

제조 현장 제조실행시스템과 자동화 로봇 연계를 통한 제조 효율 향상 연구

조진표*, 서동원**, 김정오**, 현승균*, 김광희*
*인하대학교 제조혁신전문대학원
**㈜큐빅테크
e-mail : realwind1@inha.ac.kr

A Study on the Improvement of Manufacturing Efficiency by Connecting Automation Robots with Manufacturing Field Manufacturing Execution System

Jin-Pyo Cho*, Dong-Won Seo**, Jung-Oh Kim**, Hun Lee**, Seung-Gyun Hyun*, Kwang-Hee Kim*
*Manufacturing Innovation School, Inha University
**CUBICTEK

본 연구는 제조실행시스템(MES)과 자동화 로봇의 연계가 제조 현장의 효율성 향상에 미치는 효과를 실증적으로 분석하였다.

연구 결과, MES와 로봇의 통합 운영은 설비 가동률, 생산성, 품질 관리 등에서 유의미한 개선을 나타냈다. MES는 실시간 데이터 관리와 공정 모니터링을 통해 설비의 이상 상태를 조기 감지하고, 자동화 로봇은 이를 신속히 대응함으로써 가공 및 주조 공정에서 설비 가동률을 각각 83%, 89%로 향상시켰다. 이로 인해 생산 과정의 중단이 줄어들고, 생산성은 월평균 7.7%, 일평균 10% 증가하여 작업 효율이 극대화되었다.

또한, MES와 로봇의 연계는 실시간 모니터링과 조기 경고 시스템을 통해 공정 내 품질 이상을 신속히 감지하여 대응할 수 있게 함으로써, 가공 공정의 불량률은 0.5%, 주조 공정은 3%로 크게 낮추는 데 기여하였다.

스마트 제조 환경에서 MES와 자동화 로봇의 통합 운영이 다품종 소량 생산 체제에서 필수적인 요소임을 확인하였으며, 제조 현장의 경쟁력 강화를 위한 중요한 기반임을 확인하였다.

1. 서론

현대 제조업은 글로벌 경쟁 심화와 고객의 맞춤형 제품 수요 증가로 인해 다품종 소량 생산 체제로의 빠른 전환이 요구되고 있다. 이에 따라 단순 대량 생산 방식의 한계를 극복하고, 작업자의 안전과 생산 효율성을 동시에 고려한 시스템 개선이 필수적이다. 특히 고령화와 젊은 인력의 제조업 기피로 인해 노동력 부족 문제가 심화되고 있으며, 이를 해결하기 위한 제조 현장의 자동화 및 디지털화 도입이 가속화되고 있다.

제조실행시스템(MES)과 자동화 로봇은 이러한 변화에 대응하기 위해 제조 현장의 생산성과 품질을 향상시키는 핵심 기술로 자리 잡고 있으며, 공정 최적화와 반복 작업의 자동화를 통해 제조 현장의 경쟁력 강화를 도모하고 있다.

본 연구는 제조실행시스템과 자동화 로봇의 통합 운영이 제조 현장의 전반적 효율성에 미치는 영향을 실증적으로 분석하는 것을 목적으로 한다. 제조실행시스템의 실시간 데이터 관리 기능과 로봇의 정밀한 작업 수행을 연계하여 생산성

향상과 품질 개선을 동시에 도모하는 방안을 제시함으로써, 스마트 제조 환경 구축을 위한 전략적 방향성을 탐색하였다.

2. 본론

2.1 제조 현장의 제조실행시스템

제조실행시스템은 생산 계획, 품질 관리, 자재 흐름 등을 실시간으로 관리하여 제조 현장의 투명성과 효율성을 높이는 핵심 시스템이다. 기존의 종이 문서 기반 시스템은 실시간 데이터 관리가 어려워 휴먼 에러가 발생하기 쉬웠고, 이로 인해 제조 공정의 비효율성이 증가했다. 제조실행시스템의 도입은 실시간 모니터링과 데이터 수집을 가능하게 하여 이러한 문제를 해소하고 의사결정 속도와 생산성을 향상시켰다. 제조실행시스템을 통해 제조 현장은 실시간 데이터 관리와 자동화된 작업 지시가 가능해졌으며, 이에 따라 오류 발생 시 즉각적인 대응이 가능해졌다. 당사가 수행 및 구축하였던 A사와 B사와 같은 제조업체는 제조실행시스템을 활용하여 자재

