

지능형 금형 기반 자율생산 제어를 위한 디지털 전환 연구

윤동식, 심별희, 전보광, 윤여은, 강정훈

한국전자기술연구원

dsyoon@keti.re.kr, nnjjbb@keti.re.kr, azxcv24@keti.re.kr, yeoeun278@keti.re.kr, budge@keti.re.kr

A Study on the Digital Transformation for Intelligent Mold-Based Autonomous Production Control

Dongsik Yoon, Byeolhee Sim, Bokwang Jeon, Yeoeun Yoon, Jeonghoon Kang

Korea Electronics Technology Institute

요약

본 논문은 금형 및 사출 공정의 생산성 향상과 품질 보장을 위한 디지털 전환과 지능형 생산 시스템 구축에 대해 기술한다. 금형과 사출 데이터를 실시간으로 수집하고 분석할 수 있는 플랫폼을 개발하고, 이를 통해 글로벌 제조 공급망에서 일관된 품질을 유지할 수 있는 자율생산 제어 기술을 제안한다. 우선 중소·중견기업이 활용할 수 있는 분석·제어 플랫폼을 구축하고, 고난이도 부품 생산을 위한 자율생산 제어 기술을 고도화하여 글로벌 생산기지에 확산시키고자 한다. 또한 딥러닝 AI 기술을 적용해 공정 데이터를 분석하고, 생산 공정을 최적화할 수 있는 시스템을 구축함으로써 미래차 부품 등 고부가가치 제품의 경쟁력을 강화하고 글로벌 제조업의 디지털 전환을 촉진하는 데 기여하고자 한다.

I. 서론

최근 제조업 분야는 디지털 전환(DX)을 통해 고도화된 생산 시스템을 구축하는 데 집중하고 있다[1]. 특히 금형 및 사출 공정과 같은 핵심 제조 기술의 지능화와 자율화는 글로벌 제조 공급망에서 경쟁력을 확보하기 위한 필수적인 요소로 대두되고 있다. 이를 실현하기 위해서는, 지능형 금형 기반의 데이터 구축과 이를 바탕으로 한 고품질·고생산성을 보장하는 산업 인공지능(AI) 기술 개발이 필요하다.

금형과 사출 공정에서 생성되는 방대한 데이터는 AI를 통해 학습하여 최적의 운전 조건을 자동으로 생성하고, 자율적인 제어를 실현함으로써 생산 공정의 효율성을 극대화할 수 있다. 또한, 자율생산 제어기술을 글로벌 생산 거점에 신속하게 적용하여, 생산의 안정화와 효율성을 동시에 달성할 수 있다. 이를 통해 고난이도 부품의 신제품 개발 시간을 단축하고, 생산 관리의 자동화를 실현하는 데 기여할 수 있다.

본 논문에서는 DX 체계를 확산하고 이를 글로벌 제조 거점에 적용할 수 있는 금형 기반 자율제어 AI 기술 연구에 대해 논의한다.

II. 본론

DX는 전 세계 제조업계에서 핵심적인 변화로 자리잡고 있으며, 금형 및 사출 공정의 지능화는 이러한 변화를 주도하는 주요 분야 중 하나이다 [2]. 금형은 소재를 부품으로, 부품을 제품으로 구현하는 필수적인 기술로서, 특히 대량생산을 요구하는 다양한 산업에서 중요한 역할을 한다. 금형 산업의 DX는 생산 기간 단축, 원가 절감, 품질 균일화 등에 중요한 기여를 하며, 이를 통해 글로벌 제조 공급망에서의 경쟁력을 강화할 수 있다.

그러나 많은 제조기업들이 DX 역량이 부족해 생산성과 품질 관리에서 어려움을 겪고 있으며, 이에 따라 글로벌 시장에서 일관된 품질을 유지하는 데 한계가 있다. 특히 미래차와 같은 고난이도 부품의 대량 생산을 위해서는 AI 기반의 자율생산 제어 기술과 표준화된 공정 기준의 도입이 필수적이다.



그림 1. 자율제어 AI 기술 기반으로 일관된 고품질 생산 실현

이러한 흐름에 맞춰, 국내의 금형 및 사출 산업은 DX와 지능형 생산 시스템을 중심으로 발전하고 있다. 국내에서는 금형 설계, 공정 모니터링, 가공 등의 전 공정을 데이터화하여 고부가가치 금형 기술을 개발 중이다[3], [4]. 해외에서는 중국의 BYD가 전기차 부품 자동화를 통해 성장하고 있으며, 독일은 금속 사출 성형 기술로 경량화와 효율성을 높이고 있다.

