



인더스트리 5.0을 이끌어 가는 인공지능 기술

이명호

(사)미래학회 부회장 | lee.myungho@gmail.com

인더스트리 4.0을 계승 발전시킨 인더스트리 5.0

인더스트리 5.0은 유럽위원회(EC)에서 독일이 추진하는 인더스트리 4.0을 계승 발전시킨 개념이다. 계승했다는 것은 용어를 따른 것도 있지만, 기술적 기반이 비슷하다. 디지털과 인공지능 기술에 기반한 디지털 트윈, 가상물리시스템(CPS) 등을 중요한 기술 기반으로 강조하고 있다. 인더스트리 4.0은 산업혁명이 “사이버-물리 시스템”으로 4번째 단계에 들어섰다는 개념이다. 인더스트리 4.0은 주로 인공지능, IoT, 빅데이터 등 디지털 기술을 활용하여 공장(스마트 팩토리)에서 유연 생산, 생산 효율성을 추구한다. 산업 전체적으로 스마트 팩토리가 네트워크로 연결된 밸류체인 및 생산 시스템을 목표로 하고 있다. 그러나 인더스트리 4.0은 기술 중심의 산업의 효율성, 생산성이 강조되어 산업의 사회적 역할이 미흡하고, 생태학적 가치로서의 지속가능성, 인간의 가치 존중(인간중심의 산업화)을 도외시하고 있다는 비판이 제기되었다. 인더스트리 4.0이 주로 제조혁신을 추구한다면 인더스트리 5.0은 더 포괄적 목표를 추구하고 있다. 이 목표는 바로 “인류-지구-번영”을 위한 유럽 산업의 재편이다. 인더스트리 5.0은 기존의 산업 개념에서 확장해 인간중심(Human-Centric), 지속가능성(Sustainable), 그리고 탄력성(Resilient)이란 세 가지 핵심요소를 중심으로 하는 산업의 새로운 비전을 제시하고 있다.

인더스트리 5.0을 달성하기 위해서는 새로운 기술 발전, 그중에서도 인간중심적 기술 발전이 뒷받침돼야 한다. 인더스트리 4.0은 디지털화, 특히 사물 인터넷 기반의 디지털화를 지향한 반면, 인더스트리 5.0은 “사람-지구-번영”을 위한 디지털화를 지향한다. 무엇보다 인더스트리 5.0을 추진하는 EC는 인공지능을 핵심 기술로 인식하고 여러 측면에서 활용될 수 있는 가능성을 살피고 있다. 인공지능과 인간의 협력 방식과 인공지능이 추구하는 목표에서 다른 지향점을 모색하고 있다. 인더스트리 4.0은 인공지능을 통한 자동화, 지능화로 생산성 혁신을 목표로 삼았다. 반면, 인더스트리 5.0은 인간중심의 인공지능, 특히 인공지능과 협력하는 인간의 혁신적 역할, 창의성 증대에 더 주목하고 있다. 이를 통해 인공지능은 인더스트리 5.0이 추구하는 지구의 지속가능성, 산업의 회복 탄력성, 인류의 번영을 달성하는데 필요한 핵심 기술이며 솔루션이 될 수 있다.

이 글에서는 인간중심의 인더스트리 5.0에서 왜 인공지능을 핵심 기술로 주목하는지, 그리고 인간과 기계의 협력이 대량 개인화 생산으로의 전환을 어떻게 추구하고, 이를 인공지능이 어떻게 지원하는지를 살펴본다. 또한, 인더스트리 5.0을 위해 필요한 인공지능 기술 분야와 한국의 스마트 제조를 위한 인공지능 전략을 제안해 보고자 한다.

