



# 제조업 혁신을 위한 스마트 공장 참조모델 개발 동향 - 독일 RAMI 4.0 중심 -

## I. 서론

최근 우리 정부에서는 제조 현장의 경쟁력 제고를 위해 중소·중견기업을 대상으로 국내 현실에 적합한 다양한 형태의 스마트 공장 도입을 지원하는 사업을 추진하고 있다. 그 세부지원 내용을 살펴보면 크게 3가지로 구분된다. 먼저 생산운영관리(MES), 에너지관리(FEMS), 제품개발지원(PLM), 공급망관리(SCM), 기업자원관리(ERP) 등 공장 운영 시스템에 대한 정보화 기반 마련, 두 번째로 IoT센서, 로봇 등을 접목하여 생산성과 품질 경쟁력을 향상시킬 수 있는 제조 자동화 기술, 세 번째로 공장·제품설계 등을 사전 검증을 통한 시행착오를 예방할 수 있는 공정 시뮬레이션 기술 등이 대표적인 예이다. 그럼 여기서 과연 스마트 공장은 왜 필요하고 그 정의는 무엇이고, 그 목적은 무엇일까? 본고에서는 스마트 공장을 전 세계 보급·확산하기 위하여 주요 선진국에서 정의하고 있는 스마트 공장의 개념과 비전에 대해 알아본다. 또한 향후 스마트 공장의 상호 호환성 및 연계성 확보를 위해 국제표준화기구 IEC에서 추진하고 있는 스마트 공장 참조모델 RAMI4.0(Reference Architecture Model Industris 4.0)에 대해 각 계층 별로 상세하게 소개한다.



권중원  
한국산업기술시험원  
디지털산업본부



송태승  
한국산업기술시험원  
디지털산업본부



조원서  
한국산업기술시험원  
디지털산업본부

## II. 스마트 공장 개념 및 비전

최근 우리 주변에서 많은 사람들이 스마트 공장이라는 단어를 사용하고 있다. 그럼 스마트 공장이라는 단어는 언제부터 왜 나오게 된 것일까? 아마도 사회적 문화적 변화, 기술적, 경제적·제조 생태학적 변화에 따라 그 제조업의 중요성이 재조명되면서부터 일 것으로 추측된다. 먼저 사회적 변화 측면에서 보면 제조업에 대한 업무기피, 기능공이나



(그림 1) 스마트 제조 요구사항<sup>[11]</sup>

속련공의 고령화 가속화에 따른 전문 노동력 감소가 대표적인 것이다. 다음으로 사물인터넷, 클라우드, 빅데이터 등의 ICT 기술이 급속도로 발전함에 따라 산업기기와 생산 프로세스가 하나의 네트워크로 연결되고, 상호소통을 통해 공장 스스로 생산 공정 제어 및 수리, 작업장 안전 등을 관리할 수 혁신적인 제조 기술의 변화를 들 수 있다. 그 외 에도 개인 맞춤형 제조 요구 등 다양한 고객 취향 및 환경 변화에 따른 생태학적 변화를 예로 들 수 있다. 이런 다양한 측면에서의 현재 상황과 그에 따른 제조 현장에서의 요구사항을 다음 <그림 1>에서 설명한다.

그럼 우리가 흔히 말하는 스마트 공장의 정의는 무엇일까? 2016년 국가기술표준원의 “스마트공장 표준화 로드맵”에 따르면 제품 기획/설계, 제조/공정, 유통/판매 등 전 과정을 ICT로 통합하여 최소 비용/시간으로 고객맞춤형 제품 생산을 하고, 가치사슬 전체가 하나의 공장처럼 실시간 연동/통합되는 생산체제로서 시장 변화 적응적 적기 생산, 생산성 향상, 에너지 절감, 인간 중심 작업 환경, 개인맞춤형 제조를 가능하게 하는 공장이라고 정의하고 있다. 즉, 스스로 4M1E(Material, Method, Man, Machine + Environment) 현장 데이터를 수집하고 실시간 분석 및 판단하여 경영 의사결정을 할 수 있는 똑똑한 공장이라고 한마디로 정의할 수 있을 것 같다.<sup>[4]</sup>

다음으로 각 국가에서는 이런 스마트 공장 실현을 통해 무엇을 얻고자 하는 것일까? 우리 정부는 “제조업 전반의 새로운 가치 창출 및 세상과 소통하는 열린 제조 환경”이라는 거창한 비전을 제시하고 있다.<sup>[9]</sup> 하지만 결국 그 내면을 살펴보면 로봇 기술, 사물인터넷 기술, 제조용기술(OT) 등 각 국가가 보유하고 있는 성장 동력산업을 적극 활용하여 제조업을 다시 부흥시키고 양질의 일

<표 1> 주요국의 제조업 혁신정책 및 주요 추진과제<sup>[3]</sup>

국가	내용
 독일	Industry 4.0('12~) - 국가 10대 미래전략의 일환으로 민·관·학 연계 통한 제조업 혁신 추진 - 제조업과 ICT 융합 통한 스마트공장 구축, 첨단기술 클러스터 개발
 유럽	Factories of the Future('13~) - '20년까지 역대 제조업 비중(15%→20%) 향상, 600만개의 고용 창출 - 사물인터넷, 가상현실 등에 기반한 전 제조공정의 유연화, 네트워크화
 미국	Remaking America('09~) - 제조업 발전 국가협업체 'AMP(Advanced Manufacturing Partnership)' 발족 - 3D 프린팅 등 첨단 제조기술 혁신, 산업용로봇 활성화 추진
 일본	산업재흥플랜('13~) - 제조업 중심의 산업경쟁력 강화 위해 '산업경쟁력강화법' 제정 - 자동운전시스템 등 차세대 인프라 구축에 '14년 100억엔 투자
 한국	제조업 혁신 3.0('14~) 및 스마트공장 확산 추진 계획('15.4~) - 융합형 신제조업 창출, 제조혁신 기반 고도화 - '20년까지 중소·중견기업을 대상으로 1만개 스마트공장 시스템 보급

자리 창출을 통한 창조경제 실현이 될 것이다. 방금 언급했듯이 각국의 제조혁신 정책은 추진방향 및 추진사업에서 다소 차이가 있다. 예를 들어 독일에서는 자동차 등의 제조산업 분야에서 ICT 기술 및 인터넷 기반 CPS(Cyber Physical System) 기술 도입을 통해 독일 보유하고 있는 최고의 제조용기술과 융합하여 글로벌 시장을 선점하기 위해 노력하고 있다. 반면 일본은 자능형 로봇, 미국은 사물인터넷 등 각 국의 강점을 적극 활용하여 시장창출형 정책 및 관련 사업들을 추진 중이다. <표 1>은 주요 선진국의 제조업 혁신정책 및 주요 추진과제 현황을 요약하고 있다.

