

#3

클린에너지 기반 스마트공장 구축 사례 (태양광 활용 및 협동로봇 활용 등)



글. 신철수 (주)신성이엔지 이사

(주)신성이엔지는 1977년 냉동 공조 사업으로 출발하여 한국 반도체 산업의 태동과 함께 고청정 환경기술 분야인 클린룸 사업에 진출하면서 사업기반을 구축하였고 주력 생산품목으로서 FFU(Fan Filter Units), EFU(Equipment Fan Filter Unit) 등이 있고 신재생 에너지산업인 태양광 모듈 제조(연산 1GW)뿐만 아니라 발전 사업까지 영위하고 있다.

스마트팩토리 도입 배경

- 현재의 시장상황을 고려하면 반도체와 디스플레이 클린룸 산업의 폭발적인 성장에 대응하고, 스마트 제조 환경 구축을 통해 제조 실행력을 강화하고, 생산시스템을 최적화·효율화하여 생산성 향상 및 생산비용 절감을 통한 원가 경쟁력을 확보하는 것이 목적이다.
- 제조 선진사의 Smart Factory 도입 및 확산 추세로 전사 차원의 일하는 방식의 변화를 통한 시스템 경영을 달성하도록 프로세스로 소통하고 시스템으로 업무 수행하며 데이터로 확인하는 공장 운영 효율 최적화가 필요하다.
- 자동화 라인을 좀더 고도화하고 데이터 기반으로 분석하고 모니터링 할 뿐만 아니라 실시간으로 공장제어까지 실현하여 경쟁 우위를 달성하고자 하였다.

스마트팩토리 구축 효과

- 스마트팩토리의 핵심적인 시스템인 MES(제조실행시스템)가 구축됨에 따라서 실시간으로 생산실적 및 설비 상태를 모

니터링 하면서 유실 발생시 관련 팀원들이 즉시 대응(조치)으로 관리적 Loss를 30% 이상 감축했다.

- 라인 증설 없이 애로 공정 개선 및 조립/포장 자동화를 실시하여 10명 이상 성인화(省人化) 시켜 자동화 설비의 Operator로 직무 전환되었고, 생산능력(CAPA)이 100% 향상 됐으며 (300대/일 → 600대/일) 제도가공비 또한 15% 절감되었다.

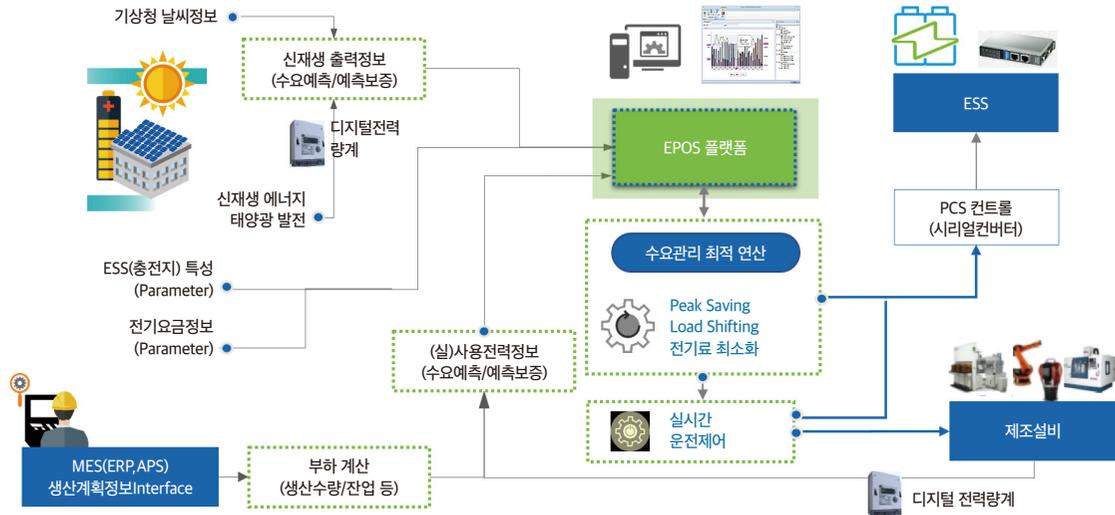
몇 가지 사례를 통해 스마트팩토리 구축 과정의 시사점을 확인해 보고자 한다