인더스트리 5.0의 핵심 기술 인공지능

EC에서 정의한 인더스트리 5.0의 첫 번째 핵심요소는 인간중심이다. 산업에서 인간중심의 접근방식은 생산 프로세스에서 효율성을 극대화하기 위한 인간의 필요성과 역할에 중점을 두고 있다. 두 번째 요소는 지속 가능성이다. 지구환경의 보호를 위해, 천연자원을 재사용, 재이용 및 재활용을 통해 폐기물과 환경에 미치는 영향을 줄이는 순환 프로세스 개발을 지향하고 있다. 세 번째 요소는 회복 탄력성이다. 산업 생산에서는 높은 수준의 견고함을 추구하며, 위기 상황에서 중요한 인프라를 제공하는 것을 지향한다.

이와 같은 인더스트리 5.0이 지향하는 세 가지 핵심 요소를 달성하기 위해서는 산업 현장에서 사용할 수 있는 새로운 기술에 대한 연구개발과 혁신적인 노력이 필요하다. EC는 인더스트리 5.0을 달성하기 위한 6가지 기술을 다음과 같이 제시하고 있다.

【표 1】 EC에서 제시한 인더스트리 5.0 달성을 위한 핵심 기술

- ① 개별화된 인간-기계의 상호 작용을 촉진하는 기술을 개발해 산업 현장에서 사용해야 한다.
- ② 생물에서 영감을 얻은 바이오 기술 및 스마트 재료는 지구의 지속가능성을 높여주는 핵심 기술로서 중요하다.
- ③ 디지털 트윈(Digital Twin) 및 시뮬레이션 기술은 생산의 효율화와 혁신, 자원 절약을 가능하게 해준다.
- ④ 데이터 전송, 저장 및 분석 기술은 산업의 디지털화를 위한 기본 기술이다.
- ⑤ 인공지능(AI)은 인더스트리 5.0의 여러 측면에서 활용될 수 있는 핵심 기술이다.
- ⑥ 에너지 효율성, 재생 에너지 및 저장을 위한 기술을 개발해야 자원순환경제를 달성할 수 있다.

인더스트리 5.0을 달성하기 위한 6가지 기술의 하나로 인공지능이 명시됐지만, 자세히 살펴보면 인공지능은 다른 3가지 기술(인간-기계의 상호작용 촉진, 디지털 트윈 및 시뮬레이션 기술, 데이터 기술)에 직접 관련이 있고, 나머지 2가지 기술(바이오 기술과 에너지 기술)의 발전을 지원하는 기술이라고 할 수 있다. 그런 점에서 EC는 인공지능이 6가지 기술 중의 하나가 아니라, 인더스트리 5.0의 여러 측면에서 활용될 수 있는 핵심 기술로 주목하고 있다.

특히 인더스트리 5.0 비전을 실현하기 위해서는 개별 기술을 넘어 ① 인간과 기계의 강점을 결합하고, ② 전체 시스템의 디지털 트윈을 만들고, ③ 인공지능을 광범위하게 사용하는 방법을 재고하는 체계적인 접근 방식이 필요하다(Rozanec et al., 2022)는 점에서 인공지능은 인더스트리 5.0의 기반 기술이라고 할 수 있다.

