

경영자를 위한 스마트팩토리 구축 로드맵 설계 및 활용

Designing and Utilizing a Smart Factory Roadmap for CEOs: Leveraging from University-Industry Research Collaboration

박종필^{1*}

Jongpil Park^{1*}

〈Abstract〉

Recently much attention in building smart factory has been dramatically increased. Despite the growing interest in smart factory, few practical guidelines exist how to successfully build smart factory. The purpose of this study is to postulate and develop a road map for building successful smart factory. To enhance mundane realism, we design the road map through University-Industry research collaboration. Specifically, drawing analysis of University-Industry research collaboration, we design a prototype and detailed road map or building successful smart factory. Moreover, we apply the road map into actual smart factory development. By doing so, we successfully prove the effectiveness of the road map. Therefore, this study provides the valuable guidelines and directions to build a successful smart factory. Ultimately this study is able to help a variety of factories which establish and implement smart factory. Further, we hope that this study will be placed to be an important foundation research on behalf of smart factory building.

Keywords : Smart Factory, Industry 4.0, Manufacturing, Factory Automation, Cyber-Physical Systems

^{1*} 정회원, 교신저자, 경남대학교 경영정보학과 조교수, ^{1*} Dept. of MIS, School of Business, Kyungnam University
E-mail: jpark@uok.ac.kr

1. 서론

제4차 산업혁명에 대한 관심이 뜨겁다. 현재 인류는 문명사적 대전환기(文明史的 大轉換期)에 서 있다고 할 만큼 많은 변화의 파고를 경험하고 있다. 특히 제4차 산업혁명은 생산·제조분야에서도 인터스트리 4.0의 모습으로 구체화 되어 나타나고 있다. 인터스트리 4.0은 기존의 공장과 ICT (Information Communication Technology)와의 융합을 통해 궁극적으로 스마트팩토리(Smart Factory) 구축을 지향한다. 우리나라 정부에서도 「제조업 3.0」 혁신정책에 따라 2020년까지 1만개의 스마트팩토리 구축을 목표로 하고 있다[1-2].

그러나 제4차 산업혁명이라는 거대한 시대적 조류 속에서 많은 제조공장들은 결국 스마트팩토리를 구축해야 하겠지만, 정작 기업들은 ‘무엇’(What)을 그리고 ‘어떻게’(How) 구축해야 하는지 잘 모르는 실정이다. 실제로 최근 중소기업중앙회 설문조사에 따르면 응답기업의 62%는 정부의 스마트팩토리 관련 정책에 대해 인지조차 하지 못하고 있는 것으로 나타났다[1-3]. 따라서, 이들을 위한 ‘무엇을’ 그리고 ‘어떻게’ 해야 하는지에 대한 현실적인 로드맵이 필요하다.

본 연구의 목적은 ‘스마트팩토리 구축 로드맵(roadmap)을 설계’하고자 한다. 그러나, 진정한 스마트팩토리 구축 로드맵은 단순한 학술적인 탐색색으로만 얻을 수는 없다. 왜냐하면 로드맵의 완성 자체도 어려울 뿐만 아니라, 완성된다 손치더라도 현실에서는 적용될 수 없는 ‘박제화된 로드맵’(a stuffed roadmap)이 될 것이기 때문이다.

이에, 본 연구에서는 산학협력을 통한 스마트팩토리 구축 로드맵을 설계하고자 한다. 아울러, 전세계적으로 스마트팩토리에 대한 높은 관심에도 불구하고, 아직까지 거시적(巨視的) 관점에서 체계화된 스마트팩토리 구축 로드맵과 관련된 연구가

제대로 없는 실정이다. 이에, 본 연구를 바탕으로 스마트팩토리와 관련한 학문적 연구를 주도할 선도적인 위치를 점유하고자 한다.

본 연구의 구성은 다음과 같다. 현재 스마트팩토리 관련 연구들이 매우 산발적(散發的)으로 이루어지고 있는 상황에서 우선 거시적인 관점으로 스마트팩토리에 대한 개념정립을 선제적으로 실시하고자 한다. 아울러, 전통적 제조시스템의 문제점에 대해 분석하고, 이를 바탕으로 실제적인 로드맵의 개발에 대한 제반 논의를 실시한다. 뿐만 아니라, 실제 사례들을 통해 설계된 로드맵을 적용해 봄으로써 연구의 실효성(實效性)을 높이고자 한다.

2. 이론적 배경

2.1 스마트팩토리 개념정립

스마트팩토리 구축은 이제 제조업의 생존을 위한 필수 조건 중 하나로 인식되고 있다[4]. 그러나, 스마트팩토리라는 용어 자체에 대해서는 친숙하지만, 스마트팩토리가 정확히 무엇인지에 대해서는 잘 모르고 있는 실정이다. 실제로 최근 중소기업중앙회의 조사에 따르면 많은 제조 기업들이 스마트팩토리가 정확히 무엇인지 모른다고 응답하였다[1-3]. 따라서 스마트팩토리에 대한 명확한 개념 정립이 먼저 선행되어야 한다.

우선 스마트팩토리는 기존에 없었던 완전히 새로운 개념이 아니라, 과거로부터 존재한 공장자동화(factory automation)의 연장선상에 있는 개념으로 볼 수 있다[5]. 즉, 생산시설을 무인화하고 관리를 자동화 한다는 점에서 공장자동화와 그 뿌리를 같이 하고 있다. 그러나, 스마트팩토리는 사람(people), 기계(machine), 프로세스(process)가

어우러져 생산기기와 생산품간 상호 소통체계를 구축하여 전체 생산 공정을 최적화, 효율화하고 산업 공정의 유연성과 성능을 새로운 차원으로 업그레이드한 팩토리를 궁극적으로 의미한다.

장에서 미래 상황에 대한 ‘예측’과 ‘대응’을 할 수 있게 되었다[5].

2.2 스마트팩토리 플랫폼 체계

스마트팩토리의 플랫폼 체계는 Fig. 1과 같다. 스마트팩토리 플랫폼 체계에 대한 이해는 상당히 중요하다. 이러한 이유는 한 눈에 스마트팩토리가 작동하는 체계, 즉 스마트팩토리 메커니즘(mechanism)에 대해 알 수 있기 때문이다.

구체적으로는 Fig. 1과 같이 각 기계장비에 내장된 임베디드 시스템을 통해 제조 및 생산관련 데이터들이 형성이 되고 이러한 데이터들이 모여 빅데이터를 만들게 되고 최종적으로 이러한 데이터들은 MES, PLM, EIP, ERP와 같은 제조 및 경영의사결정에까지 활용할 수 있게 된다.

바로 이러한 것이 스마트팩토리 플랫폼 체계이며 이로 인해 기존의 공장과는 달리 생산·제조현

2.3 스마트팩토리의 범위

스마트팩토리의 범위는 생산설비를 시스템으로 구현하기 위한 수직적 통합과 고객의 요구사항에 대한 제품 개발을 위해 제조공정에 대한 가치사슬(value chain)을 기반으로 하는 수평적 통합으로 나뉜다.

