

2024년 석학 커리어 디지전스 과학기술정책제언

AI와 로봇 시대의 걱정기술

안성훈(공학부 정회원, 서울대학교)

KAST 한국과학기술학원
The Korean Academy of Science and Technology

2024년 석학 커리어 디지전스

과 학 기 술 정 책 제 언

AI와 로봇 시대의 걱정기술

안성훈(공학부 정회원, 서울대학교)



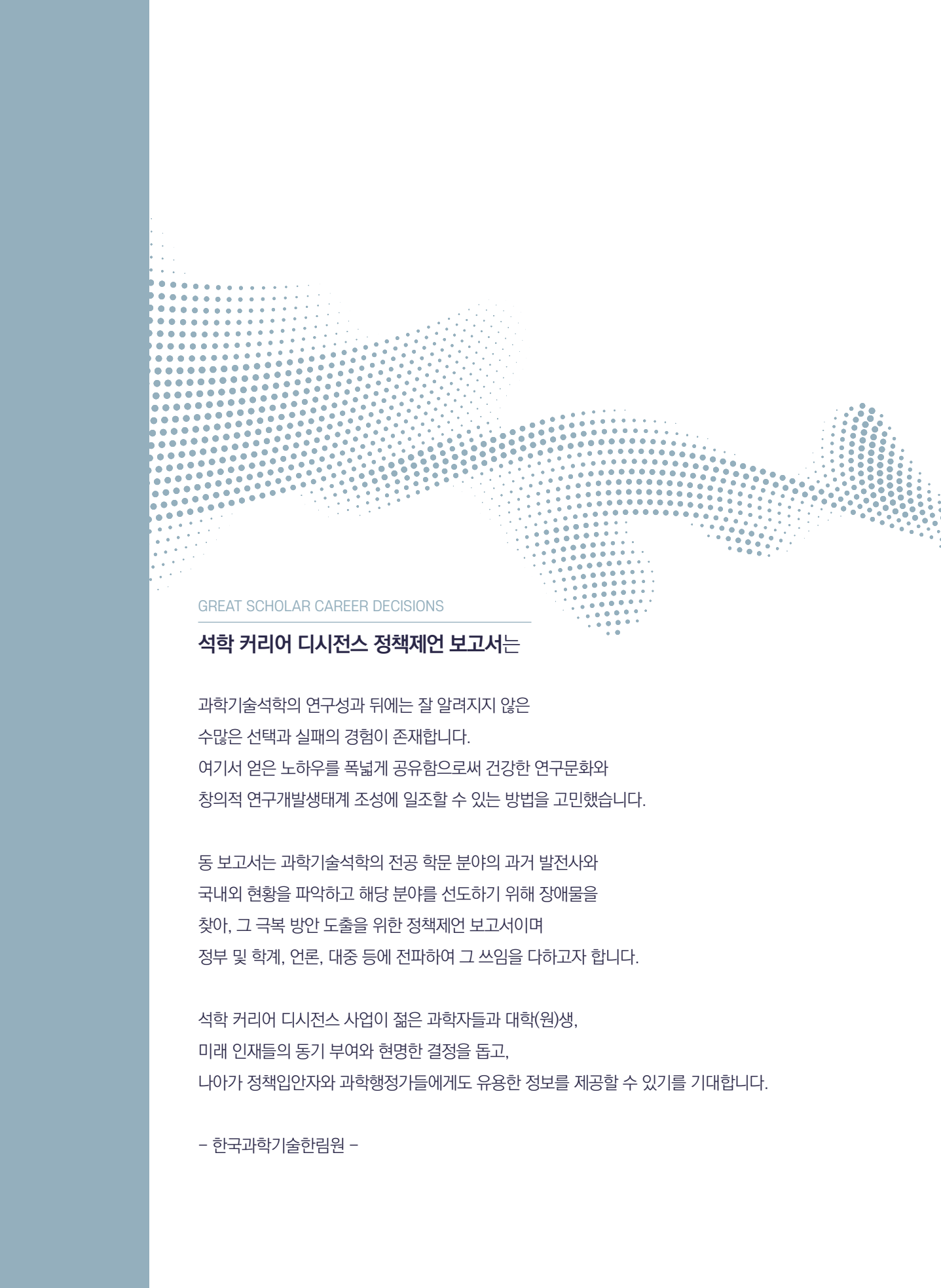
KAST 한국과학기술학원
The Korean Academy of Science and Technology

KAST 한국과학기술학원
The Korean Academy of Science and Technology



ISBN 979-11-86795-94-1

이 사업은 복권기금 및 과학기술진흥기금의 지원을 통한 사업으로 우리나라의 공익적 가치에 기여하고 있습니다.



GREAT SCHOLAR CAREER DECISIONS

석학 커리어 디시전스 정책제언 보고서는

과학기술석학의 연구성과 뒤에는 잘 알려지지 않은
수많은 선택과 실패의 경험이 존재합니다.
여기서 얻은 노하우를 폭넓게 공유함으로써 건강한 연구문화와
창의적 연구개발생태계 조성에 일조할 수 있는 방법을 고민했습니다.

동 보고서는 과학기술석학의 전공 학문 분야의 과거 발전사와
국내외 현황을 파악하고 해당 분야를 선도하기 위해 장애물을
찾아, 그 극복 방안 도출을 위한 정책제언 보고서이며
정부 및 학계, 언론, 대중 등에 전파하여 그 쓰임을 다하고자 합니다.

석학 커리어 디시전스 사업이 젊은 과학자들과 대학(원)생,
미래 인재들의 동기 부여와 현명한 결정을 돕고,
나아가 정책입안자와 과학행정가들에게도 유용한 정보를 제공할 수 있기를 기대합니다.

- 한국과학기술한림원 -



안 성 훈
서울대학교 교수
(한국과학기술한림원 정회원)

서울대학교 기계공학부 안성훈 교수는 적정기술, AI, 로봇틱스, 혁신설계 분야의 전문가로, 공적개발협력(ODA), 산학협력을 통해 다양한 연구를 주도하고 있습니다. International Journal of Precision Engineering and Manufacturing - Green Technology를 편집장으로 창간하고 PRESM과 ICEAS국제학술대회를 창설, 적정기술학회 회장을 역임하였으며, 현재 한국정밀공학회 회장, 국제생산공학아카데미(CIRP) 석학회원(Fellow), 한국과학기술한림원 국제협력부장으로 공학 분야의 혁신과 국제협력을 이끌고 있습니다. 안 교수는 서울대학교 글로벌사회공헌단 센터장을 역임하며, 과기부 글로벌문제해결거점센터의 책임자로 적정기술을 활용한 국제사회 공헌에도 적극 참여하였습니다.



AI와 로봇 시대의 적정기술

1. 적정기술의 개념	04
2. 적정기술의 발전사	08
3. 적정기술의 단계별 사례 및 특징	14
4. AI와 로봇 시대의 적정기술의 방향	30
5. 정책제언	42
6. 결론	48
참고 문헌	52

1

적정기술의 개념

적정기술의 개념

적정기술(Appropriate Technology)은 특정 지역이나 공동체의 사회적, 경제적, 환경적 조건에 맞춰 설계되고 적용되는 기술을 의미한다. 이 개념은 산업혁명 이후 선진국과 개발도상국 간의 경제 발전 차이를 극복하고, 환경문제를 일으키지 않으며 지속 가능한 발전을 하기 위한 의도로 1960년대부터 대두되기 시작되었다. 특히, 1973년 영국의 경제학자 E. F. 슈마허가 그의 저서 '작은 것이 아름답다(Small is Beautiful)'에서 소개하면서 대중적으로 주목받기 시작했다. 슈마허는 경제와 기술 발전이 일반적으로 선진국 사람들의 생활 수준을 향상시키지만, 소득수준이 낮은 개발도상국에서는 자급자족이 가능하도록 돕는 기술이 필요하다고 주장했다. 적정기술은 비용효율적이고 환경에 미치는 영향이 적으며, 기술 발전이 상대적으로 더딘 현지에서 쉽게 사용할 수 있는 기술을 지향한다. 이는 단순히 낮은 수준의 기술을 의미하는 것이 아니라, 기술이 적용되는 맥락과 적합성을 고려하여 설계된 기술이어야 한다. 또한, 사회적 자립을 돕고 지역 공동체의 역량을 강화하는 역할을 해야 한다.

적정기술의 주요 특징 중 하나는 저비용 구현이 가능하다는 점이다. 고가의 장치나 복잡한 인프라가 필요하지 않아 지역 사회의 경제적 상황에 맞게 구현할 수 있다. 예를 들어, 태양열 조리기나 소형 수력 발전기 등이 전통적인 적정기술의 사례로 꼽힌다. 이 기술들은 구조가 복잡하지 않으며 지역 주민들이 쉽게 이해하고 사용할 수 있어야 한다. 특히, 교육 수준이 낮거나 기술적 접근성이 부족한 지역에서는 유지보수와 수리가 용이한 기술이 적합하다.

적정기술은 또한 환경에 미치는 영향을 최소화하는 지속 가능한 기술이다. 재생 가능 에너지 사용, 폐기물 감소, 자원 재활용 등을 통해 환경 보호에 기여하는 것이 중요하다. 예를 들어, 바이오가스 생산기나 재생 가능 에너지를 활용한 발전 시스템은 환경 친화적인 적정기술의 좋은 예다. 이와 함께 적정기술은 지역에서 쉽게 구할 수 있는 자원과 노동력을 최대한 활용해야 하며, 외부에서 복잡한 기계를 수입하거나 전문가의 도움을 필요로 하지 않아야 한다.

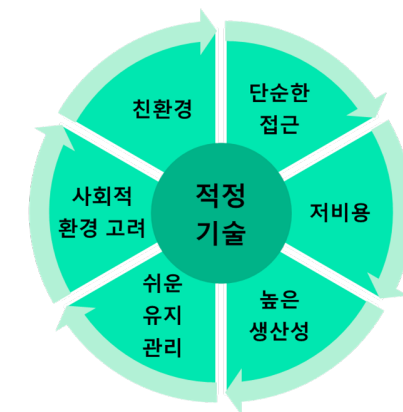
태양열 조리기는 에너지가 부족한 지역에서 화석 연료나 전기 없이 음식을 조리할 수 있게 한다. 이 조리기는 태양 에너지를 활용해 저렴하며 사용이 용이하다. 또 다른 사례인 페달 펌프는 전기나 연료 없이 사람이 자전거를 타면서 만드는 기계적 에너지로 물을 끌어올리는데, 물 공급이 어려운 농촌 지

역에서 유용하게 쓰일 수 있다. 종합하여 보면 적정기술의 중요한 요소들은 그림 1에서 보는 것과 같이 사회 경제적 환경을 고려한 저비용의 친환경적이며, 쉽게 유지 관리하게 하는 것 등이다.

오늘날 적정기술은 저비용, 단순성, 환경 친화성 등의 기본 특징들을 유지하면서도 새로 발전하는 AI, IoT(사물인터넷) 기술들을 통해 지속 가능성을 높이고 있으며, 이는 개발도상국뿐 아니라 선진국에서도 에너지 절감과 환경 보호를 하는 데 그 역할을 하고 있다.

저자들은 이와 같은 발전 방향을 '적정 스마트 기술'이라 명명하고, 전통적 적정기술에 간단한 데이터와 AI 알고리즘, IoT 등을 결합하여 지능형 기술을 구현하고자 한다. 예를 들어, 태양광 발전기 시스템에 아두이노, 라즈베리파이 등의 오픈 소스 엣지 컴퓨팅을 사용한 스마트 미터를 도입해 가정마다 전기 사용량을 실시간으로 모니터링하고, 전기 사용료 징수, 비효율적인 에너지 사용을 감지할 수 있다. 또한, 농지에서 웹캠과 간단한 이미지 분석 알고리즘을 활용하여 농작물의 실시간 성장을 데이터로 수집, 분석하여 농부들에게 제공함으로써 생산량을 개선할 수 있다. 본 보고서에서는 적정기술에 AI와 로보틱스 등 최신 기술을 적용함으로써 실현 가능한 가능성과 비전을 제시하고자 한다.