대량 개인화 생산을 가능하게 하는 인공지능과 인간 협업

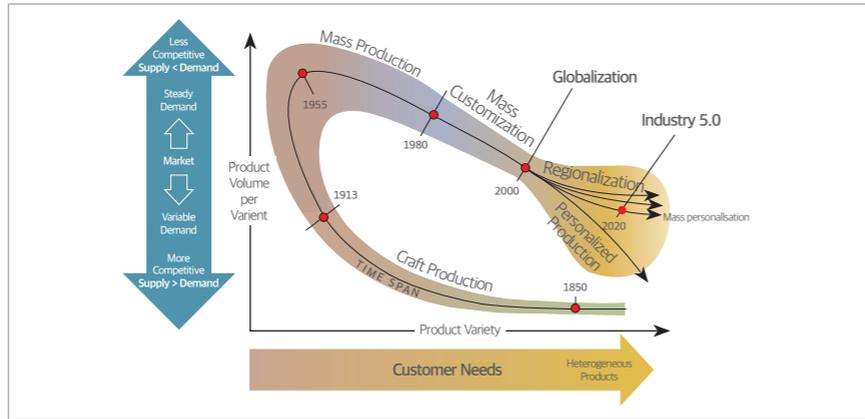
증기동력기관과 방적기로 시작된 산업혁명 이후 기계는 전기동력, 컴퓨터 제어라는 새로운 기능과 능력을 갖추며 발전해 왔다. 인간의 수작업에 의해 움직이던 기계, 인간의 감독을 받는 기계에서 자율적으로 작동하는 지능화된 기계로 발전하고 있다. 또한, 정해진 프로그램에 따라 작동하는 기계에서 상황을 인식하고 판단하고 결정해 자율적으로 작동하는 지능화된 기계가 되고 있다. 지능화된 기계의 핵심은 인공지능 기술이다. 센서 등으로 입력된 데이터를 처리하는 알고리즘 등 인공지능 기술은 인간만이 가지고 있었던 시각, 청각, 분류, 추론 등의 능력을 갖추기 시작했다. 이에 따라 기계와 인간의 상호작용 방식이 변했으며, 기계를 조정하는 인간의 노동이 지능화된 기계에 의해 변화하는 국면을 맞이하고 있다.

그동안 스마트 팩토리 개념을 추구하는 인더스트리 4.0은 사물인터넷, 빅데이터, 인공지능, 가상-물리시스템 등의 기술을 기반으로 기계 작업의 최적화에 초점을 맞추고 있지만, 프로세스 구현에 사람의 참여를 소외시킨다는 지적을 받았다. 파괴적 혁신, 즉 제조 패러다임을 변화시키는 효과를 가져오는 솔루션의 원천은 바로 사람이다. 따라서 기계의 효율성과 신뢰성에 더해 '휴먼 터치'로 표현되는 사람의 혁신성이 결합된 시너지 효과가 최선의 해결책이다. 그런 측면에서 인더스트리 5.0은 효율적이고 지능적이며 정밀한 기계와 함께 일하는 인간 전문가의 창의성을 활용하는 것을 목표로 제시하고 있다. 인간과 기계가 짝을 이뤄 공정을 더욱 효율적으로 만들고, 워크플로우를 지능형 시스템과 통합해 인간의 두뇌와 창의성을 활용하는 공장으로 만들면 인간 인력을 다시 공장으로 불러올 수 있다.

(Pizoń J, Gola A., 2023)



[그림 1] 제조 패러다임의 변화와 변화 요인



출처: Lu, Y.; Xu, X.; Wang, L. (2020); Pizoń J, Gola A, 2023(재인용)

인더스트리 4.0은 주로 생산에서 인공지능에 초점을 맞춘 디지털화 즉, 고급 데이터 처리 기술의 구현 및 고급 알고리즘의 구현에 중점을 두고 있다. 이는 품질 향상은 물론 소품종 대량생산 시스템에서 다품종 대량맞춤 생산 시스템으로의 전환을 가능케 했다. 한편 소비자들은 계속해서 자신만의 개성을 표현할 수 있는 개인화된 상품을 요구하고 있다. [그림 1]과 같이 제조 패러다임이 대량 개인화 생산 시스템으로 발전하기 위해서는 더 유연한 생산 시스템과 새로운 소비자의 선호도에 대한 통찰력, 창의성이 요구된다. 이런 맥락에서 인간의 적극적인 역할을 중시하는 인더스트리 5.0은 대량 개인화 생산을 가능하게 해주고 있다. 인간과 기계의 협업은 중요한 결정을 내리는 데 큰 잠재력을 가지고 있다. 기계는 정보를 수집하고 불확실성을 평가하며 주요 정보를 인간 의사결정권자에게 전달해 인지 자원을 절약하는 데 더 많은 도움을 줄 수 있다. 또한, 인간 의사결정권자는 기계의 도움을 받아 자신의 판단에 대해 토론하고 감정적 영향을 줄일 수 있다. (Pizoń J, Gola A, 2023) 이와 같이 인더스트리 5.0은 인공지능과 인간의 협력, 상호보완을 통해 소비자들이 원하는 대량 개인화 생산에 맞는 더 유연하고 창의적인 생산 시스템을 가능하게 해주고 있다.