지난 5월 독일에서 4차 산업혁명을 주제로 열린 하노버박람회에는 이례적으로 독일 정상(메르켈 총리)과 미국 정상(버락 오바마 대통령)이 함께 오프닝 투어에 참석하였다. 미·독 정상이 박람회에서 만난 것은 이를 대내외적으로 확인해주는 역사적인 이벤트였다. 미국 산업인터넷컨소시엄(IIC)과 독일 인터스트리4.0 컨소시엄은 스마트 공장의 상호 호환성 및 커넥티드 확보를 위해 기계 간



통신 표준을 만드는데 잠정 합의하였고, 국제표준화기구 IEC에서도 스마트 공장 구현을 위한 참조 아키텍처 모델을 IEC SMB SG8에서 활발히 개발 중에 있다.<sup>[5,7]</sup>

따라서 이런 스마트 공장 구현을 위한 핵심 기술 춘추 전국시대에서 전 세계 시장에서 살아남기 위해서는 글로벌 표준을 바탕으로 핵심 기술을 구현하고 이를 통해 상호 호환성을 확보해야 한다. 그 이유는 스마트 공장 보급·확산을 위해서는 우선 독일, 미국 등 선도자들의 표준화는 후발주자들에게 대한 무역장벽으로 작용될 수 있기 때문에 관련 표준화 활동에 적극적으로 참여해야 한다. 또한 한국형 스마트 공장 참조모델 개발은 우리 제조업의 경쟁력을 높이는 것은 물론 전 세계적으로 성장하는 시장을 선점하기 위해 반드시 필요하며, 국제 경쟁력 확보 및 전문가 육성이 시급하다. 이를 위한 첫 걸음으로 다음 장에서는 IEC SMB SG8에서 발표한 RAMI4.0 모델에 대해 살펴볼 것이다.

### III. RAMI 4.0: Reference Architecture Model Industrie 4.0

본고에서는 스마트 공장의 기본 구조를 설명하기 위해 2015년 7월 발표된 “VDI/VDE, Reference Architecture Model Industrie 4.0 (RAMI4.0)” 문헌을 기본 바탕으로 RAMI 4.0의 개요 및 각 계층 별 주요 속성들에 대해 소개한다. RAMI 4.0<sup>[1]</sup>은 독일 연방정보통신 뉴미디어협회(BITCOM), 독일기계설비공업협회(VDMA) 및 독일전자전기산업연합회(ZVEI)에서 Industrie 4.0에 대한 참조 구조 및 컴포넌트 모델을 정의하였고, 이는 Smart Grid Architecture Model을 바탕으로 구축되었다. 독일 Industrie 4.0의 주요 관점은 다음과 같다.<sup>[10]</sup>

- 가치 네트워크를 통한 수평적 통합 : CPS를 사용하여 기업의 사업 전략, 새로운 가치 네트워크와 새로운 사업 모델 지속 가능하게 지원
- 수직적 통합 및 연결된 제조 시스템 (공장 또는 작업 현장 내부) : 유연하고 재구성 가능한 제조 시스템을 생성하기 위한 CPS 사용

- 생애주기 관리 및 전체 가치 사슬에 걸친 End to End 엔지니어링을 통한 디지털 통합 : 엔지니어링 워크플로우 포함, End to End 간 사업 과정을 전달하기 위한 CPS 사용
- 인간 중심의 작업 환경 : 인간과 로봇 등 기계 간의 협업을 통한 새로운 가치 사슬 창출

이에 대응하기 위해 국제표준화기구 IEC에서는 2014년 5월 SMB산하에 전략그룹 SG8을 신설하였고, IEC/TC65-JNC/SG8을 중심으로 각 분야 표준 전문가들이 협업하여 각 계층 별 표준 맵핑 툴과 프로세스 맵핑 툴에 대한 연구를 진행하고 있다.

RAMI 4.0의 목표는 스마트공장 구현 방식을 제한하려는 것이 아니고 이해관계자들이 스마트 공장 구성 요소와 그 요소 간 상호 호환성을 확보하는데 도움을 주기 위함이다. 또한 스마트 공장 구현을 위해 각 계층 별 속성과 기능, 상호작용, 각 요소 간의 관계를 정의하고, 이에 포함되는 표준 및 요구기술들을 정의함으로써 스마트 공장 구현을 위한 시스템과 하위 시스템 개발 방안 및 전략을 제시한다.

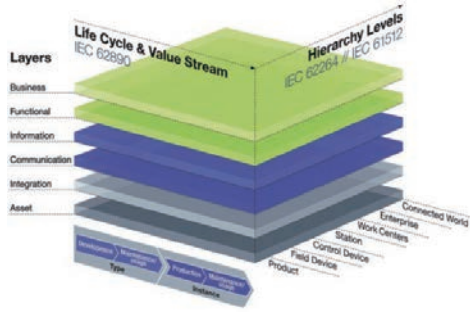
#### 3.1 참조모델의 구성

IEC SMB SG8 위원회에서는 스마트 공장 참조모델 개발을 위해 제조 프로세스 통합 표준인 IEC 62264/ISA-95 기반으로 추진하려고 하였으나, 스마트 공장의 개념을 포괄하기에는 몇 가지 한계점들이 있어 다음 <그림 3>과 같은 3차원 모델을 제시하였다.

