를 완주해 큰 주목을 받았다[3][4].

로봇의 출처와 참가 방식도 다양했다. 칭화대 등 대학 연구팀의 자체 개발 모델은 물론, 기업의 상용 플랫폼(천공 Ultra 등), 그리고 유니트리(Unitree)처럼 외부에서 시판 기체를 구입·개조해 참가한 경우도 있었다. 그러나 공식 규정상, 상용 기체를 사용하더라도 주행 알고리듬(제어, 센서융합, 경로탐색 등)과 핵심 소프트웨어는 반드시 참가팀이 직접 개발·튜닝해야만 출전 자격이 주어진다[2][4]. 하드웨어(기체)는 구매할 수 있으나, ‘두뇌’와 실시간 주행 로직(알고리듬)은 자력 구현이 필수였다. 실제로 유니트리 역시 기업 공식팀이 아닌, 외부 참가자가 기체를 구매해 자신만의 알고리듬을 탑재해 출전한 사례다[2][4].

이 대회는 단순한 기술 쇼가 아니다. 2025년 베이징 이좡 하프마라톤은, 중국 정부가 공식적으로 추진하는 ‘구체지능(Embodied Intelligence)’ 실제 환경에서 로봇 기술을 검증하고 대중에 공개하는 최초의 현장 실험으로 자리 잡는다.

중국 정부는 2021년 '제14차 5개년 계획'(《中华人民共和国国民经济和社会发展第十四个五年规划和2035年远景目标纲要》)[7]을 통해 로봇 산업을 국가 주도 신산업으로 명확히 지정했다. 이어 2023년 '로봇+ 응용행동방안'(《"机器人+"应用行动实施方案》)[8], '제조업 고품질 발전계획'(《制造业高质量发展规划(2021-2025年)》)[9] 등을 통해, 제조·서비스·특수분야 전반에 걸쳐 로봇 활용을 제도화하고, 이를 미래 산업 경쟁력의 핵심 축으로 설정한다.

이 전략의 일환으로, 베이징 이좡 개발구는 국가급 로봇 특화 클러스터로 집중 육성되고 있다. 100억 위안 규모의 로봇산업펀드가 조성되어 있으며, 140개 이상의 로봇 기업과 연구기관, 국가 공공 테스트센터, 대규모 인재 양성 프로그램이 집약된 형태로 운영된다[10][11]. 단순 연구개발(R&D) 지원을 넘어, 실험-테스트-양산-시장확대까지 아우르는 통합적 생태계가 구축되고 있다는 점이 이좡의 가장 큰 특징이다. 또한, 로봇 기업의 입주에 맞춰 베이징시는 세제 지원, 규제 특례, 시험운영 허가 등을 패키지로 제공하여, **"기술이 바로 제품과 사업이 되는 구조"**를 정착시키는 데 주력한다.

이런 전략적 기반 위에서, 중국은 2023년 기준 세계 로봇산업 시장 점유율 37%를 기록하며, 산업용 로봇과 서비스 로봇 분야 모두 글로벌 1~2위권에 안착하고 있다. 휴머노이드 로봇 부문에서도 2025년부터 연간 1만 대 이상 양산을 목표로 대규모 상용화 체계가 본격 가동된다[7][8][11].

베이징 이좡 하프마라톤은 이 모든 정책, 산업 성장, 기술 진보의 흐름이 교차하는 하나의 리트머스 시험지다. 이 대회는 단순한 시연이 아니라, 구동계, 센서, 배터리 등 로봇 신체의 실전 내구성 검증, 다양한 기후, 노면, 변수 환경에서의 실효성 테스트, 로봇 간 기술 격차 및 상용화 가능성 가시화, 대중 인식 전환 및 글로벌 홍보, 이 네 가지 목표를 동시에 추구하는 실험장이 된다.

▼ 참고문헌/출처

[1] **https://ml.mbd.baidu.com/r/1BMo7rba5G0?f=cp&rs=1217368088**
[2] https://weixin.91160.com/h5/wecontent/doctorarticle/detail.html?id=635209
[3] https://kfqgw.beijing.gov.cn/zwgkkfq/ztzl/lqztkfq/lqzx/zxxx/202504/t20250423_4072064.html
[4] https://news.sina.com.cn/c/2025-04-20/doc-imzxwavy4222232.shtml
[5] https://mp.weixin.qq.com/s?__biz=Mzg4NTg3MDI0NQ==&mid=2247495537&idx=2&sn=eacd4a136e2fb3baf4918023cfe9c58c
[7] 《中华人民共和国国民经济和社会发展第十四个五年规划和2035年远景目标纲要》
[8] 《"机器人+"应用行动实施方案》, 工信部 등 17개 부문, 2023년
[9] 北京亦庄经济技术开发区管理委员会 공식자료
[10] 新华社·北京日报·산업 전문매체 종합

참가 조건 및 자격

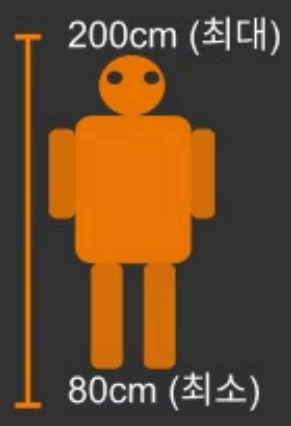
이번 대회에 참가한 로봇들은 단순한 시연용 장비가 아니라, 실제로 자립 보행이 가능한 인간형 로봇만이 출전할 수 있도록 엄격히 제한되었다. 대회 조직위원회는 출전 자격에 대해 명확한 기준을 제시했으며, 참가 로봇은 반드시 두 다리로 걷거나 뛸 수 있는 이족 보행 구조여야 했다. 바퀴나 외부 지지장치를 사용하는 이동 방식은 모두 허용되지 않았으며, 로봇이 스스로 균형을 유지하고, 실제 환경에서 이동할 수 있어야 했다

휴머노이드 로봇 마라톤 대회

로봇 구조 요건

- 이족보행 구조 (두 다리로 걷기/뛰기)
- 바퀴/외부 지지장치 사용 불가
- 자율적 균형 유지 능력 필수
- 구체지능(embodied intelligence) 중시

신체 조건



키: 80cm~200cm

무게: 제한 없음

(30kg~70kg+ 허용)

참가팀 자격

- 대학, 연구기관, 기업, 스타트업
- 자체/공동 개발 로봇만 출전 가능
- 상용 완제품/OEM 로봇 참가 불가
- 기술 개발 및 현장 통제 능력 평가

기술 규정

- 주요 시스템 사전 등록 필수
- 자립 보행 및 기술 완성도 평가
- 기술 결함/보행 중단 시 실격
- 안전성 평가 실시

제어 방식

완전 자율

AI 기반
자율 주행

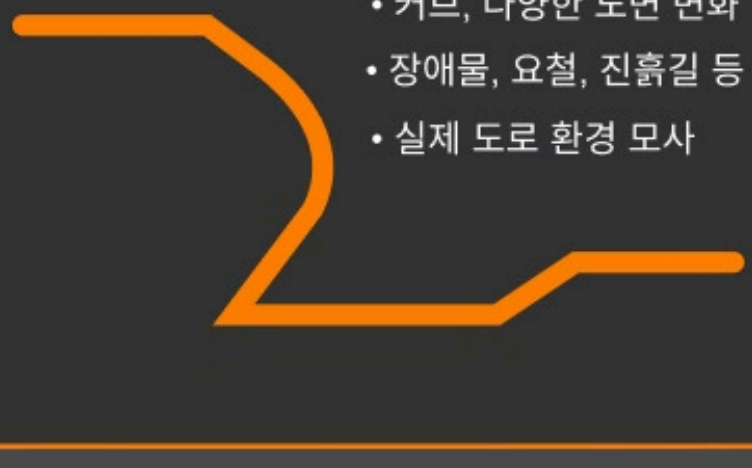
반자율

위험 구간
인간 개입

수동 제어

원격 조작
(균형 자율)

경기 코스



- 최대 경사 9도
- 커브, 다양한 노면 변화
- 장애물, 요철, 진흙길 등
- 실제 도로 환경 모사

대회 목적: 로봇 기술의 실용성 종합 검증

단순 시연이 아닌 연구·개발 역량과 실제 환경 적응력 평가

참가팀의 구성도 대회 취지에 맞춰 개방적이면서도 엄격하게 설정되었다. 중국 전국의 주요 대학(예: 청화대, 저장대)과 연구기관, 천공(天工)·유니트리(Unitree) 등 전문 로봇기업, 그리고 유망한 신생 스타트업까지 모두 참가할 수 있었으나, 모든 팀은 반드시 자체 개발 또는 공동 개발한 로봇을 직접 출전시켜야 했다. 상용 완제품이나 타사에서 제작된 로봇만 가져오는 것은 불가했으며, 기술 개발 및 통제 역량을 실제로 갖추고 있는지가 핵심 심사 기준이 되었다[2][9].

또한, 모든 참가 로봇은 배터리, 센서, 구동 시스템, 통신 장치 등 주요 스펙과 안전장치를 사전에 등록해야 했으며, 심사위원회가 로봇의 자립 보행 능력, 기본 안전성, 주행 지속 시간, 기술적 완성도를 현장에서 직접 점검했다. 경기 도중 기술적 결함이 반복되거나, 자립 보행이 장시간 중단될 경우 실격 처리되는 등 매우 엄격한 관리가 이뤄졌다[10][6].

▼ 참고문헌/출처

[1] https://ml.mbd.baidu.com/r/1BMo7rba5G0?f=cp&rs=1217368088
[2] https://m.bj.bendibao.com/news/370707.html
[3] https://weixin.91160.com/h5/wecontent/doctorarticle/detail.html?id=635209
[5] 多角度看赛场, '2025北京亦庄半程马拉松暨人形机器人半程马拉松' 라이브 방송, [실제 영상 링크]
[6] 央视财经, '北京亦庄半程马拉松暨人形机器人半程马拉松' 공식 라이브 방송, [실제 영상 링크]
[7] https://news.sina.com.cn/c/2025-04-20/doc-imzxwavy4222232.shtml
[8] https://weixin.91160.com/h5/wecontent/doctorarticle/detail.html?id=635209

코스 및 대회 환경

▼ 2025년 베이징 이좡 하프마라톤 및 휴머노이드 로봇 마라톤 코스 지도

출처: 新浪微博(Weibo), "2025年北京亦庄半程马拉松暨人形机器人半程马拉松 路线图",
https://weibo.com/ttarticle/p/show?id=23094051451918741668 29

이번 대회의 하프마라톤 코스는 최대 경사 9도, 여러 커브와 다양한 노면(아스팔트, 자갈, 진흙 등) 변화를 포함해 실제 도로 환경을 최대한 반영하도록 설계되었다. 참가 로봇들은 단순히 직선 주행만 하는 것이 아니라, 장애물 대응, 에너지 효율 관리, 급경사 및 미끄러운 구간에서의 균형 제어 등 인간형 로봇 개발의 난제를 실전에서 극복해야 했다[5][6] 특히 경기 중에는 경사진 도로, 요철, 진흙, 자갈길 등에서 순간적으로 멈추거나 균형을 잃는 사례가 빈번하게 발생했다. 이는 참가 로봇과 팀의 실질적 연구·개발 역량, 기술의 완성도, 그리고 현장 적응 능력을 있는 그대로 보여주는 계기가 되었다[8][6].

이번 대회는 전날(4월 18일)까지 베이징 지역에 비가 내려 많은 참가자들과 관계자들이 코스의 습기와 로봇의 작동에 영향을 줄지 우려했다. 그러나 대회 당일 아침(4월 19일)은 예상과 달리 비가 그치고, 구름이 많으면서도 비교적 선선한 기온이 유지되어 로봇 및 인간 참가자 모두에게 유리한 환경이 조성되었다.

현장에서 직접 체감한 바로는, 오전 7시 30분 대회 시작 시점의 기온은 약 11~15도 정도로, 바람이 세지 않고 공기가 상쾌해 로봇의 발열이나 구동계에 무리가 없을 만큼 쾌적했다. 습도는 40% - 55%로 다소 높았다. 특히 마라톤에 적합한 베이징 4월 평균기온(최저 8~10℃, 최고 20~22℃)과 거의 일치해, “로봇과 인간 모두에게 최적의 조건”이라는 인상을 강하게 받았다.

실제로 **央视财经(중앙방송 재경채널) 공식 생중계 해설진 리장(李强)**은 “전날 내린 비로 코스가 젖어 있어 걱정했지만, 아침에는 날씨가 좋아졌다”, “오늘은 기온이 적당해 로봇의 발열 관리에 유리하다”, “만약 40도에 육박했다면 로봇의 작동에 심각한 문제가 있었을 것” 등 현장 상황에 대한 평가를 반복적으로 언급했다[6].

또한, 이번 대회는 원래 1주일 전인 4월 12일 개최될 예정이었으나, 중국 동부 해안에 접근한 태풍과 강풍, 폭우 예보로 인해 4월 19일로 연기되었다[7]. 결과적으로 연기된 일정이 기상 조건 측면에서 오히려 “로봇과 인간 모두 완주와 기록 경신에 적합한 이상적인 날씨”를 만들어냈다는 평가가 현장과 방송 모두에서 공통적으로 나왔다. 이처럼 대회 현장은 기상조건, 코스 난이도, 현장 돌발상황 등 복합적인 환경요소가 동시에 작용하는 실제 실험실이었다.

▼ 참고문헌/출처

[1] **https://ml.mbd.baidu.com/r/1BMo7rba5G0?f=cp&rs=1217368088**
[2] https://m.bj.bendibao.com/news/370707.html
[3] https://weixin.91160.com/h5/wecontent/doctorarticle/detail.html?id=635209
[5] 多角度看赛场, ‘2025北京亦庄半程马拉松暨人形机器人半程马拉松’ 라이브 방송, [실제 영상 링크]
[6] 央视财经, ‘北京亦庄半程马拉松暨人形机器人半程马拉松’ 공식 라이브 방송, [실제 영상 링크]
[7] **https://news.sina.com.cn/c/2025-04-20/doc-imzxwavy4222232.shtml**
[8] https://weixin.91160.com/h5/wecontent/doctorarticle/detail.html?id=635209

운영 규정

베이징 이좡 인간형 로봇 하프마라톤 교체 규정 (2025)

로봇 본체(기체) 교체 규정

페널티 (가산 시간)	
1회차 교체	+10분
2회차 교체	+15분
3회차~ 교체	+20분/회

* 교체 가산시간은 최종 기록에 추가됨

주요 요구사항

- 지정 보급소에서만 교체 가능
- 심판 승인 및 전과정 기록 필수
- 무단/임의 교체 시 실격 처리
- 제한 횟수 초과 시 실격 처리

배터리 교체 규정

페널티 (가산 시간)
별도 가산 시간 없음
(교체 소요 시간만 실제 기록에 포함)
횟수 제한 없음

* 지정 구역 외 교체 시 실격

주요 요구사항

- 지정 피트스톱(보급소)에서만 교체 가능
- 심판 승인 하에 교체 진행
- 횟수 제한 없음
- 무단/규정 외 교체 시 실격

로봇 전체 교체는 가산시간 패널티가 적용되고, 배터리 교체는 시간 기록만 반영되어 더 유리하다

이번 베이징 이좡 휴머노이드 로봇 하프마라톤 대회는 단순한 쇼가 아니라, **'실전 검증의 장'**임을 스스로 증명하고자 모든 운영 규정을 극도로 현실적으로 설계했다.

가장 눈에 띄는 부분은, 로봇이 경기 중 언제든 **배터리 교체**, **부품 교체**, 심지어 **본체(기체) 전체 교체**까지도 허용했다는 점이다. 단, 이에 따른 조건은 매우 엄격하다. 배터리 교체는 반드시 **지정된 피트스톱 구역** 또는 **팀 지원 차량 내부**에서만 가능하며, 교체 횟수에는 제한이 없지만, **모든 교체 시간은 완주 기록에 100% 반영**된다【1】. 즉, 교체를 많이 할수록 기록이 자연스럽게 늦어지는 구조다.

반면, 본체 전체 교체의 경우에는 훨씬 더 가혹한 페널티가 부과된다. 1회 교체 시 기록에 **10분**, 2회 교체 시 **15분**, 3회 이상부터는 매번 **20분**씩 추가 가산된다【1】. 또한 본체 교체 시에는 **기존 기체에 부여된 시리얼 번호(번호표)**를 반드시 이관해야 하며, 심판 승인 없이 무단으로 교체하거나 지정 구역 밖에서 작업을 시도할 경우에는 **즉시 실격 처리**된다【1】.

완전 자율 주행	반자율	수동·원격조작

조종 방식 역시 현실적이다. 이번 대회는 **완전자율주행(fully autonomous)**, **반자율(human-in-the-loop)**, **수동·원격조작(teleoperation)** 등 모든 형태의 조작을 허용했다【2】. AI 기반 자율주행 알고리즘을 적용한 팀도 있었지만, 실제 경기에서는 대부분 **반자율 혹은 수동 조작 방식**이 주류를 이뤘다【2】. 특히 급격한 코스 변화나 장애물 상황에서는 사람이 직접 개입해 미세 조정하거나 필요 시 완전 수동 전환이 이루어졌다. 외부 개입이 과도하게 반복되거나, 로봇이 스스로 걷기에 반복적으로 실패할 경우, **심판 재량으로 실격이 선언될 수 있다**【2】.

출발 방식 또한 현실적인 제약을 고려했다. 로봇들은 인간 선수들과 같은 장소에서 출발했지만, **모두 동시에 출발하지 않고**, **사전 예선 순위에 따라 개별 출발**하는 방식을 택했다【3】. 이는 로봇 간 충돌과 통신 간섭을 방지하고, 각각의 안전 주행을 확보하기 위한 조치였다.

주행 구간은 기본적으로 인간 선수들과 같은 노선을 공유했지만, 로봇은 물리적으로 구분된 구간에서 주행하여 인간 선수들과 직접 충돌하는 상황을 방지했다. 운영진과 심판은 물리적 충돌이나 신호 간섭 상황이 발생할 경우 즉시 개입해 통제할 수 있도록 상시 배치되었다【4】.

팀 지원 역시 철저히 통제되었다. 로봇 한 대당 **최대 3명의 등록된 팀원**이 현장에 동행할 수 있으며【5】, 현장 수리, 부품 교체 등 모든 작업은 이들 등록된 팀원만 수행할 수 있다.

이번 대회에서 특히 눈에 띄었던 것은, 규정의 틀 내에서 이뤄진 **다양한 현장 지원 방식**이었다.

- **냉각수 뿌리기:** 경기 도중 모터 및 구동계의 과열 문제가 발생하면, 팀원이 분무기 등으로 로봇에 직접 냉각수를 뿌려주는 장면이 중계에 여러 번 포착됐다. 이는 휴머노이드 로봇의 실제 발열 관리 한계를 극복하기 위한 현실적 대응이었다.

- **줄 잡기/밀기:** 로봇이 균형을 잃거나 진행 방향이 어긋날 때, 팀원이 옆에서 **줄(로프)로 보조**하거나, 뒤에서 살짝 **밀어주는 모습**도 확인됐다. 규정상 과도한 개입은 제한되었지만, 심판이 실시간 판단을 통해 허용 범위를 조정하는, 이른바 '회색지대'가 형성되었다.
- **보조차(서포트카) 지원:** 각 팀의 보조차는 경기장 전체를 따라다니며, 예비 부품, 배터리, 도구 등을 탑재해 신속한 현장 교체 및 정비를 지원했다. 단, 로봇이 보조차에 탑승하거나 차량이 코스를 벗어나는 것은 엄격히 금지되었다.

노선이 구분되어 진행됨

동행인은 최대 세명까지 가능함

출처: 央视网，2025北京亦庄半程马拉松暨人形机器人半程马拉松，https://www.cctv.com/

이번 대회 운영 규정은 단순한 경기 진행을 넘어, **로봇의 '실전 체력', '위기 관리 능력', 그리고 '인간과의 공존 능력'**을 종합적으로 검증하려는 **중국 로봇 산업계의 전략적 의도**를 그대로 반영한 결과라 할 수 있다.

이처럼 혹독한 실전 환경과 엄격하게 설계된 운영 규정 아래, 각 팀의 로봇들은 단순한 프로토타입이 아닌, 실제로 인간과 어깨를 나란히 하며 다양한 변수에 대응해야 했다.

그렇다면, 이러한 극한의 마라톤 레이스에서 **휴머노이드 로봇이 어떻게 움직이고, 스스로 균형을 잡으며, 장애물을 극복할 수 있었는지**— 그 핵심 기술 원리는 무엇이며, 이번 대회를 통해 드러난 한계는 어디에 있었을까?

다음 장에서는 **인간형 로봇의 보행 원리와 AI 기반 주행 알고리즘, 그리고 발열·내구성 관리 기술** 등을 심층적으로 살펴본다.

▼ 참고문헌/출처

[1] 【2025北京亦庄半程马拉松竞赛规程（竞赛信息+竞赛办法+参赛办法+奖励办法）】https://m.bj.bendibao.com/news/370703.html
[2] 《多角度看赛场, 2025北京亦庄半程马拉松暨人形机器人半程马拉松》 라이브 방송
[3] 【全球首个人形机器人半程马拉松为什么在北京亦庄举办？】https://mr.mbd.baidu.com/r/1BMs2QLgfXa
[4] 【全球首场人形机器人半马“天工Ultra”夺冠】https://mi.mbd.baidu.com/r/1BvkoqzoAy4
[5] 【全球首个，人形机器人“跑团”在亦庄！2025北京亦庄半程马拉松暨人形机器人半程马拉松圆满举办】https://kfqgw.beijing.gov.cn/zwgkkfq/ztzl/lqztkfq/lqzx/zxxx/202504/t20250423_4072064.html

Part 3. 휴머노이드 로봇 기술 원리 및 한계

2장에서 살펴본 경기 운영 규정과 현장의 풍경은 결국 한 가지 질문으로 이어진다. **"인간형 로봇은 얼마나 오래, 얼마나 안정적으로, 얼마나 똑똑하게 걷고 달릴 수 있었는가?"** 그러나 이 질문에 쉽게 답하려 해서는 곤란하다. 경기 결과나 현장의 해프닝만 들여다봐서는 로봇이 보여준 진짜 가능성과 한계를 제대로 읽어낼 수 없다. 무대 위를 달렸던 로봇 하나하나를 이해하려면, 먼저 그들의 몸속 깊이 숨겨진 '원리와 구조'부터 짚고 넘어가야 한다. 마라톤 완주의 승패를 논하기 전에, 인간처럼 걷고 버텨내기 위해 로봇이 얼마나 복잡하고 치열한 기술적 도전을 마주했는지를 먼저 알아야만, 비로소 그 성공과 실패를 온전히 해석할 수 있다.

인간이 걷는 것은 너무나 자연스러운 일이지만, 이 평범한 동작을 로봇에게 시키려면 놀라울 정도로 복잡한 기술이 필요하다. 현대의 휴머노이드 로봇이 마라톤을 완주하기 위해서는 여섯 가지 핵심 기술 축이 한순간도 멈추지 않고 정교하게 맞물려야 한다. 이 기술들은 단순한 다리 움직임이 아니라, 실시간으로 상호작용하는 융합 시스템 전체의 결과다.

첫 번째 축은 **동적 균형 제어**다. 로봇은 한 발을 떼는 순간부터 쓰러질 위험에 놓인다. 영 모멘트 점(Zero Moment Point, ZMP)이 발바닥 면적을 벗어나는 순간, 로봇은 망설임 없이 넘어진다. 이를 방지하려면, 매순간 자신의 중심을 예측하고, 미세한 조정을 반복하며 버텨야 한다.

두 번째는 **센서 융합과 실시간 피드백**이다. 로봇의 몸 곳곳에 심어진 수십 개 센서가 관절 위치, 힘, 가속도, 접촉 감각을 끊임없이 감지한다. 이 정보들이 중앙 제어장치로 모여, 로봇은 매 순간 스스로의 자세와 동작을 재계산하고 수정한다.

세 번째 축은 **보행 패턴 생성 및 제어**다. 인간의 걸음걸이 리듬을 본뜬 '중추 패턴 생성기(CPG)'가 기본 움직임을 만들고, FSM(유한상태머신)과 궤적 계획 알고리듬이 관절 하나하나의 타이밍을 조율한다. 이를 통해 자연스러운 보행 흐름이 유지된다.

네 번째는 **AI와 강화학습 기반의 적응과 복원력**이다. 로봇은 수없이 넘어지고 일어서는 과정을 통해 "어떻게 균형을 되찾을 것인가"를 스스로 학습한다. 이런 반복 학습은 예기치 않은 장애물이나 급격한 경사에서도 유연하게 대응할 수 있는 능력을 키운다.

다섯 번째는 **환경 인식 및 경로 계획**이다. 카메라, LiDAR, 비전 센서들이 주변 환경을 실시간으로 스캔하고, 장애물을 인식해 새로운 경로를 그린다. 로봇은 주어진 지도를 단순히 따르는 것이 아니라, 변화하는 환경에 맞춰 스스로 길을 찾아야 한다.