인더스트리 5.0을 위한 인공지능 기술 요소

소비자들이 원하는 대량 개인화 생산을 구현하는데 인공지능 역할이 절대적이다. 인공지능은 인간처럼 사고하고 추론할 수 있는 일반 인공지능과 특정 반복적인 작업을 자동화해 특정

문제를 해결하는 좁은 의미의 인공지능으로 구분된다. 산업 인공지능은 산업에 적용되는 협의의 인공지능이다. 산업에서 인공지능을 활용하면서 업무 설계, 책임, 역할 관계 등에 변화가 이어지고 있다. 인공지능 기술은 인사이트를 제공하고 특정 작업을 부분적으로 또는 완전히 자동화할 수 있지만, 경우에 따라서는 사람의 개입이나 의사결정이 여전히 중요하다. 의사결정에 인사이트가 필요한 경우, 모델을 신뢰하고 그 결과에 따라 책임감 있는 결정을 내릴 수 있도록 모델의 근거와 내부 작동을 이해하는 것이 무엇보다 중요하다. 인간과 기계의 협력을 통한 시너지를 얻기 위해서는 인공지능이 갖춰야 할 몇 가지 기능 개발이 필요하다. ① 능동적 학습, ② 설명 가능한 인공지능, ③ 시뮬레이션 현실, ④ 대화형 인터페이스, ⑤ 보안 등을 고려해야 한다. 이에 대해 Rozanec et al. (2022)은 다음과 같이 설명하고 있다.

① 능동적 학습

인간과 기계의 협력을 실현하기 위해서는 인공지능 모델을 개선할 수 있는 능동적 학습이 필요하다.

능동적 학습은 세 가지 가정을 기반으로 한다: (i) 학습자(인공지능 모델)가 질문(예: 목표 변수의 데이터 요청)을 통해 학습할 수 있고, (ii) 질문할 수 있는 데이터가 풍부하며(예: 수집되거나 합성된 데이터), (iii) 질문에 대한 답변 능력에 제약이 있으므로 질문을 신중하게 선택해야 한다.

② 설명 가능한 인공지능

인간의 의사결정이 인공지능 모델의 결과에 의존하는 경우, 그러한 예측 근거에 관한 충분한 정보가 제공되어야 한다. 이러한 정보를 통해 사용자는 제공된 예측의 신뢰성과 건전성을 평가할 수 있으므로 책임감 있는 의사결정을 내릴 수 있다.

설명 방법은 (i) 로컬(특정 예측) 또는 글로벌(전체 모델) 수준에서 제공되는지, (ii) 모델에 사용자에게 투명하거나 불투명한지, (iii) 설명 가능한 기술이 모델별로 다른지 또는 모델과 무관한지, (iv) 설명이 시각화, 대리 모델을 통해 전달되거나 특징 관련성을 고려하는지 등으로 구분할 수 있다.

한편 제조 분야에서 인간과 환경 간의 복잡한 상호작용을 고려한 연구가 거의 없기 때문에, 인체 측정, 생리적 및 심리적 상태, 동기를 고려해 더 나은 설명을 제공할 뿐만 아니라 근로자의 자존감을 높이고 자아실현에 도움을 주는 설명 가능한 인공지능 접근법을

개발하는 데 많은 노력을 기울일 필요가 있다.

