

# 스마트공장 표준화 동향과 시스템 구조

## 요약

스마트 팩토리는 시시각각 변화하는 생산현장의 생산정보 4M1E(Man, Machine, Material, Method, Energy)생산자원을 실시간으로 통합하여 생산 관리를 무대기시간, 무재고, 무고장, 무불량일 발생할 수 있는 핵심성과지표 (KPI: Key Performance Indication)를 통하여 생산현장을 연속개선을 추진하는 것이 핵심이다.

본고에서는 스마트 제조업에 필요한 IT융합 국제표준화 동향으로 사이버 보안기술, Object Process Methodology기반 생산자원 통합기술, 실시간 이벤트기반 구조화 기술, 공통 생산정보화 플랫폼 서비스기술, 생산정보화 표준기능 및 국제표준동향과 한국형 중소제조업 스마트공장 적용 참조 모델에 대하여 알아본다.

## I. 서론

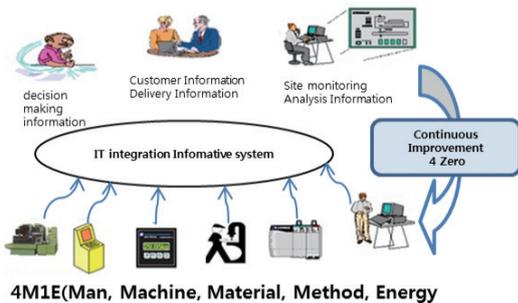
스마트 팩토리는 제 4차 산업혁명으로 불리는 ICT(Information Communication Technology)와 제조업의 융합으로 기계 스스로 시뮬레이션을 통해 자동 생산하는 시스템이 구축된 공장이다.

스마트 팩토리는 이미 미국에서는 오바마 정부 출범 이후 NNMI(National Networked Manufacturing Innovation)정책 발표로 우주항공, 국방 등 3D Printer 산업을 중심으로 추진되고 있고, 독일의 경우에는 SAP, Siemens 등과 같은 SW와 정밀 기계 분야와 인터넷을 기반으로 하는 모든 제조업과 서비스 분야에서 Industry 4.0이 추진되고 있다.

Industry 4.0은 독일 산업 부흥 정책인 'High-Tech Strategy 2020 Action Plan'의 일환으로 추진하는 전략중 하나로, 자동차·기계 등 제



차석근  
(주에이시에스)



4M1E(Man, Machine, Material, Method, Energy)

〈그림 1〉 Block diagram of production IT convergence model for smart factory<sup>[2]</sup>

조업에 ICT를 접목해 모든 생산 공정, 조달 및 물류, 서비스까지 통합적으로 관리하는 스마트 팩토리(Smart Factory) 구축을 목표로 한다.<sup>[1]</sup>

이러한 스마트 팩토리는 국내에서 산업혁신 3.0 정책이 입안되면서 2020년까지 1만개 기업에 보급을 목표로 하고 있다.

스마트 팩토리는 〈그림 1〉와 같이 시시각각 변화하는 4M1E (Man, Machine, Material, Method, Energy)의 생산자원 정보를 실시간 현장에서 취합하여 최고경영자에게는 최상의 의사결정을 위한 실시간 정보를 제공하고, 고객에게는 주문된 생산 제품에 대한 납기 정보를 제공하며, 공장 관리자에게는 현장의 상태 정보를 실시간으로 제공한다.

이렇게 실시간으로 정보를 제공받은 최고 경영자, 고객, 공장 관리자는 공장 전체의 생산성 향상과 최적화 운영을 위한 피드백을 제공한다. 이를 바탕으로 IT 융합 생산 정보화 시스템에 기반을 둔 4Zero (Zero Waiting-time, Zero Inventory, Zero Defect, Zero Down-time)의 연속개선(CIP: Continuous Improvement Process) 관리를 구현하는 것이라 말할 수 있다

이에 본 연구에서는 열악한 환경의 산업분야에 상용 기성품(COTS: Commercial off-the-shelf) 기반의 IT 관련 표준을 살펴보고, 융합 생산 정보화 시스템을 제시하고자 한다.