그림 1 적정기술의 특징들



출처: 신관우, 신선경, 안성훈, 반다리 비나약, 박형동, 김준원, 이원구, 윤제용, 박순호, 박한균, 여명석, 이호용, 정해관, 홍수진, 정대홍, 김형진, 이충훈. 2018. 적정기술의 이해, 7분의 언덕.

2

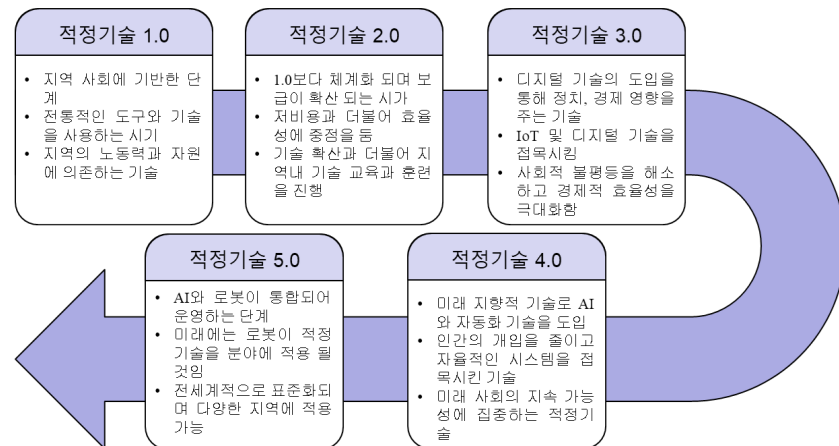
적정기술의 발전사

- 적정기술 1.0: 전통 단계 (지역사회 혹은 개발도상국을 돕는 기술)
- 적정기술 2.0: 기술 발전 및 보급 확산 단계 (지속 가능한 기술)
- 적정기술 3.0: 디지털 기술의 도입
(정치, 경제, 사회를 변혁하는 기술)
- 적정기술 4.0: AI 및 자동화 기술 도입 (현재와 가까운 미래)
- 적정기술 5.0: 로봇공학의 범용화

적정기술의 발전사

적정기술의 역사는 길지 않지만 크게 다섯 단계로 다음과 같이 나눌 수 있다(그림 2).

그림 2 적정기술의 단계별 발전사



출처: 신관우, 신선경, 안성훈, 반다리 비나약, 박형동, 김준원, 이원구, 윤제용, 박순호, 박현균, 여명석, 이호용, 정해관, 홍수진, 정대홍, 김형진, 이충훈, 2018. 적정기술의 이해, 7분의 언덕.

101 적정기술 1.0: 전통 단계 (지역사회 혹은 개발도상국을 돕는 기술)

적정기술 1.0은 지역 사회와 개발도상국을 돕기 위해 설계된 전통적인 기술로, 주로 자립적이고 지역 자원에 의존하는 기술을 말한다. 이 단계에서는 외부의 고도화된 기술에 의존하지 않고, 지역 내에서 쉽게 구할 수 있는 자원과 노동력을 최대한 활용한다. 대표적인 예로는 라이프스트로(life straw) 자전거펄프, 태양열 조리기 등이 있다. 이 기술들은 주로 농업, 식수 공급, 조리 등의 일상생활에서 사용되며, 저비용으로 제작 및 유지보수가 가능하다. 또한, 지역 주민들이 쉽게 습득할 수 있어 기술 교육이

상대적으로 간단하고, 외부 지원 없이도 장기간 사용 가능하다. 이러한 기술들은 개발도상국의 빈곤층이 자립할 수 있는 기반을 마련해 주며, 공동체가 지속 가능하게 발전할 수 있도록 돕는 역할을 한다.

102 적정기술 2.0: 기술 발전 및 보급 확산 단계 (지속 가능한 기술)

적정기술 2.0은 기술 발전과 더불어 보급이 확산되는 단계로, 지속 가능한 발전을 추구하는 기술들이 중심이 된다. 이 시기의 기술은 소규모 에너지 발전 시스템, 바이오가스 발전, 소형 풍력 터빈 등 재생 가능 에너지를 활용하여 지속 가능성을 극대화하는 방식으로 설계된다. 이 기술들은 주로 에너지 자립을 목표로 하며, 농촌 및 개발도상국의 에너지 부족 문제를 해결하는 데 기여한다. 또한, 적정기술 2.0에서는 기술의 확산과 더불어 지역 내 기술 교육과 훈련이 중요한 역할을 한다. 교육을 통해 지역 주민들이 이러한 지속 가능한 기술을 유지하고 발전시킬 수 있도록 돕는다. 이 단계에서는 환경 보호와 경제적 자립을 동시에 추구하며, 사회적, 환경적, 경제적으로 지속 가능한 미래를 지향하는 기술이 사용된다.

103 적정기술 3.0: 디지털 기술의 도입 (정치, 경제, 사회를 변혁하는 기술)

적정기술 3.0은 디지털 기술의 도입을 통해 정치, 경제, 사회 구조를 변혁하는 기술을 의미한다. 이 단계에서는 모바일 기술, 빅데이터 분석 등 디지털 기술이 적정기술에 결합되면서 기존의 지역 사회뿐만 아니라 국가적, 글로벌 차원에서의 변화를 촉진한다. 예를 들어, 모바일 기반 농업 관리 시스템을 통해 농부들이 실시간으로 작물의 상태를 모니터링하고 최적의 농업 방법을 적용할 수 있다. 또한, 디지털 헬스케어 시스템을 통해 원격 의료 서비스가 가능해져 의료 서비스가 부족한 지역에서도 전문적인 진단과 치료가 이루어질 수 있다. 이러한 디지털 기술의 도입은 정치적 의사결정 과정에서도 영향을 미치며, 사회적 불평등을 해소하고 경제적 효율성을 높이는 데 기여한다. 적정기술 3.0은 사회 전반에 걸쳐 혁신을 촉진하며, 전통적인 문제 해결 방식을 넘어선다.

104 적정기술 4.0: AI 및 자동화 기술 도입 (현재와 가까운 미래)

적정기술 4.0: AI 및 자동화 기술 도입 (현재와 가까운 미래)

적정기술 4.0은 인공지능(AI)과 자동화 기술이 도입된 단계로, 미래 지향적인 기술이 중심이 된다. AI는 데이터를 분석하고 예측함으로써 더욱 효율적이고 정확한 의사결정을 가능하게 한다. 예를 들어, 스마트 농업 시스템은 AI를 통해 농업 데이터를 분석하여 작물의 상태를 실시간으로 모니터링하고 최적의 농업 전략을 제공한다. 또한, 제조업에서는 자동화된 공정을 통해 생산성을 개선하고 비용을 절감할 수 있다. 이 단계의 기술은 인간의 개입을 줄이고, 자율적으로 시스템을 운영할 수 있게 되었다. 이는 에너지 관리, 도시 계획, 교통 시스템 등 다양한 분야에서 활용 가능하며, 인공지능과 자동화가 결합된 기술은 사회의 지속 가능성을 높이는 핵심 요소로 작용한다.

105 적정기술 5.0: 로봇공학의 범용화

적정기술 5.0은 AI와 ICT 기술들이 로봇공학과 통합되어 운영되는 단계로, 인류의 역사에서 가장 큰 변화를 맞이하는 시대의 적정기술이다. 이 단계에서는 로봇이 다양한 분야에서 자율적으로 작업을 수행하고, AI가 실시간 데이터를 분석하여 의사결정을 내린다. 예를 들어, 농업에서는 소프트 그리퍼를 사용하는 저가형 자율 로봇이 인간과 협업하거나 독자적으로 농작물을 수확하고 관리하며, AI 시스템이 기후 데이터와 작물 데이터를 결합하여 가장 적합한 농업 방식을 제시한다. 또한, 적정기술을 사용한 로봇은 제조업뿐만 아니라 의료, 에너지 관리, 재난 대응 등 다양한 분야에서 인간을 돕는 역할을 한다. 적정기술 5.0은 이러한 기술들이 전 세계적으로 표준화되어 다양한 지역에서 적용되며, 기후 변화, 식량 안보, 에너지 위기 등의 문제 해결에 기여할 것으로 기대된다.

3

적정기술의 단계별 사례 및 특징

- 적정기술 1.0 사례
- 적정기술 2.0
- 적정기술 3.0
- 적정기술 4.0 (AI 및 자동화 기술 도입)

적정기술의 단계별 사례 및 특징

101 적정기술 1.0 사례

3.1.1. 손으로 작동하는 물 펌프(Hand-powered water pumps for irrigation in rural areas)

손으로 작동하는 물 펌프는 개발도상국의 농업용 물 공급을 개선하기 위해 적용된 적정기술의 대표적인 사례이다. 이 펌프는 전력이나 연료가 필요하지 않으며, 간단한 구조로 유지보수가 용이하다. 특히 농촌 지역에서 전력 공급이 어려운 경우, 이러한 손펌프는 자급자족형 농업에 큰 도움이 된다. 주로 소규모 농작물 재배를 위한 용수 공급에 활용되며, 깊은 우물에서 물을 끌어올릴 수 있는 기능을 가지고 있다. 이 기술은 저비용이며, 지역에서 쉽게 제작할 수 있어 농민들이 직접 수리하거나 교체할 수 있다. 손펌프는 특히 가뭄이 잦은 지역에서 물을 안정적으로 공급함으로써 농업 생산성을 높이는 데 기여한다. 이러한 기술의 적용은 지역 주민들이 외부 자원에 의존하지 않고도 농업 활동을 지속할 수 있도록 돕는다. 또한, 에너지를 사용하지 않으므로 환경 보호에도 긍정적인 영향을 미친다. 이 기술은 개발도상국의 물 관리와 식량 안보 문제를 해결하는 데 중요한 역할을 한다.

3.1.2. 태양열 조리기(Solar cookers to reduce reliance on firewood)

태양열 조리기는 개발도상국에서 화석 연료나 나무를 대체할 수 있는 친환경적인 적정기술로, 주로 화력이 부족한 농촌 지역에서 사용된다. 이 기술은 태양 에너지를 활용해 음식을 조리하는 방법으로, 나무를 사용하는 전통적인 조리 방식에서 발생하는 연기 및 탄소 배출을 줄일 수 있다. 태양열 조리기는 구조가 간단하여 유지보수도 용이하고, 비용도 적게 든다. 특히 나무 자원이 부족한 지역에서는 나무를 구하는 시간과 비용을 절감할 수 있어 많은 이점을 제공한다. 또한, 산림 파괴를 방지하고, 여성들이 나무를 구하는 과정에서 겪는 위험을 줄이는 데도 기여한다. 태양열 조리기는 전력 공급이 어려운 지역에서 재생 가능한 에너지원으로 중요한 역할을 한다. 이를 통해 가구들은 식사 준비에 필요한 연료 비용을 줄일 수 있으며, 건강한 조리 환경을 제공받는다.

3.1.3. 바이오가스 에너지(Biogas Energy for rural households)

바이오가스 플랜트는 가축의 배설물이나 농업 부산물을 이용해 가스를 생산하는 시스템으로, 주로 농촌 지역에서 에너지원으로 사용된다. 이 기술은 적정기술의 대표적인 사례로, 현지에서 쉽게 구할 수 있는 유기물 자원을 활용해 전기나 연료를 생산할 수 있다. 바이오가스 플랜트는 연료비를 줄이고, 가정 내에서 발생하는 유기 폐기물을 처리하는 데 기여한다. 이러한 바이오가스 시스템은 주로 소규모 농가나 공동체에서 사용되며, 난방이나 요리, 조명에 필요한 에너지를 제공한다. 또한, 부산물로 생산되는 슬러지는 농업용 비료로 사용할 수 있어 농업 생산성 향상에도 기여한다. 이 기술은 전통적인 연료인 나무나 석탄에 비해 훨씬 더 친환경적이며, 탄소 배출을 줄이는 데 큰 역할을 한다. 에너지원의 지속 가능성을 높이며, 농촌 지역 주민들이 자립할 수 있는 경제적 기회를 제공한다.