그러나 금형 산업은 인력 부족, 자금 문제, 중국의 저가 공세 등으로 성장에 제한되고 있으며, 이를 해결하기 위해 일본과 독일은 디지털 전환을 통해 특수 금형 개발과 공정 효율화를 추진하고 있다. 이에 따라 우리나라도 스마트 공장과 AI 기술을 접목한 금형 산업의 디지털 전환을 가속화하고, 중소기업의 디지털 전환 지원이 필요한 상황이다.

본 연구는 금형 기반 부품 제조 산업의 자율생산 DX 체계 구축을 위해 금형 데이터, 설비 운전 정보, 공정 변수 등을 통합 학습하여 생산 품질을 자율적으로 관리할 수 있는 분석·제어 플랫폼을 개발하고자 한다. 1단계로는 중소·중견기업이 활용할 수 있는 사출 공정 분석·제어 플랫폼을 구축하여 제조 현장의 DX를 추진하고, 2단계로는 미래차 부품 등 고난이도 부품 생산을 위한 자율생산 제어 기술을 고도화하고, 이를 글로벌 생산기지에 확산하여 고품질·고생산성을 확보할 계획이다.

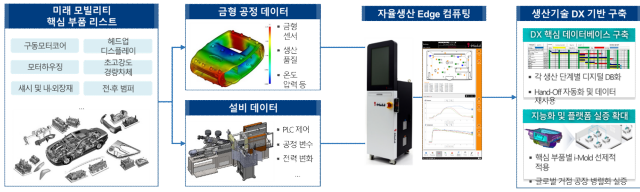


그림 2. 자율생산 DX시스템 구축 개요

첫 번째로 금형, 설비, 사출공정 데이터를 통합하기 위한 원격 데이터 파이프라인을 구축하고, 사출기 및 공정 데이터를 수집·동기화하여 빅데이터 DB를 형성하고자 한다. 이는 고성능 센서 시스템과 다양한 입력 인터페이스를 통해 다기준, 다기능 데이터 처리를 지원하며, 고속 전처리 SW와 태깅 모듈을 통해 데이터를 효율적으로 처리한다. 또한 수집된 원본 데이터를 고속으로 처리하는 데이터 시스템을 구축하고, 이를 바탕으로 금형 및 사출 빅데이터의 특징 분석과 분류 SW를 설계하여 통계 분석 및 리포팅 기능을 제공한다.

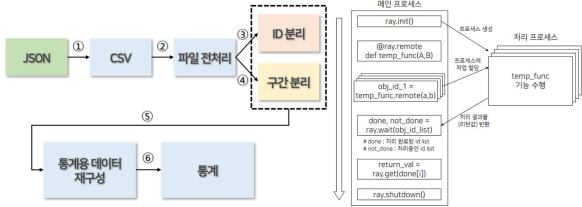


그림 3. 데이터 처리, 분류 및 고속 병렬 처리 시스템 구축

그 다음으로는, 생산 공정에서 금형 및 사출 데이터를 확보하고 이를 분석하기 위한 체계를 구축하고자 한다. 이를 위해 외관 품질과 다수 Cavity 편차 제어를 위한 핵심 금형 모델을 선정하고, 다양한 조건에서 온도 및 압력 센서를 통한 사출기 데이터도 확보하고자 한다. 주요 변수로는 Cavity 편차, 평탄도, 크기, 표면 처리, 정밀도 등이 있으며, 이를 기반으로 효율적인 데이터 관리 체계를 구축할 예정이다.

데이터가 확보되면, 금형 및 사출 공정의 데이터를 실시간으로 수집하고 분석할 수 있는 지능형 제어 모듈을 개발하고자 한다. 이를 위해 금형과 사출기를 연결하는 유선 통신망을 구축하여 온도와 압력 등 다양한 센서 데이터를 실시간으로 수집하며, DAQ 시스템을 통해 매 사이클마다 품질 분석이 가능하도록 한다. HW 측면에서는 금형과 사출기의 성형 조건을 제어하고, 각종 신호와 제어 기능을 조작할 수 있도록 설계한다. SW 측면에서는 금형의 기본 정보 입력, 성형 조건 설정, 센서 기반 자동 제어, 실시간 모니터링 및 품질 알람 기능을 제공하며, 데이터 트렌드 분석과 사출기 성형 조건 변화 기능을 통해 품질 관리와 생산성을 향상시킨다. 또한, 웹 기반 대시보드를 통해 수집된 데이터의 통계 및 분석 결과를 실시간으로 모니터링할 수 있으며, 가상화된 장비와의 연동 테스트 환경을 구축하여 효율적인 데이터 관리를 지원할 수 있도록 한다.