## II. 스마트 제조업에 필요한 IT융합 국제표준화 동향

생산 현장의 정보를 실시간 수집하여 생산 계획에 반영하는 시스템은 과거 30년 전부터 존재하였지만, 기존의 시스템은 상위의 계획 시스템을 중심으로 생산 현장의 자동화 시스템과 정보 통합화가 부분적으로만 추진되었다.

그러나 최근 각광받는 스마트 제조업, 스마트 팩토리는 중앙정보 처리장치의 단방향, 일방적 명령이 아닌 작업장 내 모든 설비가 상호 간, 또는 중앙 정보시스템과 실시간 통신하고 공장별 MES와 연동하여 최적화된 조업 솔루션을 도출한다. 이를 통해 공장 내 실시간으로 전사적 자원 관리 시스템(ERP)과 연동되어 최적화 솔루션을 제공함으로써 그룹사 전체의 경영·재무·재고·유통·인사전략 수립에 기여한다.

이에 본 장에서는 스마트 제조업에 요구되는 일반 IT 융합 기술이 실제 산업 및 공장에 적용 가능한지 여부를 살펴보고자 한다.

### 1. 사이버 보안기술

미국에서는 3D Printer를 통해 살상 무기의 제조가 가능한데, 최근 북한 및 아랍권의 사이버 공격이 우려되는 가운데 스마트 팩토리에 대한 사이버 보안 문제가 대두되고 있다. 이러한 문제에 대해 현재 미국이 진행하고 있는 산업용 사이버 보안은 크게 Device 사이버 보안 및 클라우드 서비스에 대한 보안으로 나누어 볼 수 있다.

#### 1.1. 디바이스 사이버 보안 (Device cyber security)

먼저 디바이스 사이버 보안은 원자력 발전소 핵심제어 기기인 SCADA/DCS 등과 같은 민감한 제어기기를 보호하는 것과 M2M/IoT device의 센서와 디바이스 간의 무선 통신을 분리하는 보안 방식이 있다.

SCADA/DCS 보안은 미국 국립표준기술 연구소(NIST: National Institute of Standards and Technology)와 산업 자동화 협회(ISA: International Society for Automation) 등에서 이루어지는 방식으로 각 디바이스의 프로파일을 관리하는 산업 사이

버 보안관리인 IEC(International Electro-technical Commission)의 62443(과거 ANSI ISA99)표준이 있으며, 산업용 네트워크 표준화를 추진하고 있는 IEC TC65: Industrial-process measurement control and automation과 밀접하게 협업하고 있다.

WSN(Wireless Sensor Network) 분야에서는 NIST에서 암호 표준화로 제시한 128, 196, 256 bit AES (Advanced Encryption Standard) 방식을 미국 국가 안보국에서 정식 승인하였고, IP v6가 표준 프로토콜로 예상되는 IoT(Internet of Things) 분야는 전기 전자 기술자 협회인 IEEE(Institute of Electrical and Electronics Engineers)가 주도하는 표준이 사실상 표준으로 사용되고 있고, 센서 정보 전달 목적과 비동기적 요청/응답 설계 구조인 CoAP (Constrained Application Protocol)이 저전력을 지향하는 프로토콜로 향후 유력한 국제표준을 제시하고 있다.

### 1.2. 클라우드 서비스 보안 (Cloud service security)

클라우드 서비스 보안에는 미국 오바마 정부 출범 후 NNMI(National Networked Manufacturing Innovation) 프로젝트 수행으로 만들어진 정보 시스템의 보안 및 인프라 보호에 대한 특별 지시 보고서에 명시된 항목에 따라 모든 클라우드 서비스에 대하여 표준방식으로 접근하고 감시할 수 있도록 하는 FedRAMP(Federal Risk and Authorization Program)이 추진되고 있다.