여섯 번째 축은 **동력계, 구동부, 내구성 및 발열 관리**다. 아무리 알고리듬이 뛰어나더라도, 실제 모터와 관절이 장시간 고출력 동작을 버텨내지 못하면 아무 소용이 없다. 발열을 억제하고, 모터를 경량화하며, 구조적 강도를 확보하는 일이 필수적이다.

이 복합적인 기술 구조를 중국 전문가들은 흔히 **'대뇌–소뇌–몸통'** 구조로 비유한다. 고차원적인 판단과 경로계획을 담당하는 AI 영역을 '대뇌', 균형과 반사적 움직임을 제어하는 보행 시스템을 '소뇌', 그리고 이를 실제로 움직이는 하드웨어를 '몸통'으로 구분하는 것이다. 공식 학술 용어는 아니지만, 복잡한 시스템을 직관적으로 이해하기에 꽤 유용한 비유다.

따라서 이번 장에서는 이 구조를 따라, 먼저 **'소뇌'**에 해당하는 기본 보행 원리와 균형 제어를 살펴본다. 이어서 **'대뇌'**에 해당하는 AI 주행 알고리듬과 환경 인식 기술로 넘어가고, 마지막으로 **'몸통'**에 해당하는 동력계, 내구성, 발열 관리 기술까지 짚어볼 것이다. 이 과정을 통해 실험실 이론과 실제 현장이 어떻게 충돌했는지, 그리고 진짜 기술적 한계와 돌파구가 어디서 나타났는지를 하나하나 구체적으로 들여다볼 것이다.

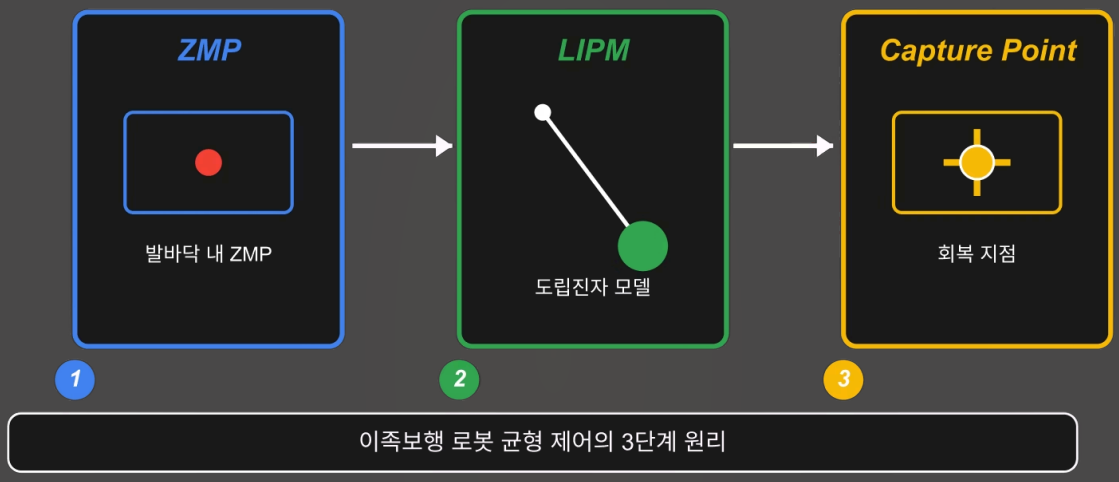
Part 4. 휴머노이드 로봇의 신체 구조

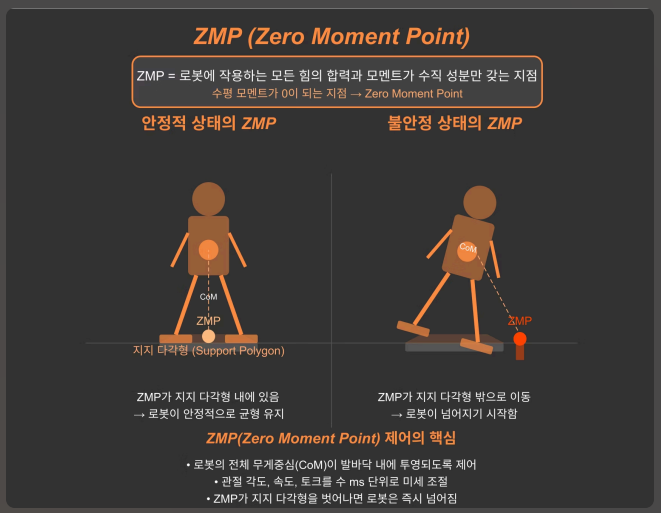
소뇌 – 기본 보행 원리와 균형 제어

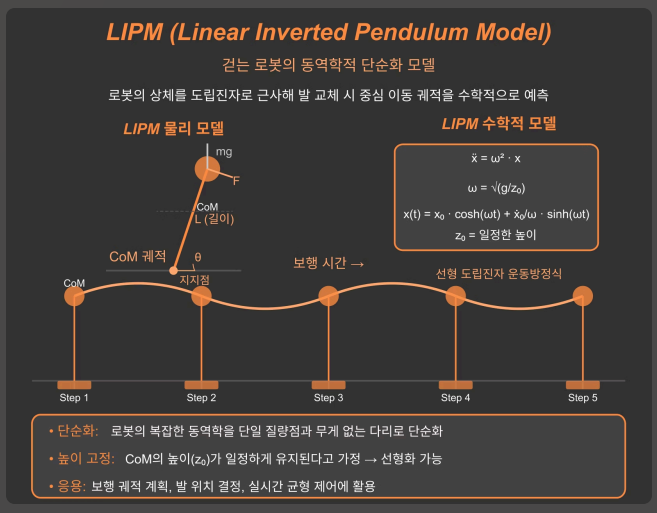
2025년 베이징 이좡에서 열린 세계 최초의 인간형 로봇 하프마라톤은, 중국 산업계가 '소뇌'에 비유하는 로봇 운동제어 시스템의 현실적 한계를 낱낱이 드러낸 무대였다. 중국공정원 장젠웨이(张建伟) 원사는 "로봇의 운동제어는 인간 소뇌의 역할과 같다. 단순히 근육을 움직이는 수준을 넘어, 시각·촉각·관성 등 다양한 센서 정보를 실시간으로 통합하여 균형을 잡는 고도의 능력이 요구된다"고 설명한다. 실제로 이 대회에 출전한 21개 팀 중 완주에 성공한 로봇은 6팀에 불과했다. 이는 인간이 아무렇지 않게 한 발을 떼며 균형을 유지하는 것과 달리, 로봇에게 걷기는 끊임없이 쓰러질 위험을 감수하며 무게중심을 조정하는, 극도로 어려운 동적제어 과제임을 보여준다[1].

중국 로봇 산업계는 이와 같은 '소뇌' 기능의 핵심 원리로 ZMP(Zero Moment Point) 기반의 균형제어를 사실상 표준으로 받아들인다. ZMP는 모든 힘과 모멘트가 0이 되는 가상의 점으로, 이 점이 발바닥 면적 내에 있어야 로봇이 넘어지지 않는다. 실제 우승 로봇인 "천공 天工Ultra"는 ZMP 안정 기준에 기반한 실시간 보행 패턴 생성과, IMU(관성측정장치), 발바닥 힘센서 등 수십 개 센서를 융합한 자세 예측·보정 시스템을 통해, 경사와 요철이 섞인 21km 실제 도로 환경을 견뎌냈다. 이 로봇의 평균 속도는 7.88km/h로, 기존 상용 이족보행 로봇의 한계를 뛰어넘었다. Booster T1 같은 또 다른 완주팀은 넘어짐 후 1초 내 스스로 일어서는 복원제어를 선보였고, 이는 실시간 센서 피드백과 복잡한 외란 복구 알고리즘의 결합 덕분이었다. 이처럼 ZMP와 센서융합에 기반한 보행제어는, 현재 중국은 물론 일본, 유럽, 미국 등 세계 휴머노이드 산업의 사실상 '국제 공통 언어'로 자리 잡았다[2][3][4][5].

ZMP-LIPM-Capture Point 흐름도







국제적으로도 보행 패턴 생성에 LIPM(선형 도립진자 모델), MPC(모델 예측 제어), 프리뷰 제어 등 물리모델 기반 기법이 널리 채택되고 있다. 일본 혼다 ASIMO와 소니 QRIO는 물론, 중국 청화대 Kuavo, 미국의 Agility Robotics Cassie 등 주요 프로젝트 모두 **ZMP-LIPM-센서융합**이라는 구조를 공유한다. 센서 데이터의 실시간 융합과 예측제어의 결합이야말로, 실전 환경에서 균형을 유지하고, 돌발적인 노면 변화나 충격에도 즉각적으로 복원할 수 있는 유일한 해법이라는 점에 국제 학계와 산업계의 이견이 없다. 국제 로봇학회(IEEE/RAS), RoboCup 등 주요 대회, 그리고 ISO/TC 299 서비스로봇 분과의 성능 평가 논의에서도 ZMP·센서융합·복원제어의 표준적 역할이 명확히 자리 잡았다[3][4][5].

다만 센서 노이즈, 피드백 지연, 예기치 못한 결함 등으로 인한 낙상은 아직 현실적 과제다. 실제 이번 대회에서도 센서 오류나 피드백 한계로 낙상한 로봇이 속출했고, 단순히 '잘 걷는 것'만으로는 실세계 마라톤을 완주하기 어렵다는 사실이 드러났다. 이를 극복하기 위해 최근 글로벌 연구·산업계에서는 전통적인 물리모델 기반 제어(예: ZMP, MPC)와 더불어, AI·강화학습 기반 데이터 중심 보행제어의 융합을 적극적으로 시도하고 있다. 미국 오리건주립대의 Cassie 로봇은 심층 강화학습을 통해 5km를 스스로 달리는 데 성공했으며, Boston Dynamics의 Atlas 역시 모델 기반 실시간 최적화 제어에 강화학습 기반 보조제어기를 결합하여 복잡한 환경 대응 능력을 크게 높였다. 중국 역시 '다중모달 융합', '메타러닝', '온라인 적응제어' 등 AI 기반 범용 균형제어 플랫폼 개발을 가속화하고 있으나, 현재 실전에서는 여전히 ZMP+센서융합 기반의 전통적 방법이 주류를 이루고 있다[2][6].

결국, 로봇의 '소뇌'라 불리는 운동제어 시스템은 ZMP 기반 균형제어, LIPM/MPC 등의 모델 기반 예측제어, IMU·힘센서 등 다중 센서융합, 그리고 복원 알고리듬의 결합을 핵심 원칙으로 삼는다. 이는 중국 로봇업계는 물론 글로벌 산업계, 학계에서 공통적으로 합의된 표준 구조다. 여기에 AI 및 강화학습 기법이 미래 경쟁력으로 결합되며, 실전 환경에서의 신뢰성과 적용 범위 확대가 앞으로의 기술 진화의 핵심 과제가 되고 있다. 인간의 소뇌처럼 일반화되고 적응력 높은 균형제어 시스템이야말로, 궁극적으로 '실세계에서 걷고 달릴 수 있는' 진짜 인간형 로봇을 실현할 수 있는 길임을 이번 베이징 대회가 다시 한번 증명했다[1][2][3][4][5][6].

▼ 주요 참고

[1] 신화통신: **跑完"半马"还有运动会，机器人为啥都爱搞体育？**
[2] 北京市 인민정부: **全球首个人形机器人半程马拉松圆满举办**
[3] MDPI *Biomimetics*: **Flexible Model Predictive Control for Bounded Gait Generation in Humanoid Robots**
[4] ScienceDirect: **Humanoid Gait Synthesis Using Trajectory Plot and Relative-ZMP**
[5] EWA: **Research on Balance Control of Humanoid Robot Based on Inertial**
[6] WEF: **Cassie the bipedal robot runs a 5k**

대뇌 – AI 주행 알고리듬 및 환경 인식

2025년 베이징 이좡 하프 마라톤에 출전한 인간형 로봇들은 뛰어난 하드웨어와 정교한 보행제어('소뇌')만

특히, 대회 규정상 모든 로봇에는 인간 조작자가 동행하도록 했고, 코스 이탈·전복·에너지 고갈 등 문제가 생길 때 즉시 개입할 수 있었다. 실제로 초반부터 여러 로봇이 출발점에서 넘어지거나 코너를 돌지 못하고 멈춰서는 장면이 반복됐다[1][2]. 이때 트레이너가 직접 로봇을 일으켜 세우거나, 심지어 손을 잡고 보조하는 등 사실상 '로봇+인간 혼합 팀'으로 완주를 시도하는 경우가 많았다. 완주 팀 대부분도 로봇 자체가 아닌, 트레이너의 경험과 상황판단, 전략적 지원에 크게 의존했다. 예를 들어, 배터리 교체 타이밍이나, 넘어질 때의 빠른 복귀 방법, 경로 유지 조작 등이 모두 사람의 개입에 의해 이뤄졌다[1].

'대뇌'의 핵심 기능인 **환경 인지·판단·의사결정**의 수준을 살펴보면, 일부 로봇(예: 천공, N2 등)은 카메라, IMU, 관절센서 등 멀티센서 융합으로 SLAM 또는 비전 기반 환경 인식 기능을 갖추고 있었다[3]. 이들은 커브나 경사, 노면 상태를 스스로 인지해 속도를 줄이거나 보폭을 바꾸는 등 기본적인 경로계획이 가능했다. 그러나, 이 역시 주로 '안정성 유지'와 '넘어지지 않기'에 초점이 맞춰진 로우레벨 피드백 제어였다. 고차원적 자율주행—즉, 트랙을 자유롭게 인식하고 스스로 전략적으로 페이스를 조절하며 인간처럼 다양한 돌발상황을 처리하는 '대뇌' 수준의 AI—는 대부분 로봇에게 요원한 과제였다[3][4]. 오히려, 천공 Ultra 같은 완주 성공 로봇조차 '대뇌-소뇌 이원구조'를 갖췄지만, 실제 현장에서는 소뇌(하드웨어+제어) 안정화에 성공한 경우가 완주로 이어졌다[1][3]. 반대로, 환환이나 Orca처럼 대규모 AI 모델을 내장한 로봇들도 있었으나, 실제 마라톤 환경에서는 **'복잡한 인지'보다 '기본 보행 안정'이 훨씬 더 중요하다는 현실적 한계가 명확히 드러났다**[4][5].

더 나아가, 일부 참가팀은 **아예 자율성보다 수동조작(원격조종)에 의존**했다. 여러 팀은 사람이 로봇을 직접 조작하며 레인을 따라가도록 했고, 로봇이 판단을 잘못하거나 경로를 벗어나려 할 때 즉시 방향을 수동으로 보정했다[2][5]. 이는 휴머노이드 로봇의 '대뇌' 기술이 아직 완전 자율에 도달하지 못했다는, 산업·학계 공통의 인식을 상징적으로 보여준다. 현장 중계에서도 "결국 로봇보다 트레이너가 더 고생했다"는 농담이 오갈 정도로, 완주를 위해선 인간의 집중적 개입이 불가피했다. 트레이너들은 마치 레이싱카 드라이버처럼, 로봇의 상태·속도·주변 상황을 실시간으로 판단하며 최적의 조작을 시도해야 했다.

이처럼 이번 대회는 휴머노이드 로봇의 '대뇌' 수준—즉, **자율 판단과 전략적 제어 능력**—이 여전히 가장 큰 기술적 과제임을 다시 한번 확인시켜주었다. SLAM, 환경인식, 자율경로계획 등 주요 AI 기술은 꾸준히 발전 중이나, 실제 현장에서는 **'소뇌(기본 균형/지구력)'와 '몸통(하드웨어 통합)' 기반의 안정성 위에만** 부분적으로 구현되는 실정이다[4][5]. 즉, 현 세대 로봇은 **소뇌→몸통→대뇌**로 이어지는 피라미드 구조 속에서, 아직은 상위 계층의 '대뇌'가 완전한 독립성과 실시간 적응성을 확보하지 못하고 있다. 향후에는 대규모 AI 모델, 멀티센서 융합, 인간-로봇 협업 등 **복합적 통합 기술**이 적용될 때 비로소 인간 수준의 자율주행과 전략적 판단이 실현될 것으로 기대된다. 아울러 완전 자율화와 인간 조종 보조 간의 효용·안전성 논의도 더욱 심화될 것이다.

이러한 문제의식과 도전은 **기계적 통합제어, 하드웨어 신뢰성, 실제 현장 한계와 미래 발전방향 논의**로 연결된다. 다시 말해, 소프트웨어적 자율성과 물리적 하드웨어의 통합이 어떻게 맞물려야 진정한 휴머노이드 로봇이 완성되는지, 산업적·학문적 해답을 모색하는 단계로 이어진다.

▼ 출처

신체(몸통) - 완주를 결정짓는 동력과 내구성의 기술적 총화

부품/모듈	설명
1. 구동부	고토크 모터, 감속기, 액추에이터 (힘과 움직임을 생성하는 핵심 부품)
2. 배터리	대용량 배터리팩, 교체 슬롯 (에너지 저장 및 공급)
3. 프레임/샤시	경량 고강도 합금 프레임, 모듈 구조 (로봇의 골격 및 내부 구조)
4. 냉각 시스템	팬/방열판/그래핀 등 신소재 (열 관리 및 성능 유지)
5. 센서 모듈	IMU, 압력센서, 온도센서 등 (환경 인식 및 자세 감지)
6. 신발/접지부	탄성 밑창, 충격흡수 구조 (지면 접촉 및 충격 완화)

앞에서 보았듯이, 2025 베이징亦庄 하프마라톤은 각 팀이 로봇의 '대뇌'(AI 판단·자율성) 기술 한계와 가능성을 현장에서 체험하는 자리였다. 하지만 실제 레이스에서 최종 승부를 가른 것은, 단순히 고도화된 알고리듬이나 환경 인식만이 아니었다. 바로, 로봇이 극한의 환경에서 "끝까지 달릴 수 있는가"—즉 **신체(hardware, '몸통')의 생존력**이었다.
실제로 드러난 인간형 로봇의 '몸통' 기술은 동력계, 배터리, 프레임, 냉각 시스템, 센서 융합, 접지부까지 **모든 기계적 요소가 서로 긴밀히 연결된 '종합 엔지니어링의 총체'**임을 입증했다. 아래에서는 이 신체 기술의 구체적 구조와 실전 적용 사례를 중점적으로 살펴본다.

대회 참가 로봇들의 **구동계(powertrain)**는 대부분 고토크·고밀도 액추에이터, 정밀 감속기(하모닉/사이클로이드형), 그리고 고효율 전기모터가 핵심을 이뤘다. 예를 들어 천공Ultra(天工Ultra), N2 등 주요 로봇들은 희토류 영구자석을 사용한 소형 고출력 BLDC 모터와 하모닉 드라이브 결합으로, 단위 중량당 최대 토크와 반응속도를 극대화했다. 이들 구동계는 점프, 급가속, 언덕 등 고부하 조건에서 단기간 폭발적 출력을 내면서도, 2~3시간 이상 연속 동작에 필요한 내구성·냉각 성능이 뒷받침돼야 한다는 것이 현장 검증의 포인트였다[1][4].
CCTV 해설(2025)에서는 "로봇마다 구동계 설계의 세밀함이 마라톤의 진짜 승부처였다"는 평이 나왔다[6].

배터리 시스템은 모든 팀이 대용량 리튬이온 셀을 사용하였으며, 다수 로봇은 표준화된 교체 슬롯을 채택해 실전에서 수십 초 내 신속 교체가 가능하도록 설계했다. 배터리 용량과 무게의 균형, 모터-제어계-배터리 사이의 실시간 전력 분배, 남은 용량 예측이 성능 유지의 핵심이었다[1][5]. 현장 중계(多角度看赛场, 2025)에서는 "피트스톱 배터리 교체의 숙련도가 완주 확률을 결정했다"고 언급했다[7].

tiangong -배터리 변경하는 모습	냉각수 발포하는 모습	신발을 신은체 달리는 모습

프레임(샤시)은 탄소섬유·알루미늄 합금 등 경량 고강도 소재를 기반으로, 전체 모듈화 구조 설계가 보편화됐다. 충돌·넘어짐에 대비해 주요 부위를 모듈화하여 고장이 난 부위만 신속 교체 가능하게 설계한 팀도 있었고, 전체 프레임 강성과 무게 분산에 따라 실제 내구성과 에너지 효율이 결정됐다. 실제로 장시간 걷는 동안 반복 충격이 누적될 때, 로봇의 프레임이나 관절 중 어떤 부분이 먼저 손상되기 시작하는지를 실전에서 검증하는 게 주요 평가 포인트였으며, 실전 영상에서는 프레임 변형이나 충격파손이 탈락의 직접 원인이 되는 경우도 빈번했다[4][6].

냉각 시스템은 모든 구동부, 배터리, 전자회로의 수명과 직결되는 실전 핵심이었다. 로봇들은 방열판, 쿨링팬, 그래핀 등 고열전도 신소재를 관절 및 전원부에 적용해, 열 축적을 최대한 억제했다. 특히 하프 마라톤 완주를 위해선 구동 모터의 온도가 일정 임계치를 넘지 않도록 실시간 온도 피드백을 기반으로 냉각 강도를 자동 조절하거나, 구동 효율 저하 전 미리 속도를 조정하는 알고리듬도 도입됐다[5]. 현장에서는 냉각팬 내장 외에도, 엔지니어가 외부에서 직접 냉각수를 분사하거나 응급 쿨링 조치를 취하는 장면도 다수 관찰됐다[6][7]. CCTV 해설진은 “로봇 발열이 실제 마라톤 성능 저하의 주범”임을 강조하며, “냉각 실패로 모터 회로가 셧다운되는 경우가 속출했다”고 전했다.

센서 모듈 역시 고도화됐다. IMU(관성측정장치), 압력센서, 위치엔코더, 온도센서 등 수십 종 센서가 통합되어, 로봇의 자세, 관절 피로, 접지력, 온도, 동적 가속도를 실시간 모니터링한다. 이 센서 융합 정보는 제어알고리듬에 즉시 입력되어, 균형유지·충격대응·보행보정 등 모든 신체 동작의 기반이 된다. 예를 들어 발바닥 압력센서가 미끄러짐이나 점프 착지를 감지하면, 제어기는 즉각 무게중심·관절토크 분배를 재설정하는 방식이다[1][3][5].

신발(접지부)도 실전성능에 핵심적이었다. N2 등은 아이용 운동화에 탄성 밑창을 조합, 반복충격에 의한 관절 손상 방지 및 미끄럼 저항을 동시에 확보했다. 고무·발포우레탄 소재, 내충격 인서트, 미끄럼 방지 패턴 등이 로봇별로 차별화된 전략이었고, 실제 경기 영상에서 완주팀의 신발 구조가 탈락팀과 유의미한 차이를 보였다[6]. 특히 CCTV 해설(2025)에서는 “운동화 착용의 유무, 밑창 구조가 로봇 생존의 마지막 변수”임을 거듭 강조했다.

종합하면, **동력계·배터리·프레임·냉각·센서·접지—이 여섯 요소가 동시에 실전 검증을 받으며, 그 중 단 한 곳만 문제가 발생해도 완주 실패로 직결되는 ‘통합 엔지니어링’의 무대**였다. 이론적으로 아무리 높은 스펙도, 현장에선 발열·에너지 병목·프레임 파손·센서 오류 등 하나의 취약점이 전체 성능 한계로 즉시 드러났다.

이러한 실제 하드웨어 통합의 한계와 설계 전략의 성패는 **로봇별 성능 과 팀 별 전략** 에 달려있다.