3.1.4. 풍력으로 작동하는 물 펌프(Wind-powered water pumps for small-scale farming)

풍력으로 작동하는 물 펌프는 바람을 이용해 지하수를 끌어올리는 적정기술로, 전력이 부족한 지역에서 소규모 농업에 매우 유용하다. 이 펌프는 풍력 에너지를 동력원으로 사용하므로 연료비나 전력 비용이 들지 않으며, 지속 가능한 방식으로 물을 공급할 수 있다. 특히 가뭄이 잦은 건조 지역에서 물 공급의 안정성을 높이는 데 큰 역할을 한다. 이 기술은 간단한 구조로 되어 있어 유지보수가 용이하고, 지역 내에서 재료를 구해 제작할 수 있다. 또한, 외부 에너지 의존도를 줄이고, 농업 생산성을 높여 지역 경제에 기여한다. 풍력으로 작동하는 물 펌프는 개발도상국에서 널리 사용되고 있으며, 농업용 물 공급뿐만 아니라 가축에게 필요한 물을 제공하는 데도 쓰인다. 이 기술은 풍부한 풍력 자원을 이용하여 장기적으로 지속 가능한 농업 환경을 조성하는 데 필수적이다.

3.1.5. 개선된 요리용 스토브(Improved cookstoves that reduce wood consumption and smoke)

개선된 요리용 스토브는 나무 연료의 소비량을 줄이고 연기를 최소화하는 방식으로 설계된 스토브로, 개발도상국에서 널리 사용된다. 전통적인 스토브에 비해 연료 효율이 높아 나무 사용량을 50% 이상 줄일 수 있으며, 연기 배출을 크게 줄여 실내 공기질을 개선한다. 특히 나무를 많이 사용하는 지역에서는 여성과 어린이들이 연기를 마시며 요리할 때 발생하는 건강 문제를 줄이는 데 기여한다. 또한, 숲

의 무분별한 벌목을 줄여 산림 보호에도 기여한다. 이 스토브는 현지에서 저비용으로 제작 가능하며, 쉽게 설치할 수 있어 가구 단위에서 적용이 용이하다. 개선된 요리용 스토브는 환경 보호와 주민 건강 개선을 동시에 달성할 수 있는 기술로, 지역 사회의 생활 수준을 높이는 중요한 도구로 자리 잡고 있다.

102 적정기술 2.0



3.2.1. 소형 풍력 터빈(Small-scale wind turbines for local power generation)

소형 풍력 터빈은 개발도상국 및 에너지가 부족한 지역에서 지역 사회에 전력을 공급하기 위한 지속 가능한 에너지 솔루션으로 자리 잡고 있다. 이 기술은 풍부한 풍력 자원을 활용해 전력을 생산하며, 전력망과 연결되지 않은 오지나 섬 지역에서 사용된다. 소형 터빈은 유지보수가 상대적으로 간단하고, 설치 비용이 낮아 지역 주민들이 직접 설치하고 관리할 수 있다. 또한, 화석 연료나 전통적인 전력망에 의존하지 않기 때문에 온실가스 배출을 줄이는 데 기여한다. 이 기술은 농촌 지역에서 가정, 학교, 병원 등의 전력 공급에 중요한 역할을 하며, 재생 가능 에너지를 통해 에너지 자립을 가능하게 한다. 터빈은 소규모 전력 수요를 충족시킬 수 있을 정도로 효율적이며, 지속 가능한 지역 발전을 도모하는 데 사용 되는 기술이다.

3.2.2. 마이크로 수력 발전소(Micro-hydro power plants in mountainous regions)

마이크로 수력 발전소는 산악 지역에서 물의 흐름을 이용해 수십~수백 kW 정도의 소규모 전력을 생산하는 지속 가능한 기술이다. 이 발전소는 대규모 댐을 필요로 하지 않으며, 하천이나 강의 흐름을 활용해 지역 사회에 전력을 공급한다. 특히 전력망과 연결되지 않은 산간 지역에서 가정용 전력뿐만 아니라 농업 및 소규모 산업 활동에도 전력을 공급할 수 있다. 마이크로 수력 발전은 환경에 미치는 영향이 적고, 설치 비용이 낮아 주민들이 직접 운영 및 유지보수할 수 있다는 장점이 있다. 물의 흐름만으로 지속적으로 전력을 생산할 수 있어, 장기적인 에너지 공급 솔루션으로 각광받고 있다. 이는 지역 주민들이 재생 가능한 에너지를 통해 자립할 수 있도록 돕는 적정기술의 중요한 예시이다.

3.2.3. 지속 가능한 건축 기법(Sustainable building techniques using local materials)

지속 가능한 건축 기법은 지역에서 구할 수 있는 재료를 활용해 주택과 건축물을 짓는 방법을 의미한다. 이 기법은 주로 흙, 대나무, 돌과 같은 자연 재료를 사용하며, 건축 과정에서 발생하는 에너지 소비와 탄소 배출을 최소화한다. 이러한 건축 기법은 지역의 기후와 환경에 맞춘 설계를 통해 에너지 효율성을 높이며, 건축물의 온도 조절과 환기 등을 자연적으로 해결할 수 있게 한다. 특히 농촌 지역에서는 값비싼 재료나 외부 자원에 의존하지 않고도 저렴하게 주택을 건설할 수 있다. 이러한 지속 가능한 건축 기법은 환경 보호와 지역 자원의 효율적인 활용을 도모하며, 적정기술 2.0의 중요한 요소로 자리 잡고 있다.

3.2.4. 태양열 온수기(Solar water heaters for remote communities)

태양열 온수기는 태양 에너지를 이용해 온수를 공급하는 기술로, 전력 공급이 부족한 농촌 지역에서 널리 사용되고 있다. 이 시스템은 태양열 패널을 통해 물을 가열하며, 전기나 화석 연료에 의존하지 않기 때문에 에너지 비용을 절감하고 탄소 배출을 줄인다. 설치 및 유지보수가 간단하며, 특히 전력망과 연결되지 않은 지역에서 가정, 학교, 병원 등에 온수를 제공하는 데 효과적이다. 태양열 온수기는 재생 가능한 에너지를 활용함으로써 지속 가능한 에너지 사용을 촉진하고, 지역 주민들의 생활 수준을 향상시킨다. 또한, 장기적으로 에너지 비용을 절감할 수 있어 경제적으로도 이점이 크다.

3.2.5. 빗물 수확 시스템(Rainwater harvesting systems for water management)

빗물 수확 시스템은 비가 내리는 동안 지붕이나 특수 시설을 통해 빗물을 모아 저장하는 방법으로, 주로 물 부족 지역에서 사용된다. 이 시스템은 가정에서 사용하는 물의 양을 줄이고, 농업 용수로도 사용할 수 있어 물 관리에 매우 효과적이다. 특히 건조한 지역에서는 빗물을 효율적으로 모아두었다가 가뭄 시기에 사용할 수 있어, 물 자원의 낭비를 줄이고 생활 필수품인 물을 안정적으로 공급하는 데 기여한다. 설치 비용이 저렴하고 유지보수가 간단하여 지역 주민들이 쉽게 도입할 수 있다. 이 기술은 지역 사회의 물 자원 관리를 개선하고, 지속 가능한 생활 방식을 도모하는 중요한 적정기술 중 하나이다.

103 적정기술 3.0

그림 3 디지털화의 대표적 예로 IoT를 적용한 적정기술 3.0 사례



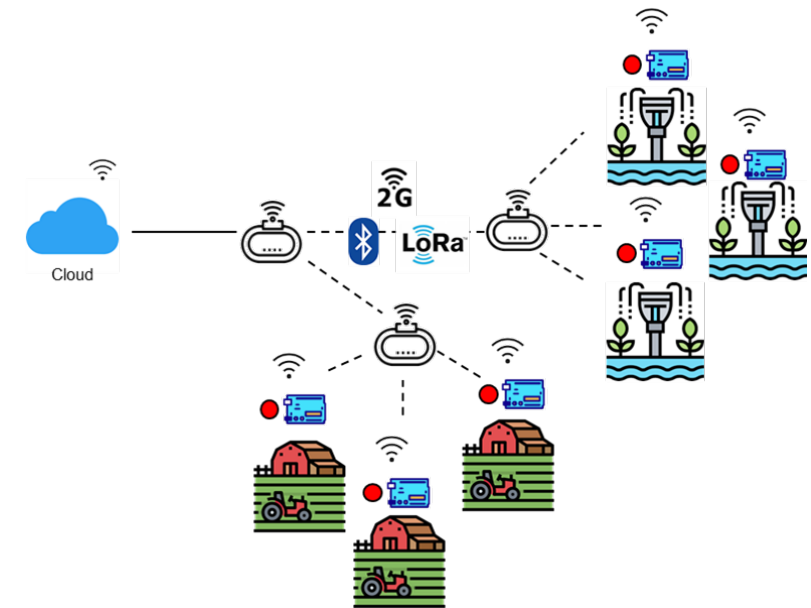
출처: Routray, S. K., & Hussein, H. M. 2019. Narrowband IoT: An appropriate solution for developing countries. arXiv preprint arXiv:1903.04850.

적정기술 3.0의 중요한 요소기술 중 하나는 IoT 기술이며, 저비용과 낮은 에너지 사용을 이용하여 농업, 금융, 통신 등에 사용할 수 있다(그림 3).

3.3.1. 스마트 농업(Smart Farming with IoT)

스마트 농업은 사물 인터넷(IoT)을 통해 농작물의 상태를 실시간으로 모니터링하고, 수확 시기, 수분 및 영양 상태를 제어하는 기술이다. 이 기술은 데이터를 기반으로 농작물 관리 결정을 내릴 수 있어, 자원을 효율적으로 사용하고 생산성을 높인다. 또한, 토양과 기후 조건에 맞춘 정밀 농업을 통해 농업의 지속 가능성을 높일 수 있다. 스마트 농업은 농민들의 노동 부담을 줄이고, 수확량과 품질을 향상시키는 데 역할을 한다.

그림 4 IoT를 이용한 스마트 농업 연구 사례



출처: Ahmed, N., De, D., & Hussain, I. 2018. Internet of Things (IoT) for smart precision agriculture and farming in rural areas. IEEE internet of things journal, Vol. 5, No. 6, pp. 4890-4899.

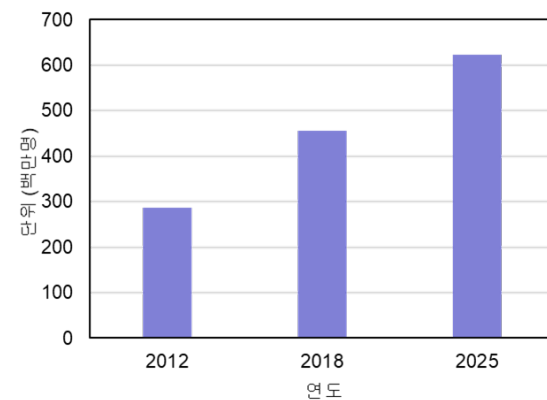
Ahmed의 연구는 IoT를 활용하여 스마트 농업 시스템을 구축하였다(그림 4). 연구진은 센서 네트워크를 통해 토양 습도, 온도, 작물 성장 상태 등의 데이터를 실시간으로 수집하고 분석하는 플랫폼을 제안하였다. 이를 통해 농업 관리 결정을 데이터 기반으로 내릴 수 있어 자원 활용 효율이 향상되었다. 또한, 이 시스템은 생산성 증대와 비용 절감에 기여하며, 농업의 지속 가능성을 높인다. 적정 IoT의 특징으로는 5G를 사용하지 않고 2G 또는 라디오 주파수의 LoRa(Long Range) 통신을 사용하여 비용을 낮추거나 중개기가 없이도 10km 이상의 통신이 저전력으로 가능하게 하였다.

3.3.2. 모바일 뱅킹(Mobile Banking in Developing Countries)

은행이 마을 근처에 없는 개발도상국 지역의 금융 서비스 접근성을 개선하기 위해 모바일 뱅킹 시스템이 도입되었다. 케냐의 엠페사(M-PESA)로 시작된 이런 시스템은 인터넷 연결이 어려운 지역에서도 휴대폰을 통해 은행 서비스를 이용할 수 있게 해주며, 2G 통신이 되는 핸드폰만 가지고 있으면 돈을 송금할 수 있다. 이를 통해 금융 접근성을 높이고, 경제적 자립을 촉진한다. 모바일 뱅킹은 금융 포

용성을 확대하여 개발도상국 지역 경제 발전에 기여하고 있다. 그림 5는 사하라 이남 아프리카에서 지속적으로 모바일 뱅킹 사용자가 증가하고 있음을 볼 수 있다.