태양광 발전 기반의 마이크로그리드를 통한 스마트공장 에너지 운영 사례(그림1 참조)

당사의 사업영역중의 하나인 신재생에너지 분야의 축적된 기술력을 바탕으로 조립공장에서 사용하는 전력의 일부를 태양광 발전을 통하여 공급하고, MES 시스템을 통한 생산계획에 따라 설비 부하를 예측, ESS설비와 연동하는 플랫폼을 구축한 사례를 살펴본다. 본 시스템 구축 당시 투자 효과에 대한 우려도 많았지만 유럽연합의 탄소배출권 제도(ETS, Emissions Trading System), 탄소세 도입 등에 대응하고 선제적인 RE100 추진을 위해 꼭 필요하다는 최고경영자의 강력한 의지가 반영 되었다.

재생에너지 기반의 스마트 공장을 구축하여 에너지 비용을 절감했다. 생산설비 운영 전력의 40%는 자가 발전한 태양광 발전 전력을 활용하고 있으며, 공장 지붕의 태양광 발전에서 전력 판매 수익을 확보하여 에너지 비용을 Zero화 수준으로 운영하고 있다.

그림 1. 태양광 발전 기반의 마이크로그리드를 통한 스마트공장 에너지 운영 개념도



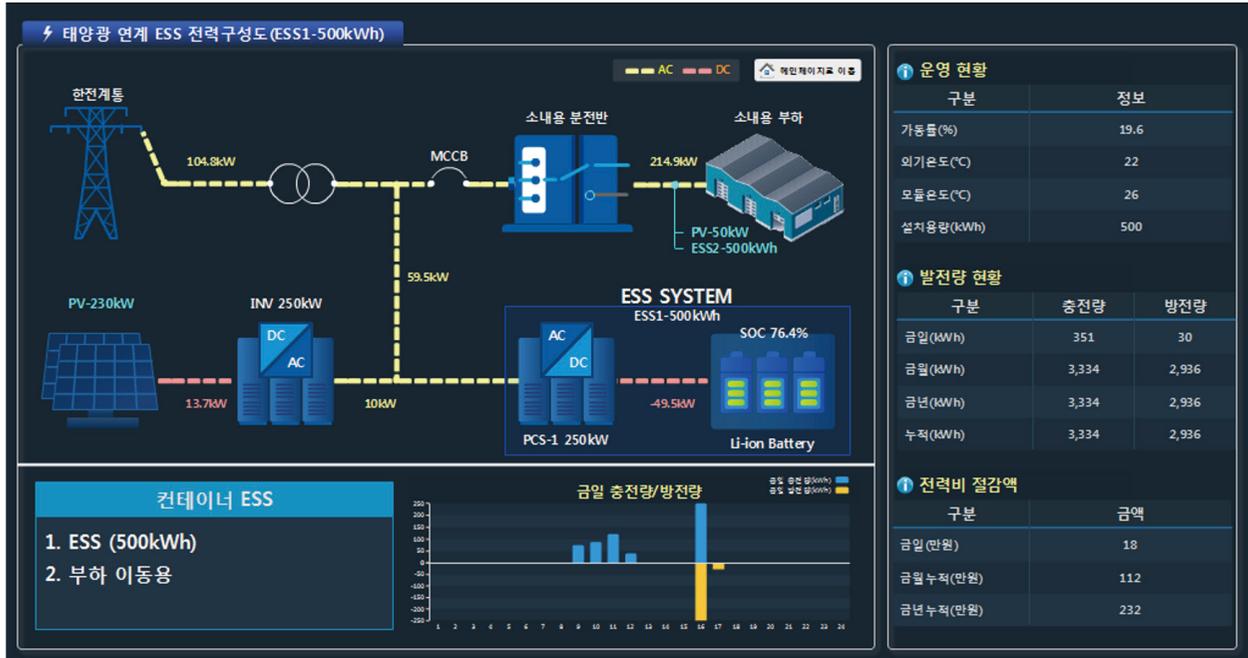
- 태양광 발전 및 ESS(에너지 저장 장치) 연동 플랫폼 개발: 배터리, PCS, 수전 전력 계전기, 태양광 인버터, 부하 전력 계량기 등의 모든 인터페이스 장치 대부분이 Modbus 프로토콜¹⁾을 지원한다. Modbus 프로토콜 데이터 맵을 설정하여 모든 에너지를 관리하기 위해 전력 설비들의 데이터를 태그 기반으로 개발했다. 또한, 수집된 전력 설비 데이터를 기반으로 운영 현황을 한눈에 볼 수 있도록 운영 요약 차트를 구현했다. 차트에는 시간대별 전력 요금에 따라 각 구간의 배경을 다른 색으로 표현했으며, 한전에서 전력 피크를 측정하는 단위인 15분 간격으로 출력 전력을 모니터링 할 수 있다.
- 태양광 발전 예측 기술 개발: 태양광 발전 예측을 위해 현장에 설치된 태양광 모듈의 규모를 정의하여 관리한다. 파라미터는 각 태양광 인버터 별 모듈의 타입 및 개수, 넓이/높이, 설치각도, MPPT(최대전력지점) 효율, 인버터 효율 등으로 구성된다. 태양광 발전량 예측 파라미터와 자동 수집한 일기 예보 데이터의 구름량을 기준으로 각 태양광 인버터 별 출력을 예측하고 합산 출력을 조회할 수 있다.
- 기저부하 예측 및 생산계획에 의한 생산 부하 계산 기술: 생산 라인 외 요소의 부하 전력은 이동평균을 계산하여 예측하므로 각 일자별 부하 패턴 구분을 관리할 필요가 있다. 각 일자