2025 베이징 이좡 하프 마라톤 및 휴머노이드 로봇 하프 마라톤 참가팀 명단

2025北京亦庄半程马拉松暨人形机器人半程马拉松

번호	로봇 이름 (중국어)	로봇 이름 (한국어)	팀 이름 (중국어)	팀 이름 (한국어)
60901	天工1.2max	천공 1.2max	天工队	천공팀
60902	半醒机器人	반성 로봇	半醒机器人队	반성로봇팀
60903	乐聚-夸父(Kuavo)	러쥐-콰푸(Kuavo)	清华通班队	칭화통반팀
60904	松延动力-N2	송연동력 N2	小顽童队	소완동팀
60905	松延动力-N2	송연동력 N2	旋风小子队	선풍소자팀
60906	ZBOT-MiniWalker-800	ZBOT-MiniWalker-800	巴音布鲁克永远的王队	바인부루커영원한왕팀
60907	Zbot-1600	Zbot-1600	湛沪冲锋龙卷风队	담호충봉룡권풍팀
60909	玄晶科技-轩辕机器人	현정과기-현원로봇	轩辕机器人队	현원로봇팀
60910	行者二号	행자 2호	行者二号队	행자 2호팀
60911	飞天	비천	飞天队	비천팀
60913	加速进化-BoosterT1	가속진화-BoosterT1	亦马当先队	역마당선팀
60917	海派兄弟	해파 형제	海派兄弟队	해파형제팀
60918	幻幻机器人	환환로봇	钢宝队	강보팀
60919	宇树-逐日	위슈-주르	逐日行者队	주르행자팀
60920	钛虎T170A	타이후 T170A	钛虎队	타이후팀
60921	城市之间G1	도시지간 G1	城市之间科技队	도시지간과기팀
60922	Orca	Orca	青心Orca队	청심Orca팀
60923	匠芯	장심	小巨人队	소거인팀
60924	EAI	EAI	EAI队	EAI팀
60925	玄晶科技-神农机器人	현정과기-신농로봇	神农机器人队	신농로봇팀
60926	CASBOT SE	CASBOT SE	灵宝机器人队	영보로봇팀

* 출처: 2025 베이징 이좡 하프 마라톤 공식 방송 및 참가자 명단

Claude 콘텐츠

2025 北京 亦庄 하프 마라톤 완주 로봇 팀 (6)

이날 대회에는 총 21팀의 로봇이 참가했지만, 결승선을 통과한 로봇은 고작 6팀에 불과했다. 이는 "실제 도로 환경에서 완주"라는 것이 상상 이상으로 까다롭고, 아직까지 인간형 로봇 기술이 넘어야 할 현실의 장벽이 분명하다는 사실을 보여준다.

특히 이번 대회에서 1위를 차지한 천공팀(天工 Ultra)은 인간 선수들과 겨뤄도 뒤처지지 않을 만큼 압도적인 속도와 내구성을 선보였다. 반면, 2위를 차지한 소완동팀(小顽童队)은 상대적으로 크기가 작은 송연동력 N2 기체를 사용했음에도 불구하고 놀라운 효율로 준우승을 기록했다. 3위에 오른 행자 2호팀(行者二号队)은 경기 내내 한 번의 배터리 교환도 없이 4시간 25분이라는 기록으로 결승선을 통과했다. 각 팀은 저마다의 독특한 전략과 기술로 어려운 레이스를 견뎌냈으며, 완주에 실패한 팀들도 각종 기술적 문제와 환경 변수 속에서 값진 경험을 남겼다.

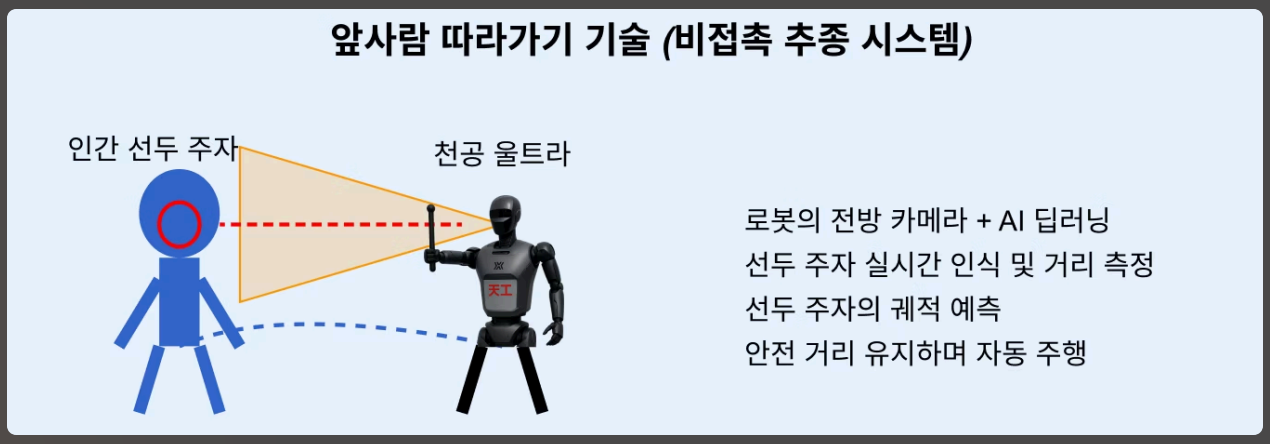
이제 우리는 과연 천공이 어떻게 경쟁자들을 압도하고 우승을 거머쥘 수 있었는지, 소완동은 어떻게 작은 체구에도 불구하고 준우승에 성공했는지, 그리고 행자 2호는 어떻게 배터리 교체 한 번 없이 완주를 이룰 수 있었는지 그 기술적 배경과 전략을 차례로 살펴볼 예정이다.

이 과정에서 각 로봇의 하드웨어 설계, 제어 알고리듬, 에너지 관리, 실시간 장애물 대응 전략 등, 진짜 승부를 가른 결정적 차이점에 대해 하나씩 분석해볼 것이다. 마라톤이라는 실전 무대 위에서, 이들이 어떤 혁신과 한계를 보여주었는지, 앞으로의 휴머노이드 로봇 발전 방향에 어떤 시사점을 남겼는지 본격적으로 탐구해보고자 한다.

1위 천공 Ultra 의 꾸준함

2025년 4월 19일, 베이징 이좡의 이른 아침. 세계 최초의 인간형 로봇 하프마라톤이 열린 이 날, 베이징휴머노이드로봇혁신센터(天工创新中心)가 개발한 전신형 휴머노이드 **천공 Ultra(天工 Ultra)**가 모두의 시선을 한 몸에 받으며 출발선에 섰다. 그리고 2시간 40분 42초, 천공 Ultra는 인간 부문을 포함한 전체 참가자 중 가장 먼저 결승선을 통과하며 마라톤이라는 인간의 영역에 또 하나의 혁신을 새겼다[1]. 이 장면은 인간과 로봇이 같은 코스를 실시간으로 경쟁한, 인류 기술사상 '첫 공식 마라톤 완주'의 역사적인 순간으로 기록된다[2][3].

다중센서 융합 아키텍처의 혁신



<실제로 앞 사람 보고 달리는 모습>

다중센서 융합

- 환경 인지층
- 운동 제어층
- 위치 추정층
- 에너지 관리층

천공 Ultra의 또 다른 핵심 혁신은 여러 센서를 동시에 융합해, 로봇이 복잡한 실제 환경을 신뢰성 있게 인식하고 즉각 판단하는 능력이다. 이런 방식을 다중센서 융합(Multisensor Fusion)이라고 하며, 실제로는 아래 네 가지 계층으로 나뉜다.

1. **환경 인지층**: 8메가픽셀 고화질 스테레오 카메라(두 눈처럼 깊이 파악)와 16채 LiDAR(레이저 거리 센서)가 300m 밖 물체까지 거리·형태를 입체적으로 인식한다.

2. **운동 제어층**: 관절의 힘·각도를 실시간 측정하는 힘 토크 센서와 엔코더가, 로봇 다리 움직임을 사람처럼 정교하게 조절한다.

3. **위치 추정층**: UWB, 위성위치시스템(GNSS), SLAM(동시 위치추정 및 지도작성) 기술을 결합해, 로봇이 직접 지도를 만들며 현재 위치를 계속 업데이트한다. SLAM에는 최신 ORB-SLAM3 알고리즘을 개량 적용해, 움직이는 장애물도 기존 대비 세 배 더 잘 추적한다.

4. **에너지 관리층**: 전류 센서로 배터리 사용량을, 열화상 카메라로 로봇의 과열 상태를 정밀하게 모니터링한다.

이 모든 센서와 데이터는 **ROS2 Galactic**이라는 로봇 운영체제에서 실시간 통합 관리된다. 각 센서의 데이터가 1마이크로초(100만분의 1초) 이내의 시간 오차로 맞춰질 수 있도록, PTP(Precision Time Protocol)라는 정밀 동기화 기술이 적용됐다. 이런 구조 덕분에 천공 Ultra는 다양한 정보를 유기적으로 융합해, 복잡한 야외 환경에서도 정확하고 빠르게 상황을 파악하고 즉각적인 의사결정이 가능해졌다. [2]

특히, 이 다중센서 융합 아키텍처의 가장 대표적 활용 사례가 바로 **'앞사람 추종(비전 기반 인물 추종)' 시스템**이다. 로봇은 전방의 고해상도 카메라와 딥러닝 객체 인식 알고리즘으로, 선두 인류 주자나 유도자의 움직임을 실시간으로 감지한다. AI 딥러닝은 선두 인물의 위치·방향·속도를 실시간 분석해 궤적을 예측하고, 곡선·장애물·경사로·갑작스런 움직임에도 주행 경로를 스스로 조정한다[1][3][5]. 이 시스템은 "비접촉 추종 시스템(非接触跟随系统)"으로 불리며, 카메라·IMU·UWB 신호를 융합해 완전 자율적으로 앞사람을 따라가되, 일정한 안전거리와 경로 편차도 능동적으로 유지한다. 실제 경기에서 급커브, 오르막 등 복잡한 상황에서도 로봇이 유도 인물을 놓치지 않고 주행할 수 있었던 배경에는 이처럼 강력한 다중센서 융합 체계가 자리하고 있다[5].

▼ 출처

UWB 기반 정밀 위치 추적 시스템의 구현

천공 Ultra는 마라톤처럼 넓고 복잡한 실외 환경에서도 자신이 어디에 있는지 아주 정확하게 파악할 수 있도록 초광대역(UWB, Ultra-Wideband) 위치 추적 기술을 활용했다. UWB는 아주 넓은 주파수 대역(3.1~10.6GHz)을 쓰는 무선통신 방식으로, 신호가 여러 기준점(앵커)에 도달하는 '시간 차이'를 측정해 로봇의 위치를 정확히 계산한다. 이때 **TDoA(Time Difference of Arrival)**라는 수학적 원리가 적용된다. 천공 Ultra는 최대 20개의 기준 앵커와 통신하며, 0.1m/s 이하의 위치 오차로 안정적으로 경로를 따라갔다.

실제 마라톤 코스에는 장애물이나 벽이 많아 신호가 직선으로 도달하지 못하는 구간(NLOS, 비가시선)이 많다. 이런 환경에서도 정확도를 높이기 위해, 신호가 여러 번 튕겨 나올 때 '첫 번째로 도달한 신호(First Path)'의 비율을 실시간으로 확인하고, 이 비율이 85% 이상 되도록 설계했다. 이런 방식으로 UWB는 10cm 이내의 위치 정확도를 실현했는데, 이는 기존에 널리 쓰이던 LiDAR(약 30cm 오차)나 단안 카메라(1m 이상 오차)보다 훨씬 뛰어나다.

여기에 위치 데이터를 더욱 정확하게 만들기 위해, **확장 칼만 필터(EKF, Extended Kalman Filter)**라는 데이터 융합 알고리즘을 썼다. 이 알고리즘은 UWB 위치 정보와 로봇 몸에 달린 관성 센서(IMU, Inertial Measurement Unit)에서 측정한 움직임 정보를 한 번 더 통합해서, 실제 위치와 방향을 거의 실시간에 가깝게 계산해낸다. 이 과정을 위해 FPGA라는 특수한 칩을 활용해 1초에 100번 이상 빠르게 데이터를 처리했다. [1]

▼ [1] "基于UWB的人形机器人高精度定位系统"

> https://m.rfidworld.com.cn/news/2504_43369D6E61DB14EA.html

"완주를 위한 근본적 설계 변화 – 경량화와 수부(손) 혁신"

기존 수부가 존재	경량화를 위해 수부를 단순화 함

천공 Ultra가 마라톤 완주에 성공한 데에는 전체 구조의 극단적 경량화, 그리고 '손'(수부) 모듈의 혁신이 중요한 역할을 했다. 천공은 180cm에 55키로로 사람으로 치면 심각한 저체중이라고 볼 수 있다. 로봇은 인간과 달리, 가벼우면 가벼울수록 효율화를 이뤄낼 수 있다. 인간을 대신하여 업무를 수행하기 위해선 대형 로봇이 필요하다. 그러나 대형 로봇의 가장 큰 약점은 무거운 몸체와 관절, 특히 손(수부) 무게가 전체 운동 효율·배터리 소모·내구성 저하에 직접적으로 영향을 준다는 점이다. 천공팀은 기존 손 모듈을 완전히 분해해 모듈식, 속이 빈(hollow) 구조로 다시 설계했고, 불필요한 장식이나 중량 부품을 모두 제거했다. 이 손 구조의 변화 덕분에 전체 관절의 피로 누적이 줄고, 마라톤 내내 시스템 다운이나 과열, 기계적 손상 없이 운동 효율이 극대화됐다.

▼ ■ CCTV财经 공식 생중계(揭秘全球首个人形机器人半马现场) 에서 발췌한 '손 경량화' 관련 내용:

관절 제어·균형 유지·예측 기반 소프트웨어

천공 Ultra는 전신형 구조(180cm, 55kg)이지만, 직접 개발한 고토크 밀도 액추에이터와 경량·고강성 복합소재 프레임을 통해, 중량 불안정, 에너지 소모 증가 문제를 근본적으로 개선했다. 관절과 다리에는 강성·유연성이 균형 잡힌 구조와 충격 완화용 탄성 소재, 기계적 완충장치가 적용됐고, 이 구조 혁신은 마라톤 내내 반복되는 지면 충격, 노면 요철에도 무리 없는 완주를 가능케 했다[7].

"에너지 관리 – 배터리 핫스왑과 내구성의 진화"

천공 Ultra는 **핫스왑 배터리** 시스템을 도입하여 경기 중 총 3회의 배터리 교체만으로 전 구간을 무리 없이 주행했다[2]. 공랭 방열(风冷散热)과 열전도 소재 최적화로 발열 문제도 해결했으며, 배터리 잔량이 급격히 떨어지거나 복잡한 환경에서 모터 출력이 저하될 때도 관절 제어 시스템이 스스로 에너지 분배와 자세 회복을 병행한다.

경기 중 넘어진 원인 역시 "배터리 잔량 표시가 실제보다 높게 나와 갑자기 큰 전류가 필요한 구간에서 전압이 순간적으로 급락해 균형을 잃고 넘어진 것"이라는 현장 해설과 개발자 인터뷰로 확인된다.

핫스왑 배터리 시스템
경기 중 총 3회 배터리 교체만으로 전 구간 완주 가능

공랭 방열 기술
风冷散热 시스템과 열전도 소재 최적화로 발열 문제 해결

지능형 에너지 관리
배터리 잔량 변화에 따라 관절 제어 시스템이 에너지 분배 최적화

구현지능 플랫폼 '慧思开物' – 대뇌·소뇌 분리 통합구조

천공 Ultra의 모든 자율·제어·균형 유지의 토대는 **'慧思开物'**라는 자체 개발 범용 지능 플랫폼이다.

이 플랫폼에는 두 개의 인공지능 신경망이 있다. 첫째, **전역 의사결정 네트워크**는 로봇 주변 환경을 3D 지도로 만들고, 5초 뒤에 무슨 일이 일어날지 예측한다. 이를 위해 LSTM(Long Short-Term Memory)라는 시계열 딥러닝 모델이 활용된다. 둘째, **국부 제어 네트워크**는 보행의 안전성과 균형을 책임진다. **ZMP(Zero Moment Point)**라는 원리로, 로봇이 걷거나 뛸 때 무게중심이 안정적으로 남아있게 한다.

로봇이 갈 길을 정할 때는 A* 알고리즘(최단 경로 찾기)과 RRT(신속탐색 임의트리)라는 두 가지 경로 탐색 방법을 조합해서, 500m 단위로 큰 경로를 그리고, 0.1초마다 레이저 센서로 장애물을 파악해 그때그때 길을 수정한다. 이 모든 과정에 **모델 예측 제어(MPC, Model Predictive Control)**라는 최신 제어 기법이 들어간다. MPC는 여러 선택지 중에서 앞으로 가장 효율적인 경로와 동작을 시뮬레이션하고, 에너지 소모를 줄이면서도 목표를 달성할 수 있도록 최적의 명령을 내린다. 이를 통해 1km를 달려도 전력 소비가 150Wh를 넘지 않게 설계됐다. [3]

여기서 '대뇌'는 수십 개의 센서 데이터와 외부 정보를 실시간 융합해 전체 환경 인지, 경로 결정, 장애물 대응을 총괄하고, '소뇌'는 상태기억 기반의 예측·강화·모방 학습으로 각 관절을 고정밀 제어해 균형과 피로 누적 방지, 즉각적 자세 회복을 담당한다.

경기 중 한 번 넘어진 뒤 빠르게 다시 균형을 잡고 달릴 수 있었던 것도 바로 이 정밀 통합 제어 구조 덕분이었다.

센서 데이터 수집

관절 센서, IMU, 비전 카메라에서 실시간 데이터 수집

AI 분석 및 예측

慧思开物 플랫폼이 상황 분석 및 최적 움직임 계산

균형 조정 실행

각 관절별 힘과 움직임을 미세 조절하여 균형 유지

기술적 도전과 극복 과정

실제 대회에서는 수십 대의 로봇이 한꺼번에 무선 신호를 주고받으면서, 신호 간섭 문제가 발생할 수 있었다. 이를 예방하기 위해 주최 측은 로봇들이 동시에 출발하지 않고, 5분 간격으로 순차 출발하도록 운영 방식을 설계했다. 이 방식은 로봇 간의 무선 통신이 서로 부딪히는 확률을 줄이기 위함이었다. 그럼에도 불구하고, 여러 로봇이 같은 구간에 진입하는 상황에서는 신호 충돌이 완전히 사라질 수 없었다.

이 문제를 기술적으로 해결하기 위해, 천공 Ultra는 FHSS(Frequency Hopping Spread Spectrum) 기법을 도입했다. 이는 무선 신호가 아주 짧은 시간마다 주파수를 계속 바꿔가며 송출되는 방식으로, 신호 간섭률을 12%에서 3% 이하로 크게 낮출 수 있었다. 흥미롭게도, 천공 Ultra는 워낙 빠르고 안정적으로 레이스를 이끌었기 때문에, 경기 내내 다른 로봇과 같은 구간에서 만난 적이 거의 없었다. 압도적인 1위였던 만큼 실제로는 타 로봇으로부터 신호 간섭 영향을 거의 받지 않고 경기를 완주했다.

또 다른 문제는 로봇 관절, 특히 고관절 모터의 발열이었다. 이를 해결하기 위해 **FEA(Finite Element Analysis, 유한요소해석)**라는 컴퓨터 시뮬레이션으로 열 흐름을 분석하고, 알루미늄 핀을 12개 고관절 주변에 배치해 3m/s의 강한 바람이 흐르게 만들었다. 그 결과, 로봇의 최고 온도를 68°C에서 45°C로 안정적으로 떨어뜨릴 수 있었다. [3]

▼ 출처:

> [3] “天工Ultra人形机器人：硬件与AI算法全解析”
>
> https://news.pconline.com.cn/1917/19174452.html

"최초의 공식 완주, 그리고 그 의미"

천공 Ultra는 이번 마라톤을 통해 '실내 시연용 로봇'이 아닌 '현실 산업/서비스 현장에 투입 가능한' 진짜 자율형 인간형 로봇의 기준을 새로 썼다[3][6][7]. 미국, 일본의 선도기업들도 아직 공식 '실외 장거리 완전 자율 완주' 사례가 없는 상황에서, 중국의 로봇 혁신이 실제 데이터를 쌓으며 산업적 기준을 제시한 것이다[9].

'진짜 인간처럼' 뛰며 증명한 기술, 그리고 미래

천공 Ultra의 성공은 단순히 '완주'라는 기록을 넘어, 인간형 로봇이 인간과 같은 공간에서 얼마나 실용적이고 지속적으로 작동할 수 있는지에 대한 명확한 해답을 제시한 결정적 사건이었다. 특히, 손을 비롯한 모든 부품을 실제 마라톤 완주라는 극한 상황에 맞춰 구조적으로 경량화하고, 전체 에너지 효율을 극대화하며, 복잡한 환경에서도 신속하게 균형을 회복할 수 있도록 구현한 점은 앞으로 로봇의 산업 표준이 어느 방향으로 발전해야 하는지를 명확하게 보여준다.

이제 '천공' 시리즈는 더 이상 실험실 안의 신기한 시연물이 아니라, 인간과 함께 현실 사회에서 다양한 역할을 수행할 수 있는 '미래형 파트너'로서, 새로운 산업 및 사회적 모델의 출발점이 되고 있다.

이 모든 혁신의 중심에는国家地方共建具身智能机器人创新中心(National and Local Co-built Embodied Artificial Intelligence Robotics Innovation Center, 국가지방공동구축 체화 지능로봇 혁신센터))이 있다. 이 센터는 2023년 베이징 경제기술개발구 이좡(亦庄)에 설립된 중국 최초의 '具身智能'(Embodied AI) 로봇 혁신 허브로, 우비션, 샤오미, 京城机电, 亦庄机器人 등 로봇산업 선도기업과 함께 하드웨어와 소프트웨어, AI 대모델, 대규모 데이터셋, 산업 표준, 오픈 생태계, 실전 현장 검증까지 전체 밸류체인을 통합적으로 주도하고 있다. '천공' 시리즈의 모든 혁신 역시 이 센터의 기술 개발과 개방형 협업, 국가 표준화 전략, 산업 현장 검증이라는 통합적 혁신 시스템에서 탄생했다.
천공 Ultra의 완주와 같은 실전 성과는 이 센터가 주도하는 산업-기술-정책 융합 생태계가 실제 현장에서 어떻게 '글로벌 기준'을 선도하는지 보여주는 상징적인 결과물이다.
앞으로 이 센터와 천공 시리즈의 행보는 단순한 기술 경쟁을 넘어, 인간과 로봇이 공존하는 새로운 미래 사회의 실질적 모델을 만들어갈 것으로 기대된다.

기술적 혁신
경량화, 에너지 효율, 자율 주행 기술의 완벽한 통합

실용적 파트너십
인간과 같은 공간에서 실용적·지속적으로 작동 가능한 로봇 실현

미래 산업 모델
산업·물류·서비스·돌봄 분야에 실제 투입 가능한 새로운 표준 제시

▼ 출처

[참고자료/각주]

[1] 北京日报(2025.4.21): "天工Ultra采用视觉与AI算法，精准识别并跟随前方运动员，全程保持合理距离完成半马."
[2] CCTV 뉴스(2025.4.19): "天工机器人通过非接触式跟随系统，实现对领跑者的智能追随."
[3] 人民网(2025.4.21): "利用深度学习模型和视觉追踪技术，天工Ultra能够持续感知并锁定前方人员."
[4] 베이징휴머노이드로봇혁신센터 공식 발표(2025)
[5] 베이징경제기술개발구 대회 운영위 보도자료(2025)
[6] 신화사, 과학기술일보 등 대회 기술 해설(2025)
[7] 《中国人形机器人标准化白皮书（2024版）》

2025. 4.28 경매에 오른 천공 天工

우승자 원형 모델이 약 2억 원 (198,859,927)에 낙찰

*2025.04.28 환율 기준

2025년 세계 최초의 인간형 로봇 하프마라톤에서 우승을 차지한 '천공 Ultra' 원형기는 중국 최대 온라인 경매 플랫폼에서 101만 114위안(시장가 108만 8천 위안)에 낙찰되며, 실제 경기에 출전한 로봇이 공식 경매로 거래된 글로벌 첫 사례로 기록

아이의 신체로 어른들의 경기에서 준우승을 !

180cm에 달하는 거대한 천공 Ultra를 이미 살펴본 만큼, 이제는 키 120cm의 작은 몸으로 도전에 나선 송연동력(松延动力) N2를 만날 차례다. 외형은 작고 귀여워 보이지만, 경기 내내 보여준 완주 능력은 전혀 만만치 않았다. 송연동력은 두 대의 N2를 출전시켜 하나는 준우승을 거머쥐었고, 다른 하나는 실제로 세 번째로 결승선을 통과했으나 교체 패널티로 공식 기록은 4위로 밀렸다. 덩치는 작아도 강단 있는 이 로봇은 기술적 완성도와 현장 적응력에서 모두 강한 인상을 남겼고, 대회 이후 주문이 폭증하며 상업적 성공까지 거머쥐었다. 이제 그 작은 몸 안에 숨은 가능성과 경쟁력을 본격적으로 들여다본다.