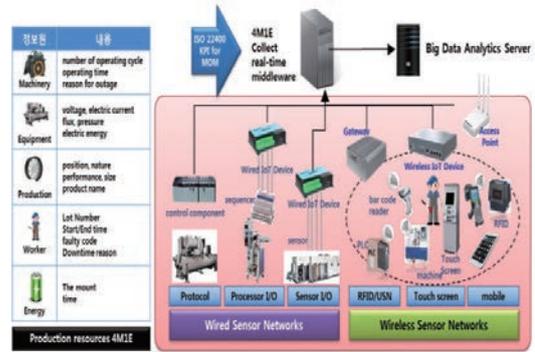
이로인해 기타 산업에서도 클라우드 서비스 보안은 FedRAMP에서 제시하는 표준 방식을 준수하는 것을 권고하고 있으며, 이를 향후 표준으로 예상할 수 있다.

## 2. Object Process Methodology기반 생산자원(4M1E) 통합화 기술

### 2.1. 4M1E 생산자원 통합화 기술

생산현장의 생산자원(4M1E) 통합화에는 <그림 2>와 같이 유무선을 통한 자동, 수동 및 반 자동으로 처리하는 3가지 방식으로 나누어 볼 수 있다.

첫 번째, 자동 수집 방법은 생산설비의 제어기기가 외



<그림 2> The 3 type of typical method of production resource integration in real time<sup>[3]</sup>

부 IT시스템과 연결되는 RS-232C 시리얼 인터페이스와 Fieldbus, Ethernet 등과 같이 생산설비가 컴퓨터 표준 인터페이스 장치를 보유한 경우, TCP/IP, OPC(OLE for Process Control)의 실시간 통신 프로토콜 프로그램을 통하여 생산설비의 운전상태 정보의 수집이 가능하다.

두 번째, 수동 수집 방법은 바코드 리더기, RFID 혹은 터치스크린 등의 편리성을 중시한 기능을 이용하여 작업자가 직접 생산 활동 정보를 입력하는 방법이다.

세 번째, 반 자동 수집 방법은 크게 두 가지 형태로 구분되는데 먼저 첫 번째 방안은 PLC 등과 같은 순차 제어기가 설치된 경우, 센서로부터 PLC와 연결된 Process I/O를 외부 정보 수집기를 통하여 자동으로 정보를 수집하는 방법과 추가로 정보수집에 필요한 센서를 생산설비에 부착하여 생산 활동 정보를 실시간 취합하는 정보 수집기를 활용하는 방법이 있다. 이때, 실시간 생산 활동 정보 수집에서 가장 중요한 결정사항은 입력하는 방법, 정보수집 수준의 분해 능력과 경제적 관점에서의 투자회수율인 ROI(Return On Investment) 관점의 검토가 필요하다.

이는 디지털 제어기기가 있지만 정보시스템과 실시간 연결을 위한 인터페이스 장치가 고가인 경우나 설비의 설치가 오래되어 제어기기에 인터페이스 장치를 추가할 수 없는 경우에 센서의 설치 혹은 Process I/O를 통해 실시간 정보수집을 할 수 있는 방안으로 추진한다.

이러한 생산자원의 정보 수집을 위해서는 4 Zero 관리의 핵심 요인인 생산, 품질, 납기, 고장 정보에 대한 정량화가 필요하며 이를 위해 실시간 표준 성과 관리 지표(KPI for MOM)의 표준에 대한 기반 구축이 필요하다.

이에 KPI for MOM(Key Performance Indication for Manufacturing Operation Management)은 ISO 22400표준으로 진행되고 있으며, 제조업에서 에너지 사용량에 대한 원단위 측정은 ISO 20140(Automation systems and integration -- Evaluating energy efficiency and other factors of manufacturing systems that influence the environment) 표준으로 추진되고 있다.

또한 무선통신은 ISO JTC 1 WG 7 Sensor Networks 표준으로 센서 네트워크 간의 상호 통신 운영성기반 게이 트웨이 및 이를 운용하는 미들웨어 등에 대한 표준과 IoT Reference Architecture 등이 제시되고 있다.