수직적 생산시스템 통합은 생산의 효율화 목표를 가지고 있으며 이를 위하여 제품이 완성되는 다양한 설비에서 센서 및 디바이스를 통하여 신호를 획득하고, PLC(Programmable Logic Controller) 및 HMI (Human Machine Interface) 등의 제어 기술을 통하여 설비를 제어하며, 생산 프로세스 관리를 위한 MES (Manufacturing Execution System) 와 창고관리를 위한 WMS (Warehouse Management System)를 거쳐 최상단에 위치한 ERP (Enterprise Resource Planning)까지 연동하는 개념이다.

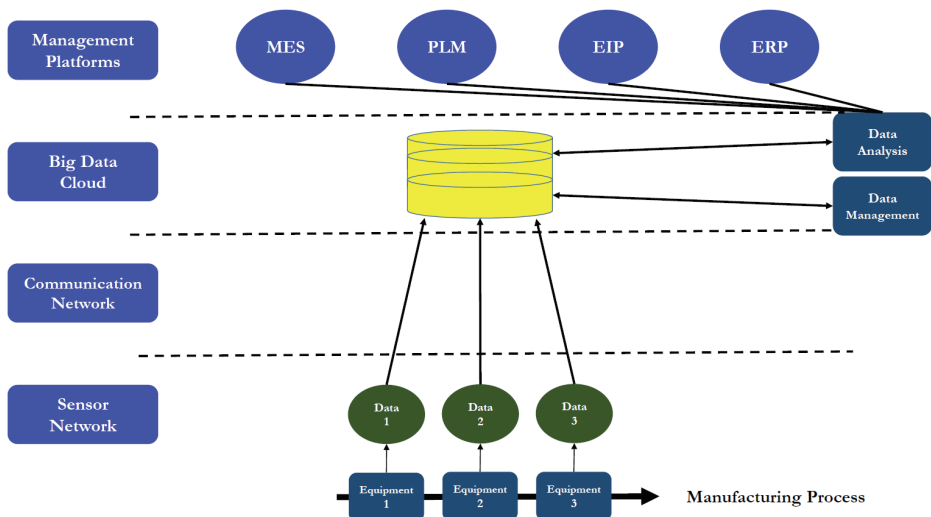


Fig. 1 The Platform of Smart Factory

(Source: Kim et al., 2013 [6])

한편, 수평적 가치사슬 통합은 고객이 원하는 요구사항을 도출하기 위한 시장조사 및 제품기획 단계를 거쳐, 고객의 요구사항을 충족시키기 위한 제품개발 R&D 단계 및 공정설계 후 제품을 생산하여 제품을 고객에게 전달하는 과정까지를 포함한다.

사실 지금까지의 공장자동화의 개념은 수직적 통합으로 공장과 제조에 한정되었으나 최근 고객 중심경영이 심화됨에 따라 수평적 통합으로 “Smart”의 범위는 확장되고 있다[7].

3. 스마트팩토리 로드맵 개발논의

3.1 전통적 제조시스템 운영 모델

스마트팩토리의 운영체제를 이해하기 위해서는 전통적 제조시스템을 운영모델을 먼저 정확히 이해할 필요가 있다. 그러한 이유는 전통적 제조시스템 운영모델에 대한 이해를 통해 생산수준의 단계와 특히 각 단계별로 어떠한 제조시스템을 근간으로 운영되어 왔는지에 대해 이해할 수 있기 때문이다[8].

전통적 제조시스템에서의 운영모델을 살펴보면 Fig. 2와 같다. 우선, 전통적 제조시스템 운영모델은 하위 Level 0에서 상위 Level 5단계로 구분된다. Level 0에서는 제조현장에서 발생하는 실제적인 생산을 수행하는 공정으로써 생산설비 및 인력만 투입되는 최하위의 레벨을 말한다.

Level 1에서는 감시 및 조종단계로서 생산공정 수행과 관련한 신호발생 및 데이터 수집(Data Collection)을 하며 생산 공정 조작을 위한 조치 신호가 제공되는 단계이다. 이 단계에서는 PLC 등의 시스템이 사용된다.

Level 2는 제어 및 모니터링 단계로서 생산 공정을 모니터링하고 제어할 수 있는 단계이다.

이 단계에서는 SCADA, HMI 등의 시스템이 사용된다. Level 3은 제조운영관리 단계로서 비로소 이 단계에서부터 보다 정교하게 분화되어 생산 공정이 이루어진다. 예를 들어, 생산기준, 생산실적, 생산스케줄 등 제품생산을 위해 필요한 정보의 관리가 이루어지며 생산, 물류, 품질, 설비, 구매 등 제조거점 운영에 필요한 업무모니터링 및 실행이 이루어진다. 이 단계에서 사용되는 대표적 시스템은 MES, WMS, QMS, FDC, RTD 등이 있다.

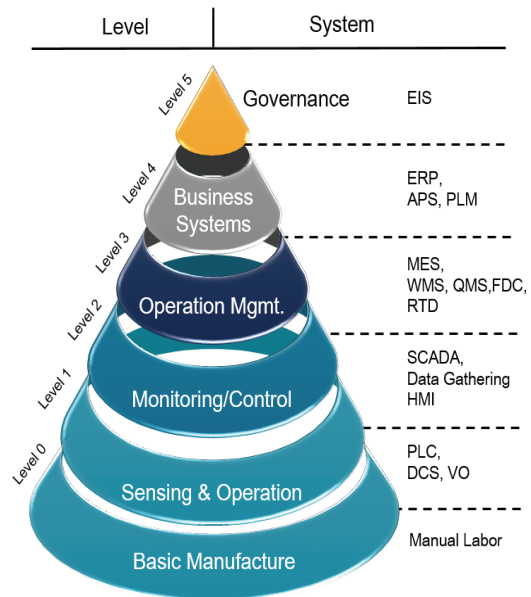


Fig. 2 Traditional Manufacture Model

(Source: Deloitte 2016 [9])

한편, 지금까지 Level 0~Level 3까지는 주로 공정 지향적인 단계였다면 Level 4~Level 5는 고객지향적인 단계라고 할 수 있다.

이를 구체적으로 살펴보면 Level 4는 비즈니스 시스템 단계로서 재무, 원가, 영업, 계발, 물류, 생산, 구매 등 회사 운영에 필요한 기능단위, 전사

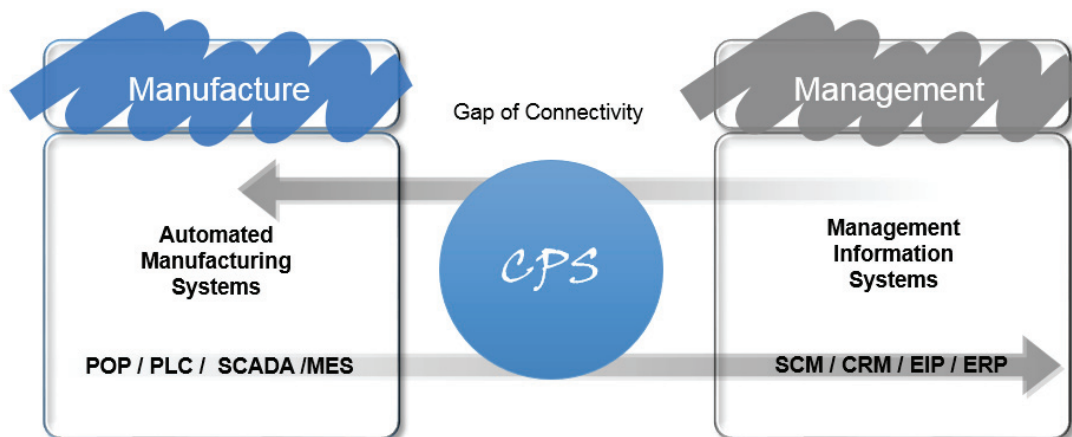


Fig. 3 The Role of Cyber-Physical Systems

적 차원에서 관리되는 자원을 운영 관리하는 단계를 말한다. 이 단계에서 비로소 ERP, PLM 등이 사용된다.