그림 5 사하라 이남 아프리카 모바일 뱅킹 가입자 수



출처: <https://techjury.net/blog/the-rise-of-mobile-banking-in-africa/>

3.3.3. 원격 의료(Remote Healthcare Systems with IoT)

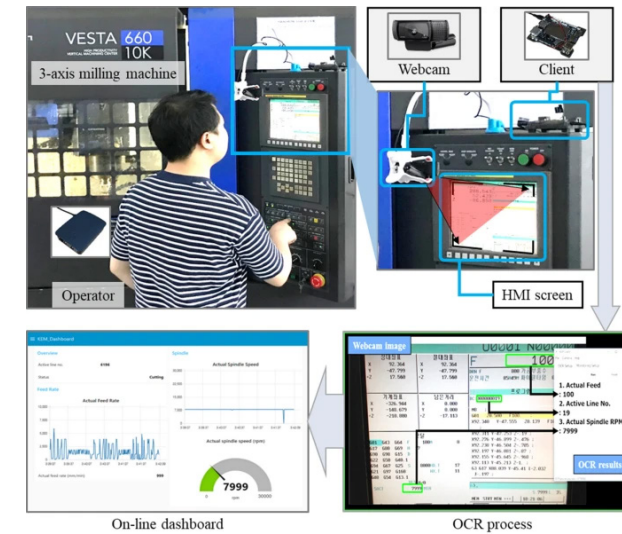
IoT 기반의 원격 의료 시스템은 의료 자원이 부족한 지역에서 중요한 역할을 한다. 이 시스템은 환자의 건강 데이터를 실시간으로 모니터링하고, 의사들이 원격으로 진단 및 치료를 제공할 수 있게 해준다. 이 기술은 의료 서비스 접근성을 개선하고, 진료 비용을 줄이며, 의료 인프라가 부족한 지역에서 중요한 보건 문제를 해결한다. 원격 의료는 긴급 상황에서의 대응 시간을 단축하고, 만성 질환 관리에도 효과적이다.

3.3.4. 적정 스마트 제조(Appropriate Smart Manufacturing for SMEs)

적정 스마트 제조는 중소기업을 대상으로 생산 공정에 IoT 기술을 적절히 도입한 제조 시스템을 의미한다. 이 시스템은 생산 설비와 장비에 센서를 부착하여 실시간으로 운영 데이터를 수집하고, 이를 분석하여 생산 효율성을 향상시킨다. 중소기업은 비용 부담을 최소화하면서도 생산 공정의 자동화와 최적화를 이룰 수 있다. 이를 통해 품질 향상, 납기 준수, 생산 비용 절감 등 다양한 이점을 얻을 수 있다. 그림 6의 사례는 제조업에서 많이 사용되는 CNC 장비에 라즈베리파이 장치를 이용하여 장비 모니터링을

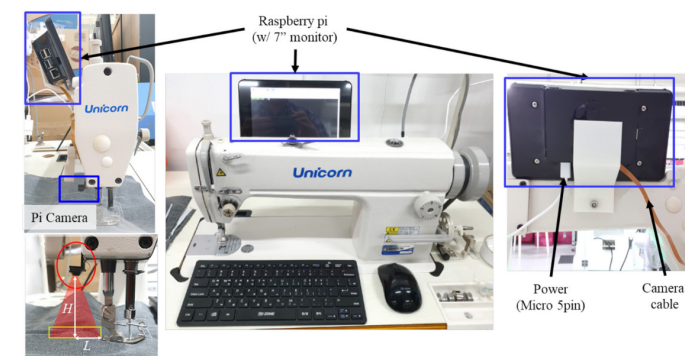
하는 시스템이다. 그림 7의 사례는 인도네시아 의류 공장에 적용한 사례로 이전 사례와 같이 라즈베리파이를 이용하여 비전 모니터링 장비를 통해 재봉 작업이 정확히 이루어지는지 검사하는 장치이다.

그림 6 IoT 기술을 이용한 중소기업 대상 적정 스마트 제조 사례



출처: Kim, H., Jung, W.-K., Choi, I.-G., & Ahn, S.-H. 2019. A low-cost vision-based monitoring of computer numerical control (CNC) machine tools for small and medium-sized enterprises (SMEs). Sensors, Vol. 19, pp. 1-18.

그림 7 IoT 기술을 이용한 중소 의류기업 대상 적정 스마트 제조 적용 사례



출처: Jung, Woo-Kyun, et al. 2021. "Appropriate smart factory for SMEs: concept, application and perspective." International Journal of Precision Engineering and Manufacturing Vol. 22, pp. 201-215.

3.3.5. 스마트 수자원 관리(Smart Water Management Systems with IoT)

IoT 기반의 스마트 수자원 관리 시스템은 물 부족 지역에서 효율적인 물 관리가 가능하게 한다. 센서가 실시간으로 물 소비량과 공급 상태를 모니터링하고, 데이터 분석을 통해 물 자원을 최적화하여 낭비를 줄인다. 이는 농업 및 생활용수 사용의 효율성을 높이는 데 기여한다. 스마트 수자원 관리는 기후 변화로 인한 가뭄과 홍수에 대비하여 수자원을 지속 가능하게 관리하는 핵심 기술이다.

104 적정기술 4.0 (AI 및 자동화 기술 도입)

3.4.1. 스마트 농업 (Smart Farming with IoT and AI)

스마트 농업은 IoT와 AI를 활용하여 농작물의 생산성과 효율성을 향상시키는 기술이다. 저렴한 센서와 오픈 소스 소프트웨어를 사용하여 토양 상태, 기후 정보, 작물 성장 데이터를 실시간으로 모니터링한다. 이를 통해 농민들은 물, 비료, 농약 등의 자원을 정확하고 효율적으로 사용하여 비용을 절감하고 수확량을 증가시킬 수 있다. 현지에서 구할 수 있는 재료로 시스템을 구축하고, 간단한 교육을 통해 농민들이 직접 운영하고 유지보수할 수 있도록 설계되었다. 스마트폰과 같은 보편적인 기기를 활용하여 접근성을 높였으며, 이는 농촌 지역의 소규모 농민들에게도 적합한 적정기술이다.

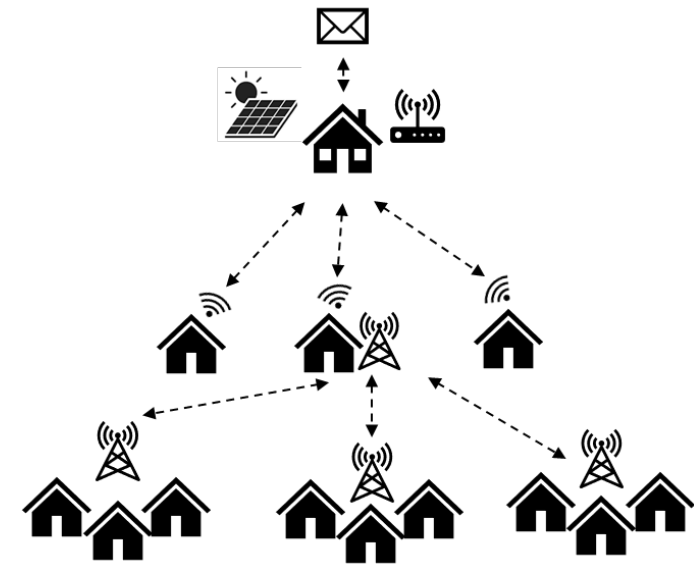
관련 연구 사례로는 저렴한 IoT 기반 시스템을 통해 토양 특성을 모니터링하는 방법을 제시한다. 연구진은 현지에서 웹캠으로 농지를 5~10미터 높이에서 촬영하고, micro controller unit(MCU)에서 AI로 이미지 처리를 하여 농작물의 성장과 농지 위치별 차이를 측정하며, 센서를 사용하여 토양의 수분, 온도 등을 실시간으로 측정하는 장치를 개발하였다. 이 시스템은 무선 통신을 통해 데이터를 농부에게 전송하고, 모바일 애플리케이션과 연동되어 농부들이 쉽게 활용할 수 있도록 설계되었다. 이를 통해 농업 생산성을 높이고 자원 낭비를 줄일 수 있어서 스마트 농업의 실용적인 적용 가능성을 보여준다.

3.4.2. 현지 맞춤형 AI 기반 에너지 관리 시스템

저렴한 AI 기반 에너지 관리 시스템은 농촌이나 저소득 지역에서 에너지 소비를 최적화하는 데 도움을 준다. 간단한 센서와 오픈 소스 AI 소프트웨어를 사용하여 가정이나 소규모 사업장의 에너지 사용 패턴을 분석한다. 이를 통해 주민들은 에너지 소비를 효율적으로 관리하고 비용을 절감할 수 있다. 또한 태양열 패널과 같은 재생 가능 에너지의 사용을 모니터링하여 에너지 자급자족을 지원한다. 현지 기

술자를 교육하여 시스템의 설치와 유지보수가 가능하도록 함으로써 지속 가능성을 높인다.

그림 8 현지 맞춤형 AI 기반 에너지 관리 시스템 통신 구축 사례



출처: Wang, et al. 2020. "Low-cost far-field wireless electrical load monitoring system applied in an off-grid rural area of Tanzania." Sustainable Cities and Society Vol. 59, p. 102209.

Wang의 연구에서는 탄자니아 농촌 지역에서 IoT와 독립형 태양광 에너지를 활용한 스마트 에너지 관리 시스템을 제안한다(그림 8). 저자들은 저비용 센서와 아두이노를 사용하여 에너지 소비를 실시간으로 모니터링하고 분석하는 시스템을 개발하였다. 이 시스템은 태양광 발전소에서 생산하는 발전량과 마을의 각 가구에서 사용하는 소비량을 측정하여 에너지 효율을 향상시킨다. 현지 주민들이 쉽게 이해하고 사용할 수 있도록 사용자 친화적으로 설계되었으며, 선불제(pre-payment) 시스템으로 관리를 체계화하였다. 이를 통해 전력 공급이 불안정한 개발도상국 농촌 지역에서 수십~수백 가구가 스마트 마이크로 그리드로 연결되어 에너지 자립과 비용 절감을 실현할 수 있다.

3.4.3. 저비용 자동화된 로봇 기술 활용

중소기업형 제조업체나 인력이 부족한 농민들이 저비용의 자동화 로봇 기술을 활용하여 생산성을 향상시킬 수 있다. 최근에는 오픈 소스 하드웨어와 소프트웨어를 사용하여 간단한 로봇 장치를 제작하

고, 반복적인 작업을 자동화가 가능하다.

개발도상국 대상 교육 방면으로도 저비용 로봇 키트를 통해 학생들이 로봇공학과 에너지 관리에 대해 학습할 수 있다. 저렴한 부품과 오픈 소스 소프트웨어를 사용하여 로봇을 조립하고 프로그래밍함으로써 기술 역량을 향상시킨다. 특히 에너지 효율을 고려한 설계를 프로젝트성 교육을 통해 친환경적인 기술의 중요성을 강조한다. 이러한 교육은 현지에서 기술 인재를 양성하고, 지역 기업에서 활용할 수 있다.

또 다른 접근방법은 통신이 안정적이지 않은 개도국에서 선진국에 위치한 교육장비를 사용하는 데 로봇이 역할을 하는 것이다. 그림 9는 탄자니아 학생들이 인터넷을 통해서 서울대학교 기계공학부 혁신설계 및 통합생산 연구실의 로봇에 접속하고, 이를 이용하여 시편의 기계적 물성 테스트를 원격으로 진행하는 교육 장면이다. 본 사례와 같이 네트워크와 오픈 소스 형태의 플랫폼이 증가함으로 개발도상국 지역의 학생들도 로봇을 이용한 실험 실습 교육을 받을 수 있게 된다.