먼저 그 한계점들을 하나씩 살펴보면 다음과 같다. 스마트 공장에서는 유연한 생산 능력을 확보하기 위해 IIoT



<그림 2> Industrie 4.0의 중요한 관점  
출처: VDI/VDE Status Report, 2015<sup>[1]</sup>



〈그림 3〉 Reference Architecture Model for Industrie 4.0 (RAMI 4.0)  
출처: VDI/VDE Status Report, 2015<sup>[1]</sup>

및 CPS 기술 등을 이용한다. 이를 활용하기 위해서는 통합 기업 업무 시스템의 Level 1 과 Level 4(ERP) 간의 정보교환이 필요하나, IEC 62264 규격은 Level 0에서 Level 3(MES)까지의 정보교환 방법만 규정하고 있다.

예를 들어, Level 4의 역할 중 설비 예방 및 예지보전 계획과 같은 설비 및 장비의 생애 주기의 수집 및 관리를 위해 Level 1, 2에 위치하는 센서와 필드장치와의 정보 교환이 필요하지만 IEC 62264에서는 이들과의 정보교환 방법을 Level 0에서 Level 3까지만 규정하고 있다. 즉, 공장 내부에서만 제어하던 생산 시스템의 설비 및 장치를 공장 내부뿐만 아니라 외부에 있는 본사 사무실에서도 태블릿 PC를 통해 CPS에 접속하여 생산 시스템의 실시간 데이터 수집 및 분석이 가능하고, 설비 및 장치의 물리적 프로세스 제어가 가능하게 된 점이다. 또 하나의 예는 스마트 제조 환경에서는 물리적으로 떨어진 공장 간의 원자재, 에너지, 물류 등 다양한 비즈니스 영역간의 소통도 필요하나, IEC 62264 규격에서는 공장 내 도메인만 포함하고 있어 2차원 모델로 스마트 공장을 설명하기에 어려움이 있다.

따라서 RAMI 4.0은 스마트 공장 참조모델 구조를 3차원 계층으로 표현하고, 이를 통합할 수 있는 수직적, 수평적, 상호 운용성 통합 모델로 제시한다. 3차원 계층을 이해하기 위한 3개의 통합 모델은 다음과 같이 구분될 수 있다.

- (생애주기 및 가치 흐름 계층) 제품의 개발부터 서비스, 기업 프로세스 및 모든 정보에 대한 실시간 최적화된 생애주기 및 가치 흐름에 대한 수평적 통합 모델

- (생산 시스템 및 기업 업무 시스템 계층) 지능화된 생산시스템과 기업 업무 시스템에 대한 수직적 통합 모델
- (상호 운용성 계층) 수평적 모델과 수직적 모델의 호환성을 제공하는 안전성, 보안 및 정보통신기술에 대한 상호 운용성 통합 모델

위의 3개의 계층은 서로 독립적이지 않으며, 서로 연계 및 확대되어 종합적이고 통합적인 관리 및 운용이 가능해야 한다. 예를 들어, 수직적 통합 모델은 지능화된 생산시스템과 기업 업무 시스템이 실시간으로 연동되어야 하며, 생애주기 모델의 제품 개발부터 폐기까지의 각 단계별 생애주기에 대한 정보를 가치흐름에 따라 서로 연동될 수 있어야 한다.

### 3.2 수직적 통합 모델

먼저 수직적 통합 모델은 지능화 된 생산 시스템의 물리적 계층과 기업 업무 시스템의 기능적 계층에 대한 기업 통합 시스템 계층을 의미한다. 이는 생산 시스템이 공장 자산(예, 센서, RFID, 리더기 등 유형의 자산 및 에너지 등 유형의 자산 포함)의 모든 정보를 기업 업무 시스템과 실시간 연계하여 비즈니스 업무를 지원하고, 공장 전체의 생산성 향상과 최적화를 달성하도록 지원한다. 또한, 생산 시스템의 물리적 계층과 기업 운영에 요구되는 기업 업무의 기능적 계층이 상호 지능적으로 연동되어 유연한 생산 전략을 가능하게 할 수 있어야 한다. 여기서 다양한 계층의 산업 섹터를 커버하기 위해 기업 업무 시스템에 대한 표준은 IEC 62264를 참고하고 생산시스템에 대한 표준은 IEC 61512를 참고한다.

다음 〈그림 4〉는 RAMI 4.0의 수직적 통합 모델 구성을 설명한다. 생산 시스템 및 기업 업무 시스템 계층은 다음과 같이 구성된다.

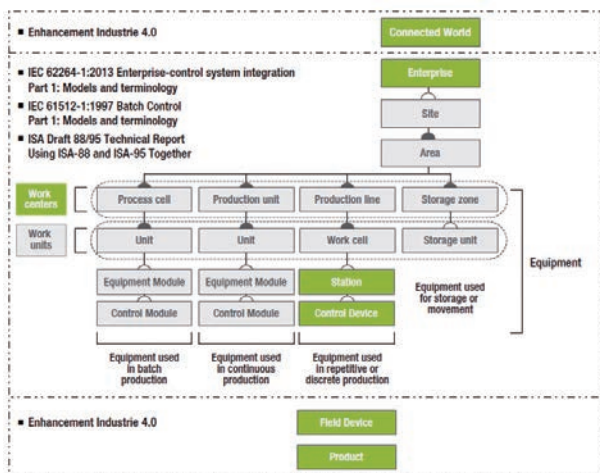
수직적 통합 모델의 계층은 다음과 같이 7개로 구성된다. IEC 62264 표준과 가장 큰 차이점은 생산 시스템에 대한 물리적 계층에 필드 장치와 제품, 열린 공장이 추가된 점이다. 여기서 상위 계층 하위 계층을 포함하는 구조로 되어 있다. 즉, 사업장은 차 하위의 모든 계층을 포함한다.



- 연결 세상 (Connected World)
- 사업장 (Enterprise)
- 작업장(Work center = Process Cell)
- 설비 (Station = Work unit, Unit)
- 제어 모듈 (Control Device)
- 필드 장치 (Field Device)
- 제품 (Product)

RAMI 4.0에서 추가된 용어는 다음과 같이 정리될 수 있다.