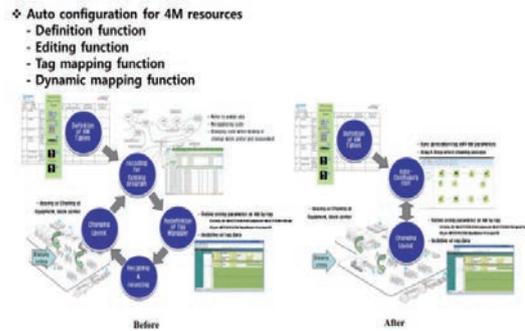
## 2.2. 생산자원의 객체화 기술

제조업 분야에서는 열악한 생산 현장에서의 운영이 요구되는 관계로 운영에 대한 신뢰성이 중시되며 이로인해 IT분야와는 다르게 보수적으로 구현되어 왔다.

그러나 IT의 급속한 발전과 수요 확대로 인하여 이러한 문제점이 해소되고 있고, 최근 IoT (Internet of Things) 혹은 IoS(Internet of Service)의 현실화로 인하여 인터넷과 TCP/IP 등과 같은 통신 프로토콜이 산업용을 포함하여 모든 분야에 적용이 확대되고 있다. 그러나 생산현장의 자원 관리를 위해서는 통신 프로토콜이 통일이 요구되고 기존의 IT관점에서 객체를 주도하였던 통합 모델링 언어(UML: Unified Modeling Language)는 아직 통일이 되지 않아 활성화의 어려움으로 대두되었다.

최근 IEC 62264 Enterprise-Control System Integration, ISO 19440 Enterprise Integration-Constructs for enterprise modeling, ISO/IEC 19782 Automatic ID and Data Capture Techniques 표준화 그룹에서는 OPM(Object Process Methodology)을 기반으로 ISO TC184/SC5 OPM SG(Study Group)을 결성하는 표준화를 추진하기로 하였다.

이러한 IoT, IoS 활용 증대는 생산 현장의 생산자원이 객체화되어 Smart Factory 구현에 도움을 줄 것으로 기대하고 있다.



〈그림 3〉 Concept of how it works for autonomous 4M1E production resources configuration<sup>[4]</sup>

## 2.3. 자율 재구성 기술

4M1E 생산자원으로 구성된 생산현장은 고객의 다양한 주문변경에 따른 생산 작업장의 변경, 이동, 추가, 제거 등의 변화에 신속하게 대응할 필요가 있으며, 미래 스마트 공장에서는 고객의 주문 변경에 따르는 유연성을 보유한 스마트 자율 재구성 능력이 필수적으로 필요하게 된다.

생산자원 4M1E는 각 작업장과 물류이동을 위한 공정 흐름과 연계되어 작업장에서 작업장으로 작업이 완성된 반제품(WIP: Work In Process)이 이동하는 경로 정보로 구성된다.

자율재구성의 핵심기능은 〈그림 3〉에 제시한 IEC 6226(ANSI S-95) Enterprise-Control Integration에서 보여주는 것과 같이 4M1E 자원 계층구조의 정의 및 4M1E 자원을 식별하고 할당하는 기능과 실시간 데이터 베이스를 바탕으로 공정 기준을 고려하여 정보를 취합하고, 4M1E 정보의 실시간 통신과 공정흐름에 대한 다이어그램을 통하여 4M1E 정보를 동적 관리하는 기본 기능을 포함한다.

## 3. 실시간 이벤트기반 구조화 기술

### 3.1. 실시간 이벤트의 의미

모든 사물이 고밀도로 인터넷에 연결되어 정보를 수집해야 하는 IoT관점과 대량의 센서 정보의 고속 실시간 처리와 빅 데이터를 활용하는 IT관점에서 실시간 이벤트는 중요한 문제로 부각될 수 있다.

이러한 실시간 이벤트 기반 아키텍처는 일반적인 선저

장 후처리 방식과 반대로 선처리 후저장 방식으로 진행되며 이는 Response가 아닌 Reaction하는 시스템이라 할 수 있다. 이러한 실시간 이벤트 방식에는 Asynchronous Style Processing으로 In-Memory-Computing 기술을 적용하고 있으며 이 처리엔진은 일반적으로 초당 50만 건 이상의 처리 성능과 평균 3 microseconds 이하로 처리가 가능하다.