마지막으로 Level 5는 거버넌스/기획 시스템 단계로서 신사업 개발 및 전사적 지원 그리고 현금 운영 계획, 제품운용계획 등 전략 수립적차원의

레벨로서 장기적 의사지원을 위한 정보를 운용하고 관리하는 단계를 말한다. 이 단계에서는 EIS 등의 시스템까지 사용될 수 있다.

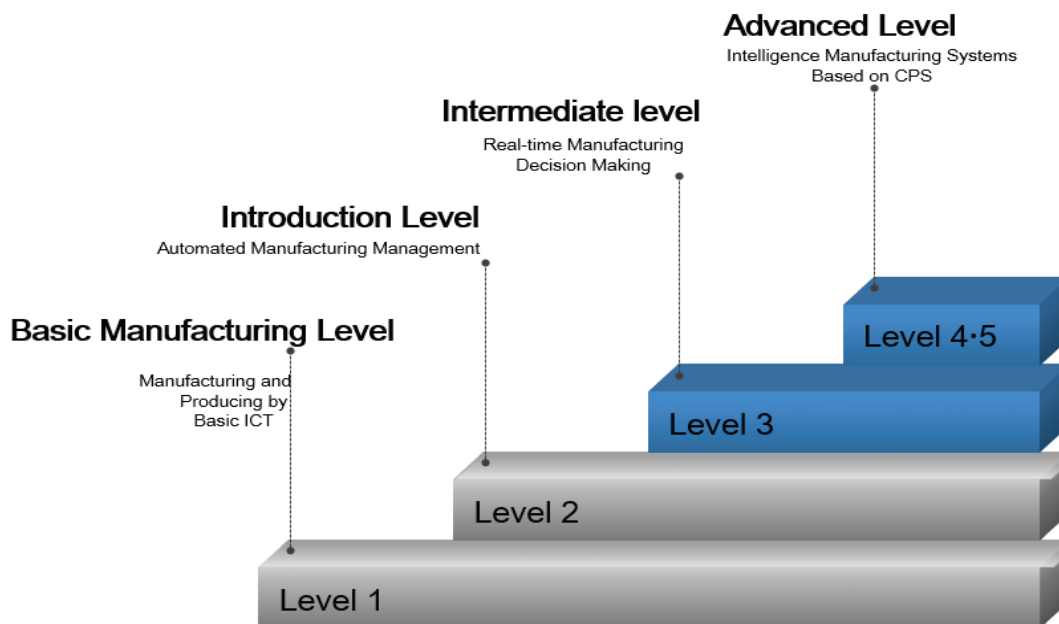


Fig. 4 Designing Prototype of Smart Factory Development

3.2 전통적 제조시스템의 문제점

비록 지금까지 제조 및 생산은 전통적 제조시스템의 바탕 하에서 이루어져 왔지만 이러한 운영 모델에는 치명적인 문제점이 있다. 그것은 바로 제조운영시스템과 비즈니스 시스템과의 ‘단절(斷絶)’이라는 한계를 가지고 있다. 말하자면, 제조운영시스템은 제조운영시스템 대로만 운영되어져 왔고, 비즈니스 시스템은 비즈니스 시스템 대로만 운영되어 왔다. 즉, Fig. 3과 같은 제조운영시스템과 비즈니스 시스템 사이에 ‘연결성의 갭’(Connectivity Gap) 문제가 존재해 왔다[10].

진정한 스마트팩토리를 구현하기 위해서는 제조시스템과 비즈니스 운영시스템 간의 ‘연계’가 반드시 필요하다. 즉, 제조운영시스템과 비즈니스 운영시스템 사이에 갭을 이어줄 ‘무엇’인가가 필요한데 이를 위해 최근에 등장한 개념이 바로 CPS (Cyber-Physical Systems)이다. 말하자면, 제조운영시스템은 필연적으로 자동화 기반 CPS 체제로 나아가야 하며, CPS는 스마트팩토리의 궁극적인 모델이라 할 수 있다. 말하자면, CPS가 구축될 때 진정한 스마트팩토리가 실현될 수 있다[11].

4. 연구방법

본 연구의 궁극적인 목표는 ‘스마트팩토리 로드맵 설계’이다. 본 연구의 차별성은 기존의 연구들의 경우, 학문적으로만 접근하는 우(憂)를 범하고 있기 때문에, 현실세계에서 적용가능한 실제적인 로드맵 설계를 도출하고자 한다.

이를 위해 다음과 같은 산학협력을 통한 연구방법을 시도하였다. 산학협력을 통한 접근을 시도하게 된 것은 학계와 산업전문가들의 융합을 통해

보다 체계적이면서도 실제적인 스마트팩토리 구축 로드맵을 설계할 수 있기 때문이다.

학계전문가들의 경우 스마트팩토리과 관련해 체계적인 이론을 정립한 강점이 있으며 산업전문가들의 경우 실제 현장에서 스마트팩토리를 구축하는데에서 축적된 귀중한 현업에서의 경험을 갖고 있다.

구체적인 구성은 다음과 같다. 현재 스마트팩토리과 관련해 활발한 연구를 수행하고 있는 학계전문가 5인과 스마트팩토리 구축 경험이 풍부한 산업현장전문가 5인을 ‘전문가 패널그룹(experts panel group)’을 구성하였다.

구성된 전문가 패널그룹을 통해 다음과 같이 진행되었다.

첫째, 학계전문가 그룹을 중심으로 스마트팩토리 로드맵 원형(元型, prototype)설계를 실시하였다. 구체적으로는 스마트팩토리 분야 학계전문가들을 대상으로 전통적 생산·제조시스템 운영 모델의 문제점에 대한 논의를 집중적으로 실시하고 이를 통해 스마트팩토리 수준별 플랫폼 원형 설계하였다.

둘째, 학계전문가 그룹과 산업현장전문가 그룹이 동시에 참여하여 스마트팩토리 로드맵 세부설계를 완료하였다.

셋째, 완성된 스마트팩토리 로드맵 세부설계를 바탕으로 실제 기업사례에 적용시켜 실효성 검증(實效性 檢證)을 실시하였다.

5. 스마트팩토리 원형(元型)설계

본 연구에서는 우선 스마트팩토리 분야 학계전문가들을 대상으로 Fig. 4와 같은 스마트팩토리 수준별 플랫폼 원형(元型, prototype) 설계하고 제안하였다.