송연동력 N2팀 (소원동/ 순풍)

신장 : 1.2m

체중: 30kg

- 생체역학 기반 설계
- 탄성 구동 및 동적 균형 조정 기술 결합

소완동 팀: 1회 기체 교체 (+10분)

선풍 소자팀: 4회 기체 교체 (+10분 + 15분 + 20분 +20분 → +65분)

소원동은 먼저 도착했지만 많이 넘어져 늦게 온 선풍소자팀 N2를 완주 지점에서 기다림

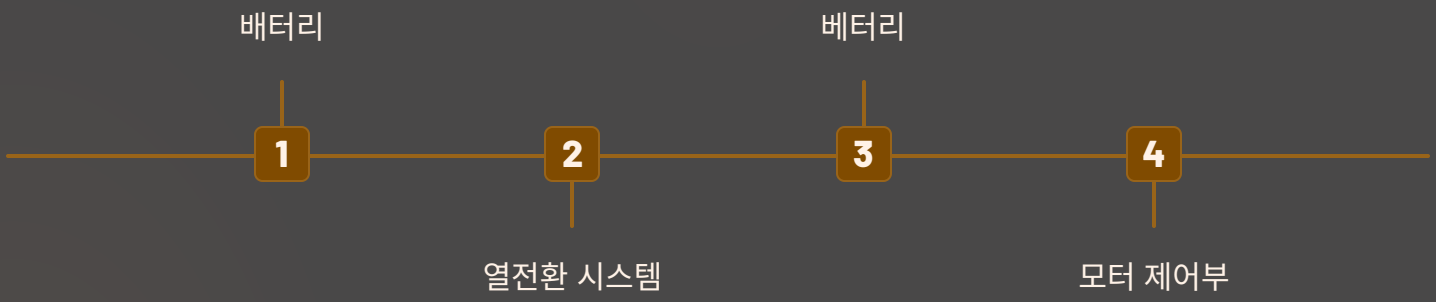
출처: 央视网，2025北京亦庄半程马拉松暨人形机器人半程马拉松，
https://www.cctv.com/

준비를 넘어, 실전에 맞춘 진화

송연동력 팀은 대회를 위해 약 한 달간 집중 훈련에 돌입했다. 북경 해전 기상과학기술원구의 아스팔트 도로와 시멘트 도로에서 매일 각각 1시간 이상 달리며 실전 감각을 키웠고, 초반에는 전체 코스를 완주하지 못했지만 빠른 속도로 적응해 결국 안정적인 완주가 가능한 수준까지 끌어올렸다. **경기 중 안정성과 지속성을 높이기 위해 29호 운동화**(한국 사이즈 약 185mm)를 신겨 금속 다리가 지면에 부딪힐 때 발생하는 "둥둥둥" 소음을 크게 줄였으며, 장거리 주행 중 발생할 수 있는 **골반부 과열 문제**를 해결하기 위해 로봇 골반부에 **냉각제 분사 장치를 추가**하는 등 다양한 현장 대응 솔루션을 적용했다. 이러한 준비는 단순한 반복 훈련을 넘어, **실제 경기 환경에 최적화된 형태로 로봇을 진화**시키는 과정이었다. [1]

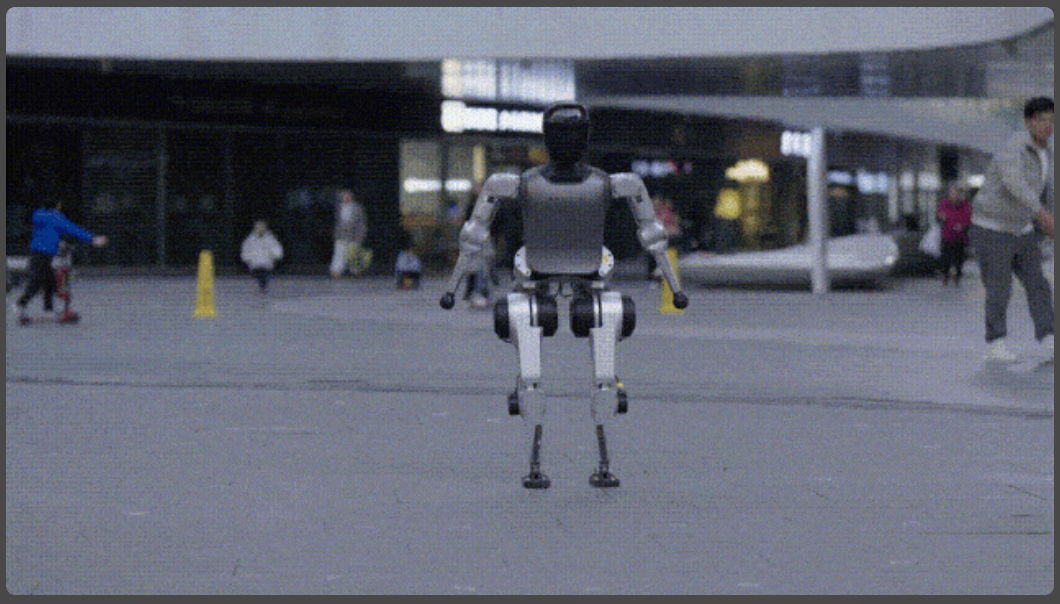
배터리 시스템 및 에너지 관리

N2 로봇은 **이중 배터리 열전환 아키텍처**를 채택했다. 48V/7Ah 리튬이온 배터리 팩을 장착하고 있으며, 특허 CN111969993B에 공개된 자가 적응형 전원 전환 회로를 통해 주행 중에도 전력 공급이 끊기지 않는 배터리 교체를 구현했다. 이 시스템은 심층 강화학습 알고리듬을 통합해 에너지 소비 패턴을 실시간 예측하고, 마라톤 경기 중 주행 거리를 12.3% 향상시키는 데 기여했다. 배터리 관리 시스템(BMS)은 온도 보상 알고리듬을 적용해 -10°C에서 50°C까지 다양한 환경에서 ±1.5% 이내의 SOC(충전 상태) 추정 정확도를 유지하며, 삼중 균형 조정 전략을 통해 배터리 간 용량 차이를 3% 이내로 관리했다.



또한, 탄성 접촉식 전극 설계를 도입하여 1.2m 높이에서 낙하해도 안정적인 전력 공급을 유지할 수 있도록 했으며, 충전 단자는 120W 고속 충전 프로토콜을 지원해 30분 만에 80% 충전이 가능하다. 모듈형 배터리 구조를 통해 15초 이내에 배터리 교체를 완료할 수 있다. 에너지 분배 전략에는 동적 전력 분배 모델이 적용되어, 로봇의 운동 상태에 따라 각 관절에 공급하는 전력을 실시간으로 조정한다. 특히, 스프린트 구간에서는 하반신 관절에 전체 출력의 78%를 집중 투입할 수 있다. [2]

구동 시스템 및 전달 구조



▼ <공중 제비를 뛰는 장면_출처>

> https://cj.sina.cn/article/norm_detail?url=https%3A%2F%2Ffinance.sina.com.cn%2Fwm%2F2025-04-12%2Fdoc-ineswrnx7438880.shtml%3Froms%3Dggmp%26utm_source%3Dperplexity&from=redirect

N2 로봇의 구동 핵심부는 **생체 모방형 힘줄 구동 메커니즘**을 채택해 설계되었다. 이 방식은 인간 힘줄의 탄력성과 강성을 모사하여, 충격을 흡수하면서도 높은 에너지 효율을 유지하는 특징을 가진다. 이를 통해 단일 관절 기준 최대 150N·m의 토크를 발휘하고, 무게 대비 출력 밀도는 8.5kW/kg에 달하는 고성능을 실현했다. 하반신 전달계는 유성 감속기와 하모닉 감속기의 장점을 결합한 혼합형 설계로 구축되었으며, 기어비를 최적화하는 알고리듬을 통해 3.5m/s의 고속 달리기와 0.5m/s의 정밀 보행 모드를 부드럽게 전환할 수 있도록 했다. 무릎 관절에는 5자유도 생체 모방 구조가 적용되어 다양한 방향의 운동을 자연스럽게 구현하며, 볼 베어링과 교차 롤러 베어링을 통합하여 기존 대비 마찰 손실을 42% 줄이는 성과를 거두었다.

개념	핵심 포인트	기대 효과
생체 모방형 힘줄 구동	충격 흡수+유연성 강화	고토크(150N·m), 고출력(8.5kW/kg) 달성
혼합형 전달계 (유성+하모닉)	내구성+정밀도 동시 확보	고속/정밀 보행 부드럽게 전환
5자유도 무릎 관절	자연스러운 운동 방향 지원	마찰 손실 42% 감소
PCM 기반 모터 냉각	열 완충층으로 발열 제어	연속 작동 수명 3.8배 연장

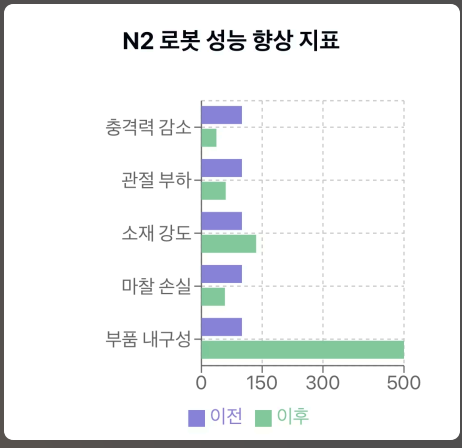
또한 모터 냉각 시스템에는 상변화 물질(PCM)을 활용한 **중첩 방열 기술**이 도입되었다. 알루미늄 복합재 내부에 마이크로캡슐화된 파라핀을 삽입하여 관절 부위에 동적 열완충층을 형성하고, 이를 통해 3시간 연속 고강도 운동 중에도 모터 코일 온도를 85℃ 이하로 안정적으로 유지할 수 있었다. 실험 결과, 이러한 방열 설계는 모터의 연속 작동 수명을 기존 대비 3.8배 연장시키는 데 기여했으며, 고부하 주행 환경에서도 성능 저하 없이 장기간 안정적인 구동이 가능함을 입증했다. [2]

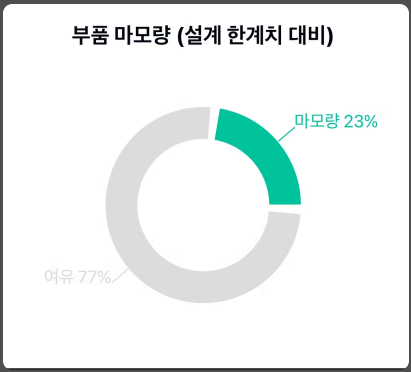
운동 제어 알고리듬

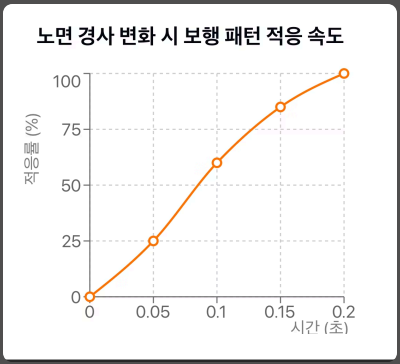
N2 로봇은 이번 대회에서 **인간의 개입 없이 완전 자율로 경기를 완주한 유일한 로봇**이다. 운동 제어 시스템은 **MPC(모델 예측 제어)와 RL(강화학습) 협조 프레임워크**를 기반으로 설계되었으며, 상위 강화학습 알고리듬이 초당 120세트의 보행 파라미터를 생성하고, 하위 모델 예측 제어기가 10ms 주기로 관절 토크를 정밀 조정하는 구조를 갖췄다. 이를 통해 N2는 15도 경사로 변화에도 0.2초 이내에 보행 패턴을 조정할 수 있는 민첩성을 확보했으며, 전체 보행 조정 성공률은 97.6%에 달했다. 다중 센서 퓨전 시스템을 통한 환경 인식 기능도 강력하다. 10Hz 라이다, 100Hz 관성측정장치(IMU), 4개의 족저 압 센서 데이터를 0.01초 이내에 동기화하여 외부 환경 변화를 실시간 반영할 수 있도록 하였으며, 이로 인해 복잡한 지형 변화에도 즉각적인 적응이 가능해졌다. 또 다른 핵심 기술인 강화학습 기반 동적 간섭 저항 알고리듬은 3200시간 분량의 낙상 훈련 데이터를 바탕으로 설계되었으며, 50N 측면 충격 상황에서도 0.5초 이내에 균형을 회복하는 복원력을 보여주었다. 이러한 고도화된 운동 제어와 자율 주행 기술은 N2가 극한의 실제 마라톤 환경에서도 인간의 지원 없이 안정적으로 완주할 수 있도록 만든 결정적인 요인이었다. [3]

기술 포인트	설명	효과
완전 자율 완주	인간 개입 없는 완주	시스템 신뢰성 입증
MPC-RL 제어	상위 강화학습 + 하위 예측 제어	부드럽고 안정적인 움직임
0.2초 경사 대응	초고속 보행 패턴 조정	실시간 환경 적응
다중 센서 퓨전	LiDAR, IMU, 족저 센서 통합	정확한 외부 인식
간섭 저항 알고리즘	낙상 복구 학습	0.5초 내 균형 복구
실제 전이 성공	가상 훈련 결과 실전 적용	극한 환경에서도 안정성 확보

장거리 주행을 위한 충격 흡수 기술 및 구조 내구성 강화 전략







N2 로봇 기술 혁신 주요 내용

경계면 상호작용 최적화

- 29호 특수 제작 운동화 적용
- 다공성 티타늄 감속층으로 충격력 63% 감소
- 족저 센서 4개로 초당 100회 압력 데이터 수집
- 15° 경사 변화에도 0.2초 내 적응

소재 공학적 혁신

- 그라데이션 주조 알루미늄 골격 (450MPa 항복 강도)
- 강도/비중 비율 35% 향상
- 크로스 롤러 베어링으로 마찰 손실 42% 절감
- 진공 도금 처리로 내구성 5배 향상

N2 로봇은 주행 안정성과 내구성 향상을 위해 면 상호작용 최적화와 소재 공학적 혁신을 동시에 구현했다. 우선, 29호 특수 제작 운동화에는 금속 다리와 지면 간 충격을 흡수하는 다공성 티타늄 감속층이 내장되어, 충격력을 기존 대비 63% 감소시키는 데 성공했다. 또한, 족저 센서 4개를 통해 초당 100회의 압력 분포 데이터를 수집하고, 동적 보폭 조절 알고리즘과 연동하여 노면 경사가 15° 변할 때도 0.2초 이내에 보행 패턴을 적응시킬 수 있도록 했다. 이러한 설계는 21km 주행 동안 관절 부하를 기존 대비 40% 줄이는 데 기여했다. 구조 소재 측면에서도 고도화가 이루어졌다. 그라데이션 주조 기술로 제작된 알루미늄 골격은 주요 하중 부위에서 450MPa의 항복 강도를 확보했으며, 비중 대비 강도는 기존 대비 35% 향상되었다.

다리 연결부에는 크로스 롤러 베어링이 적용되어 마찰 손실을 42% 절감했으며, 진공 도금 처리 기술을 통해 부품 내구성은 기존 대비 5배 향상되었다. 이러한 일련의 소재 혁신 덕분에 N2는 마라톤 완주 이후에도 주요 부품의 마모량을 설계 한계치의 23% 이하로 안정적으로 유지할 수 있었다. [4]

시스템 통합 및 열관리

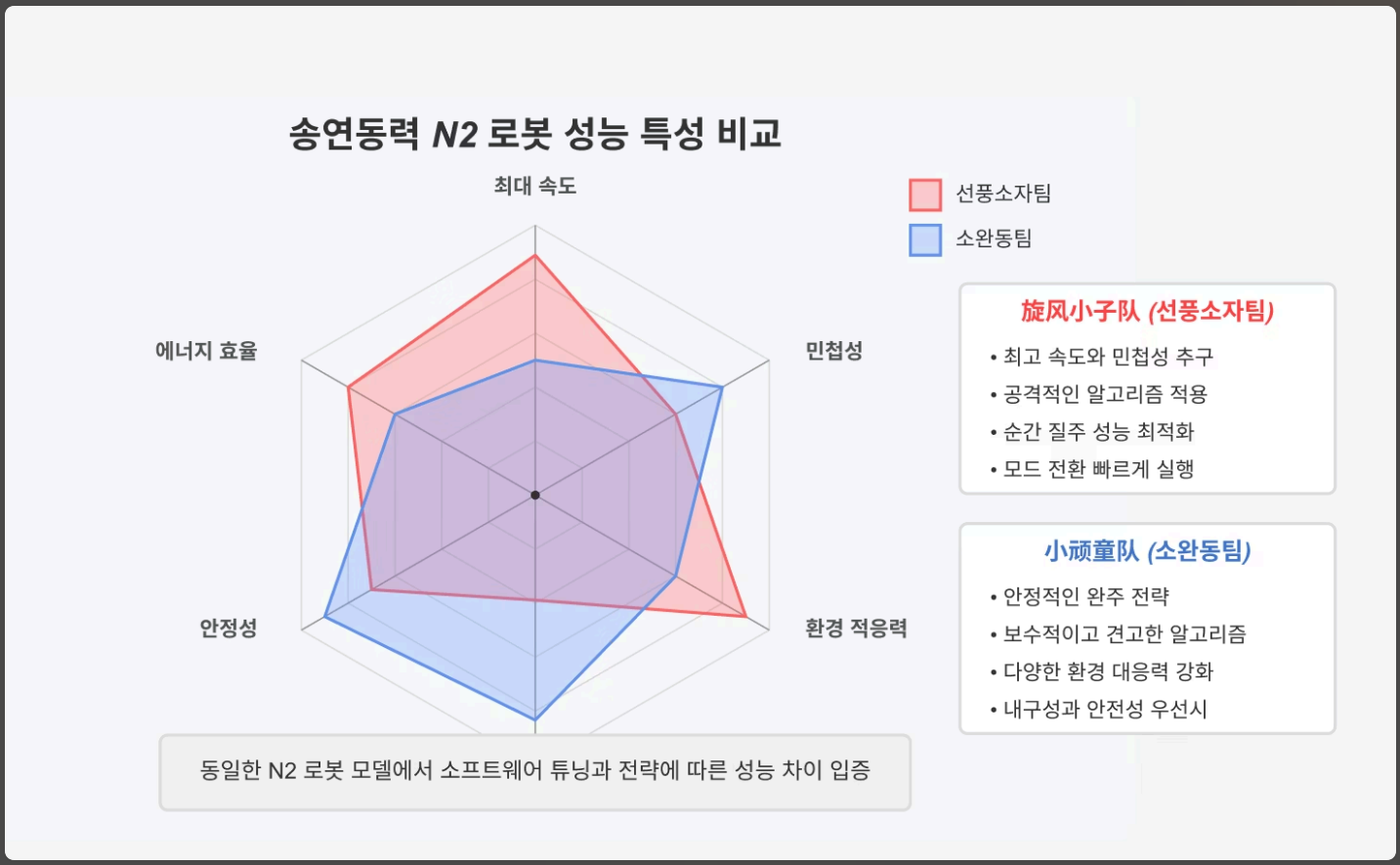
전체 시스템은 **다단계 온도 제어 전략을 채택**했다. 16개의 소형 열전냉각기를 통해 선택적으로 열을 배출하며, 외부 온도 35°C 조건에서도 핵심 제어기의 온도를 45±2°C로 안정적으로 유지했다. 동력 시스템에는 스마트 다운클럭 알고리즘이 적용되어, 열 부하에 따라 실시간으로 출력 전력을 조정하며 임계 온도에 도달하면 안전 모드로 전환된다.

이러한 통합 시스템은 디지털 트윈 기반 검증 플랫폼을 통해 5000회 이상의 가상 테스트를 거쳐 실물 튜닝 주기를 78% 단축했다. 모듈화 설계를 통해 구동 유닛 교체 시간은 3분 이내로 줄였으며, 유지보수성을 대폭 향상시켰다. 이와 같은 기술적 혁신을 기반으로 N2는 상업적 시장에서도 높은 경쟁력을 확보해, 현재까지 사전 주문 수량이 600대를 넘어섰다. [5]

같은 기계 다른 성과의 숨겨진 이유

즉 旋风小子팀(선풍소자팀)과 小顽童팀(소완동팀)을 출전시켰다. 두 팀 모두 동일한 N2 모델 로봇(신장 약 1.2m, 체중 30kg, 이론상 최대 속도 3.5m/s)을 사용했지만, 경기 전략과 기술 구현 방향에서 뚜렷한 차이를 보였다.

선풍소자 (旋风小子)팀은 **'최고 수준의 운동 능력 극대화'**를 목표로 삼아, 대회 기간 동안 로봇의 최대 속도, 민첩성, 순간 질주 능력을 강조했다. 복잡한 지형과 고강도 조건에서도 N2의 극한 퍼포먼스를 끌어내는 데 집중했다. 이들은 보행 제어와 동적 중심 조절, 에너지 회수 시스템 등에서 공격적이고 실험적인 알고리듬을 도입했으며, 순간 속도 향상과 민첩한 동작 전환("뛰고, 달리고, 순식간에 모드 전환")에 최적화된 세팅을 채택했다. 경기 중 일부 구간에서는 더 빠른 페이스와 역동적인 보행 전략을 시도함으로써 기록 경신을 노렸다.



반면 소원동(小顽童)팀은 **'안정적 완주'**를 최우선 목표로 설정했다. 장거리 레이스와 큰 온도 변화 환경에서도 로봇의 신뢰성과 안전성을 확보하는 데 전략의 무게를 두었으며, 고장이나 실수를 최소화하는 데 주력했다. 기술적으로는 관절의 탄성 구동, 보행의 자기 적응성, 외부 충격에 대한 방어 능력을 강화하는 보수적이고 견고한 접근을 취했다. 이 팀은 전체 레이스에서 실수를 줄이고 일관된 성능을 유지하는 데 집중해, 안정적인 완주를 통해 로봇의 장기 운용 가능성을 입증하고자 했다.

비록 두 팀 모두 동일한 하드웨어 플랫폼을 사용했지만, 각기 다른 소프트웨어 최적화 방향과 경기 운영 전략을 통해 N2 로봇의 상반된 잠재력을 부각시켰다. 선풍소자(旋风小子)팀은 극한 운동 능력과 속도 돌파를, 소원동(小顽童)팀은 지속 가능성과 안정성을 각각 입증하였다. 이를 통해 N2 플랫폼이 극한 스포츠 환경은 물론, 장시간 미션 수행에도 모두 대응할 수 있는 범용성을 지니고 있음을 보여주었다. [6]

송연동력(松延动力) 기업 개요

송연동력(松延动力, Noetix Robotics)은 2023년 9월에 설립된 중국의 신생 로봇 테크 기업으로, 인간형 로봇(인형 로봇) 연구개발 및 제조에 특화되어 있다. 법정 대표자이자 창립자인 장철원(姜哲源)은 1998년생으로, 칭화대학교 전자공학과 박사과정 3년 차에 학업을 중단하고 본격적인 로봇 창업에 뛰어들었다. 송연동력은 설립 이후 매우 빠른 성장을 보였으며, 설립 2년 이내에 다섯 차례에 걸쳐 투자 유치를 성공적으로 마쳤다. 특히 2025년 3월에는 연속으로 A라운드 및 A+라운드 투자를 유치하여 총 1억 위안(한화 약 175억 원) 이상의 자금을 조달하였다. 주요 투자자로는 彬复(빈푸), 华强资本(화강 캐피털), 神骐资本(신치 캐피털), 북경 미래과학성 펀드, 天启资本(톈치 캐피털) 등이 있다.

현재 송연동력은 세 가지 주요 제품군을 보유하고 있다: 가정용 체화 지능 로봇 “E1”, 고성능 인형 로봇 “N2”, 그리고 생체모방 얼굴 장치 “Hobbs”이다. 이 중 N2 모델은 복잡한 지형에서의 고성능 이동성과 인간에 가까운 상호작용 능력으로 특히 주목받고 있다. N2는 2025년 4월 베이징 이좡에서 개최된 글로벌 최초 인간형 로봇 하프마라톤에서 준우승을 차지하며 대중적 인지도를 크게 높였으며, 이후 39,900위안(한화 약 700만 원)의 경쟁력 있는 가격으로 시장에 출시되었다.

송연동력은 기업 경영 철학에서 ‘로봇 업계의 샤오미’를 지향하고 있으며, 궁극적으로는 ‘로봇 분야의 애플’과 같은 위치에 도달하는 것을 목표로 삼고 있다. 표준화된 제품 생산을 통한 대량 공급과 원가 절감에 집중하며, 맞춤형 솔루션은 최소화하는 전략을 택하고 있다. 창립자 장철원은 이를 ‘물 판매자’ 전략이라 표현하며, 다양한 산업 분야에 손쉽게 적용 가능한 모듈화된 로봇 제품을 빠르게 확산시키는 것을 핵심 방향으로 삼고 있다.