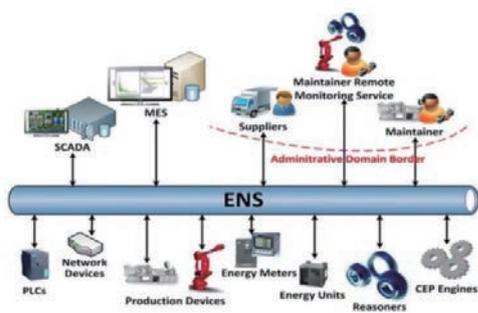
그러므로, Real-time Analytics, Predictive Analytics, Real Time ETL(Extract, Transform, Load), Algorithmic Stock-Trading, Operational Intelligence 등을 포함하는 적용 모델 구현이 가능하다.

### 3.2. IoT@work

현재 IoT 적용 모델로 가장 최신의 현실적 적용이 가능한 것은 IoT@work 프로젝트로, 이 프로젝트는 2010년 6월부터 2013년 6월까지 총 3년간 EU FP7-ICT-Call5 과제로 약 590만 Euro 예산을 투입하여 만들어졌다.

IoT@work 프로젝트는 Semantic data model를 관리하는 Directory Service, OPC-UA 상에서 Service Oriented Architecture 상의 Auto-configuration of Real-Time Ethernet, near-real-time event 처리가 가능한 Event Notification Service, IoT capability-based access control, 고속 실시간 처리를 위한 Complex Event Process, 공장 네트워크의 백본 기능의 Network slices와 Embedded Access Control 기술을 제조업 환경에서 자동화 시스템과 연계하기 위해 개발되었다.

IoT@work 프로젝트의 아키텍처는 <그림 4>와 같이



<그림 4> Reference architecture of IoT@work project<sup>[5]</sup>

수평적으로 현장 네트워크, 디바이스와 네트워크 임베디드 서비스, 디바이스 리소스 생성과 관리 서비스, 어플리케이션 층 미들웨어 서비스 및 자동화 애플리케이션과 같이 5개 층으로 구성되어 있으며, 수직적으로 통신, 보안, 관리 기능으로 나눌 수 있다.

IoT표준화는 미국과 유럽에서 표준화의 기준을 선점을 위한 전쟁 상태라고 할 수 있다. 미국의 경우에는 국제전기통신연합 ITU(International Telecommunication Union)를 주축으로 IEEE P2413 IoT architectural framework 기반의 용어 및 정의와 네트워크 환경 표준을 주도하고 있다.

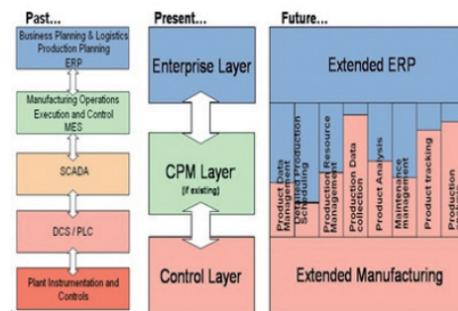
유럽 연합은 이동통신회사를 중심으로 ETSI M2M(Technologies & Clusters Committees & Portals Machine to Machine) 표준을 주도하고 있다. ISO/IEC 30141은 IoT Reference architecture 표준화를 최근 승인하고 추진하고 있다.

이처럼 IoT의 요구사항이 증대되고 있는 현실에서 스마트 팩토리 분야에 참조 모델에 대한 적극적 연구가 필요하다.

## 4. 공통 생산정보화 플랫폼 서비스 기술

### 4.1. 생산정보화 기술 트렌드

생산 정보화는 <그림 5>에 보인 것과 같이 과거 1960년대에는 5계층으로 IT시스템 MRP (Material Resource Planning) 도입 시 생산현장에 작업지시 정보를 전달하기 위한 수단으로 PM&C(Plant Monitoring & Control) 기능의 도입이 시작되었는데 이후 1980년대 컴퓨터통합



<그림 5> Trend of Production IT convergence<sup>[6]</sup>

생산, CIM (Computer Integrated Manufacturing) 개념 하에서 일본을 중심으로 생산시점관리 POP(Point of Production) 시스템으로 구축되었다.