그림 9 오픈소스형 원격 로봇 제어를 사용한 개발도상국 대상 교육 사례



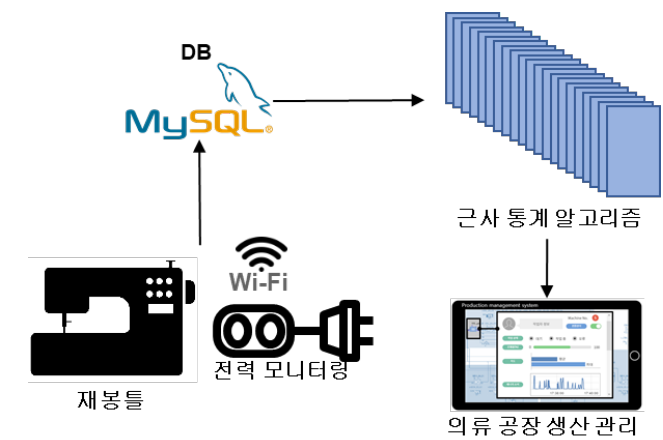
(왼쪽: 탄자니아 아루샤 공과대학의 학생들, 오른쪽: 서울대 연구실의 자율주행 협동로봇과 실험 장치들)

3.4.4. 중소기업에 위한 AI 기반 제조 공정 최적화

적정기술은 개도국만을 위한 기술이 아니라 선진국에서도 취약 환경에서 필요한 기술이 될 수 있다. 국내 대기업에서도 적정기술의 요소를 활용하면 비효율적인 문제해결을 할 수 있으며, 상대적으로 자원과 인력이 부족한 중소기업에 대상으로 한 AI 기반 제조 공정 최적화 시스템은 생산 효율성을 높이

고 자원을 효율적으로 사용하는 데 도움을 준다. 저렴한 센서와 오픈 소스 AI 알고리즘을 활용하여 생산 과정에서 발생하는 데이터를 수집하고 분석하고, 이를 통해 공정상의 문제점을 파악하고 개선안을 도출하여 생산성을 향상시킨다. 적응하기 쉬운 기술을 사용하여 중소기업 인력을 교육하면, 시스템의 운영과 유지보수가 가능함으로써 지속적인 개선이 이루어지도록 한다.

그림 10 의류 중견 기업의 공장에 실제 적용된 AI 기반 공장 최적화 사례



출처: Jung, Woo-Kyun, et al. "Smart sewing work measurement system using IoT-based power monitoring device and approximation algorithm." International Journal of Production Research 58.20 (2020): 6202-6216.

Jung의 연구는 의류 공장을 위한 전력 모니터링 생산 관리 시스템을 제안하였다(그림 10). 저자들은 저비용 AI 솔루션을 통해 생산 데이터를 수집하고 분석하여 제조 공정을 측정하고 생산 관리하는 방법을 보였다. 클라우드 플랫폼을 활용함으로써 초기 투자 비용을 줄여, 중소기업도 첨단 제조 기술을 활용할 수 있게 한다. 시스템은 사용하기 쉬운 인터페이스를 제공하여 전문 인력이 부족한 기업에서도 적용이 가능하다. 이 연구는 디지털화가 되지 않고 투자 비용이 예민한 중소기업형 공장에도 경쟁력 향상과 산업 혁신에 기여한다고 볼 수 있다.

3.4.5. 현지 적합형 스마트 주택 기술

현지에서 구할 수 있는 재료와 저비용 기술을 활용하여 에너지 효율적인 스마트 주택을 건설할 수 있게 하는 것이 적정기술형 스마트 주택으로 보인다. 태양열 온수기, 자연 환기 시스템, 단열재 등을 적용하여 에너지 소비를 줄이고 생활 환경을 개선한다. 오픈 소스 설계와 현지 기술 교육을 통해 주민들이 직접 주택을 건설하고 유지보수할 수 있도록 지원한다. 이때 사용하는 알고리즘에 AI 기술을 더해 생활비를 절감하고 삶의 질을 향상시킬 수 있게 한다.

관련 연구 사례로는 농촌 지역에서 저비용 스마트 홈 기술을 적용하여 생활 수준을 향상시키는 방안을 탐구한다. 연구진은 간단한 IoT 기기와 오픈 소스 플랫폼을 사용하여 조명, 보안, 에너지 관리 시스템을 구축하였다. 사용자 친화적인 인터페이스를 제공하여 기술에 익숙하지 않은 주민들도 쉽게 사용할 수 있도록 하였다. 시스템은 저비용 AI 알고리즘을 통해 에너지 효율을 높이고 생활 편의를 제공하여 주민들의 삶의 질을 향상시킨다. 이 연구는 디지털 격차를 해소하고 지역 발전에 기여한다.

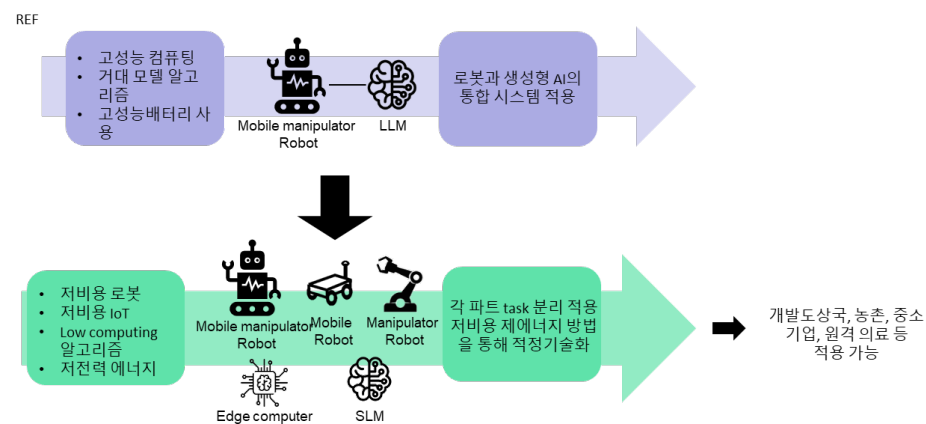
4

AI와 로봇 시대의 적정기술의 방향

- 저비용의 고효율 기술 개발
- 에너지 불균형 해결
- 디지털 리터러시(디지털 역량) 강화
- 적정기술 5.0 접근 사례
- 개발도상국과 선진국을 위한 적정기술의 차별화된 접근
- AI와 로봇 시대에서 지식 격차 해소를 위한 LLM, LMM, 휴머노이드 로봇의 활용

AI와 로봇 시대의 적정기술의 방향

그림 11 적정기술 5.0의 방향성과 저비용 저에너지 AI 로봇 통합 시스템



적정기술 4.0에서는 인공지능(AI)과 자동화 기술이 개별 시스템에 도입되어 특정 분야에서 최적화와 효율성을 높이는 데 중점을 둔다(그림 11). 이 단계에서 AI는 주로 특정 작업을 더 효율적으로 수행하거나 개별 시스템을 최적화하는 데 사용된다. 반면, 적정기술 5.0은 AI와 로봇공학의 완전한 통합을 목표로 하며, 개별 시스템이 아닌 전체 생태계 차원에서 AI와 로봇이 통합적으로 작동하도록 하는 것을 의미한다.

그러나 기존의 고성능 AI와 로봇 통합 시스템은 고성능 컴퓨팅, 복잡한 알고리즘, 지속 가능한 배터리 등 고비용의 자원이 요구된다. 이는 개발도상국, 농촌 지역, 중소기업 등에서는 적용하기 어려운 점이다.

적정기술 5.0에서는 이러한 기술이 누구나 접근할 수 있도록 비용 절감과 현지 제작 및 유지보수가 가능한 모듈형 시스템 개발이 핵심이다. 이를 위해 오픈 소스 하드웨어와 소프트웨어를 적극 활용하고, 현지에서 쉽게 구할 수 있는 재료와 인력을 사용해 기술의 현지화를 촉진하는 접근이 필요하다.

이러한 접근성의 확대는 기존 적정기술 철학을 유지하면서도 AI와 로봇공학의 최신 발전을 저개발

국가에서도 적용할 수 있게 하여, 기술 불평등을 해소하고 글로벌 차원의 지속 가능한 발전을 촉진하는 중요한 방법이 될 것이다.

101 저비용의 고효율 기술 개발

AI와 로봇공학이 급속도로 발전하는 현대 사회에서 가장 중요한 것은 다양한 계층의 사람들이 저비용으로 고효율의 성과를 낼 수 있는 기술을 개발하는 것이라고 할 수 있다. 현실적으로 모든 사람이 개인용 로봇을 소유하거나 고가의 AI 시스템을 직접 활용할 수는 없지만, 이러한 첨단 기술을 서비스 형태로 공유하거나 에너지 효율적인 시스템으로 개발하여 다양한 지역에서 활용할 수 있도록 만드는 방향으로 나아가는 것이 필요하다.

예를 들어, AI 기반의 농업 로봇을 농업 공동체에서 공동으로 사용할 수 있도록 설계함으로써, 소규모 농가들도 고가의 기술에 접근하여 농업 생산성을 향상시킬 수 있게 된다. 또한 로봇 기반의 헬스케어 시스템을 원격 의료 서비스 형태로 제공하여, 저개발국가의 사람들도 고급 의료 서비스를 받을 수 있도록 지원하는 것이 필요하다. 이를 통해 기술의 혜택을 모든 사람에게 확산시켜 사회 전반의 삶의 질을 향상시킬 수 있다.

102 에너지 불균형 해결

AI와 로봇이 주도하는 시대에서는 이러한 첨단 기술의 운용에 필요한 에너지 사용량이 급증함에 따라 에너지 사용의 불균형이 커질 가능성이 매우 크다. 로봇의 운영과 대규모 AI 시스템의 가동은 대량의 에너지를 필요로 하며, 특히 전력망이 열악하거나 인프라가 부족한 지역에서는 전기 기반의 시스템을 사용할 수 없는 현실적인 한계가 존재한다. 따라서 적정기술 5.0에서는 재생 가능 에너지와 스마트 그리드 기술을 적극적으로 활용하여 에너지 사용을 최적화하고, 전 세계적으로 에너지 접근성을 공평하게 만드는 것이 중요하다.

이를 위해 소규모 에너지 관리 시스템이나 지역 사회에서 활용 가능한 재생 에너지 솔루션을 개발하여 에너지 자원의 불균형을 해소해야 한다. 이러한 시스템은 전력망이 불안정한 지역에서도 AI와 로

봇을 활용할 수 있도록 지원함으로써, 기술의 혜택이 특정 지역에 국한되지 않고 전 세계로 확산될 수 있도록 돕는다.

103 공유 경제 모델로 기술 확산

로봇과 AI의 개인 소유가 경제적으로 어려운 경우에는 공유 경제 모델을 통한 기술 확산이 중요한 대안이 될 수 있다. AI 기반 서비스나 로봇은 지역사회 단위로 공유할 수 있는 형태로 설계되어야 하며, 이를 통해 소득 수준에 상관없이 모든 사람들이 기술의 혜택을 받을 수 있도록 해야 한다. 이러한 공유 경제 모델은 기술의 접근성을 높이고, 자원의 효율적인 활용을 가능하게 하며, 사회적 불평등을 완화하는 데 기여할 수 있다.

예를 들어, 농업 로봇이나 의료 로봇은 지역 공동체가 함께 투자하고 사용하는 모델로 확산될 수 있으며, 이는 기술의 혜택이 특정 계층에만 국한되지 않고 사회 전체로 확산될 수 있게 만든다. 이러한 방식은 기술의 사회적 가치를 극대화하고, 공동체의 협력을 통해 지속 가능한 발전을 도모할 수 있다.

104 디지털 리터러시(디지털 역량) 강화

AI와 로봇 기술이 빠르게 발전하고 있지만, 이러한 첨단 기술을 효과적으로 사용하고 관리할 수 있는 역량이 부족한 사람들이 여전히 많다는 것은 부인할 수 없는 현실이다. 적정기술 5.0에서는 개발도상국을 포함한 저개발국가에서도 디지털 리터러시 교육을 강화하여 사람들이 새로운 기술을 효과적으로 사용할 수 있도록 지원하는 것이 필수적이다. 이를 위해 교육 프로그램의 개발, 교육 인프라의 구축, 그리고 현지 언어와 문화에 맞는 교육 콘텐츠의 제공이 필요하다.