N2 로봇은 교육, 연구, 전시, 엔터테인먼트 등 다양한 분야에서 활용 가능성을 인정받고 있으며, 탁월한 운동 성능과 지능형 기능의 결합을 통해 향후 인간형 로봇 시장에서 실질적 대중화와 산업적 확장을 이끌어낼 것으로 기대된다. [7]

▼ 출처

1. 出处: 华尔街见闻(Wallstreetcn), 「赛博半马刷屏！有机器人“头掉了”还坚持跑」, 2025년 4월 19일, 링크
2. 出处: 新浪财经(Sina Finance), 「仿生机器人的崛起：解析人形机器人赛场背后的产业布局」, 2025년 4월 12일, 링크
3. 出处: 东方财富证券(东财证券), 「2025人形机器人产业深度报告」(PDF), 2025년 4월 21일, 링크
4. 出处: 经济观察网(The Economic Observer), 「机器人马拉松背后：亦庄打造‘机器人小镇’」, 2025년 4월 17일, 링크
5. 出处: 国家科技信息网(NCSTI), 「未来已来：人形机器人在亦庄跑出新可能」, 2025년 4월 22일, 링크

가장 먼 길을 걷는 로봇, 행자 2호

베이징 하프마라톤 대회에서 행자2호는 단 한 번의 배터리 교체도 없이 완주에 성공했다. 그러나 경기 도중 두 차례에 걸쳐 로봇 기체를 교체해야 했고, 이로 인해 약 10분과 15분, 총 25분의 추가 시간이 공식 기록에 합산되었다. 결과적으로 행자2호는 기록상 총 소요 시간이 늘어났음에도 불구하고, 안정적인 주행 성능을 기반으로 3위를 차지했다. 특히, 이 과정에서 4차례 기체 수리 및 교체로 더 많은 시간 패널티를 받은 **선풍소자팀(旋风小子队)**을 역전하는 데 성공했다. 이 사례는 단순한 속도 경쟁을 넘어, 로봇의 안정성·지속성이 마라톤 완주에서 얼마나 중요한 변수로 작용하는지를 명확히 보여주었다. 본 장에서는 '근육·힘줄 모사 구동'이라는 독자적 기술을 통해 지속성과 에너지 효율을 극대화한 행자2호의 구조적 특징과 의미를 분석하고자 한다.

뛰어난 물리적 특성과 대회 준비 과정

행자2호(行者二号)는 인간형 로봇 분야에서 경량화와 고성능이라는 두 가지 목표를 동시에 달성한 대표적인 사례로 꼽힌다. 로봇의 키는 1.681.7m, 무게는 약 2830kg에 불과하여, 동급 인간형 로봇 대비 약 30% 이상 경량화된 구조를 갖추고 있다. 이러한 가벼운 설계에도 불구하고, 자체 중량의 약 1.4배에 해당하는 40kg의 부하를 견딜 수 있는 강인한 하드웨어 구조를 구현하였다. 경량성과 강성의 균형을 정교하게 맞춘 결과, 행자2호는 높은 안정성과 내구성을 동시에 확보할 수 있었다. 배터리 성능 또한 주목할 만하다. 행자2호는 한 번 충전으로 최대 6시간 연속 보행 또는 4시간 연속 달리기가 가능하며, 최고 이동 속도는 시속 8~9km에 이른다. 이러한 뛰어난 에너지 효율성 덕분에, 2025년 베이징 하프마라톤 대회에서 배터리 교체 없이(단, 기체 교체 2회) 총 21.0975km 코스를 완주한 유일한 로봇으로 기록되었다.

총 주행 시간은 4시간 0분 56초였으며, 두 차례 기체 교체로 인한 벌칙 시간(약 25분)이 합산되어 최종 공식 기록은 4시간 25분 56초로 확정되었다. 행자2호를 개발한 상하이 Zhuoyide Robotics의 창립자이자 상하이이공대 기계지능연구원 집행원장인 리칭두(李清都) 교수는 《财经天下》와의 인터뷰에서 개발 의도를 다음과 같이 설명했다. 그에 따르면, Zhuoyide Robotics는 안내 서비스 및 물류 운송 등 실용적 응용 장면을 염두에 두고 로봇을 설계했으며, 이를 위해 자연스러운 인간형 보행을 목표로 삼았다. 특히 **근건 구동(肌腱驱动) 방식을 채택하여 로봇의 무게를 줄이고, 인간과 유사한 보행 특성을 구현**하는 데 집중했다. 흥미로운 점은, **이번 대회를 위해 별도의 구조 최적화나 대규모 개조를 진행하지 않았다는 사실**이다.

리칭두 교수는 “대회 참가를 결정한 후 한 달도 채 되지 않는 기간 동안, 단거리에서는 초속 3m(시속 약 10.8km)까지 도달하는 테스트를 진행했지만, 장거리 주행에 대한 본격적인 검증은 이뤄지지 않았다”며, “이에 따라 경기에서는 무리하게 속도를 끌어올리기보다, 안정성을 최우선으로 삼는 전략을 선택했다”고 밝혔다.

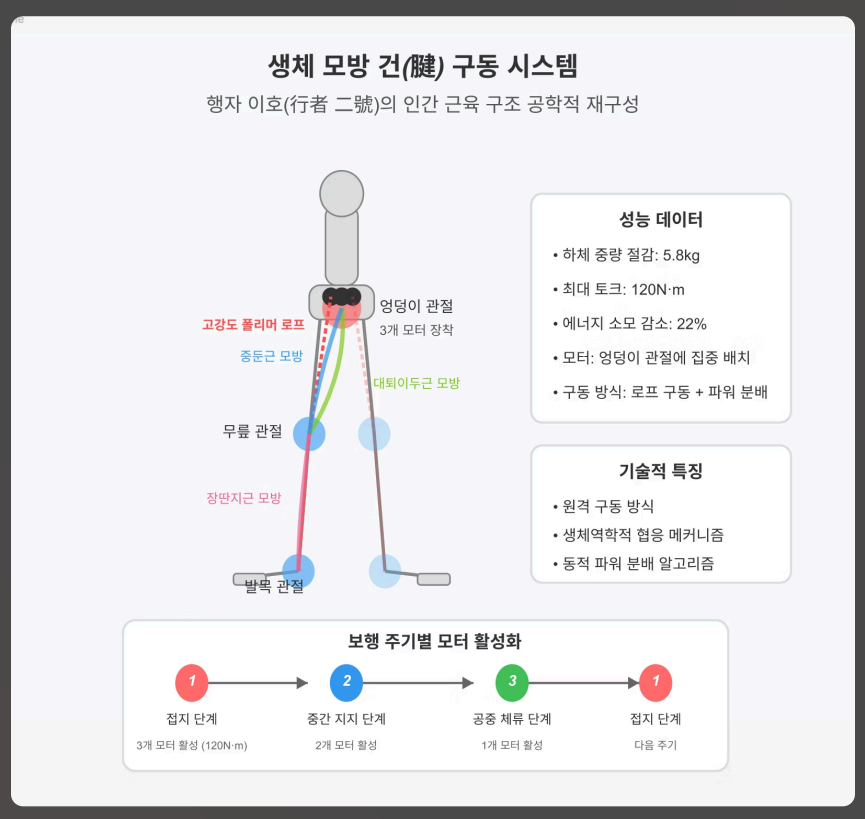
결과적으로, 행자2호는 사전 준비가 제한된 상황에서도 뛰어난 기본 성능과 높은 신뢰성을 바탕으로 3위를 차지하는 성과를 올렸으며, 인간형 로봇의 실용화 가능성을 다시 한번 입증해 보였다.

생체 모방 건(腱) 구동 시스템의 진화

*행자2호(行者二号)**는 인간 근육 구조를 공학적으로 재구성한 독창적 구동 시스템을 채택하여, 경량화와 에너지 효율이라는 두 가지 난제를 동시에 해결했다. 본 장에서는 이 생체 모방 건 구동 시스템의 구조적 특징과 기능적 메커니즘을 체계적으로 정리한다. 행자2호의 엉덩이(hip) 관절에는 총 3개의 소형 고성능 모터가 장착되어 있으며, 이 모터들은 고강도 폴리머 소재의 로프를 통해 무릎(knee)과 발목(ankle) 관절과 직접 연결된다. 이 설계는 인간의 대퇴이두근(hamstring), 중둔근(gluteus medius), 장딴지근(gastrocnemius) 등이 협응하여 다리를 움직이는 생리적 메커니즘을 정밀하게 모사한 것이다.

특히, 전통적인 로봇 설계에서 흔히 볼 수 있는 ‘각 관절별 모터 직접 구동’ 방식과 달리, 행자2호는 다리 부위에 별도의 모터를 배치하지 않았다. 이를 통해 하체의 불필요한 질량을 제거할 수 있었으며, 실제로 하체 중량을 5.8kg까지 절감하는 데 성공했다. 구동 방식 또한 단순한 물리적 연결을 넘어선다. 행자2호는 로프 기반 구동을 ’동적 파워 분배 알고리즘(Dynamic Power Allocation Algorithm)’과 통합하여, 보행 주기의 각 단계별로 최적의 동력 배분을 실현한다.

예를 들어, 발이 지면에 닿는 착지 순간에는 3개의 모터가 동시에 협력하여 최대 120N·m의 토크를 발생시킴으로써 충격을 흡수하고 균형을 유지한다.



반면, 발이 공중에 떠 있을 때는 하나의 모터만이 작동해 에너지를 최소한으로 소비하도록 설계되어 있다. 이 과정을 통해 행자2호는 전체 에너지 소모를 기존 대비 약 22% 줄이는 데 성공했다.

이러한 생체 모방 건 구동 시스템은 단순히 로봇을 가볍게 만드는 데 그치지 않고, 로봇의 보행 주기를 인간과 유사하게 만들고, 장거리 이동 시의 에너지 효율성까지 극대화하는 효과를 가져왔다.

결과적으로, 행자2호는 에너지 밀도와 모터 출력이 한정된 현실적 조건 속에서도 긴 시간 동안 안정적이고 지속적인 동작을 수행할 수 있게 되었으며, 이는 인간형 로봇의 실용화 가능성을 한층 끌어올리는 결정적 계기로 평가된다. [1]

고성능 경량 소재 적용 및 에너지 최적화 기술

*행자2호(行者二号)*는 단순한 경량화나 모터 효율 개선을 넘어, 구조 소재 혁신과 에너지 관리 체계 전반에 걸쳐 정교한 최적화를 이룩했다. 본 장에서는 행자2호에 적용된 고성능 경량 소재 기술과 지능형 에너지 관리 체계를 중심으로 기술적 특성을 분석한다.

1) 탄소섬유 - 알루미늄 하이브리드 복합재 구조

행자2호의 골격 프레임에는 **탄소섬유 강화 플라스틱(CFRP)**과 미세 기공 알루미늄 합금이 층상 구조로 결합된 하이브리드 복합 소재가 채택되었다. 이 복합재는 인장 강도 1.5GPa를 유지하면서도 밀도가 2.1g/cm³로 낮아, 순수 알루미늄 대비 약 35%의 경량화를 실현하였다. 특히 관절 부위에는 두께 0.1mm의 그래핀(Graphene) 코팅이 추가로 적용되었는데, 이로 인해 마모 저항성이 70% 향상되었고, 결과적으로 구동 시스템의 내구성과 수명이 크게 연장되었다. 이러한 소재 설계는 단순히 무게를 줄이는 데 그치지 않고, 고속 보행이나 반복적 지면 충격에도 기구적 변형을 최소화함으로써, 전체 시스템의 안정성과 신뢰성을 동시에 확보하는 데 기여했다.

2) 동적 보행 에너지 회수 시스템

행자2호는 보행 과정에서 자연스럽게 발생하는 운동 에너지를 적극적으로 회수하여, 에너지 효율을 추가로 향상시키는 독창적 메커니즘을 내장하고 있다. 구체적으로, 발뒤꿈치가 지면에 닿는 순간, 닫힌 회로 방식의 유압 시스템이 작동하여 지면 반력으로 발생하는 약 120N·m의 토크를 전기 에너지로 변환한다. 이를 통해 보행 중 발생하는 운동 에너지의 약 19%를 회수하여 배터리에 재저장할 수 있으며, 결과적으로 기본 배터리 용량 대비 약 32%의 추가 작동 시간을 확보하는 데 성공했다. 이 기술은 단순한 에너지 절약을 넘어, 장거리 보행 시의 지속 작동 가능성을 대폭 높이는 결정적 역할을 수행하였다.

3) 실시간 최적화 알고리즘 - GAIT-Optimizer 3.0

행자2호는 단순한 물리적 설계에 의존하지 않고, 고차원적 보행 최적화를 위해 **GAIT-Optimizer 3.0** 알고리듬을 탑재하고 있다. 이 시스템은 교차 모드 전이 학습(Cross-modal Transfer Learning) 기반으로 설계되었으며, 초당 200회의 고주파 데이터 샘플링을 통해 로봇의 보행 패턴을 실시간으로 분석한다. 구체적으로, 0.02초 단위로 무게 중심(Center of Mass) 이동 경로를 재계산하고, 필요 없는 관절 움직임을 적극적으로 억제한다. 이를 통해 전체 관절 작동량을 최대 45%까지 감소시켰으며, 추가적인 에너지 소비 절감 효과는 18%에 달한다.이 실시간 최적화 기능은 보행 중 외부 환경 변화나 지형 복잡도에 따라 즉시 대응할 수 있게 함으로써, 행자2호의 전체 에너지 효율과 안정성을 극대화하는 데 핵심적인 역할을 한다. [1]

항목	핵심 요약
고성능 소재	CFRP+미세기공 알루미늄 복합, 35% 경량화, 그래핀 코팅으로 70% 마모 저항성 향상
에너지 회수	발뒤꿈치 접지 시 운동 에너지의 19% 회수, 32% 추가 작동시간 확보
최적화 알고리즘	0.02초 단위 무게중심 재계산, 관절 불필요 동작 45% 감소, 에너지 추가 18% 절감

행자 로봇 시리즈의 기술적 진화와 행자2호의 탄생

행자2호(行者二号)는 약 10년에 걸친 기술 축적과 지속적인 혁신의 결과물이다. 그 전신인 행자1호(行者一号)는 2015년 11월, 0.8kWh의 전력만으로 총 134.03km를 연속 보행하여 기네스 세계 기록을 수립했으며, 이는 사상 최초로 100km 이상을 연속 보행한 족형 로봇으로 기록되었다. 이 기록은 현재까지도 깨지지 않고 있으며, 행자 시리즈의 기술적 신뢰성과 에너지 효율성의 상징이 되었다.

행자1호 이후 10년 동안, 개발팀은 다양한 버전 업그레이드를 통해 재료 과학, 경량화 기술, 구동 알고리듬을 지속적으로 최적화했다. 그 결과 탄생한 행자2호는 이족 보행 로봇의 고질적 한계로 여겨지던 배터리 지속 시간 문제를 실질적으로 해결한 최초의 사례 중 하나로 평가받는다**. 경량화된 복합소재 프레임, 근건(肌腱) 구동 시스템, 고주파 실시간 최적화 알고리듬**이 통합된 행자2호는, 2025년 베이징 하프 마라톤 대회에서 배터리 교체 없이(기체 교체 2회) 21.0975km를 완주하여 기술적 돌파구를 실전에서 입증해 보였다.

산업적 확장성과 응용 전망

행자 시리즈 개발을 이끈 중심 인물은 상하이이공대학 기계지능연구원의 이청도(李清都) 교수이다. 이청도 교수는 20년 이상 인간형 로봇 분야에 헌신해온 연구자이며, 2021년에는 상하이 Zhuoyide Robotics(卓益得机器人有限公司)를 설립하여 연구 성과의 산업화에도 적극적으로 나섰다. 그는 인형 로봇 하프 마라톤 직후 가진 인터뷰에서 “행자2호의 정신은 마라톤 정신과 같다. 스스로를 끊임없이 초월하고, 절대 포기하지 않는 것”이라고 강조했다. 또한 현재의 기술 최적화가 이루어진다면, 향후 1~2개월 이내에 로봇의 속도를 1.5배에서 2배까지 끌어올릴 수 있을 것이라고 전망했다. 이는 단순한 하드웨어 개선을 넘어, 근본적인 알고리듬 고도화와 소재 혁신을 병행하겠다는 의지를 반영한다.

이청도 교수와 그의 팀은 행자2호를 기점으로 생체 모방 로봇 기술을 실험실 수준에서 산업 시장으로 본격적으로 이양하는 데 집중하고 있다. 현재 일부 로봇 전문 기업 및 자동화 솔루션 기업과 협력 프로젝트를 진행하고 있으며, 행자2호의 강력한 범용성과 환경 적응성을 바탕으로 다양한 산업적 요구에 대응할 수 있는 로봇 플랫폼 개발을 추진하고 있다. 이를 통해 향후 생체 모방 로봇이 상업적 수익성과 사회적 기여를 동시에 실현할 수 있는 기반을 마련하려 한다.

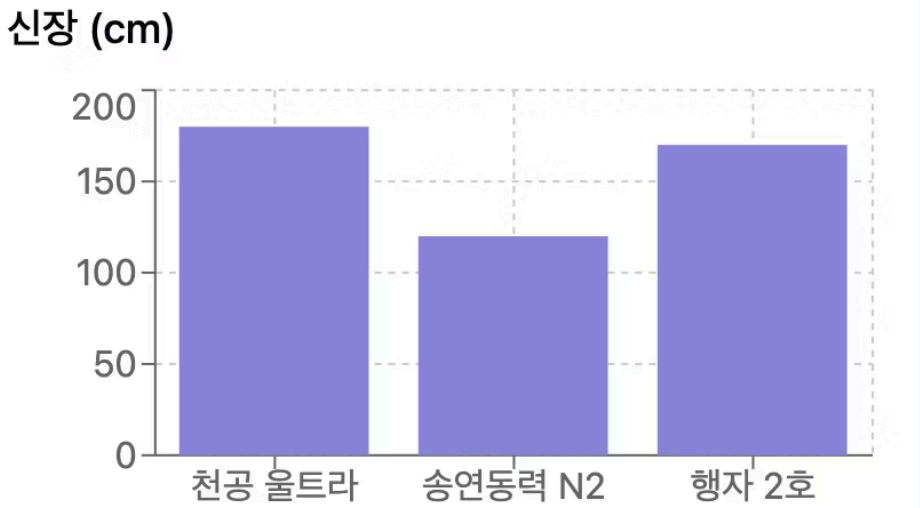
응용 가능성 측면에서도 행자2호는 폭넓은 잠재력을 지니고 있다. 재활 의료 분야에서는 보행 훈련 보조를 통해 환자의 재활 속도를 향상시킬 수 있으며, 물류 산업에서는 복잡한 도시 환경을 자율적으로 주행하는 장거리 배송 로봇으로의 활용이 기대된다. 특히 지진 등 자연재해 발생 시, 그 경량화된 구조와 높은 에너지 효율성은 수색·구조 활동에 있어 기존 로봇보다 뛰어난 기동성과 지속성을 제공할 수 있다.

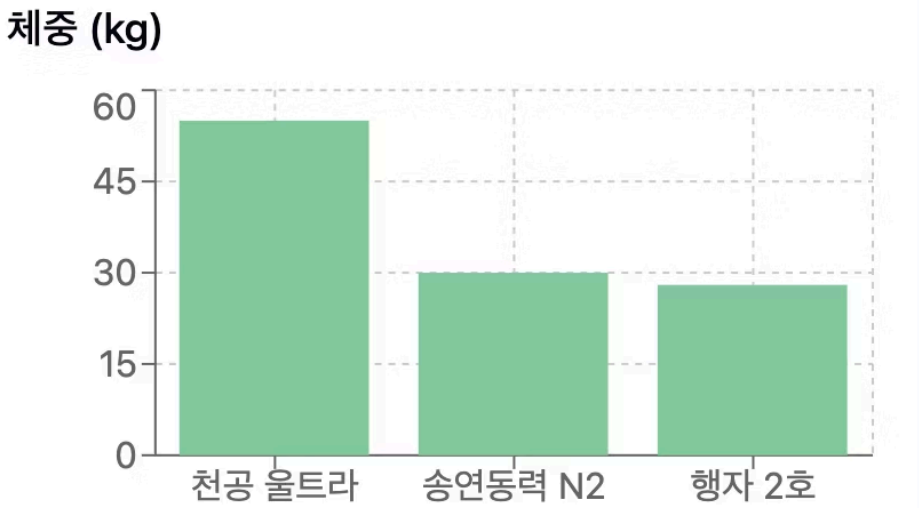
또한 과학 연구, 공공 서비스, 산업 자동화, 노인 건강 관리 등 다양한 분야에서도 행자2호는 지능화 발전을 가속화하는 중요한 기술적 발판이 될 수 있다.

행자 시리즈는 단순한 기술적 전시품을 넘어, 인간과 사회에 실질적 가치를 제공할 수 있는 실용적 로봇의 새로운 기준을 제시하고 있다. 이들의 기술 진보는 인간형 로봇 산업 전반에 지속 가능한 성장 가능성을 열어주었으며, 앞으로도 행자2호를 넘어서는 차세대 모델이 사회 각 분야에 실질적 변화를 가져올 것으로 기대된다. [2]

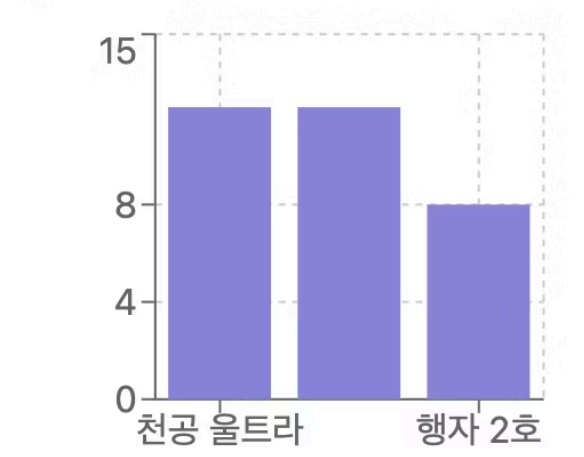
2025 北京 亦庄 하프 마라톤 1~3위 비교

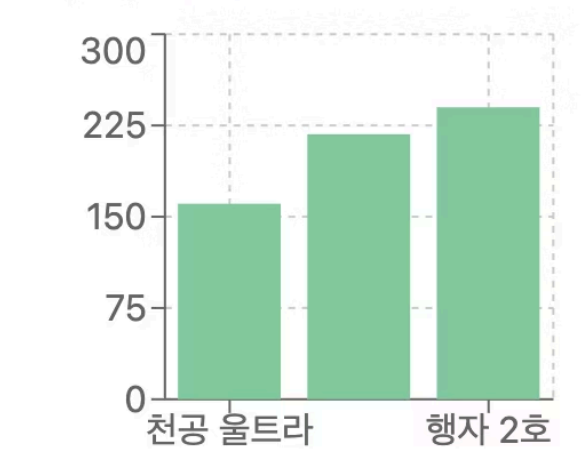
물리적 특성 비교

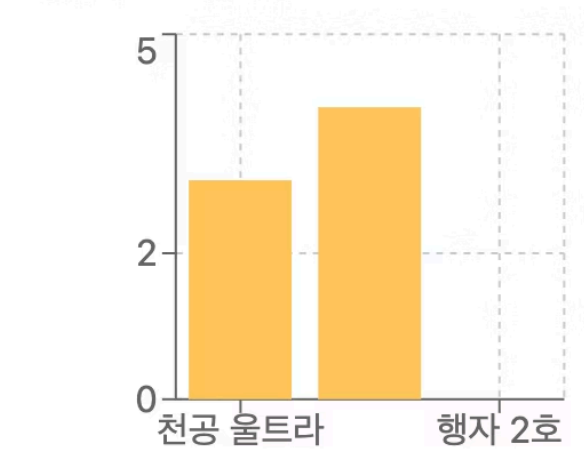




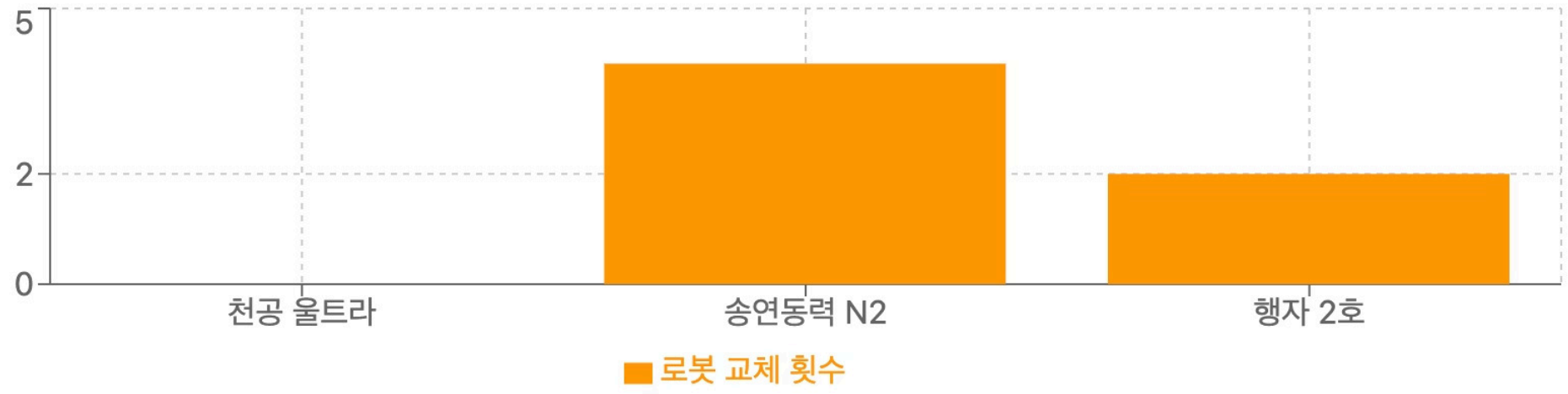
성능 특성 비교







로봇 교체 횟수 비교



종합 데이터 비교

특성	천공 울트라	송연동력 N2	행자 2호
신장(cm)	180	120	170
체중(kg)	55	30	28
최고 속도(km/h)	12	12	8
완주 시간(분)	160.7	217.8	240
배터리 교체 횟수	3	4	0
로봇 교체 횟수	0	4	2

핵심 기술 특징

천공 울트라

- 혜사개물(慧思开物) 범용 구신 지능 플랫폼
- 다중 모달 센서를 통한 환경 인식
- 열 시뮬레이션 기술과 관절 열전도 기술
- 대형 인간형 로봇으로 안정적 다리 구조

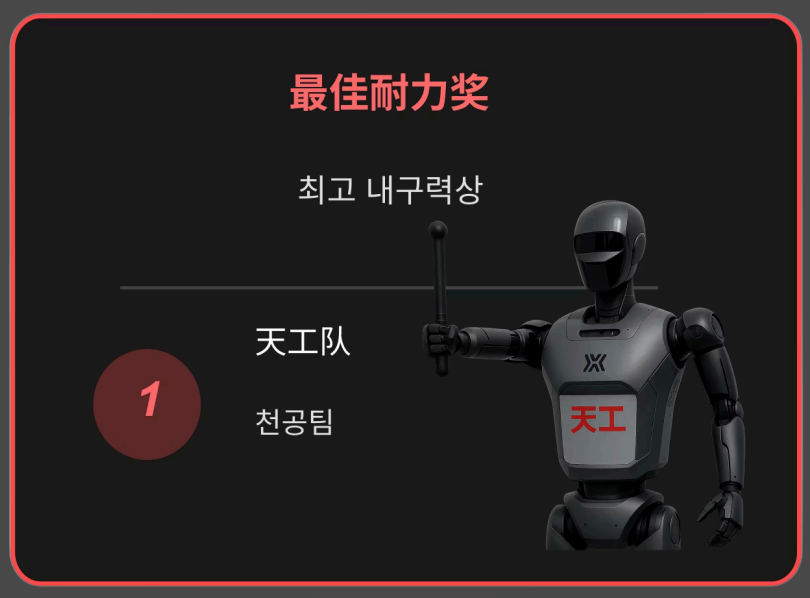
송연동력 N2

- 생체역학 기반 설계로 자연스러운 걸음걸이
- 관절 탄성 구동과 동적 중심 조절 기술
- 경량화와 충격 방지 최적화
- 연속 후방 공중제비 가능한 높은 운동성

행자 2호

- 근건(筋腱) 모방 구동 기술
- 인간 무릎 관절의 다중 근육 구동 원리 모방
- 알루미늄 합금 골격과 가는 다리 구조
- 배터리 교체 없이 완주한 유일한 로봇

2025 北京 亦庄 하프 마라톤 특별상 수상팀



1~3위를 차지하여 특별상을 수상한 팀 외에도, 旋风小子팀(선풍소자팀)이 총 3시간 46분 55초(최종 4시간 51분 55초), EAI팀이 총 4시간 45분 27초(최종 5시간 10분 27초), 半醒机器人팀(반성로봇팀)이 총 4시간 2분 19초(최종 5시간 27분 19초)로 각각 완주에 성공하였다.