이후 2000년대에는 개방형 클라우드 서버 컴퓨팅 방식 소개로 ERP-MES-Control 등과 같이 3계층으로 구성되어 왔으며, 개방형 클라우드 서버 컴퓨팅이 ERP와 제어시스템과 중간에 위치하여 생산제품을 관리할 수 있는 독립적 시스템으로 자리 매김 하였다.

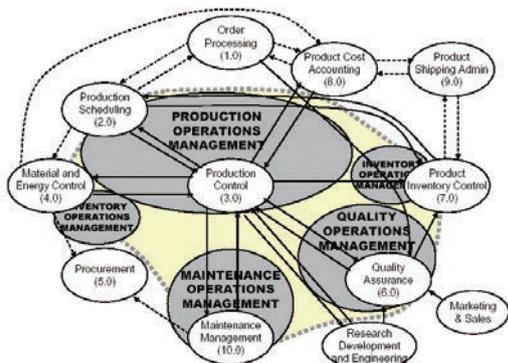
미래에는 인터넷을 기반으로 서비스와 사물의 2계층 체제인 CPPS(Cyber Physical Production System) 개념으로 발전할 것으로 보인다.

#### 4.2. 생산정보화 표준기능 및 국제표준 동향

생산정보화 표준기능은 60년대 APICS(American Production and Inventory Control Society)에서 제시한 MRP를 요구하는데, 호스트 컴퓨터에서 बै치 처리로 BOM(Bill Of Material), Production Plan에 종속된 수동적 기능에서 PC에서 실시간 정보를 처리하는 기능을 가진 독립적 POP/MES 등과 같은 분산 처리 기능으로 발전하였다.

이러한 생산 정보화 표준 기능은 크게 Production Operation Management, Inventory Operation Management, Quality Operation Management, Maintenance Operation Management 분야에 사용하는 표준 업무 프로세스 기능으로 2001년 발표된 ANSI ISA95 표준 기능은 <그림 6>와 같다.

ISA-95는 장치 산업, बै치, 디스크리트 생산 공정과



<그림 6> Functional diagram of ISO/IEC 62264 (ANSI S-95)<sup>[7]</sup>

상위의 ERP/SCM과 통합하는 것을 기반으로 하고 있으며, ANSI/ISA-95.00.0212000 Enterprise-Control Integration Part1: Models and Terminology, ANSI/ISA-95.00.02-2001 Enterprise-Control System Integration Part 2: Object Model Attributes, ANSI/ISA-95.00-2005 Part 3: Enterprise-Control System Integration models of Manufacturing Operations management, Part 4: Object models and attributes for Manufacturing Operations Management, Part 5: Business to manufacturing transactions등에 소개되었고 ISO/IEC 62264 Enterprise-Control System Integration 표준이 되었다.

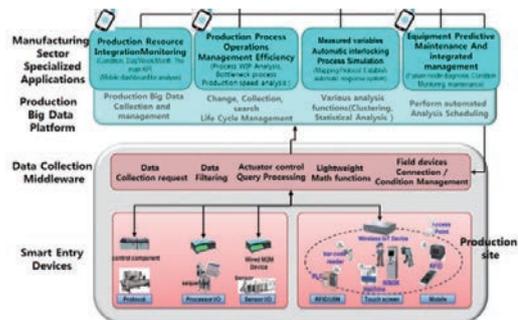
#### 5. 중소 제조업 Smart Factory적용 참조 모델

본 연구의 스마트 팩토리 적용 참조모델은 매출 100~200억 원, 종업원 50~100인 미만 수준으로 아직까지 열악한 생산 환경 속에서 IT융합 생산 기술이 미실시 되고 있는 주물생산 기업의 생산 환경을 독일 Industry 2.5과 3.5에서 제시한 수준까지 도달하게 하는 것과 <그림 7>에 제시한 것과 같이 IoT/빅데이터클라우드, 모바일 IT융합화를 목적으로 하고 있다.