- 제품 : 제품의 범위는 스마트 공장에서 생산되는 제품뿐만 아니라 재공품 및 외자 구매품을 모두 포함하는 개념이다. 제품도 자신에 대한 정보를 스스로 생성하여, 최상위 사업장으로 실시간 통신을 통해 정보를 교환할 수 있는 지능형 기능을 기본적으로 갖추고 있어야 한다. 이 용어의 추가를 통해 RAMI 4.0은 동일한 성격의 제품들의 생산품 및 생산 공장들의 상호보완성까지 다룰 수 있게 된다.
- 필드장치 : 필드장치의 대표적인 예는 센서, RFID 등이다. 스마트 공장을 구현하기 위해서는 생산 시스템의 모든 요소 및 장치가 서로 실시간으로 통신할 수 있어야 하고, 데이터 생성 및 교환, 제어를 실행할 수 있어야 한다. 하지만 대부분의 펌프, 밸브, 유량계 등과 같은 제어 모듈은 이런 지능형 기능을 지원하지 않아 액츄에이터 및 말단장치에 필드 장치



〈그림 4〉 RAMI 4.0의 수직적 통합 모델 구성  
출처: VDI/VDE Status Report, 2015<sup>[1]</sup>

를 부착하거나 내장시켜 지능화를 실현한다. 이를 통해 모든 스마트 공장 구성 요소들은 고유 식별번호를 갖게 되고 그 정보를 서로 인식하여 정보교환이 가능해 질 수 있다. 이런 식별번호는 설비 및 장치와 같은 자산에서 생성된 데이터와 함께 저장소(Repository)에서 수평적 통합 모델과 연동되고, 제품부터 모든 설비에 이르는 요소의 생애 주기를 담당하는 수평적 통합 모델과 반드시 연계되어야 한다.

- 연결 세상 : 가장 상위개념으로, 본 용어가 추가되어 RAMI 4.0은 공장 그룹, Engineering Service의 통합 개념, Component Supplier 및 고객까지 포용할 수 있게 되었다. 즉, 공장 밖의 세상(시장)과 공장 공정을 실시간으로 연결하여 고객의 요구사항에 맞춰 제품 생산량과 시기를 조절할 수 있는 공장이 될 수 있다.

RAMI 4.0의 수직적 통합 모델에서의 관련 국제표준을 정리하면 다음 〈표 2〉와 같다. 본고에서는 가장 핵심이 되는 IEC 62264와 IEC 61512 표준에 대해 자세히 살펴본다.

〈표 2〉 RAMI 4.0의 수직적 통합 모델과 관련 국제표준 현황

표준번호	표준명	하위 관련 표준
IEC 62264	Enterprise-control System Integration	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 필드 장치                             <ul style="list-style-type: none"> <li>- (IEC 61003) Industrial-process control systems - Instruments with analogue inputs and two-or multi-state outputs</li> <li>- (IEC 60770) Transmitters for use in industrial-process control systems</li> </ul> </li> <li>○ PLC(Programmable Logic Controller)                             <ul style="list-style-type: none"> <li>- (IEC 61131) Programming Industrial Automation Systems</li> </ul> </li> <li>○ 밸브                             <ul style="list-style-type: none"> <li>- (IEC 60534) Industrial-Process Control Valves</li> </ul> </li> </ul>
IEC 61512	Batch control	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 기능안전                             <ul style="list-style-type: none"> <li>- (IEC 61508) Functional Safety</li> <li>- (IEC 61511) Functional safety - Safety instrumented systems for the process industry sector</li> </ul> </li> <li>○ 전자기적합성                             <ul style="list-style-type: none"> <li>- (IEC 61326) Electrical equipment for measurement, control and laboratory use - EMC requirements</li> </ul> </li> <li>○ 알람관리                             <ul style="list-style-type: none"> <li>- (IEC 62682) Management of alarm systems for the process industries.</li> </ul> </li> </ul>

〈표 3〉 IEC 62264 표준 : 제조업 활동 5개 계층 구분

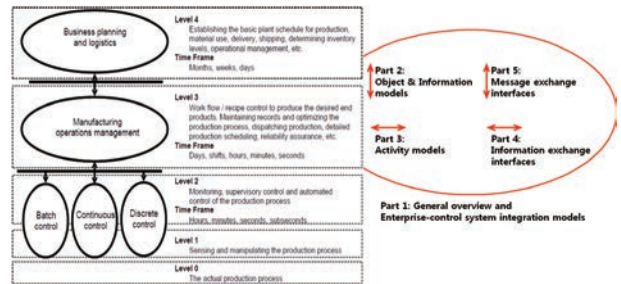
구분	내용
Level 0	● 실제 생산 공정
Level 1	● 생산 공정의 상황을 감지하여 제어 모듈을 구동하고 제어하는 것 ● 일반적으로 초 단위로 운영됨
Level 2	● 생산 공정 전체에 대한 모니터링 및 자동 제어하는 것 ● 일반적으로 시간, 분, 초 단위로 운영됨
Level 3	● 최종 제품을 생산하기 위한 공정절차, 생산일정관리, 품질관리 등 생산 공정 운영 ● 일반적으로 일별, 변경 시점 별, 시간, 분 단위로 운영됨
Level 4	● 제조 조직 운영에 필요한 모든 비즈니스 관련 활동으로 생산 계획, 원재료 사용, 납기 및 재고 관리, 운송 등 제조업 전반의 운영 ● 일반적으로 월별, 주별 및 일별로 운영됨

IEC 62264 표준은 RAMI 4.0의 수직적 통합 모델에서 기업 업무 시스템의 기능적 계층에 대해 규정한다. 본 표준은 생산 관리 및 제조 운영에 대한 전체 시스템 구성 모델을 제시하고 있기 때문에 제조 전반에 대한 이해를 제공하는 기본 개념이라 할 수 있다. 본 표준에서는 제조업 활동을 Level 0부터 Level 4로 정의하고 있으며, Level 3과 Level 4 사이의 기능 모델과 정보교환 방식에 대해 규정하고 있다. 따라서 제조업 전반에서 널리 활용되고 있는 ERP/SCM 및 MES/MOM 구축 시 각 Level 별 주요 기능을 주로 참조된다.<sup>[6]</sup>

Level 0에서 Level 2는 생산 시스템의 설비 및 장치에 대한 제어 등 물리적 프로세스의 제어를 의미한다. Level 3은 제조 실행 시스템(MES), Level 4는 전사적 자원관리 시스템(ERP)에 대응한다. Level 1 ~ 3은 제조현장에서 직접적인 역할을 수행하는 4M1E를 의미한다고 할 수 있다. Level 3의 일반적인 역할은 생산, 재고, 인력, 원재료, 제품 품질, 에너지 사용에 대한 사업장 데이터의 수집 및 관리를 수행하고, 오프라인 분석 실행을 통해 통계적 품질 분석 및 이와 연관된 제어 기능을 지원할 수 있다. 그 외에도 생산 장비의 보전 실행, 재료의 품질 시험 실행, 재료의 이송 및 저장 등이 대표적인 예이다. 마지막으로 수준 4의 역할은 주문, 이용 가능한 자원, 에너지, 전력 등의 변화에 의한 공장의 생산 일정 변경, 생산 차질을 발생 시 공장 생산 일정 변경 수립 등 경영 의사결정에 관련된 역할을 수행한다.