별 부하 패턴(일자들의 이동평균으로 부하를 예측)은 휴일 및 잔업 유무와 같은 공장 근무 형태에 따라 예측한다. 한편, 생산 라인에서 발생하는 부하 예측은 APS(생산스케줄링 시스템)에서 계산된 생산 계획 정보를 활용한다. 생산 라인에서 작업 시간에 발생할 기준 부하량을 정의하고, 시간대별 생산 계획 정보에 따라 부하를 합산하여 그 결과를 조회할 수 있다.

- 전력 사용 요금 최소화를 위한 최적 ESS 운영 스케줄 계산: 태양광 발전량 예측 데이터와 공장 부하 예측 데이터를 이용하여 최적화된 1일 ESS 충/방전 스케줄을 생성했다. 최적화 계산은 MS Solver Foundation 라이브러리를 이용하여 시간대별 전력량 요금 합의 최소화를 목표로했다. 결과 화면에는 시간대별로 충전을 양수, 방전을 음수로 표시하고 그에 따른 ESS 잔량의 변화를 표시한다.
- 생산계획 연계 신재생 연동 알고리즘 개발(그림2 참조): 생산 설비에 디지털 전력량계를 부착함으로써 실시간으로 전력 사용현황을 모니터링하고, MES의 라인별 생산 주문에 맞게 계획된 전력 부하가 소모되는지 확인할 수 있다. 당사는 500kw 용량의 ESS를 두 대 운전하고 있다. 한 대는 계통(한국전력)과 연계하여 피크 부하 관리, 부하 이동 역할을 담당한다. 나머지 한 대는 태양광 발전(230kw) 전력을 저장하고 생산계획(=설비 부하운전 계획)과 실사용량에 따라 충전을 제어할 수 있다. 이러한 기능은 공장의 부하가 낮은 주말에 남은 태양광 발전

1) Modbus 프로토콜 : 공장기반제품 사이에 정보를 교환하기 위해 개발된 통신 규약

그림 2. 태양광 발전과 ESS 운전 계통도



전력이 한전으로 역송되지 않도록 ESS에 자동 충전되도록 한다. 완충 상태에서도 태양광 발전 전력이 남을 경우, 태양광 인버터의 동작을 자동으로 정지하도록 한다. 이처럼 복잡한 운전 필연성은 계시 변동 요금제를 반영하여 '최저 에너지 비용 운영 시' 알고리즘을 통해 최적화하고 있다.