본 스마트 팩토리 적용 참조모델은 크게 보급형 스마트 디바이스 계층, 데이터수집 미들웨어, 생산 빅데이터 플랫폼과 제조업종 특화 응용분야로 구성되어 있다.

보급형 스마트 디바이스 계층에서 지원되는 유무선 센서 네트워크는 현장의 생산자원 4M1E를 ISO 22400 KPI for MOM을 통해 요구 표준 정보를 수집한다.

미들웨어는 ISO/IEC 30128 Generic Sensor



<그림 7> Reference model of Smart Factory for SMEs<sup>[8]</sup>

Network Application Interface를 표준 기반으로 하고 있으며 데이터 수집 요청, 데이터 필터링, 구동기 제어 등의 질의 처리를 담당하며, 경량형 연산과 현장 디바이스 연결 및 상태관리 처리는 데이터 수집 미들웨어 기능을 통하여 생산 빅데이터 플랫폼에 정보를 전송한다.

생산 빅데이터 플랫폼에서는 생산자원 통합 모니터링, 생산공정 운영관리 효율, 실측변수 연동 자동 공정 시뮬레이션을 수행하고 제조업종 특화 응용 애플리케이션에서는 설비 예지보전 및 통합관리 등을 포함한다.

### III. 결론

본 연구에서는 공장 전체의 생산성 향상과 최적화 운영을 위하여 IT 융합 생산 정보화 시스템을 바탕으로 연속 개선을 수행할 수 있는 스마트 팩토리의 구축을 하고자 하였다.

독일 Industry 4.0을 구축하는 기업을 대상으로 한 설문조사에서 Industry 4.0 구축에 가장 큰 장애물은 무엇인가라는 질문에 1위가 표준화를 차지하였을 정도로 표준화는 중요하며, 그러한 의미에서 본 연구에서 다룬 참조 모델 제시는 매우 의미있는 일이라 할 수 있다.

최근 IT 기술로 부각되고 있는 IoT, 빅데이터, 클라우드 서비스 및 모바일 등을 포함하는 IT융합 생산이 Smart Factory 시범사업을 통하여 산업 혁신 3.0 분야에 확대 적용되길 기대한다

이논문은 2016년도정부(산업통상자원부)의 재원으로 한국산업기술평가원의 지원을 받아 수행된 산업 핵심 기술개발사업임 (과제번호:10052927)

### 참고 문헌

[1] Ministry of trade, industry & energy 3.0 “Manufacturing Innovation Strategy”, ‘p.10’, 2014.  
 [2] Sukkeun Cha, “U-Manufacturing model”, p15-28, TIS-07-08, 2013  
 [3] Sukkeun Cha, “U-Manufacturing model”, p15-28, TIS-07-08, 2013

[4] Sukkeun Cha, “Auto-Configuration”, p123-125, J.Korean Soc. Precis. Eng Vol 25, No2 pp 45-47, 2013  
 [5] Christian Seitz and Christoph Legat, “Embedding Semantic Product Memories in the Web of Things” lot@work, pp. 708-713, 2013.  
 [6] Sukkeun Cha, “U-Manufacturing model”, p15-28, TIS-07-08, 2013  
 [7] ISO/TC 184/SC 5 , “Report on Activities of ISO/TC 184/SC 5/OPM SG, 2013.  
 [8] Smart Factory government R&D projects, Smart factory supported platforms conceptual ‘p.7’, 2014



차석근

- 1983년 메릴랜드 대학교 제어계측 석사
- 1980년 메릴랜드 대학교 전기공학 학사
- 1988년~현재 (주)에이시에스 부사장
- 1986년~1988년 (주)어플라이드 엔지니어링 사업부장
- 1984년~1985년 Sigma Central Lab. 연구원

<관심분야>  
스마트 팩토리, MES, 생산정보화