〈표 4〉 IEC 62264 표준 시리즈 주요 내용

구분	내용
IEC 62264-1	● Level 3과 Level 4 간의 구성과 개념 정의 ● 생산에 대한 3가지 계층적 모델 규정 (기능적 계층 모델, 역할 기반의 장비 계층 모델, 물리적 자산 계층 모델)
IEC 62264-2	● Level 3과 Level 4 간의 정보교환 주제 규정 ● 제조 운영과 생산 관리에 대한 상세 기능 객체와 정보 구성에 대한 모델 규정
IEC 62264-3	● Level 4로 부터 받은 생산지시, 설계지침, 공급사슬에 대한 정보를 바탕으로 생산관리, 품질관리, 재고관리, 설비관리에 대한 제조 운영에 대한 사항 규정
IEC 62264-4	● IEC 62264-3에서 정의한 제조 실행 객체들 간에 정보 교환 방법 규정 ● (예) 제조 실행에 요구되는 작업일정, 작업지시, 작업자 및 장비 요구사항 등과 같은 세부 기능
IEC 62264-5	● IEC 62264-2에서 정의한 기능 객체들이 서로 정보를 교환할 때 정보 메시지를 교환방법 규정



〈그림 5〉 IEC 62264 표준 부속서 간 관계도

〈표 5〉 IEC 61512 시리즈 표준명

구분	표준명
IEC 61512-1	● Models and terminology
IEC 61512-2	● Data structures and guidelines for languages
IEC 61512-3	● General and site recipe models and representation
IEC 61512-4	● Batch Production Records
IEC 62264-5	● IEC 62264-2에서 정의한 기능 객체들이 서로 정보를 교환할 때 정보 메시지를 교환방법 규정

IEC 62264 표준은 〈표 4〉와 같이 5개의 부속서로 구성되고, 각 부속서 간 관계는 〈그림 5〉와 같다.

IEC 62264에서 기술된 생산 시스템 중 배치(Batch) 생산방식은 IEC 61512 참고한다. IEC 61512 표준에서는 배치(Batch)제어를 위한 모델과 용어를 규정하고 있으며, 배치 제어를 위한 유니버설 모델, 사용자 요구 통신의 어려움, 자동화 공급자 간의 통합, 배치 제어 구성의 어려움 등에 대한 문제점 해결방안을 제시한다. 특히 생산 시스템의 물리적 계층 구조는 IEC 62264와 동일하다. IEC

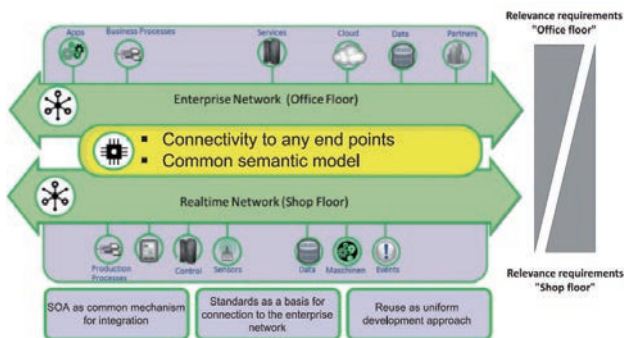


61512 표준은 <표 5>와 같이 4개의 부속서로 구성된다.

### 3.3 수평적 통합 모델

수평적 통합 모델은 수직적 통합 모델 구성 요소의 디지털화와 연결되어 공장 운영에 관련된 제품부터 정보까지 다양한 객체에 대한 생애주기(Life Cycle)와 가치 흐름(Value Stream)에 대한 계층이다. 여기서 생애주기는 초기의 제품 요구사항부터 개념 정의, 개발 및 생산 그리고 유통과 서비스 마지막 단계인 운용 및 유지보수 그리고 폐기나 재활용까지를 의미한다. 생애주기 관리는 제품과 설비, 공장 등을 개선시키는데 큰 효과를 볼 수 있다. 가치흐름은 정보의 디지털화를 통해 다양한 기능과 연계하는 역할을 하며, 구매, 주문, 조립, 물류, 유지관리, 고객 및 공급자와 연계를 통해 중요한 잠재력을 제공할 있다. 따라서 RAMI 4.0에서는 생애주기는 하나의 독립된 프로세스가 아닌, 가치흐름을 통해 모든 생산 공정과 제 3의 기업이 연계된 고부가가치 프로세스(Value-added Process)로 검토된다.