협동로봇 적용 사례(그림3 참조)

협동로봇은 인간과 로봇이 함께 작업할 수 있도록 설계된 로봇이다. 산업용 로봇은 인간과 물리적인 접촉이 불가능했지만, 협동로봇은 인간과 상호작용하며 작업을 수행할 수 있다. 이에 따라, 복잡한 작업은 사람이 수행하고, 단순 반복작업은 협동로봇에게 맡겨 효율적인 작업 분담을 통해 생산성을 향상시킨다. 이러한 장점에도 불구하고, 당사 경험을 산업현장에 보편화하기에 아직 극복할 과제들이 남아 있다.

선정된 장비가 협동로봇의 안전 기준(ISO/TS 15066: 협동로봇과 인간 간의 안전 거리, 충격 및 압력 등에 대한 안전 기준)을 충족하더라도 국내 관련 법규는 산업용 로봇에 준하는 안전조치를 요구하고 있다. 당사는 이를 고려하여 Area 센서의 이중화, 작업자 밀착작업의 속도제어 등을 통해 작업

자 안전요건을 충족시켰다.(그림4 참조) 스마트공장 구축 당시 (2016년)에 협동로봇은 제한적으로 Pick & Place 기능에 적용하고 있었으나, 주작업인 부품조립 공정에 적용하며 응용 범위를 확대했다. 지속해서 유사공정에 확대 중이며 추진내용 및 효과는 다음과 같다.

협동로봇 도입 필요성

첫째, 다품종 소량생산 라인은 수주 물량에 따른 유연한 작업 인원 배치가 필요하다. 품질 확보를 위해 작업 숙련도가 요구되는 환경에서 협동로봇을 활용하여 안정적으로 작업할 수 있다. 둘째, 생산성 향상을 위해 지속적인 자동화 투자가 필요하다. 다만, 품목마다 다른 용기 표준화 문제, 치공구(Jig & Fixture)의 개발 투자에 대한 효과를 고려하여 정밀 맞춤 기능과 단순 반복 기능을 분리하여 사람과 협업하는 자동화가 필요하다.

협동로봇 적용을 위한 적정 도구의 선정과 이미지 프로세싱

로봇 팔에 단순히 그리퍼(Gripper), 자동화 모션에서 사람의 손가락과 같은 역할을 장착할 때와 달리, 작업공구를 장착하고 볼팅이나 리벳팅으로 부품을 조립하기 위한 체결 토크