이를 통해 소득 수준과 상관없이 AI와 로봇 기술에 대한 접근성과 활용도를 높일 수 있으며, 기술 격차로 인한 사회적 불평등을 줄일 수 있다. 또한 디지털 역량의 강화는 개인의 성장뿐만 아니라 지역 사회와 국가의 발전에도 긍정적인 영향을 미칠 것이다.

105 적정기술 5.0 접근 사례

4.5.1. AI와 로봇의 통합을 통한 스마트 농업 시스템

AI와 로봇공학의 완전한 통합으로 이루어진 스마트 농업 시스템은 농업 생산성을 혁신적으로 향상시키는 적정기술 5.0의 대표적인 사례이다. 자율 주행 로봇과 드론이 AI 알고리즘을 기반으로 작물의 상태를 실시간으로 모니터링하고, 파종, 관수, 수확 등 농업 작업을 자동화한다. 이러한 시스템은 토양과 작물의 데이터를 수집하여 AI가 분석하고, 최적의 농업 관리 전략을 제시한다. 이를 통해 자원 활용을 최적화하고 환경 영향을 최소화하며, 노동력 부족 문제를 해결한다. 특히 저개발 국가에서는 저비용 하드웨어와 오픈 소스 소프트웨어를 활용하여 현지에서도 접근 가능한 형태로 구현함으로써 농민들의 삶의 질을 향상시키고 식량 안보에 기여한다.

Zhu의 연구는 딥러닝과 AI 기술이 스마트 농업에서 어떻게 활용될 수 있는지에 대해 논의한다. 연구자들은 자율 로봇과 드론에 딥러닝 알고리즘을 적용하여 작물 상태 분석, 병해충 탐지, 수확 시기 예측 등을 자동화하는 방법을 제시하였다. 이 시스템은 대량의 농업 데이터를 처리하여 정확한 의사결정을 지원하며, 농업 생산성을 향상시킨다. 또한 저렴한 하드웨어와 오픈 소스 소프트웨어를 활용하여 개발도상국에서도 적용 가능성을 높였다.

4.5.2. 의료 접근성 향상을 위한 AI 로봇 진료소

AI와 로봇공학이 통합된 이동식 로봇 진료소는 의료 서비스가 부족한 시골 지역 혹은 개발도상국에서 혁신적인 해결책이 될 수 있다. 이 로봇 진료소는 AI를 통해 환자의 증상을 분석하고, 원격 의료 전문가와 연결하여 진단과 처방을 지원한다. 로봇은 자율 이동이 가능하여 접근하기 어려운 지역까지 이동할 수 있으며, 기본적인 의료 검사와 응급 처치 기능을 갖추고 있다. 이를 통해 지역 주민들은 의료 시설에 대한 접근성이 향상되고, 조기 진단과 예방이 가능해진다. 현지에서 유지보수가 가능하도록 설계되어 지속 가능한 의료 지원이 가능하다.

4.5.3. 재생 가능 에너지 관리를 위한 AI 로봇 시스템

AI와 로봇공학의 통합으로 재생 가능 에너지 설비의 설치, 운영, 유지보수를 자동화하는 시스템이다. 로봇은 태양광 패널이나 풍력 터빈의 설치를 도와 인력과 시간을 절약하고, AI는 에너지 생산량을 예측하고 최적의 운영 방식을 제안한다. 또한 로봇은 설비의 상태를 실시간으로 점검하고, 문제가 발생

하면 경고를 발신한다. 이 시스템은 전력망이 불안정한 지역에서 안정적인 에너지 공급을 가능하게 하며, 친환경적인 에너지 사용을 촉진한다.

4.5.4. 교육을 위한 AI 로봇 플랫폼

AI와 로봇공학이 통합된 교육 플랫폼은 미래 인재 양성을 위한 중요한 도구로 볼 수 있다. 학생들은 COVID-19 이후로 온라인 수업에 잘 적응한다. 오픈형 교육 플랫폼을 통해 로봇을 직접 조립하고 프로그래밍하면서 AI의 원리를 학습할 수 있게 한다. 로봇은 교육용으로 설계되어 안전하며, 저비용 재료와 오픈 소스 소프트웨어를 사용하여 경제적이다. 이를 통해 저개발 국가나 소득이 낮은 지역에서도 해당 플랫폼을 통해 첨단 기술 교육이 가능해진다. 교육을 통해 지역 사회의 기술 역량이 강화되고, 혁신적인 아이디어와 솔루션이 지역에서부터 창출될 수 있다.

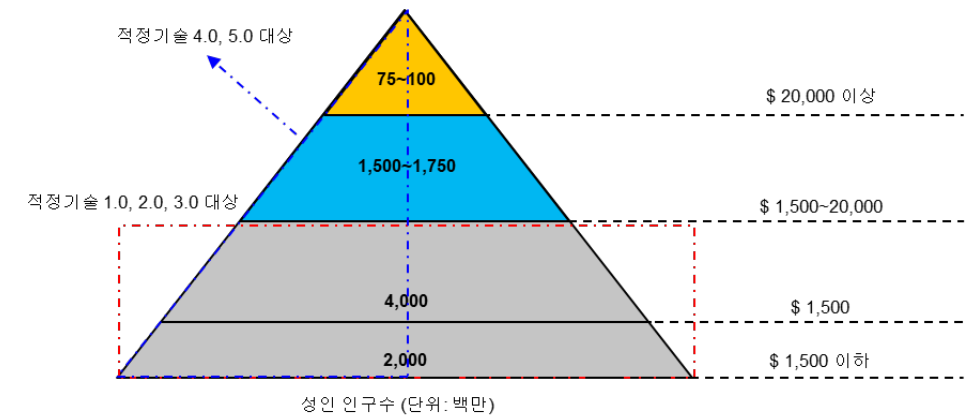
4.5.5. AI 로봇을 활용한 폐기물 관리 솔루션

AI와 로봇공학이 통합된 폐기물 관리 시스템은 미래 환경 문제 해결에 중요한 역할을 할 것으로 보인다. 로봇은 폐기물 수거와 분류를 자동화하여 효율성을 높이고, AI는 폐기물 발생 패턴을 분석하여 감소 전략을 제시한다. 이 기술은 재활용률을 높이고 환경 오염을 줄이는 데 기여한다. 저비용 로봇과 오픈 소스 AI 알고리즘을 활용하여 지역 사회에서도 구현이 가능하며, 주민들의 참여를 통해 효과를 극대화할 수 있다.

Thao의 연구는 AI와 로봇 공학이 통합된 폐기물 관리 시스템을 개발하여 환경 문제 해결에 기여한다. 로봇은 폐기물의 수거와 분류를 자동화하여 작업 효율을 높이고, AI는 폐기물 발생 패턴을 분석하여 감소 전략을 제시한다. 이 시스템은 재활용률을 높이고 환경 오염을 줄이는 데 효과적이다. 저비용의 로봇 기술과 오픈 소스 AI 알고리즘을 활용하여 지역 사회에서도 구현이 가능하며, 주민들의 참여를 통해 효과를 극대화할 수 있다.

106 개발도상국과 선진국을 위한 적정기술의 차별화된 접근

그림 12 소득 및 환경에 따른 적정기술의 차별화된 적용



출처: 신관우, 신선경, 안성훈, 반다리 비나약, 박형동, 김준원, 이원구, 윤제용, 박순호, 박현균, 여명석, 이호용, 정해관, 홍수진, 정대홍, 김형진, 이충훈. 2018. 적정기술의 이해, 7분의 언덕.

그림 12에서 연간 소득 1,500달러 이하의 소득 분포 사람들이 기존의 적정기술의 대상으로 여겨왔다. 하지만, 적정기술 4.0이 되면서 AI 기술이 전 세계 인구 모두에게 적용되기는 현실적으로 어렵고, 로봇 기술은 전기의 공급 등 인프라 문제로 더욱더 접근하기 어렵다.

적정기술 5.0은 AI와 로봇공학의 발전으로 인해 더 많은 사람에게 노출되고 있지만, 여전히 기술 불균형이 문제로 남을 수 있다. 이를 해결하기 위해서는 저비용 기술 개발, 에너지 접근성 개선, 디지털 리터러시 강화와 같은 전략들이 필요하다. 또한, 국제 협력과 공적개발원조(ODA)를 통해 기술의 확산과 활용을 촉진하는 것이 중요하다.

4.6.1. 개발도상국의 경우

저개발국가는 여전히 기본적인 인프라와 에너지 문제를 해결해야 하기 때문에, 저비용 AI 솔루션과 공유형 로봇 시스템, 그리고 재생 에너지와 통합된 스마트 그리드 기술의 도입이 필수적이다. 이를 통해 기본적인 생활 환경을 개선하고, 자원 접근성을 높이며, 경제 발전의 기반을 마련할 수 있다. 예를 들어, 소규모 태양광 발전 시스템과 에너지 저장 장치를 결합한 스마트 그리드를 구축하여 안정적인 전력 공급을 이루고, 이를 바탕으로 AI 기반 교육 및 의료 서비스를 제공할 수 있다. 또한, AI와 자동화 기

술의 비용 절감 및 보급 확대 덕분에 개발도상국에서도 이러한 기술들을 적극적으로 활용할 수 있게 되었다. 앞으로도 에너지 관리, 농업, 헬스케어와 같은 분야에서 AI와 로봇 기술의 적용이 더욱 증가할 것으로 예상된다.

4.6.2. 선진국의 경우

선진국에서는 AI와 로봇공학을 통해 더 높은 생산성과 효율성을 기대할 수 있는 고급 기술을 사용할 수 있다. 그러나, 이들도 고가의 기술을 독점하지 않고, 공유 경제나 공동체 기반의 사용 모델을 통해 기술을 확산시키고, 그 혜택을 모두가 나눌 수 있는 구조를 만들 수 있다. 이를 통해 사회적 격차를 완화하고, 지속 가능한 발전을 도모할 수 있다. 예를 들어, 기업이 보유한 기술을 지역의 중소기업들에게 제공하거나, 공공시설에 적용하여 모두가 혜택을 누릴 수 있도록 하는 방안을 고려할 수 있다.

107 AI와 로봇 시대에서 지식 격차 해소를 위한 LLM, LMM, 휴머노이드 로봇의 활용

인공지능(AI)의 급속한 발전, 특히 생성형 AI 분야에서의 진보는 사회 전반에 혁신적인 변화를 가져오고 있다. 대규모 언어 모델(LLM), 대규모 멀티모달 모델(LMM), 휴머노이드 로봇과 같은 첨단 기술은 다양한 산업에서 생산성을 향상시키고 새로운 서비스를 창출하고 있다. 그러나, 이러한 기술의 발전은 지식 및 교육 격차와 빈부 격차를 확대시킬 우려가 있다. 이에 따라 적정기술은 기술의 포용성과 접근성을 높여 사회 전반의 삶의 질을 향상시키는 방향으로 나아가야 한다.

4.7.1. 저비용 기술의 개발 및 현지화

LLM과 LMM은 방대한 데이터를 기반으로 자연어 처리와 이미지, 음성 인식을 수행하는 AI 기술로, 교육, 의료, 농업 등 다양한 분야에서 혁신을 이끌 수 있다. 그러나, 고가의 인프라와 대규모의 전력 에너지, 전문 지식이 필요하여 저개발 국가나 소외된 계층에서는 활용이 어렵다. 따라서 적정기술 5.0에서는 저비용으로 운영 가능한 경량화된 LLM과 LMM을 개발하고, 현지의 언어와 문화에 맞춘 오픈 소스 솔루션을 제공하여 기술의 접근성을 높여야 한다. 최근 Deep Seek라는 LLM 모델이 중국 기업을 통해 발표가 되었다. 기존의 LLM을 대표하는 OpenAI의 ChatGPT의 10분의 1 정도의 컴퓨터를 사용하여 모델을 학습하였다고 한다. 국제적인 수출 제재 환경에서 오는 고가 GPU 하드웨어의 부족을

저가 하드웨어와 알고리즘의 효율화를 사용하여 극복한 점이 적정 기술의 접근 방법과도 일맥상통한다. 하지만, 사용자들의 서비스를 사용하기 위한 비용 및 에너지는 아직 숙제로 남아있다. 점차 AI와 같은 첨단 기술도 소득 수준을 떠나 모두가 사용 가능한 날이 올 것으로 예상되며, 노력과 비용을 낮추는 접근을 통해 개발도상국에서도 일상적으로 사용하는 보편적 기술이 될 가능성이 있다.