스마트팩토리 수준별 플랫폼 원형을 구체적으로 살펴보면 다음과 같다.

첫째, Level 0 단계로서, ICT가 생산공정에 전혀 적용되지 않고 대부분의 공정이 기본적으로 수작업으로 이루어지고 공급사슬관리도 전화와 FAX 그리고 이메일 협업 정도만으로 이루어지는 원시적 단계를 말한다.

둘째, Level 1 단계로서 ICT를 활용해 아날로그 수준의 생산데이터를 디지털화하는 단계를 말한다. 이 단계부터는 아주 기초적인 수준이지만 스마트팩토리 초기 단계라고 할 수 있다. 이를 구체적으로 살펴보면 현장자동화는 실적집계 자동화를 통해 이루어지며 공장운영은 공장물류관리(POP)시스템을 통해 이루어진다. 한편, 제품개발은 CAD를 사용해 프로젝트관리가 이루어진다. 비록 스마트팩토리 구축단계로 들어가나 아직 초기 단계이다.

셋째, Level 2 단계로서 디지털 정보가 실시간으로 수집 및 분석되어 그 결과가 제품개발, 생산, 유통, 물류 각 단계에 공유되는 수준을 말한다. 구체적으로 이 단계는 설비데이터를 자동집계하며 실시간 의사결정이 가능하다. 이를 바탕으로 다품종 생산이 가능한 단계를 말한다.

넷째, Level 3 단계로서 수집 분석된 정보를 통해 생산공정에서의 문제 원인과 수습책을 스스로 판단하고 실시간으로 제어가 가능한 수준을 말한다. 이 단계에서는 비로소 실시간으로 공정제어가 가능하며 이는 스마트팩토리 구축단계에서 큰 의미를 가지게 된다. 즉, 스마트팩토리의 진정한 면모가 어느 정도 갖추게 되는 단계를 말한다.

다섯째, Level 4·5 단계로서 사물 인터넷(IoT)과 CPS(Cyber-Physical Systems)을 기반으로 한 완전한 지능형 공장으로서 구현되는 스마트팩토리의 궁극의 목표이다. 이를 구체적으로 살펴보면 IoT/IoS를 바탕으로 CPS가 구축되어 빅 데이터를

기반으로 한 설계, 개발가상 시뮬레이션 스마트팩토리가 지향하는 ‘궁극의 단계’이다. 또한, 인터넷 공간상에서 CPS네트워크를 통한 고객과의 협업이 가능하다. 이를 정리하면 다음과 같다.

- 1) Basic Level : 아날로그 수준의 생산데이터를 디지털화하는 단계
- 2) Introduction Level: 디지털정보가 실시간으로 수집·분석되어 그 결과가 제품개발, 생산, 유통, 물류 각 단계에 공유되는 수준
- 3) Intermediate Level : 수집분석된 정보를 통해 문제원인과 수습책을 스스로 판단하고 실시간으로 제어가 가능한 수준으로 공장에서 협력사까지 공유되는 수준
- 4) Advanced Level: 사물 인터넷과 CPS를 기반으로 한 완전한 지능형 공장으로써 미래에 구현되는 기술

이와 같이 본 연구에서는 구체화된 로드맵을 구현하기 위한 사전단계로서 학계전문가를 대상으로 스마트팩토리 구축 로드맵을 원형을 제시하였다. 한편, 본격적인단계로서 스마트팩토리 관련 학계 및 산업현장 전문가들이 참여한 전문가 패널그룹을 통해 세부 스마트팩토리 구축 로드맵을 최종 제안하였다.

6. 스마트팩토리 세부 로드맵 설계

스마트팩토리 로드맵 세부설계를 제시하기 위해 우선 제품을 생산하고 공장을 운영하는데 있어서 스마트팩토리 구축과 연관된 영역을 설정하였다. Fig. 5와 같이, 스마트팩토리 구축 관련 영역은 제조자동화(manufacturing automation), 전체 공장자동화(factory operation), 그리고 제품개발

(production), 공급사슬관리(supply chain management) 및 기업자원관리(enterprise resource planning)으로 구분 될 수 있다.

이러한 것을 기본 프레임웍으로 삼고, 스마트팩토리 로드맵 세부설계를 진행하였다. 본 연구를 통해 제시된 스마트팩토리 구축 로드맵 세부설계는 개별 기업 수준에 적합한 스마트공장의 구축에 활용하기 위하여 설계하였다. 특히 기업 역량에 따라 점진적으로 효과적인 스마트화를 진행하는 것을 염두하여 스마트팩토리의 수준을 세부적으로 기술하고 분류하여 설계하였다.

본 연구에서 제안된 로드맵 세부설계는 현재 기업 및 공장의 스마트화 수준을 확인하는 잣대로 활용될 수 있으며, 향후 스마트화를 위한 방향성을 제시할 수 있는 지표로 사용될 수 있다.

6.1 세부로드맵

1) Level 0

기본적으로 아주 원시적인 형태의 생산시스템으로서 기본적으로 수작업으로 모든 생산공정을 진행하는 수준의 단계를 말한다.

Level 0 단계에서는 거의 대부분의 공정이 수작업에 의존하게 되는 수준을 말한다.

예를 들어 생산 자동화 및 공장운영도 수작업 형태로 진행되며, 생산자체도 수작업으로 이루어지는 단계를 말한다. 다만, 공급사슬관리 부분의 경우, 타사와의 협업은 기본적인 ICT의 형태인 전

화, FAX, 그리고 이메일 등으로 이용하여 처리한다. 한편, 제조 및 경영활동과 관련한 기업자원관리는 수작업이나 아주 기초적인 경영관리 S/W 프로그램을 이용해 관리되는 수준을 말한다.

2) Level 1

기초적인 ICT를 활용하여 생산 일부 분야에 국한하여 생산 및 제조관련 정보를 수집 및 활용하고 최소비용으로 자사의 정보시스템을 구축하는 수준의 단계를 말한다.

Level 1단계에서는 비로소 컴퓨터 제조·생산 시스템이 도입되어 생산 및 제조관련 정보를 수집하고 이를 활용하여 최소의 비용으로 자사의 제조 및 생산 정보시스템을 구축하는 수준을 말한다. 구체적으로, 생산자동화 측면으로는 바코드, 카운터, 타이머 등의 생산기초센서를 활용하여 롯데별 생산실적정보집계의 자동화가 가능하다. 또한 공장운영측면으로는 비로소 POP(Point of Production), 즉 공정물류관리가 가능하다. POP를 통한 생산실적관리 및 자재관리가 가능하고 제품생산이력에 대한 조회 뿐만 아니라 역추적도 가능한 상태를 말한다.

한편, 생산개발측면으로는 2D, 3D, CAD 등으로 기술정보 및 납기일정관리가 서버(Sever)를 통해 관리될 수 있는 수준을 말하며, 공급관리사슬 측면으로는 자사의 SCM 시스템은 아직 구축되지 않고 상위 협업기업의 SCM 시스템을 활용하여 공급사슬관리 활동이 현실적으로 진행되고 있는 상태를 말한다.