그림 3. 협동로봇 사진 및 시스템 구성도

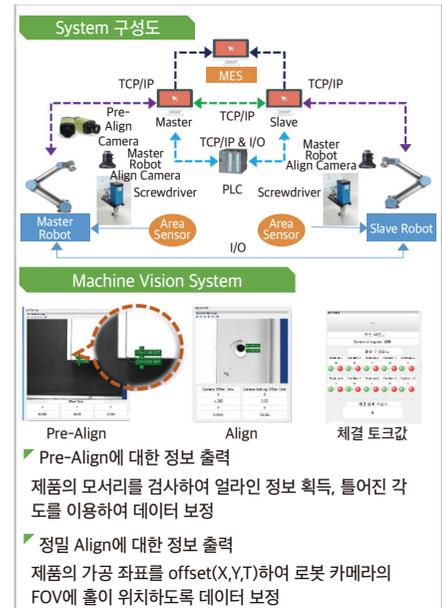
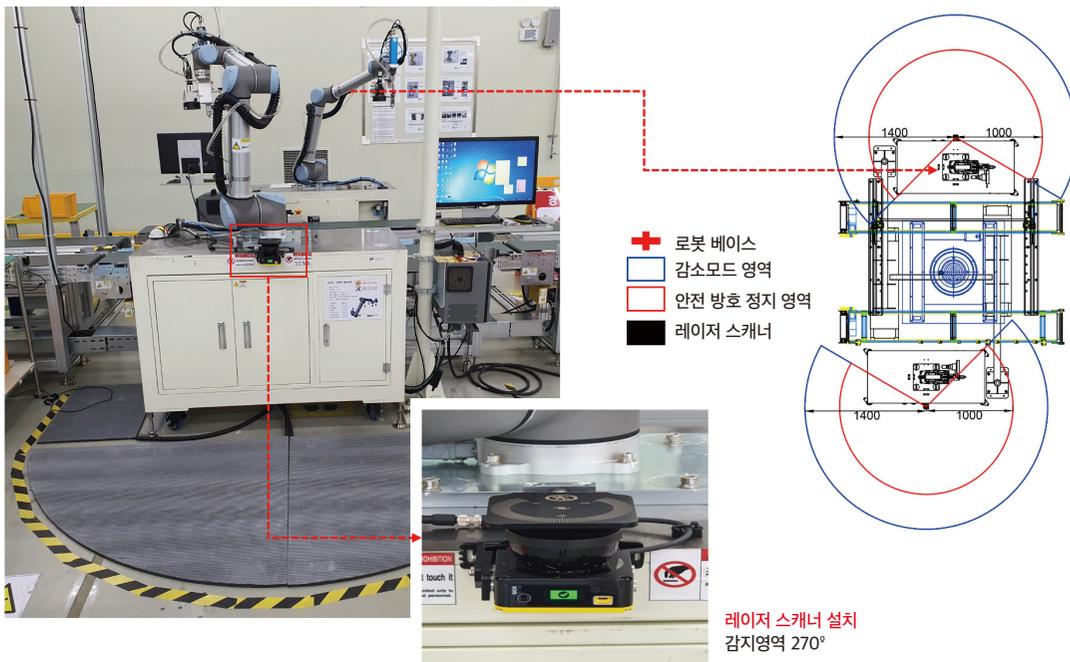


그림 4. 협동로봇의 안전조치



(Torque, 물체를 회전시키는 물리력)까지 감안한 기반 하중을 선정하는 데 어려움이 있다. 실제 구축 과정에서는 조립을 위한 구멍, 나사 가공 수준, 소재 표면처리(도금, 도장 등)상태에 따라 로봇의 티칭 조건을 달리하기도 했다.

협동로봇 적용 공정은 사람작업과 연계된 다품종 조립라인의 중간 공정이다. 선행 공정(수작업)의 반제품에 대한 정보를 QR코드로 인식, MES 시스템을 통한 확인, 조립 위치 검사를 위한 이미지 프로세싱 단계를 거친다. 먼저, 사전 조정(Pre-

Align) 기능으로 제품의 모서리를 검사하여 얼라인 정보를 획득한다. 획득한 데이터는 제품의 가공 좌표를 상쇄(X, Y, T)하여 틀어진 각도를 이용하여 보정된다. 이후, 정밀 조정 기능을 통해 제품의 가공 좌표를 상쇄(X, Y, T)하여 로봇 카메라 시야에 홀이 위치하도록 데이터를 보정하고 볼트 체결 홀 이상유무를 검사한다. 마지막으로 볼트 체결력에 대한 토크값을 출력하여 체결력 검증과정을 거친다.

작업자 안전중심 공장 Digital Twin 구축 사례

중대재해처벌법 시행에 따라 산업현장의 안전기준이 강화되어 작업 안전에 대한 과학적인 접근이 요구된다.