4.7.2. 휴머노이드 로봇의 공동 활용과 맞춤형 솔루션

휴머노이드 로봇은 교육, 의료, 서비스 산업 등에서 활용 범위가 넓지만, 대량생산이 아직 이루어지지 않아 높은 제작 비용과 유지보수의 어려움으로 일반 대중의 접근이 제한적이지만 최근 들어 대량생산 직전 단계에 들어가면서 양산으로 인한 하드웨어의 비용저하가 조만간 이루어 질 것으로 예상된다. 적정기술 5.0은 휴머노이드 로봇의 모듈화와 현지화를 통해 비용을 절감하고, 지역 사회에서 공동으로 활용할 수 있는 모델을 제시하여 운영비용을 낮출 수 있다. 예를 들어, 노동력 부족 문제를 해결하기 위해 공통적으로 필요한 기능을 수행하는 로봇을 지역 공동체가 함께 투자하여 운영하는 방안을 고려할 수 있다.

4.7.3. 디지털 리터러시 강화와 AI 활용 역량 증진

AI 기술의 혜택을 모두가 누리기 위해서는 디지털 리터러시 교육이 필수적이다. 적정기술 5.0은 저개발 국가와 소외된 계층을 대상으로 디지털 교육 프로그램을 확대하여, 사람들이 LLM, LMM, 휴머노이드 로봇 등 첨단 기술을 이해하고 활용할 수 있도록 지원해야 한다. 모바일 기기를 통한 교육 앱이나 온라인 플랫폼을 구축하고, 현지 언어로 된 교육 콘텐츠를 제공하여 교육 격차를 줄여야 한다. 이를 통해 기술 활용 역량을 증진시키고, 지식 격차를 해소할 수 있다.

4.7.4. 에너지 인프라 개선과 재생 에너지 활용

AI와 로봇공학 기술의 활용은 많은 에너지를 필요로 하므로, 에너지 인프라가 열악한 지역에서는 적용이 어렵다. 따라서 적정기술 5.0은 재생 가능 에너지와 에너지 효율성을 높이는 기술을 결합하여 에너지 불균형 문제를 해결해야 한다. 소규모 태양광 발전 시스템과 에너지 저장 기술을 도입하여, 전력망이 없는 지역에서도 AI 기술과 로봇의 활용이 가능하도록 지원해야 한다. 이를 통해 에너지 접근성을 향상시키고, 지속 가능한 기술 활용을 촉진할 수 있다.

4.7.5. 공유 경제 모델을 통한 기술 접근성 확대

고가의 AI 및 로봇 기술을 개인이 소유하기 어려운 현실에서, 공유 경제 모델은 기술의 혜택을 확산시키는 효과적인 방법이다. 적정기술 5.0은 지역 사회 단위로 LLM, LMM, 휴머노이드 로봇을 공동으로 사용하고 관리하는 시스템을 활용해야 한다. 예를 들어, 농업 지역에서는 AI 기반 농업 정보 시스템을 공동체가 함께 활용하고, 의료 시설이 부족한 지역에서는 원격 진료를 지원하는 로봇을 공동으로 운영할 수 있다. 이를 통해 소득 수준에 관계없이 기술의 혜택을 모두가 누릴 수 있다.

4.7.6. 지속 가능한 개발 목표(SDGs)와의 연계와 국제 협력 강화

적정기술 5.0은 유엔의 지속 가능한 개발 목표(SDGs)와 연계하여 전 세계적인 문제 해결에 기여해야 한다. AI와 로봇공학 기술을 활용하여 빈곤 퇴치, 양질의 교육 제공, 건강 증진, 에너지 접근성 향상 등 다양한 목표를 달성할 수 있다. 이를 위해 국제 협력과 지원이 필요하며, 기술의 분배와 활용을 촉진하는 정책적 노력이 요구된다. 또한, 글로벌 파트너십을 통해 기술 개발과 보급에 필요한 자원과 지식을 공유하고, 전 세계적인 지속 가능성을 높여야 한다.

결론적으로, 적정기술 5.0은 AI와 로봇공학의 발전이 가져오는 기회와 도전에 대응하여, 기술의 포용성과 접근성을 높이고 지식 및 교육 격차를 해소하는 방향으로 나아가야 한다. 저비용의 첨단 기술 개발과 현지화를 통해 모든 계층이 혜택을 누릴 수 있도록 해야 하며, 디지털 리터러시 교육과 재생 에너지 활용으로 지속 가능한 발전을 이뤄야 한다. 공유 경제 모델과 국제 협력을 통해 기술의 공평한 분배와 활용을 촉진함으로써, 적정기술은 다음과 같은 SDGs의 목표들을 달성할 수 있을 것이다. 좋은 일자리와 경제 성장(목표 8), 산업, 혁신, 인프라 구축(목표 9), 지속 가능한 도시와 공동체(목표 11), 지속 가능한 소비와 생산(목표 12), 기후 행동(목표 13), 파트너십 강화(목표 17). 이를 통해 적정기술은 시대가 발전할수록 우리에게 더 가까워지고 필요한 기술로 볼 수 있다.

5

정책제언

- 학계(연구자)의 역할과 방향
- 정부(공급자)의 역할과 방향
- 산업계의 역할과 방향
- 중소기업을 위한 제언
- 인구 감소 농촌 지역을 위한 제언

세정책제언

101 학계(연구자)의 역할과 방향

학계는 적정기술 4.0과 5.0의 발전을 위해 인공지능(AI), 로봇공학, 사물인터넷(IoT) 등의 첨단 기술과 기존의 적정기술을 융합하는 연구를 촉진해야 한다. 이를 통해 기술의 포용성과 접근성을 높이고, 사회적 문제 해결에 기여하는 혁신적인 솔루션을 개발할 수 있다.

개발도상국가와 우리나라의 도시 취약지역, 농촌을 대상으로 현지의 문화, 언어, 사회적 환경을 고려한 맞춤형 기술을 개발해야 한다. 이를 위해 현지 연구자들과의 협력을 강화하고, 현지 자원을 활용한 기술 솔루션을 연구해야 한다.

디지털 리터러시와 기술 활용 역량을 강화하기 위해 교육 프로그램을 개발하고 보급해야 한다. 특히 중소기업과 농촌 지역 주민들을 대상으로 한 교육을 통해 기술 격차를 해소하고, 기술의 혜택을 널리 확산시켜야 한다.

102 정부(공급자)의 역할과 방향

정부는 적정기술 4.0과 5.0의 발전을 지원하기 위한 정책을 수립하고, 인프라를 구축해야 한다. 이를 통해 기술 개발과 보급이 원활하게 이루어질 수 있도록 지원하고, 특히 에너지 인프라가 열악한 지역에 재생 에너지 설비를 확충해야 한다.

해외 저개발국가를 지원하기 위해 국제 협력을 강화하고, 기술 이전과 교육 프로그램을 지원해야 한다. 이를 통해 글로벌 문제 해결에 기여하고, 지속 가능한 개발 목표(SDGs)의 달성에 이바지해야 한다.

중소기업이 적정기술 4.0과 5.0을 도입하고 활용할 수 있도록 재정 지원, 세제 혜택, 기술 컨설팅 등의 지원 정책을 마련해야 한다. 이를 통해 산업 전반의 경쟁력을 강화하고, 경제 성장을 촉진해야 한다.

103 산업계의 역할과 방향

산업계는 제품과 서비스를 현지의 필요에 맞게 개발하여 기술의 접근성을 높여야 한다. 이를 위해 현지 파트너십을 구축하고, 현지 생산과 유지보수가 가능한 모듈형 제품을 개발해야 한다.

고가의 기술을 공유 경제 모델을 통해 확산시켜야 한다. 예를 들어, 농업용 로봇이나 의료용 장비를 지역 사회가 공동으로 소유하고 운영할 수 있는 시스템을 구축하여 기술의 혜택을 나눠야 한다.

산업계는 제품과 서비스 개발 시 에너지 효율성과 환경 지속 가능성을 고려해야 한다. 재생 에너지와 스마트 그리드 기술을 활용하여 에너지 사용을 최적화하고, 탄소 배출을 최소화해야 한다.

104 중소기업에 위한 제언

중소기업은 적정기술 4.0과 5.0을 도입하여 생산성을 향상시키고 경쟁력을 강화해야 한다. 이를 위해 기업의 규모와 자원에 맞는 기술 도입 전략을 수립하고, 정부와 학계의 지원을 적극 활용해야 한다.

기업 내 인력의 기술 역량을 강화하기 위해 교육 프로그램을 운영하고, 전문 인력을 양성해야 한다. 이를 통해 기술 도입과 활용에 필요한 역량을 확보하고, 지속적인 성장을 도모할 수 있다.

중소기업 간의 협력 네트워크를 구축하여 기술 정보와 자원을 공유해야 한다. 이를 통해 기술 도입에 따른 부담을 줄이고, 공동의 이익을 추구할 수 있다.

105 인구 감소 농촌 지역을 위한 제언

농촌 지역은 스마트 농업 기술을 도입하여 생산성을 향상시키고 노동력을 절감해야 한다. 이를 위해 정부와 기업의 지원을 받아 IoT 센서, 드론, AI 기반 농업 관리 시스템 등을 활용해야 한다.

지역의 특성을 반영한 산업을 육성하여 경제 활력을 도모해야 한다. 예를 들어, 재생 에너지 생산이나 농산물 가공 산업을 발전시켜 지역 경제를 활성화할 수 있다.

디지털 인프라와 생활 편의 시설을 개선하여 정주 환경을 조성해야 한다. 이를 통해 인구 유출을 방지하고, 외부 인구 유입을 촉진할 수 있다.

106 개발도상국 지원 사업을 위한 제언

저개발국가의 필요에 맞는 적정기술을 개발하여 이전하고, 현지에서 활용할 수 있도록 지원해야 한다. 이를 위해 국제 기구와 협력하여 기술 교육과 인프라 구축을 지원해야 한다.

환경과 사회를 고려한 지속 가능한 발전 모델을 수립하여 경제 발전과 삶의 질 향상을 동시에 추구해야 한다. 재생 에너지, 스마트 농업, 원격 의료 등 적정기술을 활용하여 이를 실현할 수 있다.

정부, 학계, 산업계가 협력하여 국제 파트너십을 강화하고, 기술과 지식의 공유를 촉진해야 한다. 이를 통해 글로벌 문제를 공동으로 해결하고, 전 세계적인 발전에 기여할 수 있다. 특히, 최근 연간 6조 원 중반 대로 급격하게 증가한 우리나라 ODA 예산을 ‘한국형 적정기술’, 또는 ‘K-적정기술’을 발굴하는 사업들에 배정하는 것도 고려할 만한 이슈이다.



6

결론

결론

적정기술은 지역의 사회적, 경제적, 문화적 환경에 부합하는 기술을 활용하여 지속 가능한 발전을 추구하는 개념이다. 한국은 경제 발전과 기술 혁신의 선두에 서 있으나, 인구 감소와 고령화, 농촌 지역의 쇠퇴 등 다양한 사회적 문제에 직면해 있다. 이러한 상황에서 적정기술에 대해 재조명하고, 한국의 현 경제, 기술, 인구 상황과 연계하여 새로운 해결책을 모색할 수 있는 돌파구를 마련해 보는 것도 좋을 것 같다.

적정기술 4.0과 5.0은 AI와 로봇공학, IoT, LLM 및 LMM과 같은 첨단 기술이 사회 전반에 걸쳐 확산되고, 이를 통해 전 세계적인 문제를 해결하는 방향으로 발전하고 있다. 이러한 기술들은 단순한 자동화나 효율성 증대에 그치지 않고, 사회적 포용성과 지속 가능성을 강조하는 새로운 패러다임으로 자리 잡고 있다. 이 기술들은 인류의 삶의 질을 향상시키는 데 중요한 역할을 하고 있지만, 기술의 발전 속도와 빈부 격차, 그리고 지식 격차의 확대 문제는 여전히 중요한 도전 과제로 남아 있다.