Fig. 5 The Relative Area for Building Smart Factory

마지막으로, 기업자원관리 측면으로는 수작업 형태에서 벗어나 재고관리 및 수불관리가 비로소 컴퓨터 시스템 등으로 관리되는 수준을 말한다.

3) Level 2

생산설비과정을 최대한 자동화를 지향하고 연관 타 기업과의 자동화를 바탕으로 협력시스템 구축할 수 있는 단계를 말한다.

Level 2 단계에서는 전 생산공정에 대한 생산 설비과정을 최대한 자동화를 지향하고 아직 본격적은 아니나 연관 타 기업과의 자동화를 바탕으로 기초적인 협력시스템 구축할 수 있는 단계를 말한다.

구체적으로, 생산자동화 측면으로는 생산실적 및 계측정보 집계가 자동적으로 가능한 수준을 말한다. 예를 들어, 하루에 얼마나 생산되었는가에 대한 자동적인 생산실적 정보가 집계가 되며, 특히 생산·제조 과정에서 발생하는 압력, 온도, 습도, 인장강도, 정밀도, 화학측정 등을 통해 계측 정보가 자동적으로 집계가능한 상태를 말한다. 이

러한 생산실적 정보 및 계측정보는 향후 빅데이터를 이용한 자동공정화에 아주 중요한 정보제공의 단초가 된다.

공장운영적인 측면으로는, 비로소 Level 2단계에서 실시간(real time) 품질분석 및 생산의사결정이 실현되는 수준을 말한다. 예를 들어, 전체 공장운영상태에 대한 실시간 모니터링을 통해 실시간 공장품질분석이 가능하여 궁극적으로 실시간 생산의사결정이 가능한 단계를 말한다.

제품생산측면으로는, 제품개발관련 자동화 설비 프로그램 구축 및 타사 시스템 연계 가능 수준을 말하는데, 구체적으로 3D, CAD, CAM, CAE, CAPP 등을 활용한 다양한 자동화 설비프로그램 구축되고, 개발스케줄링이 WBS, BOM, 3D Model, ERP 등과 연계되는 수준을 말한다.

한편, 공급사슬관리측면으로는, 독립형 협업이 가능한 수준으로서 상위협업기업과 영업 및 품질과 관련한 생산정보는 공유할 수 있지만 완전하게 상호간 유기적으로 연결되어 업데이트되는 시스템

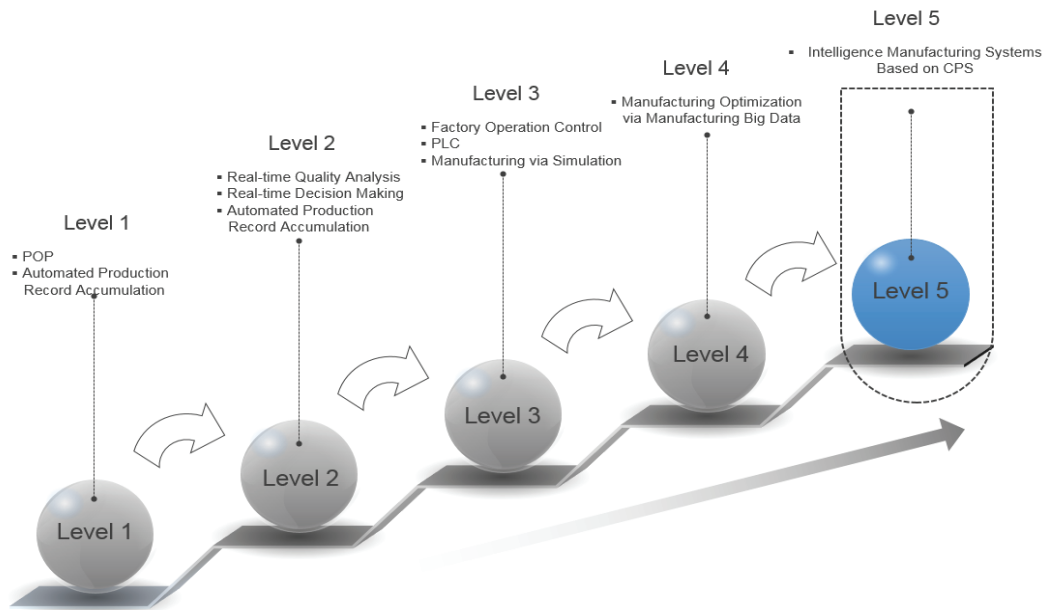


Fig. 6 The Developmental Roadmap of Smart Factory

은 아니며 아직까지는 독립적으로 운영하는 단계를 말한다.

마지막으로, 기업자원관리 측면으로는 생산계획 및 생산원가산출 가능한 수준을 말한다. 구체적으로는, Level 2단계에서는 생산계획을 수립할 수 있으며 생산원가에 대한 산출이 시스템을 통해 도출할 수 있는 수준을 말한다.

4) Level 3

Level 3에서는 자동적으로 기계설비제어가 가능한 PLC가 구축이 되고, 특히 실시간 품질분석 및 생산의사결정이 가능할 뿐만 아니라, 전체 공장운영에 대한 제어가 가능한 수준에 도달하는 단계를 말한다. 또한 전체 공장운영의 주기적 분석과 피드백이 가능하게 되어 가치창출형 공장(value-created factory) 운영이 가능하게 되어 비로소 초기적인 형태의 스마트팩토리로서의 모습을 갖추게 되는 수준을 말한다.

생산자동화 측면으로는 생산실적 및 계측정보 집계의 자동화 가능 수준에 도달하고, 특히 기계설비 제어 자동화 가능 수준이 되어 PLC가 구축되는 수준을 말한다.

공장운영 측면으로는, 특히 실시간(real-time) 품질분석 및 생산의사결정 기능이 가능할 뿐만 아니라, 전체 공장운영 제어 가능 수준한 수준으로서 전체 공장운영의 주기적 분석이 가능하고 피드백을 통한 궁극적으로는 가치창출형 공장으로서 운영 가능 수준을 말한다.

한편, 생산개발측면으로는 기존의 수준과는 확연한 차이를 이루게 되는데, 예를 들어, 대시보드를 통한 제품생산 공정의 시각화 가능 수준이 되어 시뮬레이션 기반 생산 가능한 수준까지 갖추게 된다. 즉, 기존의 단계에서는 실제 물리적인 시제품 생산을 통해 불필요한 자원 및 에너지의 소요 등의 부작용을 낳게 되었는데, 이 단계에서부터

비로소 시뮬레이션을 통한 제품생산의 시각화가 달성하게 되어 불필요한 손실(loss)을 줄일 수 있게 되어 스마트팩토리로서의 형태를 갖추는 단계를 말한다. 뿐만 아니라, 프로젝트 포트폴리오 및 프로세스 등이 시스템에서 관리 가능 수준의 형태를 띄게 된다.

그러나, 공급사슬관리적인 측면으로는 상위협업 기업과 영업 및 품질과 관련한 생산정보는 공유할 수 있지만 여전히 완전하게 상호간 유기적으로 연결되어 업데이트되는 시스템은 아니며 아직까지는 독립적으로 운영하는 단계를 말한다.