이러한 결과는 이번 대회가 단순히 '누가 더 빠른가'를 겨루는 것이 아니라, "어떤 팀이 세계 최초의 인간형 로봇 하프마라톤을 끝까지 완주해낼 수 있는가" 라는 본질적인 도전에 더 큰 의미가 있었음을 보여준다.

또한 이번 대회에서는 완주 기록 외에도 다양한 특별상이 수여되었는데,

- **최고 내구력상**은 천공팀(天工队)이 수상하였고,
- **최고 균형상**은 행자2호팀(行者二号队), 도시간과학팀(城市之间科技队), 역마당선팀(亦马当先队)이 수상하였다.
- **최고 인기상**은 행자2호팀(行者二号队), 도시간과학팀(城市之间科技队), 강보팀(钢宝队)이 각각 수상하였다.
- **최고 자세 혁신상** 역시 행자2호팀, 도시간과학팀, 강보팀이 선정되었다.

Part 7. 미완주 17 팀 실패 원인 분석

세계 최초로 개최된 인간형 로봇 하프마라톤 대회는 업계 발전의 현단계 특성을 여실히 드러냈다. 총 20개 참가팀 중 단 6개 팀만이 완주에 성공한 현실은, 현재 기술 체계에 존재하는 시스템적 도전 과제를 반영하고 있다. 대회 데이터를 기반으로, 완주에 실패한 14개 팀의 핵심 실패 요인을 심층적으로 분석 추론하였다.

세계 최초 인간형 로봇 하프마라톤 대회 | 총 21개 참가팀 중 15개 팀 미완주

참가 팀 현황

21	6	15
총 참가팀	완주 성공	완주 실패

주요 실패 원인 (%)

⚙️ 운동 제어 시스템의 한계

알고리즘 구조의 지연 결함

- 낙상 사고의 63%는 제어 시스템 구조상의 분할 설계 문제
- 대뇌-소뇌 아키텍처에서 평균 87ms의 데이터 전송 지연 발생
- 데이터 해석에 소요되는 시간이 전체 운동 주기의 23%를 차지

동적 평형 제어의 부족

- 질량중심(COG) 진동이 안전 한계치(±5cm)의 300%를 초과
- 경사로에서 측면 가속도가 0.3g를 초과하면서 균형을 상실
- 완주팀은 1000Hz급 IMU 센서와 모델 예측 제어(MPC) 사용

🔧 기계 시스템 신뢰성 문제

관절 구동 모듈 과열

- 미완주 로봇의 71%에서 관절 과열 현상 발생
- 연속 작동 47분 후 고관절 온도가 82℃에 도달하여 강제 정지
- 주변 온도가 25℃를 초과할 경우 분당 토크 출력 저하율이 1.5%

구조 피로 파손

- 알루미늄 합금 프레임 로봇 18km 지점에서 다리 연결 부위 파손
- 발목 관절은 마라톤 조건에서 1억 회 이상 반복 응력 발생
- 일반 압출 성형 부품 사용 팀은 0.1~0.3mm 수준의 영구 변형 발생

🌍 환경 적응성 부족

복합 지형 인식 오류

- 다중 센서 융합이 미흡한 팀들은 평균 32%의 보행 오류 기록
- 단일 카메라 팀은 나뭇그늘이 진 구간에서 노면 균열을 장애물로 오인
- 천공Ultra는 이중 구조광 카메라와 밀리미터파 레이더 융합으로 98.7% 정확도 달성

온습도 변화에 의한 영향

- 대회 기온은 7℃~19℃로 12℃의 일교차 기록
- 43%의 팀에서 제어 시스템 드리프트(편향) 발생
- 완주팀은 온도 보정 알고리즘으로 항법 오차를 0.3m/km 이내로 억제

🔋 에너지 관리 시스템 결함

배터리 지속 시간 한계

- 미완주 로봇 평균 에너지 소비량은 1km당 480Wh로 완주 팀 대비 1.8배
- PID 제어 사용 로봇은 모터 무부하 손실이 전체 소비전력의 35%
- 우수 팀들은 착지 단계에서 운동 에너지의 15%를 회수하는 시스템 도입

빠른 배터리 교체 기술 부재

- 83%의 팀은 배터리 교체에 8분 이상 소요
- 나사 고정식 배터리함 사용 팀은 교체에 17분이나 소요
- 송연동력은 자석 흡착식 빠른 교체 시스템으로 교체 시간을 2분 15초로 단축

📋 참가 전략 및 준비 부족

기술 검증 부족

- 28%의 미완주 팀은 현장 테스트 경험이 부족
- 실내 트레드밀 훈련만 하고 실외 주행 테스트는 총 3시간 미만인 경우 발생
- 완주 팀은 평균 200시간 이상의 야외 주행, 500km 이상의 누적 테스트 진행

이중화(冗餘) 설계 부족

- 비공식 참가팀의 92%는 단일 기체만을 운용
- 주력 로봇이 출발선에서 고장나면서 예비 플랜이 없어 바로 실격된 사례
- 공식 참가팀은 팀당 3대의 로봇을 배치하여 완주 가능성을 높임

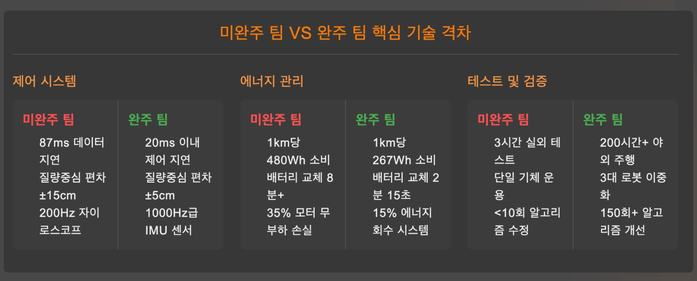
🔄 제3자 팀의 기술 통합 한계

이차 개발 능력 부족

- 외부 구매 모델을 사용하는 팀의 완주율은 0%
- 알고리즘 수정 버전을 10회 미만으로 반복한 경우 발생
- 개발사들은 평균 150회 이상의 알고리즘 업데이트와 정밀 최적화 실시

소프트웨어-하드웨어 협업 미흡

- 비전 시스템과 IMU 데이터 간 타임스탬프 오차가 50ms 발생해 운동 계획 충돌
- 원 개발사는 하드웨어 수준에서 시계 동기화로 오차를 5ms 이내로 제어
- 센서 융합 성능에서 비공식 팀은 큰 약점 보임



업계가 직면한 표준화 과제

현재 인간형 로봇 산업에는 장시간 주행에 대한 통일된 테스트 프로토콜이 부재하다. 통신 프로토콜, 부품 인터페이스 역시 업체마다 편차가 커, 외부 통합 개발의 장벽이 높다. 이는 향후 인간형 로봇 상용화 과정에서 반드시 해결해야 할 과제로 지적된다[2][4][5].

향후 인간형 로봇이 실질적 상용화에 도달하기 위해서는, 첫째, 운동 제어 지연을 20ms 이하로 줄이고, 둘째, 소재·에너지 시스템의 신뢰성을 비약적으로 향상시켜야 한다. 셋째, 업계 차원의 통합 테스트 기준을 수립해 신뢰성 인증 체계를 구축해야 한다[2][4]. 이러한 과정을 거치면, 향후 3년 내 하프마라톤 완주율은 60% 이상으로 상승할 것이며, 인간형 로봇의 '생활 속 파트너' 시대가 한층 앞당겨질 것으로 예상된다[1][2][5].

▼ 출처

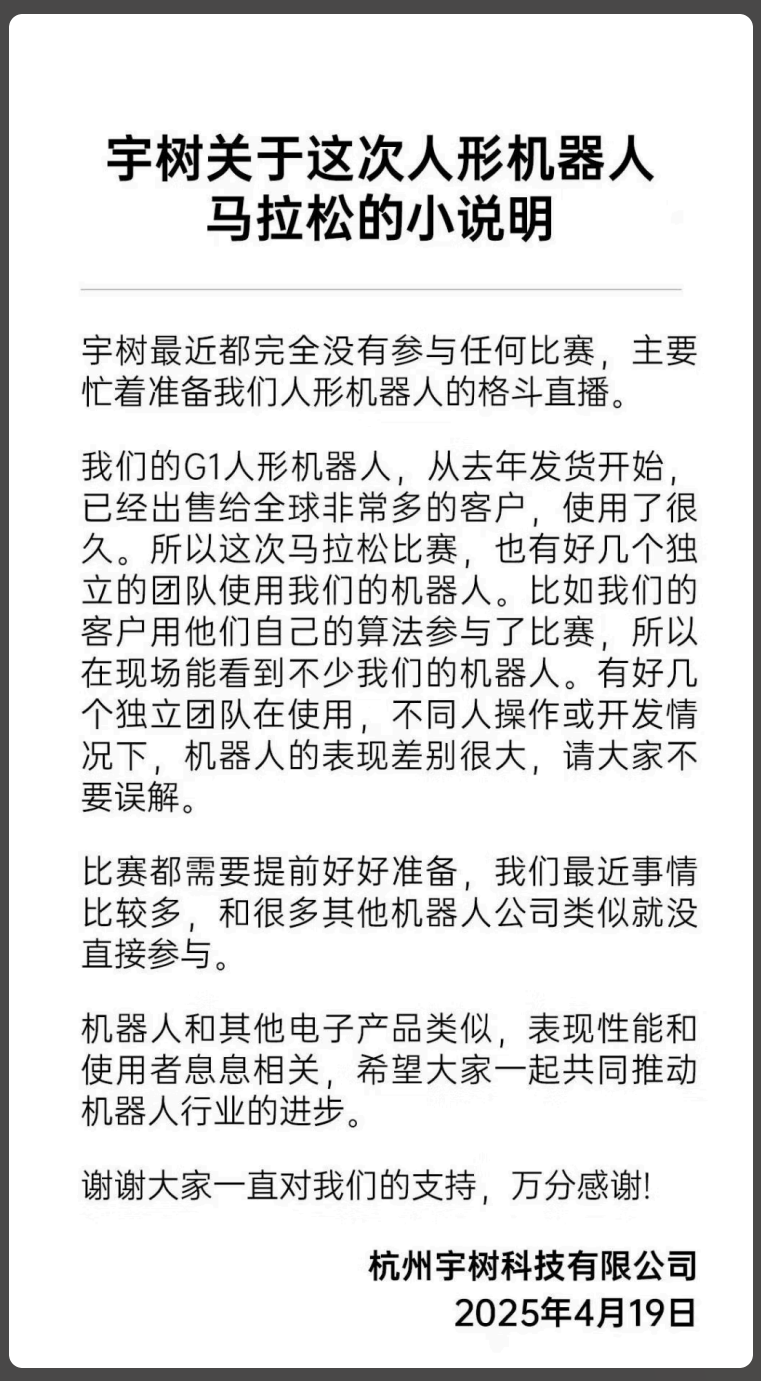
출처

[1] 为什么是北京亦庄？ - 新浪财经 https://finance.sina.com.cn/jjxw/2025-04-19/doc-inettkpr0577646.shtml [2] 跑完半程马拉松后，人形机器人在解决跑跳与进厂打工难题了 - 证券时报 https://www.stcn.com/article/detail/1687787.html [3] 全球首届人形机器人半程马拉松：仅30%完赛，惊现'头掉'翻车喜剧！ https://www.sohu.com/a/887699549_122362510 [4] 机器人闯进"半马"赛道 - 中国青年报 http://zqb.cyol.com/pc/content/202504/25/content_410270.html [5] 跑完半程马拉松后，人形机器人在解决跑跳与进厂打工难题了 - 第一财经 https://m.yicai.com/news/102584468.html [6] 跑完半程马拉松后，人形机器人在解决跑跳与进厂打工难题了 - 证券时报 http://www.stcn.com/article/detail/1687787.html [7] 具身机器人折戟北京半马？ - 网易 https://www.163.com/dy/article/JTNSEA8905199O55.html [8] 记者观察：跑完半程马拉松之后人形机器人离商用还有多远？ - 清华大学 https://www.tsinghua.edu.cn/info/1182/118327.htm [9] 宇树机器人马拉松比赛起跑线摔倒，到底是不是技术"不行"？ - 新浪财经 https://finance.sina.com.cn/roll/2025-04-23/doc-ineucptw3288757.shtml [10] 亦庄制造：一场全球瞩目的机器人马拉松 - 21财经 https://www.21jingji.com/article/20250423/herald/fe72bf53ed0422f37ef16bb3c987e80d.html [11] 完赛率不到一半！机器人「跑远」难，首届马拉松有何意义？ https://m.ofweek.com/ai/2025-04/ART-201717-8500-30661545.html [12] 赛前探营亦庄半马种子机器人如何备战 - 股票、基金、期货 https://wap.stockstar.com/detail/IG2025041700033665 [13] 上海这台人形机器人完成半马：无故障、无摔倒 - 澎湃新闻 https://www.thepaper.cn/newsDetail_forward_30687494 [14] 关于"2025北京亦庄半程马拉松暨人形机器人半程马拉松"延期举办的 ... https://kfqgw.beijing.gov.cn/zwgkkfq/tzgg/202504/t20250410_4062254.html [15] 全球首个人形机器人半程马拉松为何在北京亦庄举办？ - 科技日报 https://www.stdaily.com/web/gdxw/2025-03/22/content_313251.html [16] 这场半马没有人类冠军，"神秘跑团"正在备赛 - 上观 https://m.jfdaily.com/news/detail?id=889185 [17] 北京将办全球首个人形机器人半程马拉松：支持更换电池、手动遥控 https://www.guancha.cn/economy/2025_03_04_767101.shtml [18] 出师未捷！"神农"机器人遗憾出局 - 新浪财经 https://finance.sina.com.cn/tech/shenji/2025-04-19/doc-inetsatz7310808.shtml [19] 全球首场"人机共跑"半程马拉松，你更看好谁？ - 人民日报 https://www.peopleapp.com/column/30048834206-500006210996 [20] 人形机器人跑马拉松"出丑"遭冷嘲热讽，机器人专家怎么看？ - 上观 https://www.shobserver.com/news/detail?id=897649 [21] 跑完半程马拉松后，人形机器人在解决跑跳与进厂打工难题了 https://www.yicai.com/news/102584468.html [22] 跑完"半马"还有运动会，机器人为啥都爱搞体育？ - 新蓝网 https://www.cztv.com/newsDetail/783858 [23] 上海这台人形机器人完成半马：无故障、无摔倒 - 新浪财经 https://finance.sina.com.cn/jjxw/2025-04-19/doc-inetteft0670336.shtml [24] 【科技冲浪】 以包容之心看待人形机器人马拉松 - 东方财富 http://finance.eastmoney.com/a/202504253387798560.html [25] 人形机器人概念股大涨，半程马拉松落下帷幕 - 第一财经 https://www.yicai.com/news/102584583.html [26] 2025北京亦庄半程马拉松暨人形机器人半程马拉松特别报道全程精心 ... https://kfqgw.beijing.gov.cn/zwgkkfq/yzxwkfq/202504/t20250421_4070547.html [27] "天工"机器人夺冠2时40分42秒自主跑完北京亦庄半马创世界纪录-新华网 http://www.news.cn/science/20250419/624a795496024255913201826e682e315/c.html [28] 微博 https://m.weibo.cn/u/5623715908?luicode=10000011&lfid=1005057820462380 [29] 首个人形机器人半马将举行"神秘跑团"正在备赛 https://content-static.cctvnews.cctv.com/snow-book/index.html?item_id=2630819980345499369 [30] 跑完半程马拉松后，人形机器人在解决跑跳与进厂打工难题了 - 新浪财经 https://cj.sina.cn/articles/view/1733360754/6750fc7202001cgmi [31] 世界首次"人机共跑"半马赛事在京完赛 - 新华网 http://www.news.cn/tech/20250420/50b01306e54942a19f96717f17e950fc/c.html [32] 汇集前沿技术亦庄人形机器人半马吸睛 - 新华网 http://www.news.cn/20250419/098058f97f5d4398a20b7db11c269b35/c.html [33] 赛博半马刷屏！有机器人"头掉了"还坚持跑 - 华尔街见闻 http://wallstreetcn.com/articles/3745523 [34] 全球首次"人机共跑"马拉松到底在跑什么？ - 社会 - 济南新闻 http://news.e23.cn/wanxiang/2025-04-20/2025042000046.html [35] 多图揭秘：全球首场人形机器人半马"跑团" - 新京报 https://m.bjnews.com.cn/detail/1744611229129964.html [36] 人形机器人加速进化 - 新华网浙江 http://www.zj.xinhuanet.com/20250422/b3f64eb900f449019f531ca871ea7c84/c.html [37] 21新智人丨全球首个人形机器人半马大赛 - 天天基金 http://fund.eastmoney.com/a/202504193381954035.html [38] 拼性能、比应用全球首个人形机器人半马难在哪？ - 中国新闻网 http://m.chinanews.com/wap/detail/chs/zw/10401085.shtml

Part 8. 사회적 반향과 논란

"유니트리(Unituree) 참가 여부 논란" 정리

유니트리의 공식 입장:" 직접 참가하지 않았다"



宇树关于这次人形机器人马拉松的小说明

宇树最近都完全没有参与任何比赛，主要忙着准备我们人形机器人的格斗直播。

我们的G1人形机器人，从去年发货开始，已经出售给全球非常多的客户，使用了很久。所以这次马拉松比赛，也有好几个独立的团队使用我们的机器人。比如我们的客户用他们自己的算法参与了比赛，所以在现场能看到不少我们的机器人。有好几个独立团队在使用，不同人操作或开发情况下，机器人的表现差别很大，请大家不要误解。

比赛都需要提前好好准备，我们最近事情比较多，和很多其他机器人公司类似就没直接参与。

机器人和其他电子产品类似，表现性能和使用者息息相关，希望大家一起共同推动机器人行业的进步。

谢谢大家一直对我们的支持，万分感谢!

杭州宇树科技有限公司
2025年4月19日

우주는 최근 어떠한 대회에도 전혀 참가하지 않았으며, 주로 저희 인간형 로봇 격투 방송 준비에 전념하고 있습니다.

저희 G1 인간형 로봇은 작년부터 출하되기 시작하여, 이미 전 세계 수많은 고객에게 판매되어 오랜 기간 사용되어 왔습니다.

따라서 이번 마라톤 대회에서도 여러 독립적인 팀이 저희 로봇을 사용했습니다.예를 들면, 고객들이 각자의 알고리즘을 적용해 대회에 출전한 경우입니다.이 때문에 현장에서는 저희 로봇이 다수 목격되었지만,이는 독립된 팀들이 운영한 것이며, 저희가 직접 참가한 것이 아닙니다.

여러 독립 팀이 각기 다른 방식으로 사용하고, 개발 상황도 다르기 때문에, 동일한 로봇이라도 성능 차이가 크게 나타날 수 있습니다.

이에 대해 오해가 없으시길 바랍니다.

대회 출전에는 사전 준비가 필요합니다.

최근 저희는 해야 할 일이 많아, 많은 다른 로봇 회사들과 마찬가지로 이번 대회에 직접 참가하지 않았습니다. 로봇은 다른 전자제품과 마찬가지로, 성능이 사용자 사용 방식과 긴밀하게 연결되어 있습니다.

저희는 앞으로도 모두 함께 힘을 모아 인간형 로봇 산업 발전을 이끌어나가길 희망합니다.

항상 저희를 믿고 지지해주셔서 진심으로 감사드립니다.

> 항저우 우주(宇树) 과학기술 유한공사

> 2025년 4월 19일

2025년 베이징 이좡 인간형 로봇 하프마라톤 대회에서, 현장에는 유니트리(Unitree)의 G1 로봇들이 여러 차례 목격되었다. 이로 인해 유니트리가 이번 대회에 직접 참가했다는 오해가 일부 생겼다. 특히 G1 로봇을 사용한 팀들의 경기 중 성능 저하나 이상 행동들이 눈에 띄면서, 유니트리의 기술력에 대한 의문도 제기되었다.

이에 대해 유니트리(Unitree)는 4월 19일 공식 발표를 통해 “우리는 이번 대회에 직접 참가하지 않았다”고 분명히 밝혔다. 유니트리는 최근 자체 격투 로봇 라이브 방송 준비로 인해 바빠 대회에 참여할 여력이 없었으며, 현장에서 보였던 G1 로봇들은 모두 유니트리가 아닌, 독립적인 고객이나 팀이 구매 후 자체적으로 조정·운영한 것임을 설명했다.

또한, 로봇의 성능 차이는 조작자나 개발 상황에 따라 크게 달라질 수 있으며, 이는 제품의 본질적 결함이 아니라 사용자의 세팅이나 경험에 기인할 수 있다고 강조했다. 로봇 산업이 아직 초기 단계에 있는 만큼, 성능과 사용 경험은 사용자에 따라 편차가 있으며, 이를 오해하지 말아줄 것을 당부했다.

유니트리는 다른 많은 로봇 회사들과 마찬가지로 이번 마라톤에는 공식적으로 직접 참가하지 않았고, 앞으로도 인간형 로봇 산업의 발전을 위해 노력하겠다는 입장을 밝혔다.

로봇은 듣지도 못하는데, 왜 인간은 '짜요(加油)'를 외칠까?

세계 최초로 열린 베이징 이좡 인간형 로봇 하프 마라톤 현장. 남녀노소 관중들은 마치 인간 선수처럼 로봇에게 **"짜요(加油)!"**를 외쳤다. 하지만 엄밀히 말해, 로봇은 인간의 응원을 듣지도, 이해하지도 못한다. 그럼에도 불구하고 왜 인간은 로봇에게 힘을 실어주려는가?