당사는 작업자의 휴대폰(Edge Device)과 스마트 태그(Smart Tag)로 수집되는 실시간 데이터를 활용하여 작업자와 작업환경을 관제할 수 있는 디지털 트윈 시스템의 현장 실증 단계에 있다. 일반 산업 현장에도 적용할 수 있도록 고도화 중이다.(그림 5 참조)

- 구축 배경 및 목적
작업자의 위치, 위험도를 실시간으로 모니터링, 측정하고 분석하여 위험지역 및 환경 접근 시 작업자가 휴대한 장

치료 경보를 주어 안전을 확보한다. (개인정보 암호화를 통한 보호 전략 포함)

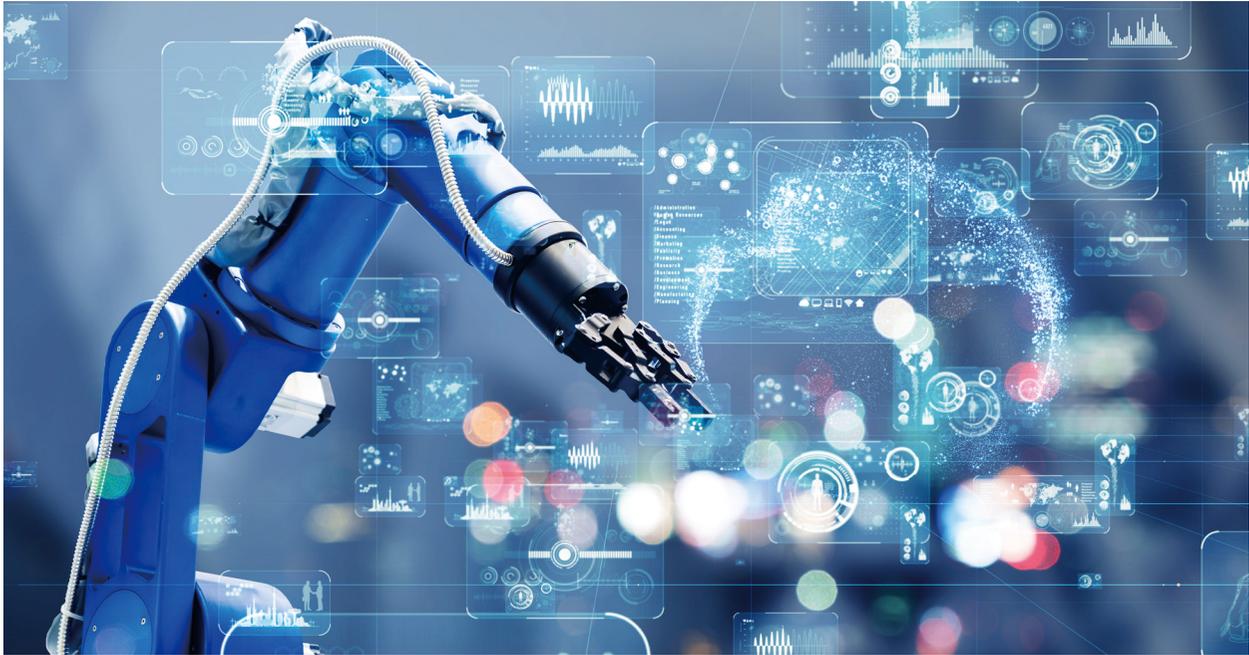
• 개발 내용

작업자 위험도를 평가하고자 규칙(rule) 기반으로 자세 인식 모델과 이를 적용한 앱을 개발했다. 작업자의 실시간 자세를 (걷기, 뛰기, 굽힘, 쓰러짐 등) 원격으로 모니터링하고, 위험도 판별 결과에 따라 안전 관계자에게 알림과 화면 경보를 보낸다. 특히, 실내 위치측정기술(UWB: Ultra Wide Band, 초광대역)은 기존에 비해 넓은 대역에 걸쳐 낮은 전력으로 대용량 정보를 전송하는 무선통신 기술이다. 3.1~10.6GHz대의 주파수 대역을 사용하면서 10m~1km 전송거리로 30cm 오차범위로 작업자 동선을 따라 위치 측위를 할 수 있다.