적정기술 4.0은 이미 스마트폰과 IoT 기반의 기술들이 많은 사람들에게 접근 가능해지면서 전 세계적으로 확산되고 있다. 특히, AI 기반의 교육, 농업, 의료 등 다양한 분야에서 혁신적인 해결책이 제시되고 있으며, 이를 통해 전통적으로 기술의 혜택을 누리지 못했던 저개발 국가나 소외 계층에도 새로운 기회를 제공하고 있다. 그러나 이러한 기술이 더욱 발전하기 위해서는 기술적 인프라뿐만 아니라, 디지털 리터러시와 같은 사회적 역량을 강화하는 것이 필수적이다. 이를 위해 학계, 정부, 산업계가 협력하여 기술 교육을 확산하고, 현지화된 솔루션을 개발하며, 기술 격차를 해소해야 한다.

적정기술 5.0은 AI와 로봇공학의 완전한 통합을 통해 보다 자율적이고 효율적인 시스템을 구축하는 데 중점을 두고 있다. 이는 개별적인 자동화 솔루션을 넘어 전체 생태계에서 기술들이 통합적으로 작동하며, 스스로 학습하고 최적화하는 시스템을 구축하는 것을 목표로 한다. 예를 들어, 스마트 농업에서 자율 로봇이 토양 상태와 날씨 데이터를 실시간으로 분석하고, 작물 관리 전반을 자율적으로 처리하는 방식은 기술이 어떻게 사회적 문제를 해결할 수 있는지를 잘 보여준다. 또한, 저비용의 휴머노이드 로봇을 지역사회가 공유하여 의료와 교육 분야에서 활용하는 사례는 기술의 포용성을 극대화하는 좋은 예이다.

이러한 발전에도 불구하고, 기술의 접근성과 포용성 문제는 중요한 과제로 남아 있다. 첨단 기술이 빠르게 발전함에 따라, 일부 고소득층과 저개발 국가 사이의 격차는 더욱 커질 가능성이 있다. 이를 해결하기 위해서는 저비용 기술 솔루션을 개발하고, 이를 현지화하는 과정이 필요하다. 또한, AI와 로봇 기술의 도입을 가속화하면서도, 이 기술들이 에너지 효율성과 환경 지속 가능성을 고려하여 설계되어야 한다. 재생 에너지를 활용한 에너지 관리 시스템과 스마트 그리드 기술은 적정기술 5.0에서 중요한 역할을 할 것이며, 이를 통해 에너지 자원의 불균형 문제를 해결할 수 있을 것이다.

미래를 전망해 보면, 적정기술은 단순한 기술 발전을 넘어, 기술의 공평한 분배와 활용을 통해 글로벌 문제를 해결하는 중요한 도구로 자리매김할 것이다. 특히, 농업, 헬스케어, 교육과 같은 필수적인 분야에서 AI와 로봇공학의 발전은 생산성과 효율성을 극대화하는 동시에, 환경적 지속 가능성을 확보하는 데 기여할 것이다. 저개발 국가와 인구 감소 농촌 지역에서 이러한 기술을 적극 도입하여 경제적 자립과 생활 수준 향상을 이끌어낼 수 있다.

적정기술 5.0 시대는 글로벌 차원에서의 협력과 연대가 필수적이다. 기술의 발전 속도는 더욱 빨라지고 있지만, 이를 통해 해결해야 할 과제들은 더 복잡해지고 있다. AI와 로봇공학을 비롯한 첨단 기술이 모든 사람에게 혜택을 제공하기 위해서는 국제 협력과 정책적 지원이 지속적으로 필요하다. 또한, 기술을 통해 단기적인 성과를 넘어 장기적인 지속 가능성을 확보하는 것이 무엇보다 중요하다.

결론적으로, 적정기술 4.0과 5.0은 단순한 기술 발전을 넘어 전 세계적으로 지속 가능한 사회를 만드는 데 기여할 수 있다. 이를 위해 각계의 협력과 노력이 필요하며, 기술의 민주화를 통해 모든 사람들이 그 혜택을 누릴 수 있는 사회에 가깝게 갈 수 있다. 기술이 더욱 복잡해질수록, 그 본질은 간결하고 효율적이며, 누구나 쉽게 사용할 수 있는 형태로 발전해야 한다. 이러한 방향으로 적정기술이 지속적으로 발전한다면, 기술이 인간에게 편리와 경제적 이익이라는 유익을 주는 것을 넘어, 더불어 사는 따뜻함을 느끼게 하는 것도 가능할 것이다.

참고문헌

신관우, 신선경, 안성훈, 반다리 비나약, 박형동, 김준원, 이원구, 윤제용, 박순호, 박현균, 여명석, 이호용, 정해관, 홍수진, 정대홍, 김형진, 이종훈. 2018. 적정기술의 이해, 7분의 언덕.

장수영, 안성훈, 이원구, 신관우, 서덕영, 신선경, 김가형, 김형진. 2021. 10대를 위한 적정기술 콘서트, 7분의 언덕.

Ali, D. M. T. E., Motuzienė, V., & Džiugaitė–Tumėnienė, R. 2024. AI-Driven Innovations in Building Energy Management Systems: A Review of Potential Applications and Energy Savings. *Energies*, Vol. 17, No. 17, p. 4277.

Avital, B., & Vigneault, C. K. 2016. Agricultural Robots for Field Operations: Concepts and Components. *Biosystems Engineering*, Vol. 149, 2016, pp. 94–111. Elsevier, doi:10.1016/j.biosystemseng.2016.06.014.

Chellaswamy, C., Nisha, J., Sivakumar, K., & Kaviya, R. 2018. An IoT Based Dam Water Management System for Agriculture. 2018 International Conference on Recent Trends in Electrical, Control and Communication (RTECC). IEEE.

Chen, X., Zhang, J., Lin, B., Chen, Z., Wolter, K., & Min, G. Energy-Efficient Offloading for DNN-based Smart IoT Systems in Cloud-Edge Environments. *IEEE Transactions on Parallel and Distributed Systems*, Vol. 33, No. 3, pp. 683–697.

Doshi, M., & Varghese, A. 2022. Smart Agriculture Using Renewable Energy and AI-powered IoT. AI, Edge and IoT-based Smart Agriculture. Academic Press, pp. 205–225.

Ghobakhloo, Morteza. 2020. Industry 4.0, Digitization, and Opportunities for Sustainability. *Journal of Cleaner Production*, Vol. 252, 2020, 119869. Elsevier, doi:10.1016/j.jclepro.2019.119869.

Gope, P., & Hwang, T. 2015. BSN-Care: A Secure IoT-based Modern Healthcare System Using Body Sensor Network. *IEEE sensors journal*, Vol. 16, No. 5, pp. 1368–1376.

Islam, S. R., Kwak, D., Kabir, M. H., Hossain, M., & Kwak, K. S. 2015. The Internet of Things for Health Care: A Comprehensive Survey. *IEEE access*, Vol. 3, pp. 678–708.

Khan, M. W., Saad, S., Ammad, S., Rasheed, K., & Jamal, Q. 2024. Smart Infrastructure and AI. AI in Material Science. CRC Press, pp. 193–215.

Kumar, P., & Chouriya, A., 2023. Advances in Precision Farming: Integrating AI and IoT Technologies. *Novel Approaches in Agronomy*: 1.

Liakos, K. G., Busato, P., Moshou, D., Pearson, S., & Bochits, D. 2018. Machine Learning in Agriculture: A review. *Sensors*, Vol. 18, No. 8, p. 2674.

Madushanka, A. P. L., Dissanayake, U., Ramanayake, K. P. M. I., Hemali, S. M. K. H., & Kathriarachchi, R. P. S. 2020. The Internet of Things for Health Care.

Mas, I., & Radcliffe, D. 2010. Mobile Payments Go Viral: M-PESA in Kenya.

McKinsey Digital. 2023. The economic potential of generative AI: The next productivity frontier. <https://www.mckinsey.com/capabilities/mckinsey-digital/our-insights/the-economic-potential-of-generative-ai-the-next-productivity-frontier#/>

Moeuf, A., Pellerin, R., Lamouri, S., Tamayo-Giraldo, S., & Barbaray, R. 2018. The Industrial Management of SMEs in the Era of Industry 4.0. *International Journal of Production Research*, Vol. 56, No. 3, pp. 1118–1136.

Murphy, Robin R. 2019. Introduction to AI robotics. MIT press.

Russell, K., Sandron, E., Normand, G., Ellis, M., Durcan, A., Mendez, I., Johnson, R., & Wittmeier, K. 2024. The Use of Remote Presence Robotic Tele-Presentation in Rural and Remote Canada: A Systematic Review. *Telemedicine and e-Health*.

Saidakhmedovich, G. S., Uralovich, M. D., Saidakhmedovich, G. S., & Tishabayevna, R. M. 2024. Application of Digital Technologies for Ensuring Agricultural Productivity. *British Journal of Global Ecology and Sustainable Development*, Vol. 25, pp. 6–20.

Shaikh, A. A., & Karjaluo, H., 2015. Mobile Banking Adoption: A Literature Review. *Telematics and informatics*, Vol. 32, No. 1, pp. 129–142.

Shubin, Y., Ji, W., & Wang, L. 2019 A Machine Learning Based Energy Efficient Trajectory Planning Approach for Industrial Robots. *Procedia CIRP*, Vol. 81, pp. 429–434.

Suryadevara, N. K., & Mukhopadhyay, S. C. 2012. Wireless Sensor Network based Home Monitoring System for Wellness Determination of Elderly. *IEEE Sensors Journal*, Vol. 12, No. 6, pp. 1965–1972.

Thao, Le Quang. 2023. An Automated Waste Management System Using Artificial Intelligence and Robotics. *Journal of Material Cycles and Waste Management*, Vol. 25, No. 6, pp. 3791–3800.

Wang, N., Zhang, N., & Wang, M. 2006. Wireless Sensors in Agriculture and Food Industry—Recent Development and Future Perspective. *Computers and electronics in agriculture*, Vol. 50, No. 1, pp. 1–14.

Wang, S., Wan, J., Li, D., & Zhang, C. 2016. Implementing Smart Factory of Industrie 4.0: An Outlook. *International Journal of Distributed Sensor Networks*, Vol. 12, No. 1, p. 3159805.

Wang, Z., Zhou, Z., Zhang, H., Zhang, G., Ding, H., & Farouk, A. 2022. AI-based Cloud-Edge-Device Collaboration in 6G Space-Air-Ground Integrated Power IoT. *IEEE Wireless Communications*, Vol. 29, No. 1, pp. 16–23.

Xin, W., Shen, Q., Zheng, W., & Zhang, H. 2024. AI-Driven Solar Energy Generation and Smart Grid Integration a Holistic approach to Enhancing Renewable Energy Efficiency. *International Journal of Innovative Research in Engineering and Management*, Vol. 11, No. 4, pp. 55–66.

Xu, W., Du, H., Liu, J., Yao, B., Zhou, Z., & Pham, D. T. 2018. Energy-Efficient Multi-Level Collaborative Optimization for Robotic Manufacturing Systems. *Procedia CIRP* 72, pp. 316–321.

Zanella, A., Bui, N., Castellani, A., Vangelista, L., & Zorzi, M. 2014. Internet of Things for Smart Cities. *IEEE Internet of Things journal*, Vol. 1, No. 1, pp. 22–32.

Zhang, M., & Yan, J. 2021. A data-driven method for optimizing the energy consumption of industrial robots. *Journal of Cleaner Production*, Vol. 285, p. 124862.

Zhong, Runyang. 2017. Internet of Things (iot) Enabled Smart Manufacturing for Smes. *Manufacturing and Design for the Future 2017: A National Conference for Innovation in Manufacturing and Design*.

Zhu, N., Liu, X., Liu, Z., Hu, K., Wang, Y., Tan, J., Huang, M., Zhu, Q., Ji, X., Jiang, Y., & Guo, Y. 2018. Deep Learning for Smart Agriculture: Concepts, Tools, Applications, and Opportunities. *International Journal of Agricultural and Biological Engineering*, Vol. 11, No. 4, pp. 32–44.