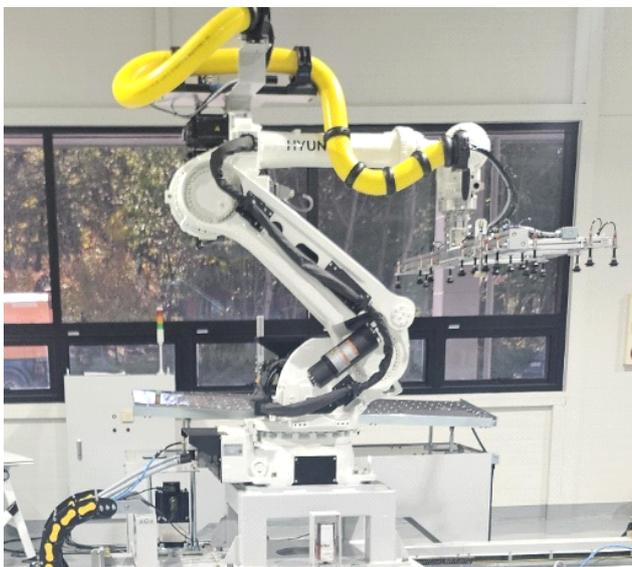
와 설비 가동 상태를 최적화하고, 품질과 생산성을 동시에 개선하는 성과를 거두었다. 제조실행시스템의 이러한 기능은 불량률 감소와 생산 일정 최적화에 기여하며, 기존 수작업 기반 시스템에서 발생하던 병목 현상을 해결해주었고, 결과적으로 제조실행시스템은 현대 제조업의 경쟁력을 강화하고 스마트 제조 환경 구축을 위한 필수적인 시스템이다.

2.2 제조 현장의 자동화 로봇

그림 1은 현대로보틱스의 산업용 로봇을 제조 현장에서 활용한 예시를 제시 하였다. 제조 현장에서 자동화 로봇 공정은 스마트 팩토리 구현의 핵심 요소로, 생산성 향상과 품질 안정성을 극대화하는 데 중요한 역할을 하고 있다. 자동화 로봇은 반복적이고 정밀한 작업을 수행하여 생산 과정의 일관성과 정확성을 높이고, 작업자의 안전성을 확보하는 동시에 노동력 비용을 절감한다.

이러한 시스템은 특히 고위험 작업이나 고정밀 작업에 있어 인간 작업자의 피로도나 실수 가능성을 최소화하여 작업 품질을 일정하게 유지할 수 있다. 또한, 생산 라인의 융통성과 효율성을 높이는 데에도 크게 기여한다.

자동화 로봇 공정의 도입은 제조 현장의 실시간 데이터 활용과 밀접하게 연결된다. 로봇은 센서와 통신 모듈을 통해 공정의 상태 정보를 실시간으로 수집하고, 이를 바탕으로 최적의 작업 조건을 유지하며 공정을 관리한다. 이로 인해 불량률이 낮아지고, 생산라인 내 병목 현상이 줄어들어 공정 전체의 효율성이 극대화된다. 예를 들어, 특정 부품의 조립 공정에 로봇을 도입할 경우, 정확한 위치와 힘을 자동으로 조절하여 부품 간 결합 오류를 최소화할 수 있으며, 이를 통해 최종 제품의 품질을 보장할 수 있다.



[그림1] 현대로보틱스 산업용 로봇

당사가 제조실행시스템과 로봇시스템 연계를 검토한 A사와 B사의 경우를 보면 자동화 로봇 공정을 적극 도입하여 생산성 개선과 작업자 안전성 향상을 동시에 이루었고, 이들은 로봇을 통해 제품의 대량 생산뿐만 아니라 고객 맞춤형 제품을 소량으로 효율적으로 생산할 수 있는 유연성을 확보하고 있다. 이와 함께 자동화 로봇은 제조 데이터와 연계하여 유지 보수 주기를 예측하고, 사전에 문제가 발생할 가능성을 차단해 설비의 가동률을 높이는 결과를 보여주고 있음을 알 수 있었다.

3. 자동화 로봇과 제조실행시스템 연계

3.1 가공 공정 로봇 시스템 연계

그림 2는 가공 작업 공정에서 수작업 공정에서 비정상 부하를 분석하여 공구 교체 시점을 예측하여 작업자에게 공구 교체를 알리는 알고리즘을 구할수 있는데 자동화 로봇과 연계하여 제조실행시스템과 로봇시스템의 연계를 활성화 할 수 있는 제어 포인트를 확보하였다.