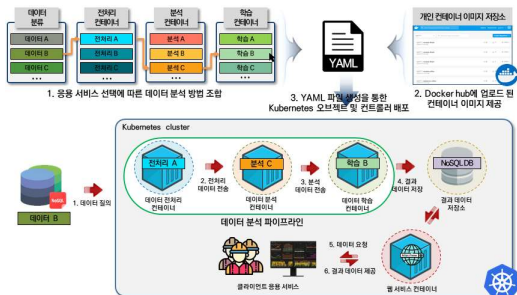


그림 4. 컨테이너 기반 선택형 데이터 분석 지원 기능

마지막으로, 금형 및 사출 공정 데이터를 활용한 딥러닝 AI 기술 구축을 위해 대규모 데이터셋 관리와 AI 개발 환경을 지원하는 시스템을 구축하고자 한다. 이를 위해 분산 데이터 스토리지를 설계하여 데이터 저장 용량을 확장하고, 생산 공정 데이터를 관리 및 분석할 수 있는 데이터스페이스와 플랫폼을 구축할 예정이다. 또한 컨테이너 기반 소프트웨어 시스템을 통해 데이터 처리 및 분석 기능을 모듈화하여 재사용할 수 있도록 한다. 통계 및 분석 결과를 시각화하는 대시보드를 구축하고, 공정 변수에 적용하여 학습하는 딥러닝 AI 시스템을 개발하여, 생산 공정의 품질 향상과 최적화된 제어를 실현할 계획이다.

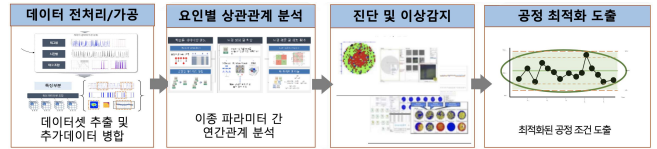


그림 5. 데이터 분석 공정 최적화 AI 시스템 구축

III. 결론

본 논문에서 제안한 지능형 금형 기반 자율생산 제어 시스템과 DX 기술의 도입은 금형 및 사출 공정의 생산성 향상과 품질 보장을 동시에 실현할 수 있는 중요한 해결책이다. DX 플랫폼과 산업데이터 인프라를 구축하고 이를 제조기업과 공유함으로써, 글로벌 제조 공급망에서의 데이터 기반 협업이 가능해진다. 이로써 단순한 생산 공정의 자동화가 아닌, AI 기반의 자율 생산제어를 통해 글로벌 생산 거점에서도 일관된 품질을 유지할 수 있는 경쟁력을 확보할 수 있다.

최종적으로, 본 논문에서 제안된 자율생산 제어 DX 기술은 글로벌 제조업의 미래를 선도할 핵심 기술로 자리잡고, 이를 통해 제조 공정의 혁신과 글로벌 경쟁력 확보에 큰 기여를 할 수 있을 것으로 판단된다. 본 연구의 결과는 미래차 부품산업뿐만 아니라 다양한 산업 전반의 디지털 전환과 경쟁력 강화를 촉진할 것이다.

ACKNOWLEDGMENT

이 논문은 2024년 정부(산업통상자원부)의 재원으로 한국산업기술진흥원의 지원을 받아 수행된 연구임(RS-2024-00437565, 금형 기반 생산기술 디지털전환 기반 구축)

참고 문헌

- [1] He, B., and Bai, K. J. "Digital twin-based sustainable intelligent manufacturing: a review," *Advances in Manufacturing*, 2021, pp.1-21.
- [2] Silva, B., et al. "Enhance the injection molding quality prediction with artificial intelligence to reach zero-defect manufacturing," *Processes*, 2023, pp. 62-84.
- [3] 이주연, "다이캐스팅 공정 지능화를 위한 데이터 수집, 처리, 분석 및 활용 기술 개발," *한국생산제조학회지*, 2020, pp.441-448
- [4] 고민재 외, "자동차부품 사출공정의 결함 검출 및 원인분석을 위한 딥러닝 알고리즘 적용에 관한 연구," *한국생산제조학회지*, 2022, pp.452-459