또한, 당사는 초보자도 활용 가능한 솔루션 공급업체를 선정하여 파워포인트, 엑셀 등의 범용 소프트웨어 사용자라면 누구나 사용 가능한 디지털 트윈을 구현했다. 고비용의 외부 디지털 트윈 솔루션 의존의 한계인 도메인과 솔루션 지식의 결합, 이기종 시스템들 간 인터페이스, 높은 전문가 의존성 등을 고려했기 때문이다.

그림 5. 작업자 안전중심 공장 Digital Twin 개념도





스마트팩토리 구축 고려 사항과 중소·중견 기업에 대한 제언

모든 사업장에 스마트팩토리를 동시 구축하는 데 자원상 한계가 있다. 효과적으로 구축하기 위해서는 요구사항이나 KPI를 명확히 하고, 업무표준화 및 현장 개선이 필수적으로 수반되어야 한다. 아울러, 데이터 수집과 설비운전의 자동화를 먼저 시도하고, 수집된 정보를 구성원 누구나 쉽게 판단할 수 있도록 가시화/정보화 단계를 거쳐야 한다. 이후, 현장 데이터가 축적된 운전 경험을 바탕으로 시 기반의 현장 지능화를 추구하는 단계별 접근전략이 필요하다.

스마트팩토리 구축을 위한 기본 검토사항은 다음과 같다. 첫째, 사람에 의한 변동을 최소화하고 실시간으로 데이터를 수집하기 위해 디지털화가 필수적이다. 이러한 디지털 정보는 사내 유선망(Network)이 불안정하면 잦은 Off line 상태가 발생하여 오히려 생산에 장애가 될 수 있으므로, 통신 환경에 신중한 검토가 필요하다. 둘째, 사내물류 자동화 및 지능화를 함께 검토해야 한다. 생산 계획, 실적 데이터 등이 시스템을 통해 처리되더라도 공급되는 실제 부품이나 반제품들이 수동으로 공급된다면 결국, 물류는 전체 시스템의 장애요소가 될 수 있다. 물론 물동량과 공장 Lay-out를 먼저 고려해야 할 것이다.

스마트팩토리는 공장 자동화와 함께 시스템(MES, PLM, ERP, SCM)을 중요한 요소로 꼽을 수 있다. 이에 따라, 안정적인

공장 운영을 위해 시스템 엔지니어를 확보해야 한다. 내부 엔지니어들은 표준화된 스마트팩토리 구축 기술이 없는 환경에서, 자사의 제품과 공정 기술 특성에 맞게 구축할 수 있기 때문이다. 또한, 많은 기업이 솔루션 공급업체에 의존하여 개발/안정화 후 양산 운영 시 사후 대처에 많은 어려움을 겪기에 내부 엔지니어의 필요성이 강조된다. 나아가, 공정 자동화의 확대에 따른 단순 반복 직종의 근로자들이 자동화 설비 운영, 유지보수 담당 등으로 전환할 수 있는 교육 훈련프로그램도 중요하다.

스마트팩토리라고 하면 아직 공장 자동화를 먼저 떠올린다. 물론 자동화가 필수적이나, 생산 설비만 자동화했다고 해서 공장이 스마트하게 운영되는 것은 아니다. 중요한 것은 시스템이다. 데이터로 확인하고 프로세스로 소통하며 시스템으로 업무를 수행하는 일하는 방식의 혁신이 먼저 되어야 한다. 규칙을 준수하고 모든 업무를 어떻게 하면 가시화할 것인지 조직 구성원의 적극적인 참여가 요구된다.

...	저자소개	↗
<p>신철수 (㈜신성이엔지 이사는 경희대학교 기계공학과를 졸업하고 신성이엔지 CR생산팀을 거쳐 (주)솔라에너지 태양광 모듈 제조팀장, (주)신성이엔지 중국법인 공장장, (주)신성이엔지 제조본부 생산기술팀장, (주)신성이엔지 용인사업장 공장장으로 재직했다. 주요실적으로는 Sheet Metal Casing 조립 자동화 설비 개발, 태양광 모듈 제조라인 구축, 머신비전/협동로봇 활용한 공장 자동화, 대표 스마트공장 구축 등이 있다.</p>		