

산업분석 Vol. 135

등대공장을 통해 본 자동차 제조공정 혁신 동향

정책전략실
윤자영 책임연구원

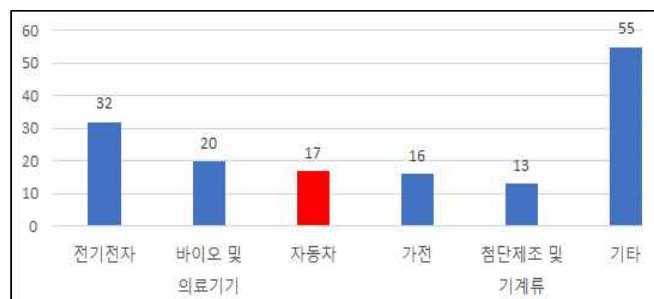
KATECH Insight

- ◆ 생산과정에서의 지능화·자율화가 산업경쟁력 요인으로 부상한 가운데, 세계경제포럼(WEF)에서 매년 두 차례 발표하는 등대공장 현황을 통하여 세계 자동차 공장의 제조공정 혁신 동향 파악
- ◆ 세계 자동차 기업들은 제품경쟁력 제고와 비용 절감을 위하여 장비 고도화, 공정 및 물류 자동화 도입 등 적극적으로 공정개선 중이며, 특히 중국은 자동차산업의 질적 고도화를 위하여 스마트 제조화에 주력

» ‘19~’23년 기간 동안 세계경제포럼(WEF)에서 발표한 등대공장(Light House Factories)* 중 자동차기업이 추진한 주요 내용과 성과를 토대로 공정혁신의 유형과 성과를 파악

- * ‘등대공장’이란 등대가 배를 안내하는 것처럼 사물인터넷(IoT), 클라우드 컴퓨팅(Cloud Computing), 빅데이터(Big Data), 인공지능(AI) 등 4차 산업혁명의 핵심기술을 활용해 제조업의 혁신을 이끄는 공장을 의미
- 세계경제포럼은 글로벌 컨설팅 기업 맥킨지와 2018년부터 기술개발척도, 인적구성 등 평가를 통해 매년 두 차례 고도화된 제조 현장으로서 등대공장을 선정, 2023년 12월 기준 전 세계 등대공장은 153개임.
- 전체 등대공장 중 배터리社를 포함한 자동차산업 내 기업은 총 17개로 전체의 11.1% 비중을 차지하여 전기전자, 바이오 및 의료기기산업에 이어 세 번째로 많은 산업군으로 나타남.
- * WEF는 35개 산업군을 대상으로 공장을 선정, 본고에서는 국내 KSIC 산업분류에 기준하여 산업군을 묶어 분류
- (전기전자) 불량률 감소 및 소량 다품종 생산을 위한 모듈화 기반의 제품생산 체계로의 변화 적극적으로 시행
- (바이오(제약) 및 의료기기) COVID-19 이후 수요에 따른 신규 설비투자가 전례없이 급증하면서 제조의 효율과 정확성을 높이기 위해 IoT, 빅데이터, 인공지능, 기술 플랫폼 등 기술을 적용한 제조공정이 증가
- (자동차) 자율제조 및 전동화 수요 충족*은 물론, 부품 공용화(모듈 아키텍처)를 통한 원가 혁신, 개별 수요자가 원하는 맞춤형 제품 등 다양화에 대응하기 위해 첨단기술을 활용함으로써 다양한 생산방식 도입이 활발
- * 스마트제조화를 통해 전동화의 핵심인 배터리 제조의 복잡성·정밀성을 높이고, 인공지능(AI), 머신러닝 기술을 활용하여 부품의 모듈화 구현, 빅데이터 분석을 활용한 품질관리, 생산 최적화 진행

Ⅰ 등대공장 업종별 분포 (자료: 세계경제포럼 2019~2023)(단위: 개) Ⅰ



- 자동차 등대공장을 국가별로 살펴보면 중국이 10개로 가장 많은 비중(58.8%)을 차지하고, 프랑스 및 튀르키예 2개, 인도, 브라질, 독일 각 1개씩 선정

* 한국의 경우 포스코, LG전자, LS일렉트릭 등이 등대공장으로 선정되었으나 자동차 분야는 아직까지 없음.