생애주기는 단일 공장뿐만 아니라, 지리적으로 분산된 공장 및 공급자부터 소비자까지 포함 할 수 있는 가치흐름을 제공한다. 이를 위해 생애주기는 수직적 통합 모델 및 상호 운용성 통합 모델과 연계될 수 있도록 데이터의 포맷, 교환, 프로파일, 목록 등에 대해 통합 관리 기능을 제공할 수 있어야 한다. 즉, 생산설비와 같은 하드웨어뿐만 아니라 생산 시스템에서 생성되고, 분배되는 추상적인 정보 객체를 디지털화하여 단일 공장 및 지리적으로 떨어진 공장 간 가치흐름에 따라 생애주기를 관리할 수 있게

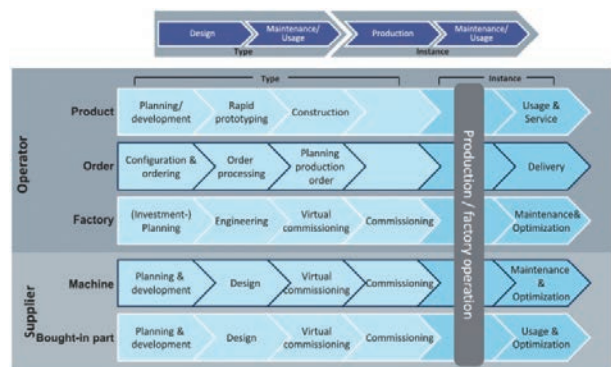


<그림 6> 경영부서와 제조현장 간의 경계  
출처: VDI/VDE Status Report, 2015<sup>[1]</sup>

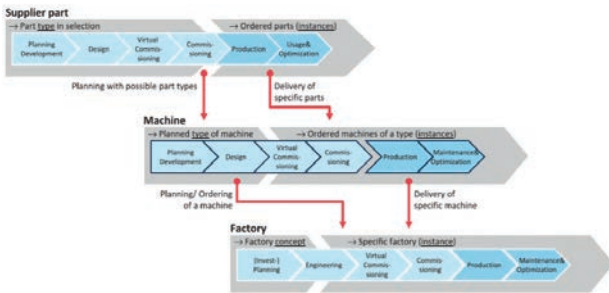
된다. 예를 들면, 디지털화된 물류 정보는 서울에 있는 본사에서 뿐만 아니라 지방에 위치한 물류창고, 조립라인에서도 활용될 수도 있다. 본사의 경영부서에서는 물류창고 내 부품 재고량과 각 조립라인의 설비정보를 파악하여 생산계획을 재조정할 수 있다. 또한 구매부서는 실시간 재고 파악을 통해 부품 공급업체로부터 납품받은 부품이 어느 시점에 어떤 장소에 위치하고 있는지 쉽게 파악할 수 있어 재고 보유량을 물류흐름에 따라 최적화할 수 있다. 즉 경영부서와 제조현장이 하나의 네트워크로 연결되어 제조 실행현장에서 변동 요인에 따른 생산 전략의 변화를 QCD(Quality, Cost & Delivery) 관점으로 빅데이터 분석하여 의사결정의 가중치를 반영시킴으로써 생산의 전략적 선택이 실시간으로 현장에서 실행될 수 있도록 할 수 있게 된다. RAMI 4.0에서는 이처럼 경영부서와 생산현장의 실시간 '소통'할 수 있는 수평적 통합 모델을 제시하고 있다.<sup>[2]</sup>

수평적 통합 모델에서는 IEC 62890 표준에 따라, 제품 개발부터 시제품까지를 Instance, 판매부터 폐기까지를 Type으로 정의한다. Type과 Instance의 정확한 구분은 생애주기 관리에 아주 중요한 부분이다. <그림 7>은 생애주기에서 Type과 Instance의 구분을 설명한다.

먼저 Type은 항상 개발단계에 있는 제품의 아이디어부터 만들어지고, 이는 제품 발주부터 초기 시제품까지의 단계이다. 제품, 설비 등의 종류는 이 단계에서 정의되고 모든 품질 검증과 시험을 거친 후 양산단계로 진행된다. 다음으로 Instance는 생산된 Type을 의미한다. 제



<그림 7> RAMI 4.0 컴포넌트를 위한 관련 생애주기  
출처: VDI/VDE Status Report, 2015<sup>[1]</sup>



〈그림 8〉 Types과 Instances를 활용한 생애주기 관리 예제  
출처: VDI/VDE Status Report, 2015<sup>[1]</sup>

조 산업에서 제품은 일반적인 Type을 기본으로 생산된다. 예를 들어 고유 Serial 번호를 가지고 있는 Instance는 고객에게 제공되고, 고객에게는 다시 Type으로 취급된다. 만약 고객이 제공받은 Type을 특정 시스템에 적용하면 다시 Instance로 된다. 이 과정은 경우에 따라 반복될 수 있고, 영업에서 판매된 Instance는 고객의 피드백을 통해 새로운 Type으로 변경이 가능하다. 이는 곧 새로운 Instance를 만들어 낼 것이다. 따라서 Type은 개선을 위해 사용될 수도 있다. 〈그림 8〉은 RAMI 4.0에서 제안하는 Types과 Instances를 활용한 스마트 공장의 생애주기 관리 예제이다.

또한 본 수평적 통합 모델에서는 사물인터넷, 빅데이터, 클라우드 기술을 제품 기획, 연구, 품질, 생산, 사후서비스 등 전체 제조 공정에 적용하여 제품의 생애주기 관리 혁신방안을 제시한다. 기획 단계에서는 실제 제품 사용에 근거한 시장분석과 예측, 효과적인 제품개발 전략 등을 수립하여 시장맞춤형 고부가가치 제품을 기획할 수 있고, 연구단계에서는 테스트 시점에서 주변 환경정보, 기기의 이상정보 등을 수집하여 제품의 이상 유무를 사전에 판단할 수 있다. 또한 연구소 내 설비와 시험장비, 시험환경에 대한 모니터링을 통해 최적의 상태로 제어가 가능하다. 품질단계에서는 실시간으로 제품 문제의 원인을 추적 및 관련 히스토리를 분석하여 차기 제품에 반영할 수 있다. 생산단계에서는 지리적으로 분산된 생산 설비의 효율성, 에너지 사용량, 유해환경 요소, 가용성 등에 대한 모니터링을 수행한다. 생산 공정의 실시간 생산량 확인과 물류 현황도 함께 모니터링 할 수 있다. 사후서비스 단계에서는 고객이 제품 사용 중 고장 및 위험요소를 사

〈표 6〉 RAMI 4.0의 수평적 통합 모델과 관련 국제표준 현황

표준번호	표준명	하위 관련 표준
IEC 62890	Life-cycle management for systems and products used in industrial-process measurement, control and automation	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 자동화 시스템               <ul style="list-style-type: none"> <li>- (IEC 62443) Industrial communication networks – Network and system security</li> <li>- (IEC 61010) Safety requirements for electrical equipment for measurement, control, and laboratory use</li> <li>- (IEC/TR 62837) Energy efficiency through automation systems</li> <li>- (IEC/TR 62794) Industrial-process measurement, control and automation-Reference model for representation of production facilities (Digital Factory)</li> </ul> </li> </ul>

전에 분석하여 사전 경보를 제공하고 부품 교체 주기 등을 알려주는 서비스를 제공할 수 있다.