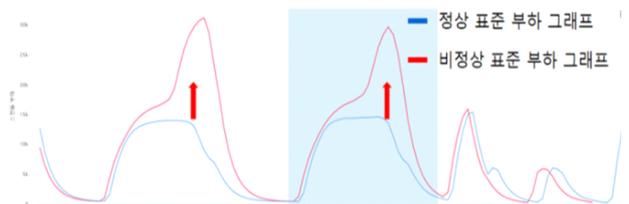
제조실행시스템과 로봇을 연계함으로 가공 공정에서는 공구의 마모 상태를 실시간으로 감지하고, 교체 시점을 예측하여 설비의 비가동 시간을 최소화하고, 작업 중단 없이 교체가 가능하도록 하여 생산성과 품질을 동시에 높이는 효과를 제공하였다..

3.2 주조 공정에서의 시스템 연계

그림 3에는 주조 작업과정에서 기존 작업자 확인 과정과 알고리즘을 통한 로봇 연계 과정에 대하여 나타내었다. 기존 주조 공정 과정에서 주조 불량 발생시 작업자가 알람으로 확



(a) 가공공정 수작업 (b) 가공공정 로봇연계

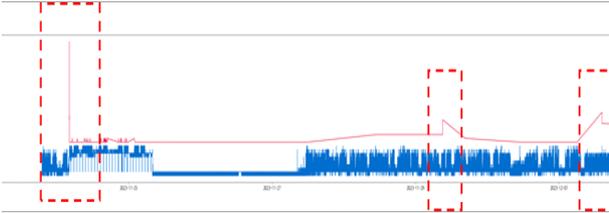


(c) 가공 공정 비정상 운전 검출 알고리즘

[그림2] 가공 공정 로봇시스템 연계



(a) 주조불량 작업자 확인 (b) 주조공정 로봇 연계



(c) 주조 공정 비정상 운전 검출 알고리즘

[그림3] 주조 공정 로봇시스템 연계

인 후 조치함으로써 설비 운전이 많은 어려움이 있었다. 주조 공정에서는 온도, 압력 등의 설비 파라미터를 모니터링 하여 기준을 벗어난 경우 즉시 작업을 조정하고, 불량 제품을 자동으로 분류하는 알고리즘 구축함으로써 해결할 수 있는데, 제조 실행 시스템과 로봇을 연계함으로써 주조 공정에서 검토한 알고리즘을 적용함으로써 주조 불확실성을 해결할 수 있다. 주조 공정 주요 데이터를 실시간으로 수집하여 공정 상태를 분석함으로써 작업자의 개입 없이 자동화 로봇 과정에서 생산의 일관성을 확보하고, 품질 문제를 사전에 방지할 수 있다.

3.3 제조실행시스템과 로봇 시스템 연계 검증

설비 데이터 수집 후 제조실행시스템 서버로 전송하고, 실시간 조화를 통해 저장 및 반영 상태를 확인하였다. 20회 반

[표1] 작업 이력 수신 여부 일치 결과

시험 회차	설비 구분	생산넘버	작업수신 여부
1	가공 자동화 설비	60035	수신 성공
2	가공 자동화 설비	91185	수신 성공
3	가공 자동화 설비	75622	수신 성공
4	가공 자동화 설비	48652	수신 성공
5	가공 자동화 설비	84652	수신 성공
6	가공 자동화 설비	48153	수신 성공
7	가공 자동화 설비	46512	수신 성공
8	가공 자동화 설비	32022	수신 성공
9	가공 자동화 설비	75365	수신 성공
10	가공 자동화 설비	46220	수신 성공
11	주조 자동화 설비	24052	수신 성공
12	주조 자동화 설비	24053	수신 성공
13	주조 자동화 설비	24054	수신 성공
14	주조 자동화 설비	24055	수신 성공
15	주조 자동화 설비	24056	수신 성공
16	주조 자동화 설비	24057	수신 성공
17	주조 자동화 설비	24058	수신 성공
18	주조 자동화 설비	24059	수신 성공
19	주조 자동화 설비	24060	수신 성공
20	주조 자동화 설비	24061	수신 성공

[표2] 가공 공정 시스템 연계 결과

공정 유형	성과지표	연계 전	연계 후	변화량
가공 공정	설비 가동률	76%	83%	+7%
	월평균 생산량	18,630E A	20,060E A	+7.7%
	공정 불량률	1.8%	0.5%	-1.3%

[표3] 주조 공정 시스템 연계 결과

공정 유형	성과지표	연계 전	연계 후	변화량
주조 공정	설비 가동률	85%	89%	+4%
	일평균 생산량	2,500E A	2,750E A	+10%
	공정 불량률	7%	3%	-4%

복 수행한 결과, 모든 테스트에서 100%의 데이터 수신 정확도가 확인되었다.