마지막으로 기업자원관리 측면으로는 비로소 KPI(key performance indicator)를 생성할 수 있게 되어 운영 가능수준을 말한다. 이러한 KPI의 생성은 향후 생산제조 활동 뿐만 아니라 기업경영 활동에 중요한 정보들을 제공하게 된다.

5) Level 4

IoT/IoS를 기반으로 기계, 생산기술, 기업자원관리 간의 실시간 연동체제가 구축되어 비로소 빅데이터 분석을 이용한 기업진단 및 운영 최적화가 달성할 수 있는 단계

Level 4는 스마트팩토리 구축의 상급에 속하는 단계로서, 드디어 IoT/IoS를 기반으로 기계, 생산기술, 기업자원관리 간의 실시간 연동체제가 구축되어 비로소 빅데이터 분석을 이용한 기업진단 및 운영 최적화가 달성할 수 있는 단계를 말한다.

생산자동화 측면에서는 IP를 이용한 기계설비 식별과 기계설비간 유기적 연계를 통한 자동화가 가능하게 되어 각각의 기계설비에 고유식별자 부여 및 상호활동에 대해 식별가능한 상태를 말한다. 이러한 정보는 빅데이터 기반 공장운영에 큰 기반을 다지게 된다.

한편, 공장운영 및 제품개발 기업자원관리 측면으로의 가장 큰 특징으로는 IoT/IoS를 기반으로

한 가상 환경에서의 공장운영이 가능하여 이를 기반으로한 생산제조 정보의 빅데이터 구축으로 공장운영의 최적화를 실현할 수 있는 단계를 말한다. 또한 이를 통한 공장 및 기업 진단이 가능하고 향후 신제품개발에도 적극적으로 활용될 수 있는 단계를 말한다.

공급사슬관리 측면으로는 비로소 기존의 독립적 협업시스템에서 벗어나 타사와 적극적으로 협력하는 생산 전 공정에 대한 인터넷 기반 공급사슬관리 가능한 수준을 말한다.

6) Level 5

궁극적으로 CPS(cyber-physical systems)가 구축되고 운영될 수 있는 단계를 말한다. IoT/IIoT를 기반으로 시물레이션(설비, 공정, 전체공장운영 및 제어) 구현이 자유롭고 제조정보시스템과 기업정보시스템이 결합하여 사이버상에서 운영 및 제어가 가능한 이상적 수준의 단계를 말한다.

말하자면 Level 5에서는 비로소 스마트팩토리의 궁극적인 목표인 CPS기반 생산 및 제조활동이 가능하다. 뿐만 아니라, CPS기반으로 한 공급사슬관리 활동 뿐만 아니라 기업자원관리 활동까지도 실현되는 수준을 말한다. 기존의 방식은 제조·생산시스템과 경영정보시스템은 안타깝게도 개별적으로 별개의 시스템들로 운영이 되어 진정한 상호시너지의 효과를 낼 수 없었다. 그러나, CPS기반 생산 및 제조활동이 가능하게 되어 비로소 제조 및 경영의 통합이 가능한 진정한 의미에서의 스마트팩토리 운영이 가능하게 된 수준을 말한다.

이상과 같이 논의된 스마트팩토리 구축 세부 로드맵은 Fig. 6과 같이 요약될 수 있다.

7. 로드맵 적용사례: 활용 및 진단

본 연구에서는 스마트팩토리 구축 로드맵 설계라는 일차적인 목적을 달성하였지만 실효성 검증이라는 차원으로 본 연구에서 제시한 로드맵을 활용하여 각 개별 기업이나 공장의 현재 스마트팩토리 구축상태를 가늠해 보고, 향후 어느 방향으로 나아가야 하는지에 대한 지표(指標)로 삼고자 한다.

본 연구에서 사용하고자 하는 사례는 본 연구자가 기존에 진행하였던 “인더스트리 4.0시대의 스마트 팩토리 성공 사례 분석: 국내 대·중·소 기업을 대상으로” 관련사례들을 샘플사례로 선정 및 일부 수정 및 발췌하였음을 분명히 밝힌다.

이러한 사례들을 본 연구에서 활용하는 이유는 현 시점에서 스마트팩토리 사례분석과 관련해 체계적으로 연구한 연구들이 소수에 불과한 실정이며, 특히 이러한 샘플사례들을 분석기반으로 하여, 기존기업들의 현실적인 상황들에 대한 이해를 통해 현재 스마트팩토리 구축정도가 어느 정도인지 직접적으로 가늠해 보고, 앞으로 어떤 단계로 나아가야 하는지에 대한 실제적인 지표로 활용할 수 있는 학문적인 유용성이 존재하기 때문이다.

이러한 접근은 본 연구의 결과를 더욱 유용하게 활용할 수 있으며 이를 통해 본 연구의 가치를 더욱 높일 수 있을 것으로 사료 된다

7.1 소형기업사례 - (주)새한진공열처리

1) 회사 상황

새한진공열처리사는 종합열처리 회사이다. 직원은 30명 내외로 구성된 소형기업이라 할 수 있다. 이 회사는 특히 고온이나 초냉각에 견디는 정밀금형기계를 주로 제조하고 있다.

새한진공열처리사의 주된 문제는 원가압박, 빈

변하게 발생하는 불량품, 예측 불가능한 주문 등으로 인해 경영상의 큰 어려움을 겪었다. 운영상의 실정으로는 수주, 생산, 납품에 이르기까지 모든 것이 수기로 이루어지고 있었고, 특히 중소기업의 특성상 국내인력의 근무기피로 늘어난 외국인 근로자와는 커뮤니케이션이 제대로 이루어지지 않았다. 이것이 문제가 되는 이유로는, 커뮤니케이션이 제대로 되지 않아 근로자별 작업추적은 물론 불량량의 원인을 제대로 추적할 수 없었다.

또한, 가장 큰 경영상의 문제점으로는 매년 3억 원 이상의 높은 전기세가 발생하였으며 이러한 전기세는 제조원가의 30~40%나 차지하게 되었다. 그러나, 예측 불가능한 주문 현실때문에 전력피크 타임을 피한 합리적인 생산 스케줄을 계획할 수 없었다. 이러한 상황에서 속에서 새한진공열처리사는 산업통상자원부의 스마트팩토리 보급·확산 사업에 참여하여 약 5개월에 걸쳐 스마트팩토리를 구축하게 되었다.

2) 스마트팩토리 구축 현황 및 효과

새한진공열처리사의 스마트팩토리 프로세스 구축은 다음과 같은 단계로 진행되었다. 첫째, 스마트팩토리를 구축하여 수주 과정을 혁신할 수 있었다. 과거에는 주로 수기로 주문받고 작업지시서도 종이서류로 작성하였지만, 스마트팩토리 구축이후 영업사원이 외부에서 스마트폰을 통해 직접 주문을 입력하고 시스템으로 예측된 납기약속도 할 수 있게 되면서 결과적으로 고객들의 협력사에 대한 신뢰도가 높아지게 되었다.