③ 시뮬레이션 현실

시뮬레이션 현실은 강화학습의 핵심 구성 요소로 간주할 수 있다. 강화 학습 에이전트는 시뮬레이터를 통해 실제 세계의 근사치를 탐색하고 비용이 많이 드는 현실 세계와의 상호작용 없이 안전하고 효율적인 정책을 학습할 수 있다. 또한, 시뮬레이션은 행동의 결과를 상상함으로써 실제 환경에서 원하는 결과를 검증하는 데 도움이 될 수 있다. 시뮬레이션 현실은 다양한 제조 현장에서 적용되고 있다. 생산 공정을 시뮬레이션하고 제조 공정 중에 발생할 수 있는 장애에 관계없이 조립 라인의 처리량을 최대화하는 알고리즘, 다양한 상황(피로, 교대, 요일)에서 인간 작업자의 성과를 시뮬레이션해 로봇 작업자를 위한 행동 정책을 학습하고 작업자의 성과 변화에 적절한 대응을 제공할 수 있도록 하는 사례 등이 있다. 그러나 시뮬레이션 지식과 실제 지식 간의 격차를 해소하는 것은 여전히 어려운 과제이다.

④ 대화형 인터페이스

대화형 인터페이스는 크게 (i) 기본 봇, (ii) 텍스트 기반 어시스턴트, (iii) 음성 기반 어시스턴트의 세 가지 범주로 분류할 수 있다. 기본 봇은 디자인이 단순하고 기본적인 명령만 가능하지만, 텍스트 기반 어시스턴트(챗봇이라고도 함)는 사용자의 텍스트를 해석하고 보다 복잡한 상호 작용을 할 수 있다. 두 경우 모두 음성 텍스트 변환 및 텍스트 음성 변환 기술이 필요하다. 대화형 인터페이스는 다양한 방식으로 제조 현장에서 사용되고 있다. 여러 정보 시스템을 연결해 유지보수 직원의 운영 유지보수 관련 업무를 지원하는 지능형 디지털 어시스턴트는 핸드프리 음성 조작으로 빠른 업무 처리를 도와주고 있다. 음성 어시스턴트와 모듈형 사이버 물리 생산 시스템을 통합해 작업자가 보이지 않는 장비를 찾거나 특정 센서 판독 값을 얻기 위해 도움을 요청할 수 있다.

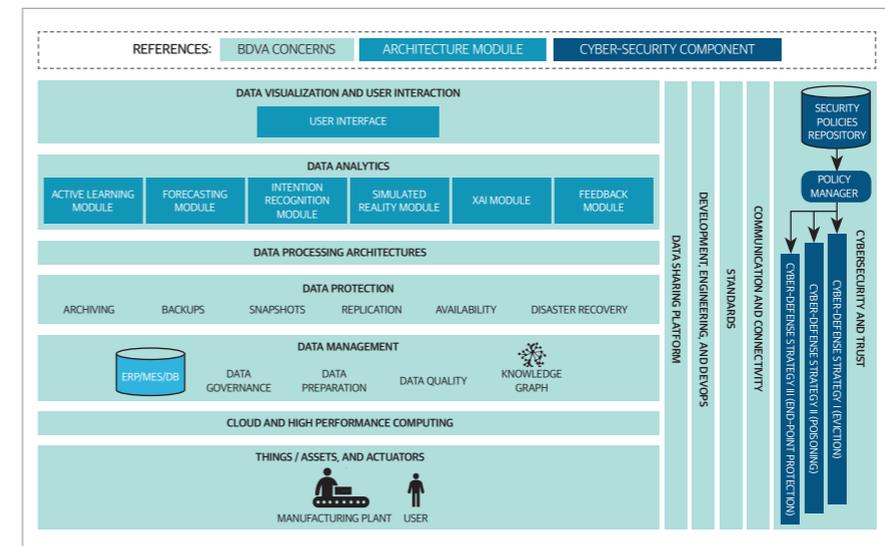
또 하나의 사례는 작업 현장에서 사용되는 모바일 플랫폼과 로봇 팔을 결합한 산업용 모바일 매니플레이터를 제어해 위험하고 까다로운 제조 작업에서 작업자를 지원하는 가상 어시스턴트이다. 이 어시스턴트는 언어 서비스를 사용해 키워드를 추출하고, 의도를 인식하고, 지식 그래프를 기반으로 하고 있다. 또한 대화 전략과 응답 템플릿을 사용해 동일한 질문이 반복될 경우 어시스턴트가 다양한 방식으로 응답할 수 있도록 하고 있다. 앞으로 챗GPT와 같은 대형 언어모델에 기반한 생성 인공지능은 대화형 인터페이스 수준을

한 단계 높여줄 것이다.