- 중국은 '15년부터 '중국제조 2025'를 바탕으로 국가 차원에서 전 제조업에서의 스마트제조를 확산시키기 위해 구체적인 계획과 목표를 설정 및 추진하였고, 각 지방정부에서 구체화된 행동지침을 실행
- 스마트제조 역량 성숙도를 모델을 구축하여 일정 규모 이상의 제조공장은 70% 이상 디지털화 및 네트워크화를 실현하도록 하고 스마트제조 시범공장을 500개 이상 건설하여 등대공장 비중이 높은 것으로 파악

* '24년 중국 전국인민대표대회에서도 '제조업 고도화' 및 '첨단기술 육성'을 1순위 달성목표로 설정, 이를 위해 '대규모 설비 교체'(4%/GDP 규모)를 중점 산업정책으로 내세움.

- 제조분야별로는 르노 3개 공장, BMW, SAIC 등 완성차社 6개와 Bosch 4개 공장, CATL 3개 공장, CITIC Dicastal, CEAT 등 부품社 11개 공장

- 기업들은 노동력 부족, 공급망 리스크, 비용압박, 탄소중립 등 산업변화에 대응하고, 불량률 감소, 제품 다양화, 제조 속도 개선 등 소비자 만족도를 높이기 위하여 장비 예지보전시스템, 디지털트윈, 머신러닝 기능 활용
- 대표적으로 중국의 CATL은 급증하는 이차전지 수요 및 인건비 해결, 제조과정에서의 탄소중립을 위하여 ① 빅데이터를 활용한 품질 시뮬레이션, ② 적층제조 방식으로 전환시간 감소*, ③ AI 비전기술 활용으로 마이크론'(10⁻⁶m)' 수준의 품질검사, ⑤ 딥러닝(프로세스 제어 및 에너지 관리) 등을 통해 생산량 320% 증가, 제조비용 33% 감소, 탄소 배출량 47.4% 감소, 품질결함 99% 감소 등의 성과 시현

* 가상 시뮬레이션, 적층 제조 및 3D프린팅을 활용해 가상 디자인화, 정밀한 가상검증 완료, 고속가공 달성

Ⅰ 자동차 분야 등대공장 주요 성과사례 (자료: 세계경제포럼 2019~2023)

구분	기업명	위치	주요 성과
완성차	BMW Group	독일 (Regensburg)	DB분석을 통한 예지정비, 스마트 자동물류시스템, 협동로봇을 활용한 린(Lean) 시스템* 도입 → 물류비용 35%, 프레스설비 다운타임(Down Time)** 25% ↓
완성차	Ford Otosan	튀르키예 (Kocaeli)	추가 설비투자 없는 디지털제조 및 첨단자동차 → 생산량 6%, 금형 제조시간 47% ↓
완성차	Groupe Renault	프랑스 (Cleon)	협동로봇 및 VR을 통한 운영자 지원 → 안전사고비용 50% ↓, 생산성 10% ↑
완성차	SAIC Maxus	중국 (Nanjing)	수 가치사슬의 디지털화 → 생산성 20% ↑, 리드타임(Lead Time)*** 35% ↓
완성차 (EV)	GAC AION	중국 (Guangzhou)	10만개 이상 공정에 걸쳐 자동 스케줄링 시스템 도입
부품 (엔진)	FOTON Cummins	중국 (Beijing)	제품수명주기 전반에 IoT 및 AI 자체배포 → 제품품질 · 고객만족도 각 40% ↑
부품	Bosch	중국 (Wuxi)	재고관리 디지털화, IoT 활용 기계상태 모니터링 → 설비종합효율 90% ↑, 재고율 10% ↓
부품 (타이어휠)	CITIC Dicastal	중국 (Qinhuangdao)	AI기반 광학검사 및 CNC 품질검사, 디지털트윈 → 제조비용 33% ↓, 조사인력 81% ↓, 생산성 38% ↑
부품 (타이어)	CEAT	인도 (Halol)	머신러닝 기반 장비최적화 및 재고관리, 장비 모니터링 → 사이클타임(Cycle Time)**** 20% ↓, 적시적량조달(OTIF) 29% → 판매량 250% ↑
부품 (이차전지)	CATL	중국 (Yibin)	AI 기반 광학검사프로세스 제어안전관리, 산업용 사물 인터넷(IIoT) 및 실시간 센서기반 에너지폐기물 관리 → 라인속도 17%, 조립효율성 100%, 자동화율 128% ↑