둘째, 체계적인 생산관리와 작업 스케줄링 시스템을 구축됨으로써 생산과정에 대한 이력을 한 눈에 볼 수 있게 되었다, 이를 통해 언제 어디서나 실시간으로 주문에 대한 이행률을 확인할 수 있게 되었다. 아울러, 문제 발생과 위험요인을 사전에 감지할 수 있게 되었다. 특히, 불량 감지가 어려

웠던 기존의 공정에서는 고객사로부터 역올하게 클레임을 당하는 경우가 많았다. 그러나, 스마트팩토리 구축 이후로는 실시간 검사능력이 높아져서 고객의 클레임을 제로 수준까지 낮출 수 있게 되었다. 또한 경영자가 스마트폰을 이용해 직원들의 작업 정보를 실시간으로 확인할 수 있는 획기적인 변화가 있게 되었다.

셋째, 새롭게 구축된 전력관리시스템은 전력소비량을 직접적으로 모니터링 할 수 있게 되었다. 구체적으로는 소비전력데이터를 받아서 통계 처리한 다음, 전기요금과 생산일정을 연계하는 알고리즘을 활용하여 전기요금을 최소화할 수 있는 생산 스케줄을 수립할 수 있었다.

3) 스마트팩토리 수준진단

현재, 새한진공열처리사의 스마트팩토리 구축 수준은 본 연구에서 제시한 ‘스마트팩토리 구축 로드맵’에 의거하여 Level 1 혹은 Level 1에서 Level 2로 가는 과도기로 진단할 수 있다. 기존의 수작업 주문접수 형식에서 벗어나 디지털화를 꾀하였고, 생산관리와 작업스케줄링 시스템 구축을 통해 생산과정에 대한 이력을 볼 수 있게 되어 이 수준으로 진단할 수 있다. 향후 새한진공열처리사는 Level 2의 수준의 스마트팩토리를 보다 탄탄히 구축하고, 궁극적으로 Level 3 구축 수준단계로 나아가야 한다.

7.2 중형기업사례 - (주)현대하이텍

1) 회사 상황

현대하이텍은 현대·기아자동차의 1차 협력업체로서 자동차용 강판 생산 및 조립을 담당하는 중형기업이다. 현대하이텍은 주로 쏘울(Soul)과 뉴 카렌스(New Carens) 모델의 엔진 룸과 차량 실

내 격벽 그리고 문 안쪽의 강판을 생산하고 있다. 특히 현대하이텍은 매일 1,000대 분 이상의 강판을 용접한 구조물을 만든다.

그러나, 놀랍게도 스마트 팩토리 구축 이전에는 이러한 모든 과정을 일일이 손으로 이동해 생산기계의 수리나 세척을 하였고 특히, 생산기계의 교체시기를 놓치는 일이 많아 불량품이 자주 양산되었다[13].

2) 스마트팩토리 구축 현황 및 효과

가장 눈에 띄는 변화로서는 첫째, 기존의 일일이 수기로 처리했던 프로세스 공정이 스마트팩토리 구축을 통해 자동적으로 처리되게 되었다. 예를 들어, 프레스 기계 옆 모니터 상에서 현재까지 생산된 강판의 수량이 자동적으로 표시하게 되었으며 대형 프레스 기계가 철판을 몇 개를 찍으면 날이 무더져서 금형을 수리해야 하는지, 금형에 묻은 이물질이 닦아줘야 하는지가 표시되게 되었다. 이러한 관련 정보가 중요한 이유는 기존 공정에서는 프레스 기계의 수리, 세척, 교체시기를 놓쳐서 기초 공정에서 많은 불량품이 발생되었기 때문이다.

둘째 자동차용 강판을 다른 강판과 용접하여 하나의 구조물로 만드는데, 용접 공정에서 수많은 실측정보 센서가 감지하여 용접상태를 실시간으로 감시할 수 있게 되었다. 이 과정에서도 모니터링 되어 용접이 잘 되지 않는 부분은 빨간색으로 표시되어 문제발생 부분을 즉각적으로 알 수 있게 되었다.

3) 스마트팩토리 수준진단

사실 현대하이텍은 중형기업치고는 스마트팩토리 구축상태가 매우 낮은 수준인 것으로 평가할 수 있다. 바로 이러한 모습이 현재 우리나라 스마트팩토리 구축의 단면(斷面)이라 할 수 있다.

결론적으로, 현대하이텍의 스마트팩토리 구축수준은 Level 2 단계로 진단할 수 있다. 이러한 이유는 현재 생산 실적 및 계측정보 집계의 자동화 수준이 가능하기 때문이다. 구체적으로 현재 생산 실적이 자동적으로 집계 가능할 뿐만 아니라, 다양한 측정센서(압력, 온도, 습도, 인장강도, 정밀도, 화학측정 등)를 이용하여 계측정보가 자동적으로 집계 가능한 상태이기 때문이다.

현대하이텍은 아직 스마트팩토리 구축 초기 혹은 도입단계 정도로 자사의 구축정도를 냉정하게 인식하고 Level 3 혹은 Level 4 이상의 단계로 나아가 수 있도록 다양한 노력의 방법을 모색해야 한다.

7.3 대기업사례 - 포스코 (POSCO)

1) 회사 상황

세계 굴지의 철강회사인 포스코(POSCO)는 국내 대기업중에서 스마트 팩토리 구축에 가장 적극적인 기업이다[14-15]. 포스코는 24시간 고온 쇳물이 쏟아져 나오고 거대한 연속적인 설비공정으로 연결되어 있어 IT 기술을 쉽게 적용하기 어려운 특성을 갖고 있었다. 이에, 포스코가 추구하는 스마트 팩토리는 사람, 디바이스, 설비가 상호 유기적으로 연결되어 설비고장, 품질불량, 안전재해, 그리고 잉여재고가 없는 공장구축을 궁극적인 목표로 설정하였다. 또한 연속공정상에서 조업 및 품질 그리고 설비 데이터를 수집 및 분석하여 품질 불량 발생 여부와 원인을 실시간으로 추적할 수 있는 시스템의 구축을 목표로 하고 스마트팩토리 구축을 추진하였다.

2) 스마트팩토리 구축 현황 및 효과

우선, 포스코는 2015년 5월 광양제철소 후판 공장을 스마트팩토리 시범공장으로 선정한 후 태

스크포스팀을 구성하였다. 구체적으로 테스크포스팀에서는 과거의 라인생산 방식에서 벗어나 생산 데이터를 기반으로 한 셀(cell) 생산 방식을 정립하여 제철공정에 적용가능한 표준모델을 개발해 세계최고 수준의 스마트한 제조현장을 구현하였다. 구체적인 예시로서는 다음과 같다.

첫째, 통합관제센터에서는 IoT를 통해 원료의 이동과 제선, 제강, 연주, 압연, 그리고 운송과정에서 발생된 데이터를 취합하고 모니터링 한다. 즉, IoT 기술을 이용해 설비와 기계들이 스스로 정보를 주고 받으며 전체 설비동작상태를 한 눈에 파악할 수 있게 하였다.