표 2에는 가공 공정 시스템 연계 결과를 나타내었다. Confusion Matrix를 활용하여 품질 예측 정확성을 분석하여 정상 및 이상 상태를 각각 정확히 예측한 비율을 확인하였다. 가공 공정에서는 설비 가동률이 기존 76%에서 연계 후 83%로 상승하였으며, 월평균 생산량은 7.7% 증가하였다. 불량률은 1.8%에서 0.5%로 감소하여 공정의 품질이 향상됨을 알 수 있었다.

표 3에는 주조 공정 시스템 연계 결과를 나타내었다. Confusion Matrix를 활용하여 품질 예측 정확성을 분석하여 정상 및 이상 상태를 각각 정확히 예측한 비율을 확인하였다. 예측 정확도는 주조 공정에서 최대 99.95%에 도달하였다. 이를 통해 제조실행시스템과 로봇 연계가 품질 예측 및 불량 관리에 매우 효과적임이 검증되었다.

표 4에는 가공 공정과 주조 공정의 KPI 평가를 비교하였다. 두 공정 모두에서 제조실행시스템과 로봇의 연계가 생산성, 품질, 설비 가동률 측면에서 증가하는 수치를 확인할 수 있었다.

[표4] KPI 결과

공정 유형	성과지표	연계 전	연계 후	변화량
가공 공정	설비 가동률	76%	83%	+7%
	월평균 생산량	18,630E A	20,060E A	+7.7%
	공정 불량률	1.8%	0.5%	-1.3%
주조 공정	설비 가동률	85%	89%	+4%
	일평균 생산량	2,500EA	2,750EA	+10%
	공정 불량률	7%	3%	-4%

4. 결론

본 연구는 제조실행시스템(MES)과 자동화 로봇의 통합 운영이 제조 현장의 효율성 향상에 미치는 실질적인 효과를 입증하고, 스마트 제조 환경 구축을 위한 전략적 방향성을 제시하였다.

연구 결과, MES와 자동화 로봇의 연계는 설비 가동률, 생산성, 품질 관리 등 주요 제조 성과 지표에서 유의미한 개선을 가져왔다.

첫째, MES의 실시간 데이터 관리 기능이 설비의 이상 상태를 조기 감지하고, 자동화 로봇이 신속히 대응함으로써 가공 및 주조 공정의 설비 가동률이 각각 83%와 89%로 향상되었다. 이러한 설비 가동률 증대는 공정 중단을 줄여 생산성 향상에 기여했다.

둘째, MES와 로봇의 연계로 작업자가 수기로 작성하던 작업 기록이 자동화되며 월평균 생산량이 7.7% 증가했고, 일평균 생산량은 10% 상승하여 생산 효율성이 극대화되었다.

셋째, 품질 관리 측면에서도 MES와 로봇의 통합은 불량률 감소에 큰 영향을 미쳤다. 실시간 모니터링과 조기 경고 시스템을 통해 가공 공정의 불량률은 0.5%로, 주조 공정은 3%로 낮아졌다.

스마트 제조 환경에서 MES와 자동화 로봇의 통합 운영이 다품종 소량 생산 체제에서 필수적인 요소임을 확인하였으며, 제조 현장의 경쟁력 강화를 위한 중요한 기반임을 확인하였다.

[후기]

본 논문은 인하대학교 스마트제조고급인력양성사업 산학공동프로젝트 결과와 제조혁신전문대학원 석사학위논문 제출을 위해 발표한 논문입니다.

참고문헌

- [1] 중소벤처기업부_1월 27일부터 중대재해처벌법 시행
- [2] 로봇신문사_산업용 로봇업계 탄생 60주년
- [3] 네이버 뉴스_용접하는 로봇...현대건설, 인공지능 산업용 로봇 건설현장 투입
- [4] 대한산업안전협회_SAFE CHECK 제조업 끼임사고
- [5] 이코노미스트_韓 핵심노동인구 비중, 25년 뒤 OECD 꼴찌로 추락 [체크리포트]
- [6] 연합뉴스_한국, 산업용 로봇 도입 4위로 '주춤'...'밀도'는 세계 2위
- [7] [유니버설 로봇] UR10 협동 로봇이라면? 안전펜스 없어도 안심하고 일할 수 있습니다

[8] 안준모, 제4차산업혁명과공공기술사업화, '17년제2차공공 연구성과기술사업화정책포럼

[9] The Global Manufacturing Revolution(Yoram Koren, 2010), Market Dynamics Behind Industrie 4.0 and the Industrial Internet of Things(Florian Guldner, 2015.)