* 린(Lean) 시스템은 기업의 모든 활동에서 낭비와 지연을 제거함으로써 부가가치를 극대화하는 운영시스템으로써 토요타에서 시작

** 고장, 부품교체 등으로 인한 설비가동 중지시간 / *** 주문이 접수된 후 생산한 제품을 고객에게 배송될 때까지의 시간 / **** 단위공정 한 단위를 완성, 즉 원자재의 투입부터 완성까지의 시간

- **공장별로 추진한 공정혁신을 유형화하여 구분한 결과, 장비고도화 28.4%, 데이터 관리 25.7%, 공정-물류자동화 17.6%의 순서로 나타남.**
 - 자동차산업은 다양한 소재부품 및 공정이 필요한 조립산업으로 공정 간 협력 효율이 중요한 경쟁력이고, 소비자 수요의 변동성 및 다양성이 커짐에 따라 시장 출하까지의 리드타임을 단축시킬 필요성이 증가하여 기업들이 장비고도화 및 데이터 관리에 투자
 - * 장비의 네트워크화, 자율제조 기능이 확장되면서 생산비용 상승 없이 다양한 개인의 요구사항을 반영한 제품 생산 가능
 - 부품조달, 운반의 자동화와 AMR(Autonomous Mobile Robots) 등 무인이동체 활용을 확대시켜 물류 혁신을 추진하고, 이를 통해 적시 부품조달 및 재고 최적화 효과를 달성
 - 한편 수요와 생산데이터를 연계하거나 가상과 현실이 융합된 데이터 연계 및 디지털 트윈 분야는 상대적으로 본격 도입사례가 적은 편

Ⅰ 자동차 분야 등대공장의 공정혁신 유형 Ⅰ

공정혁신의 유형		비중(%)	주요 방법	
데이터 관리	품질데이터 관리	10.8	• AI기반의 CNC 품질전문가 시스템 • 디지털 추적시스템(track & trace)	• 스마트 품질관리-보증
	설비데이터 관리	14.9	• 데이터 분석 및 예측을 통한 유지관리 • 알고리즘 기반의 소모품 수명연장	• IoT 기반 기계모니터링 • 로봇 빅데이터 분석 및 사이클타임 최적화
	소계	25.7		
데이터 연계	수요-생산 데이터 연계	5.4	• 소비자 주문형 제조 • B2C 전자상거래 플랫폼을 통한 고객연결성 강화	
	공급망 데이터 연계	2.7	• 디지털 공급망 구축	• 자재주문시스템 자동화
	소계	8.1		
장비 고도화	작업도구 고도화	21.6	• AI기반 프로세스 제어 및 안전관리(가스감지 등) • 실시간 성과, 노동량 및 시간 관리시스템 • 현장 맞춤형 디지털 채용 플랫폼 및 커넥티드 워크포스(모바일 오피스) 플랫폼 구축	
	품질검사 고도화	6.8	• AI 기반 광학비전검사	• V2X 품질관리
	소계	28.4		
디지털 트윈	생산 시뮬레이션	4.1	• 3D프린팅 등 가상 시뮬레이터	• 디지털트윈을 통한 유연생산
	제품 시뮬레이션	6.8	• 지능형 엔지니어링	• 빅데이터 및 AI 기반 제품설계테스트
	소계	10.8		
공정-물류 자동화	공정 자동화	10.8	• 로봇공학 및 자동화 결합 • 도구(Tool) 및 금형의 디지털화	• 머신비전을 통한 사이클 시간 및 전환 최적화
	물류 고도화	6.8	• 스마트 자율물류 운송시스템 • 디지털 재고관리	• E2E(End-to-End) 차량배송추적 • AI기반 자재 분배-유통 자율화
	소계	17.6		
에너지 관리	에너지 데이터 활용	8.1	• 에너지 배출, 폐기물 및 물관리를 위한 실시간 센서 기반 데이터 수집관리	
	에너지 관리 고도화	1.4	• AI기반 생산에너지 관리	• 스마트 마이크로그리드
	소계	9.5		

* 유형화 분류는 「제조장비산업 미래발전전략 수립연구」, 정은미 외, 산업연구원, 2022.12의 기준을 참고하여 저자 재작성

» **가치사슬 전반의 디지털 전환으로 자동차 선진국들은 첨단 제조설비 구축에 주력하고 있으며, 전동화자율화로의 자동차 전환 시장 선점을 위해서는 생산현장에서의 변화가 중요한 경쟁요인**

- **제조과정에서의 방대한 데이터를 활용하여 효율성을 높여 시장에서의 가격 경쟁력을 확보하고, 제조설비의 다운타임 및 재설계 업그레이드를 포함한 소재부품 전환을 신속하게 수행**
 - 이를 위해서는 자동차 기업 - 설비 기업 간 긴밀한 협업을 통해 국내 노동여건, 작업환경 및 작업자에 최적화된 설비를 우선적으로 공급받을 수 있도록 산업 간 공동연구개발 및 유기적인 네트워킹이 필요

*본 원고는 한국자동차연구원의 공식적인 입장이 아닌 저자 개인의 견해를 반영하고 있습니다,