그 이유는 단순히 기술의 경이로움을 목격하는 데 그치지 않는다. 로봇을 통해 인간은 '자기 자신'을 투영하고 있었기 때문이다. 이번 대회에서 로봇들은 종종 넘어지고, 멈추고, 길을 잃었다. 그러나 이들은 넘어짐을 딛고 다시 일어섰고, 서툴지만 앞으로 나아갔다. 바로 이 순간, 인간은 로봇 안에서 '끊임없이 극복하고자 하는 생명력'을 보았다.

'짜요'는 로봇에게 보내는 응원이 아니다. 짜요는 좌절을 넘어서는 인간성, 한계를 뚫으려는 의지에 보내는 응원이다. 또한, 인간은 본능적으로 **극복 서사**를 사랑한다. 마치 어린아이가 넘어졌다가 다시 일어서는 모습을 보고 본능적으로 격려하는 것처럼, 로봇에게 외치는 "짜요" 역시, 인간 내면에 깊숙이 새겨진 생존 본능, 공감 본능의 발현이다.

기술은 냉정하지만, 인간은 감성적이다. 그래서 인간은 듣지 못하는 로봇에게조차 온 힘을 다해 응원을 보낸다. 여기서 우리는 중요한 사실을 깨닫게 된다. 인간은 완벽한 존재를 사랑하는 것이 아니라, 불완전하지만 노력하는 존재를 사랑한다는 것이다. 만약 오늘의 경기에서 로봇들이 인간보다 더 빠르고 완벽하게 달렸다면, 우리는 아마 경이로움과 함께 불편한 두려움을 먼저 느꼈을 것이다.

그러나 현실은 달랐다. 로봇들은 넘어졌고, 비틀거렸고, 다시 일어섰다. 그 불완전함이야말로 인간의 깊은 동정과 지지를 불러일으켰다. 그리고 바로 그 순간, 로봇은 기술 대상이 아니라 **"성장 서사를 함께 그려나갈 수 있는 존재"**로 받아들여졌다. 이는 시장의 관점에서도 엄청난 기회를 의미한다. 완성형이 아닌 '성장형 파트너'로서 로봇을 받아들이는 심리적 전환이 이루어진 것이다. 이제 인간은 로봇을 단순한 기계나 경쟁자가 아니라, 함께 성장하고, 함께 실패하며, 함께 나아갈 수 있는 존재로 본다. 따라서 인간형 로봇 시장은 단순한 첨단 제품 판매가 아니라,**"성장 서사와 감정적 동반자"**를 함께 파는 시장으로 확장될 수 있다. 이것이 바로 이번 베이징 이좡 하프마라톤이 가진 가장 큰 산업적 의미다.

왜 남녀노소 모두 로봇 경기를 보러 모였는가?

베이징 이좡에서 열린 인간형 로봇 하프 마라톤 현장을 직접 목격한 바에 따르면, 현장에는 노년층, 가족 단위, 젊은 커플 등 다양한 관객층이 모여 있었다. 어린 자녀의 손을 잡은 가족, 친구들과 삼삼오오 모인 젊은이들, 손주와 함께 나온 노인들도 쉽게 볼 수 있었다. 이들은 거리 양편에 길게 늘어서 로봇이 지나가기를 조용히 기다렸다. 어떤 관객은 바닥에 앉아 있었고, 어떤 이는 스마트폰을 손에 쥐고 로봇을 포착할 순간을 준비했다. 특히 인상적이었던 것은, 마라톤을 뛰고 있는 인간 주자들조차 로봇이 옆 레인을 지날 때마다 달리기를 멈추지 않은 채 핸드폰을 꺼내 들고 촬영을 시도하는 모습이었다. 현장은 축제 분위기라기보다는, "기술과 인간이 처음으로 같은 무대에 선 순간"을 조용히 지켜보려는 기대감이 흐르고 있었다.

베이징 이좡의 하프마라톤 현장에는, 어린아이부터 노년층까지 모든 세대가 함께 모인 것은 단순한 스포츠 경기가 아니라, 무언가 특별한 순간이었기에 가능했다.

첫 번째 이유는**, '세계 최초'**라는 역사적 순간을 목격하려는 인간 본능이다. 인류는 언제나 '처음'을 사랑한다. 우리가 한 장면의 목격자가 될 수 있다는 사실은, 세대와 상관없이 사람들을 현장으로 끌어모았다.

두 번째 이유는, **각 세대별로 다르게 자극된 '미래에 대한 상상력'**이다.

- 어린이들은 만화와 게임에서 보던 '로봇 친구'가 현실이 된 것에 설렜다.
- 청년층은 기술 혁신과 산업적 기회를 직감했다.
- 중장년층은 과거에 꿈꾸던 미래상이 눈앞에 펼쳐진 것에 감동했다.
- 노년층은 기술이 사회를 어떻게 변화시킬지 궁금해하며 조용히 지켜봤다.

로봇이라는 존재는 세대마다 다른 방식으로 미래를 투영하게 만들었다. 같은 장면을 보면서도, 서로 다른 꿈을 꾼 것이다.

세 번째 이유는**, '공동체적 감정 이입**'의 힘이다. 현장에서는 모두가 함께 "짜요!"를 외쳤고, 함께 넘어짐에 아쉬워했고, 함께 일어섬에 환호했다. 이것은 단순한 경기 관람이 아니라, **"우리가 함께 새로운 시대를 시작하고 있다"**는 집단적 감정의 축제였다. 서툴게 뛰는 로봇을 보며, 인간은 '완성된 미래'가 아니라 '함께 성장해가는 미래'를 상상했다. 그 미래는 두렵지 않았다. 오히려 따뜻하고 친숙했다.

그리고, 그 이면에는 정부의 전략적 노력이 있었다. 이러한 자발적 열광은 어느 날 갑자기 만들어진 것이 아니다.

중국 정부는 수년 전부터 휴머노이드 로봇을 국가 전략 산업으로 육성해왔다.

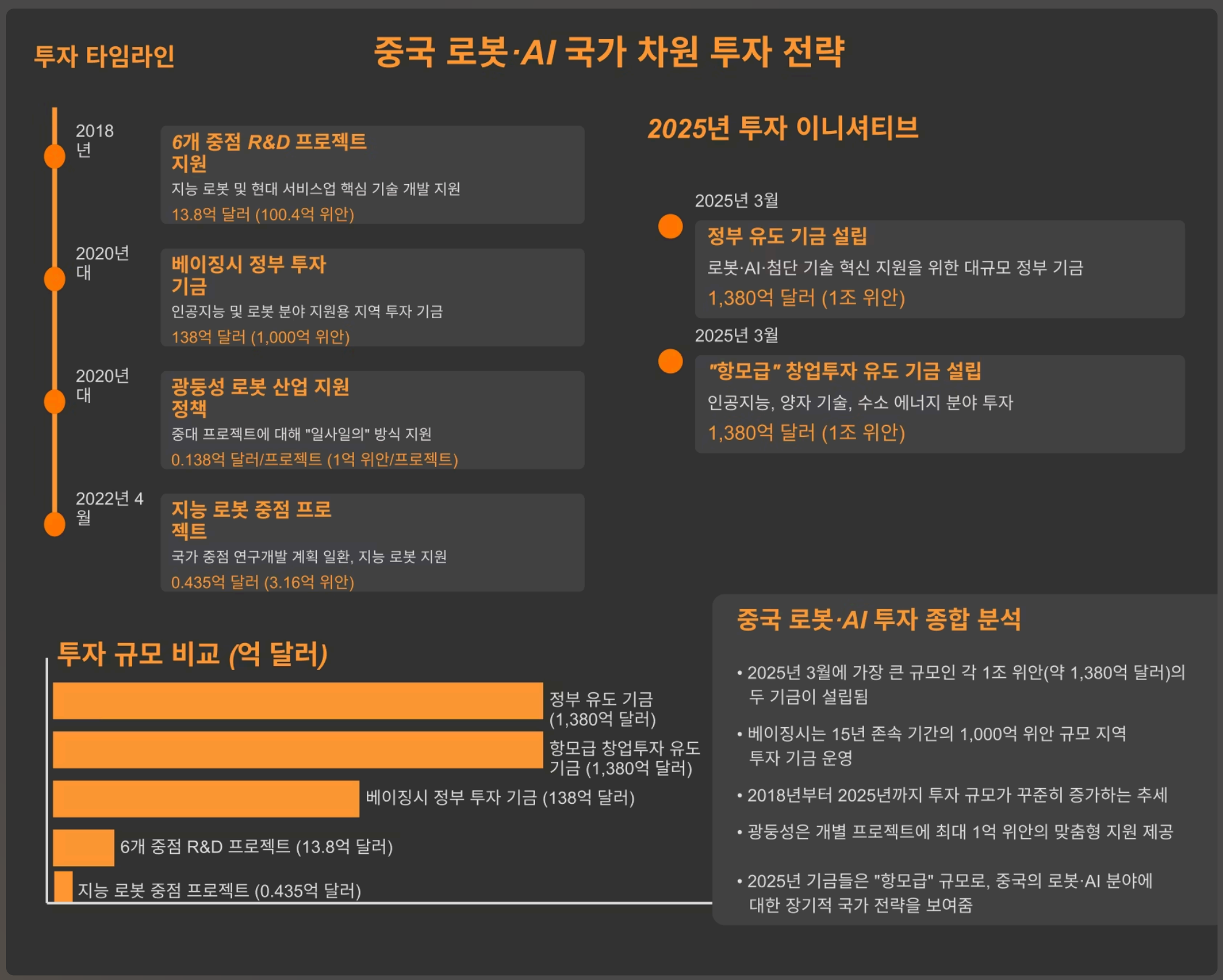
Part 9. 로봇 산업 정책 비교

중국 정부의 로봇 산업 투자 규모 및 정책 분석

중국 국가 차원의 투자 전략

중국은 2025년 3월, 국가발전개혁위원회를 중심으로 로봇, 인공지능, 첨단 기술 혁신 분야를 지원하기 위한 대규모 정부 유도 기금을 설립했다. 이 기금은 향후 20년 동안 지방 정부와 민간 자본을 통해 약 1조 위안(약 1,380억 달러)의 자금을 유치할 계획이며, 이는 중국 제조업의 기술 주도형 발전을 뒷받침하는 핵심 전략으로 자리 잡고 있다. 동시에 중국은 “항모급” 국가 창업투자 유도 기금도 별도로 설립하고 있으며, 이 기금 역시 지방정부 및 사회 자본으로부터 약 1조 위안을 조성할 예정이다. 주요 투자 대상은 인공지능, 양자 과학기술, 수소 에너지 저장 등 첨단 산업 분야이며, 특히 하드테크(Deep Tech) 분야의 초기 기업에 대해 시장화 방식으로 적극적인 투자를 추진할 방침이다.

중앙정부 차원의 투자 외에도, 중국은 연구개발(R&D) 부문에서 지능 로봇 분야를 전략적으로 육성하고 있다. 2022년 4월에는 국가 중점 연구개발 계획의 일환으로 “지능 로봇” 중점 특별 프로젝트를 시작하고 4,350만 달러의 자금을 배정하였다. 이에 앞서 2018년에는 지능 로봇 및 현대 서비스업 공통 핵심 기술 연구개발을 포함한 6개 신규 중점 특별 프로젝트를 위해 중앙재정이 100.4억 위안의 자금을 지원한 바 있다. 이러한 지속적이고 단계적인 투자 정책은 중국이 로봇 산업 전반의 기술 경쟁력을 강화하고, 미래 산업 주도권을 확보하기 위한 전략적 포석으로 해석된다.



지역 단위에서도 대규모 투자가 이루어지고 있다. 베이징시는 총 1,000억 위안 규모, 존속 기간 15년의 정부 투자 기금을 조성하여 인공지능과 로봇 등 미래 산업 분야를 집중 지원하고 있다. 또한 광둥성은 로봇 산업 발전을 위해 별도의 정책을 시행하고 있으며, 중대 프로젝트에 대해서는 "일사일의(一事一议)" 방식을 통해 최대 1억 위안 이상의 지원을 제공하고 있다. 이러한 지방정부 차원의 적극적인 투자 역시 중앙정부 전략과 맞물려 중국 전체 로봇 산업 생태계의 고도화를 촉진하는 데 중요한 역할을 하고 있다.

결론적으로, 중국은 중앙과 지방이 유기적으로 연계된 투자 체계를 통해 로봇 산업을 국가 핵심 산업으로 육성하고 있다. 대규모 기금 조성과 체계적인 연구개발 지원, 그리고 지역별 맞춤형 투자 전략을 통해 중국은 기술 자립과 글로벌 시장 주도권 확보라는 장기 목표를 점진적으로 실현해나가고 있다. [1]

중국의 로봇 산업 육성 전략

중국은 로봇 산업을 국가 신성장동력으로 육성하기 위해 다각적인 정책을 추진하고 있다. 2021년 12월, 공업정보화부를 비롯한 14개 부처는 공동으로 "14차 5개년" 로봇 산업 발전 계획을 발표하였다. 이 계획은 2025년까지 중국을 세계적인 로봇 기술 혁신의 원천지이자, 고급 제조업 집적지, 통합 응용의 신 고지로 발전시키는 것을 목표로 설정하였다. 구체적으로는 로봇 산업 영업 수입 연평균 성장률 20% 이상을 달성하고, 국제 경쟁력을 갖춘 선도 기업을 육성하는 한편, 제조업 분야의 로봇 밀도를 두 배로 증가시키는 것을 핵심 과제로 삼고 있다. 또한 3~5개의 국제적 영향력을 갖춘 산업 클러스터를 구축함으로써, 중국 내 로봇 산업의 글로벌 입지를 강화하려는 계획도 포함되어 있다.

로봇 산업 발전 계획

2025년까지 세계적인 로봇 기술 혁신의 원천지이자, 고급 제조업 집적지로 발전

핵심 과제

로봇 산업 영업 수입 성장률 20% 이상, 제조업 분야 로봇 밀도 2배 증가

응용 확대

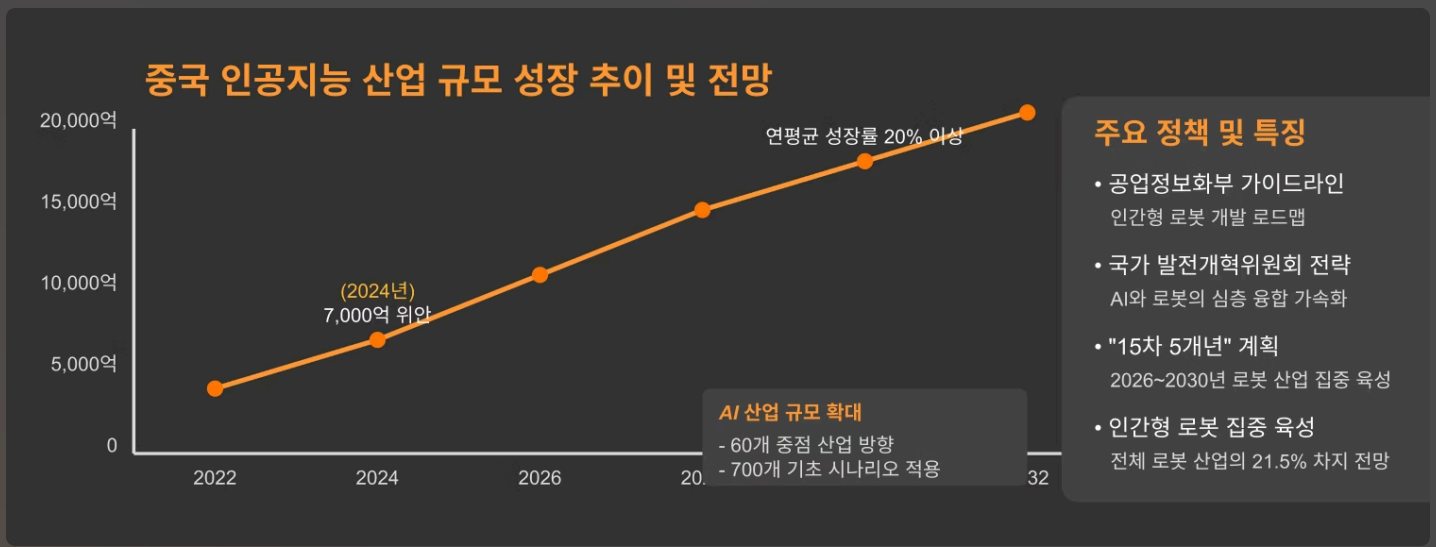
로봇+ 응용 확대, 10대 응용 중점 영역에서 100종 이상의 혁신적 로봇 기술 개발

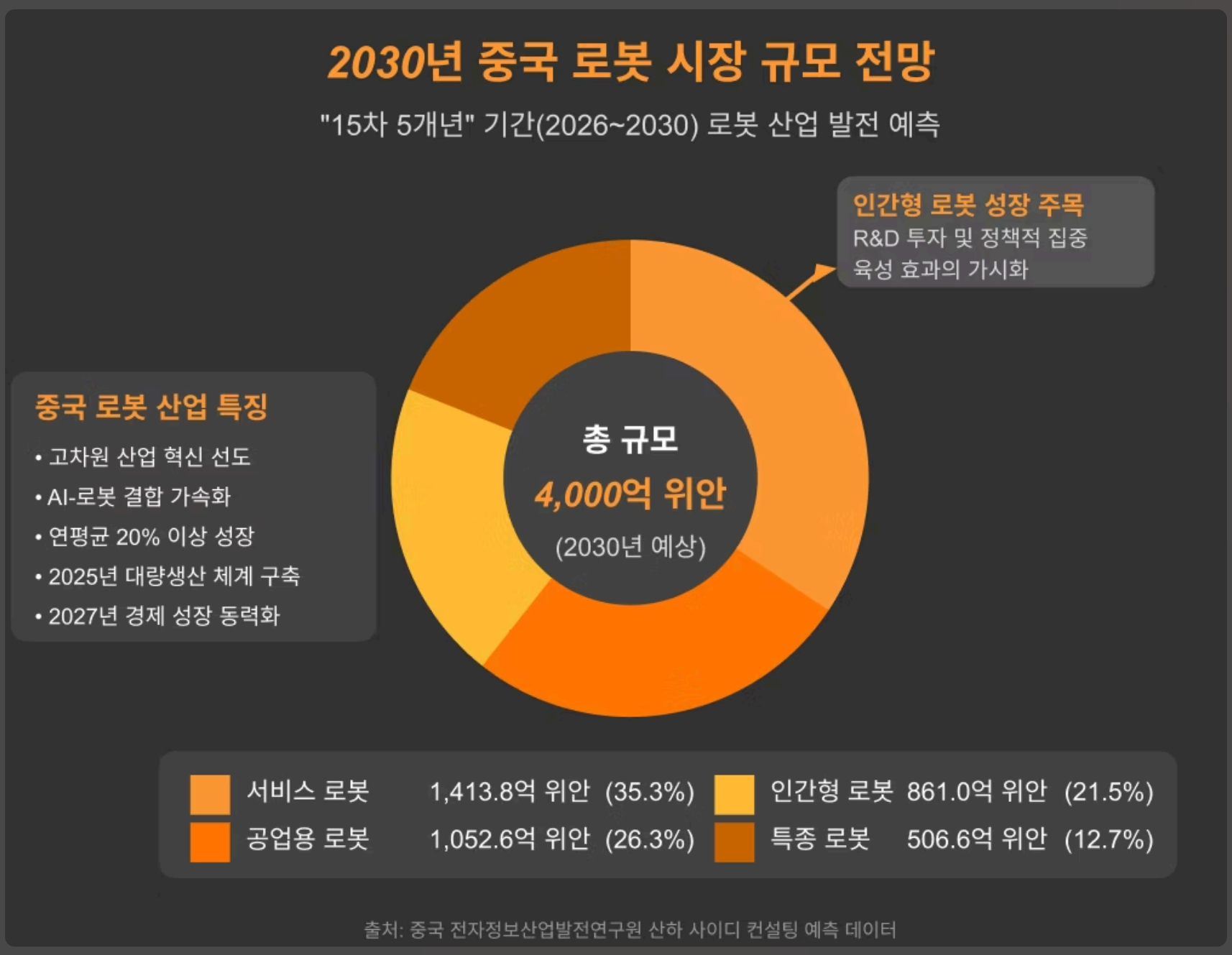
이러한 전략은 응용 확산에도 중점을 두고 있다. 2023년 1월, 공업정보화부 등 17개 부처는 "로봇+" 응용 행동 실시 방안을 발표하였으며, 제조업, 농업, 건설, 에너지와 같은 경제 발전 부문은 물론, 의료, 노인 케어, 교육 등 사회 민생 부문까지 로봇의 활용을 전방위로 확대하는 것을 목표로 하고 있다. 구체적으로는 2025년까지 제조업 로봇 밀도를 2020년 대비 두 배로 늘리고, 10대 응용 중점 영역에서 100종 이상의 혁신적 로봇 기술을 개발하는 한편, 200개 이상의 대표적 로봇 응용 시나리오를 구축 및 보급할 계획이다. 또한, "로봇+" 표준 기업을 육성하고 다양한 응용 체험 센터를 건설하여 시장 기반 확대를 도모하고 있다. 이러한 일련의 정책들은 단순한 기술 개발을 넘어, 로봇이 사회 전반에 깊숙이 스며드는 산업·민생 통합 모델을 지향하고 있다.

미래 전망과 인간형 로봇 육성 계획

중국은 인간형 로봇 분야에서도 공격적인 육성 전략을 펼치고 있다. 공업정보화부는 2023년 말 인간형 로봇 개발에 관한 가이드라인을 발표하고, 2025년까지 인간형 로봇의 대량 생산 체계를 갖추는 것을 목표로 설정하였다. 이어 2027년까지 인간형 로봇을 중국 경제의 새로운 성장 동력으로 자리매김시키겠다는 계획도 밝혔다. 이와 함께, 국가 발전개혁위원회는 인공지능과 로봇의 심층 융합을 가속화하는 전략을 발표하였다. 구체적으로는 인공지능을 60개 중점 산업 방향 및 700개 기초 시나리오에 심층 적용하고 있으며, 2024년 기준 중국 인공지능 산업 규모는 7,000억 위안을 돌파, 연평균 20% 이상의 고성장을 이어가고 있다. 이는 인간형 로봇을 포함한 차세대 지능형 기기 개발에 있어서 견고한 기술적 기반을 제공하고 있다.

향후 “15차 5개년” 기간(2026~2030년) 동안 중국 로봇 산업은 더욱 가파른 성장이 예상된다. 중국 전자정보산업발전연구원 산하 사이디 컨설팅의 예측에 따르면, 해당 기간 동안 전체 로봇 산업 시장 규모는 약 4,000억 위안에 이를 것으로 전망된다. 세부적으로 살펴보면, 공업용 로봇 시장은 2030년까지 1,052.6억 위안, 서비스 로봇은 1,413.8억 위안, 특수 목적 로봇은 506.6억 위안, 인간형 로봇은 861억 위안 규모로 성장할 것으로 분석된다. 특히 인간형 로봇 부문은 그동안의 R&D 투자와 정책적 집중 육성의 효과가 본격적으로 가시화되면서, 산업 내에서 차지하는 비중이 점차 확대될 것으로 예상된다. 이를 통해 중국은 단순한 생산 자동화 수준을 넘어, 인공지능과 로봇이 결합된 고차원 산업 혁신을 선도하는 국가로의 도약을 꾀하고 있다. [3]





이처럼 중국은 중앙정부 주도의 대규모 정책 추진과 지방정부 차원의 적극적 투자, 그리고 인공지능과 로봇의 심층 융합 전략을 통해 로봇 산업을 국가 핵심 성장 동력으로 육성하고 있다. 특히 인간형 로봇, 서비스 로봇 등 차세대 분야에 대한 선제적 투자와, 산업 전반에 걸친 응용 확대 전략은 향후 글로벌 시장 주도권 확보를 목표로 한 장기적 포석으로 평가할 수 있다.

반면, 한국은 상대적으로 강점을 보유하고 있는 제조업 기반을 바탕으로 로봇 산업을 육성해왔지만, 중국과 같은 정부 주도 대규모 육성 전략과 응용 확산 정책에서는 아직 미흡한 점이 존재한다. 특히 인간형 로봇, 서비스 로봇 등 신흥 분야에서는 시장 규모와 기술 축적 면에서 다소 격차가 벌어지고 있는 상황이다.

이에 따라 다음 장에서는 한국의 로봇 산업 현황과 중국과의 비교를 바탕으로, 한국이 글로벌 로봇 산업 경쟁에서 우위를 확보하기 위해 어떠한 방향으로 나아가야 하는지를 구체적으로 제시하고자 한다.