둘째, SDD(소프트웨어 설계명세서)를 활용하여 철강 표면 품질측정기술을 이용해 최대 초당 1,800m로 진행되는 철강표면결함을 스캐닝하여 결함의 위치와 종류를 식별하고, 이를 로봇을 통해 실시간으로 보수처리하고 있다.

셋째, 3D Virtual Factory를 활용한 신제품 개발 시뮬레이션이 가능하도록 구축하였다. 즉, 가상 공장에 3D 기술로 설비를 세우고, 포스코 노하우가 집결된 첨단 제어알고리즘과 공정기술을 접목하여, 신제품 시험생산을 사이버 상에서 생산할 수 있도록 개발하고 있다.

마지막으로, 드론을 활용한 원자재 측정작업을 실시하고 있다. 예를 들어, 드론이 30만평 규모의 야외 연료 야적장을 비행하여 3D 영상촬영을 통해 원료 재고량을 파악하여, 원료수급시기를 과학적으로 예측한다. 또한 원료를 소프트웨어 알고리즘을 활용해 거대한 크레인을 무인으로 통제하여 최적의 위치에 적재하고 최단 거리를 예측하여 출하위치를 이동시키고 있다.

3) 스마트팩토리 수준진단

포스코의 스마트팩토리 구축 정도는 상당히 높은 수준이다. 실제로 포스코는 우리나라에서 뿐만

아니라 현재 세계적으로 스마트팩토리 구축을 적극적으로 추진하고 있는 선두 기업 중 하나로 평가받고 있다.

현재, 포스코는 IoT/IoS 등을 통해 원료의 이동과 제선, 제강, 연주, 압연, 그리고 운송과정에서 발생된 데이터를 취합하고 모니터링 할 수 있는 단계이다. 뿐만 아니라, IoT/IoS 기술을 이용해 설비와 기계들이 스스로 정보를 주고 받으며 전체 설비동작상태를 한 눈에 파악할 수 있는 등 스마트팩토리 구축에 있어서 고도화 단계로 진단 내릴 수 있다.

결론적으로 포스코의 스마트팩토리 구축단계는 Level 4 단계로서 현재 진단할 수 있으며 궁극적으로 포스코는 완전한 CPS 시스템의 구축을 통해 세계적인 스마트팩토리 기업으로 자리매김해야 할 것이다.

8. 결론 및 활용

최근 제4차 산업혁명에 대한 관심이 크게 고조되고 있다. 이러한 시대적 조류 속에 생산 및 제조현장에서 스마트팩토리 구축이 시급하다. 그러나, 안타까운 현실은 대부분의 기업이 스마트팩토리 구축의 필요성은 깊이 공감하면서도 무엇을, 어떻게 해야 할지 잘 모르는 실정이다.

이에 따라, 본 연구에서는 현재 스마트팩토리의 구축수준을 진단(diagnosis)하고 어떠한 방향(direction)으로 가야하는지 알 수 있도록 ‘스마트팩토리 구축 로드맵’을 설계 하였다.

본 연구는 다음과 같이 세 가지 측면으로 활용될 수 있다.

첫째, 본 연구를 바탕으로 현재 자사의 스마트팩토리 구축 수준이 어느 정도인지를 기술훈해 볼 수 있다. 즉, 현재의 구축 수준을 진단할 수 있는 지표(指標)로 활용될 수 있다. 뿐만 아니라, 향후

어떤 방향으로 구축을 전개해야 하는지에 대해 방향성(direction)에 대해 제시해 줄 수 있다.

둘째, 본 연구를 통해 얻을 수 있는 가장 실질적인 기대효과는 ‘무엇을’(What), ‘어떻게’(How) 구축해야 하는지에 대해 구체적으로 알 수 있다. 즉, 스마트팩토리 구축이 점점 업그레이드 될수록 갖추어야 하는 제조정보시스템과 비즈니스 운영시스템이 수준에 따라 달라지게 되는데 본 연구를 통해 이러한 요소들에 대해 구체적으로 알 수 있다.

셋째, 전 세계적으로 스마트팩토리 구축에 대한 관심은 뜨겁다. 그러나 스마트팩토리와 관련된 연구가 체계적으로 진행되지 못하고 있는 실정이다. 이에 본 연구를 통해 도출하게 되는 ‘로드맵’은 스마트팩토리 관련 연구에 있어 학문적 흐름을 주도할 수 있는 중요한 단초(端初)를 제공할 수 있다.

참고문헌

- [1] Korea International Trade Association. (2016), Suggestions for Building Smart Factory of Small and Medium Sized Manufacturing Companies, 2, 1-33.
- [2] T. S. Jeong. (2016), The Suggestion for Successful Factory Converging Automation by Reviewing Smart Factories in German, Journal of the Korea Convergence Society, 7(3), 219-226.
- [3] M. S. Yim, (2016). The Convergence between Manufacturing and ICT: The Exploring Strategies for Manufacturing Version 3.0 in Korea, Journal of Digital Convergence, 14(3), 219-226.
- [4] Research and Markets, (2016) Global Machine Condition Monitoring Market Outlook 2020,
- [5] J. Park. (2017), Analysis on Success Cases of Smart Factory in Korea: Leveraging from Large, Medium, and Small Size Enterprises, Journal of Digital Convergence, 15(5), 107-115.
- [6] H. T. Kim, S. T. Kim, J. S. Yoon, & K. H. Park. (2013, Fall), Smart Manufacturing System and Big Data Processing, Conference of Korean Society Of Precision Engineering, 471-472,
- [7] M. J. Choi & J. Park. (2017). Technology and Case Analysis of 3D Process Innovation System: Implications for MIS Research, Entrue Journal of Information Technology, 16(2). 55-67.
- [8] Market & Market. (2016. March). Global Forecast: Smart Factory Market by Technology(PLM, MES, PLC, SCADA, ERP, DCS, HMI), Component(Sensors & Actuators, Communication Technologies, Industrial Robotics, Machine Version), Industry(Process, Discrete), and Geography.
- [9] Deolitte. (2016). Global Manufacturing Competitiveness Index.
- [10] M. J. Choi & J. Park. (2017) CPS(Cyber Physical System) & Research Opportunities for MIS, Journal of Information Systems, 26(4), pp. 63-85.
- [11] J. Lee, B. Bagheri & H. Kao. (2015). A Cyber-Physical Architecture for Industry 4.0-based Manufacturing Systems. Manufacturing Letters, 3(1), 18-23.
- [12] S. W. Choi, J. T. Jung & Y. Y. You. (2014). The Effect of Government R&D Subsidies Program Participation Factor for SMEs R&D Performance. Journal of Digital Convergence, 15(5), 171-180.
- [13] S. H. Choi & J. I. Choi. (2016). GVC Case Analysis of the Motor Industry: Focusing on Hyundai Motor. Journal of Digital Convergence, 14(12), 73-84.
- [14] POSCO Research Institute. (2015), A New Start for Industry 4.0, POSRI Report.
- [15] G. H. Noh, S. T. Park, & and T. U. Kim. (2015). Analysis of the Structure and Impact of SCM Advanced Planning System: Lessons from POSCO Case. Journal of Digital Convergence, 12(4), 145-155.

(집수: 2018.10.31. 수정: 2018.11.03. 게재확정: 2018.11.07.)