다음 〈표 6〉은 RAMI 4.0의 수평적 통합 모델과 관련된 국제표준 현황을 요약하였다.

### 3.4 상호운영성 통합 모델

스마트 공장 상호운영성은 스마트 공장 프로젝트에 참여하는 다양한 이해관계자들이 각각의 인프라 환경에서 각기 다른 정보 시스템을 활용하더라도 필요한 정보를 효과적으로 상호교환 할 수 있도록 하는 능력을 의미한다. 스마트 공장의 상호운영성은 다음과 같이 3가지 측면으로 구분된다.

- 하드웨어/소프트웨어 컴포넌트, 시스템, 플랫폼 간 또는 기기 간 통신 프로토콜과 이를 처리하기 위해 필요한 인프라 상호운영성
- 상기 통신 프로토콜에 의해 전송되며 구문과 인코딩 방식을 정의하고 있는 데이터 포맷 상호운영성
- 상기 데이터 포맷으로 전송되는 콘텐츠에 대한 의미 번역 및 공통된 이해를 위한 상호운영성

스마트 공장의 상호운영성 확보 목적은 스마트 공장 운영자, 소비자 및 이해관계자는 하드웨어나 소프트웨어를 다양한 벤더로부터 직접 구입하여 사용하는 것을 가능하게 하고, 기 구축된 스마트 공장을 용도 전환하여 가변 재구성하더라도 기 구입한 설비 및 장치들을 재활용할 수 있게 하기 위함이다. 특히, 기존 네트워크를 보다 지능화된 시스템으로 전환하기 위해서, 스마트 공장 운영자는





그들의 고객과 시장에 적합한 스마트 공장의 목표를 설정하고, 유연한 사업 프로세스와 상호운용 가능한 솔루션을 제공할 수 있는 표준화된 프레임워크가 필요하다. 본 상호운용성 통합 모델이 바로 그 역할을 수행한다. 상호운용성 통합 모델의 구성은 OSI 계층 모델 형태로 총 6개의 계층으로 구성되며, 다음과 같이 타 계층과의 상호관계성을 갖는다.

- 업무 계층 (Business layer)
  - 생애 주기의 가치 흐름과의 기능적 통합 보장
  - 업무 모델과 그 결과에 따른 전체 프로세스의 맵핑
  - 법적, 규제적 조건
  - 시스템이 수행해야 할 규칙의 모델링
  - 기능 계층에서 제공하는 서비스의 조율
  - 다른 업무 프로세스 간 연계
  - 업무 프로세스보다 앞서 있는 이벤트 취득

업무 계층은 전사적 자원관리 시스템(ERP)과 같은 특정 구체적인 시스템이 아니며, ERP의 프로세스는 기능 계층에 속한다.

- 기능 계층 (Functional layer)
  - 각 기능에 대한 공식적인 설명
  - 다양한 기능의 수평적 통합을 위한 플랫폼
  - 업무 프로세스를 지원하는 서비스를 위한 실행 및 모델링 환경
  - 기업 업무 시스템과 기술적 기능성에 대한 실행 환경

규칙 및 의사결정 로직은 기능계층에서 생성되지만, Use-Case에 따라 정보계층 또는 통합계층 같은 하위 계층에서 실행될 수 있다. 원격접속 및 수평적 통합은 오직 기능계층에서만 일어난다. 이는 기술 수준의 프로세스와 통합에서 정보 및 조건을 보장한다. 자산계층과 통합계층은 유지보수를 목적으로 일시적 접속될 수 있다. 이러한 접속은 오직 하위 계층과 직접적인 연관이 있는 정보 및 프로세스(예를 들면, 센서나 액츄에이터의 신호 또는 진단 데이터에 접속)를 호출할 때만 사용해야 한다. 일시적인 원격 접속에 의한 유지 관리는 기능 계층 또는 수평적 통합 모델과 영구적으로 연계되지 않아야 한다.

- 정보 계층 (Information layer)

- 이벤트의 전처리를 위한 실행 환경
- 이벤트와 연관된 규칙 실행
- 규칙의 공식적인 설명
- Context : 이벤트 전처리

Context에서, 규칙은 하나 이상의 이벤트에 적용될 수 있고, 하나 이상의 추후 이벤트를 생성한다. 생성된 이벤트는 기능계층에서 처리를 초기화한다.

- 모델을 표현하는 데이터의 지속성
- 데이터 무결성 보장
- 신규 데이터 수집
- 기능계층에서 사용되는 데이터의 수집 및 가공
- 컴퓨터로 정보 처리할 수 있도록 물리적 구성 요소, 문서, 소프트웨어 등의 정보 제공

- 통신 계층 (Communication layer)

- 일정한 데이터 포맷을 사용하여 정보계층과 통신
- 통합계층의 제어를 위한 서비스 제공

통신계층과 관련 국제표준 현황은 다음 <표 7>과 같다.

- 통합 계층 (Integration layer)

- 컴퓨터로 프로세스화 된 형식의 자산 정보 규정
- 컴퓨터를 이용한 기술적 프로세스의 제어
- 자산으로부터 이벤트 생성
- RFID, 센서, HMI와 같은 정보 기술과 연결된 구성품

사람과의 상호작용은 통합계층에서 일어난다. 예를 들어, HMI(Human Machine Interface)를 통해 상호작용한다. 실제 세상에서의 각각의 중요한 이벤트는 가상 세계에서의 이벤트에 초점을 맞춘다. 만약 공장에 실제적인

<표 7> 통신계층 관련 국제표준 현황

구분	표준명
○ 필드통신	- (IEC 61158) Digital data communications for measurement and control - Fieldbus for use in industrial control systems - (IEC 61010) Safety requirements for electrical equipment for measurement, control, and laboratory use
○ 무선통신	- (IEC 62734) Industrial networks - Wireless communication network and communication profiles - ISA 100.11a. - (IEC 62591) Industrial communication networks-Wireless communication network and communication profiles - WirelessHART™