⑤ 보안

인더스트리 5.0은 다양한 기술을 통합해 보다 효율적인 제조 방식과 제품 수명 주기를 구현하고자 한다. 하지만 보안 측면에서는 공격받을 대상이 증가하면서 기밀성, 무결성 및 가용성에 대한 새로운 위협이 나타나는 상황이다. 이러한 문제는 수많은 레거시 장비의 존재, 산업 장비 및 인프라에 대한 패치 및 지속적인 업데이트의 부족, 사이버-물리 시스템에 대한 사이버 공격이 물리적 차원으로 이어져 인간의 안전에 영향을 미칠 수 있다. 인공지능은 위협 인텔리전스 감지, 침입 탐지 및 맬웨어 분류에 대한 효율성을 입증한 반면, 모델 자체가 손상되지 않았는지 확인하는 방법은 주요 연구 주제로 남아 있다.

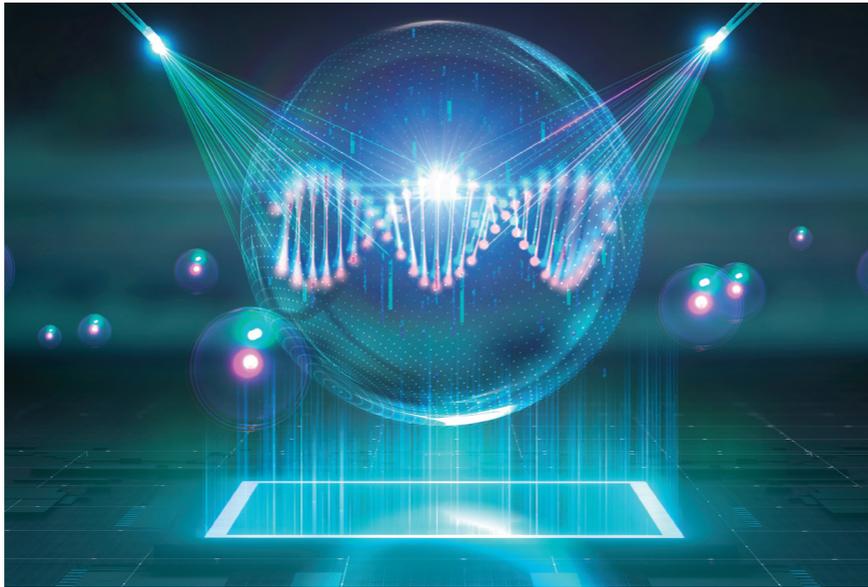
[그림 2] 인더스트리 5.0을 위한 인공지능 아키텍처 구성 요소



출처: Rozanec et al, 2022

인간과 기계의 협업 중심의 인공지능 개발 필요

인공지능은 기술 중심의 인더스트리 4.0에서 인간중심의 인더스트리 5.0으로 전환하는데 있어서 핵심적인 기술이며 지속해서 개발해야 할 기술이다. 인더스트리 5.0을 추진하는



EC도 인공지능을 사람중심, 지속가능성, 회복탄력성을 위한 인더스트리 5.0의 여러 측면에서 활용될 수 있는 핵심 기술로 인식하고 있다. 인간과 기계의 협력을 통해 대량 개인화 생산으로의 전환을 추구하는 인더스트리 5.0은 인공지능과 협력하는 인간의 혁신적 역할, 창의성 증대에 주목하고 있다. 인간과 기계의 협력을 통한 시너지를 얻기 위해서는 인공지능이 갖춰야 할 몇 가지 기능 개발이 필요하다. ① 능동적 학습, ② 설명 가능한 인공지능, ③ 시뮬레이션 현실, ④ 대화형 인터페이스, ⑤ 보안 등을 강화할 필요가 있다.