▼ 출처

[1] https://m.thepaper.cn/newsDetail_forward_30357142?utm_source=perplexity

[2] http://support.jingyue.gov.cn/topic/2020yshj/jyinfo/1708590383344/?utm_source=perplexity

[3] http://www.news.cn/fortune/20241212/cc688b2a694c47fbae29e64e3e44da06/c.html?utm_source=perplexity

한국 정부 vs 중국 정부: 로봇 산업 투자 규모 및 정책 비교

로봇 산업은 제4차 산업혁명의 핵심 축으로, 중국과 한국은 각각 상이한 전략과 강점을 기반으로 글로벌 시장 주도권을 겨루고 있다. 중국은 국가 주도형 대규모 투자를 통해 산업 전반을 포괄하는 종합적 육성 전략을 추진하는 반면, 한국은 기술 특화와 민관 협력에 중점을 두고 산업 생태계를 확장해 나가고 있다. 양국은 모두 로봇 산업을 미래 성장동력으로 설정했지만, 접근 방식, 투자 규모, 정책 목표, 기술 개발 전략에서 뚜렷한 차이를 보인다.

핵심 정책 비교

구분	한국	중국
주요 정책	제4차 지능형로봇 기본계획 (2024-2028)	"14·5" 로봇 발전 계획 (2021-2025)
핵심 분야	협동로봇, 의료용 로봇	인간형 로봇, AI 융합
보급 목표	2030년까지 로봇 100만 대	2025년까지 제조업 로봇 밀도 2배 증가

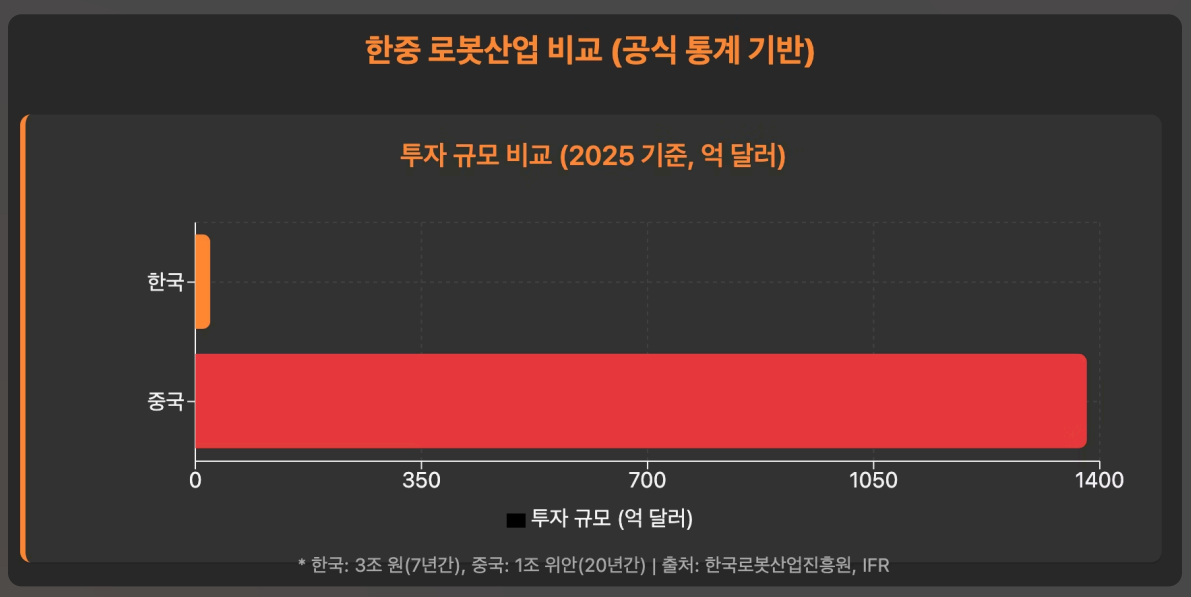
* 출처: 제4차 지능형로봇 기본계획, 中 "14·5" 로봇 발전 계획

© 2025 로봇산업 비교분석 리포트 | 출처: 한국로봇산업진흥원, 중국로봇산업협회, 국제로봇연맹(IFR)

투자 규모와 산업 육성 전략

중국은 2025년 3월, 국가발전개혁위원회를 중심으로 향후 20년 동안 약 1조 위안(약 1,380억 달러) 규모의 로봇 및 첨단 기술 혁신 기금을 조성하는 계획을 발표했다. 이 기금은 지방정부와 민간 자본을 적극적으로 유치하여 인공지능(AI), 로봇, 첨단 제조 분야에 장기적으로 투자할 방침이다. 특히 인간형 로봇(Humanoid Robot) 분야에서는 2025년까지 53억 위안, 2029년까지 750억 위안에 달하는 시장 규모 확대가 예상된다.

한중 로봇산업 비교 (공식 통계 기반)



* 한국: 3조 원(7년간), 중국: 1조 위안(20년간) | 출처: 한국로봇산업진흥원, IFR

한국은 2030년까지 민관 합동으로 3조 원(약 2.3억 달러) 이상을 투자하여, 5조 6천억 원 규모였던 국내 시장을 20조 원 이상으로 확대하는 계획을 추진하고 있다. 투자는 감속기, 서보모터, 제어기 등 8대 핵심 기술 개발과 전문 인력 양성, 로봇 전문기업 육성에 집중되고 있다.

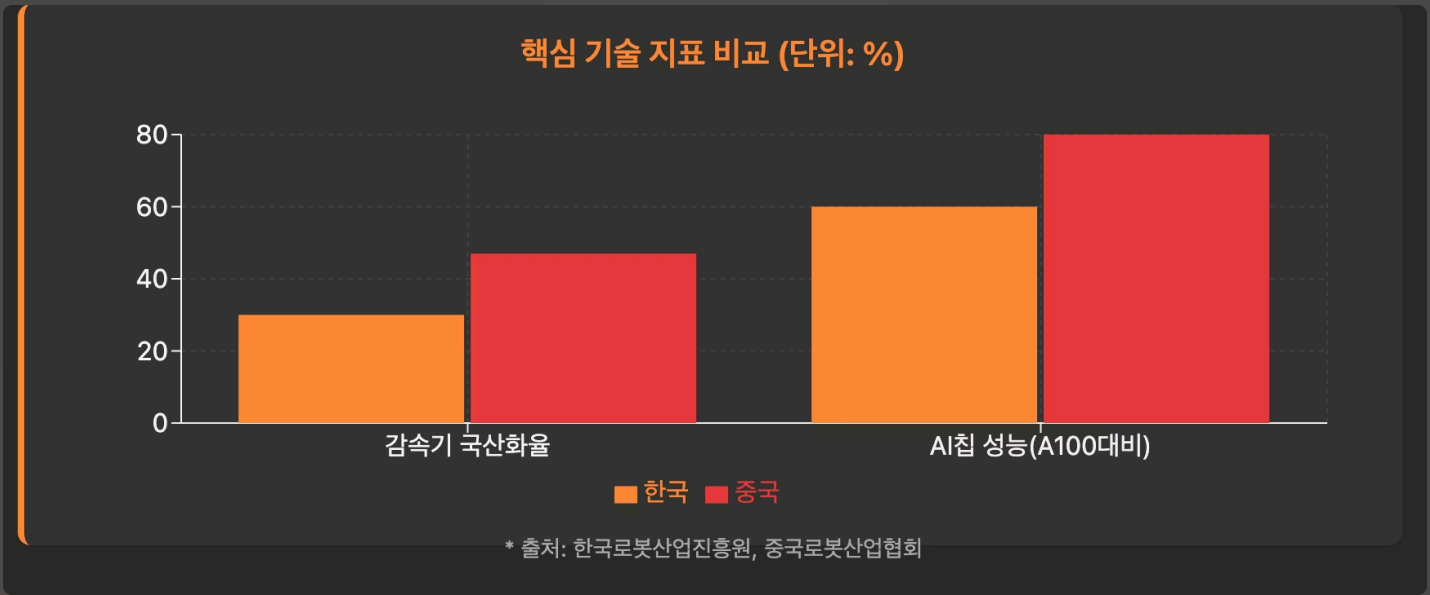
주요 정책 및 로드맵 비교

중국은 “14차 5개년 로봇 산업 발전 계획”을 통해 2025년까지 로봇 산업 매출 연평균 20% 이상 성장, 제조업 로봇 밀도 두 배 증가, 3~5개 글로벌 산업 클러스터 구축을 목표로 삼고 있다. 또한 “로봇+” 응용 행동 실시 방안을 통해 제조·의료·농업·에너지 등 다양한 분야에서 200개 이상의 표준화된 응용 시나리오를 구축하고 있다. 2023년 11월 공업정보화부가 발표한 “인간형 로봇 발전 가이드라인”은 2025년 인간형 로봇 대량 생산 준비, 2027년 경제 성장 엔진으로의 전환을 목표로 설정하였다.

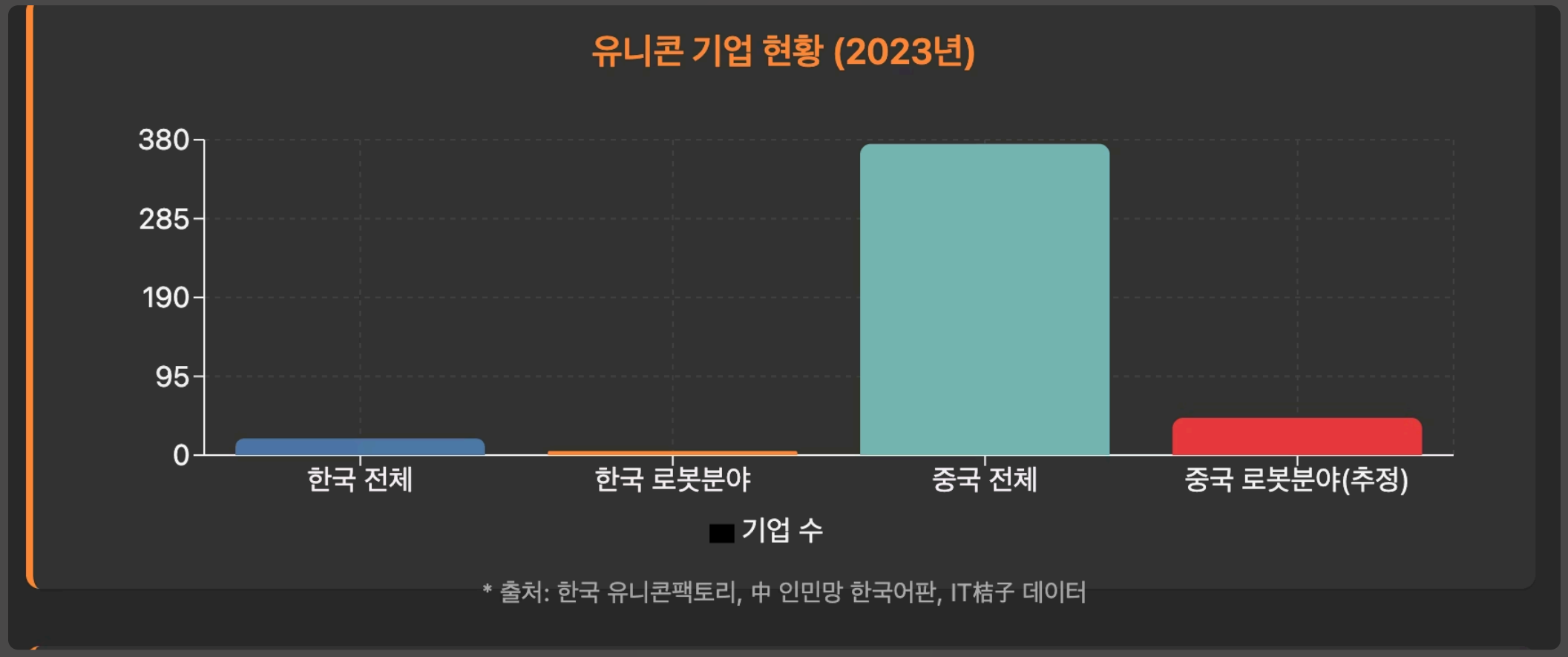
반면 한국은 “제4차 지능형 로봇 기본계획(2024–2028)“을 통해 8대 핵심 부품 기술 내재화, 전문 인력 양성, 30개 이상 로봇 전문기업 육성, 국가로봇테스트필드 구축, 규제 개선, 글로벌 협력 확대를 추진하고 있다.

기술 개발 전략 차이

기술개발 측면에서도 중국은 대규모 계획을 병행하고 있다. 감속기·서보모터·컨트롤러 등 3대 핵심 부품의 국산화율을 2020년 30% 수준에서 2025년까지 50%로 끌어올릴 방침이다. 2023년 기준 전자산업용 로봇의 54%가 국산화되었으며, 이는 선제적 기술 자립 전략의 성과로 평가된다. 인간형 로봇 분야에서는 UBTech(优必选科技) 등 주요 기업이 주도하고 있으며, UBTech는 이미 자동차 기업과 협력해 500대 이상의 인간형 로봇 납품 계약을 체결했다. 이와 함께 허페이 국가양자센터 등과 협력하여 양자 중력 센터 기반의 내비게이션 시스템 개발도 2027년까지 완료할 계획이다. 이는 로봇 내비게이션 및 자율 이동성 향상 측면에서 혁신적 전환을 의미한다.



한편, 한국은 2030년까지 민관 합동으로 3조 원(약 2.3억 달러) 이상을 투자하여 로봇 산업 경쟁력을 강화할 계획이다. 이는 2021년 5조 6천억 원 규모였던 국내 시장을 20조 원 이상으로 확대한다는 목표와 직결된다. 한국 정부는 제4차 지능형 로봇 기본계획(2024–2028)을 통해 감속기, 서보모터, 제어기, 센서, HRI(Human Robot Interaction) 기술 등 8대 핵심 기술 내재화를 추진하며, 전문 인력 1.5만 명 양성, 30개 이상 로봇 전문기업 육성을 병행하고 있다. 대구에는 2,000억 원 규모로 국가로봇테스트필드를 구축하여 제품 안전성·신뢰성 검증 인프라를 제공하고 있으며, 51개 규제를 개선해 기업들의 신제품 출시를 지원하고 있다. 특히 ODA(공적개발원조)와 연계해 해외 인증 지원 및 글로벌 협력 채널을 확대하고 있으며, K-로봇 브랜드 구축에도 나서고 있다.



기술 전략에서도 차별화가 나타난다. 중국이 인간형 로봇과 양자 기반 내비게이션 시스템 등 하드테크(Deep Tech) 기반의 대규모 확장을 추진하는 반면, 한국은 니치 시장을 공략하고 있다. 대표적으로 협동로봇 분야에서는 LG전자와 두산로보틱스가 6축 매니퓰레이터 기술을 선도하고 있으며, 2023년 기준 글로벌 협동로봇 시장 점유율 12%를 기록했다. 또한 의료로봇 분야에서는 2025년까지 수술용 로봇 50종을 개발하고, 이를 의료 취약 지역 중심으로 보급해 시장을 넓혀갈 계획이다. 소프트웨어 측면에서도 자율주행 로봇용 소프트웨어, HRI 기술, 설명 가능한 AI(XAI) 개발을 강화하고 있다.

산업 생태계 조성 및 글로벌 협력 전략

산업 생태계 조성에서도 양국 간 접근법은 다르다. 중국은 베이징-톈진-허베이 지역을 연구개발 거점으로, 창장 델타 지역을 제조 중심지로, 광둥-홍콩-마카오를 글로벌 공급망 허브로 삼아 3대 지역 특화 클러스터를 구축하고 있다. 이 과정에서 알리바바, 텐센트 등 빅테크 기업이 클라우드 기반 로봇 제어 플랫폼을 지원하며, 인간형 로봇 스타트업 20개사에 대한 투자도 2025년 1~2월 사이 완료했다. 반면, 한국은 "전정특신" 제도(전문·정밀·특화·신산업 기업 인증)를 통해 중소기업 100개사를 선정해 세제 감면과 R&D 지원을 강화하고 있으며, 미국, 이스라엘 등과 공동 소프트로봇 개발 프로젝트를 추진 중이다. EU와의 협력으로 로봇 안전 인증 표준을 조화하는 작업도 병행하고 있다.

현재 성과와 미래 전망

성과 면에서도 양국 차이는 뚜렷하다. 중국은 2023년 기준 제조업 로봇 밀도가 470대/만 명에 달해 독일(429대), 일본(419대)을 넘어섰으며, 서비스 로봇 수출액도 120억 달러를 돌파해 동남아 시장 점유율 30% 달성을 목표로 하고 있다. 반면 한국은 여전히 핵심 부품 의존도가 높아 감속기 수입 비율이 70%를 차지하며, 엔비디아 GPU 대비 AI 칩 성능이 약 60% 수준에 머물러 있는 상황이다. 그럼에도 불구하고 협동로봇, 의료로봇 등 고부가가치 분야에서는 2030년까지 글로벌 시장 점유율 7%를 확보하겠다는 뚜렷한 비전을 제시하고 있다.

결론적으로, 중국은 대규모 투자와 중앙집권적 산업 육성 전략을 통해 글로벌 로봇 시장 주도권을 빠르게 확대하고 있으며, 한국은 기술 특화, 소프트웨어 혁신, 글로벌 협력을 통해 차별화된 포지션을 구축하려 하고 있다. 향후 10년간 양국은 치열한 경쟁과 협력을 병행할 것이며, 인간형 로봇, 서비스 로봇, 자율주행 로봇 등 차세대 전략 분야에서의 주도권 확보가 글로벌 산업 질서 재편의 핵심 변수가 될 것으로 전망된다.

한국 로봇 산업, 앞으로 나아가야 할 방향?

한국은 세계적 제조업 강국이지만, 로봇 산업에서는 아직 절대적 우위를 확보하지 못하고 있다. 로봇 기술은 제조 자동화에서 출발했지만, 이제는 인간형 로봇, 서비스 로봇, 자율주행 로봇, 의료로봇 등 고도화된 복합 산업으로 급속히 확장되고 있다. 이러한 변화 속에서 한국이 세계 시장에서 지속적인 경쟁력을 확보하기 위해서는 단순 기술 축적을 넘어 구조적 대전환이 필요하다.

첫째, 핵심 부품과 플랫폼 기술 내재화를 최우선 과제로 삼아야 한다. 현재 한국 로봇 산업은 감속기, 서보모터, 제어기, 고성능 센서 등 핵심 부품에서 일본, 독일, 미국에 대한 높은 의존도를 보이고 있다. 이는 제조원가 상승과 신제품 개발 지연을 초래하며, 글로벌 수주 경쟁에서 약점으로 작용한다. 따라서 정부와 민간이 공동으로 '핵심 부품 국산화 로드맵'을 수립하고, 부품 R&D, 시험생산, 상용화 지원까지 일괄적으로 추진하는 체계를 구축해야 한다. 부품 국산화율 70% 달성은 한국 로봇 산업의 자립성과 지속 가능성을 결정짓는 관건이 될 것이다.

둘째, 차세대 성장 분야 선제적 투자가 필요하다. 협동로봇, 의료로봇, 재활로봇, 농업로봇 등 고부가가치 서비스 로봇 시장에서 세계 선두를 노려야 한다. 특히 인간형 로봇 분야는 향후 10년간 시장 규모가 폭발적으로 성장할 것으로 예상되며, 한국은 이 분야에서도 존재감을 확보해야 한다. 이를 위해 '한국형 인간형 로봇 개발 프로젝트'를 발족하여, 다관절 제어, 자율 보행, 비전 인식 및 행동 예측 기술을 통합적으로 개발해야 한다. 초기에는 실내 물류, 안내, 노약자 보조를 위한 소형 인간형 로봇 상용화를 추진하고, 점진적으로 산업용 및 재난 대응용 로봇으로 확장하는 전략이 필요하다.

셋째, 산업 생태계 조성과 대형 수요 창출이 반드시 병행되어야 한다. 로봇 산업은 단순히 기술력만으로는 성장할 수 없으며, 초기 시장 형성, 신뢰성 확보, 규제 완화, 국제 인증 획득 등 '산업 기반'을 동시에 구축해야 한다. 또한 대구 국가로봇테스트필드와 같은 인프라를 전국 주요 거점 도시로 확대하고, 로봇 전용 규제특구를 조성하여 기술 상용화를 촉진해야 한다. 이는 스타트업과 중견기업이 시장에 조기 진입할 수 있도록 하는 핵심 환경이 될 것이다.

넷째, 소프트웨어·AI 기반 기술 역량 강화가 필수적이다. 로봇은 하드웨어의 완성도만으로는 경쟁력을 갖출 수 없다. 자율주행, 인간-로봇 상호작용(HRI), 상황 인식 및 행동 적응성, 클라우드 로봇 플랫폼 등 소프트웨어와 AI 기술이 핵심 경쟁 요소로 부상하고 있다. 한국은 이미 반도체, 통신, AI 분야에서 강점을 보유하고 있으므로, 이를 로봇 산업과 전략적으로 결합해야 한다. 특히 로봇용 운영체제(OS) 개발, 경량화된 AI 모델, 설명 가능한 AI(XAI) 기술을 국가 차원에서 집중 지원하고, 이를 기반으로 한 스마트 로봇 플랫폼을 조기에 구축해야 한다.

다섯째, 글로벌 협력 강화와 국제 표준 주도가 병행되어야 한다. 로봇 산업은 글로벌 규제·표준이 시장 진입의 핵심 장벽이기 때문에, 단순한 기술 경쟁을 넘어 국제 표준 경쟁에서도 우위를 점해야 한다. 한국은 ISO, IEEE 등 국제 표준화 기구에 적극 참여하고, 로봇 안전성, 데이터 보안, 인간-로봇 협업 기준 등 주요 의제에서 주도적 입장을 확립해야 한다. 동시에 미국, 유럽, 이스라엘 등과의 공동 연구개발, 공동 시장 진출 프로젝트를 통해 글로벌 파트너십을 강화하고, K-로봇 브랜드의 신뢰성을 높여야 한다.

결론적으로, 한국이 로봇 산업에서 글로벌 리더십을 확보하기 위해서는 **핵심 기술 자립화, 차세대 시장 선도, 산업 생태계 구축, 소프트웨어·AI 융합 강화, 국제 협력 및 표준 주도**라는 다섯 축을 동시에 추진해야 한다. 민간 기업의 혁신을 촉진하고, 초기 시장을 만들어주며, 글로벌 확장을 지원하는 생태계 구축 만이 한국 로봇 산업의 지속 성장과 세계 시장 주도권 확보를 가능하게 할 것이다.

마무리 – 휴머노이드 로봇 마라톤, 산업의 본질을 드러내다

2025년 베이징 이좡에서 열린 세계 최초의 인간형 로봇 하프 마라톤 대회는, 단순한 기술 시연을 넘어, 로봇 산업이 맞이한 새로운 시대의 상징적 사건이었다. 20여 개 팀이 참가했지만 절반 이상은 완주에 실패했고, 일부 팀만이 혹독한 지형과 긴 레이스를 끝까지 견뎌냈다. 이 결과는 단순한 승패를 넘어, 기술 성숙도, 시스템 통합 능력, 현실 적응력이라는 로봇 산업의 본질적 경쟁요소를 극명하게 드러냈다.

마라톤이라는 극한 환경은 평소에는 드러나지 않는 기술의 한계와 산업 시스템의 취약점을 가감 없이 폭로했다. 강력한 하드웨어만으로는 완주할 수 없었고, 뛰어난 소프트웨어만으로도 생존할 수 없었다. 무엇보다 로봇이 긴 시간 동안 스스로 판단하고, 주변 변화를 감지하며, 스스로 균형을 잡아야만 완주할 수 있었다. 이것은 곧, 산업 전체가 독자적으로 성장하고 지속 가능성을 확보하려면 단일 기술이 아니라 '복합 시스템 통합'과 '환경 적응력'을 갖춰야 한다는 것을 뜻한다.

이 관점에서 보면, 오늘날 한국 로봇 산업이 처한 현실 또한 마라톤을 완주하려는 중간 지점에 서 있다. 기술력은 빠르게 발전했지만, 핵심 부품 자립성, 글로벌 표준 주도력, 산업 생태계 통합력은 여전히 미완성 단계에 머물러 있다. 지금 필요한 것은 단순한 단거리 스퍼트가 아니라, 장기적인 안목과 전략적 설계를 바탕으로 한 산업 전체의 체질 전환이다.앞으로 한국이 나아가야 할 방향은 명확하다.

- **핵심 부품의 자립**
- **차세대 시장 선도**
- **산업 생태계 조성**
- **소프트웨어·AI 융합 기술 강화**
- **국제 협력 및 표준 주도** 라는 다섯 축을 균형 있게 추진해야 한다.

베이징 로봇 마라톤은 우리에게 묻고 있다. "누가 단순히 빠른가"가 아니라, **"누가 끝까지 살아남을 수 있는가"**를.

한국 로봇 산업은 이제 그 질문에 답해야 할 시간에 도달했다. 그리고 그 답은, 단순한 기술이 아니라, **산업 전체를 일으켜 세우는 국민적 의지와 전략적 실행** 속에 있다.