〈표 8〉 통합계층과 자산계층 관련 국제표준 현황

구분	표준명
○ 필드 디바이스 통합	- (IEC 61804-3) Function blocks (FB) for process control - Part 3: Electronic Device Description Language (EDDL) - (IEC 62453) Field device tool (FDT) interface specification - (IEC 62769) Field Device Integration (FDI)
	- (IEC 61987) Industrial-process measurement and control - Data structures and elements in process equipment catalogues
	- (IEC 62541) OPC Unified Architecture Specification - (IEC 62714) Engineering data exchange format for use in industrial automation systems engineering - Automation markup language

변화가 있다면, 그 이벤트는 적절한 메카니즘에 따라 통합계층에 보고되어야 한다. 관련 이벤트는 통신계층을 통해 정보계층으로 이벤트 신호를 보낼 수 있다.

■ 자산 계층 (Asset layer)

- 선형 축, 금속 부품, 문서, 회로도, 아이디어와 같은 물리적 구성 요소
- 사람은 자산 계층의 일부이며, 통합계층을 통해 가설 세상과 연결된다.
- 통합 계층에 수동적으로 자산을 연결 (예, QR코드에 의해 연결)

통합계층과 자산계층 관련 국제표준 현황은 다음 〈표 8〉과 같다.

### IV. 결론

본고에서는 스마트 공장을 전 세계 보급·확산하기 위하여 주요 선진국에서 정의하고 있는 스마트 공장의 개념과 비전에 대해 알아보고, 국제표준화기구 IEC에서 추진하고 있는 스마트 공장 참조모델 RAMI4.0(Reference Architecture Model Industriis 4.0)에 대해 각 계층 별로 주요 역할 및 표준현황에 대해 소개하였다. 경영부서와 공장 현장이 실시간 소통을 통해 전체 생산성을 향상하고 최적 운영이 되기 위해서는 사물인터넷, 빅데이터, 클라우드, CPS 기술 등이 유기적으로 융합된 스마트 공장 구축이 필수적이다. 일부 스마트 공장을 구축하고자 하는 기업을 대상으로 설문조사 한 결과, 스마트 공장 구축을 위해 참고할 만한 표준 및 참조모델의 부재를 1위로

조사될 만큼 표준화는 매우 중요하다.<sup>[8]</sup> 본고에서 소개한 RAMI 4.0이 중소·중견 제조기업을 위한 스마트 공장 구축에 적용되어 한국형 참조모델이 빠른 시일 내에 구체화될길 기대한다.

### 감사의 글

본 연구는 산업기술혁신사업 『가변 재구성형 유연 조립 시스템 및 ICT 융합 기반 스마트 시스템 핵심 요소 기술 개발 (과제번호: 10052972)의 일환으로 연구되었음.

### 참고 문헌

- [1] VDI/VDE, Reference Architecture Model Industrie 4.0 (RAMI4.0), Status Report, 2015. 07
- [2] 이훈해, 제조업 경쟁력 강화를 위한 빅데이터 활용 방안, KIET 산업경제, 2014. 01
- [3] KDB 산업은행, 국내 제조업 고도화 방안으로서 스마트공장의 가능성, 산업은행경제연구소 이슈분석, 2015. 08
- [4] 김형철, 스마트공장 국가표준코디네이터 추진 방향, 스마트공장 표준정책 및 실증 심포지움, 2015. 07
- [5] 홍승호, 스마트공장 표준 IEC SG-8 Industry 4.0 - Smart Manufacturing & IEC TC65 Industrial-process measurement, control and automation, 스마트공장 표준화 세미나, 2015. 12
- [6] 차석근, MES의 국제표준과 우수구축 사례, 스마트공장 표준정책 및 실증 심포지움, 2015. 07
- [7] 한국표준협회, 스마트공장의 글로벌 추진동향과 한국의 표준화 대응전략, 한국표준협회 정책연구, 2015. 07
- [8] 조용주, 스마트 팩토리 공급/수요산업 분석, 한국 인터넷 학술대회, 2015. 06
- [9] 이규택, 스마트 공장 산업 R&D 전략, 스마트 공장 컨퍼런스, 2015. 06
- [10] 한국산업기술진흥원, 독일 Industrie 4.0 Initiative, KIAT 산업기술정책브리프, 2013. 08
- [11] 포스코 ICT, 스마트공장 표준화 동향 세미나, 2015. 05



**권종원**

- 2005년 서울과학기술대학교 전자정보공학과 (공학사)
- 2008년 서울시립대학교 전자전기컴퓨터공학부 (공학석사)
- 2012년 서울시립대학교 전자전기컴퓨터공학부 (공학박사)
- 2012년 10월~현재 한국산업기술시험원 스마트기반기술 선임연구원
- 2013년~현재 ISO/IEC JTC1 SC31 국제전문위원
- 2013년~현재 대한전자공학회 시스템 및 제어 소사이어티 운영위원, 스마트 팩토리연구회 위원장 겸임

〈관심분야〉

RFID국제표준, M2M/IoT, 스마트 공장



**조원서**

- 2000년 8월 중앙대학교 전자공학과 (공학박사)
- 1991년 8월~현재 한국산업기술시험원, 수석연구원, 디지털산업본부장
- 2004년 9월~현재 IEC CISPR/F, CISPR/H Project Leader/Expert
- 2008년 4월~현재 ISO TC104/SC4 Ad hoc Group Leader

〈관심분야〉

EMI/EMC 및 RFID 국제 표준화, 근거리 통신 기술



**송태승**

- 1997년 충남대학교 전자공학과 (공학사)
- 1999년 충남대학교 전자공학과 (공학석사)
- 2009년 충남대학교 전자공학과 (공학박사)
- 2012년 1월~현재 한양대학교 학연산클러스터 겸임교수
- 2005년 1월~현재 기술표준원 자동차 EMC/전기자동차/반도체분야 표준전문위원회 위원
- 2000년 5월~현재 한국산업기술시험원 스마트기반기술 센터장/책임연구원

〈관심분야〉

EMI/EMC, EMP, 전기자동차