한국의 스마트 제조에서의 인공지능 활용을 검토해보면, 일부 가시적인 성과를 보이고 있다. 세계경제포럼(WEF)이 발표한 4차 산업혁명에 주도적인 글로벌 등대공장에 한국의 일부 대기업 공장들도 선정됐다. 빅데이터, 인공지능, 5G 통신, IoT, 디지털 트윈 등 4차 산업혁명 기술을 활용해 생산성 향상과 비즈니스 모델의 혁신을 이룩한 모범사례이다. WEF의 등대공장을 벤치마킹한 한국의 중소·중견기업 중심의 선도형 스마트공장 사업도 인공지능에 의해 제조현장의 공정이 분석되고 실시간으로 제어까지 가능한 지능화·고도화된 스마트공장 구축을 목표로 하고 있다.

한국의 스마트 제조 수준은 일부 대기업의 경우 글로벌 수준에 도달했으나 전반적인 중소 제조기업들의 디지털전환 수준은 낮은 편이다. 스마트 제조는 인더스트리 4.0과 같은 제조혁신을 추구하고 있지만, 인더스트리 5.0이 추구하는 회복탄력성, 지속가능성, 특히

인간 중심의 인공지능과 인간의 협력은 찾아보기 어렵다. 노동형 제조 대체, 단순 제조 중심의 로봇 활용도가 높아서 개인 맞춤형의 지능화된 제조에 부적합하다고 할 수 있다. 인간과 로봇의 협업 지능형 제조 사례도 찾아보기 어렵다. 전반적으로 인더스트리 5.0을 위한 인공지능의 활용이라는 측면에서 한국의 스마트 제조는 아직까지 인더스트리 4.0 수준에 머무르고 있다고 판단된다. 한국 기업의 스마트 제조가 취약한 원인을 정리하면, 먼저 인공지능과 디지털 트윈 등 관련 기술의 경쟁력이 약한 점을 꼽을 수 있다. 다음으로 공장 자동화에 활용되는 솔루션이 대부분 외국산인 점, 그리고 제조 현장에서 데이터를 확보하는 것과 산업 내 데이터 공유 및 협업이 어려운 점 등도 경쟁력 약화의 원인이다.

한국도 고도화되는 대량 개인화 생산 시스템으로의 전환을 위해서 생산 시스템에서 인간의 혁신적이고 창의적인 역할을 중시하는 인더스트리 5.0을 위한 인공지능 개발에 집중할 필요가 있다.

■ 참고 자료

Adel(2022), A. Future of industry 5.0 in society: human-centric solutions, challenges and prospective research areas. *J Cloud Comp* 11, 40 (2022).

EC(2022), Industry 5.0: A Transformative Vision for Europe, ESIR Policy Brief No. 3, 2022.

Julian Müller(2020), Enabling Technologies for Industry 5.0, EC, 2020.

Lu, Y., Xu, X., & Wang, L. (2020). Smart manufacturing process and system automation - A critical review of the standards and envisioned scenarios. *Journal of Manufacturing Systems*, 56, 312-325.

Pizoń J, Gola A(2023), Human-Machine Relationship: Perspective and Future Roadmap for Industry 5.0 Solutions. *Machines*, 2023.

Rozanec et al.(2022), Human-centric artificial intelligence architecture for industry 5.0 applications. *International Journal of Production Research*, 2022.

박한구 외(2023), 『대한민국 제조의 미래: 혁신과 전략』, 율곡출판사, 2023.

이명호, 『노동 4.0』, 스키체어스, 2018.

이명호, 『디지털 쇼크 한국의 미래』, 웨일북, 2021.